

№2

2013

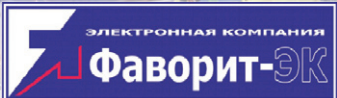
февраль

**Научно-практический
журнал для специалистов**

Республика Беларусь, г. Минск

ЭЛЕКТРОНИКА *инфо*

Комплексные поставки электронных компонентов для предприятий ВПК



**ЭЛЕКТРОННАЯ КОМПАНИЯ
Фаворит-ЭК**
поставка электронных компонентов

109029, Россия, г. Москва, ул. Скотопрогонная, д. 29/1.
Тел./факс: +7 (495) 627-76-24.
Представительство в Республике Беларусь:
220024, г. Минск, пер. Корженевского, д. 2а, пом. 6.
Тел./факс: +375 (17) 207-01-85, тел.: +375 (17) 298-90-86.
E-mail: info@favorit-ec.ru

ПОДПИСКА В БЕЛАРУСИ: «Белпочта» – 00822

ПОДПИСКА В РОССИИ: «Роспечать» – 00822

«АРЗУ – Почта России» – 91654

ISSN 1999-7515



9 771999 751006

1 3 0 0 2



СВЕТОДИОДНАЯ ПРОДУКЦИЯ

Светодиодные экраны • Светодиодные табло • Светодиодные вывески
Табло "бегущая строка" • Информационные табло
Светодиодная продукция для освещения

ИЗГОТОВЛЕНИЕ ПОД ЗАКАЗ
для помещений и уличного исполнения
СОБСТВЕННОЕ ПРОИЗВОДСТВО • ГАРАНТИЯ КАЧЕСТВА
ДОСТУПНОСТЬ • НАДЕЖНОСТЬ • ОПЕРАТИВНОСТЬ



ЭЛЕКТРОКОНТИНЕНТ
КОНТРАКТНОЕ ПРОИЗВОДСТВО
ЭЛЕКТРОНИКИ

www.elcontinent.by

Республика Беларусь, 220026, г. Минск, пер. Бехтерева, 8, офис 35
тел. (+375 17) 205 06 94, 296 31 61, Velcom (+375 29) 115 35 75
e-mail: info@elcontinent.com

ЖУРНАЛ ИЗДАЕТСЯ ПРИ ИНФОРМАЦИОННОЙ ПОДДЕРЖКЕ НИИ ПРИКЛАДНЫХ ФИЗИЧЕСКИХ ПРОБЛЕМ ИМ. А. Н. СЕВЧЕНКО И ФАКУЛЬТЕТА РАДИОФИЗИКИ И КОМПЬЮТЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ БЕЛГОСУНИВЕРСИТЕТА. ЖУРНАЛ ВКЛЮЧЕН В СПИСОК НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИХ ИЗДАНИЙ ВАК РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

электроника инфо

**International magazine
of amateur and professional electronics
№2 (92) февраль 2013**

Зарегистрирован
Министерством информации
Республики Беларусь

Регистрационный №71
от 05 марта 2009 года

К журналу «Электроника инфо» издается
приложение «Радиолучитель. КВ и УКВ»

Главный редактор:
Раковец Леонид Иванович
e-mail: electronica@nsys.by

Заместитель главного редактора:
Асмоловская Ирина Михайловна
i.asmolouskaya@electronica.by

Технический редактор:
Бензарь Валентин Кузьмич, д.т.н.

Редакционная коллегия:

Председатель:
Чернявский Александр Федорович
академик НАН Беларуси, д.т.н.

Секретарь:
Садов Василий Сергеевич, к.т.н.
e-mail: sadov@bsu.by

Члены редакционной коллегии:
Беляев Борис Илларионович, д.ф.-м.н.
Борздов Владимир Михайлович, д.ф.-м.н.
Голенков Владимир Васильевич, д.т.н.
Гончаров Виктор Константинович, д.ф.-м.н.
Есман Александр Константинович, д.ф.-м.н.
Ильин Виктор Николаевич, д.т.н.
Кугейко Михаил Михайлович, д.ф.-м.н.
Кучинский Петр Васильевич, д.ф.-м.н.
Мулярич Степан Григорьевич, д.т.н.
Петровский Александр Александрович, д.т.н.
Попечиц Владимир Иванович, д.ф.-м.н.
Рудницкий Антон Сергеевич, д.ф.-м.н.

Отдел рекламы и распространения:
Антоневич Светлана Геннадьевна
тел./факс. +375 (17) 204-40-00
e-mail: asg@nsys.by

Учредитель:
ТЧУП «Белэлектрониконтракт»
220015, Республика Беларусь,
г. Минск, пр. Пушкина, 29 Б,
тел./факс: +375 (17) 210-21-89,
+ 375 (17) 204-40-00
www.electronica.by

© Перепечатка материалов, опубликованных
в журнале «Электроника инфо», допускается
с разрешения редакции

За содержание рекламных материалов редакция
ответственности не несет

Подписной индекс в РБ:
00822 (индивидуальная),
008222 (ведомственная)

Цена свободная

Подготовка, печать:

299 экз. отпечатано
тип. ООО «Полиграфт»
г. Минск, ул. Кнорина, 50/4-401А
Лицензия №02330/0494199 от 03.04.2009 г.
Подписано в печать 18.02.2013 г.
Заказ №

СЛАВНЫЕ ИМЕНА

ЗВЕЗДА ЭКРАНА И ТЕХНИКИ.....2

НЕМНОГО ИСТОРИИ

ИСТОРИЯ РАЗВИТИЯ СВЕТОДИОДОВ.....4

СВЕТОТЕХНИКА

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЕ УПРАВЛЕНИЕ СВЕТОДИОДНЫМ ОСВЕЩЕНИЕМ.....6

САМЫЕ НЕОБЫЧНЫЕ СПОСОБЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СВЕТОДИОДОВ.....9

АКТУАЛЬНЫЕ ТЕНДЕНЦИИ РЫНКА СВЕТОДИОДНОГО ОСВЕЩЕНИЯ В 2013 ГОДУ.....11

АВТОМАТИЗАЦИЯ

YASKAWA: УНИКАЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ БЕЗОПАСНОСТИ, КОНТРОЛЯ И АВТОМАТИЗАЦИИ.....15

НАУКА

СЕМАНТИЧЕСКИЕ АЛГОРИТМЫ АНАЛИЗА РЕЧИ В СИСТЕМАХ БЕЗОПАСНОСТИ
Д.В. Пекарь.....16

РЕЦЕНЗИРУЕМЫЕ СТАТЬИ.....24-42

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

ОБНАРУЖЕНИЕ И ЛОКАЛИЗАЦИЯ ЛИЦ В СИСТЕМЕ ВИДЕОНАБЛЮДЕНИЯ
А.А. Сеница, Л.В. Калацкая.....24

СВЯЗЬ АКУСТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ РЕЧИ ЧЕЛОВЕКА С ЕГО ЭМОЦИОНАЛЬНЫМ СОСТОЯНИЕМ
Д.В. Пекарь31

КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СТРЕЛЬБИЦ ДЛЯ ТРЕНАЖЕРОВ БРОНЕТЕХНИКИ
С.Г. Кожух, К.М. Шестаков.....38

ДАТЧИКИ

МОБИЛЬНЫЕ ДАТЧИКИ ИНЕРЦИИ. ВСЕ БОЛЕЕ ВЫСОКИЕ УРОВНИ МИНИАТЮРИЗАЦИИ,
СИСТЕМНОЙ ИНТЕГРАЦИИ И «МОБИЛЬНОСТИ»
С. СЫСОЕВА.....45

МИКРОПРОЦЕССОРНАЯ ТЕХНИКА

УЧЕБНЫЙ МИКРОПРОЦЕССОР TSPU И ЕГО ПРИМЕНЕНИЕ
М.С. Долинский, И.В. Коршунов.....59

ПРАЙС-ЛИСТ..... 64

СПИСОК РЕКЛАМОДАТЕЛЕЙ

«Адвек-Строй».....8, 64	«ЭкоСнабГрупп».....23
«Алнар».....64	«Экнис».....14, 30
«Альфалидер групп».....64	«ЭлектроКонтинент».....37
«БелПлата».....37	
«Вектор-Систем».....8	Обложки, цветные вставки
«Вектор Технологий».....15	Microchip.....II вст.
«ГорнТрейд».....10	«Альфасофт».....IV вст.
«Минский часовой завод».....5	«Контактмодуль».....III вст.
«Нанотех».....37	«Минск Экспо».....III вст.
«Приборостроительная компания».....64	«Новая Электроника».....IV вст.
«Промтехсервиснаб».....30	«Пневмоцентр».....III обл.
«СветЛед решения».....64	«Радиоаптека».....II обл.
«Стелла Монтис».....10	«Рейнбоу Электроникс».....V вст.
«Тиком».....5	«ФЭК».....I обл., I вст.
«ФЭК».....64	«Электроконтинент».....II, IV обл.
«Чип электроникс».....64	«Элтикон».....IV обл.

ЗВЕЗДА ЭКРАНА И ТЕХНИКИ

Двадцатый век был щедр на появление выдающихся представителей человечества, которые своими гениальными способностями преобразовали мир и создали новую цивилизацию, совершив научно-техническую революцию. Правда и в том, что ее результаты были использованы не столько для созидания, сколько для разрушения. И хотя новое поколение 21 века знает немало, все еще всплывают имена, восхищавшие людей в середине 20 века. Один из таких малоизвестных примеров – женщина по имени Хэди Ламарр (Hedy Lamarr). Она родилась в Вене в 1914 году. Тогда она была еще Хедвиг Евой Марией Кислер. Получив образование в театральной школе, Хэди Ламарр рано начала сниматься в кино.

Мировая слава пришла к ней в 1933 году, после 10-минутной сцены вполне невинного, по нынешним меркам, купания в лесном озере в обнаженном виде, показанного в чехословацком фильме с эпатажным названием «Экстаз». В том же году родители выдали Еву замуж за австрийского миллионера Фрица Мандла. Новоявленный муж попытался купить копии скандального фильма, но этим лишь подогрел интерес к нему.

Со стороны, жизнь актрисы в Зальцбургском замке в окружении слуг, драгоценностей и нарядов могла показаться безоблачной. Но, как оказалось, она стала очередным выгодным приобретением Мандла в ряду дорогих лошадей и автомобилей. Супруг не отказывал себе в удовольствии похвастаться красавицей женой не только перед сливками австрийского общества, но и перед всеми деловыми партнерами. Хэди присутствовала даже на технических совещаниях, «выглядела обворожительно» и... слушала, вникала, запоминала – за неимением других интеллектуальных развлечений. «С детства мне все вокруг было интересно», – писала она в воспоминаниях.

Лаборатории Мандла работали над созданием управляемых вооружений различного рода. Вариант управле-

ния по проводу, опробованный на пушечных снарядах, оказался неприменим в водной среде, и для торпед было предложено соединение по радио. Недостатки классической радиопередачи австрийские специалисты так и не смогли преодолеть. Как выяснилось позже, природного ума Хэди, не имевшей специального образования, хватило, чтобы понять суть проблемы, пронести информацию через годы и предложить, в конце концов, простое до гениальности решение.

После четырех лет неудачного брака фрау Мандл совершает классический побег из замка, подсыпав снотворного горничной. Не хватает только веревочной лестницы, но переодевшись в униформу упомянутой горничной, она просто вышла через служебный вход. Актриса уехала в Америку. Ей не пришлось обивать пороги в Голливуде: фильм 1933 года был слишком громким, чтобы его забыли кинематографисты. Правда, чтобы не вызвать аналогичных



ассоциаций у пуританской публики США, ей посоветовали взять псевдоним. Хедвиг Кислер стала Хэди Ламарр, которая получила знаменитость тем, что стала первой актрисой, имитировавшей в фильме оргазм. Правда, по словам самой актрисы, искаженное страстью лицо сняли, когда режиссер неожиданно уколол ее булавкой в «мягкое место».

Актриса вызвала негодование со стороны церкви. Сегодня подобными сценами никого не удивишь, но в то время это было слишком вызывающе. Ее называли «Мисс Секс». Советские газеты «наградили» ее званием «Символ голливудского разложения и распада». Шесть раз Хэди выходила замуж и пять раз разводилась.

Луис Б.Майер, глава Metro-Goldwyn-Mayer, так отозвался о ней: «Эта восхитительная брюнетка – самая красивая женщина на свете! Пора прервать монополию стереотипных блондинок на экране».

Писатель Эрих Мария Ремарк был сражен красотой и умом этой необыкновенной женщины. «Любая девушка может быть обворожительной. Все что нужно, это стоять смиренно и выглядеть глупенькой», – Хэди Ламарр.

За свою карьеру актриса снялась в 55 фильмах, где в основном играла красивых, но глупых кукол, заработав



при этом более 30 миллионов долларов, что в 30-40-е годы прошлого века было значительной цифрой. За вклад в искусство и кинематограф на Аллее звезд в Голливуде у Хэди Ламарр есть своя звезда. Ее кинокарьера развивалась стремительно до начала Мировой войны. В рамках мер по укреплению обороноспособности в США создали Национальный Совет Изобретателей. Ненавидящая фашизм актриса была переполнена техническими идеями и предложила свои услуги Совету. Технология помехоустойчивой радиопередачи казалась очевидной: надо просто все время менять частоту случайным образом в широком диапазоне, каким-то образом синхронизировав передатчик и приемник! Реакцию угадать нетрудно, ей с улыбкой порекомендовали использовать свое обаяние для продажи облигаций оборонного займа.

Хэди Ламарр собрала 7 миллионов (заплативший 25 тысяч получал поцелуй красавицы, и таких было немало!), но ее интеллект оставался невостребованным до судьбоносной встречи с композитором-авангардистом Джорджем Антейлем, который был еще и талантливым ученым и изобретателем. Не чуждый технике композитор стал первым человеком, внимательно выслушавшим Ламарр. Эта пара и придумала идею перескока частоты, которая используется в «Системах секретных сообщений». Правда, свое воплощение она обрела намного позже: к сожалению, руководство Военно-морских сил США скептически восприняло патент. Он был засекречен и положен под сукно на долгие годы. (Как не вспомнить судьбу нашего соотечественника А.С.Попова, который раньше итальянца Маркони осуществил первую радиосвязь, а бюрократы с военного ведомства также засекретили изобретение А.С.Попова, чем дали возможность Маркони первым получить патент на изобретение радиосвязи). Концепция перескока частоты опередила свое время и возродилась только с развитием электроники после войны. Лишь с 1957 года инженеры стали экспериментировать с идеей «Системы секретных сообщений». После всего вышеперечисленного изумляет тот факт, что именно эта женщина изобрела то, что сейчас лежит в основе систем GSM, GPS, Bluetooth и WiFi. Этот человек разработал принципы шифрования информации

для постоянных незакрытых каналов связи. Благодаря ей, сейчас можно сидеть по WiFi, не опасаясь, что кто-то еще «сядет» на ваш канал, потому что благодаря ее технологии «Secret Communication System» никто со стороны не сможет «вклиниться» в такой канал связи (если, конечно, у вас не отключено шифрование). Без изобретения Ламарр сейчас не летали бы военные спутники и не работали бы сотовые телефоны, а уж про системы навигации и говорить нечего. Именно ее портрет изображен на упаковке программного продукта CorelDRAW.

Кстати, ее день рождения – 9-е ноября – стал Днем изобретателя в США. После еще пяти неудачных браков (не считая Фрица Мандла) Хэди Ламарр потеряла все свое состояние и в феврале 2000 года скончалась в доме престарелых во Флориде.

Энтузиасты беспроводных компьютерных сетей, случайно раскопав эту невероятную историю, пытались представить Хэди к медали Чести Конгресса и к награде IEEE – безуспешно. Только в 1997 году она получила награду фонда Electronic Frontier. «Самое время» – такова была ее



реакция. Ламарр отказалась присутствовать на церемонии и не приняла журналистов. «Не думайте, что я плохо выгляжу, просто не хочу никого видеть». Награду получил ее единственный сын Энтони Лоудер. На ее родине, в Австрии, создали музей актрисы и вручили ей почетный приз Национального союза изобретателей имени Виктора Каплана «За вклад в науку и технику». В центре Вены собираются поставить памятник знаменитой соотечественнице.

Есть все-таки какая-то загадочная связь между этой женщиной и миром компьютерных технологий, ведь именно ее образ вдохновил компьютерного художника Джона Коркери потратить 120 часов кропотливой работы на создание непревзойденного шедевра векторной графики – портрета на обложке программы CorelDRAW. Ничего не зная о судьбе Хэди Ламарр, художник получает в 1996 году главный приз корпорации Corel – четверть миллиона долларов. Актрисе снова ничего не достается... Последняя ирония судьбы заключается в том, что вышеупомянутый сын Ламарр владеет магазином радиотелефонов в Лос-Анджелесе, где половина продаваемых аппаратов использует мамину технологию.

www.izuminki.com

ИСТОРИЯ РАЗВИТИЯ СВЕТОДИОДОВ

Светодиоды с каждым годом все больше и больше набирают популярность. Сегодня, пожалуй, не найдется человека, который бы ни разу в своей жизни не сталкивался со светодиодным освещением: гирлянды и «билборды», всевозможные «лайтбоксы» и мониторы, – вот далеко не полный список применения светодиодов. Однако само понятие «светодиод» пришло к нам совсем недавно...

В 1907 году, благодаря случайному стечению обстоятельств, известным английским инженером Х.Д. Раундом, который в то время работал в знаменитой во всем мире лаборатории Маркони, было замечено необычное свечение вокруг точечного контакта работающего детектора. Однако открытие такого понятия, как «электролюминесценция» полупроводников, принадлежит не ему, а нашему соотечественнику – Олегу Владимировичу Лосеву.

В 1923 году Олег Владимирович, работая в НРЛ (Нижегородской радиолaborатории), проводил глубокие исследования такого явления, как излучательная рекомбинация, а так же наблюдал излучение света, исходящее из кристаллов карбида кремния SiC (карборунда).

Благодаря этому открытию, имя О.В. Лосева стало бессмертным, а мир узнал об электролюминесценции полупроводников.

С этих пор началось активное изучение этого явления, и в тридцатых годах 20 века в прессе появилась первая статья о результатах наблюдения за кристаллами нитрида галлия. Автором статьи стал профессор Московского Государственного Университета Г.С. Жданов.

Однако промышленная разработка полупроводниковых ламп началась только в 1951 году. Именно в этом году в Соединенных Штатах Америки был создан центр, занимающийся разработкой ламп, функционирующих на основе «эффекта Лосева». Во главе этого центра стоял знаменитый ученый К. Леховец.

Первые светодиоды промышленного назначения были созданы Ником Холоньяком в лабораториях Университета штата Иллинойс (США). Эти светодиоды основывались на структурах GaAsP/GaP. И именно Ник Холоньяк считается «отцом» современных светодиодов.

В шестидесятые годы двадцатого столетия были созданы первые цветные светодиоды из GaP, излучающие красный и желто-зеленый свет. Длина волны, которую излучали эти приборы, находилась в пределах верхней границы восприятия человеческого глаза (500-600 нм), поэтому для целей индикации этого зелено-желтого свечения было вполне достаточно. Световая отдача этих светодиодов составляла около 1-2 Лм/Вт.

В 1968 году была создана первая светодиодная лампа, предназначенная для индикатора Monsanto.

В этом же году в США компания Hewlett-Packard выпустила в свет самый первый в мире светодиодный экран, предназначенный для рекламы. Это был слабосветящийся дисплей, информация на котором отображалась только красным цветом.

В семидесятых годах 20 столетия началось бурное развитие этой отрасли. Светодиоды совершенствовались сразу по двум направлениям: расширение диапазона излучения и увеличение светового потока.

Кроме этого, в семидесятых годах лауреат Ленинской премии Жорес Иванович Алферов с группой единомышленников изобрел «многопроходные двойные гетероструктуры», благодаря которым значительно увеличился внешний световой поток. Это стало возможным за счет сокращения области рекомбинации. Сначала им были предложены гетероструктуры, основанные на GaAs (и его твердых растворах, типа AlGaAs), а некоторое время спустя он изготовил и гетероструктуры с другими полупроводниковыми комбинациями. Благодаря этому, удалось достичь 15%-ного внешнего светового потока для красной части спектра (светоотдача около 10 Лм/Вт), и не менее 30% – для инфракрасного излучения.

Это стало своеобразным «прорывом» в области науки и техники, за что впоследствии Ж.И. АлфEROV был награжден Нобелевской премией.

В тех же семидесятых годах прошлого столетия в лаборатории IBM группой сотрудников под руководством Дж. Панкова были созданы светодиоды с голубым и фиолетовым излучением. Эффект такого свечения стал возможен за счет применения в качестве основы эпитаксиальных пленок GaN. Однако срок службы таких светодиодов был очень коротким.

В 1976 году выходят в свет желтые, желто-зеленые и красно-оранжевые светодиоды, основанные на фосфидах алюминия-галлия-индия. Эти светодиоды были разработаны и выпущены компанией Hewlett Packard.

Чуть позже, в самом начале восьмидесятых годов, ученые М.В. Чукичев и Г.В. Сапарин (Московский Государственный Университет им. Ломоносова) обнаружили яркое люминесцентное свечение частей образца GaN, легированного цинком, при воздействии на него электронного пучка. Понять причину этого явления в то время ученым не удалось.

Начиная с 1985 года поток света, излучаемый светодиодами, увеличился до 10 лм, и появилась возможность их применения в качестве самостоятельных световых элементов (лампочки в автомобилях, к примеру).

Проблема приборов с излучением в синем цветовом диапазоне не находила своего решения вплоть до 1991 года. И лишь 28 марта 1991 года можно считать «днем рождения» синих светодиодов. Родителем этого изобретения стал японский ученый доктор Ш. Накамура (Shuji Nakamura) из компании Nichia Chemical. Ему удалось решить эту задачу при помощи гетероструктуры, основанной на нитриде индия-галлия InGaN.

Благодаря этому изобретению замкнулся «RGB-круг», и теперь появилась возможность получить любой цветовой оттенок, в том числе и различные оттенки белого цвета, путем обычного смешения цветов.

В этом процессе могут использоваться, как отдельные разноцветные светодиоды, так и «трехкристалльные», в корпусе которых объединены кристаллы синего, зеленого и красного свечения.

Некоторое время спустя, 29 ноября 1993 года, компанией Nichia Chemical Industries было объявлено о завершении работ над светодиодами с голубым излучением и о готовности к их массовому производству.

В январе 1994 года доктор Накамура создал первый синий светодиод коммерческого назначения. Он был вы-

полнен на основе гетероструктуры InGaN/AlGaIn с активным слоем InGaIn, легированным цинком.

К декабрю 1997 года компанией Nichia Chemical Industries были запатентованы главные этапы технологии. Вскоре объем реализации голубых и зеленых светодиодов, произведенных этой компанией, достиг 20 млн штук в месяц.

К концу 20 столетия общее количество выпускаемых в нашей стране светодиодов приравнялось к 100 млн штук в год, а в мире – к десяткам миллиардов.

К началу 1990-х годов светоотдача промышленных полупроводниковых светодиодов уже перешагнула рубеж в 30 лм/Вт. С этого времени светодиоды становятся адекватной альтернативой лампам накаливания.

В 1997 году инженер Фред Шуберт изготовил первый в мире светодиод, излучающий белый свет.

А в 1998 году в России компанией Корвет-Лайтс был начат выпуск светодиодов нового поколения.

К 1999 году ежемесячный выпуск зеленых и голубых светодиодов компаниями «Toyoda Gosei», «Nichia Chemical», «Cree» и «Hewlett Packard» составил около сотни миллионов штук.

В июле 1999 года доктор Накамура объявил, что яркость излучения светодиодов достигает уже 60 лм/Вт, а мощность светодиодов на основе InGaN, излучающих желтый свет, равна 6 мВт.

2000 год – начался массовый выпуск светодиодов компаниями «Osram» и «Nichia Chemical».

В том же, 2000 году «Большой Тройкой» – LumiLeds/Phillips, Osram/Cree и GELcore/Uniroyal/GE было инвестировано свыше 70 млн долл в исследовательскую деятельность, связанную с возможностями применения и производства светодиодов.

К середине 2006 года среднее количество электронных придорожных рекламных «биллбордов» на территории США приравнялось к 200 штук, однако, уже через год это количество удвоилось. Благодаря такой рекламе, произошел ощутимый скачок во всех сферах производства и реализации продукции.

К концу 2006 года светодиоды заняли прочные позиции на современном рынке и сфера их применения значительно расширилась. Основной объем рынка мощных светодиодов к этому году распределился следующим образом:

- мобильные устройства – около 50%;
- автомобильная светотехника – не менее 15%;
- всевозможные табло, экраны и пр. – 15%.

Применение светодиодов в качестве альтернативного общего освещения не превышало 5%, что составило около 200 млн долларов. В последнее время: только на московских перекрестках было установлено 1000 светофоров на основе светодиодов.

Фирма «Osram – Optosemiconductors» создала плафон с 14 тысячами разноцветных светодиодов и продемонстрировала его в одном из служебных помещений.

При помощи полупроводниковых светильников, вмонтированных в оградительные столбы, воплощено в жизнь освещение моста в городе Дуйсбург (Германия).

В Нью-Йорке на небоскребе, расположенном на Таймс-Сквер, поставлен полноцветный светодиодный дисплей, имеющий площадь в несколько квадратных метров. Этот экран был смонтирован из 16 млн элементов. Подобный

дисплей, только меньшего размера, был установлен в Москве на Манежной Площади.

На сегодняшний день, уличные светодиодные светильники повсеместно применяются для уличного освещения.

Светодиодные модули повсеместно используют для подсветки объектов рекламы. Кроме этого, сегодня считается модным и престижным применение светодиодов в ландшафтном дизайне, а так же в дизайне интерьеров и для декоративной подсветки баров, клубов и других зданий.

Светодиодные лампы – идеальная альтернатива обычным лампам накаливания. В наше время появилась возможность использовать светодиоды в лампочках с привычным размером цоколя. Кроме этого, светодиодные лампы, благодаря возможности энергосбережения, пользуются огромной популярностью в тех случаях, когда необходимо оригинальное нестандартное освещение.

www.esave.ru



ДПЗ

Качество и компетентность
в мире печатных плат

ОАО «Минский часовой завод»

Ваш надежный изготовитель печатных плат

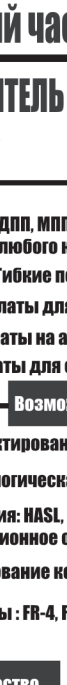
220095, г. Минск,
пр. Независимости, 95,
т./ф. +375 (17) 280-49-55
моб. +375 (29) 750-45-50
bogdashich@mail.ru



**Срок
изготовления
от 2 дней
до двух
недель**

Типы плат

- ДПП, МПП (до 24 слоев)
любого класса точности
- Гибкие печатные платы
- Платы для ВЧ/СВЧ
- Платы на алюминиевой подложке
- Платы для смарт-карт



Возможности

- Проектирование плат
- Технологическая поддержка
- Покрытия: HASL, иммерсионное золото,
иммерсионное олово, ПОС, Ni-B
- Формирование контура любой формы
- Материалы: FR-4, Rogers, Duroid, алюминий,
лавсан

Качество

- Сертификат соответствия
ВУ/112 05.01.0030030

Программаторы для любых микросхем

SEPPROM SEPPROM SEPPROM SEPPROM SEPPROM SEPPROM SEPPROM SEPPROM
EPROM EPROM EPROM EPROM EPROM EPROM EPROM EPROM EPROM EPROM EPROM
EPROM EPROM EPROM EPROM EPROM EPROM EPROM EPROM EPROM EPROM EPROM
FLASH FLASH FLASH FLASH FLASH FLASH FLASH FLASH FLASH FLASH FLASH FLASH
PIC PIC PIC PIC PIC PIC PIC PIC PIC PIC PIC PIC PIC PIC PIC PIC PIC PIC
MCU MCU MCU MCU MCU MCU MCU MCU MCU MCU MCU MCU MCU MCU MCU MCU
PAL PAL PAL PAL PAL PAL PAL PAL PAL PAL PAL PAL PAL PAL PAL PAL PAL

+375 (17) 266-32-09 www.chipstar.ru

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЕ УПРАВЛЕНИЕ СВЕТОДИОДНЫМ ОСВЕЩЕНИЕМ

Charlie Ice, Microchip Technology Inc.

Использование светодиодов расширяет цветовые палитры освещения и открывает новые возможности для проектировщиков, у которых появилась перспективный источник света. Возможность интеллектуального контроля параметров светового потока и смешивания цвета для получения широкой цветовой гаммы может быть востребована в различных областях:

от автомобильных фар до современных световых шоу, которые могут превратить общественное здание в произведение искусства.

Уникальная комбинация таких качеств, как эффективность, возможность получения серых оттенков и долговечность делает светодиодные источники света более эффективными, рентабельными и доступными. Использование цифрового контроллера (DSC) позволяет осуществить эффективное управление и точный контроль над цветом и освещением. Все это позволяет проектировщику создать дифференцированную светодиодную осветительную арматуру нового поколения.

Выше яркость, больше сложность

Низкое энергопотребление светодиодов является главным преимуществом этого источника света. Большинство инженеров хорошо знакомы с их простым устройством: все, что нужно — это источник постоянного напряжения и добавочный резистор нужного номинала, чтобы поддерживать ток светодиода на уровне не ниже 5 мА. Подключение к GPIO на микроконтроллере дает проектировщику возможность осуществить модуляцию светового потока светодиода. Однако эта кажущаяся простота становится проблемой, когда надо получить высокую яркость, что требует увеличения тока потребления светодиодов выше 350 мА. Здесь проектировщику надо решать задачу управления большими токами и учитывать увеличение температуры светодиодов, приводящее к их интенсивному нагреву.



Интеллектуальный контроль

Высокая яркость LED должна поддерживаться относительно большим постоянным током для обеспечения необходимой яркости и цвета. На рисунке 1 показано, как яркость свечения зависит от потребляемого тока. Интенсивность излучения LED пропорциональна току, протекающему через фотодиод. Зависимость тока фотодиода с последовательно соединенным резистором от напряжения определяется следующим уравнением:

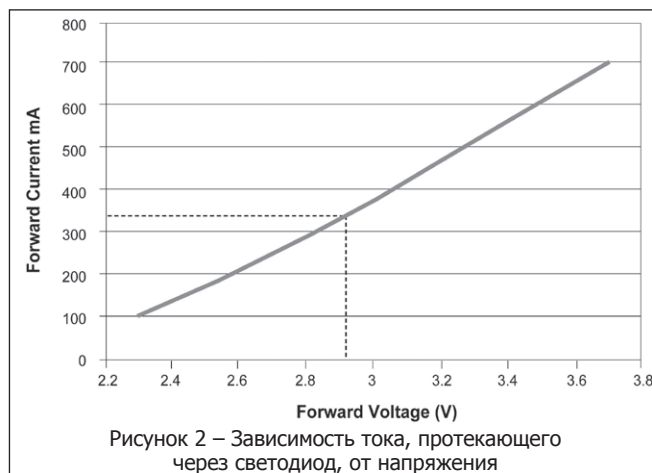
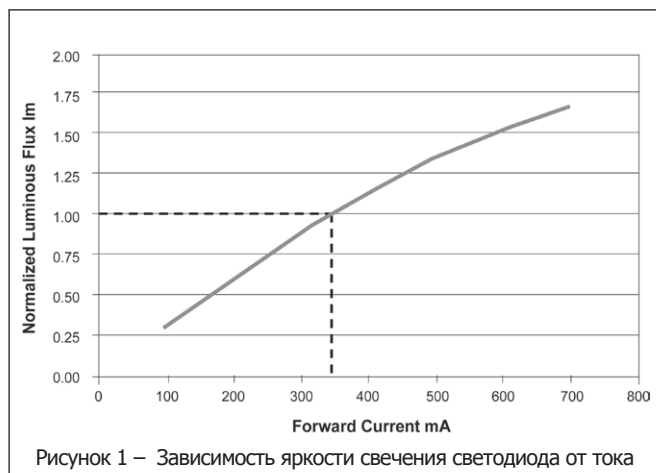
$$I_F = (V_{Source} - V_F) / R,$$

где I_F — ток, протекающий через светодиод, V_{Source} — напряжение источника питания, V_F — напряжения на светодиоде, R — последовательно соединенное сопротивление.

Поскольку входное напряжение V_{Source} изменяется, ток, протекающий через светодиод, также изменяется, вызывая изменение величины светового потока, излучаемого светодиодом. Поэтому надо использовать регулируемый стабилизированный источник питания.

Как правило, при увеличении напряжения V_F растет температура светодиода, даже если ток, протекающий через светодиод, стабилизирован. На рисунке 2 показана зависимость изменения тока, протекающего через светодиод, от напряжения на нем, откуда следует, что токовое управление световым потоком более эффективно, чем регулирование напряжением.

В процессе работы высокая температура мощных LED может привести к существенному уменьшению продолжительности жизни LED и возможным преждевременным отказам. Токоевое управление световым потоком LED позволяет выбрать оптимальный режим работы и ограничить температуру светодиодов, не допуская их перегрева. Использование температурных датчиков также обеспечивает возможность контроля возникающих сверхтемпературных ситуаций.



Точность светового управления

Тот факт, что светодиоды могут изменить светоотдачу почти мгновенно, делает их идеальными светильниками, у которых нужно быстро изменить цвет. Сложение красного, зеленого и синего цветов светодиодов позволяет просто создать любой цвет путем регулировки яркости каждого светодиода. Один из способов заключается в том, чтобы просто увеличить или уменьшить постоянный ток каждого светодиода. Однако изменения постоянного тока не только изменяют яркость, но также немного изменяют цвет светодиода, что является проблемой в случаях, когда требуется обеспечить точную цветопередачу.

Альтернативный подход заключается в использовании импульсного тока, который обеспечивает такой же эффект регулирования яркости без изменения цвета. На рисунке 3 красной пунктирной линией показано, как зависит средний прямой ток от времени свечения при различных яркостях.

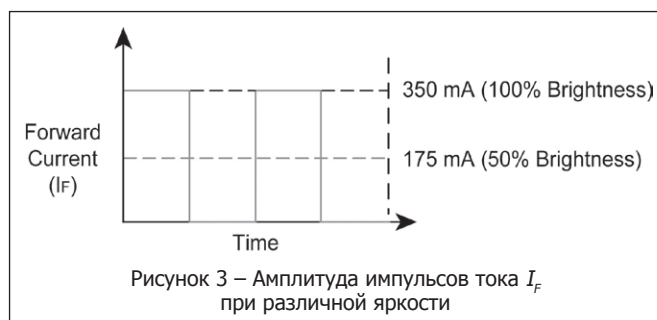


Рисунок 3 – Амплитуда импульсов тока I_f при различной яркости

Использование цифрового контроллера (DSC) значительно упрощает управление режимом затемнения при использовании импульсов питающего тока. Расширенный модуль PWM для блока светодиодов может использоваться для создания сигналов, которые управляют электропитанием каждого светодиода в блоке. Эта функция PWM модулей используется для управления яркостью и цветом светодиодов.

Можно быстро и точно выключить выходы PWM таким образом, чтобы светодиоды излучали серый цвет. Интенсивность затемнения количественно регулируется в интервале от 0 до значения, соответствующего полной яркости. Чтобы задать режим работы светодиода при 50% яркости, счетчик, настроенный на генерацию 255 импульсов за период, отсчитывает 128 импульсов и выключит PWM. Когда на выходе счетчика появится 255 импульсов, он возвращается в исходное состояние, и начинается новый цикл отсчета.

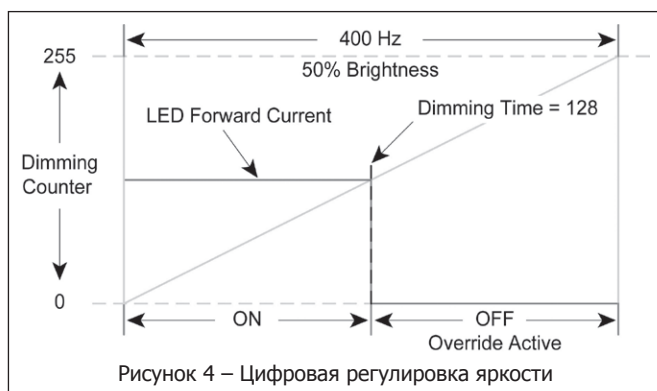


Рисунок 4 – Цифровая регулировка яркости

Процесс повторяется для создания импульсов тока, которые необходимы для затемнения светодиодов, как показано на рисунке 4. Как правило, система работает достаточно быстро. Чтобы предотвратить мерцание светодиодов и не вызывать дискомфорта человеческого глаза, в PWM используется частота выше 400 Гц.

Цифровое управление

Помимо регулировки яркости, DSC может управлять блоком питания и регулировать прямой ток для получения высокой яркости светодиодных светильников. Импульсный переключатель режима мощности питания (SMPS) можно использовать для питания светодиодов.

Buck topology используется, когда прямое напряжение на светодиоде или строке светодиодов меньше напряжения источника питания (рисунок 5). PWM управляет переключателем Q (на MOSFET транзисторе), исток которого через

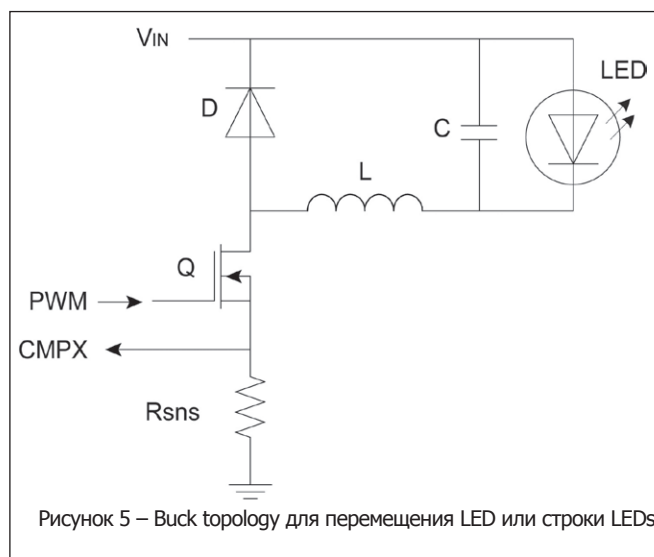
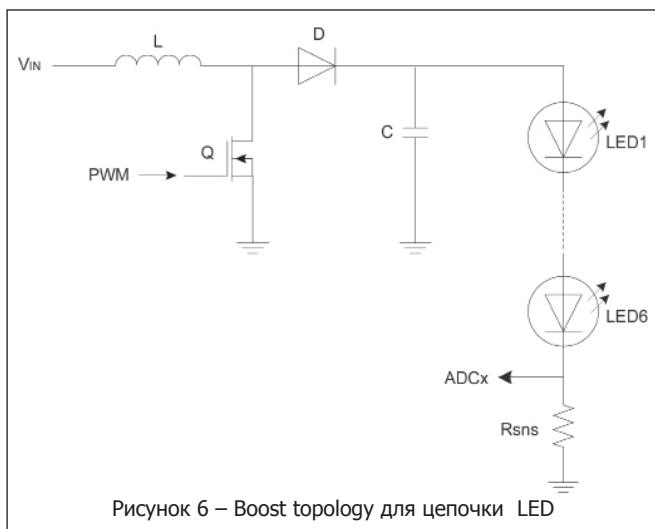


Рисунок 5 – Buck topology для перемещения LED или строки LEDs

резистор R_{sns} заземлен, и с точки соединения истока и резистора подается напряжение на CMPX. Когда Q закрыт, напряжение на резисторе R_{sns} равно 0, что соответствует прямому току светодиода LED. DSC компаратор используется для сравнения напряжения на резисторе R_{sns} , которое пропорционально требуемому прямому току светодиода. Если напряжение на R_{sns} больше, аналоговый компаратор отключает PWM и отключает переключатель Q, сток которого последовательно соединен с индуктивностью L и параллельной цепочкой C – LED, которая подсоединена к V_{in} . Возникающий за счет ЭДС самоиндукции ток проходит через диод D и светодиод LED. В начале следующего периода PWM закрывает Q, и этот процесс повторится снова. Расширенные функции DSC позволяют активно регулировать прямой ток через светодиод без использования какой-либо CPU.

Boost topology используется тогда, когда прямое напряжение LED или строки светодиодов больше, чем напряжение источника питания (рисунок 6). Как и в buck topology, PWM управляет переключателем Q, только прямой ток протекает через резистор R_{sns} , последовательно соединенный с LED1-LED6, и равен прямому току светодиодов. Напряжение с R_{sns} поступает на модуль ADC и затем используется в IP составной петле контроля. Программное обеспечение DSC позволяет регулировать скважность импульсов напряжения,



коммутирующих Q, а также задавать режим работы LED, соответствующий требуемому току. Гибкое программное обеспечение DSC позволяет использовать разнообразные методы управления PI петлей контроля. Минимизация CPU для PI петли контроля также означает, что DSC могут управлять многими цепочками LED и имеют достаточные ресурсы для поддержания других дополнительных функций.

Цифровая связь

DSC имеет достаточно возможностей, чтобы грамотно управлять светодиодными светильниками без необходимости внешнего воздействия на отдельные устройства контроля. Протокол управления освещением DMX512, например, использует стандартный протокол односторонней связи через одно главное и несколько других устройств для отправки команд на отдельные светильники со скоростью 512 байт на пакет, и индивидуальные решения для каждого устройства или узла. Высокоскоростная обработка команд позволяет DSP быстро выполнять контроль PI контроллера для boost конвертера, пока работает коммуникационный протокол, например, DMX512, в фоновом режиме. Поскольку возможности управления заложены в программном обеспечении, оно не ограничивается одним протоколом, и может

управлять LED светильниками с использованием любой схемы коммуникации.

Сокращение времени обучения

Как и любая новая технология цифрового управления LED, для дизайнеров предусмотрена сокращенная программа обучения, которая обычно включает предоставление бесплатного исходного кода и аппаратной документации. Микрочип DM330014 для LED освещения, например, Development Kit, позволяет дизайнерам экспериментировать с несколькими драйверами на одной плате. Эта технология продолжает инновации в современной технологии освещения и ее приложений. Добавляя интеллектуальное управление и связь, предоставляемые DSC, дизайнеры могут оборудовать LED-светильники усовершенствованными функциями и достичь высокого уровня дифференциации и значительных wow-factor в ее приложениях.

Примечание: имя микрочипа и логотип dsPIC являются зарегистрированными товарными знаками Microchip Technology Inc. в США и других странах. Все другие товарные знаки, упомянутые здесь, являются собственностью соответствующих компаний.

ОДО «Вектор-Систем»

1. Ремонт, модернизация металлообрабатывающего оборудования с программным управлением
2. Модернизация электроэрозионных станков
3. Внедрение электронных устройств ввода-вывода информации в УЧПУ
4. Замена устаревших приводов постоянного тока на экономичные частотные преобразователи с векторным управлением общепромышленными асинхронными электродвигателями
5. Установка электронных измерительных систем и устройств цифровой индикации
6. Комплексное решение задач автоматизации производства
7. Внедрение современных технологий и инструмента в металлообработку

г. Гомель, ул. Троллейбусная, д.5, к.6, тел./факс: +375 232 57-34-73
GSM: (8-10-375) 297-35-61-62, 296-86-29-16,
E-mail: stanok-cnc@yandex.ru www.vector-sys.com

ПОДПИСКА-2013

Подписку на журнал «Электроника инфо» можно оформить в отделении связи по месту жительства, а также в редакции с любого месяца.

ПОДПИСКА В БЕЛАРУСИ: «Белпочта»
(подписной индекс – 00822).

ПОДПИСКА В РОССИИ: «Роспечать»
(подписной индекс – 00822),
«АРЗИ – Почта России»
(подписной индекс – 91654).

Читатели также могут подписаться по национальным каталогам: агентств «МК-Периодика», «Информнаука», «Интерпочта-2003» и «Урал-Пресс»; «Пресса» (Украина).

ООО «АДВИК-СТРОЙ»

Поставка импортных электронных компонентов от ведущих производителей

220015, г. Минск, ул. Одоевского 117, оф. 315
тел./факс +375 17 269-93-33

E-mail: info@advik.by
Web: www.advik.by
тел./факс. +375 17 269-93-34

САМЫЕ НЕОБЫЧНЫЕ СПОСОБЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СВЕТОДИОДОВ

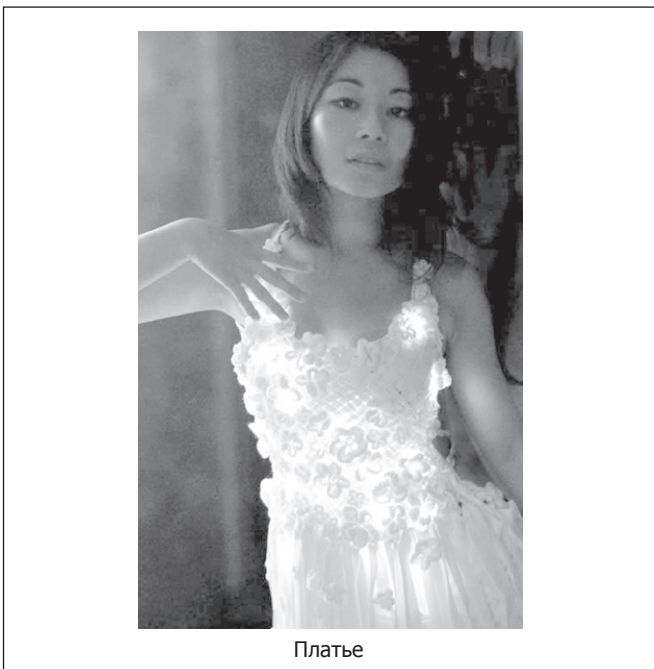
Чаще всего светодиоды применяются в уличном, промышленном, бытовом освещении. Они экономичны, безопасны и прочны. Но сегодня о самых невероятных примерах использования светоизлучающего диода.

Компания Philips объединилась с Kvadrat Soft Cells, чтобы разработать абсолютно новый вид светящихся обоев, которые могут навсегда изменить наши представления об освещении. Используемый материал сочетает в себе звукопоглощающие свойства со светодиодной подсветкой и излучает низкоэнергетическое свечение в любом заданном пространстве.



Обои

Коллекция одежды «Rhyme and Reason» от дизайнера Мэри Хуанг играет с понятием света, как материала. В этой коллекции человек, надевший платье, трансформируется сиянием сделанных вручную белых кружевных цветов.



Платье

Что из себя представляет этот предмет? Это кофейный столик, в крышку которого интегрированы сотни светодиодов, которые реагируют на движения предметов над поверхностью стола.



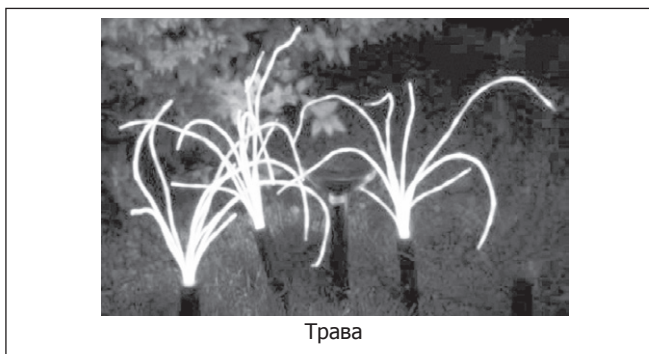
Интерактивный LED кофейный столик

Эти декоративные светодиодные кубики около одного дюйма в размере и сделаны из высококачественного, безопасного, сертифицированного чистого акрила. Они выглядят, как настоящие кубики льда, и могут даже использоваться в таком качестве, если их заморозить.



Ледяные кубики

Вы можете поместить кустики этой искусственной травы в почву и создать иллюзию, будто части вашего сада или домашние растения светятся в темноте.



Трава

Светодиодная подсветка для крана автоматически меняет цвет воды при изменении температуры.



Подсветка для крана

Светящиеся стопки предназначены для вечеринок и поставляются вместе с установленными батареями.



Стопки для алкогольных напитков

Этот сияющий светодиодный корпус спроектирован специально для iPhone 5 и выполняет некоторые сигналь-



Корпус для iPhone 5

ные функции. Когда вы совершаете или принимаете вызов, отправляете или получаете сообщение, подсветка мигает шестью различными цветами на ваш выбор.

Концепция этого проекта проста: выгравировать нужное имя на чистом листе пластика, а затем подсветить края. Буквы и грани окажутся подсвеченными, а чистый материал останется полностью прозрачным.



Табличка с именем

novostimira.com

СТЕЛЛА МОНТИС

**МАТЕРИАЛЫ И ОБОРУДОВАНИЕ
ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ**
ФОТОРЕЗИСТ, ЗАЩИТНЫЕ МАСКИ И ТД.

**МАТЕРИАЛЫ И ОБОРУДОВАНИЕ
ДЛЯ ПАЙКИ И МОНТАЖА**
ПАЯЛЬНАЯ ПАСТА, ПРИПОЙ, ФЛЮС-ГЕЛЬ

ЗАЩИТНЫЕ ЛАКИ CRAMOLIN:
ТЕРМО, ВЛАГО и ЭМИ

**КОНТРОЛЬНО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ
ПРИБОРЫ И АКСЕССУАРЫ**

**АНТИСТАТИЧЕСКАЯ МЕБЕЛЬ
И ОБОРУДОВАНИЕ**

ФОТОТЕХНИЧЕСКИЕ ПЛЕНКИ

ТЕЛ./ФАКС +375 17 2458431, 2458252; GSM: +375 29 6458431
WEB: WWW.STELLAMONTIS.COM E-mail: info@stellamontis.com

**KEMMER
PRAZISION**

SunChemical

AKTAKOM

FACHIMICI

KOLON

**INDIUM
CORPORATION**

PAGE

AGFA

Kodak

TRESTON

CRAMOLIN

**HORN
TRADE**
ООО "ГорнТрейд"

поставка электронных компонентов

контрактное производство

тел.: +375 17 290 0082
факс: +375 17 290 0084
e-mail: info@horntrade.net

АКТУАЛЬНЫЕ ТЕНДЕНЦИИ РЫНКА СВЕТОДИОДНОГО ОСВЕЩЕНИЯ В 2013 ГОДУ

Что произошло на рынке светодиодного освещения в 2012 г. и на что рассчитывают в 2013 г. «оставшиеся в живых» лидеры LED-рынка?

Эффект от консолидации LED-рынка в 2012 г. проявится в 2013 г.

На крупнейшем в мире китайском LED-рынке в 2012 г. наблюдалась консолидация, и многие компании второго и третьего уровня были вынуждены покинуть рынок из-за постоянных чистых убытков.

Эффект консолидации проявится в 2013 году. Появление на китайском рынке новых игроков повлияло на емкость рынка, агрессивно нарушив баланс в отрасли, за счет чего большинство успешных тайваньских LED-чипмейкеров в 2012 г. понесли чистые убытки.

Светодиодная промышленность Китая также пострадала. Некоторые китайские светодиодные компании, годовой доход которых превышал 100 млн китайских юаней (16 млн долл США), в 2012 г. объявили о банкротстве. Проблемы перенасыщения рынка не могут быть решены в короткие сроки. Таким образом, индустрию, вероятно, ожидает дальнейшая консолидация.

Консолидация тайваньских компаний

Страдая в течение двух лет подряд от внебюджетных убытков, ведущий тайваньский производитель светодиодных чипов Epistar приобрел Huga Optotech. Несмотря на сообщения об увеличении валовой прибыли Huga, компания подверглась жесткой конкуренции на рынке светодиодов малой и средней мощности со стороны китайских конкурентов. Huga вряд ли вернется к прибыльности до второй половины 2013 г.

Дочерние компании AU Optronics (AUO) Lextar и Wellypower во второй половине 2012 г. объявили о запланированном слиянии. Кроме того, в 4 кв. 2012 г. Edison Opto стала членом совета директоров светодиодной компании второго уровня Lumenmax, с которой планирует создать стратегический альянс.

В процессе консолидации тайваньские компании ориентированы, в основном, не на вертикальную интеграцию бизнеса, а на расширение масштабов экономики и снижение затрат.

Китайская компания формирует каналы распределения

Китайская светодиодная компания Electech стала акционером дистрибьюторской фирмы NVC Lighting. В декабре 2012 г. Electech объявила о том, что планирует выкупить у инвестиционной компании 11,81% акций NVC Lighting стоимостью в 950 млн гонконгских долл (122 млн долл США), добавив их к 8,24% акций, приобретенных на открытых торгах, таким образом, Electech сейчас владеет 20,05% акций NVC Lighting. До этого момента Electech специализировалась на производстве источников света от изготовления светодиодных чипов до корпусирования приборов.

С приобретением акций NVC Lighting усиленная Electech может расширить и укрепить каналы сбыта, а это как раз то, чего не хватало тайваньской компании.

Чтобы обеспечить выход на китайский рынок, тайваньский производитель светодиодных чипов Formosa Epitaxy в 2012 г. объявил о том, что станет крупнейшим акционером китайской Sanan Optoelectronics. Подобная кооперация сформировалась впервые в светодиодной индустрии Тайваня.

Такого рода стратегия является смелой и новаторской, но уже не является промышленным секретом, впрочем, как и технологический процесс изготовления светодиодов высокой яркости, поэтому маловероятно, что Тайвань и далее сможет удерживать технологическое лидерство. Таким образом, подобная кооперация тайваньских компаний может, как способствовать подъему, так и представлять опасность.

Ситуация с перенасыщенностью рынка светодиодов улучшится в 2013 г.

По заявлению председателя совета директоров Everlight Роберта Йе (Robert Yeh), ситуация с перенасыщенностью рынка светодиодов улучшится в 2013 г. Everlight Electronics – компания, специализирующаяся на корпусировании светодиодных приборов, на недавно проходившей выставке Lighting Japan 2013 представила светодиодную продукцию в новых корпусах, делая акцент на светодиоды белого свечения и автомобильное освещение. По словам Роберта Йе (Robert Yeh), ситуация с перенасыщенностью рынка светодиодов улучшится в 2013 г.

Г-н Йе отметил, что неблагоприятные рыночные условия наблюдаются уже в течение почти полутора лет, но, благодаря растущему спросу на светодиодную подсветку и осветительные приборы, в 2013 г. ожидается подъем. Также г-н Йе добавил, что недавнее ослабление ценовой конкуренции позволяет Everlight надеяться на увеличение доходов и прибыли в 2013 г. Бизнес-стратегия компании на рынке Японии была относительно сдержанной из-за исков со стороны японской Nichia о нарушении патентных прав. В последнее время патентные споры решаются в пользу Everlight, поэтому компания все-таки рассчитывает на рост продаж на японском рынке в 2013 г. Кроме того, Everlight пребывает в поиске стратегических партнеров для создания продуктов под собственной торговой маркой.

Со слов г-на Йе, для получения прибыли от светодиодного освещения, компании должны ориентироваться на стратегию расширения масштабов экономики и снижение



Роберт Йе (Robert Yeh), председатель совета директоров Everlight



Бинг-Джи Ли (Bing-Jye Lee), председатель совета директоров Epistar

затрат. Everlight не будет рассматривать вопрос о полной автоматизации производства, так как стандарты для светодиодного освещения постоянно меняются и при неполной степени загрузки производственных мощностей разница в стоимости между полуавтоматическим и автоматическим производством изделия составит всего 5 тайваньских долл (0,17 долл США).

Компания Epistar не участвовала в Lighting Japan 2013. Тем не менее, Бинг-Джи Ли (Bing-Jye Lee), председатель совета директоров Epistar, принял участие в церемонии открытия. Г-н Ли заявил, что если розничная цена на светодиодные лампы, аналогичные по яркости лампам накаливания в 60 Вт, будет снижена до 10 долл США за шт. в 2013 г., спрос вырастет и мировые поставки светодиодных ламп увеличатся до 300-400 млн ед.

Как заявил Яков Тарн (Jacob Tarn), президент TSMC Solid State Lighting, существуют три основных рынка для светодиодного освещения в 2013 г. – это общественные проекты, модернизация и потребительский рынок. Тарн добавил, что если разница в цене между светодиодными и энергосберегающими лампами снизится до 50%, то такая стоимость светодиодных ламп станет оптимальной.

В настоящее время средняя мировая цена за светодиодную лампу, аналог лампы накаливания в 60 Вт, составляет около 25 долл США за шт., а стоимость энергосберегающей



Фрэнк Чен (Frank Chien), председатель совета директоров Formosa Epitaxy

лампы с таким же уровнем мощности составляет всего лишь 10 долл США за шт. Таким образом, на данный момент разница в цене составляет 150%.

Тайваньский альянс светодиодного освещения разработает LED-стандарты за 8 месяцев

Фрэнк Чен (Frank Chien), председатель совета директоров Formosa Epitaxy, заявил, что тайваньским компаниям необходимо найти новые рынки сбыта и разработать новые бизнес-модели.

На первом кратком заседании тайваньского альянса светодиодного освещения (Taiwan LED Lighting Alliance) Фрэнк Чен отметил, что тайваньские компании должны уходить от OEM-заказов. Альянс планирует в течение восьми месяцев разработать устав и свод стандартов для отрасли светодиодного освещения, соответствующих стандартам Китая.

По данным отраслевых источников, в 2013 г. индустрия, скорее всего, освоит массовое производство светодиодных чипов с эффективностью 180 лм/Вт.

Чен также добавил, что отношения между тайваньской и китайской светодиодными отраслями уже не являются сугубо конкурентными. Тайваньские компании должны тратить 80% ресурсов на освоение рынка и 20% ресурсов на разработку новых бизнес-моделей.

Чен отметил, что сегодняшний рынок открывает новые возможности, которые обусловлены заменой традиционного освещения, внутренними и международными государственными проектами и перспективой поставок для международных компаний. Инновационные бизнес-модели включают создание центров проектирования освещения и предоставления продуктов для уличного освещения.

Toshiba Lighttech: в 2010-2020 годах CAGR рынка светодиодного освещения достигнет 31%

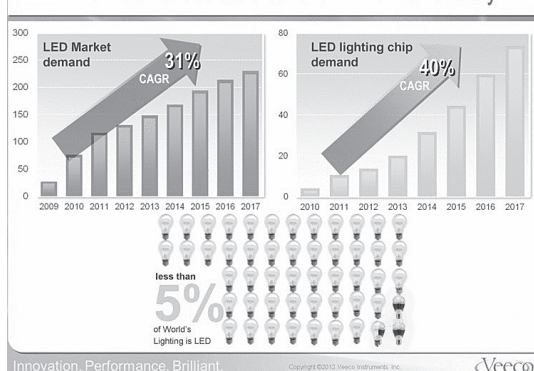
По данным японской компании Toshiba Lighttech, начиная с 2012-2013 гг., на долю японского рынка светодиодного освещения придется около 40% мирового LED-рынка, при этом, как ожидается, скорость проникновения японцев на рынок превысит мировые показатели. Кроме того, по оценкам Toshiba Lighttech, благодаря быстрому падению цен и росту рынков Европы, США и Китая, среднегодовой темп роста (CAGR) мирового рынка светодиодного освещения, за период 2010-2020 гг., достигнет 31%.

По словам Тору Шибуйя (Tooru Shibuya), президента и главного исполнительного директора Toshiba Lighttech, компания представила на рынке светодиодные лампы в 2009 г., а уже в 2011 г. японский рынок светодиодных ламп превысил



Яков Тарн (Jacob Tarn), президент TSMC Solid State Lighting

LED Market Forecasted to Grow Tremendously



Прогноз CAGR на мировом LED-рынке, по данным Veeco

30 млн единиц, что вызвало быстрое падение цен. В 2012 г. розничная цена на светодиодные лампы составила менее 2 тыс. японских иен (около 22 долл США) за шт. Г-н Шибuya добавил, что ожидаемая скорость проникновения светодиодного освещения на рынок к 2015 г. составит около 60%.

Аналитики Digitimes Research заявили, что в 2012 году доходы от продаж LED-технологий Toshiba Lightech составили 50% от общей заявленной выручки от продаж приборов освещения и составили приблизительно 86 млрд японских иен. По мнению специалистов Digitimes Research, в 2014 г. эта цифра увеличится до 130 млрд.

В 2012 г. на долю Panasonic пришлось 10% мирового рынка светодиодного освещения

По данным Digitimes Research, в настоящее время на долю Panasonic приходится 10% мирового рынка освещения. В 2013 г. компания намерена продолжить расширять линейки LED-продуктов потолочного освещения и светодиодных трубок.

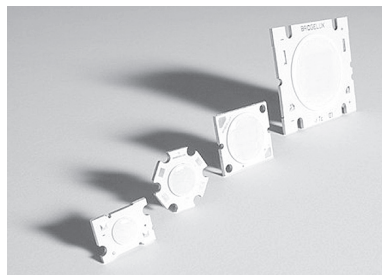
Кацуми Сато (Katsumi Sato), генеральный директор Panasonic Lighting Americas, заявил, что за счет расширения рынка доходы корпорации от реализации твердотельного освещения в 2012 г., как ожидается, достигнут 125 млрд японских иен.

Кроме того, Panasonic расширяет производственные мощности и ожидает в 2013 г. увеличить свою долю на японском рынке до 37,5%.

Panasonic активно осваивает китайский и европейский рынки, так как рынок Японии, вероятно, перенасытится в течение нескольких лет. По прогнозам компании, к 2015 г. совокупная выручка на рынках Китая и Европы составит 76,3% от общего числа внешних доходов.

Вторым по величине производителем светодиодного освещения в Японии является Toshiba Lightech. Компания производит осветительные приборы уже на протяжении 130 лет. В 2012 г. доходы компании на рынке светодиодного освещения составили 86 млрд японских иен (976 млн долл США). По мнению аналитиков Digitimes Research, в 2014 г. доходы компании достигнут 130 млрд японских иен, что составит 27,7% японского рынка.

В то время, как Toshiba Lightech ориентирована на внутренний рынок, Panasonic находится в активном поиске каналов распределения для последующей реализации светодиодной продукции на внешних рынках. В отличие от других компаний, работающих на сапфировых подложках,



Линейка LED-продуктов компании Bridgelux, выполненных по технологии «нитрид галлия на кремнии»

Toshiba Lightech сотрудничает с Bridgelux по разработке технологии «нитрид галлия на кремнии». Однако к концу 2012 г. ежемесячный объем выпускаемой продукции светодиодных чипов компании составил всего 10 млн единиц, что по сравнению с продуктами, выпущенными на сапфировых подложках, составляет очень малую долю.

А что же американцы?

В 2013 году доходы Cree от продаж светодиодного освещения составят 38% от общей выручки.

Американская светодиодная компания Cree, начинавшая с производства LED-компонентов, в 2012 г. начала выпуск светодиодной светотехнической продукции. По данным Digitimes Research, доходы Cree от продаж светодиодного освещения составили 28,7% от общей выручки компании за 2012 г., и эта цифра, как ожидается, вырастет до 38% в 2013 г.

Еще одна американская компания по производству светодиодного освещения, Acuity, изначально была ориентирована на производство традиционных осветительных приборов. По прогнозам Digitimes Research, во второй половине 2013 г.

на долю светодиодной продукции компании придется 25% от общих продаж.

Эти две американские компании светодиодного освещения ориентированы на различные рынки. Cree широко представлена как на американском, так и на международных рынках, причем доля компании на рынке



США составляет 40%, на рынок Китая приходится 33%, а Европы – 15%. В отличие от Cree, объем продаж Acuity на американском рынке, благодаря тесному сотрудничеству с местными дистрибьюторами, составляет 90% от общего.

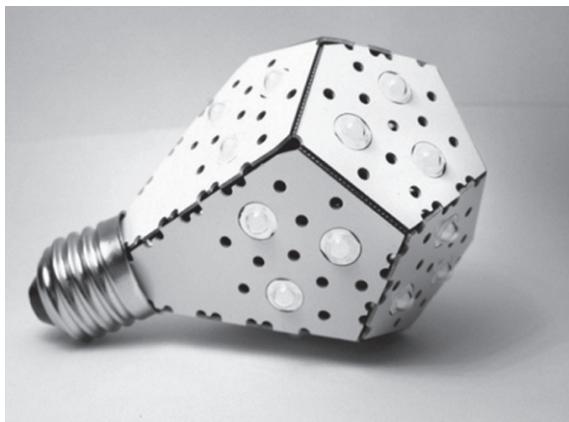
Cree является одним из крупнейших мировых поставщиков светодиодных компонентов, ориентированных на усовершенствование LED-технологий. В 2012 г. компания смогла наладить массовое производство продукции со световой отдачей 200 лм/Вт, опередив цели, поставленные департаментом США по энергетике (DOE). В лабораторных условиях Cree удалось получить светодиоды с эффективностью 254 лм/Вт. В настоящее время компания принадлежит 2900 патентов.

Для удерживания значения валовой прибыли на уровне 40% Acuity планирует дальнейшее развитие беспроводных систем управления освещением и систем управления энергией. По ожиданиям компании, капитальные затраты в 2013 г. достигнут исторического максимума в 40 млн долл США.

Источник: Digitimes

УНИКАЛЬНАЯ LED-ЛАМПА NANOLIGHT

Ученые из Университета Торонто представили свою разработку – светодиодную лампу NanoLight, самую эффективную замену традиционной лампе накаливания в 100 Вт.



Стартап Nanolight – это трое молодых ученых Джимми Чу, Том Родингер и Кристиан Ян, которые выпустили свою первую новинку, способную изменить представление об устройствах освещения. Их NanoLight – это светодиодная лампа, соответствующая 100-ваттному аналогу со стержнем накаливания. Удивительно, но эта лампа является самой экономичной среди ламп такого класса в целом.



NanoLight разрабатывалась в течение нескольких лет, ее базовый концепт потребляет около 12 Вт, при этом лампа излучает 1 600 люмен и является всенаправленной, чем может похвастаться не каждая светодиодная лампа.



# of Bulbs	Electricity Cost
	\$400
	\$100
	\$50

В NanoLight светодиоды подключены напрямую к плате, внешне лампа напоминает грушу.

А еще, по словам разработчиков, их светодиодная лампа изготовлена из менее вредных, нежели другие LED-лампы, материалов, и излучает приятный белый свет.

Стоимость NanoLight – около 50 долл США.

gizmag.com



Наилучшее оборудование, высокая компетенция и богатый опыт - для наилучшего решения ваших производственных задач

ABB drives alliance
Sales and Support

ООО «ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКАЯ КОМПАНИЯ «ЭКНИС» ВЫПОЛНЯЕТ:

- Техническое консультирование
- Выбор технического решения
- Разработка проектной документации
- Комплексная поставка согласованного оборудования
- Шеф-монтажные и пуско-наладочные работы
- Сервисное техническое консультирование
- Гарантийное и послегарантийное обслуживание.



ООО «Электротехническая компания «ЭКНИС» г. Минск УНП 190575885

Тел.: +375 (17) 288-15-22, +375 (29) 689-18-90, www.ecnis.biz, e-mail: office@ecnis.biz

YASKAWA: УНИКАЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ БЕЗОПАСНОСТИ, КОНТРОЛЯ И АВТОМАТИЗАЦИИ

Сегодня ни одно успешное предприятие или промышленный объект не может обойтись без полноценной системы безопасности, автоматизации и контроля. Понимая всю ответственность поставленной задачи, компания «Вектор Технологий» уделила максимальное внимание поиску опытных и высококвалифицированных специалистов, способных предоставить своим клиентам полный комплекс инженеринговых услуг.

Сейчас компания может предложить разработку любого, даже самого сложного проекта и его бесперебойный запуск в промышленную эксплуатацию. Помимо этого, компания является официальным дистрибьютором Yaskawa – крупнейшего в мире производителя частотных преобразователей, серводвигателей, робототехники, контроллеров и многого другого.

Yaskawa: системы безопасности

Создание компании Yaskawa Electric насчитывает уже целое столетие. Все это время компания предоставляет на рынке такую профессиональную высококачественную продукцию, как: приводная техника, двигатели, средства

промышленной автоматизации, высокотехнологичную робототехнику и другую приводную технику, позволяющую модернизировать необходимые технологические процессы во многих отраслях.

Компания предполагает реализацию всех поставленных заказчиком задач, а это, в свою очередь, позволяет эффективно интегрировать все системы в единый цельный комплекс и существенно повысить его эксплуатационные свойства. Применение высокоинтеллектуальных гибких систем пожарной, охранной сигнализации и видеонаблюдения совместно с уникальными системами пожаротушения позволяет значительно повысить безопасность зданий и оборудованных помещений. Внедрение комплексных технических средств диспетчеризации и охраны на объектах позволяет снизить нагрузку на обслуживающий персонал и обеспечить дополнительную защиту.

Yaskawa: системы контроля и автоматизации

Обратившись в компанию «Вектор Технологий», вы сможете легко решить все вопросы, связанные с безопасностью и сохранностью вашего бизнеса и имущества. Мы предлагаем лучшие решения от самых простейших, состоящих из нескольких датчиков, таймеров и реле, до комплексных решений, что насчитывают десятки сложных устройств, благодаря которым быстроедействие может измеряться микросекундами, а усилия целыми тоннами.

vec-tech.by



VECTOR OF A TECHNOLOGIES

Предлагаем поставки со склада и под заказ:
ЧАСТОТНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ, СЕРВОДВИГАТЕЛЕЙ,
ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ, ИНДУКТИВНЫХ ДАТЧИКОВ, ФОТОДАТЧИКОВ,
ТВЕРДОТЕЛЬНЫХ РЕЛЕ И ДРУГОГО ОБОРУДОВАНИЯ
ОТ ВЕДУЩИХ МИРОВЫХ ПРОИЗВОДИТЕЛЕЙ.



Компания «Вектор Технологий»
является официальным дистрибьютором
на территории Республики Беларусь компаний
YASKAWA, DATALOGIC, STEUTE, FOTEK и WEG.

Наши специалисты с радостью помогут решить ваши задачи.

Тел. +375 (29) 285-14-86, факс +375 (17) 210-58-83

info@vec-tech.by, www.vec-tech.by

СЕМАНТИЧЕСКИЕ АЛГОРИТМЫ АНАЛИЗА РЕЧИ В СИСТЕМАХ БЕЗОПАСНОСТИ

Д.В. Пекарь, г. Минск

Звуковой речевой сигнал предназначен прежде всего для воспроизведения и передачи смысловой (вербальной) информации. Очевидно, что с передачей основной смысловой (вербальной) информации речевой сигнал передает слушателю также и невербальную (неречевую) информацию. Под термином невербальная коммуникация понимается «система неязыковых (несловесных) форм и средств передачи информации» [1].

Изучение различных видов невербальной информации имеет огромную научную и практическую ценность для автоматического распознавания речи, для распознавания личности по голосу и т.д. Эмоциональная окраска речи также относится к невербальной информации. Распознавание и анализ эмоциональной окраски речи человека является актуальной задачей в настоящее время. Согласно одному из определений слова «эмоция» – это эмоциональный процесс средней продолжительности, отражающий субъективное оценочное отношение к существующим или возможным ситуациям [2]. Таким образом, анализируя эмоциональную окраску речи говорящего можно выявлять/оценивать его скрытое отношение к происходящему или намерение, психологическое и эмоциональное состояние. Системы по распознаванию эмоциональной окраски говорящего могут применяться на коллцентрах [3], системах взаимодействия человек-компьютер [4], корпоративных и коллективных системах безопасности.

1. Методы анализа эмоционального состава речи

Распознавание и анализ эмоциональной окраски речи диктора начинается с извлечения вектора признаков для описания тех или иных параметров речевого сигнала. Можно выделить четыре общих класса признаков:

- просодические;
- спектральные;
- энергетические;
- темпо-ритмические.

Просодические признаки отражают такие параметры речи, как ударение, тон, интонацию. К просодическим признакам относятся такие, как частота основного тона, скорость речи [5], джитер.

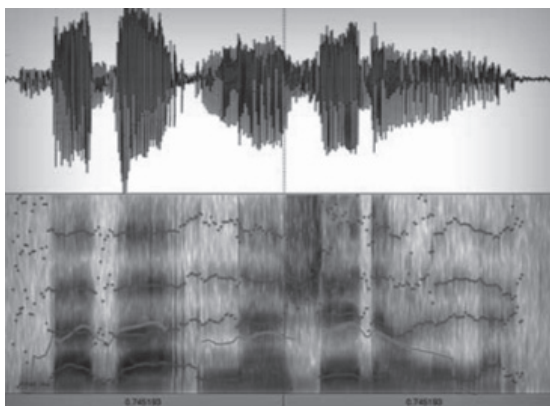


Рисунок 1 – Траектория частоты основного тона

Частота основного тона является одним из главных признаков [6] при обработке речевого сигнала, которая показывает колебания связок. Изменение эмоционального состояния человека сопровождается объективными/субъективными изменениями параметров речевого тракта, что, в свою очередь, отражается на частоте основного тона. На рисунке 1 изображена частота основного тона на спектрограмме.

В [7] приводятся следующие зависимости между отдельными эмоциями и изменениями частоты основного тона:

– контур частоты основного тона – $F_0 \text{ cont.}$ (динамика изменения положения частоты основного тона за определенный отрезок времени, в данном примере – 1,5 сек). Для «нейтралы» характерна ровная и постоянная форма контура, для «гнева» – значительно более высокая и выпуклая, с резкими пиками, для «печали» – относительно плоская и несколько неустойчивая, для «страха» – подобная контуру «нейтралы», но очень изрезана, иногда с перепадом частоты (рисунок 1);

– среднее значение частоты основного тона – $F_0 \text{ mean.}$ Для «нейтралы» среднее значение частоты основного тона – 120 Гц, для «печали» оно понижается до 100 Гц, при «страхе» оно соответствует 140 Гц, при «ярости» поднимается до 200 Гц;

– диапазон изменения частоты основного тона – $F_0 \text{ range.}$ Самый широкий диапазон изменения фундаментальной частоты характерен для гнева – он составляет около 140 Гц, диапазоны изменения фундаментальной частоты при «нейтралы» и «печали» похожи – около 60 Гц, но среднее значение частоты основного тона для «нейтралы» выше, при «страхе» диапазон изменений фундаментальной частоты – около 80 Гц.

На рисунке 2 изображены контуры изменения частоты основного тона эмоционально окрашенной речи.

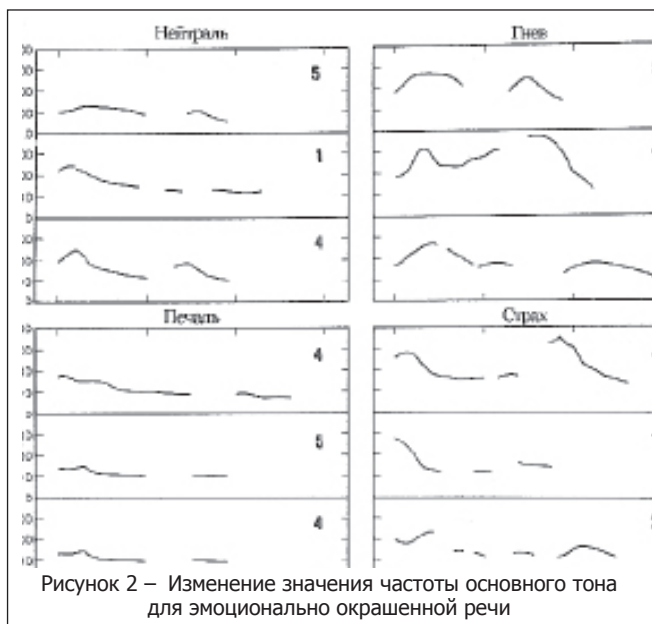
Джитер позволяет оценить изменения частоты основного тона при переходе от одного кратковременного фрейма к другому или модуляцию частоты основного тона. Измеряется на стабильном фрагменте продолжительного гласного звука и вычисляется согласно выражению [8]:

$$Jitter = \frac{|T_i - T_{i+1}|}{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N T_i}, \quad (1)$$

где T_i – период частоты основного тона для кратковременного фрейма, N – полное количество фреймов.

Джитер принимает следующие значения при анализе эмоционально окрашенной речи: глубина модуляции для нейтральной речи равна 1,9%, для «гнева» – от 2,8% до 9,5%, для «счастья» – 4,5%, для «грусти» – 1,8%.

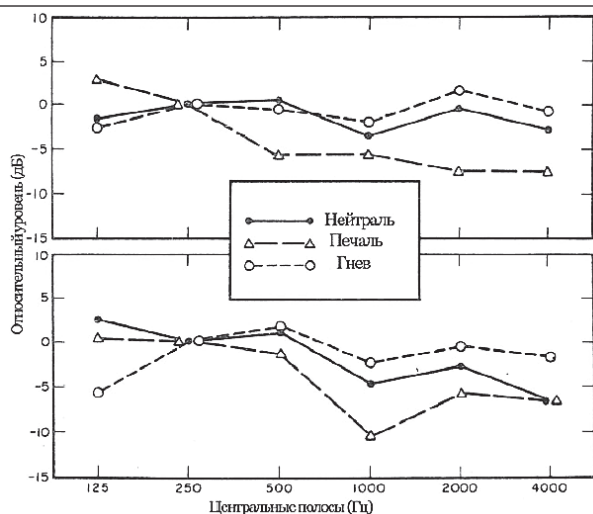
Спектральные характеристики позволяют анализировать частотный состав речевого сигнала, распределение энергии по частотам. В настоящее время ведется исследование широкого множества различных признаков, таких как MFCC различными вариациями, GFCC, PLP, LPC. Также используются статистические спектральные параметры, такие как изменение долговременного статистического спектра [7]. При «печали» в голосе наблюдается наименьшее количество



обертонов, и резкое уменьшение высокочастотной энергии (до -10 дБ по сравнению с «нейтралью»), при «ярости» – наибольшее количество обертонов и увеличение высокочастотной энергии (до 5 дБ по сравнению с «нейтралью»). При выражении «страха» долговременный статистический спектр похож на «нейтраль». На рисунке 3 изображены соответствующие изменения статистических параметров спектра.

Мел-кепстральные коэффициенты были описаны в предыдущей статье. GFCC (greenwood frequency cepstral coefficients) является обобщенным видом MFCC с использованием Greenwood функции [9] для представления частотного диапазона.

В качестве энергетических признаков выступает кратковременная энергия, а также ее различные вариации. Одним из наиболее используемых признаков является шиммер, который позволяет оценивать изменения пиковых значений амплитуд при переходе от одного краткосрочного фрейма к другому или амплитудную модуляцию речевого сигнала. Измеряется на стабильном фрагменте



продолжительного гласного звука и вычисляется согласно выражению [8]:

$$Shimmer = \frac{|A_i - A_{i+1}|}{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N A_i} \quad (2)$$

где N_i – период частоты основного тона для кратковременного фрейма. Для эмоционально окрашенной речи человека получены следующие значения: глубина модуляции для «нейтрали» составляет 0,9 дБ, для «гнева» – от 1,2 дБ до 1,7 дБ, для «счастья» – 1,2 дБ, для «грусти» – 0,8 дБ.

В [7] темпо-ритмические параметры речи отражают скорость произнесения, временные параметры отдельных звуков или отдельных слов. В [7] приведены следующие значения темпо-ритмических параметров эмоционально окрашенной речи: число звуков в секунду составляет 4,31 для нейтральной речи, 4,15 – для «ярости», 3,8 – для «страха» и 1,91 – для «печали». При «страхе» ударные гласные – короткие, при «ярости» увеличивается длительность согласных.

Для распознавания/анализа/классификации эмоций диктора используются различные модели:

- марковские модели [10–11], к преимуществам которых можно отнести возможность учета временных изменений, хорошо развитые теоретический базис и опыт практического применения; к недостаткам относится сложность обработки длинных цепей. Марковские модели могут быть как одноканальными, так и многоканальными [12] (рисунок 4);

- модели на основе различных классификаторов, предназначенные для обработки многомерных данных [12] (табл.1);

- смеси гауссовых распределений [13]. Их преимущества: возможность моделирования сложных распределений значений вектора признаков, простота моделирования [14]. Недостатки: необходим значительный объем обучающих данных;

- нейронные сети [15] (рисунок 5). Их преимущества: эффективное решение, когда задача не может быть строго формализована [16]. Недостатки: длительное обучение модели.

Для оценки эффективности работы алгоритмов по распознаванию эмоций были созданы специальные базы данных, где собраны записи с различными эмоциями. Основные отличия между ними:

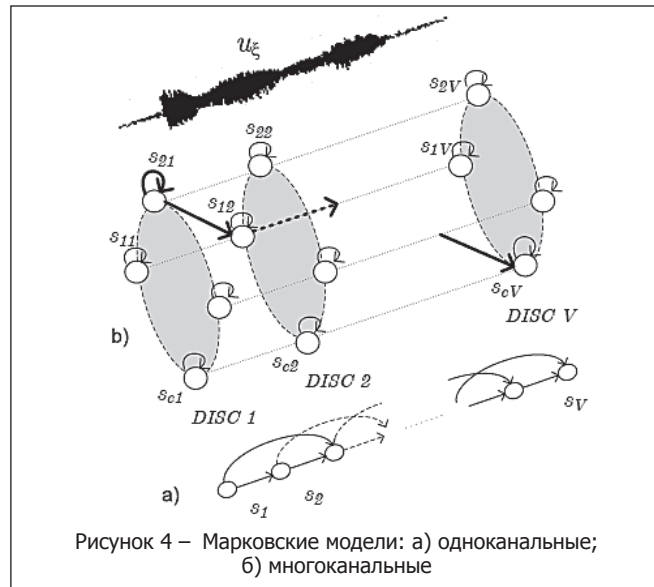


Таблица 1

Classifier		References
With pdf modeling	Bayes classifier using one Gaussian pdf	Dellaert et al. (1996); Schüller et al. (2004)
	Bayes classifier using one Gaussian pdf with linear discriminant analysis	France et al. (2000); Lee and Narayanan (2005)
	Bayes classifier using pdfs estimated by Parzen windows	Dellaert et al. (1996); Ververidis et al. (2004a)
	Bayes classifier using a mixture of Gaussian pdfs	Slaney and McRoberts (2003); Schüller et al. (2004); Jiang and Cai (2004); Ververidis and Kotropoulos (2005)
Without pdf modeling	K-Nearest Neighbors	Dellaert et al. (1996); Petrushin (1999); Picard et al. (2001)
	Support Vector Machines	McGilloway et al. (2000); Fernandez and Picard (2003); Kwon et al. (2003)
	Artificial Neural Networks	Petrushin (1999); Tato (2002); Shi et al. (2003); Fernandez and Picard (2003); Schüller et al. (2004)

- запись эмоций естественных или симулированных;
- количество различных эмоций;
- язык;
- платная/бесплатная форма распространения.

В работе [17] был произведен обзор наиболее доступных и используемых баз для различных языков.

2. Семантические подходы при анализе речи человека

Речь человека является сложным процессом, с помощью которого осуществляется передача информации. Поскольку речь является главным способом обмена информацией, то автоматическая обработка и понимание человеческой речи является актуальной задачей в наше время в связи с бурным развитием вычислительной техники. Однако автоматическое извлечение заложенной в речи человека информации является сложнейшей научной и технической задачей. Для получения смысловой составляющей человеческой речи используются различные семантические алгоритмы, основанные на различных моделях языка, его статистических

и других особенностях и свойствах. Рассмотрим наиболее эффективные и широко используемые алгоритмы и модели анализа речи человека.

2.1. N-граммные модели

Несмотря на свою простоту, N-граммные модели показали свою эффективность в различных областях автоматической обработки речи и языка человека. Основой для построения N-граммной модели является предположение, что речь состоит из отдельных блоков w_i (чаще всего слов), которые появляются последовательно и появление следующего зависит от $n - 1$ предыдущих блоков (слов). Математическая формулировка для нахождения вероятности появления следующего блока, если известны предыдущие, определяется следующим выражением [18]:

$$P(w_i | w_1 \dots w_{i-1}) \approx P(w_i | w_{i-(n-1)} \dots w_{i-1}). \quad (3)$$

В настоящее время используются следующие модели:

- юни-граммные модели, $n=1$;
- би-граммные модели, $n=2$;
- три-граммные модели, $n=3$.

Использование N-граммных моделей более высоких порядков осложнено огромной вычислительной сложностью модели.

Вероятность появления N-грамма $w_{i-(n-1)} \dots w_i$ может быть оценена с помощью анализа обучающих текстов. Тогда, если $C(w_{i-(n-1)} \dots w_i)$ – число появлений последовательности $w_{i-(n-1)} \dots w_i$ в обучающих текстах, то может быть записана следующая оценка [18]:

$$P(w_i | w_{i-(n-1)} \dots w_{i-1}) \approx \frac{C(w_{i-(n-1)} \dots w_i)}{C(w_{i-(n-1)} \dots w_{i-1})}. \quad (4)$$

Выражение (4) называется функцией максимального правдоподобия, которая позволяет определить такую N-грамм последовательность, которая максимизирует вероятность того, что данная последовательность сгенерирована моделью. Но модель языка, полученная путем прямого вычисления (4), не является оптимальной и дает плохие результаты при анализе языка по следующим причинам:

- последовательность, которая отсутствует в обучающих текстах, получит нулевую вероятность и не будет распознана моделью;
- когда происходит оценка вероятности появления какой-то определенной маловероятной N-грамм последовательности, то ее оценка будет неточной.

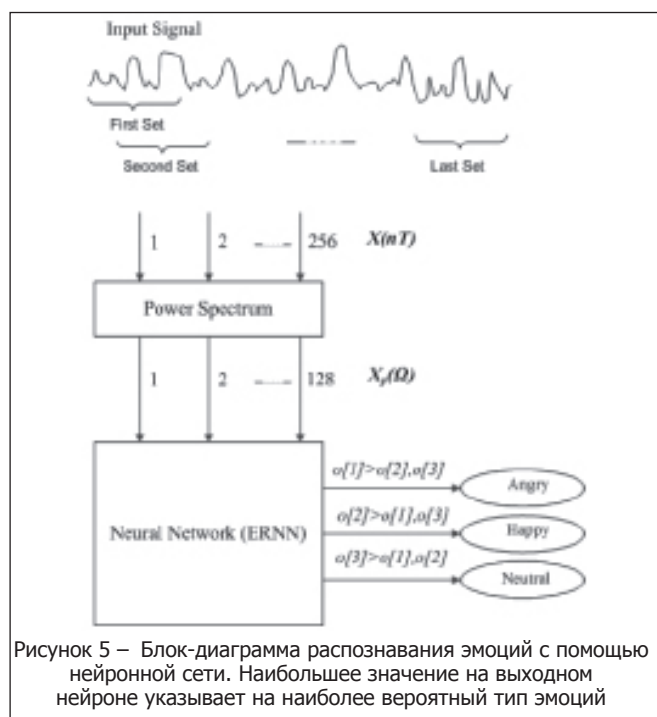


Рисунок 5 – Блок-диаграмма распознавания эмоций с помощью нейронной сети. Наибольшее значение на выходном нейроне указывает на наиболее вероятный тип эмоций

Для снижения влияния недостатков модели, полученной путем прямого вычисления, применяются различные методы сглаживания и интерполяции, задача которых состоит в перераспределении вероятностей от множества редко встречаемых последовательностей к последовательностям, которые не были встречены в обучающих текстах вообще. Наиболее старым методом является правило Лапласа, которое полагает, что каждая присутствующая и отсутствующая последовательность уже встречались однажды. Пусть $w_{i-(n-1)} \dots w_i$ или w_{i-n+1}^{j-1} N -грамм последовательность, тогда сглаженная вероятность по правилу Лапласа определяется следующим выражением:

$$P(w_i | w_{i-n+1}^{j-1}) = \frac{C(w_{i-n+1}^{j-1}) + 1}{C(w_{i-n+1}^{j-1}) + V}, \quad (5)$$

где V – размер словаря. Недостатком данного метода является то, что отсутствующие последовательности получают значительную часть вероятности появления [19]. Чтобы нивелировать данный факт, применяется адаптивный метод, где используется переменная $0 < \lambda \leq 1$:

$$P(w_i | w_{i-n+1}^{j-1}) = \frac{C(w_{i-n+1}^{j-1}) + \lambda}{C(w_{i-n+1}^{j-1}) + \lambda V}. \quad (6)$$

Для учета N -грамм, которые не представлены в обучающих текстах, применяется интерполяция между распределением более коротких и более длинных последовательностей. Общее выражение для интерполяции записывается следующим образом:

$$P_{inter}(w_i | w_{i-n+1}^{j-1}) = \alpha(w_i | w_{i-n+1}^{j-1}) + \gamma_{w_{i-n+1}^{j-1}} P_{inter}(w_i | w_{i-n+2}^{j-1}). \quad (7)$$

где $\alpha(w_i | w_{i-n+1}^{j-1})$ – сглаженная вероятность N -грамма, $\gamma_{w_{i-n+1}^{j-1}}$ – весовой коэффициент.

Модели на основе N -грамм имеют различные успешные применения при моделировании [20] и понимании [21] языка.

Достоинства этих моделей:

- относительная простота модели;
- эффективность практического применения;
- высокая скорость работы.

Недостатки:

- разреженность данных;
- практическая невозможность применять N -граммные модели порядков больше 3;
- пренебрежение связей слов в более длинных цепочках, чем N -граммная модель.

Схожей [22] с N -грамм моделью языка являются модели на основе деревьев принятия решений. Разница заключается лишь в параметризации модели и оценке ее параметров. Принцип использования дерева принятия решений заключается в том, что каждому возможному исходу принятия решения ассоциируется некоторая вероятность на основе контекста решения: $P(v|h)$, где $v \in V$ – элемент словаря, h – история или контекст решения. Вероятность $P(v|h)$ определяется с помощью последовательности испытаний (вопросов) $q_1 q_2 q_3 \dots q_n$ контекста, где испытание однозначно определяется его результатом. Каждое испытание представлено узлом дерева, а возможные его исходы определяются исходящими из него дочерними узлами. Узлы дерева, которые не имеют дочерних узлов, называются листьями дерева. Данные узлы ассоциированы с возможными уникальными принимаемыми решениями. Процесс работы дерева принятия решений заключается в построении пути от корневого узла

к листовому листу дерева. На рисунке 6 представлен пример древовидной модели языка [23].

Из сравнения [24] моделей на основе N -грамм и дерева принятых решений (с различными стратегиями построения дерева) можно сделать вывод, что N -грамм модели являются более предпочтительными.

Модели на основе деревьев принятых решений применяются для построения диалоговых систем [25], моделировании языка [26]. Их достоинства – относительная простота модели, а недостатки – необходимость в сложных критериях для построения оптимального дерева и значительных объемах данных для обучения [27].

2.2. Модели, основанные на семантических сетях

Семантическая сеть – это графическое представление знаний, основанное на связанных с помощью дуг понятий, явлений, процессов. Каждая дуга может иметь вес, который отражает частоту употребления той или иной связи, а также метку, которая отражает тип связи между отдельными понятиями или свойствами. Первые компьютерные реализации семантических сетей были предназначены для искусственного интеллекта и машинного перевода. Более ранние версии долгое время использовались в философии, психологии и лингвистике.

Не существует строго формализованных связей в семантической сети, но можно выделить следующие наиболее общие и часто употребляемые связи:

– INSTANCE (экземпляр): если X является экземпляром Y , то X является сущностью общего понятия Y . Пример: Мушкетер INSTANCE человек. Мушкетер является экземпляром человека;

– IS-A: если X IS-A Y , то X является подмножеством более общего понятия Y . То есть $X \subseteq Y$. Пример: Воробей IS-A птица. Воробей $\subseteq$ птиц;

– HASPART: X HASPART Y , то понятие Y является частью понятия X . Пример: Воробей HASPART хвост. Хвост является частью воробья;

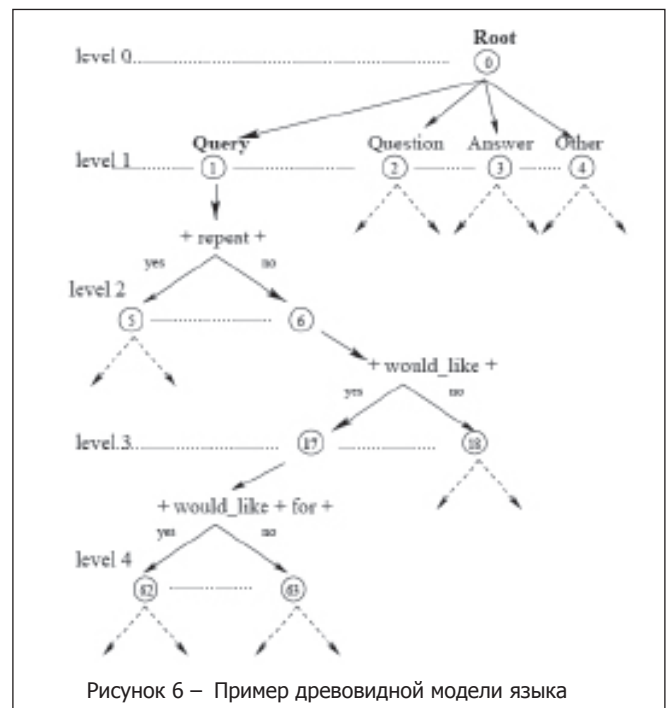


Рисунок 6 – Пример древовидной модели языка

– CAN (CANNOT): X CAN (CANNOT) Y, то X может осуществлять/выполнять/реализовывать Y. Пример: Воробей CAN (CANNOT) летать. Воробей может (не может) летать.

На рисунке 7 приведена модель семантической сети с изображенными типами связей.

Одним из главных свойств, применяемых в семантических сетях, является наследование, которое может быть реализовано с помощью связей типа IS-A. Общий принцип применения наследования заключается в том, что если понятие X имеет свойство P, то и все потомки X (подмножество X, так как связь типа IS-A) имеют свойство P. Значения наследованных свойств принято считать значениями по умолчанию. Если же наследованное значение свойства имеет прямую ссылку на новое значение, то наследованное значение переписывается новым. Допускается также множественное наследование, которое может вызывать конфликты в свойствах понятий. Для решения подобных смысловых противоречий применяются специальные стратегии решения конфликтов.

Семантические сети получили широкое применение в настоящее время, так создана крупнейшая семантическая сеть для английского языка WordNet [28], RussNet [29] и др. Семантические сети применяются в таких областях, как извлечение информации [30] для представления знаний [31], анализа содержания и понимания языка [32].

Недостатками семантических сетей являются:

- множественное наследование приводит к конфликтам;
- нет стандарта для определения отношений между узлами сети (понятиями), узлов сети;
- не позволяет отображать последовательность понятий, их временную связь;
- сложность сети при расширении.

Преимущества семантических сетей:

- семантическая сеть позволяет просто и наглядно отображать знания/понятия;

– представление знаний с помощью семантических сетей легко для понимания и дальнейшей поддержки;

– связанные отношениями знания/понятия легко могут быть кластеризованы;

– легкость реализации на объектно-ориентированном языке.

2.3. Фреймовые модели

Предположив, что формализованные предметные области допускают построение их концептуально-логической модели в виде некоторой иерархической схемы, для реализации такой информационной структуры разумно использовать фреймовую модель представления знаний. Теория представления знаний с помощью фреймов была разработана М. Минским в 70-е г. 20 в. В ее основе лежит модель восприятия фактов человеком посредством сопоставления полученной из вне информации с конкретными элементами и значениями, а также с рамками, определенными для каждого объекта в памяти человека.

Под фреймом (рисунок 8) понимается формализованная модель для отображения образа или ситуации. Из данного образа ничего нельзя убрать, в противном случае представляемая предметная область теряет свой первоначальный смысл, но при этом в данном образе можно заполнить значения некоторых атрибутов, слотов, при которых она (модель) становится конкретным описанием какого-то знания. Каждый слот имеет имя, уникальное в рамках конкретного фрейма. Формальная структура фрейма имеет вид:

$$F[< N_1; V_1 >, < N_2; V_2 >, < N_k; V_k >], \quad (8)$$

где F – имя фрейма; $< N_i; V_i >$ – i -ый слот, N_i – имя слота i -го слота, V_i – значение i -го слота.

На рисунке 8: «Лекция» – название фрейма, «Предмет», «Лектор», «Аудитория», «Слушатели» – названия слотов,

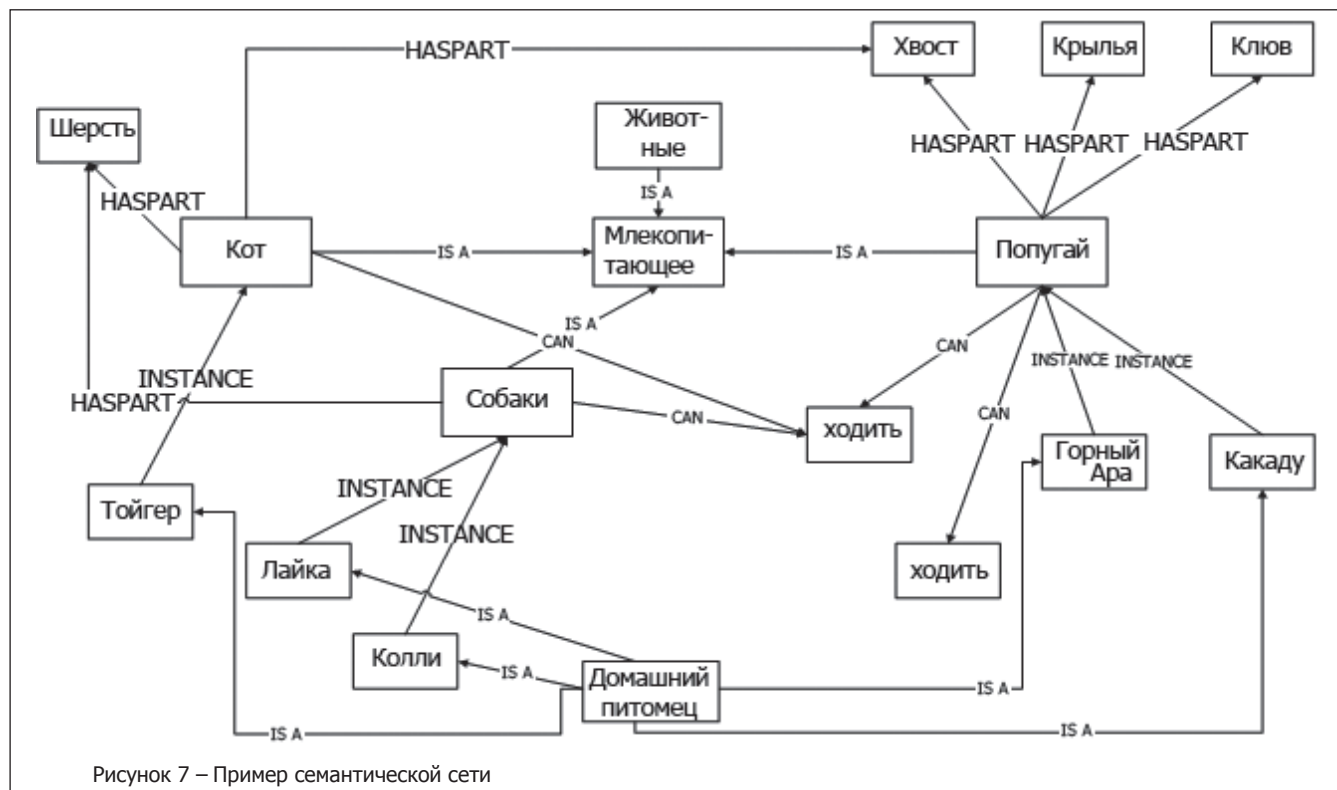


Рисунок 7 – Пример семантической сети

«Физика», «Поляков А.В.», «115», «100» – значения соответствующих слотов. Кроме того, фрейм может содержать процедуры, которые будут выполняться при определенных условиях, например, при записи или удалении информации из слота, при обращении к слоту, в котором отсутствуют данные и т.д. С каждым слотом может быть связано любое количество процедур.

Между различными концептуальными объектами существуют некоторые аналогии, в результате чего и фреймы, представляющие такие образы, выстраиваются в иерархическую систему с классификационными и обобщающими свойствами. При этом сложные объекты представляются комбинацией нескольких фреймов – вложенными фреймами. Свойством сети фреймов, заимствованным из семантических сетей, является наличие АКО-связей (A-Kind-Of), которые связывают фреймы с фреймами, находящимися на уровень выше в иерархии, откуда неявно наследуются (переносятся) значения слотов. Каждый фрейм имеет уникальное имя (идентификатор) в пределах системы фреймов. На рисунке 9 представлена система фреймов.

Такая структура позволяет систематизировать большой объем информации, оставляя ее при этом максимально удобной для использования. Кроме того, система (сеть) фреймов способна отражать концептуальную основу организации памяти человека.

Недостатки фреймовой модели: сложность описания отрицаний, дизъюнкций, измерения, а преимущества следующие:

- понятия, процессы могут быть эффективно структурированы;
- легкие масштабируемость и расширяемость;
- возможность отображать как семантические, так и процедурные знания;
- простота реализации на объектно-ориентированном языке;
- позволяет присваивать слотам значения по умолчанию.

2.4. Латентный семантический анализ

Одним из эффективных методов, позволяющих получать данные о смысле приведенного контекста, является метод латентного семантического анализа (ЛСА).

ЛСА позволяет выявлять значения слов с учетом контекста их использования путем анализа большого набора текстов. Вследствие сложных смысловых связей

Лекция	
Предмет	Физика
Лектор	Поляков А. В.
Аудитория	115
Слушатели	100

Рисунок 8 – Пример фрейма

Лектор		Человек	
АКО	Человек	АКО	Млекопитающее
Образование	Высшее	Умеет	Мыслить
Возраст	35	Температура тела	36.6
Млекопитающее			
АКО	Животное		
Умеет	Добывать пищу		
Количество хромосом	23		

Рисунок 9 – Система фреймов

отдельных слов в языке, уже не достаточно найти отображение отдельных слов/выражений на отдельные понятия, а необходимо анализировать употребление как отдельных слов, так и целых групп в большом количестве контекстов, что позволяет сделать вывод о смысловой близости слов/выражений. При анализе текстов на естественном языке возникают две основные сложности, которые необходимо учитывать:

- синонимия (одно значение – много слов);
- полисемия (одно слово – много значений).

Базисом для построения латентного семантического анализа является матрица употребляемости, в которой для определенности столбцы соответствуют отдельным текстам (контекстам), а строки отдельным словам, которые встречаются в анализируемых контекстах. Пусть матрица A – матрица употребляемости, где произвольный элемент a_{ij} отражает употребление i -го слова в j -ом тексте. Строка a_i отражает употребление отдельного слова в различных контекстах. Столбец a_j отражает употребление слов в отдельно взятом контексте. Для снижения влияния размера текста на количество употреблений применяется нормализация – число употреблений отдельного слова, поделенное на общее число слов в анализируемом тексте:

$$\tilde{a}_{ij} = \frac{a_{ij}}{L_j} \quad (9)$$

Применение матрицы A в ее первоначальном виде, как было описано выше, сопряжено со следующими сложностями:

- матрица имеет значительные размеры, что повышает вычислительную сложность ее дальнейшей обработки;
- матрица сильно разрежена, ввиду того, что язык имеет значительный размер словаря и появление отдельно взятого слова достаточно редко;
- наличие слов не характерных для контекста, в котором они используются. Таким образом, происходит «зашумление» матрицы употребляемости случайными словами и словами паразитами.

Для решения описанных технических задач применяется сингулярное преобразование для аппроксимации исходной матрицы матрицей меньшего размера или ранга. При такой аппроксимации происходит слияние близких (в смысловом отношении) размерностей, что приводит к лексическому сжатию. Доказано, что любую вещественную прямоугольную матрицу можно разложить на произведение трех отдельных матриц:

$$A = USV^T, \quad (10)$$

где U и V – ортогональные матрицы, S – квадратная диагональная матрица, значения на диагонали которой называются сингулярными числами. Если переставить строки в S таким образом, чтобы сингулярные числа стояли бы по убыванию, оставить первые k строк, а также переставить соответствующие строки в U и V , то новое произведение матриц будет наилучшим приближением ранга k :

$$A_k = U_k S_k V_k^T. \quad (11)$$

Таким образом, латентный анализ позволяет осуществить семантическое сжатие и представить контексты в, так называемом, пространстве гипотез.

Преимущества латентного семантического анализа:

- учитывает синонимию и полисемию;
- легкость построения матрицы употребляемости;
- позволяет выявлять латентные (скрытые) связи в не-котором корпусе текстов;
- может использоваться как с обучением, так и без – для кластеризации текстов.

Недостатки:

- при значительных размерах исходной матрицы, вычисление сингулярного разложения может быть сопряжено со значительными вычислительными сложностями;
- оценка употребляемости слов в контекстах является некорректной в силу предположения, что употребляемость слов подчиняется нормальному распределению, хотя фактически подчиняется распределению Пуассона. Для нивелирования данного недостатка разработан вероятностный латентный анализ.

Литература

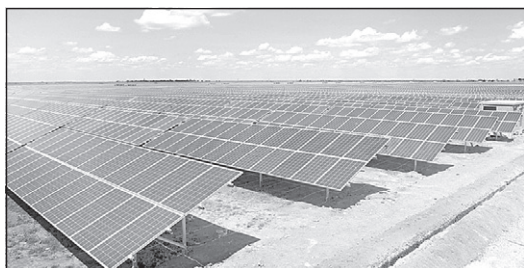
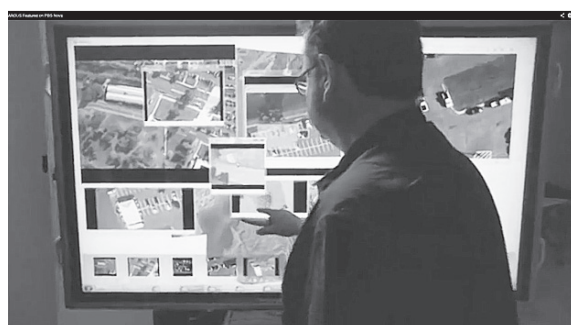
1. Шестопалов А. Как работает речевой тракт человека / А. Шестопалов // Как работают вещи: статьи и обзоры век [Электронный ресурс]. – 2011. – Режим доступа: <http://howitworks.iknowit.ru/paper1050.html>. – Дата доступа: 08.08.2011.
2. Википедия [Электронный ресурс] / Википедия. – Режим доступа: <http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%AD%D0%BC%D0%BE%D1%86%D0%B8%D1%8F>. – Дата доступа: 11.09.2011.
3. Центр речевых технологий [Электронный ресурс] / Центр Речевых технологий. – Минск. – Режим доступа: <http://speetech.by/press/analytics/6> – Дата доступа: 11.09.2011.
4. Speech Emotion Recognition for Affective Human–Robot Interaction: proceedings of the SPECOM'2006, St. Petersburg. – June 25–29. – 2006.
5. Comparing Feature Sets For Acted And Spontaneous Speech In View Of Automatic Emotion Recognition: proceedings of the IEEE International Conference on Multimedia and Expo. 2005.
6. Speech Emotion Recognition Combining Acoustic Features And Linguistic Information In A Hybrid Support Vector Machine – Belief Network Architecture: proceedings of the IEEE International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing. – 2004.
7. Романенко В.О. Эмоциональные характеристики речи и их связь с акустическими параметрами / В.О. Романенко // Общество. Среда. Развитие. – 2010. – № 4. – С. 119–123.
8. Stress And Emotion Classification Using Jitter And Shimmer Features: proceedings of the IEEE International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing. – 2007.
9. Generalized Perceptual Features For Vocalization Analysis Across Multiple Species: proceedings of the IEEE International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing. – 2006.
10. Hidden Markov Model–Based Speech Emotion Recognition: proceedings of the IEEE International Conference on Acoustics, Speech, & Signal Processing. – Hong Kong. – April 6–10. – 2003.
11. Speech Emotion Recognition Using Hidden Markov Models: proceedings of the Eurospeech'2001. – 2001.
12. Ververidis Dimitrios. Emotional speech recognition: Resources, features, and methods / Dimitrios Ververidis and Constantine Kotropoulos // Speech Communication. – 2006. – Vol. 48. – No. 9. – P. 1162–1181.
13. Emotion Recognition in Spontaneous Speech Using GMMs: proceedings of the International Conference on Spoken Language Processing. – 2006.
14. A Hybrid PNN–GMM Classification Scheme for Speech Emotion Recognition: proceedings of the 19th International Conference on Pattern recognition. – 2008.
15. A Neural Network Approach For Human Emotion Recognition In Speech: proceedings of the IEEE International Symposium on Circuits and Systems. – 2004.
16. Unluturk Mehmet S. A Comparison of Neural Networks for Real–Time Emotion Recognition from Speech Signals // Mehmet S. Unluturk, Kaya Oguz, Coskun Atay // Wseas Transactions On Signal Processing. – 2009. – Vol. 5. – No. 3.
17. A Review of Emotional Speech Databases: proceedings of the 9th Panhellenic Conference on Informatics. – 2003. – P. 560–574.
18. Goodman Joshua T. Bit of Progress in Language Modeling / Joshua T. Goodman // Technical Report MSR–TR–2001–72. – 2001.
19. Manning C. D. Foundations of Statistical Natural Language Processing / C. D. Manning and H. Schütze // The MIT Press. – Cambridge. – 1999.
20. Roark Brian. Discriminative N–gram Language modelin / Brian Roark. – 2010. – 30. (Preprint / Elsevier Science).
21. Wang Nick J. C. Spoken Language Understanding Using Layered N–gram Modeling: proceedings of the Interspeech. – 2005.
22. Statistical Decision–Tree Models for Parsing: proceedings of the 33rd Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics. – 1995.
23. Tree–based Language Model dedicated to Natural Spoken Dialog systems: proceedings of the Adaptation Methods for Automatic Speech Recognition.
24. Potamianos Gerasimos. A Study of N–Gram and Decision Tree Letter Language Modeling Methods / Gerasimos Potamianos, Frederick Jelinek // Speech Communication. – 1998. – Vol. 24. – No. 3. – p. 171–192.
25. Ali S. A. K–Mean Clustering to Improve the Accuracy of Decision Tree Response Classification / A. S. Ali, N. Sulaiman // Information Technology Journal. – 2009. – Vol. 8. – No. 8. – p. 1256–1262.
26. Tree–based Target Language Modeling: proceedings of the European Association for Machine Translation. – 2009.
27. Холоденко А.Б. О построении статистических языковых моделей для систем распознавания русской речи / А.Б. Холоденко // Интеллектуальные системы. – 2001. – том 6. – №1–4.
28. WordNet [Electronic Resource] / Princeton University. – access mode: <http://wordnet.princeton.edu/wordnet/download/>. – access date: 21.09.2011.
29. RussNet [Electronic Resource]. – access mode: <http://project.phil.pu.ru/RussNet/database.shtml>. – access date: 21.09.2011.
30. Gaizauskas Robert. Using a semantic network for information extraction / Robert Gaizauskas, Kevin Humphreys // Natural Language Engineering. – 1997. – vol. 3. – no. 2/3. – p. 147–169.
31. Multilayered Extended Semantic Networks as a Language for Meaning Representation in NLP Systems: proceedings of the Third International Conference on Computational Linguistics and Intelligent Text Processing.
32. Natural Language Understanding Using Word Type Disambiguation And Semantic Networks [Electronic Resource]. – access mode: <http://www.tsert.com/white-papers/nlp.pdf>. – access date.: 21.09.2011.

НОВОЕ ПОКОЛЕНИЕ ШПИОНСКИХ ВИДЕОКАМЕР

Инженер Яннис Антониадис, владелец компании DARPA, разработал новый сенсор «ARGUS-IS» (Autonomous Real-time Ground Ubiquitous Surveillance – Imaging System) с разрешением 1.8 гигапикселей. Это самая чувствительная камера в мире. Когда Антониадис разрабатывал эту камеру, его инвестор потребовал, чтобы камера была дешевой. Яннис использовал для создания «ARGUS-IS» обычный мобильник, из которого извлек чип – видеокамеру – и, соединив 368 таких чипов, получил новую видеокамеру с уникальной разрешающей способностью. Она размещается на беспилотнике в нижней части фюзеляжа. Некоторые детали, естественно, являются секретными и не показаны. Она позволяет различать мельчайшие детали города среднего размера. На картинке показана часть города, площадью 15 квадратных миль, в штате Вирджиния, снятая с высоты 17500 футов (5500 м). Специально разработанное про-

граммное обеспечение позволяет компьютеру управлять камерой на беспилотнике и выбирать любой масштаб изображения. Программа в компьютере делает возможным различать движущиеся и неподвижные объекты, а также делать селекцию принадлежности объекта (автомобиль, человек и т.д.), отмечать его на дисплее маркером и следить за ним. Разрешение камеры настолько высокое, что различает даже цвет и фасон одежды на человеке, как он передвигается, машет руками и т.д. На компьютере можно одновременно наблюдать за 65 участками и различать предметы размером 6 инчей (15 см). Можно сохранить эти видео в течение 5000 часов. Для того, чтобы круглосуточно наблюдать за земной поверхностью, создается специальный беспилотник, который может держаться в воздухе 24 часа в сутки.

«AWARE-2, The Gigapixel Camera»



ООО «ЭкоСнабГрупп»



220118, г. Минск,
ул. Машиностроителей,
д. 29, офис 236.
www.esg.by
info@esg.by

Энергосберегающие системы
Системы экономии газа
Альтернативные источники энергии

Тел/факс: +375(17)387 0299,
GSM: +375 29 223 0732,
+375 29 394 8594,
+375 33 333 0303

ОБНАРУЖЕНИЕ И ЛОКАЛИЗАЦИЯ ЛИЦ В СИСТЕМЕ ВИДЕОНАБЛЮДЕНИЯ

УДК 004.921

А.А. Синица, Л.В. Калацкая, г. Минск

Аннотация

Основная цель данной работы – создание и реализация простого и эффективного алгоритма обнаружения и локализации лиц на изображениях, который может легко интегрироваться с различными алгоритмами идентификации лиц в системах видеонаблюдения. Предложенный алгоритм использует локальные бинарные шаблоны (далее – ЛБШ) – каскад классификаторов Хаара.

Введение

В машинном зрении часто решаются две задачи при обнаружении лица – локализация лица и отслеживание перемещения лица. Локализация лица является упрощенным вариантом задачи обнаружения, так как опирается на знание о том, что на изображении присутствует одно и только одно лицо. Задачу отслеживания перемещения лица в видеопотоке можно сформулировать, как задачу локализации лица на текущем кадре, опираясь на информацию о его положении на предыдущих кадрах.

Последние десять лет в этой области ведутся активные разработки и используются подходы, основанные на методе главных компонент, методах с использованием гистограмм, нейронных и байесовских сетях, алгоритме Нааг, статистических методах и т.д.

При всем многообразии различных алгоритмов и методов обнаружения все они включают следующие три составляющие:

- преобразование исходного изображения в начальное представление (может включать в себя как предобработку, так и математические преобразования, например, вычисление главных компонент);
- выделение ключевых характеристик (например, берутся первые n главные компоненты или n коэффициентов дискретного косинусного преобразования);
- механизм классификации (моделирования): кластерная модель, метрика, нейронная сеть и т.п.

Существующие методы локализации и отслеживания лица обладают рядом существенных недостатков. К ним можно отнести зависимость от ориентации и масштаба лица, зависимость от условий съемки, высокую вычислительную сложность алгоритмов, сложность формирования тренировочных наборов изображений для обучения.

Исходя из вышесказанного, можно сформулировать следующие основные цели данной работы:

- анализ существующих алгоритмов обнаружения лиц на изображениях;
- разработка и программная реализация алгоритма обнаружения и локализации лиц на групповых изображениях систем видеонаблюдения, способного работать в реальном времени.

Каскад классификаторов Хаара

В основе формирования каскада классификаторов Хаара лежит алгоритм *adaptive boosting*'а (адаптивного усиления) или сокращенно *AdaBoost* [1]. Смысл

алгоритма заключается в том, что если имеется набор эталонных объектов, т.е. их значения и класс, к которому они принадлежат (например, -1 – нет лица, $+1$ – есть лицо), и имеется множество простых классификаторов, то можно составить один более совершенный и мощный классификатор. При этом в процессе составления или обучения финального классификатора акцент делается на эталоны, которые распознаются «хуже». В этом и заключается адаптивность алгоритма, так как в процессе обучения он подстраивается под наиболее «сложные» объекты.

С учетом того, что обнаруживаемые лица могут быть разной формы, цвета, угла наклона, в роли признака для классификации предлагается использовать так называемые *haar-like features* – примитивы (рисунок 1).

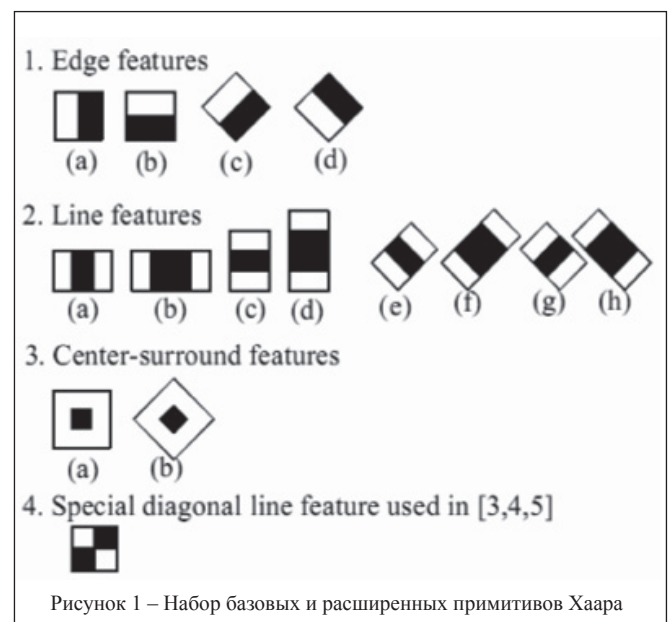


Рисунок 1 – Набор базовых и расширенных примитивов Хаара

Значением каждого примитива является разница сумм значений точек в белой и черной областях. Принцип работы примитива следующий: на эталонное изображение накладывается какой-либо из примитивов, например, 1а. Далее вычисляются суммы значений пикселей в белой области примитива (левая часть) и черной области (правая часть), и вычитается из первой суммы вторая. В итоге, вычисляется обобщенная характеристика анизотропии некоторого участка исследуемого изображения.

Однако даже для небольшого изображения количество накладываемых примитивов очень велико. Если взять изображение размером 320×240 , а размер сегмента изображения 24×24 и количество кадров в секунду 15, то количество примитивов в секунду составит около 950 000. Задача алгоритма *AdaBoost* выбрать те примитивы, которые наиболее эффективно выделяют данный объект (рисунок 2).

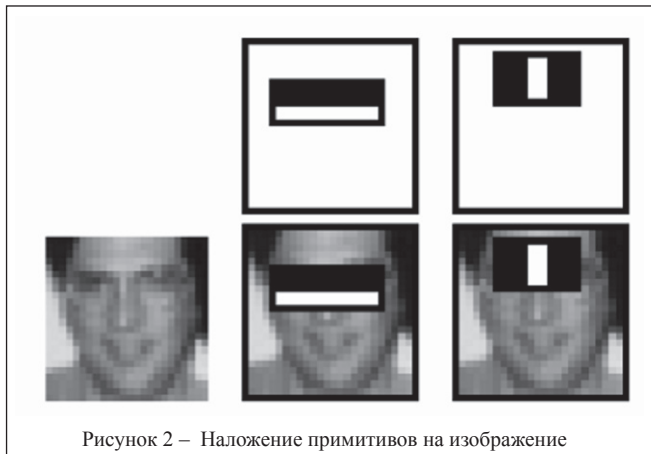


Рисунок 2 – Наложение примитивов на изображение

Для объекта (слева) алгоритм выбрал два примитива. Примитивы этой конфигурации и размеров наиболее лучшим образом «характеризуют» данное изображение.

На основе таких классификаторов с отобранными наиболее эффективными примитивами строится каскад [3]. Каждый последующий элемент каскада имеет более жесткие условия успешного прохождения, чем предыдущий (используется больше примитивов). Первый классификатор устраняет большинство сегментов, не содержащих лиц, и передает на следующий уровень каскада сегменты, успешно прошедшие текущий уровень. Последующие уровни проводят уточнение, устраняя окончательно сегменты, не содержащие лица. После нескольких этапов обработки остаются только те сегменты, которые содержат изображение лица [4]. Таким образом, последующие классификаторы устраняют сегменты неправильно распознанные предыдущими классификаторами.

Локальные бинарные шаблоны

В работе предложено использовать локальные бинарные шаблоны для уточнения результатов, полученных с помощью каскада классификаторов Хаара.

ЛБШ представляет собой описание окрестности пикселя изображения в двоичной форме. Оператор ЛБШ, который применяется к пикселю изображения, использует восемь пикселей окрестности, принимая центральный пиксель в качестве порога. Пиксели, значения которых больше, чем значение центрального пикселя (или равное ему), принимают значения «1», а которые меньше центрального принимают значения «0». Таким образом, получается восьмиразрядный бинарный код, который описывает окрестность пикселя. Пример работы оператора ЛБШ над полутоновым изображением показан на рисунке 3.

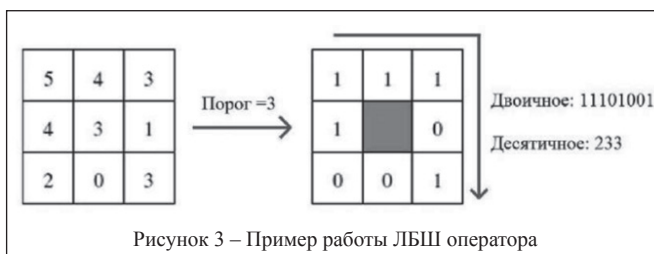
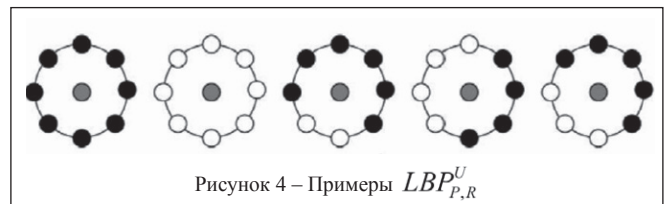


Рисунок 3 – Пример работы ЛБШ оператора

В работе [5] предложено для анализа изображения использовать не все ЛБШ, а только те, которым свойственно иметь не более двух переходов – с «1» в «0» или наоборот. Такие шаблоны называют uniform pattern. Обозначим их как $LBP_{P,R}^U$. Например, ЛБШ такие как – 11111111 или 00001111 обозначаются как $LBP_{P,R}^U$, а 10101010 или 11001100 – это НЕ- $LBP_{P,R}^U$. Использование имеет два преимущества. Во-первых, происходит экономия памяти, потому что при использовании $LBP_{P,R}^U$ для анализа изображения нужно лишь $P(P-1)+2$ ЛБШ, тогда как для представления всех $LBP_{P,R}$ нужно использовать 2^P ЛБШ. Во-вторых, $LBP_{P,R}^U$ определяют только важные локальные текстуры, такие, как концы линий, края, углы, пятна. Примеры таких $LBP_{P,R}^U$ приведены на рисунке 4, где светлыми кружками обозначены пиксели, значение которых равно «0», черными кружками обозначены пиксели, значение которых равно «1».

Рисунок 4 – Примеры $LBP_{P,R}^U$

В работе [6] описана модификация ЛБШ, в которой используют пиксели окрестности, находящиеся на некотором расстоянии от центрального пикселя. В этом случае пиксели окрестности лежат на круге с радиусом R . Количество точек этого круга может быть выбрано произвольно, обозначим их, как P . Для вычисления значений в этих точках для разных радиусов R и различного количества точек P используется билинейная интерполяция. Для представления ЛБШ с радиусом R и расстоянием P будем использовать обозначение $LBP_{P,R}$. На рисунке 5 представлены наборы пикселей окрестности для разных P и R .

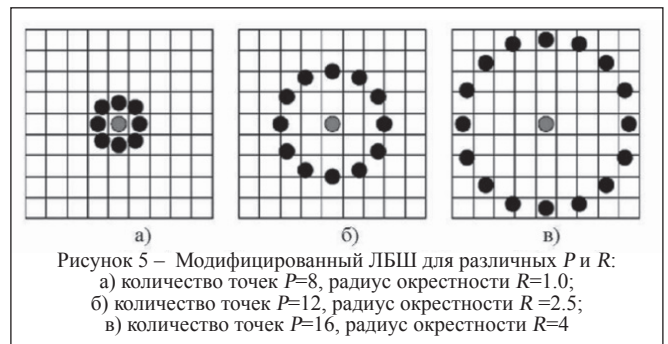
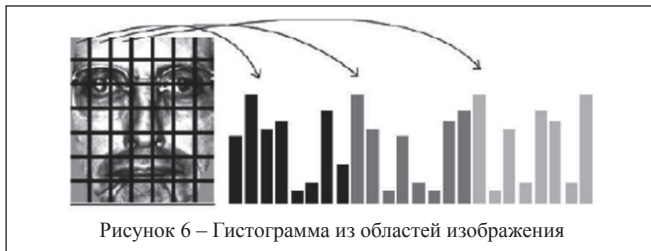


Рисунок 5 – Модифицированный ЛБШ для различных P и R :
 а) количество точек $P=8$, радиус окрестности $R=1.0$;
 б) количество точек $P=12$, радиус окрестности $R=2.5$;
 в) количество точек $P=16$, радиус окрестности $R=4$

Первоначально изображение лица делится на $k \times k$ областей. Потом в каждой области для каждого пикселя изображения вычисляется $LBP_{P,R}$ – код. При этом увеличивается на единицу значения столбца, который отвечает за этот код. Каждому $LBP_{P,R}$ – коду в гистограмме соответствует отдельный столбец. Таким образом, каждая гистограмма области состоит из $P(P-1)+2$ столбцов. После этого для представления глобального описания изображения лица все гистограммы областей объединяют в одну гистограмму. Эта гистограмма будет состоять из $k^2(P*(P-1)+2)$ столбцов и будет формировать вектор признаков лица. Пример разделения изображения лица на области и соответствующие этим областям гистограммы представлен на рисунке 6.



Для изображения размером $N \times M$ вектор признаков лица строится вычислением кода ЛБШ для каждой точки (x_c, y_c) , где $x_c \in \{R+1, \dots, N-R\} \in y_c \{R+1, \dots, N-R\}$. Если изображение разделено на $k_x \times k_y$ областей, гистограмма области (k_x, k_y) , где $k_x \in \{1, \dots, k\}$ и $k_y \in \{1, \dots, k\}$ будет определена, как:

$$H_i(k_x, k_y) = \sum_{x,y} I\{LBP_{P,R}(x,y) = L(i)\}, i = 1, \dots, P(P-1)+3, \quad (1)$$

где

$$x \in \begin{cases} \{R+1, \dots, N/k\} & k_x = 1 \\ \{(k_x - 1)(N/k + 1, \dots, N-R)\} & k_x = k, \\ \{(k_x - 1)(N/k + 1, \dots, k_x(N/k))\} & \text{иначе} \end{cases}$$

$$y \in \begin{cases} \{R+1, \dots, M/k\} & k_y = 1 \\ \{(k_y - 1)(M/k + 1, \dots, M-R)\} & k_y = k, \\ \{(k_y - 1)(M/k + 1, \dots, k_y(M/k))\} & \text{иначе} \end{cases}$$

и L название i -го столбика

$$L(i) = \begin{cases} 1, & i - \text{истина} \\ 0, & i - \text{ложь} \end{cases}$$

При классификации изображений лиц для нахождения наименьшего расстояния между гистограммами, которые представляют лица, используется расстояние хи-квадрат. Расстояние между изображениями S и M определяется по формуле:

$$\chi^2(S, M) = \sum_{j=1}^{k^2} \left(\sum_{i=1}^{P(P-1)+3} \frac{(S_{i,j} - M_{i,j})^2}{S_{i,j} + M_{i,j}} \right). \quad (2)$$

В формуле (2) $S_{i,j}$ и $M_{i,j}$ – это размеры столбца i из области j (количество появлений ЛБШ $L(i)$ в области j).

Так как некоторые области лиц (например, область глаз) могут нести более важную информацию, чем другие области, каждой области в зависимости от ее важности для распознавания могут быть присвоены веса.

При присвоении веса W_j области j формулу можно записать следующим образом:

$$\chi_w^2(S, M) = \sum_{j=1}^{k^2} w_j \left(\sum_{i=1}^{P(P-1)+3} \frac{(S_{i,j} - M_{i,j})^2}{S_{i,j} + M_{i,j}} \right). \quad (3)$$

В данной работе предложено использовать ЛБШ в форме эллипса (ЭЛБШ), то есть для формирования ЛБШ будут использоваться те пиксели окрестности, которые лежат на эллипсе относительно центрального пикселя. Обозначим больший радиус эллипса как A , меньший радиус как B , а количество точек в ЛБШ обозначим как m . Тогда координаты g_{ix} и g_{iy} для каждого пикселя окрестности g_i ($i=1, 2, \dots, m$) будут определены по формулам (4) и (5).

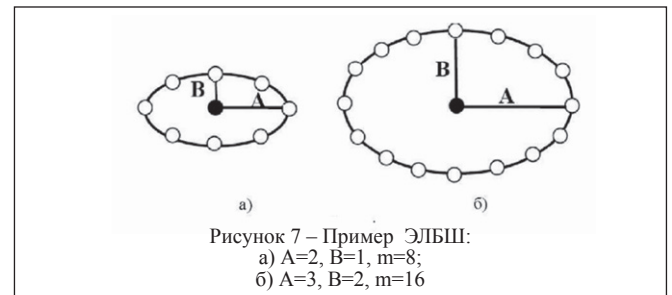
$$R_i = \sqrt{\frac{A^2 B^2}{A^2 \sin^2 \theta_i + B^2 \cos^2 \theta_i}}. \quad (4)$$

$$g_{ix} = R_i \cdot \cos \theta_i, \quad g_{iy} = R_i \cdot \sin \theta_i, \quad (5)$$

где

$$\theta_i = \left(\frac{360}{m} * (i-1) \right)^\circ.$$

На рисунке 7 представлен пример ЭЛБШ с разными значениями A , B и m .



Координаты точек окрестности не всегда попадают точно в центры пикселей, поэтому для вычисления значений этих точек используем билинейную интерполяцию. Вектор признаков ЭЛБШ одной области изображения лица будет формироваться по формуле (1). Для классификации изображений лиц в данной работе будут использоваться формулы (2) и (3). Для использования формулы (3) нужно задать вес некоторым областям лица. Вес областей w , подобранный эмпирическим путем, изображен на рисунке 8.



Алгоритм обнаружения и локализации лиц на групповых изображениях

Алгоритм должен выполнять обнаружение лица при условии:

- лицо может иметь различный цвет;
- лицо может иметь различный размер (он может меняться до трех раз);
- лицо имеет разный угол наклона (угол колеблется в пределах 30 градусов);
- лицо имеет случайное положение на изображении.

Структурная схема алгоритма представлена на рисунке 9. Все цветные изображения переводятся в полутоновые,



иначе, количество вариантов увеличивается в разы. Далее необходимо создать обучающую выборку изображений для каскада. Необходимо наличие как изображений лиц, так и наличие фоновых изображений без лиц. Обучающую выборку изображений лиц можно сделать двумя способами.

Во-первых, можно подать на обучение существующую базу изображений лиц, во-вторых, можно сгенерировать на основе одного эталонного объекта заданное количество случаев. В данной работе используется второй вариант. На основе 50 изображений, полученных с цифровой видеокамеры, при различных параметрах яркости, поворота и размера головы получена обучающая выборка, состоящая из 1000 изображений (рисунок 10).



Рисунок 10 – Пример тестовых изображений, содержащих лица

В качестве фоновых изображений (т.е. изображений на которых отсутствует искомый объект), используется 200 изображений природы и интерьеров (рисунок 11).

Далее необходимо создать каскад классификаторов для имеющейся базы объектов. Для этого используем модуль haartraining. В него передается много параметров, самыми важными из которых являются количество классификаторов в каскаде и максимально допустимая частота ложных срабатываний. AdaBoost является алгоритмом машинного обучения и может использоваться с другими алгоритмами обучения. AdaBoost является адаптивным в том смысле, что каждый следующий классификатор строится по объектам, неверно классифицированным предыдущими классификаторами. После каждого вызова обновляется распределение веса, который отвечает важности каждого из объектов обучения. На каждой итерации вес каждого неверно классифицированного



Рисунок 11 – Примеры тестовых изображений, не содержащих лица

объекта возрастает, таким образом, новый классификатор «фокусирует свое внимание» на этих объектах и лучше их идентифицирует. После обучения классификаторов, каскад готов к работе по обнаружению.

Изображения, на которых производится обнаружение лиц, берутся из видеопотока, получаемого с камеры в режиме реального времени. Для этого служит встроенная в MATLAB функция VCAPG2, которая использует Microsoft's DirectShow библиотеки. Из видеопотока берется один кадр для подачи его в каскад классификаторов. Как только данный кадр проходит весь каскад и на нем обнаружены лица, в каскад подается новый видеокادر. Из-за того, что обнаружение лиц на изображении при прохождении через каскад занимает некоторое время, в каскад подается только каждый 15-30 кадр.

После прохождения каскада классификаторов Хаара получены сегменты изображений с лицами. Сегменты изображений, которые содержат лица, поступают на обработку с помощью локальных бинарных шаблонов. Это делается для минимизации ошибки ложного обнаружения лица.

После этого на выходе мы получаем видеокادر, на котором обнаружено лицо. А так как после обработки первого кадра сразу же начинается распознавание последующего, то реализуется отслеживание положение лица в видеопотоке.

Предварительная обработка, ориентированная на нейросетевую классификацию, и алгоритм нейросетевой классификации

Изображения, которые будут в дальнейшем использоваться для обучения нейронной сети и для идентификации лица, получены с помощью цифровой видеокамеры.

Так как распознавание осуществляется по полутоновому изображению, то RGB-изображение преобразуется в монохромное. В среде MatLab преобразовать цветное изображение в полутоновое можно с помощью функции `rgb2gray`, при этом выходное изображение принадлежит классу исходного изображения.

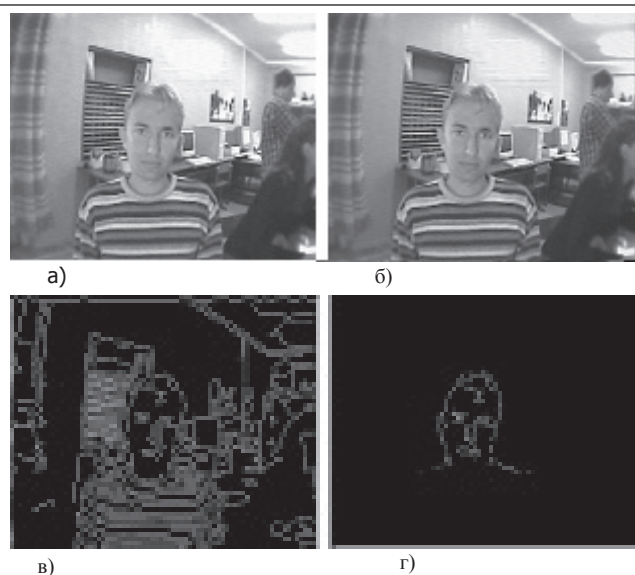


Рисунок 12 – Полный цикл обработки изображения:
а – исходное цифровое изображение;
б – полутоновое изображение;
в – изображение с выделенными контурами;
г – изображение, не содержащее лишних контуров, пригодное для дальнейшего использования

Для повышения точности работы алгоритма и устранения лишних контуров полутоновое изображение необходимо предварительно обработать. Для этого применяют различные преобразования яркости, такие как гамма-коррекцию, контрастное масштабирование, преобразование гистограмм. Гамма-коррекцию в MATLAB осуществляет функция `imadjust`. С помощью этой функции получают негативы исходных изображений, изображения с расширенной интенсивностью и контрастностью.

Распознавание осуществляется по контурам лиц. Для выделения контуров в системе MATLAB используется функция `edge`. Для обнаружения границ человеческого лица может использоваться несколько методов: метод Канни, метод пересечения по нулям, метод, использующий фильтр лапласиан-гауссиан.

Наиболее целесообразно использовать для определения границ метод Канни. Суть метода состоит в поиске локальных участков с перепадами яркости. Перепады яркости по каждому из направлений ищутся с помощью одномерного фильтра лапласиан-гауссиана. В методе Канни для классификации перепадов на «слабые» и «сильные» используется два порога – нижний и верхний. «Слабые» границы отмечаются в результирующем изображении, только если они соединены с «сильными». Для зашумленных изображений данный метод обеспечивает наилучшее обнаружение границ по сравнению с остальными методами функции `edge`, но требует большего количества времени [7].

Полученное с помощью функции `edge` изображение содержит большое количество неинформативных контуров, например, контуры заднего плана, контуры одежды. Для дальнейшего использования изображения необходимо избавиться от лишних контуров (рисунок 12).

В программу загружаются изображения обучающей выборки (рисунок 13), предварительно обработанные для того, чтобы выделить контуры.



Рисунок 13 – Примеры изображений обучающей выборки

Количество нейронов входного слоя зависит от размера изображений обучающей выборки. В данном случае используется 19200 нейронов входного слоя.

Нейронная сеть обучается с помощью алгоритмов: градиентного спуска с импульсом и адаптацией, градиентного спуска с выбором параметра скорости настройки или адаптации.

Для обучения нейронной сети используется выборка из обработанных изображений. Далее проходит непосредственно обучение нейронной сети.

После завершения обучения нейронной сети на входной слой поступает изображение, которое должно быть идентифицировано. Подаваемое изображение должно быть тех же размеров, что и изображения обучающей выборки.

Количество нейронов выходного слоя равно количеству изображений обучающей выборки. На выходе получаем вероятности, характеризующие близость исследуемого образца к изображениям обучающей выборки.

Анализ полученных результатов

В данной работе для исследования предложенного алгоритма проводилось более 500 испытаний, в которых участвовало 15 человек. Испытания проводились в различных ситуациях: при различных условиях освещенности, с открытыми/закрытыми глазами, с улыбкой/без улыбки, с наличием/отсутствием очков, с различными вариантами фона. Опираясь на результаты этих испытаний можно сделать следующие выводы.

Предложенный алгоритм обладает большей точностью обнаружения, чем классические (анализ главных компонентов сравнения эластичных графов). Алгоритмы на основе анализа главных компонентов и сравнения эластичных графов обладают точностью обнаружения 79% и 81% соответственно, а каскад классификаторов Хаара обнаруживает лица с точностью 85%. Использование же каскада классификаторов совместно с линейными бинарными шаблонами увеличивает точность обнаружения на 3-4%, тем самым доводя ее до 88-89%.

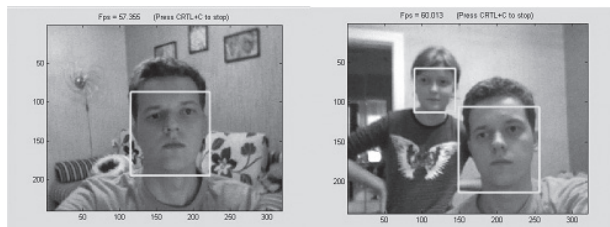


Рисунок 14 – Изображения с одним лицом (слева), изображение с большим количеством лиц (справа)

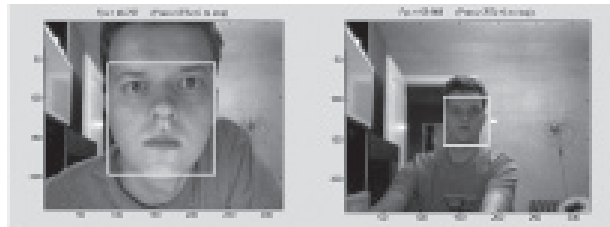


Рисунок 15 – Различное расстояние от лица до камеры

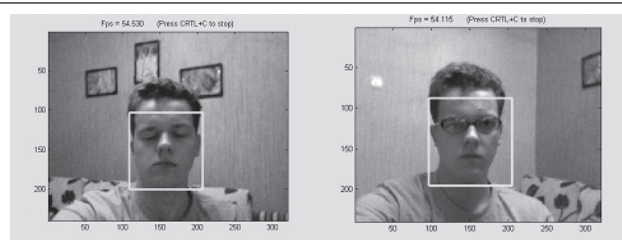


Рисунок 16 – Наличие закрытых глаз и очков на изображении



Рисунок 17 – Изображения с перекрытыми лицами

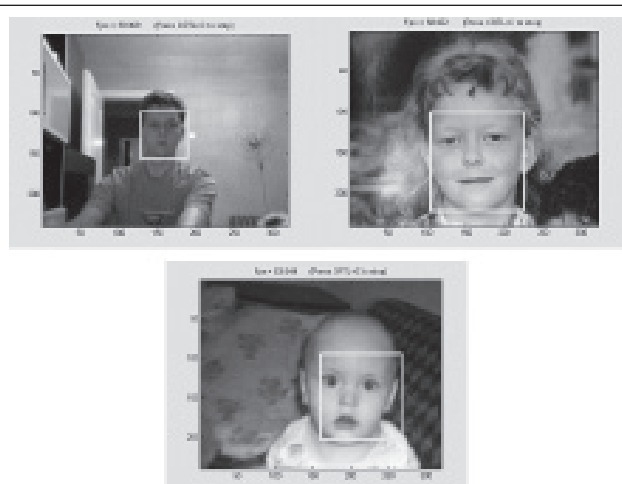


Рисунок 18 – Обнаружение лиц мужчин, женщин, детей

Предложенный метод успешно обнаруживает на изображении как одно, так и несколько лиц (рисунок 14).

Предложенный алгоритм устойчив к небольшим наклонам головы, но при больших отклонениях лица от вертикальной оси обнаружение лиц затрудняется.

Предложенный алгоритм обнаруживает лица, которые находятся на различном расстоянии от камеры (рисунок 15).

Исследования показали, что алгоритм устойчиво работает с изображениями лиц с открытыми или закрытыми глазами, с улыбкой или без улыбки, с наличием или отсутствием очков (рисунок 16).

Предложенный алгоритм обладает устойчивостью к перекрытию части лица посторонними предметами (рисунок 17).

Разработанный алгоритм может использоваться для обнаружения лиц, принадлежащих как взрослым, так и детям, как мужчинам, так и женщинам. Кроме того, лицо девочки обнаружено на фотографии, поднесенной вплотную к камере. Результаты исследования представлены на рисунке 18.

Заключение

Проведенные исследования алгоритмов идентификации лиц показали, что более целесообразно использовать алгоритм градиентного спуска с выбором параметра скорости настройки или адаптации. Предложенный алгоритм идентификации с вероятностью 95-97% распознает изображения из обучающей выборки и близкие к ним. Однако при подаче изображения на вход с отклонением относительно камеры, распознавание происходит лишь на некоторых примерах.

Литература:

1. Wu Bo. A Multi-View Face Detection Based on Real Adaboost Algorithm/ Wu Bo// Computer Research and Development, 42 (9), pp.1612-1621, 2005.
2. Paul Viola. Robust Real-time Object Detection/ Paul Viola and Michael J. Jones// Technical Report, Cambridge Research Lab, Compaq. 2001.
3. Cynthia Rudin. Analysis of Boosting Algorithms using the

Smooth Margin Function/ Cynthia Rudin, Robert E. Schapire, Ingrid Daubechies// A Study of Three Algorithms, 2004.

4. Rainer Lienhart. Empirical Analysis of Detection Cascades of Boosted Classifiers for Rapid Object Detection/ Rainer Lienhart, Alexander Kuranov, Vadim Pisarevsky // MRL Technical Report, May 2002.

5. Ojala, T. A comparative study of texture measures with classification based on feature distributions/ Ojala, T., Pietikainen, M., Harwood, D// Pattern Recognition 29(1), 51-59 (1996).

6. Ahonen T. Face description with local binary patterns: application to face recognition/ Ahonen T., Hadid A., Pietikainen M// IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence 28(12): 2037-2041. (2006).

7. Калацкая, Л.В. Компьютерные технологии в математическом моделировании учебное пособие: для студентов биол. фак. спец. 1-31 01 01 «Биология» и 31-33 01 01 «Био-экология» / Л. В. Калацкая, Е. И. Козлова, В. А. Новиков. – Минск: БГУ, 2009.

Поступила в редакцию 3.02.2012 г.

УВАЖАЕМЫЕ АВТОРЫ!

Присылайте Ваши статьи на электронный адрес редакции i.asmalouskaya@electronica.by или по адресу 220015, Минск, ул. Пономаренко, 35 А, к. 302 для публикации в журнале «Электроника инфо».

Все статьи должны сопровождаться следующей информацией: название на русском и на английском языках, фамилия и полное имя автора, почтовый адрес и адрес электронной почты, телефон, наиболее подходящая рубрика, в которой вы желаете разместить статью, а также ответ на вопрос: претендуете ли Вы на гонорар за статью.

ПТСС ЗАО «Промтехсервисснаб»

г. Минск, ул. Богдановича, 120 Б, ком. 6,
e-mail: uslugi@zapservis.by,
www.zapservis.by

Тел.: 266-23-94; 266-23-92,
моб.: (029) 676-02-56,
моб.: (044) 773-72-04,
факс: 266-23-94.

Контрактное производство РЭА:

- ✓ Автоматизированный монтаж SMD-компонентов любой сложности.
 - ✓ Комбинированный монтаж с использованием компонентов DIP (выводных), а также SMD (планарных).
 - ✓ Сборка корпусных деталей и узлов.
 - ✓ Ультразвуковая отмывка печатных плат и узлов высококачественными импортными растворами.
 - ✓ Нанесение влагозащитных покрытий.
- *Высокотехническое импортное оборудование обеспечивает высокое качество производимой продукции.*
- Продажа неликвидов ПКД для РЭА:**
- ✓ Резисторы, конденсаторы, транзисторы, микросхемы и т.д.



Автоматизация технологических процессов и комплексное решение проблем ресурсосбережения

ABB drives alliance
Sales and Support

ООО «ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКАЯ КОМПАНИЯ «ЭКНИС» ВЫПОЛНЯЕТ:

- Техническое консультирование.
- Выбор технического решения.
- Разработку проектной документации.
- Комплексную поставку согласованного оборудования.
- Шеф-монтажные и пуско-наладочные работы.
- Сервисное техническое консультирование.
- Гарантийное и послегарантийное обслуживание.



Плавный пуск, частотное регулирование, экономия энергии, автоматическое управление, многодвигательные установки, оптимизация технологических процессов

ООО «Электротехническая компания «ЭКНИС» г. Минск УНП 190575885

Тел.: +375 (17) 288-15-22, +375 (29) 689-18-90, www.ecnis.biz, e-mail: office@ecnis.biz

СВЯЗЬ АКУСТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ РЕЧИ ЧЕЛОВЕКА С ЕГО ЭМОЦИОНАЛЬНЫМ СОСТОЯНИЕМ

УДК 004.934.2

Пекарь Д.В., БГУ, г. Минск

Аннотация

Проблема анализа и интерпретации невербальной информации и, в частности, эмоционального состояния человека по его речи является достаточно актуальной, как в теоретическом плане, так и при решении прикладных задач. Одним из центральных вопросов, при этом, является установление качественной и количественной связи между эмоциональным состоянием человека и акустическими параметрами его речи. Решение поставленной задачи позволило бы создавать качественно новые интерактивные системы взаимодействия компьютер – человек, а также системы анализа, кодирования, распознавания, и синтеза речи. В связи с этим, в представленной работе приведен анализ качественных и количественных результатов исследований по определению связи акустических параметров речи с эмоциональным состоянием человека.

Введение

Эмоции являются неотъемлемой частью человека, которые являются следствием сложной психо-физиологической деятельности его нервной системы. Принимая данный факт во внимание, можно предположить, что эмоции имеют непосредственную связь с внутренним состоянием человека. Согласно существующим теориям, эмоции имеют сложное происхождение, а именно «эмоции – это психофизиологический феномен, поэтому о возникновении переживания человека можно судить как по его самоотчету о переживаемом им состоянии, так и по характеру изменения вегетативных показателей (частоте сердечных сокращений, артериальному давлению, частоте дыхания и т. д.) и психомоторике: мимике, пантомимике (позе), двигательным реакциям, голосу» [1]. Таким образом, речь является одним из наиболее естественных способов проявления эмоций или отражением эмоционального состояния человека. Распознавание и анализ эмоциональной окраски речевого сигнала имеет огромное значение для систем распознавания и синтеза речи [2,3], call-центрах [4], диалоговых системах [5,6], системах безопасности. Выявление качественных и количественных связей между эмоциональным состоянием человека и акустическими параметрами речи является предметом дальнейшего изучения.

Вербальная и невербальная информация

Коммуникация – это процесс обмена и передачи информации между людьми посредством устных или письменных сообщений, жестов, знаков, сигналов и речи.

Передача какой-либо информации или коммуникация возможна лишь при наличии знаков или знаково-символьных систем. В коммуникативном процессе можно выделить несколько знаково-символьных систем, по которым можно различать тот или иной процесс. Существуют различные способы классификации данных систем, однако, наиболее общий и основной подход основан на разделении на вербальную и невербальную коммуникацию.

Речь является также коммуникативным процессом, главной задачей которой является вербальная передача информации, т. е. передача смысловой информации посредством символично-знаковой системы. Такой системой

является язык, а отдельными знаками выступают слова. Однако речь несет как вербальную (основную смысловую информацию), так и невербальную информацию, которая также воспринимается слушающим человеком и может трактоваться им тем или иным образом. Под понятием невербальной коммуникации понимается система неязыковых (несловесных) форм и средств передачи информации [7]. На основе проведенных экспериментов А. Мейерабиан установил, что при выражении отношения к происходящей ситуации, телодвижения передают 55% от общего количества информации, голос – 38%, слова – оставшиеся 7% количества информации. Результаты другого исследователя также дают схожие значения: 35% и 65% для вербальной и невербальной информации соответственно [8]. Столь эффективное использование невербальных средств в межличностном общении имеет в своем основании ряд причин [9]:

- невербальные сигналы и признаки, развившиеся как средства коммуникации раньше, чем вербальный язык, оказались устойчивыми в своих первоначальных функциях и часто употребляются неосознанно, на подсознательном уровне;

- невербальные сигналы или признаки имеют определенные преимущества перед вербальными своими аналогами – они воспринимаются непосредственно и поэтому сильнее воздействуют, несмотря на свою кратковременность;

- эмоции передают тончайшие оттенки отношения, оценки, эмоций;

- невербальные средства передачи информации могут передавать информацию, которую трудно или по каким-либо причинам невозможно выразить в обычной языковой форме.

Эмоциональная составляющая речи является одной из важнейших ее компонентов, которая способствует не только пониманию основной вербальной информации, но дополняет и уточняет ее смысл, выраженный отдельным человеком в той или иной ситуации.

Инвариантность восприятия эмоций в различных языках и культурах

Одним из главных вопросов в изучении эмоционального содержания речи является восприятие одних и тех же эмоций людьми разных культур и национальностей, языковых групп, поскольку данная работа приобретает большую актуальность, если эмоциональная окраска является неким межъязыковым и межкультурным инвариантом, и может быть интерпретирована с помощью одних и тех же методов или подходов. Так, учеными был поставлен эксперимент по распознаванию базовых эмоций людьми с различных языковых и культурных групп [10]. Для исключения возможного пересечения культур или языков, были выбраны европейцы – носители английского языка и жители изолированной деревни Намибии – народность Химба. Как показали результаты эксперимента, базовые эмоции, такие как гнев, страх, отвращение, радость, удивление были уверенно распознаны представителями обеих групп, даже если речевой сигнал принадлежал индивиду из противоположной группы. Похожие эксперименты проводились и другими исследователями [11], которые приво-

дят к схожим результатам. Для подкрепления полученных результатов об универсальности эмоций можно привести успешные работы по распознаванию эмоций через другие невербальные пути коммуникации, такие как выражение лица [12] и жесты человека [13].

При изучении эмоций с физиологической стороны, можно привести результаты работ известного американского исследователя – Пола Экмана. Ученый в своей работе [14] рассматривает два главных вопроса, а именно физиологическое проявление эмоций и их универсальность. Автор рассмотрел такой вид физиологического проявления, как автономная нервная система, что представляет собой комплекс физиологических реакций человека на эмоциональное возбуждение как, например, частота сердцебиения и температура тела, и др. В работе утверждается, что каждая эмоция имеет свое уникальное проявление и может быть однозначно идентифицирована. Пол Экман на основе эмпирических исследований делает вывод, что проявление эмоционального состояния является универсальным и не зависит от языка или культуры, так как механизм их происхождения независим от сознания и не подконтролен человеку.

Резюмируя сказанное, можно сделать вывод, что человеческие эмоции являются универсальным способом передачи информации и невербальной коммуникации, которая может быть воспринята и интерпретирована людьми различных культур схожим образом, поскольку эмоциональность основана на общих психофизических процессах деятельности человека. Сделанный вывод позволяет считать эмоциональную окраску речевого сигнала надежным источником, а также способом передачи невербальной информации между людьми, которая в свою очередь может быть воспринята и интерпретирована наряду с основной (смысловой) вербальной информацией.

Отражение эмоционального состояния человека в акустических параметрах речи

Вопрос отражения эмоционального состояния человека в акустических параметрах речевого сигнала является важной научной проблемой, так как ее решение имеет ключевое значение для таких направлений речевых технологий как распознавание и синтез речи, идентификация и верификация диктора по голосу, медицинские и криминалистические системы анализа речи человека, экспертные системы.

Начало исследований по выражению и передаче эмоций посредством речи было начато в 19 веке. Родоначальником и основоположником изучения данного направления признано считать Чарльза Дарвина. Результаты изучения поведения человеческого голоса под влиянием эмоционального состояния нашло отражение в его книге «Выражение эмоций у человека и животных». Чарльз Дарвин в своих наблюдениях отмечал сходство между выражением эмоций у человека и животных. Последователем учения Дарвина был Герберт Спенсер.

Основные научные исследования взаимосвязи характеристик речевого сигнала и эмоционального состояния человека начались в середине 20 века, которые совпали с бурным развитием электроники и вычислительной техники. В процессе изучения вопроса о влиянии эмоционального состояния человека на его речь были рассмотрены различные параметры речевого сигнала. Остановимся на наиболее значимых параметрах речевого сигнала и прежде, чем исследовать количественные связи между характеристиками сигнала и эмоциональным состоянием, отобразим качественную связь между отдельными физическими параметрами сигнала и воспринимаемой речью. В таблице 1 представлены связи между физическими параметрами сигнала и субъективным восприятием звука.

Таблица 1

Физическая характеристика	Воспринимаемая характеристика	Определение
Частота основного тона	Высота тона или голоса	Характеристика определяется частотой колебаний голосовых связок. Измеряется как наименьший период периодических колебаний речевого сигнала. Определяется на вокализованных участках речевого сигнала.
Контур основного тона	Интонация	Характеристика представляет собой кривую, точки которой соответствуют значениям частоты основного тона в последовательные периоды времени. Данный параметр отражает изменения в сигнале с течением времени.
Формантные частоты	Тембр голоса, качество гласного	Характеристика определяет резонансные частоты речевого тракта. В окрестностях формантных частот сосредоточена основная доля энергии речевого сигнала.
Интенсивность	Громкость звука	Характеристика определяет собой энергию, переносимую речевым сигналом. Значение параметра косвенно характеризуют с усилием, которое необходимо для процесса речеобразования. Определяется амплитудой сигнала.
Паузы (периоды без голосовой составляющей)	Паузы между словами и предложениями	Характеристика определяет собой периоды сигнала без голосовой составляющей. Выделение пауз производится чаще всего по энергетическому критерию.
Джиттер	Флуктуации частоты основного тона	Характеристика позволяет оценить изменения частоты основного тона при переходе от одного кратковременного фрейма к другому или модуляцию частоты основного тона. Измеряется на стабильном фрагменте продолжительного гласного звука.
Скорость произношения слов	Скорость речи	Характеристика определяет, с какой скоростью происходит произношение слов и связана со скоростью речи.
Атака	Скорость нарастания громкости	Характеристика позволяет оценить скорость нарастания амплитуды речевого сигнала.
Точность артикуляции	Артикуляционные усилия	Характеристика определяет степень отклонения формантных частот от их значений при нейтральной речи.
Шиммер	Флуктуации громкости звука	Характеристика позволяет оценить амплитудную модуляцию речевого сигнала.

Количественная связь акустических параметров речи и эмоционального состояния

Для исследования количественной связи параметров речевого сигнала и эмоционального состояния диктора применялась специализированная база записей речевого сигнала, сделанная профессиональными актерами в Берлинском университете для изучения эмоциональной речи человека [15]. Речевая база включает записи 10 дикторов, которыми были сделаны записи с выражением семи эмоциональных состояний, для чего было произнесено 10 различных выражений на немецком языке. Применяемая база содержит 535 речевых записей, которые были использованы в рамках представленного исследования.

Основным инструментом для анализа речевых сигналов использовалась программа Praat [16], которая была разработана сотрудниками Амстердамского университета для изучения фонетики речи. Программный комплекс Praat является одним из наиболее используемых инструментов для анализа речевых сигналов, что подтверждает его надежность и достоверность получаемых результатов. Инструментарий Praat позволяет анализировать данные не только в ручном режиме, то есть вручную осуществляя все операции над программой, но и в автоматическом режиме, посредством специальных скриптов – последовательности команд, записанных особым образом, которые необходимо выполнить над данными. Таким образом, программный комплекс Praat позволяет быстро обрабатывать и анализировать большие объемы данных. Для каждого изучаемого параметра был разработан специ-

альный скрипт, который исполнялся для получения значений изучаемых характеристик речевого сигнала.

Для нахождения средних значений изучаемых параметров речевого сигнала использовалась следующая методика – для каждого исследуемого диктора находилось среднее значение целевого параметра для каждой тестовой записи. Затем полученные значения группировались согласно типам эмоций, к которым принадлежала анализируемая запись, после чего вычислялось среднее значение характеристики для каждой эмоции. Полученное таким образом значение принималось как оценка среднего значения изучаемого параметра речевого сигнала в зависимости от эмоционального состояния диктора.

Первой характеристикой, которая была подвергнута количественной оценке, стала частота основного тона, далее ЧОТ. В таблице 2 приведены результаты анализа.

Анализируя приведенную таблицу, можно сделать вывод, что частота среднего тона возрастает значительно при выражении злости (среднее увеличение ЧОТ – 48%), страха (36%), счастья (40%) и раздражения (20%). В то же время при выражении уныния, частота основного тона принимает значения меньшие, чем при нейтрально окрашенной речи. Выражения эмоционального состояния, соответствующего тоске, не вызывают значительных изменений значения частоты основного тона.

Следующим анализируемым параметром было стандартное отклонение ЧОТ, которое отражает степень вариации частоты основного тона, а также джиттер [17], который характеризует модуляцию частоты основного тона:

Таблица 2

№ диктора / Эмоция	Злость, ЧОТ, Гц	Тоска, ЧОТ, Гц	Раздражение, ЧОТ, Гц	Страх, ЧОТ, Гц	Счастье, ЧОТ, Гц	Уныние, ЧОТ, Гц	Нейтраль, ЧОТ, Гц
1	207,597	109,924	150,36	224,538	201,96	108,55	121,139
2	213,036	187,611	--	221,72	211,467	154,997	195,71
3	222,302	165,323	223,238	230,54	208,01	158,683	167,262
4	190,609	104,218	141,38	168,081	198,875	93,187	106,155
5	204,27	114,154	147,09	146,378	183,276	104,266	109,256
6	202,515	143,298	130,95	156,043	145,27	111,605	137,813
7	213,703	171,131	197,407	221,08	201,071	158,71	189,438
8	209,104	175,501	199,498	226,614	209,92	134,184	166,23
9	207,442	101,188	132,05	171,12	203,855	106,215	102,17
10	214,884	189,6	212,55	188,7	210,881	184,82	191,898

Таблица 3

№ диктора / Эмоция	Злость, ЧОТ, Гц	Тоска, ЧОТ, Гц	Раздражение, ЧОТ, Гц	Страх, ЧОТ, Гц	Счастье, ЧОТ, Гц	Уныние, ЧОТ, Гц	Нейтраль, ЧОТ, Гц
1	40,42	22,07	24,71	32,05	43,69	12,06	21,71
2	41,52	41,76	--	45,14	40,79	26,01	38,73
3	41,25	31,74	40,08	44,86	39,98	17,93	24,71
4	37,89	20,92	25,4	19,6	42,86	10,07	22,04
5	43,24	20,95	28,94	23,75	43,69	12,42	13,24
6	39,99	29,79	32,07	24,68	24,4	13,65	22,69
7	41,93	31,3	34,63	29,83	38,5	36,59	34,38
8	45,66	42,16	35,44	32,26	43,5	33,76	25,81
9	41,68	24,38	24,06	31,86	54,53	19,17	14,6
10	41	39,76	36,18	42,54	38,72	12,32	34,04

Таблица 4

№ диктора / Эмоция	Злость, %	Тоска, %	Раздражение, %	Страх, %	Счастье, %	Уныние, %	Нейтраль, %
1	2,5	2,9	2,1	2,8	2,4	4,2	3,1
2	2,4	2	--	2,4	2,3	3,6	2,7
3	2,2	2,3	2,3	1,7	1,9	3,5	2,6
4	2,6	3,4	4,1	3,3	2,9	7	4,4
5	2,7	3,1	3,3	3,5	3,3	3,1	3,6
6	2,5	2,5	3,5	3,6	2,9	4	3
7	2,4	2,3	2,9	2,6	2,1	4,2	2,5
8	2,4	2,7	2,6	2,3	2,6	4,4	3
9	2,4	2,8	3,1	3,1	2,7	3,7	3,4
10	1,6	1,8	1,9	1,9	1,6	1,8	2,2

Таблица 5

№ диктора / Эмоция	Злость, F1, Гц	Тоска, F1, Гц	Раздражение, F1, Гц	Страх, F1, Гц	Счастье, F1, Гц	Уныние, F1, Гц	Нейтраль, F1, Гц
1	1035,3	828,6	847,4	1090,9	940,5	993,9	848,9
2	921,1	738,9	--	951	840,4	1078,6	804,1
3	890,9	783,3	950,1	623,2	872,3	920,9	797,8
4	1132,3	782,6	1085,2	1182	913,7	1074	942,1
5	941,7	896,1	1038	1040,9	971,1	1101,1	863,4
6	974,4	808	979,9	958,8	850,8	943,7	900,2
7	852,8	789,1	942	938,9	762,6	1106,4	772,8
8	903,5	776	895,6	859,4	853,7	1072,4	795,9
9	1135,5	1104,3	1119,3	1059,8	1095,3	1138	1085
10	1061,8	989	910,5	992,5	973,9	1247,1	921,7

Таблица 6

№ диктора / Эмоция	Злость, F2, Гц	Тоска, F2, Гц	Раздражение, F2, Гц	Страх, F2, Гц	Счастье, F2, Гц	Уныние, F2, Гц	Нейтраль, F2, Гц
1	2275,7	2112,7	2148,6	2353,2	2242,5	2294,2	2140,6
2	2155,4	1972,4	--	2249,9	2110,3	2386,1	2073,1
3	2158,2	2075,2	2217,2	2088	2076,4	2260	2107,8
4	2291,3	2066,4	2400,7	2489,8	2121,4	2417,7	2281
5	2154,8	2245	2398,2	2373,3	2207,1	2470,1	2210,8
6	2263,7	2079,8	2388	2348,7	2122,2	2347,6	2175,6
7	2043,7	2265,3	2217,7	2281,8	2034,8	2460,5	2130,3
8	2217,8	2051,5	2154,6	2158,2	2139,6	2403,1	2128,1
9	2335,3	2465,5	2425,5	2348,4	2312	2567	2453,9
10	2358,8	2387,2	2180,9	2261,9	2252,7	2594,9	2293,4

$$Jitter = \frac{|T_i - T_{i+1}|}{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N T_i}, \quad (1)$$

где T_i – период частоты основного тона для кратковременного фрейма, N – полное количество фреймов. В таблице 3 приведены найденные значения.

Как показывают представленные результаты, наибольшие флуктуации частоты основного тона происходят при выражении таких эмоций как злость (среднее изменение значения джиттера на 84%), раздражение (40%) и счастье (86%). Затем были получены значения для джиттера, которые представлены в таблице 4.

Полученные результаты показывают, что при выражении уныния происходит увеличение модулирования частоты основного тона. Выражения остальных эмоций сопровождаются снижением величины модуляции ЧОТ. Формантные частоты являются одной из ключевых характеристик речевого тракта, которые показывают области сосредоточения основной энергии речевого сигнала. В таблице 5 приведены средние значения частоты первой форманты.

В таблице 6 приведены средние значения частоты второй форманты.

В таблице 7 приведены средние значения частоты третьей форманты.

В таблице 8 приведены средние значения четвертой форманты.

Таблица 7

№ диктора / Эмоция	Злость, F3, Гц	Тоска, F3, Гц	Раздражение, F3, Гц	Страх, F3, Гц	Счастье, F3, Гц	Уныние, F3, Гц	Нейтраль, F3, Гц
1	3411,4	3332,9	3297,9	3527,6	3429,6	3516,5	3283,2
2	3274	3161,9	—	3303,8	3223,9	3525,9	3220,4
3	3296,1	3376,5	3351,4	3312	3287,8	3460,1	3367,5
4	3397,4	3321,3	3501,1	3558,7	3253,1	3623,2	3491,7
5	3219,2	3465,5	3546,8	3509	3298,5	3639,2	3378,6
6	3305,2	3279,3	3491,4	3407,1	3240,8	3505,2	3294
7	3115,2	3458,5	3358,8	3403,8	3164,8	3637,2	3328,3
8	3349,8	3340,9	3336,7	3343,6	3305,6	3568,4	3394,3
9	3523	3585,1	3514,6	3490,8	3415,1	3691	3551,6
10	3485,3	3482,2	3219,6	3373,2	3331,4	3686,9	3404,4

Таблица 8

№ диктора / Эмоция	Злость, F4, Гц	Тоска, F4, Гц	Раздражение, F4, Гц	Страх, F4, Гц	Счастье, F4, Гц	Уныние, F4, Гц	Нейтраль, F4, Гц
1	4149,1	4133,4	4098,4	4385,2	4316,2	4258	4050,1
2	4332,7	4406,2	—	4374,8	4182,1	4502,5	4379,7
3	4322,2	4262,7	4290,6	4357,1	4285	4213,4	4320,2
4	4118,8	3909	4054,3	4300,2	4004,1	4201,8	4032
5	4031,5	4199,8	4186,7	4065,7	4090,8	4254,3	4087,4
6	3894,4	3924,9	4115,7	4022,4	3758,2	4139,8	3901,9
7	4247,6	4308,4	4252,4	4329,2	4279	4350,4	4319,9
8	4380,1	4299,9	4314,2	4313,2	4345,7	4190,4	4266,2
9	4265,6	4217,8	4322,5	4229	4240,7	4291,8	4113,5
10	4319,6	4187,6	4237,9	4238,1	4285,8	4239,8	4244,1

Таблица 9

№ диктора / Эмоция	Злость, дБ	Тоска, дБ	Раздражение, дБ	Страх, дБ	Счастье, дБ	Уныние, дБ	Нейтраль, дБ
1	66,23	69,34	72,02	68,15	68,27	66,16	69,87
2	63,83	72,64	—	68,1	69,88	69,57	71,56
3	65,6	71,6	65,58	76,59	66,37	75,91	71,84
4	63,55	73,1	69,42	71,48	69,51	74,13	65,12
5	64,4	70,98	67,78	68,6	65,63	67,3	69,78
6	67,31	67,24	63,98	68,93	64,24	67,52	68,67
7	67,53	73,95	72,05	72,25	69,12	74,28	73,7
8	65,85	69,08	67,34	69,9	64,88	68,29	71,44
9	65,86	72,25	70,63	71,95	66,76	71,86	69,73
10	62,59	70,02	68,2	68,79	64	66,69	72,16

Важными параметрами для анализа речевого сигнала являются энергетические характеристики сигнала. Одним из наиболее используемых характеристик является интенсивность речевого сигнала. В таблице 9 приведены средние значения интенсивности сигнала для каждой эмоции. Интенсивность была оценена, как логарифм отношения сигнала к порогу слышимости.

Одним из наиболее эффективных признаков является шиммер, который позволяет оценивать изменения пиковых значений амплитуд при переходе от одного краткосрочного фрейма к другому или амплитудную модуляцию речевого сигнал. В таблице 10 приведены средние значения шиммера.

Для анализа темпо-ритмических параметров произношения исследовалась относительная продолжитель-

ность пауз в произнесенном высказывании. Поскольку применялись короткие речевые фрагменты, то измерялась длительность безголосовых промежутков. Выбранный метод измерения позволяет оценить членораздельность и разборчивость произношения, дикцию. Минимальная длительность безголосового промежутка составляла 20 мс, что соответствует периоду, на котором параметры речевого сигнала можно принимать постоянными [18]. Значение данного параметра определяется как отношение суммарной продолжительности пауз в выражении к общей продолжительности произнесенного речевого фрагмента. Пороговое значение интенсивности для голосового сегмента речи принималось равным 40дБ, то есть уровень тихой речи [19]. Полученные значения отображены в таблице 11.

Таблица 10

№ диктора / Эмоция	Злость, дБ	Тоска, дБ	Раздражение, дБ	Страх, дБ	Счастье, дБ	Уныние, дБ	Нейтраль, дБ
1	11,68	8,98	9,55	11,84	10,24	10,46	11,55
2	11,06	6,5	--	9,47	9,94	10,51	8,95
3	9,93	7,9	9,04	7,96	9,67	9,58	8,68
4	13,01	9,81	12,87	12,14	12,86	13,73	10,8
5	11,05	8,92	12,31	12,22	12,87	10,88	11,9
6	10,72	9,13	12,15	14,19	13,44	10,46	10,82
7	11,24	6,95	8,51	10,7	9,58	15,33	8,04
8	10,66	7,82	8,47	9,86	10,53	12,64	10,38
9	10,1	8,34	10,64	11,17	10,61	11,37	10,74
10	9,59	6,87	8,14	11,16	10,1	8,28	8,52

Таблица 11

№ диктора / Эмоция	Злость, %	Тоска, %	Раздражение, %	Страх, %	Счастье, %	Уныние, %	Нейтраль, %
1	3,55	0,84	0	4,43	1,46	0,34	1,07
2	4,34	0,77	--	1,17	0,34	0	0,33
3	4,21	0	2,78	0	4,25	0	0
4	3,56	0	0	0,78	0	0	0
5	2,44	0,44	0	2,77	3,03	0	1,18
6	4,02	0	0,42	0	2,84	0	1,3
7	2,84	0,3	0	0,68	2,52	0	0
8	4,54	0,63	1,16	6,07	4,56	0	1,24
9	4,55	0,46	0,25	1,79	3,73	0	0,89
10	3,89	1,99	1,83	2,26	2,57	0	0,54

Как можно видеть из приведенных результатов, при выражении эмоции уныния происходит уменьшение общей длительности пауз в речи диктора, что может служить признаком данной эмоции. При выражении других эмоций это приводит к увеличению общей продолжительности пауз.

Выводы

Анализируя полученные данные, можно сделать вывод, что эмоциональное состояние говорящего оказывает влияние на физические параметры его речевого сигнала, что может быть в дальнейшем использовано для распознавания или детектирования той или иной эмоции.

Как видно из приведенных данных, прогресс в этом направлении значителен, однако, некоторые вопросы остаются все же открытыми. Одним из них является нахождение устойчивых межязыковых признаков, которые бы давали надежную и непротиворечивую интерпретацию эмоций для различных языков и в контексте различных культур. Ключевыми направлениями дальнейших исследований являются также работы по расширению количества анализируемых эмоций, создание новых алгоритмов для вычисления значений параметров речевого сигнала, а также создание качественных эмоциональных баз данных для русского языка.

Литература:

1. Ильин Е. П. Эмоции и чувства / Е. П. Ильин. – СПб: Питер, 2001. – 752 с.
2. Towards More Reality In The Recognition of Emotional Speech : proceedings of the 32nd IEEE International

Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing (ICASSP). – 2007.

3. Emotional Speech Synthesis: A Review: proceedings of the 7th European Conference on Speech Communication and Technology. – 2001.

4. Emotion in speech: Recognition and application to call centers : proceedings of the conference Artificial Neural Networks in Engineering(ANNIE'99). – 1999.

5. Fragopanagos N. Emotion recognition in human-computer interaction / N. Fragopanagos, J.G. Taylor // Neural Networks. – 2005. – No. 18. – P. 389-405

6. Recognition of Emotions in Interactive Voice Response Systems : proceedings of the 8th European Conference on Speech Communication and Technology. – 2003.

7. Морозов В.П. Искусство и наука общения: невербальная коммуникация / В.П. Морозов. – М.: ИП РАН, Центр «Искусство и наука». – 1998.

8. Пиз А. Язык телодвижений. Как читать мысли окружающих по их жестам / А. Пиз. – Эксмо: Москва, 2003.

9. Лингвометодические проблемы преподавания иностранных языков в высшей школе: Межвуз. сб. науч. тр. / Под ред. Н.И. Иголкиной. – Саратов: Изд-во Саратов. ун-та, 2010. – Вып. 7. – 152 с.

10. Cross-cultural recognition of basic emotions through nonverbal emotional vocalizations Proceedings of the National Academy of Sciences. – 2010.

11. Cross linguistic interpretation of emotional prosody: proceedings of the International Speech Communication Association. – Northern Ireland, UK, 2000. – P. 110-113.

12. Russell James A. Is There Universal Recognition of Emotion From Facial Expression? A Review of the Cross-

Cultural Studies / James A. Russell // Psychological Bulletin. – 1994. – Vol. 115. – No. 1. – P. 102-141.

13. Multimodal emotion recognition from expressive faces, body gestures and speech: proceedings of the Doctoral Consortium of 2nd International Conference on Affective Computing and Intelligent Interaction. – Lisbon. – September, 2007.

14. Ekman P. Expression and the nature of Emotion. In: Approaches to Emotion. Lawrence Erlbaum Associates: Publishers. – 1984.

15. Berlin Database of Emotional Speech [Electronic resource]. – Technical University Berlin, 1999. – Mode of access : <http://pascal.kgw.tu-berlin.de/emodb/index-1024.html>. – Date of access : 20.01.2012.

16. Praat: doing phonetics by computer [Electronic resource] / Paul Boersma, David Weenink. – University of Amsterdam, 1999. – Mode of access : <http://www.fon.hum.uva.nl/praat/>. – Date of access : 20.01.2012.

17. Stress And Emotion Classification Using Jitter And Shimmer Features : proceedings of the IEEE International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing. – 2007.

18. Preference for 20-40 ms window duration in speech analysis : proceedings of the 4th International Conference on Signal Processing and Communication Systems. – December 13-15. – 2010.

19. Курс общей физики : в 3 т. / Главная редакция физико-математической литературы. – Москва : Наука, 2000–2005. – Т. 3 : Механика, колебания и волны, молекулярная физика / И. В. Савельев. – 1970. – 297 с.

Abstract

Nonverbal information analysis and interpretation is an actual task for theoretical and applied research spheres. Since speech is a natural and easiest way for communication between human beings then voice is becoming to be a central object for investigation. One of the most crucial questions is a point related to establishment of qualitative and quantitative relation between human emotions and acoustic features of the speech signal. Solution of the mentioned problem would develop new speech systems for human-computer interaction with new features and possibilities. In the presented paper an analysis of qualitative and quantitative relation between of acoustic parameters and emotional state is described.

Поступила в редакцию 27.11.2012 г.

НАНОТЕХ

pcb@pcb.by www.pcb.by
г. Минск, ул. Седых 12А, пом. 2Н

- Печатные платы**
(одно-, двухсторонние, многослойные, на алюминиевой подложке)
- Трафареты для пасты**
(лазерной резкой из нержавеющей стали)
- Паяльные пасты**
(безотмывочные, канифольные, водосмываемые, и др.)

тел: +375 17 237 29 34
тел: +375 17 237 29 35
тел/факс: +375 17 237 29 36
тел/факс: +375 17 281 35 36
тел. моб: +375 29 101 35 36
тел. моб: +375 29 876 35 36

БелПлата

тел. +375 17 287 85 66
факс +375 17 287 85 65
тел.моб. +375 29 684 43 09
220068, г. Минск, ул. Некрасова, 114,
оф. 238, 2 этаж, e-mail: info@belplata.by

Разработка и поставка печатных плат:
любой класс точности, широкий спектр покрытий, изготовление образцов от 5 дней.

Поставка фотошаблонов

Поставка трафаретов:
из нержавеющей стали и латуни.

Материалы для печатных плат:
защитные маски, маркировочные краски, фоторезисты, паяльные пасты.

Поставка изделий из феррита:
любые виды сердечников CI, EE, EEM, EP, EER, ETD, EC, EF, ED, EFD, EI, EPO, EPX, EPC и т.д.

Поставка электронных компонентов:
STMicroelectronics, NXP Semiconductors, Vishay, Holtek Semiconductor.

www.belplata.by

БЕЛОРУССКИЙ ПРОИЗВОДИТЕЛЬ ЭЛЕКТРОНИКИ

ЭЛЕКТРОКОНТИНЕНТ

Республика Беларусь, 220026, г. Минск, пер. Бехтерева, 8, офис 35
тел. (+375 17) 205 06 94, 296 31 61, Velcom (+375 29) 115 35 75
e-mail: info@elcontinent.com
www.elcontinent.by

- КОНТРАКТНОЕ ПРОИЗВОДСТВО ЭЛЕКТРОНИКИ
- АВТОМАТИЧЕСКИЙ И РУЧНОЙ МОНТАЖ ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ
 - ПОСТАВКА ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ
 - ПОСТАВКА ЭЛЕКТРОННЫХ КОМПОНЕНТОВ
- ПОСТАВКА ТРАФАРЕТОВ ИЗ НЕРЖАВЕЮЩЕЙ СТАЛИ
- РАЗРАБОТКА ЭЛЕКТРОНИКИ НА ЗАКАЗ
 - СВЕТОДИОДНАЯ ПРОДУКЦИЯ :
СВЕТОДИОДНЫЕ ЭКРАНЫ, СВЕТОДИОДНЫЕ ТАБЛО,
СВЕТОДИОДНЫЕ ВЫВЕСКИ,
ТАБЛО "БЕГУЩАЯ СТРОКА", ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТАБЛО,
СВЕТОДИОДНАЯ ПРОДУКЦИЯ ДЛЯ ОСВЕЩЕНИЯ
- Современное оборудование
- Передовые технологии
- Большой положительный опыт – позволяет обеспечить высокое качество нашей продукции
- Оптимальные сроки
- Приемлемые цены

КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СТРЕЛЬБИЩ ДЛЯ ТРЕНАЖЕРОВ БРОНЕТЕХНИКИ

УДК 004.921

С.Г. Кожух, К.М. Шестаков, БГУ, г. Минск

Аннотация

В статье рассмотрена специфика формирования полигонов для тренажеров бронетехники. Предложен алгоритм генерирования ландшафта местности, а также разработан механизм создания обрамлений полигона. Подробно описан процесс формирования облака точек полигонов для тренажеров.

Введение

Процедура генерации рельефа местности нашла применение во многих областях, таких как компьютерные игры, моделирование в ГИС, создание систем визуализации тренажеров как военной, так и гражданской техники [1,2]. Следует отметить, что перед этими приложениями ставятся различные задачи, которые, в свою очередь, накладывают определенные требования к подобным разработкам. К примеру, во многих компьютерных играх не важна точность, не учитываются реальные параметры местности, основным критерием становится красота картинки. В то же время при моделировании местности в ГИС для транспортной сетки уже необходимо учитывать специфические параметры. Тоже происходит и при разработке местности военных полигонов для тренажеров бронетехники. Специальные условия диктуются руководящими документами, экспертами, а также самими принципами проведения учений.

Рассмотрим особенности формирования поверхности полигонов. Одно из основных условий, продиктованных правилами проведения учебных стрельб, – цели не должны перекрываться. Поясним суть данного условия. В начале тренировки боевого состава на местности генерируются мишени и в определенный момент времени они становятся видимыми – экипаж должен прицелиться и открыть огонь. Но появляющиеся мишени не должны закрывать друг друга, т.е. обучаемые должны иметь возможность увидеть все цели.

Также при выполнении стрельб следует учитывать, что цели устанавливаются за препятствием, но при этом так, чтобы только 1/3-1/2 площади мишени была закрыта.

Одним из условий, диктуемых требованиями к тренажерам, является необходимость наличия обрамлений стрельбища. Это значит, что полигон должен окружаться возвышениями. При проведении стрельб неопытные стрелки могут послать снаряд за пределы стрельбища, и для реалистичности след от снаряда все равно придется отобразить, поэтому логично окружить территорию холмами, в которые и будут попадать такие снаряды. Снаряды не взорвавшись, программно уничтожаются на расстояниях примерно 3/2 от максимальной дальности на стрельбище и это уничтожение должно быть не наблюдаемым. Лучшее решение – это холмы, скрывающие снаряды на этом расстоянии.

Тренировки боевого состава целесообразно проводить при разных условиях и на различной местности, поэтому при реализации метода генерирования поверхности полигона следует учесть возможность выбора типа рельефа:

от равнинного до холмистого. Местность должна быть не «запоминаемой» в ходе многократной отработки упражнений. Такое требование диктует наличие механизмов трансформации местности без перекомпиляции программы.

Данные требования следует учесть в разрабатываемом механизме генерации поверхности.

Полигон нами предложено формировать как сочетание стрельбища и защитной зоны – холмов, обрамляющих стрельбище. Поэтому разработку рельефа полигона предлагается разделить на несколько этапов и выполнять в математических пакетах с возможностью визуализации результатов.

Разработка рельефа местности стрельбищ

Для формирования рельефа стрельбища будем использовать метод, основанный на последовательном наложении шумовых функций различной частоты и амплитуды. Данный метод является упрощенным вариантом Шума Перлина. Для большей наглядности пояснения будут проводиться для одномерной функции [3].

Амплитуду и частоту шумовой функции определим по аналогии с амплитудой и частотой гармонической функции.

На рисунке 1 приведен пример шумовой функции. Точками обозначены случайные значения на всей области определения функции. В этом случае, амплитуда – разность между наибольшим и наименьшим значениями функции. Длина волны – расстояние между точками. А частоту определим как отношение единицы к длине волны.

Суть метода заключается в последовательном наложении шумовых функций различной частоты (рисунок 2). Пусть $f(x)$ – функция, задающая генерируемую кривую, тогда

$$f(x) = \sum_i A * \text{Noise}(w), \quad (1)$$

где A – амплитуда, $\text{Noise}(w)$ – одномерная шумовая функция, i – количество итераций.

Следует учесть, что амплитуда шумовых функций обратно пропорциональна частоте. Это делается для того, чтобы уменьшить вклад высокочастотной составляющей.

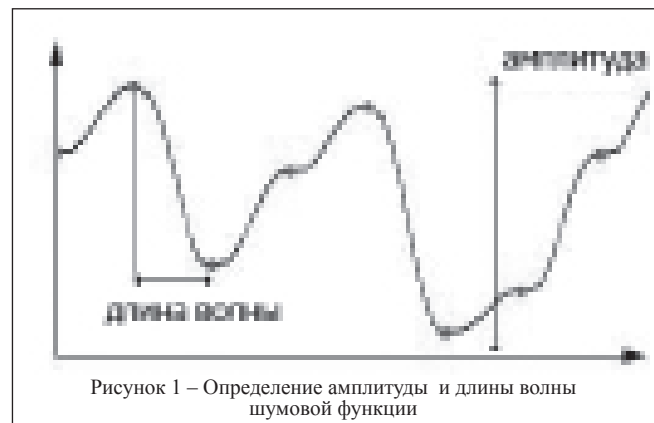


Рисунок 1 – Определение амплитуды и длины волны шумовой функции

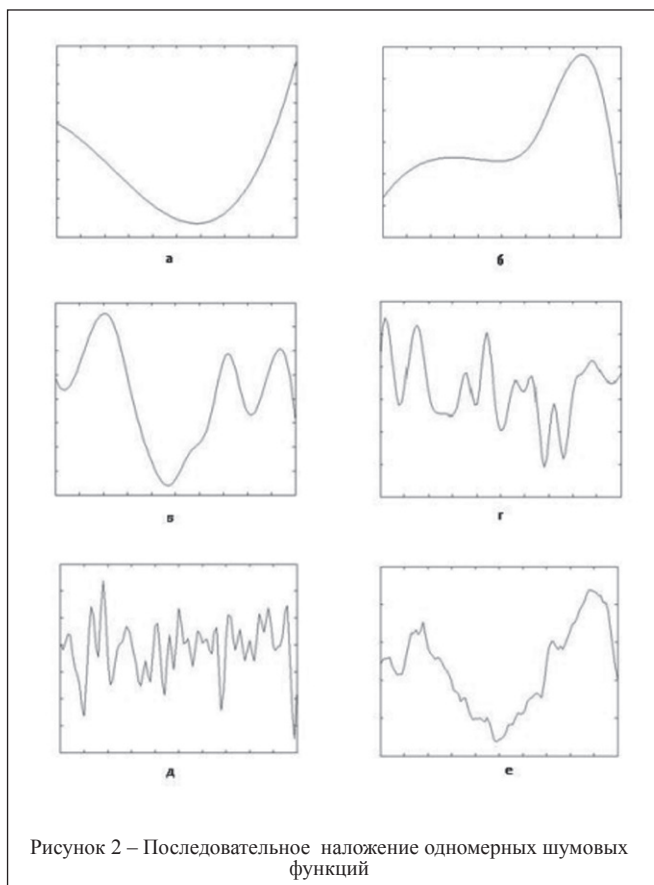


Рисунок 2 – Последовательное наложение одномерных шумовых функций

Поэтому выражения для частоты и амплитуды логично брать в виде: $A = a^i$, $w = 2^i$, где i – количество итераций.

Используя результаты одномерной генерации, перейдем к процедуре формирования поверхности. Пусть $h(x, z)$ – функция, задающая требуемый рельеф. Она зависит от про-

странственных координат (x, z) , а ее значения определяют высоту точки над поверхностью. $Noise(w)$ – двухмерная шумовая функция, зависящая от частоты. Зададим процедуру формирования рельефа как

$$h(x, z) = \sum_i A * Noise(w), \quad (2)$$

где $A = a^i$, $w = 2^i$, i – количество итераций.

Задавая различные значения параметра a , можно влиять на характер поверхности. Чем меньше значение a , тем меньше влияние высокочастотных составляющих, а значит рельеф будет более гладкий, пологий. На рисунке 3 показаны шумовые функции различной частоты и результат их сложения с учетом различных амплитуд. В результате, получается облако точек, описывающее искомую поверхность.

Как можно видеть, полученный массив точек выглядит грубо и нуждается в фильтрации. Для этого можно применить простейший сглаживающий фильтр. Находится среднее арифметическое значение всех элементов рабочего окна, после чего это значение становится значением среднего элемента (речь идет о нечетных размерностях окна, в этом случае средним элементом будет центр квадрата). Зададим окно размера 3×3 . В общем виде матрица будет выглядеть так:

$$m = \begin{bmatrix} m_{11} & m_{12} & m_{13} \\ m_{21} & m_{22} & m_{23} \\ m_{31} & m_{32} & m_{33} \end{bmatrix}.$$

Тогда новые значения высоты поверхности будут вычисляться по формуле:

$$h[x, z] = m_{11} * h[x-1, z-1] + m_{12} * h[x, z-1] + m_{13} * h[x+1, z-1] + m_{21} * h[x-1, z] + m_{22} * h[x, z] + m_{23} * h[x+1, z] + m_{31} * h[x-1, z+1] + m_{32} * h[x, z+1] + m_{33} * h[x+1, z+1]. \quad (3)$$

Для простейшего сглаживающего фильтра матрица примет вид:

$$m = \begin{bmatrix} 1/9 & 1/9 & 1/9 \\ 1/9 & 1/9 & 1/9 \\ 1/9 & 1/9 & 1/9 \end{bmatrix}.$$

При применении данного фильтра следует новые значения записывать в отдельную матрицу и пересчитать граничные точки по соответствующим формулам.

При генерации значений рельефа мы не учитывали выходы этих значений за некоторые пределы. Для этого необходимо произвести нормализацию значений рельефа. Математически нормализация – это процесс получения значений из одного предела и перевод его в другие пределы [4]. Для этого производятся следующие действия:

- запоминаются наибольшее и наименьшее значения массива данных;
- по всему ландшафту производится нормализация его значений в пределах от 0 до 1. В виде формулы это выглядит следующим образом:

$$Z_{norm} = (z - \min) / (\max - \min). \quad (4)$$

В результате получаем рельеф, значения высот точек которого заключены в пределах от 0 до 1. Это значит, что теперь можно задавать максимальную высоту холмов рельефа.

Рельеф стрельбища должен иметь уклон по оси Z . Для реализации этого требования произведем суммирование полученной поверхности с наклонной плоскостью. В качестве наклонной плоскости выберем параболу.

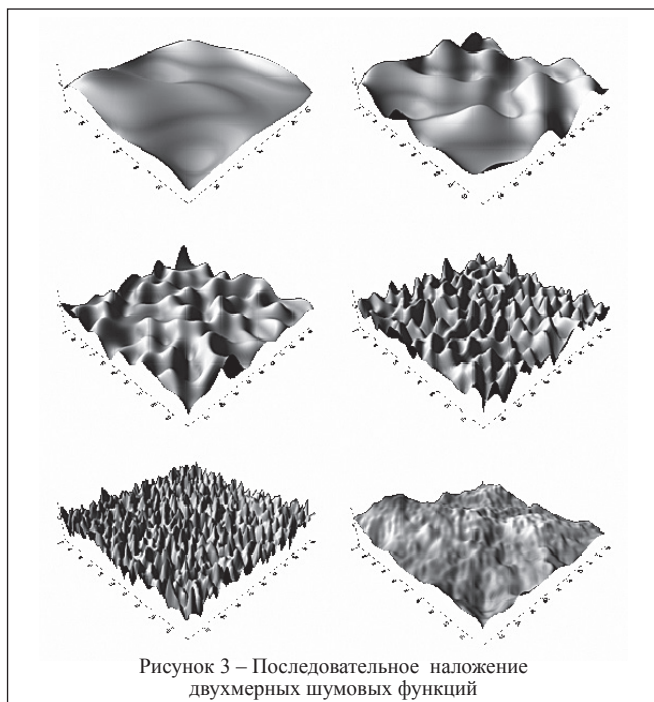


Рисунок 3 – Последовательное наложение двухмерных шумовых функций

Тогда для построения рельефа поверхности получим выражение:

$$h(x,z) = ah(x,z) + \beta(az^2 + bz + c), \quad (5)$$

где α, β – взвешивающие коэффициенты, a, b, c – коэффициенты параболы.

Разработка рельефа местности обрамления

Процедуру формирования обрамления полигона можно разделить на несколько основных этапов:

- формирование склонов;
- формирование периметра высот;
- умножение формы вершины по периметру на форму склонов;
- взвешенное сложение со стрельбищем.

Рассмотрим более подробно данные этапы. Формирование склонов будем проводить путем наложения шума на определенную функцию $y(x)$, которая будет являться основой для склона.

В качестве такой функции выберем [5]:

$$y(x) = \frac{1}{\left(1 + \left(\frac{x}{x_1}\right)^N\right)}, \quad (6)$$

где x_1 – частота среза, N – порядок функции.

Нарисунк 4 приведен график данной функции.

В качестве шума выберем кривую, сформированную на основе метода использованного для генерации рельефа стрельбища, учитывая, что теперь это будет одномерный случай. Пусть $v(x)$ – функция, описывающая форму кривой, тогда применяя шумовую функцию, получим:

$$v(x) = \sum_i A * \text{Noise}(w), \quad (7)$$

где $A = a^i$, $w = 2^i$, i – количество итераций.

В результате взвешенного сложения получим форму склона. На рисунке 5 показан пример сгенерированного данным методом склона.

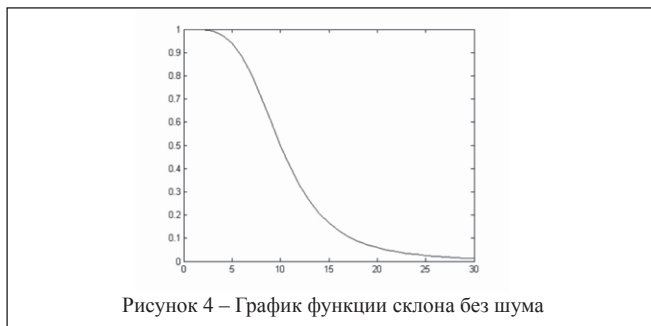


Рисунок 4 – График функции склона без шума

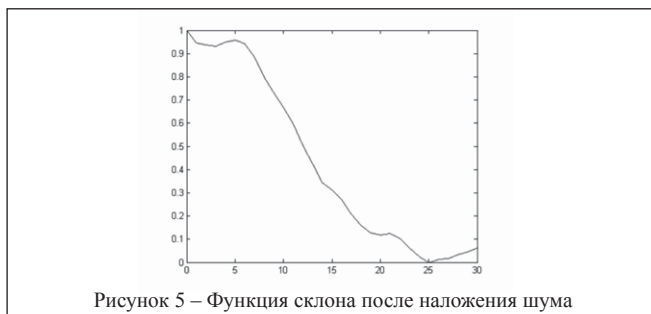


Рисунок 5 – Функция склона после наложения шума

Графики форм склонов, обрамляющих стрельбище могут быть приведены специалистами и в рисунках. Их оцифровка выполняется при подготовке полигона автоматически.

Периметр высот – это функция, значениями которой являются высоты рельефа стрельбища. Направление обхода продемонстрировано на рисунке 6.

Периметр высот формируется аналогично склонам, но, при этом, учитывается функция задания периметра $p(t)$:

$$p(t) = \begin{cases} m - t, & t < m \\ 0, & m \leq t \leq m + n \\ t - (m + n), & m + n < t < 2m + n \\ m, & 2m + n \leq t \leq 2(m + n) \end{cases} \quad (8)$$

где m, n – длина и ширина стрельбища соответственно.

Далее необходимо добавить шум. Для этого сгенерируем случайную кривую и сложим с основной кривой, учитывая воздействие высших гармоник (рисунок 7).

Зададим охранную зону – территорию, обрамляющую стрельбище, как функцию $H_z(t, dl)$, где dl – ширина зоны. Тогда для вычисления обрамлений можно воспользоваться формулой:

$$H_z(t, dl) = P(t) * (V_1(dl) * k_1(t) + V_2(dl) * k_2(t) + V_3(dl) * k_3(t) + V_4(dl) * k_4(t)), \quad (9)$$

где $P(t)$ – функция периметра высот, V – функция склона, k – взвешивающие коэффициенты. Учитывая размеры стрельбища, формируются обрамления путем разбивания по зонам.

На последнем этапе осуществляется взвешенное сложение всех элементов стрельбища:

$$H(x, z) = h(x, z) + \mu * N(x, z), \quad (10)$$

где $H(x, z)$ – функция, описывающая рельеф полигона.

Реализация функций формирования полигонов

Генерируемая поверхность задается матрицей высот, которая, в итоге, сохраняется в виде облака точек. Предлагаемый метод просто реализуется на различных языках

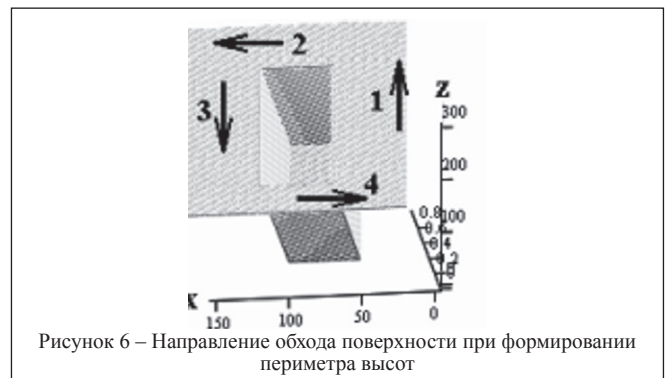


Рисунок 6 – Направление обхода поверхности при формировании периметра высот



Рисунок 7 – Сформированный периметр высот

программирования, что позволяет встраивать его в разрабатываемые программы, будь то компьютерная игра или военный тренажер.

Рассмотрим реализацию основных функций, необходимых для работы.

Т.к. в основе метода генерации рельефа поверхности лежит сложение шумовых функций различной частоты, то естественно начать с описания этих функций.

В данной работе использовали одномерную и двухмерную шумовые функции. Их реализации аналогичны, поэтому для большей наглядности начнем с рассмотрения генерации одномерной шумовой функции. Зададим искомую функцию как $f(x)$, где $x \in [a, b]$. С помощью генератора случайных чисел будем получать значения искомой функции в определенных узловых точках. Данные точки будем выбирать на одинаковых промежутках – в этом случае количество точек будет задавать частоту шумовой функции. На рисунке 8 показан пример генерации случайных значений с различной частотой на промежутке $[0, 20]$.

В результате получили некоторые значения шумовой функции в узловых точках. Воспользуемся кубической сплайн-интерполяцией для задания функции во всех точках области определения (рисунок 9) [5].

Таким образом, получены шумовые функции различной частоты. В данном случае частота увеличивалась в два раза с каждой итерацией. Частоту можно задавать путем выбора количества генерируемых случайных точек.

Итого, для реализации данной процедуры необходимо:

- задать область определения;
- на области определения сгенерировать определенное количество случайных точек;

- по этим точкам провести интерполяцию функции;
- увеличить количество генерируемых случайных точек вдвое.

Проводя взвешенное суммирование полученных функций повторять 2-4 шага до получения приемлемого результата.

Пример генерации поверхности полигона

Пусть стоит задача генерации военного полигона, поверхность которого представляет собой равнину с малым уклоном, размером 6000 на 3000 м. Выберем дискретность сетки равной 20 м. Стрельбище для бронетехники имеет размер 4000 на 1000 м, ограничено охранной зоной в 1000 м, по краям холмы с рассчитанной высотой минимум 10 м.

Сначала сгенерируется стрельбище. На рисунке 10 показан результат последовательного сложения шумовых функций различной частоты.

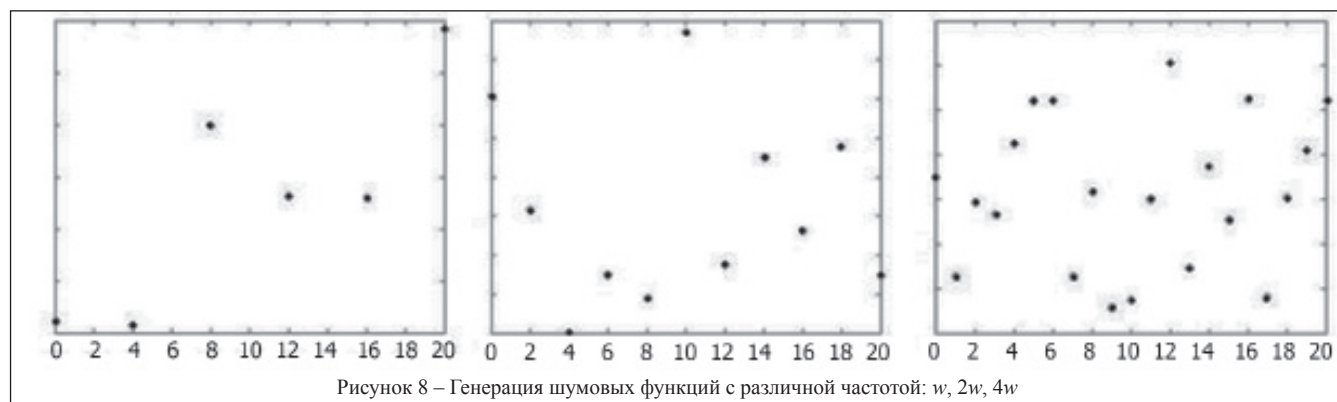
Для устранения высокочастотного шума применим сглаживающий фильтр (рисунок 11).

Производится нормализация поверхности (рисунок 12).

Придадим поверхности уклон с учетом, что размеры холмов не превышают 0,5 м (рисунок 13).

Следующими шагами будет генерирование четырех видов склонов, формирование периметра высот. В результате обрамление полигона примет вид, показанный на рисунке 14.

Следующим шагом является взвешенное суммирование обрамления и рельефа местности. В итоге, получаем полигон для тренажера. Он описывается облаком точек, а его визуализация представлена на рисунке 15.



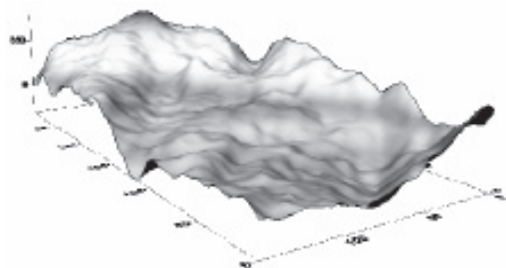


Рисунок 10 – Поверхность, полученная с помощью метода последовательного сложения шумовых функций различной частоты

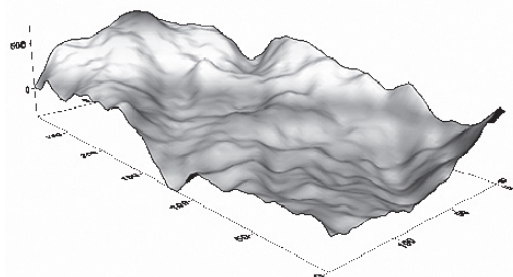


Рисунок 11 – Поверхность, полученная после фильтрации

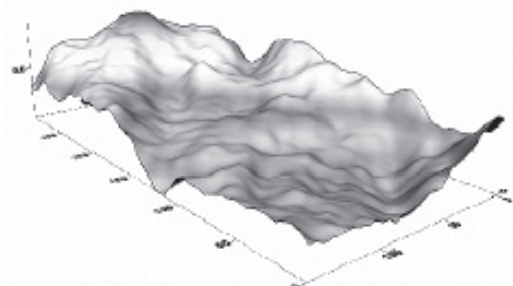


Рисунок 12 – Нормализованная поверхность



Рисунок 13 – Поверхность с учетом уклона

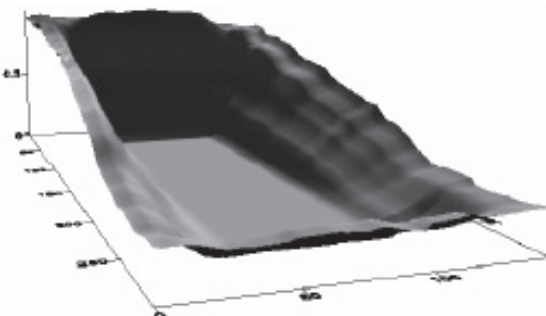


Рисунок 14 – Обрамление стрельбища

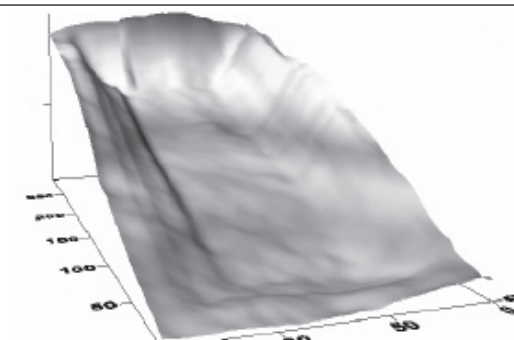


Рисунок 15 – Сформированный полигон

Заключение

Разработанный механизм формирования облаков точек полигонов для тренажеров бронетехники позволяет формировать как случайные полигоны, так и полигоны на основе чертежей специалистов. Отметим важность решения описанной задачи для многих практических приложений и сложность введения ограничений, часто встречающихся в задачах построения тренажерных комплексов, например, обеспечение видимости мишеней с задаваемой величиной процента потери высоты силуэта. Отдельные методы, используемые в данной работе, могут найти применение не только в тренажерах, но и в других областях, к примеру, в компьютерных играх.

Литература

1. Aleshin, V. Alpine Skiing And Snowboarding Training System Using Induced Virtual Environment/ V. Aleshin, S. Klimenko, M. Manuilov, L. Melnikov. // Proc. of the 4th International Congress on Science and Skiing, ICSS 2007, St. Christoph, Austria, 2007.

2. Снук, Г. Создание 3D-ландшафтов в реальном времени с использованием C++ и DirectX 9. – М: КУДИЦ-Образ, – 2006, – 370 с.

3. Perlin, K. An Image Synthesizer // Proceedings of the 12th annual conference on Computer graphics and interactive techniques. SIGGRAPH, 1985. – P 287-296

4. Генерация трехмерных ландшафтов [Электронный ресурс]. – 2011. – Режим доступа: <http://www.ixbt.com/video/3dterrains-generation.shtml>. – Дата доступа 29.11.2011.

5. Butterworth, S. On the Theory of Filter Amplifiers // Wireless Engineer, 1930. – P 536-541.

Abstract

Specific details of shooting range formation for armored vehicles simulators are discussed. We propose an algorithm for generating topography, as well as a mechanism to create frames of shooting range. Detail process of forming a point cloud for armor simulator is considered.

Поступила в редакцию 12.02.2012 г.

26-28 МАРТА 2013 ГОДА, МОСКВА, ЭКСПОЦЕНТР, ПАВИЛЬОН № 7

В 2013 г. 3-я Международная выставка и форум «Новая электроника-2013» будет проходить 26-28 марта 2013 г. в Экспоцентре на Красной Пресне (пав. № 7).

В выставке принимают участие ведущие российские дистрибьюторы, поставщики и производители электронных компонентов и модулей.

По состоянию на февраль 2013 г. зарезервировано 98% выставочных площадей.

Это, несомненно, говорит о возросшем интересе к выставке-форуму, собирающей на своих площадях компании, поставляющие на российский рынок более 90% электронных компонентов и модулей. Экспозиция выставки размещается в четырех залах павильона № 7 и по сравнению с 2012 годом увеличилась на 20%.

В выставке «Новая электроника-2013» участвуют более 250 компаний из 15 стран мира.

На «Новой электронике-2013» будет сделан акцент на продвижение новых продуктов и услуг, снабжение российских разработчиков и производителей электроники современными и качественными электронными компонентами, поиск новых контактов, обсуждение цепочек поставок импортной элементной базы и вариантов сотрудничества с российскими производителями.

В состав Оргкомитета выставки «Новая электроника-2013» традиционно вошли представители промышленности, науки, федеральных и городских структур, руководители крупнейших предприятий отрасли.

Председатель Оргкомитета выставки «Новая электроника-2013» Директор Департамента радиоэлектронной промышленности Министерства промышленности и торговли Российской Федерации Якунин А.С. отметил, что: «... выставка концентрированно представляет последние разработки отечественных и зарубежных предприятий, охватывает все вопросы разработки, производства и использования электронной компонентной базы и модулей электронной аппаратуры...».

Интересной и насыщенной обещает быть деловая программа выставки.

В первый день, 26 марта 2013 г., компания «Профессиональные конференции» будет проводить крупное мероприятие по компонентам для навигационного оборудования.

Во второй день, 27 марта 2013 г., серьезную практическую конференцию проведет крупнейший европейский дистрибьютор – компания Avnet Silica.

И в завершающий день выставки, 28 марта 2013 г., информационно-аналитический Центр Современной

Электроники проведет презентацию исследования российского рынка электронных компонентов и новых компаний.

Подробно с планом деловых мероприятий можно ознакомиться на сайте <http://www.new-electronics.info/programm>.

Во время выставки будет реализована широкая программа внутри выставочных мероприятий.

На специальном стенде «Загрузи по полной!» будут доступны материалы участников, представленные в электронном виде. Посетителям предложат записать любые из материалов на имеющиеся у них носители информации, а при отсутствии таковых, – на CD-диск, предоставляемый спонсором киоска.

С целью встречи предложения и спроса организуется «Ярмарка неликвидов».

Что это такое? У каждой компании, поставляющей электронные компоненты, рано или поздно образуются так называемые неликвиды. Это остатки от крупных партий, образцы, невостребованный товар и тому подобное. Вполне возможно, что как раз эти компоненты кому-то нужны именно сейчас.

Продолжая традиции выставки ChipEXPO, будут подведены итоги конкурса «Золотой Чип», участниками которого стали компании, принимающие участие в выставке «Новая электроника-2013» и позиционирующие себя в качестве дистрибьютора, брокера, дилера или поставщика электронных компонентов.

Участники выставки выступят с короткими презентациями новинок на открытой площадке «ЭКСПО-ФОРУМ». Презентации проходят в режиме «нон-стоп» и все желающие могут присоединиться в любой момент к слушателям и включиться в процесс.

Для всех желающих получить интересную и престижную работу, организуется ярмарка вакансий «Работа для Вас», где участники выставки разместят информацию об открытых вакансиях, требования к кандидатам и условия работы.

Не менее интересной обещает быть и культурная программа выставки: оригинальное открытие официальной части мероприятия; возможность отдохнуть, расслабиться и побеседовать за чашечкой травяного чая или ароматного кофе в LoungeZone; посетить Аллею «Конкурса на лучший рекламный макет в печатных СМИ», побеседовать с друзьями в «Точке встречи».

Для привлечения посетителей разработана и реализуется рекламная стратегия, которая позволит донести до каждого разработчика и потребителя электронных компонентов, что выставка «Новая электроника» –

newElectronics® **ChipEXPO**
RUSSIA

это самый представительный, самый профессиональный источник.

Работу выставки будут освещать более 40 информационных партнеров, среди которых самые популярные ресурсы рынка электроники, транспорта, ВПК, информационных технологий, телекоммуникаций и промышленности.

С сентября 2012 г. проводится рекламная кампания в ведущих европейских СМИ – журналах EDN и EPN.

Широкомасштабная рекламная кампания развернулась в интернете, на тематических выставочных площадках. Одним из главных информационных партнеров выставки стал всемирно известный портал Broker Forum (www.brokerforum.com), с которым сотрудничают многие российские дистрибьюторы и производители. На выставке «Новая электроника-2013» компания BrokerForum развернет свою экспозицию на площади 100 кв. метров и представит более 10 партнеров из разных стран (Китай, Сингапур, Тайвань).

В конце февраля стартует рекламная кампания на телевизионных каналах ТВЦ и Москва 24, а также реклама в вагонах московского метрополитена.

Регулярно выпускаются и рассылаются в электронном виде «Бюллетени подготовки выставки». Проводятся регулярные рассылки новостей по электронным адресам клиентской базы данных организаторов выставки.

Надеемся, что выставка «Новая электроника-2013» с точки зрения эффективности и бизнес-перспектив, станет однозначно полезной как для участников, так и для посетителей.

Участие и работа на выставке – это расширение потенциального круга потребителей; это возможность рассказать о своей продукции и услугах профессиональному сообществу; это возможность поделиться опытом; это возможность узнать, каких результатов достигли другие; это место знакомства с новинками индустрии, это место повышения собственной конкурентоспособности.

Более подробно можно ознакомиться:

с тематикой выставки <http://www.new-electronics.info/welcome>,

со списком и профилем деятельности экспонентов

<http://www.new-electronics.info/exhibitors>,

с планом экспозиции <http://www.new-electronics.info/floorplan> и выбрать для себя наиболее интересные мероприятия деловой программы

<http://www.new-electronics.info/programm>, а также посмотреть схему проезда на выставку <http://www.exposentr.ru/ru/howtoget>

Для посещения выставки и экономии времени на регистрацию предлагаем заполнить анкету и распечатать электронный пригласительный билет на сайте:

<http://www.new-electronics.info/registration>

До встречи на выставке-форуме «Новая электроника-2013»!

Новых планов и достижений!

Оргкомитет выставки «Новая электроника 2013»

Тел. +7 (495) 221-50-15

info@new-electronics.info

www.new-electronics.info

УВАЖАЕМЫЕ ГОСПОДА!

На сайте выставки «Новая электроника – 2013» размещен «Бюллетень подготовки выставки «Новая электроника – 2013».

Многостраничное издание включает материалы о подготовке мероприятия и не только: интересные события радиоэлектронной промышленности 2012 года, которые стоит запомнить; информационные партнеры выставки; что ждет интересного посетителей на «Новой электронике – 2013»; как продвинуть свою компанию на выставке и многое другое.

Скачать «Бюллетень подготовки выставки «Новая электроника – 2012» можно по адресу:

<http://www.new-electronics.info/sites/default/files/Bulletin.pdf>

Приглашаем участников и партнеров выставки «Новая электроника – 2013» разместить в «Вестнике» материалы о новинках, которые будут представлены на выставке, новых сервисах и предложениях для клиентов, запланированных семинарах, презентациях и других мероприятиях, а также разместить рекламные блоки своей компании.

Ведущая выставка электронных компонентов и модулей «Новая электроника – 2013» – самое значи-

мое и представительное мероприятие электронной промышленности России.

Выставка «Новая электроника-2013» пройдет в Центральном выставочном комплексе Москвы «Экспоцентр» с 26 по 28 марта 2013 года.

Экспозиция выставки разместится на площади 8 100 кв.м. Среди участников выставки – крупнейшие компании, поставляющие на российский рынок более 90% электронных компонентов и модулей из 15 стран мира.

На выставке формируется два национальных павильона: China Pavilion и Taiwan Pavilion.

Мероприятие проходит при поддержке и участии Министерства промышленности и торгов-ли РФ, Комитета по промышленности Госдумы ФС РФ, Министерства обороны РФ, Правительства города Москвы и Московской области, Федерального агентства по атомной энергии, Федерального космического агентства, ГК «Ростехнологии», Московской торгово-промышленной палаты, ряда ведущих предприятий отрасли.

Оргкомитет выставки «Новая электроника 2013»

Тел. +7 (495) 221-50-15

info@new-electronics.info

www.new-electronics.info

МОБИЛЬНЫЕ ДАТЧИКИ ИНЕРЦИИ. ВСЕ БОЛЕЕ ВЫСОКИЕ УРОВНИ МИНИАТЮРИЗАЦИИ, СИСТЕМНОЙ ИНТЕГРАЦИИ И «МОБИЛЬНОСТИ»

Светлана Сысоева. E-mail: Dr.Gold@sysoeva.com

В статье представлен обзор последних инноваций датчиков движения/инерции, ведущей сферой применения для которых стала потребительская электроника – смартфоны. Новые инерциальные компоненты отличаются более высокими уровнями миниатюризации, системной и метасистемной интеграции инерциальных датчиков – именно в этом заключен смысл понятия более высокой «мобильности» компонентов и объектов, в которых их устанавливают.



компоненты рост этого рынка спрогнозирован только на 8%.

Так, практически все новые смартфоны содержат акселерометры для поворота экрана (рисунок 1а, б), и почти половина смартфонов, в первую очередь, топ-модели, включают гироскоп.

Смартфон HTC Sensation (рисунок 1) был выпущен как флагманское устройство 2011 года, функционирующее на базе двухъядерного процессора, изначально под управлением операционной системы Android 2.3.3 (в настоящем 2.3.5) Gingerbread с интерфейсом HTC Sense 3.0. Устройство оснащено 4,3-дюймовым сенсорным дисплеем с qHD-разрешением 540x960 точек, модулем DLNA для сетевого соединения пользовательских устройств и имеет множество других признаков, ставших типичными для мобильных устройств: GPS, Wi-Fi, Bluetooth и т. п.

Модель Sensation, в полном соответствии со своим названием, обещает пользователю массу чувств и ощущений

Введение

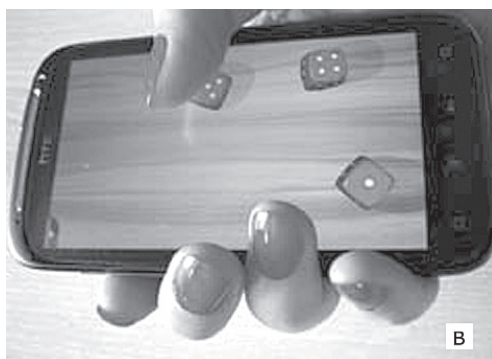
Инерциальные датчики – в настоящее время наиболее развитый сегмент рынка МЭМС-датчиков, переживающий в своем развитии очередной эволюционный виток. Консалтинговая фирма Yole Development ожидает, что в следующие 5 лет этот рыночный сегмент будет характеризоваться выраженным количественным ростом – до \$5,2 млрд в денежном выражении в 2017 году, хотя из-за снижения цен на



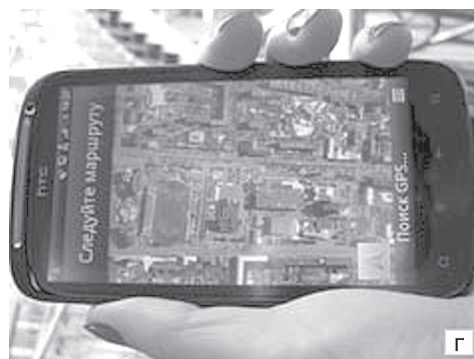
а



б



в



г

Рисунок 1 – Применение инерциальных датчиков в смартфонах на примере HTC Sensation:
а, б) автоматическая смена ориентации изображения на экране при повороте, обнаруживаемая акселерометром:
а) книжная ориентация; б) альбомная ориентация;
в) игра в кости с использованием акселерометра и гироскопа: наклоны и встряхивания корпуса смартфона в стороны имитируют рассыпание костей на столе;
г) применение компаса в навигации

(Sensation переводится как «ощущения, чувства»), но не только. В корпусе смартфона действительно большое число сенсорных устройств: акселерометр (G-сенсор), гироскоп, цифровой компас, датчик приближения и датчик освещенности. Сенсорные способности смартфона увеличивают датчики изображений и микрофоны. Смартфон оснащен встроенной камерой с разрешением 8 мегапикселей, автофокусировкой, светодиодной вспышкой, поддержкой видеосъемки в разрешении 1080 p и второй фронтальной VGA-камерой на 1,3 Мпа для видеосвязи. В процессе видеосъемки поддерживается тач-фокус, стабилизация изображения, распознавание лиц и опционно – стереозвук, так как HTC Sensation оснащен еще двумя микрофонами.

Основное назначение G-датчика – контроль поворота экрана посредством обнаружения изменений в гравитации (рисунок 1а, б). G-датчики (инклинометры) хорошо подходят для обнаружения медленных изменений углов и поворота экрана. На случай погрешности при детектировании наклона корпуса производитель смартфона Sensation дает возможность самостоятельной калибровки устройства.

Акселерометры могут быть чувствительны не только к гравитации, но и к вибрациям, изменениям скорости, например, вследствие дрожания руки, и подходят для контроля подобных действий пользователя в играх. Гироскопы позволяют быстро измерять угловую скорость, но вычисление углов сопряжено с ошибками. Основное назначение гироскопа – динамический 3D-контроль положения/ориентации устройства в пространстве и быстро изменяющихся действий пользователя, чаще всего в играх. Примером игрового приложения для HTC Sensation, основанного на подобных действиях, является игра в кости (рисунок 1в). Гироскопы, объединенные с акселерометрами, позволяют осуществить более «сглаженное» и точное распознавание сложных действий пользователя и ориентации устройства в пространстве. Назначение акселерометров и гироскопов в HTC Sensation – осуществление пользовательского интерфейса HTC Sense 3.0, в играх, приложениях от AndroidMarkets, дополненной реальности. Менеджеры HTC

также связывают гироскопы с LBS (сервисами, основанными на местоположении). Основное применение компасов – навигация (рисунок 1г).

Эксперты Yole Development считают, что в ближайшие годы будут расти продажи гироскопов (рисунок 2). Исследования Yole показали увеличение числа гироскопов в смартфонах с 9% в 2010-м до 36% в 2011 году. В настоящее время объемы продаж смартфонов приближаются к 450 млн единиц и к 2017 году обещают удвоиться. Аналитики Yole ожидают, что в следующие три года каждый из почти миллиарда продаваемых смартфонов будет иметь гироскоп.

Проявляется также тенденция использовать два гироскопа в смартфоне, новым применением для них становится стабилизация изображений.

Например, прецизионные гироскопы для стабилизации изображений в модулях камер поставляет компания InvenSense. А STMicroelectronics разработала альтернативное двухъядерное решение – объединение с ASIC в корпусе интегральной микросхемы 4х4х1 мм двух гироскопов, один из которых служит для стабилизации изображений, а второй – для игр.

Ведущие производители инерциальных компонентов – STMicroelectronics и InvenSense – ориентируют свои новейшие предложения на следующие топ-модели смартфонов. Например, HTC, Nintendo и Samsung Electronics – основные потребители продукции InvenSense. STMicroelectronics поставляет инерциальные компоненты компании Apple, продукция которой дает до 50% доходности от сбыта МЭМС компании ST.

IHS iSuppli ожидает, что 4 млрд датчиков движения будет продано для мобильных телефонов и медиапланшетов уже в 2015 году. Аналитики Yole также высказывают мнение, что рынок дискретных компонентов в 2014-2015 гг. вначале стабилизируется (плоские участки на рисунке 2), а затем начнет снижаться, уступая место комбидатчикам. Хотя рыночная ниша комбидатчиков в настоящее время оценивается экспертами менее чем в \$100 млн, специалисты предполагают, что к 2017 году этот сегмент достигнет \$1,7 млрд.

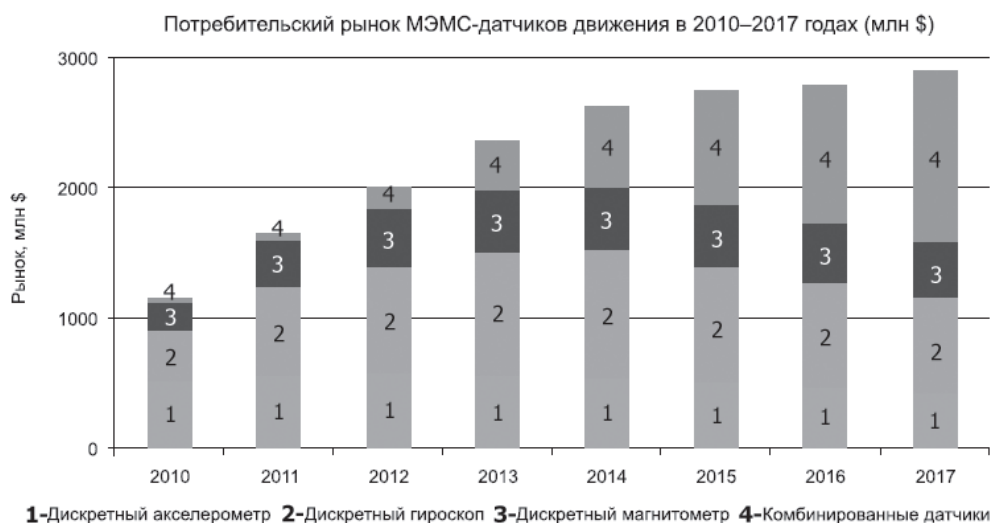


Рисунок 2 – Динамика рынка инерциальных компонентов в потребительском сегменте от Yole Development

В 2010 году стартовал рынок 6-осевых комбидатчиков. Вначале были представлены акселерометры, объединенные с магнитометрами и ASIC, и 6-осевые блоки инерциальных измерений (IMU), представляющие собой 3-осевые акселерометры, объединенные с 3-осевыми гироскопами. Затем на рынке были представлены 9- и даже 10-осевые модули уровня SiP или полного системного решения на основе компонентов в разных корпусах, но объединенных программно (STMicro iNEMO) [1–3]. Аналитики IHS iSuppli предполагают, что в 2015 году 9-осевое слияние сенсорных данных в хэндсетах и планшетах даст 1,3 млрд долл США.

С массовым распространением мультисенсорных решений на основе инерциальных компонентов с числом осей детектирования/степеней свободы 6, 9 и 10 и технологий слияния данных может быть также связано качественное изменение сегмента мобильных МЭМС-датчиков. Впрочем, наиболее ярко в этой нише сегодня проявляется тенденция миниатюризации мультисенсорных компонентов. Сейчас InvenSense выпускает 9-осевое сенсорное устройство для слежения за данными о движении в корпусе размерами 4x4x1 мм, а год назад фут-принт тех же размеров позволял вместить в себя только один однокристалльный 3-осевой датчик. Модули InvenSense выпуска 2012 года имеют на одном кристалле 3-осевые акселерометр и гироскоп, вместе с ними в модули и ПО интегрируются магнитометры АКМ.

Модули инерциальных измерений от STMicroelectronics для потребительской электроники нового поколения также являются 9-осевыми, что соответствует девяти степеням свободы, или утроенному числу степеней свободы, входящих на каждый из 3-осевых датчиков – акселерометр, гироскоп, магнитометр. Достижением компании в этом году стало то, что все эти датчики теперь могут быть интегрированы в единый SiP-корпус.

Миниатюризация соответствует более высоким уровням системной интеграции и, как следствие, метасистемной интеграции. Естественно, что миниатюризация способствует более широкому применению инерциальных компонентов, так как облегчает их интеграцию в надсистемы, снижает занимаемое пространство, потребление мощности и стоимость.

Одним из новых применений становятся носимые датчики движения, которые применяются в медицине и спорте для мониторинга положения/перемещения/ориентации отдельных частей тела с помощью питаемых от батарей сенсорных блоков, беспроводным способом подключаемых к смартфону. Датчики, фиксируемые на подвижной части тела человека или корпуса машины, получают возможность контроля собственной мобильности в 3D-пространстве.

Мультисенсорные инерциальные компоненты теперь способны измерять до десяти степеней свободы перемещений/положения/ориентации части тела или корпуса, на которой он установлен, а миниатюризация допускает развертывание сенсорных сетей в масштабе тела человека, корпуса машины или робота.

В зависимости от числа мультисенсорных датчиков в локальной сети становится возможным контроль сложного движения с числом степеней свободы N , кратным 10, надсистемы, имеющей некоторое число собственных степеней свободы. Например, одиннадцатую степень свободы перемещений в географических координатах контролирует

GPS-ресивер, кристалл которого системно интегрируется вместе с инерциальными датчиками.

Мобильность изначально заложена в самом понятии датчиков движения, и неслучайно, что они стали широко применяться именно в мобильных устройствах. Год назад значительным достижением была сама возможность детектирования движения с числом степеней свободы 9 и более. Сегодня выведение мобильной сенсорной концепции на сетевой уровень можно считать пиком эволюции мобильных датчиков. Но в проекции на следующие годы это, очевидно, только промежуточный итог, поскольку рынок мобильных портативных, ручных, носимых устройств и компонентов для них непрерывно развивается – как показывает обзор, представленный в статье.

Топ-поставщики МЭМС датчиков инерции

Недавнее исследование Yole Development показывает, что спрос на смартфоны обусловил рост выручки ряда лидирующих производителей от 20 до 80%.

Распространение МЭМС-датчиков на рынке смартфонов дало 17%-ный рост продаж МЭМС, уровень которых в 2011 году достиг 10,2 млрд долл США.

Лидирующий производитель инерциальных компонентов – компания ST – показала рост в 42%, достигнув по объему продаж МЭМС 907 млн долл США. В рейтинге доходности от Yole ST заняла второе место после TI. Модули инерциальных измерений STMicroelectronics нового поколения являются уже не просто 9-осевым набором компонентов одного производителя, как в прошлом году. Теперь они выпускаются в корпусах с малым фут-принтом или в виде систем на плате, интегрирующих также электронику обработки данных. Это свидетельства значительных достижений компании в плане повышения степени интеграции и миниатюризации. Особого внимания заслуживает первый в мире двухъядерный гироскоп, разработанный для интеллектуальной обработки пользовательского интерфейса и стабилизации изображений в смартфонах и планшетах.

В феврале 2012 года было продано двухмиллиардное устройство МЭМС компании ST. Этот рубеж был преодолен, когда прошло немногим более года с момента продажи первого миллиарда МЭМС в ноябре 2010 года. Доходность STMicroelectronics только за 2011 год составила 9,73 млрд долл США.

Компания Robert Bosch расположена в рейтинге Yole на четвертом месте после Hewlett Packard – благодаря значительному росту объемов продаж мобильных датчиков инерции до 17%. Bosch в настоящее время также производит датчики 9-осевого мобильного детектирования движения. Бизнес Bosch в 2011 году достиг 738 млн долл США, что соответствует росту в 16%, или 100 млн долл США в денежном выражении. Объем выручки этой компании вырос до приблизительно \$738 млн. В портфолио Bosch теперь представлены мобильные гироскопы и магнитометры. В 2012 году компания ожидает увеличения прибыли за счет продаж именно этих устройств, оптимизированных для совместной работы и технологий слияния сенсорных данных.

Knowles Electronics показала 40%-ный рост благодаря продажам МЭМС-микрофонов, объемы которых достигли 362 млн долл США. Продажи магнитометров АКМ увеличились на 46% и достигли 279 млн долл США. Эта компания

по-прежнему доминирует в рыночном сегменте магнитометров: 78% рыночной доли составляют датчики Холла АКМ.

Доходность InvenSense возросла на 67% до уровня 44 млн долл США благодаря производству гироскопов и устройств обработки движения. Интерфейсы обработки движения вначале были наиболее популярны в играх, а в последние годы применяются в смартфонах и планшетах, носимых датчиках и смарт-ТВ.

Как отмечает лидер компании Стив Назири, это помогает InvenSense отойти от игрового рынка: на его долю в 2011 году приходилось до 70% продаж. Уже в последнем квартале минувшего финансового года неигровые приложения добавили порядка 50% к объему выручки.

В 2011 году компания также вошла в бизнес акселерометров: был пущен в производство первый 6-осевой датчик. Сейчас InvenSense способна предложить клиентам полностью интегрированный 9-осевой сенсорный модуль со слиянием сенсорных данных вместо дискретных акселерометра, гироскопа и магнитометра. InvenSense в 2012 году стала выпускать и самые малые из представленных на рынке – двухосевые гироскопы для оптической стабилизации изображений в смартфонах.

MEMSIC показала 80%-ный рост продаж акселерометров и магнитометров, благодаря чему вошла в топ-30 поставщиков с показателем доходности в 54 млн долл США. В конце 2011 года MEMSIC выпустила двухосевой цифровой акселерометр, побивший предшествующие рекорды по миниатюризации. Самый малый в мире цифровой акселерометр от MEMSIC имеет размеры фут-принта всего 1,2x1,7 мм.

Ряд новых продуктов топ-поставщиков инерциальных компонентов на мобильный рынок заслуживает отдельного рассмотрения, так как они сейчас становятся лидерами для других компаний, стремящихся к повышению своей доходности в этой нише.

Например, исследования Yole Development выявили 20%-ный или более высокий рост для компаний Analog Devices, Sony, Kionix, Triquint – также благодаря поставкам на мобильный рынок акселерометров, микрофонов и BAW-фильтров.

STMicroelectronics: самые высокие объемы продаж и интеграции. Двухъядерный гироскоп, 9-осевые сенсорные системы в корпусе и на плате

Достижения ST являются непревзойденными, прежде всего с точки зрения достигнутых объемов продаж. В феврале 2012 года ST перешагнула двухмиллиардный рубеж проданных МЭМС-устройств. Доходность STMicroelectronics от продаж МЭМС возросла в минувшем году на 42%, что соответствует 250 млн долл США в денежном выражении, и достигла 907 млн долл США.

На данный момент ST контролирует 50% мирового рынка акселерометров и за 2011 год удвоила продажи гироскопов. С момента вхождения в сегмент гироскопов в 2009 году ST продала уже 350 млн таких датчиков, и будущее повышение своей доходности компания связывает с плановым ростом продаж гироскопов для оптической стабилизации изображений и пешеходной навигации.

Первый в мире двухъядерный гироскоп был разработан одновременно для интеллектуальной обработки пользовательского интерфейса и стабилизации изображений в смартфонах и планшетах (рисунок 3а). Гироскоп L3G4IS выпущен в

корпусе 4x4x1 мм. Альтернативно для осуществления тех же функций потребовалось бы два разных датчика. Очевидно, что это решение способствует дальнейшей миниатюризации портативных устройств. Эти устройства работают в условиях дефицита мощности, поэтому гироскоп включает блоки интеллектуального управления питанием и встроенный блок памяти FIFO и может работать в режимах power-down и sleep. Выходные интерфейсы устройства – I2C и SPI. Гироскоп имеет температурный датчик. Его напряжение питания составляет 2,4–3,6 В. Дополнительные атрибуты включают конфигурируемые фильтры верхних и нижних частот. Цена устройства, производство которого стартует во 2 квартале 2012 года, – около 3,9 долл в объеме свыше 1000 штук.

ST рассчитывает на рост популярности миниатюрных гироскопов, позволяющих клиентам применять один датчик вместо двух и, следовательно, снижать занимаемое на плате пространство и цену. Другие рыночные ожидания ST связаны с датчиками для пешеходной навигации, для них разрабатываются более высокоразрешающие и точные, при этом потребляющие меньше мощности сенсорные устройства, объединенные с ASIC.

Согласно ожиданиям ST, применение технологий инерциальных измерений для пешеходной навигации также будет стимулировать спрос на высокоразрешающие и точные датчики давления. Компания сейчас развивает технологии голосовых интерфейсов и микрофонов с более высоким качеством звукового преобразования и меньшими шумами. МЭМС-микрофоны основаны на той же технологии, что лежит в основе инерциальных датчиков, и именно благодаря развитию технологий инерциальных датчиков к 2013 году ST намерена занять лидирующее положение на рынке акустических измерений. В этот же период ожидается массовое использование комбидатчиков, представляющих собой комбинации акселерометров и гироскопов с магнитометрами. Хотя в настоящее время на рынке по-прежнему востребованы дискретные компоненты ST, для которых клиенты создают собственное ПО, STMicroelectronics продолжает разрабатывать технологии мультисеверных измерений.

В 2012 году для потребительской электроники нового поколения ST представила полностью интегрированные модули инерциальных измерений семейства iNEMO, которые являются 9-осевыми. Это соответствует девяти степеням свободы, или утроенному числу степеней свободы, приходящихся на каждый из трехосевых датчиков – акселерометр, гироскоп, магнитометр. Целевые применения – обнаружение местоположения и пешеходная навигация в пределах помещений.

Отличительными признаками нового сенсорного семейства являются высокая степень интеграции и малый форм-фактор. Год назад ST разработала для интеллектуальных пользовательских устройств программный модуль iNEMO Engine, выполняющий слияние данных датчиков движения в 9- и 10-осевом формате вместе с соответствующим набором датчиков в двух или трех корпусах (геомагнитный модуль – акселерометр+магнитометр, гироскоп, датчик давления). С прошлого года в производстве находятся 6-осевые интегрированные компоненты iNEMO LSM330D, объединяющие акселерометр и гироскоп в SiP-корпусе размерами 3x5,5x1 мм. Снижение размера по сравнению с предшествующими устройствами оценивалось в 20%.

В 2012 году компания разместила в одном интегральном корпусе сразу три датчика (акселерометр, гироскоп и магнитометр) и осуществила 9-осевой формат слияния данных посредством ПО iNEMO. Первый представитель в этом сенсорном семействе – SiP-модуль LSM333D (рисунок 3б).

LSM333D рассчитан на следующие диапазоны детектирования:

- линейного ускорения – $\pm 2g/\pm 4g/\pm 8g/\pm 16g$;
- магнитного поля – $\pm 0,2/\pm 0,4/\pm 0,8/\pm 1,2$ мТл;
- угловой скорости – $\pm 250/\pm 500/\pm 2000^\circ/\text{с}$.

Это так называемые полные диапазоны, или диапазоны полной шкалы, избираемые пользователем. LSM333D имеет интерфейсы I2C и SPI (на выбор).

Другие ключевые атрибуты LSM333D включают встроенный датчик температуры и управление питанием для продления срока службы батарей, программируемые генераторы прерываний для режимов детектирования свободного падения, движения, магнитного поля, признак FIFO, гибкость подключения к главному системному контроллеру. Инерциальный модуль LSM333D доступен в корпусе 3,5х6х1 мм, готовится к производству версия корпуса размерами 4х4х1 мм и фут-принтом 16 мм³. В корпус с таким фут-принтом интегрированы сразу три датчика, что стало свидетельством значительных достижений компании в плане повышения степени интеграции и миниатюризации.

Ровно год назад подобный фут-принт мог вместить только один датчик.

Опыт ST позволяет быстро выводить свои разработки в производство и незамедлительно предлагать их разработчикам смартфонов. Как система в корпусе, новый модуль LSM333D позволяет производителям смартфонов и планшетов одновременно упростить дизайн и высвободить примерно 30% пространства печатной платы, занимаемого дискретными решениями. Но на этом не заканчиваются все преимущества от использования нового представителя семейства. Модуль интегрирует также специализированное ПО со слиянием данных для навигации в пределах помещений, сервисов, основанных на местоположении, – LBS, других методов и способов детектирования. Интеграция всех перечисленных признаков в модуле является базовым фундаментом, на котором пользователь может строить свои системы и приложения нового поколения.

Системы на плате – еще одно новое семейство модулей для контроля движения. В феврале 2012 года было выпущено первое 9-осевое устройство нового семейства iNEMO-M1. Модуль размером 13х13х2 мм представлен в виде системы на плате с датчиками и интегрированными функциями обработки сенсорных данных, реализованными в мощном 32-битном обрабатывающем блоке (рисунок 3в). Аппаратная часть включает 6-осевой

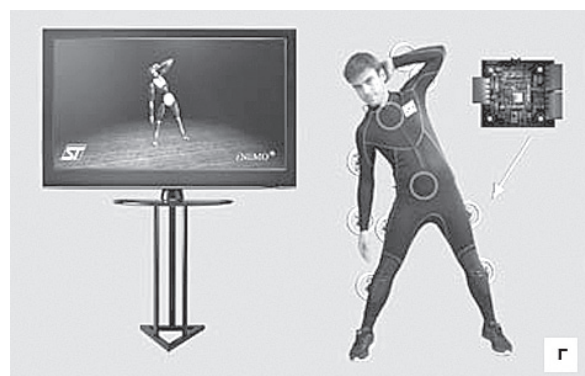
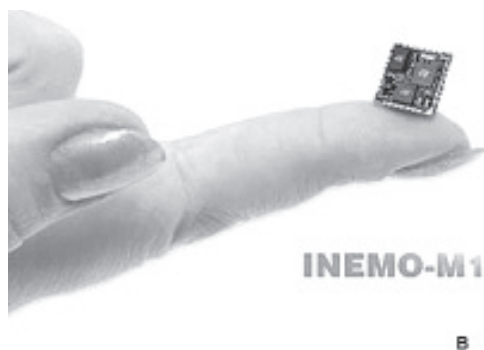


Рисунок 3 – МЭМС-датчики инерции STMicroelectronics для мобильных устройств:

- а) первый в мире двухъядерный гироскоп для смартфонов и планшетов: одно ядро предназначено для интеллектуального пользовательского интерфейса, второе – для оптической стабилизации изображений;
- б) следующее поколение сенсорных модулей для потребительских применений: 9-осевые SiP-модули, полностью интегрированные в один корпус с малым форм-фактором;
- в) система на плате iNEMO-M1 – миниатюрный 9-осевой инерциальный модуль с 32-битным обрабатывающим блоком, разработанный для применения в играх, робототехнике, навигации, мониторинге здоровья и спорта;
- г) применение интеллектуальной технологии iNEMO для цифрового воссоздания движения человеческого тела в режиме реального времени

геомагнитный датчик, 3-осевой гироскоп и 32-битный МК STM32. Производство модулей стартует во 2-м квартале 2012 года.

iNEMO-M1 выполняет обнаружение и использование данных линейного ускорения, угловой скорости, гравитации и курса для детектирования положения, ориентации и движения. Объединение датчиков с 32-битным обрабатывающим блоком позволяет производить вычисления и повышать точность сенсорной платы. Блок со встроенным ПО со слиянием сенсорных данных интегрирует входы для датчиков и выполняет алгоритмы предсказания и фильтрации для автоматической коррекции погрешностей измерений. Модуль характеризуется широким набором интерфейсов, включая USB 2.0, CAN, USART, SPI, I2C, каналы АЦП для внешних входов, гибкие опции питания.

iNEMO-M1 – это первый представитель семейства систем на плате, основанных на интеллектуальной мультисенсорной технологии iNEMO. Компактный модуль iNEMO-M1 формирует ядро сенсорных узлов в прототипе костюма для высокоскоростного цифрового воссоздания сложного движения тела (smart-suit prototype) с высокой точностью (рисунок 3г).

Такой сенсорный костюм помогает пациентам и спортсменам в идентификации и устранении проблем с осуществлением движения. Сопроцессор iNEMO, вшитый в костюм, обнаруживает и оцифровывает сложное движение, используя входные данные от миниатюрных сенсорных узлов, размещенных на каждой руке (плече и предплечье), ноге (бедре и икре), два из них размещены сзади. Дополнительные узлы могут быть закреплены на руках, в обуви, на голове. Технология получила название iBMR – iNEMO Body Motion Reconstruction.

По сути дела, каждый сенсорный узел iNEMO представляет собой систему контроля ориентации и курса (Attitude and Heading Reference System, AHRS). Все узлы направляют данные к контрольному блоку, который прикладывает измерения к графической модели скелета и отображает на экране движение тела в реальном времени в течение 15 мс. Пространственная точность – лучше, чем 0,5°.

Другие поставщики – InvenSense, Robert Bosch, MEMSIC – также добились значительных успехов в технологическом плане и предлагают альтернативные технологии и решения, разработанные для повышения точности, снижения энергопотребления, повышения степени интеграции, и поэтому они тоже заслуживают внимания.

InvenSense: самые высокие уровни миниатюризации и интеграции. Гироскоп для оптической стабилизации и 9-осевой сенсорный модуль слежения за движением в самых малых корпусах

Новым применением гироскопов в смартфонах становится стабилизация изображений (рисунок 4а). Смартфоны все чаще выполняют функции захвата изображений, но качество изображений уступает тем, что дают цифровые камеры (DSC). Изображения отличаются смазом, в особенности те, что получены в условиях низкого освещения.

Клиентский спрос на изображения лучшего качества вылился в интеграцию в смартфоны мегапиксельных камер, встроенной автофокусировки, улучшенного качества линз. Гироскопы позволяют уменьшить смаз вследствие дрожания рук при съемке.

Разработчики смартфонов закладывают в новые устройства два гироскопа – один для игр, а второй – для стабилизации изображений. InvenSense в 2012 году для оптической стабилизации изображений в смартфонах ввела самые малые двухосевые гироскопы: IDG-2020 и IXZ-2020 (рисунок 4б, в). Для цифровых камер разработаны версии IDG-2020/IXZ-2020 в корпусах QFN с размерами 3х3х0,9 мм. Корпуса версий IDG-2021/IXZ-2021 для смартфонов отличаются малым форм-фактором и низким профилем – порядка 3х3х0,75 мм.

Низкопрофильные гироскопы предназначены для интеграции функциональности OIS в высокоразрешающие модули камер смартфонов. InvenSense впервые предложила для OIS решение на основе двухосевых гироскопов XY (roll и pitch) и XZ (roll и yaw) столь малых размеров. Новые гироскопы также объединяют другие признаки для повышения качества – 16-битные АЦП, их потребление мощности – менее 6 мВт, а рабочая частота – 27 кГц.

IDG-202х (XY-оси) и IXZ-202х (XZ-оси) выполнены на основе процесса Nasiri, допускающего интеграцию механических структур МЭМС вместе со CMOS-электроникой на уровне подложки, что и обеспечивает высокие характеристики и возможность миниатюризации. Гироскопы адаптированы для требований OIS, включая их способность давать выход в полном диапазоне в $\pm 32^\circ/\text{с}$, что соответствует высокой чувствительности при детектировании дрожания руки. Другие характеристики: АЦП сэмплинг с частотой 32 кГц, номинальная частота возбуждения 27 кГц, повышающая устойчивость к звуковым шумам, цифровые фильтры с малой фазовой задержкой, высокоскоростной последовательный интерфейс SPI на 20 МГц.

В планах InvenSense – меньшие по размеру, более интегрированные сенсорные блоки.

Технологическая платформа компании, которая основана на присоединении ASIC к кристаллу МЭМС с проводными соединениями, допускает непрерывное снижение размеров кристалла и интеграцию большего числа компонентов (рисунок 4г). Это главное отличие технологии от проводных соединений или технологий многослойных межсоединений, для которых характерны множественные входы и выходы. При достижении более высокого уровня интеграции необходимо сконцентрироваться на разработке ПО – для лучших характеристик контроля движения.

В нише мультисековых измерений компания InvenSense стартовала, предложив ПО для слияния данных о движении с собственными гироскопами и входами акселерометров сторонних производителей. С 2011 года InvenSense также вышла на рынок акселерометров и имеет возможность интегрировать мультисековые датчики на кристалле и в корпусе, добившись при этом существенного снижения цены.

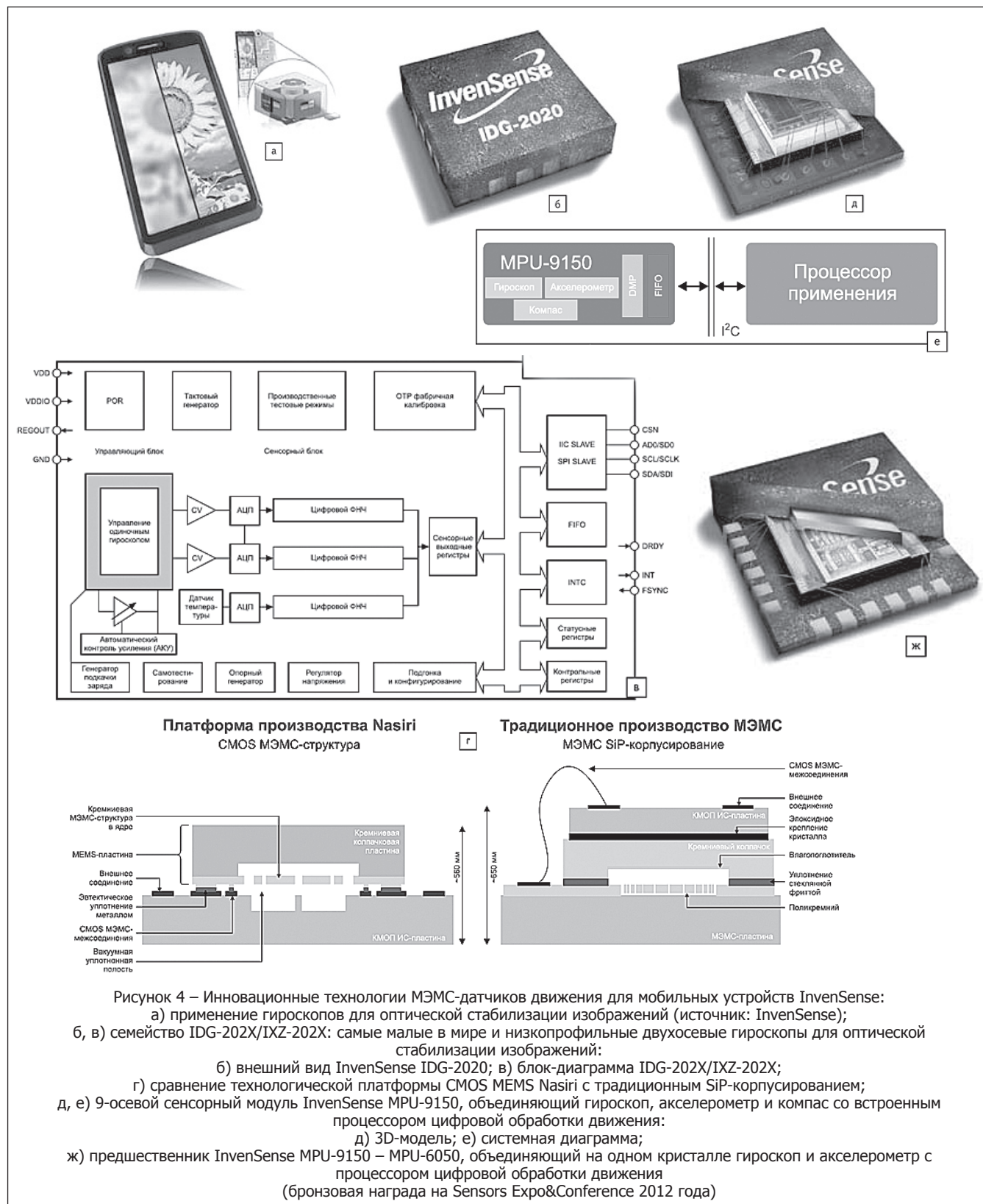
С 2011 года компания выпускает 6-осевой комбиблок акселерометров и гироскопов, а производство 9-осевого интегрированного сенсорного блока акселерометра, гироскопа и магнитометра запланировано на вторую половину 2012 года.

Мобильное 9-осевое устройство для слежения данных о движении MPU-9150 (рисунок 4д, е) разработано InvenSense в партнерстве с Asahi Kasei Microdevices Corporation (AKM). InvenSense интегрировала лидирующий на рынке компас AK8975 с разработанным ранее процессорным устройством MPU-6050 (рисунок 4ж), представляющим

собой первый в мире однокристалльный гироскоп, объединенный с акселерометром. Модуль MPU-9150 в корпусе 4x4x1 мм включает 3-осевой акселерометр, гироскоп и компас от АКМ. Этот компас, присоединенный провода-

ми к верхней части 6-осевого блока, интегрирован в тот же самый корпус.

MPU-9150 совместим с процессорами обработки движения InvenSense MPU-6050 и MPU-3050 MotionProcessors,



которые широко используются в различных смартфонах и планшетах. В новом устройстве InvenSense объединила алгоритмы калибровки компасов АКМ с программной платформой MotionApps, включающей прошивку 9-осевого слияния данных MotionFusion. MotionFusion объединяет сенсорные выходы акселерометра, гироскопа и магнитометра, что дает возможность добавлять функциональность в программные приложения.

MPU-9150 разработан для того, чтобы снизить нагрузку на пользователя, связанную с выбором, квалификацией дискретных компонентов и интеграцией системного уровня, а также уменьшить цену, сложность и занимаемое пространство. В 2012 году началось массовое производство MPU-9150.

10-осевой блок, который включает датчик давления и 10-осевое слияние сенсорных данных, – в планах InvenSense.

Но уже сейчас InvenSense запустила ПО MOTIONAPPS 5.0, поддерживающее 10-осевое слежение за движением на базе устройств MPU-6050 и MPU-9050 в комбинации с датчиками давления от сторонних производителей, а также контроль глифов, обработку жестов, стабилизацию изображений и другие признаки.

Мультиосевые сенсорные блоки включают в состав носимых датчиков движения, которые применяются для мониторинга в спорте и медицине. В этих датчиках используются питаемые от батарей сенсорные блоки, беспроводным способом подключаемые к смартфону. InvenSense недавно выпустила комплект для разработчиков, желающих использовать сенсорную информацию о движении в спортивном снаряжении.

InvenSense продемонстрировала носимый сенсорный комплект для мониторинга состояния здоровья человека.

Комплект MotionFit System Developers Kit (SDK) состоит из платы размерами 40x37 мм и включает высокоинтегрированное устройство MPU-9150, датчик давления (следающий за высотой), микроконтроллер TI MSP430, Bluetooth/USB, перезаряжаемую батарею на 110 мА/ч и встроенное ПО MotionApps Lite для облегчения разработок. ПО выполняет 9-осевую калибровку и слияние сенсорных данных, предоставляя доступ как к калиброванным строковым сенсорным данным, так и к выходам, полученным в результате слияния (3D-ориентация).

Снижение цены и миниатюризация расширяют потенциальные сферы сбыта технологий МЭМС-датчиков движения в сегменте потребительской электроники. Основные целевые применения акселерометров – контроль поворота экрана, магнитометров – навигация посредством карт, гироскопов – стабилизация изображений. Все это формирует значительный спрос на датчики инерции. Компания проявляет интерес и к другим видам контроля движения – от контроля стуков, качания до систем дополненной реальности.

В начале июня 2012 года компания объявила о своем вхождении в сегмент промышленных гироскопов. Новый 3-осевой гироскоп MPU-3300 характеризуется низким шумом ($0,005^\circ/\sqrt{\text{Гц}}$), малым размером и низкой ценой в сравнении с аналогичными предложениями (35 долл от 100 шт.). Нестабильность смещения составляет $15^\circ/\text{ч}$, а размеры корпуса – 4x4x0,9 мм. Рабочий температурный диапазон – от -40 до +105 °С. Создание гироскопа MPU-3300 – значительное достижение для этой компании в

плане повышения рабочих характеристик. Применения, рекомендованные для устройства, разнообразны и включают навигацию, стабилизацию антенн, беспилотные аппараты, робототехнику и прецизионное оборудование.

Bosch: вхождение в нишу мультиосевого детектирования движения

Bosch сейчас также занялась созданием систем 9-осевого мобильного детектирования движения. Бизнес Bosch в 2011 году достиг 738 млн долл США, что соответствует росту CAGR в 16%, или 100 млн долл США в денежном выражении. В портфолио компании теперь представлены мобильные гироскопы и магнитометры. В 2012 году Bosch ожидает увеличения прибыли именно за счет продаж этих устройств, оптимизированных для совместной работы, и технологий слияния сенсорных данных.

Компания недавно добавила к своему портфолио 3-осевой гироскоп BMG160 в LGA-корпусе 3x3x0,95 мм для систем потребительской электроники (рисунок 5а). Применения включают игры, навигацию, стабилизацию изображений. Гироскоп выполняет малозумящие измерения угловых скоростей в трех перпендикулярных осях и разработан для использования в смартфонах, ручных устройствах, компьютерной периферии, человеко-машинных интерфейсах, устройствах с признаками виртуальной реальности, а также в удаленных и игровых контроллерах.

Компания теперь производит и свои собственные магнитометры, которые, по словам специалистов Bosch, обладают более высокой точностью и отличаются меньшим потреблением энергии, чем датчики Холла.

Магнитометр основан на запатентованном Bosch принципе FlipCore.

Метод Bosch основан на использовании тонких магнитных слоев, которые способны к изменению электрических свойств под действием изменений магнитного поля. При каждом обращении намагниченности пленки детекторная обмотка выводит импульсы напряжения, и по времени между сигналами сообщает информацию о напряженности магнитного поля Земли.

eCompass BMC050 (рисунок 5б) открывает новое портфолио высокоточных МЭМС-датчиков для компасных применений в смартфонах и других портативных устройствах с навигационными признаками.

В LGA-корпус интегрированы два датчика: трехосевой магнитометр для детектирования геомагнитного поля и трехосевой акселерометр для компенсации наклона (для тех случаев, когда датчик размещен не параллельно поверхности земли). На основании этих данных ПО eCompass BMC050 выдает информацию о курсе.

Кроме того, акселерометр, интегрированный в датчик, обеспечивает функциональность и точность 10-битного цифрового акселерометра BMA250, выпущенного в виде отдельного компонента.

Целевые применения включают: измерение ориентации для навигации (повышение точности GPS, вращение карт), LBS, дополненная реальность, в комбинации с датчиком давления – навигация в помещениях.

Компания делает ставку на комбидатчики, поскольку клиентам сложно минимизировать размеры своих устройств, одновременно используя компоненты и ПО от разных поставщиков. Компания Bosch планирует, что в новых плат-

формах будут использоваться ее 6-осевой акселерометр, объединенный с магнитометром, и 6-осевой акселерометр, объединенный с гироскопом.

В конце мая 2012 года компания Bosch представила блок инерциальных измерений (IMU) с шестью степенями свободы (6DoF) – BMI055 (рисунок 5в). Он объединяет 3-осевой акселерометр и 3-осевой гироскоп в корпусе LGA ультрамалых размеров – 3x4,5x0,95 мм.

Вследствие своей высокой степени интеграции блок BMI055 позволяет снизить материалоемкость, место, занимаемое на плате, и упростить процесс квалификации и сборки.

Разрешение гироскопа – 16 бит, разрешение акселерометра – 12 бит. Измерительные диапазоны программируются: $\pm 125... \pm 2000^\circ/\text{с}$ для гироскопа и $\pm 2... \pm 16g$ для акселерометра. Это допускает большую гибкость применения. BMI055 характеризуется малым смещением (до 70мг) и в целом представляет собой высокоточное устройство для смартфонов. Блок BMI055 разработан для батарейных применений и отличается низким энергопотреблением. Выходные интерфейсы – I2C и SPI.

9-осевое решение (9DoF) можно создать на основе комбинации BMI055 и геомагнитного датчика.

Последнее поколение мобильных датчиков давления представлено BMP180 – это цифровые барометрические датчики Bosch Sensortec. В сравнении с предшественниками BMP085 датчики BMP180 (рисунок 5г, д) отли-

чаются меньшими размерами (3,6x3,8x0,93 мм), сниженным энергопотреблением (до 3 мкА), высокими и стабильными характеристиками.

Относительная точность порядка $\pm 0,12$ гПа, что соответствует ± 1 м, позволяет измерить высоту при навигации в пределах помещений. BMP180 также имеет высокую абсолютную точность и шумовой уровень до 0,02 гПа, что соответствует высоте в 17 см. Все это открывает возможности для применения этого датчика в спорте.

Быстро развивающийся и высокообъемный бизнес потребительской электроники в немалой степени способствует введению новых технологий в автомобильную электронику и снижение их цены.

Новые автомобильные барометрические датчики давления для управления двигателем основаны на той же самой технологии, что используется для потребительской электроники, но дополняются более сложной электроникой.

Специалисты Bosch ожидают, что автомобильный рынок в 2012 году будет продолжать рост, обозначенный в 2011 году. Большинство новых предложений компаний для автомобильного рынка составят комбидатчики, чему способствуют правительственные законодательные меры, которые должны быть приняты к исполнению до 2014 года в большинстве автомобильных держав – США, странах Европы, Японии, Южной Кореи, России, Канаде и Австралии.

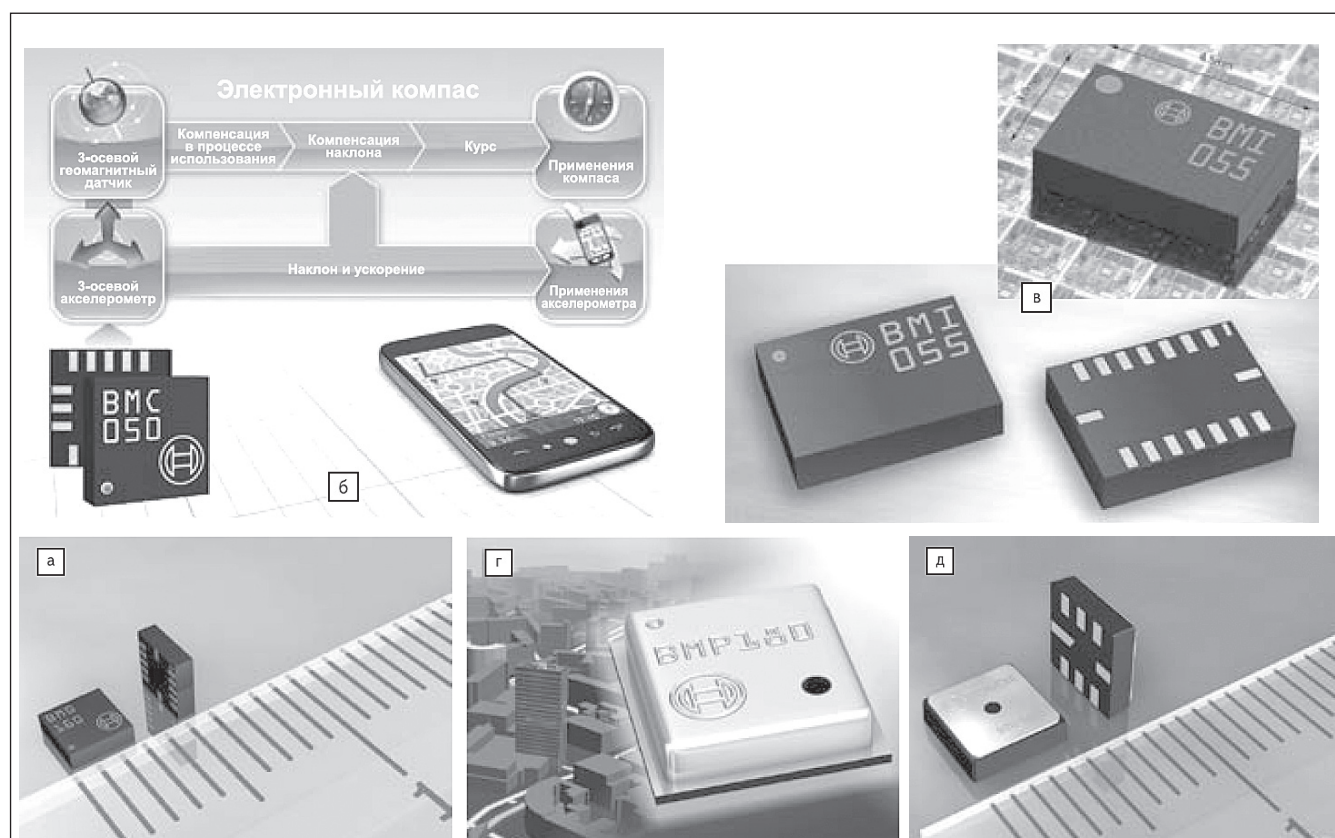


Рисунок 5 — Инновационные технологии датчиков движения Bosch Sensortec для систем потребительской электроники: а) 3-осевой гироскоп BMG160 в LGA-корпусе; б) электронный компас eCompass BMC050; в) самый малый IMU от Bosch Sensortec; г, д) цифровые барометрические датчики: г) BMP180; д) BMP085

MEMSIC: рост продаж и новый акселерометр

Продажи MEMSIC выросли в течение прошлого года на 80% – благодаря поставкам недорогих акселерометров и магнитометров для азиатских рынков мобильных телефонов. Доходность компании достигла 68 млн долл США, при этом была учтена не только потребительская, но и high-end промышленная и авиационная электроника.

Недорогая технология датчиков движения компании соответствует требованиям азиатских изготовителей мобильных телефонов, конкурирующих путем снижения цены. Особым спросом пользуются магнитометры компании на основе AMP-технологии: в них есть однослойная магнитная пленка, которая изменяет свое сопротивление под действием магнитного поля. Поэтому магнитометры MEMSIC отличаются более высокой точностью, чем датчики Холла. Ключ для снижения цены в том, чтобы все оси детектирования – X, Y, Z – были размещены в одной плоскости датчика.

В конце 2011 года MEMSIC анонсировала выпуск двухосевого цифрового акселерометра MXC6226XC MEMS. Это самый маленький в мире цифровой акселерометр (рисунок 6а, б). Размеры устройства в корпусе – 1,2x1,7x1 мм. MEMS-структура производится с помощью процесса CMOS на 18 мкм на том же самом кристалле, что и ASIC, и 8-дюймовая пластина присоединяется для корпусирования на уровне пластины. Поэтому MXC6226XC имеет столь малый размер, низкую цену (0,35 долл) и гораздо чаще применяется. MEMSIC MXC6226XC в BGA-корпусе приблизительно на 50% меньше лидирующих коммерческих предложений.

Уникальная технология MEMSIC не требует больших затрат при производстве тепловых акселерометров. Она основана на датчиках температуры, предназначенных для детектирования изменений в температурном профиле под действием ускорения на молекулы газа вместо подвешенной массы. Так как в датчике нет подвижных частей, он имеет высокую устойчивость к ударным нагрузкам – до 50 000g, что в пять раз выше, чем характерно для емкостных акселерометров.

MXC6226XC интегрирует расширенную схему обработки сигнала, включая ЦОС, и выводит данные посредством интерфейса I²C. Все это допускает широкое применение датчика в мобильных устройствах. MXC6226XC способен детектировать четыре положения ориентации, качание и

может измерять ускорение в диапазоне $\pm 2g$ со смещением менее $\pm 50mg$.

Компания производит продукты самостоятельно и выполняет аутсорсинг производства на TSMC.

В планах компании нет разработки гироскопов, так как акселерометры могут симулировать многие функции гироскопов, при этом они значительно дешевле. В MEMSIC приостановили разработку потребительских гироскопов, когда поняли, что пока нет перспектив для снижения цены.

Следующие ожидаемые предложения от MEMSIC – более точные акселерометры и комбидатчики, представляющие собой комбинацию акселерометров и магнитометров меньших размеров, чем у конкурентов.

MEMSIC в настоящее время обеспечивает и сенсорное слияние, и функциональное ПО. Стоимость акселерометров и магнитометров снижается: цена кремниевого кристалла меньше, чем у конкурентов, а методы корпусирования на уровне пластины и плоское подсоединение проводов снижают ее еще более. Поэтому будущее развитие своего бизнеса MEMSIC связывает с разработкой ПО и приложений, а также с развитием high-end систем с последующим перенаправлением достижений на рынок недорогих потребительских датчиков.

Недавно MEMSIC анонсировала доступность нового представителя семейства AMP-магнитометров – ультрамалого 3-осевого датчика MMC3316хMT. Датчик, разработанный для рынка мобильных устройств, заключен в LGA-корпус с размерами 2x2x1 мм. При этом MMC3316хMT работает в расширенном диапазоне детектирования магнитных полей ($\pm 1,6$ мТл), обладает высокими характеристиками: точностью $\pm 2\%$ FSO – в полном диапазоне выхода, гистерезисом в 0,5% FSO и такой же величиной (0,5% FSO) повторяемости по каждой из трех осей. Устройство работает при температуре $-40...+85$ °C и питается от напряжения 1,8-3,3 В.

Энергопотребление составляет около 0,1 мА на скорости передачи данных порядка нескольких сэмплов в секунду. Магнитометр разработан как система на кристалле с интегрированной обработкой сигнала и режимом FAST интерфейса I2C на 400 кГц.

Разработка магнитометра MMC3316хMT поддерживается алгоритмом от MEMSIC для удаления интерференции и ПО

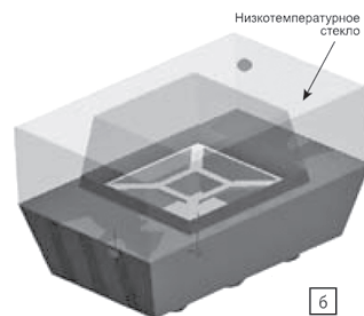
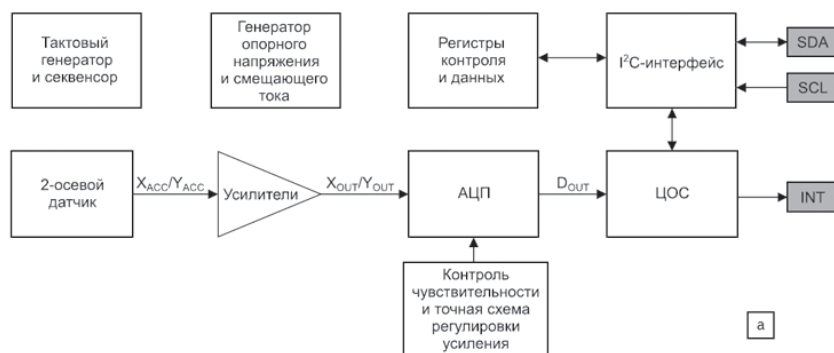


Рисунок 6 – Инновационные технологии датчиков движения компании MEMSIC:
а, б) полностью интегрированный CSP тепловой акселерометр MXC6226XC: а) функциональная диаграмма; б) CSP-корпус

для осуществления сенсорной интеграции с 11 степенями свободы (как устройство контроля 11-й степени свободы имеется в виду GPS-ресивер). Эта технология используется клиентами MEMSIC, которые занимаются разработкой прецизионных систем для промышленности и авионики.

Алгоритм сенсорной интеграции вместе с MMC3316xMT предназначен осуществлять мультиосевое сенсорное слияние для применений в смартфонах и планшетах, автомобильных электронных компасах, при GPS-навигации, определении положения и магнитометрии. Производство MMC3316xMT начнется в 3 квартале 2012 года, объявленная цена составляет 0,84 долл за единицу в объеме 100К.

Kionix: хороший старт в текущем году

Kionix также стремится не отстать от лидирующих производителей. Объемы выручки в 2011 году составили 76 млн долл, при этом достижения компании в технологическом плане тоже весьма значительны.

Одним из выдающихся достижений прошлого года стал выход Kionix на рынок гироскопов, а достижения 2012 года включают выпуск гироскопов уже второго поколения, первого акселерометра с фут-принтом 2x2 мм и первого 6-осевого комбипродукта, представляющего собой комбинацию 3-осевого акселерометра и 3-осевого гироскопа.

В портфолио Kionix теперь представлены 3-осевые гироскопы KGY23 – 24-выводные, маломощные и малошумящие датчики, объединяющие в LGA-корпусе (4x4x0,9 мм) сенсорную часть и ASIC (рисунок 7а). Потребление тока в 3,75 мА соответствует 40%-ному снижению по сравнению с предшественником KGY13, а уменьшение шумовой плотности до 0,03°/с/√Гц соответствует 77%-ному улучшению характеристик. Датчики угловой скорости в одном из программируемых полных диапазонов в ± 256 , ± 512 , ± 1024 и $\pm 2048^\circ/\text{с}$ обеспечивают 16-битные цифровые выходы через интерфейсы I²C или SPI. Напряжение питания – 2,6-3,3 В, а цифрового выхода – 1,8-3,3 В.

Дополнительные признаки включают датчик температуры с быстродействием при включении до 50 мс, пользовательскую частотную полосу в диапазоне от 10 до 160 Гц и килобайтный буфер FIFO.

С начала 2012 года разработчики потребительских продуктов получили возможность оценить KGY23. Этот гироскоп нового поколения можно применять при

создании пользовательского интерфейса, игр и навигации.

В том же самом корпусе (24-выводном LGA с размерами 4x4x0,9 мм) в январе 2012 года клиентам был предложен следующий комбипродукт – KXG02. Это маломощное 6-осевое устройство, потребляющее до 4 мА. Целевые применения – смартфоны, планшеты, дистанционное управление ТВ. Комбидатчик допускает его использование в 9-осевых блоках с внешним магнитометром.

Также в январе 2012 года клиентам был представлен самый малый акселерометр компании – KXTJ2 в 12-выводном LGA-корпусе с размерами 2x2x0,9 мм (рисунок 7б). Трехосевой датчик характеризуется малым форм-фактором, малым энергопотреблением и высокими рабочими характеристиками. Он разработан в расчете на мобильные применения.

Потребление тока достигает 2 мкА в спящем режиме, 10 мкА в низкоразрешающем и 135 мкА – в высокоразрешающем режиме.

Диапазоны детектирования ускорения – $\pm 2g$, $\pm 4g$ или $\pm 8g$, разрешение – до 14 бит, выходной интерфейс – I²C.

KXTJ2 включает вновь разработанный датчик ХАС. Он отличается высокой стабильностью и повышенной устойчивостью к ударам, вместе со сниженной необходимостью в производственной калибровке.

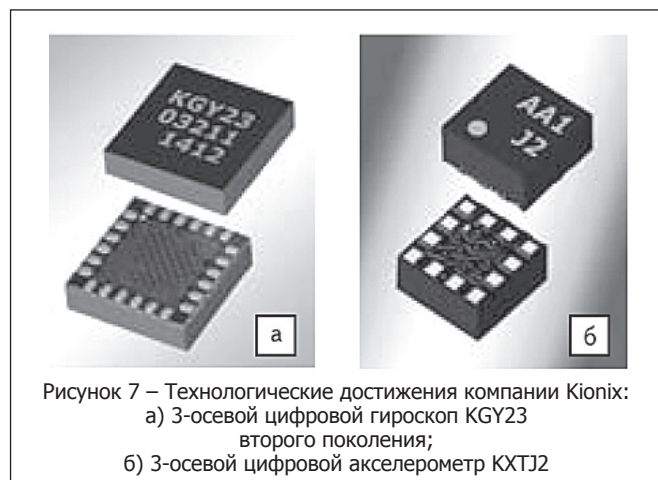
На мероприятии 2012 года International CES компания Kionix представила решение на основе масштабируемого ПО с сенсорным слиянием данных акселерометра и магнитометра (AM), акселерометра и гироскопа (AG) и акселерометра, гироскопа и магнитометра (AMG). ПО доступно вместе с совместимыми датчиками компании и поддерживает датчики и ПО сторонних производителей. Целевые рынки – смартфоны, планшеты и другие мобильные устройства, поддерживающие ОС Android и iCore Windows 8 и выполняющие обнаружение жестов, мониторинг активности или другие функции.

Murata: миниатюрный гироскоп, 9-осевое сенсорное слияние и комбидатчики

Ранее известный технологический лидер в сфере производства 3D МЭМС-датчиков компания VTI Technologies – сейчас подразделение Murata. VTI Technologies Oy была приобретена японской компанией Murata Manufacturing и получила новое имя – Murata Electronics Oy. Собственная технология VTI 3D MEMS вместе с ASIC, объединенная с надежным решением для корпусирования, дает возможность разрабатывать миниатюрные датчики инерции и повышать их рабочие характеристики и степень интеграции.

МЭМС-решения от Murata для батарейной потребительской электроники отличаются малым размером, низким энергопотреблением, стабильностью и высокой точностью. Продуктовая линейка включает трехосевые акселерометры и гироскопы. Размеры акселерометров CMA3000 составляют 2x2x0,95 мм. CMA3000-D01 характеризуется цифровым интерфейсом SPI и I2C, CMA3000-A01 – аналоговым. Цифровой гироскоп CMR3100-D01 имеет размеры фут-принта 3x3 мм (рисунок 8а) и потребляет только 2,5 мА в активном режиме. Гироскоп CMR3100 был представлен в начале 2012 года как самый маленький в мире гироскоп, но в 2012 году такими же размерами фут-принта стали обладать корпуса гироскопов от InvenSense (рисунок 4б).

В бизнес 9-осевого сенсорного слияния Murata вошла с начала текущего года. Технология, которой располагает



Murata, – это 9-осевое сенсорное слияние данных 3-осевого гироскопа, 3-осевого акселерометра и 3-осевого магнитометра, подключаемых к процессору, работающему под управлением ОС Android (рисунок 8б, в). Технология представляет собой модульное программное решение с параметризованными алгоритмами слияния, допускающее гибкий выбор датчиков, низкую системную цену и малое занимаемое пространство, определяемое размером датчиков.

Ключевым применением датчиков движения Murata в мобильных системах является контроль пользовательского интерфейса, к ним добавляется дополненная реальность и навигация пешеходов. Акселерометры и гироскопы способны повышать точность GPS-навигации в условиях искажений спутникового сигнала или при отсутствии

спутниковой связи замещать GPS-навигацию инерциальной.

Точность позиционирования и надежность навигационных систем можно повысить с помощью цифровых дорожных карт. Метод, разработанный финскими учеными для автомобильной навигации, требует подключения датчика скорости автомобиля через интерфейс OBD и МЭМС-гироскопа. Когда автомобиль движется по прямой, используется сигнал скорости, а на повороте подключается сигнал гироскопа. Для тестирования был выбран 6-осевой комбидатчик инерции SCC1300 (рисунок 8г). Разработанный алгоритм согласования с картой повысил точность позиционирования навигационной системы и рекомендован для автомобилей и пешеходов.

В апреле 2012 года было представлено еще одно интересное решение Murata с использованием МЭМС для повышения точности GPS-навигации. Комбидатчик SCC1300 был использован для компенсации GPS-систем сельскохозяйственного оборудования, не способных измерять ориентацию оборудования в пространстве. Эти измерения – крена, продольного наклона и угла наведения антенны – выполняет комбидатчик SCC1300.

CEA-Leti: M&NEMS комбидатчики инерции – результат объединения

микро- и наноэлектромеханических систем

В исследовательском университете CEA-Leti разработаны миниатюрные комбидатчики, объединяющие на площади МЭМС-кристалла в 5 мм² 3-осевой акселерометр, 3-осевой магнитометр и 3-осевой гироскоп с перспективой сенсорного слияния (рисунок 9). Это решение основано на объединении микро- и наноэлектромеханических систем (Micro- and NanoElectro Mechanical Systems, M&NEMS).

При миниатюризации снижается цена электроники, но и SNR (соотношение сигнал-шум) также снижается. Решение задачи, разработанное в CEA-Leti, основано на применении нанотехнологий в пределах однокристалльной микроструктуры.

Часть NEMS формирует подвешенный нанопроводный кремниевый измеритель механического напряжения типа strain gauge с поперечным сечением 250x250 нм.

Наноизмеритель представляет собой подвешенную нанопроводную балку, которая используется как пьезорезистивный измеритель (или как вибрирующая балка в резонансном акселерометре), в котором движение массы МЭМС наводит механическое напряжение, переводимое затем в изменение сопротивления нанопроводов.

Нанопроводные преобразователи занимают меньше места, чем емкостные (в отличие от объемных емкостных комбиструктур). Они тоже линейны (в отличие от нелинейных емкостных преобразователей). Преимуществом является тот факт, что при снижении поперечного сечения выходной сигнал усиливается. Например, снижение площади с 2,5x2,5 до 0,25x0,25 мкм² усиливает выходной сигнал на два порядка.

Подвешенный наноизмеритель ортогонален оси симметрии датчика. Один его конец зафиксирован на конечности массы так, что эта фиксированная точка измерителя несколько смещена от оси симметрии датчика и оси вращения, а другой конец прикреплен к якорю.

Ускорение наводит вращение массы вокруг оси и механическое напряжение в нанопроводах. Нанопровода тоньше,

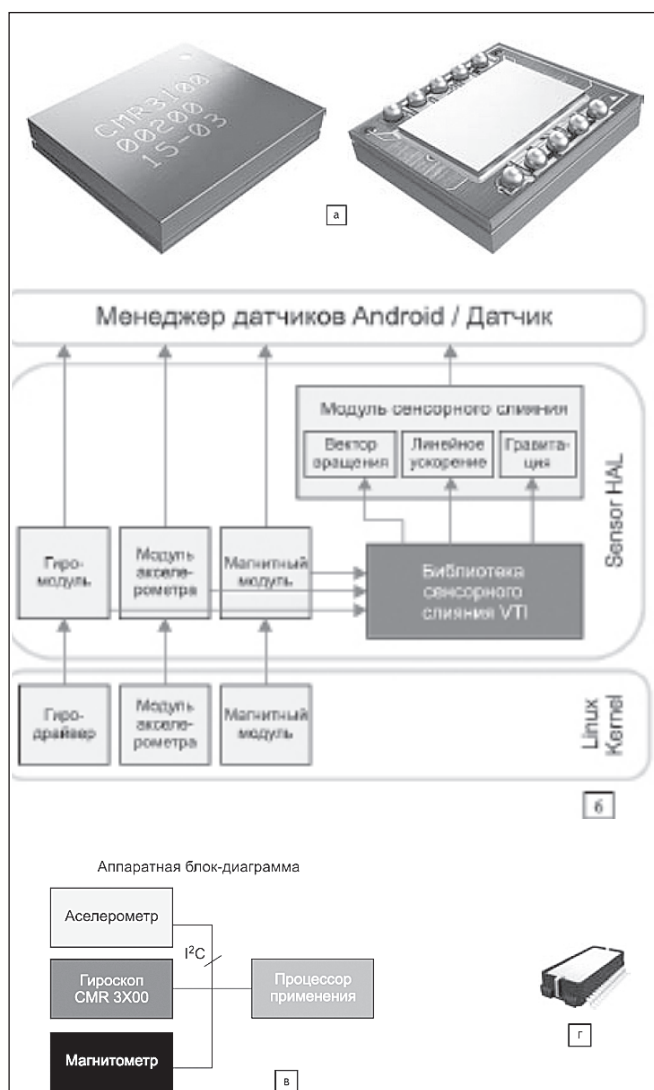


Рисунок 8 – Инновации в технологиях МЭМС-датчиков Murata:

а) цифровой гироскоп CMR3100 – первый гироскоп

в корпусе с фут-принтом 3x3 мм;

б) технология 9-осевого сенсорного слияния

в мобильных устройствах под управлением ОС Android;

в) аппаратная часть для 9-осевого сенсорного слияния;

г) 6-осевой комбидатчик инерции SCC1300, работающий в системах с GPS

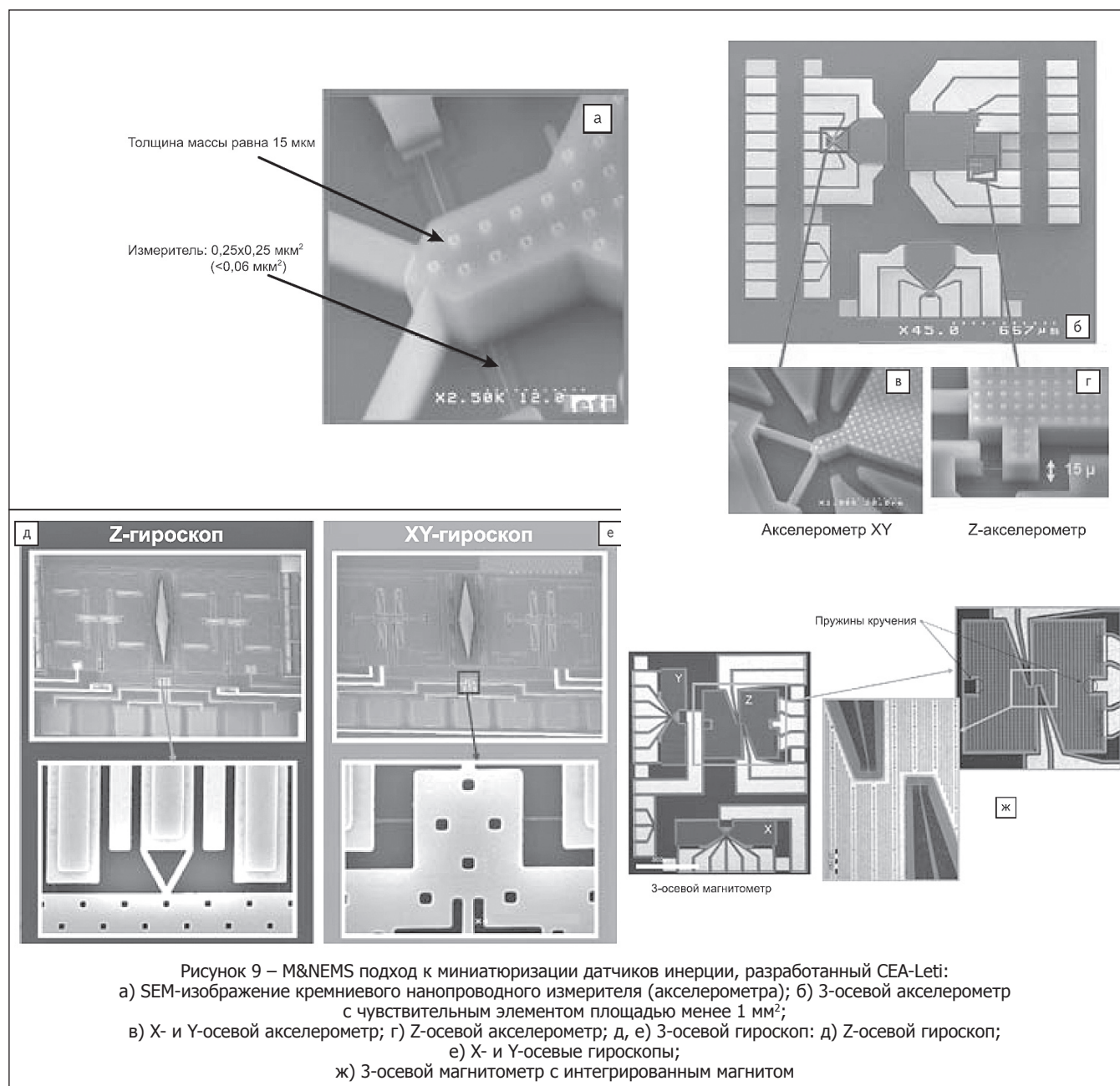


Рисунок 9 – M&NEMS подход к миниатюризации датчиков инерции, разработанный CEA-Leti:
 а) SEM-изображение кремниевого нанопроводного измерителя (акселерометра); б) 3-осевой акселерометр с чувствительным элементом площадью менее 1 мм²;
 в) X- и Y-осевой акселерометр; г) Z-осевой акселерометр; д, е) 3-осевой гироскоп: д) Z-осевой гироскоп; е) X- и Y-осевые гироскопы;
 ж) 3-осевой магнитометр с интегрированным магнитом

чем масса, что вызывает в них аксиальное напряжение. Высокая чувствительность может быть обеспечена тем, что напряжение сконцентрировано в очень малом поперечном сечении кремниевого нанопроводного измерителя, что усиливается дополнительными эффектами, заложенными в дизайн.

Другой важный аспект – высокая эффективность преобразования. С традиционными имплантируемыми или депонированными пьезорезистивными преобразователями значительная часть напряжения, наводимого внешней силой, рассеивается на изгибе балки или в мембране, поэтому только часть напряжения детектируется измерителем. В дизайне M&NEMS напряжение, вызванное ускорением, концентрируется в пьезорезистивной нанобалке, что дает большую чувствительность.

Пьезорезистивный интерфейс наименее чувствителен к паразитной емкости, что упрощает схему электронного интерфейса и корпусирование.

M&NEMS позволяет не только детектировать на одном кристалле движения инерциальных масс в плоскости структуры, но и измерять вертикальное ускорение посредством вращения массы вокруг двух «крюков» в плане.

3-осевой акселерометр показал хорошие результаты относительно чувствительности, разрешения, динамического диапазона (6000 для частотной полосы в 1 кГц), хорошую стабильность и малый временной дрейф нанопроводов.

3-осевой гироскоп выполнен с использованием эффекта Кориолиса и камертонной структуры tuning fork на основе наноизмерителей. Результатом являются миниатюрные

однокристальные 3D-гироскопы с высокими рабочими характеристиками. Характеристики потребительских и автомобильных систем получены при размере гироскопа 0,5 мм²/ось (стандартные размеры гироскопов больше, чем 1–2 мм²/ось).

Первое измерение показало шум в 0,02°/с/√Гц (измерение ограничено электроникой) и квадратичное смещение 100°/с для Z-осевого гироскопа.

3-осевой магнитометр выполнен так, что кремниевая масса используется как структура-носитель для магнитного материала. В магнитном поле структура подвержена магнитному дипольному моменту, который наводит вращение кремниевой структуры носителя вокруг оси, что ведет к деформации нанопроводов.

Для осуществления 3D-детектирования магнитного поля использованы три отдельные кремниевые структуры.

Чувствительность к трем пространственным осям достигается посредством интеграции двух перпендикулярных направлений намагничивания в плоскости. Главное преимущество этого магнитометра – возможность интеграции на одном кристалле. Устройство, разработанное CEA-Leti, имеет низкое потребление мощности (десятки мВт), разрешение 100 нТл/√Гц, а также многодиапазонность, которая заложена в МЭМС-дизайне.

Для производства MEMS использовались стандартные объемные методы производства CMOS, за исключением депонирования магнитного слоя магнитометра.

Для всех измерителей применялась аналоговая электроника.

CEA-Leti исследует и другие сенсорные конструкции, которые могут быть построены на основе M&NEMS платформы на одном кристалле, – микрофон и ультраминиатюрный датчик давления. M&NEMS позволяет значительно снизить цену информационных МЭМС-датчиков, добавляя при этом новую функциональность и новые признаки.

Отметим, что рассмотренный пример – не единственный, как посредством нанотехнологий могут быть далее повышены степени интеграции и миниатюризации датчиков движения. Например, в планах компании Baolab Microsystems – производство монокристаллических мультиэлементных МЭМС-компонентов NanoIMU на основе разработанной ранее технологии 3D NanoEMS [4]. Baolab планирует встроить в кристалл с датчиками магнитного поля акселерометры и гироскопы. В планах Baolab – недорогие, интеллектуальные, мультисенсорные инерциальные компоненты, интегрированные на тот же самый кристалл с электроникой.

Заключение

Мобильные, портативные, ручные, носимые устройства – это рыночный сегмент, характеризующийся неослабевающим клиентским спросом и конкурентной борьбой ведущих производителей. Эти факторы определяют непрерывное расширение набора функциональных возможностей электроники и компонентов, повышение уровня их характеристик, снижение занимаемого пространства, потребления мощности и цены.

За прошедший год уровни интеграции и миниатюризации мобильных устройств еще более возросли, и концепция мобильного датчика получила новый импульс для развития. Мультиосевые датчики более высокой степени интеграции и миниатюризации получают возможности

Список сайтов компаний, упомянутых в статье:

Yole Development – www.yole.fr, www.i-micronews.com
 InvenSense, Inc. – www.invensense.com
 STMicroelectronics – www.st.com
 HTC Corp. – www.htc.com
 Nintendo Co. – www.nintendo.com
 Samsung Electronics Co. – www.samsung.com
 Apple, Inc. – www.apple.com
 IHS iSuppli – www.isuppli.com
 Robert Bosch GmbH, Bosch Sensortec – www.bosch-sensortec.com
 Hewlett Packard Development Company, L. P. – www.hp.com
 Asahi Kasei Microdevices Corporation (AKM) – www.asahi-kasei.co.jp/akm/en/
 Knowles Electronics – www.knowles.com
 MEMSIC, Inc. – www.memsic.com
 Analog Devices, Inc. – www.analog.com
 Sony – www.sony.com
 Texas Instruments (TI) – www.ti.com
 Kionix, Inc. – www.kionix.com
 Murata Electronics Oy – www.murata-mems.fi
 Triquint Semiconductor, Inc. – www.triquint.com
 CEA-Leti – www.leti.fr
 Baolab Microsystems, S. L. – www.baolab.co

более широкого применения, интеграции в подсистемы и надсистемы и еще более повышают степень контроля системной мобильности.

МЭМС-технологии в настоящее время более точно описываются понятием микросистема. Микросистемы с МЭМС включают не только МЭМС-датчики, но и актуаторы (и не обязательно с чисто механическими, то есть подвижными частями и полостями), аналоговые и цифровые схемы, микроконтроллеры, ПО, клиентское корпусирование. Поэтому к мобильному мультисенсорному устройству сегодня можно применить термин «мобильный микросистемный датчик», или «мобильный микродатчик».

Проникновение в сферу инерциальных измерений нанотехнологий обещает еще большие возможности, вплоть до создания монокристаллических мультиэлементных мобильных датчиков, являющихся столь же органичным элементом надсистемы с неограниченным числом контролируемых степеней свободы.

Литература

1. Сысоева С. Мобильные МЭМС-датчики с девятью и более степенями свободы // Электронные компоненты. 2011. – № 5.
2. Сысоева С. Мир МЭМС. Дальнейшая конвергенция датчиков движения и смежных технологий на массовых рынках // Компоненты и технологии. 2011. – № 6.
3. Сысоева С. Новые сенсорные решения. Выход на новый уровень измерений // Компоненты и технологии. 2011. – № 8.
4. Сысоева С. Многообразие микросистемных инноваций: новые технологии и игроки // Компоненты и технологии. 2011. – № 9, 10.

УЧЕБНЫЙ МИКРОПРОЦЕССОР TCPU И ЕГО ПРИМЕНЕНИЯ

Долинский М.С., Коршунов И.В., ГГУ им. Ф. Скорины
dolinsky@gsu.by

Введение

В работах [1-5] подробно представлены инструменты разработки программного и аппаратного обеспечения встроенных цифровых систем, созданные в Гомельском государственном университете им.Ф.Скорины. Системы HLCCAD [2] и Winter [3] позволяет проектировать, симулировать и отлаживать программное обеспечение. Кроме того, обе они позволяют проводить совместную отладку программного и аппаратного обеспечения, в том числе и мультипроцессорных систем. Нами созданы также средства автоматизации разработки моделей микропроцессоров/микроконтроллеров (МП/МК), базирующиеся на генерации исходных ассемблерных текстов моделей МП/МК, за счет чего достигается увеличение производительности симуляции в 10 и более раз. Необходимо отметить, что несмотря на наличие специально разработанных декларативно-алгоритмических языков описания ядра (PCDL – Processor

Core Description Language) и периферии (PPDL – Processor Peripherals Description Language), для создания такой модели разработчик должен иметь определенные навыки разработки и отладки ассемблерных программ. Одним из средств проверки эффективности данной разработки послужило создание модели учебного микропроцессора TCPU. Данная работа содержит его описание и лабораторные работы, основанные на использовании созданной модели микропроцессора TCPU.

Микропроцессор TCPU

Микропроцессор TCPU содержит четыре блока памяти, два регистра общего назначения, два регистра косвенной адресации и регистры указатели PC и SP. Ниже приведены таблицы ресурсов.

Стек процессора расположен в отдельной памяти, вершина стека указывается регистром SP. Когда в стеке

что-то есть, регистр SP содержит адрес ячейки, куда поместили значение последним. Когда в стеке ничего нет, регистр SP содержит значение 0x00. Т.е. адрес 0x00 лежит за пределами стека. Таким образом, хотя память для стека имеет размер 256 слов, стек имеет размер 255 слов.

Название памяти	Размер слова памяти (бит)	Размер памяти (слов)	Описание
Code	8	256	Кодовая память
Data	8	256	Память данных
Stack	8	256	Стек
Hidden	8	2	Виртуальная память для регистров-указателей

Название регистра	Размер регистра (слов)	Память, в которой расположен	Адрес	Описание
A	1	Data	0x00	Регистр общего назначения
B	1	Data	0x01	Регистр общего назначения
R1	1	Data	0x02	Регистр косвенной адресации
R2	1	Data	0x03	Регистр косвенной адресации
PC	1	Hidden	0x00	Счетчик команд
SP	1	Hidden	0x01	Указатель вершины стека

Команды пересылки данных

Код инструкции	Мнемоника	Размер команды (в байтах)	Формат	Описание
0x01	MOV A,d	2	0x01 0xdd	Занести в регистр A второй байт кода операции
0x02	MOV R1,d	2	0x02 0xdd	Занести в регистр R1 второй байт кода операции
0x03	MOV R2,d	2	0x03 0xdd	Занести в регистр R2 второй байт кода операции
0x04	MOV R1,A	1	0x04	Занести в регистр R1 байт из регистра A
0x05	MOV R2,A	1	0x05	Занести в регистр R2 байт из регистра A
0x06	MOV A,R1	1	0x06	Занести в регистр A байт из регистра R1
0x07	MOV A,R2	1	0x07	Занести в регистр A байт из регистра R2
0x08	MOV A,#a	2	0x08 0xaa	Занести в регистр A байт из ячейки памяти данных с адресом, указанным во втором байте кода операции
0x09	MOV A,@R1	1	0x09	Занести в регистр A байт из ячейки памяти данных с адресом, указанным в регистре R1
0x0A	MOV A,@R2	1	0x0A	Занести в регистр A байт из ячейки памяти данных с адресом, указанным в регистре R2
0x0B	MOV @R1,A	1	0x0B	Занести в ячейку памяти данных с адресом, указанным в регистре R1, байт из регистра A
0x0C	MOV @R2,A	1	0x0C	Занести в ячейку памяти данных с адресом, указанным в регистре R2, байт из регистра A
0x0D	MOV B,d	2	0x0D 0xdd	Занести в регистр B второй байт кода операции
0x0E	MOV A,B	1	0x0E	Занести в регистр A байт из регистра B
0x0F	MOV B,A	1	0x0F	Занести в регистр B байт из регистра A

Команды работы со стеком

Код инструкции	Мнемоника	Размер команды (в байтах)	Формат	Описание
0x10	PUSH A	1	0x10	Положить байт из регистра A в стек
0x11	POP A	1	0x11	Взять байт из стека в регистр A
0x12	PUSH @R1	1	0x12	Положить байт из ячейки памяти данных с адресом, указанным в регистре R1, в стек
0x13	POP @R1	1	0x13	Взять байт из стека и положить в ячейку памяти данных с адресом, указанным в регистре R1
0x1F	STRST	1	0x1F	Сбросить указатель вершины стека

Команды передачи управления

Код инструкции	Мнемоника	Размер команды (в байтах)	Формат	Описание
0x20	JMP met	2	0x20 0xaa	Безусловный переход к инструкции по адресу 0xaa
0x21	JAZ met	2	0x21 0xaa	Переход к инструкции по адресу 0xaa, если в регистре A ноль

Арифметические операции

Код инструкции	Мнемоника	Размер команды (в байтах)	Формат	Описание
0x30	ADD A,d	2	0x30 0xdd	Прибавить к значению в регистре A второй байт кода операции и положить результат в регистр A
0x31	SUB A,d	2	0x31 0xdd	Вычесть из значения в регистре A второй байт кода операции и положить результат в регистр A
0x32	ADD @R1,d	2	0x32 0xdd	Прибавить к значению в ячейке памяти данных с адресом, указанным в регистре R1, второй байт кода операции и положить результат в эту ячейку
0x33	SUB @R1,d	2	0x33 0xdd	Вычесть из значения в ячейке памяти данных с адресом, указанным в регистре R1, второй байт кода операции и положить результат в эту ячейку
0x34	ADD R1,d	2	0x34 0xdd	Прибавить к значению в регистре R1 второй байт кода операции и положить результат в регистр R1
0x35	SUB R1,d	2	0x35 0xdd	Вычесть из значения в регистре R1 второй байт кода операции и положить результат в регистр R1
0x36	ADD R2,d	2	0x36 0xdd	Прибавить к значению в регистре R2 второй байт кода операции и положить результат в регистр R2
0x37	SUB R2,d	2	0x37 0xdd	Вычесть из значения в регистре R2 второй байт кода операции и положить результат в регистр R2
0x38	ADD@R1,A	1	0x38	Прибавить к значению в ячейке памяти данных с адресом, указанным в регистре R1, значение из регистра A и положить результат в эту ячейку
0x39	SUB @R1,A	1	0x39	Вычесть из значения в ячейке памяти данных с адресом, указанным в регистре R1, значение из регистра A и положить результат в эту ячейку
0x3A	DAA	1	0x3A	Команда daa корректирует результат сложения в регистре A двух упакованных двоично-десятичных (BCD) чисел (по одной цифре в каждом полубайте), чтобы получить пару правильных упакованных двоично-десятичных цифр. Команда используется вслед за операцией сложения упакованных двоично-десятичных чисел.
0x3B	DAS	1	0x3B	Команда das корректирует результат вычитания в регистре A двух упакованных двоично-десятичных (BCD) чисел (по одной цифре в каждом полубайте), чтобы получить пару правильных упакованных десятичных цифр. Команда используется вслед за операцией вычитания упакованных двоично-десятичных чисел.

Логические операции

Код инструкции	Мнемоника	Размер команды (в байтах)	Формат	Описание
0x40	AND A,B	1	0x40	Логическое И значений из регистров A и B. Результат помещается в регистр A.
0x41	OR A,B	1	0x41	Логическое ИЛИ значений из регистров A и B. Результат помещается в регистр A.
0x42	XOR A,B	1	0x42	Исключающее ИЛИ значений из регистров A и B. Результат помещается в регистр A.
0x43	NOT A	1	0x43	Логическое НЕ байта из регистра A.

Другие команды

Код инструкции	Мнемоника	Размер команды (в байтах)	Формат	Описание
0x00	NOP	1	0x00	Пустая команда (ничего не делать)

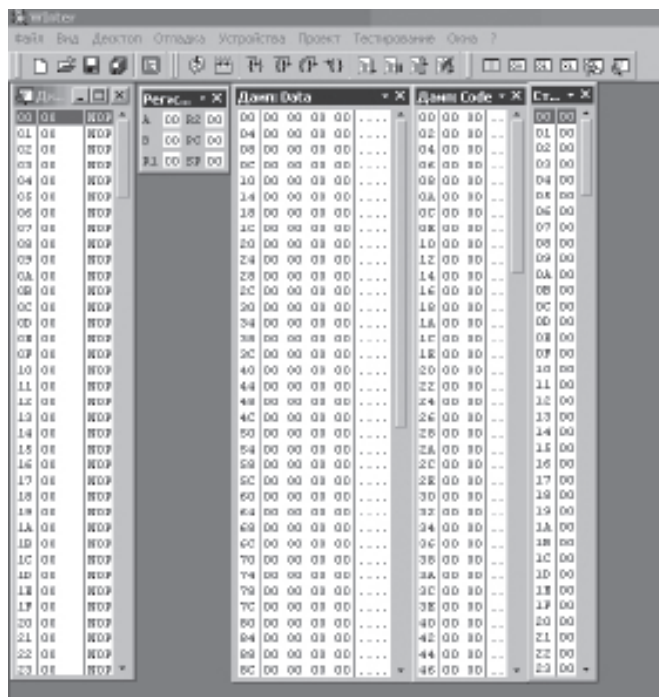
Лабораторные задания

Необходимо подчеркнуть, что корректность выполнения всех лабораторных заданий проверяется АВТОМАТИЧЕСКИ, с использованием сайта (DL.GSU.BY) дистанционного обучения ГГУ им Ф.Скорины и разработанных нами средств автоматизации проектирования программно-аппаратных систем [1-5].

Задание №1. Разработать программу (в машинных кодах) для решения поставленной задачи. Например:

Задание	Найти количество букв в слове (слово заканчивается символом *)
Формат ввода	R1 - адрес ячейки, содержащей первую букву слова
Формат вывода	A - количество букв в слове

Для проверки решения поставленной задачи студентам предоставляется среда Winter, настроенная на отладку программ в машинных кодах микропроцессора TCPU. Внешний вид среды отладки в данном случае выглядит следующим образом:

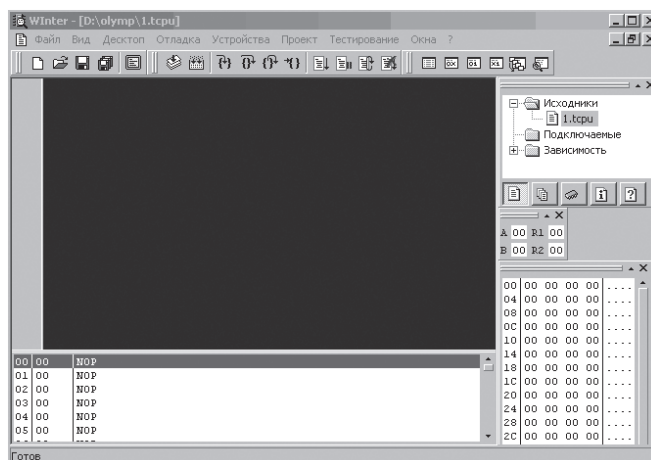


Студенты могут набирать непосредственно машинные коды команд, исполнять программу по командам, наблюдать изменение содержимого регистров, оперативной памяти и стека.

Задание №2. Разработать программу на ассемблере процессора TCPU для решения поставленной задачи. Например:

Задание	Найти произведение двух чисел
Формат ввода	R1 – первое число R2 – второе число
Формат вывода	A – результат

В этом случае среда WInter настроена на отладку программного обеспечения непосредственно на языке ассемблера процессора TCPU.



Задание №3. Задания на ассемблирование, например: дан текст программы на ассемблере TCPU,

```
mov A,R1
push A
mov A,R2
push A
```

met:

```
mov A,R1
jaz AR2
mov A,R2
jaz AR1
sub R1,1
sub R2,1
jmp met
```

AR1:

```
pop A
```

AR2:

```
pop A
```

требуется представить соответствующий машинный код для процессора TCPU в формате Intel Hex.

Задание №4. Задания на дизассемблирование, например:

дизассемблируйте следующий машинный код для процессора TCPU.



В задачах на дизассемблирование необходимо приведенный машинный код процессора TCPU перевести в ассемблерный код для этого процессора. Соответствующие мнемоники команд вписываются в поля ввода под машинным кодом. Мнемоники и имена регистров должны быть записаны большими буквами, между мнемоникой и первым операндом должен быть пробел. Если операндов два, после первого нужно ставить запятую, после запятой один пробел и второй операнд. Например:

MOV A, R2.

При записи ассемблерного кода команд перехода вместо имени метки нужно ставить адрес перехода как в машинном коде. Операнды всех команд, представляющие адреса нужно записывать в шестнадцатичном формате в виде 0xdd (где x – латинское малое «икс»). Например:

JMP 0x1A.

При записи ассемблерного кода операнды команд, представляющие непосредственные значения, необходимо сначала переводить в десятичную форму и записывать без предваряющих нулей. Например:

0x01 0x05 – это MOV A, 5

0x36 0x30 – это ADD R2, 48.

Задание №5. Задание на проектирование схем – компонентов процессора TCPU (с использованием HLCCAD), например:

Имя HLCCAD проекта: TCPU.PRD

Входное устройство: Main

Название	Размерность	Тип
A	8	вход
MET	8	вход
PC_IN	8	вход
PC_OUT	8	выход

На входе даны: значение в регистре A (A), метка с адресом перехода (MET) и значение счетчика команд (PC_IN). На выходе должен быть адрес следующей команды.

Пример:

A : 00000000b

MET : 00000011b

PC_IN : 00000111b

PC_OUT : 00000011b

Задание №6. Задание на микропрограммную реализацию компонентов процессора TCPU (с использованием С-МПА, [4-5]), например:

Имя HLCCAD проекта: DAA.PRD

Входное устройство: DAA

Название	Размерность	Тип
A	8	вход
AO	8	выход
AF	1	выход
CF	1	выход

Десятичная коррекция двузначного упакованного BCD-числа. Старшие и младшие 4 бита входного числа A рассматриваются как цифры, т.е. значение 4-х бит шифрует цифру (например, 1001 = 9). Если младшие 4 бита превышают 9, то флаг AF устанавливается в 1, а эти биты корректируются. Если старшие 4 бита изначально или после корректировки младших превышают 9, то CF=1, и ставшие биты корректируются.

Примечание:

Например, если младшие 4 бита имеют значение 14, то в них надо оставить 4, и единицу прибавить к старшим 4-м

битам, затем проверять и корректировать их.

Пример:

A: 11111111b

AO: 101

AF: 1

CF: 1

Задание №7. Тесты по теме, например:

Максимальный размер команды в битах

Укажите самый общий формат команды процессора TCPU (необязательная часть указана в [])

выберите выберите

Возможные виды адресации

- ☐ Непосредственная
- ☐ Регистровая
- ☐ Косвенная

Система команд процессора TCPU состоит из следующих команд

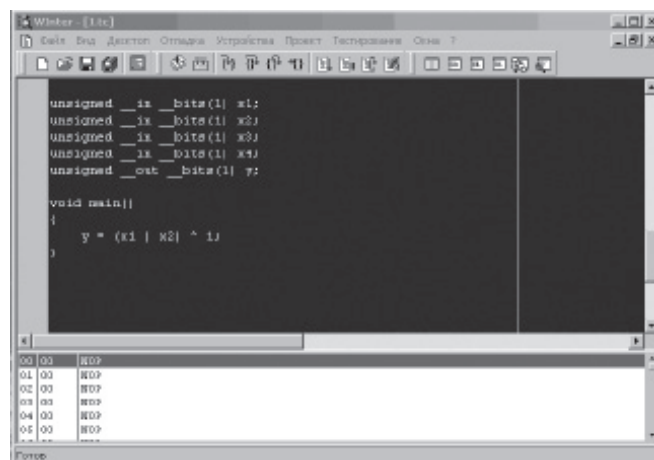
- ☐ Сложение
- ☐ Вычитание
- ☐ Умножение
- ☐ Деление
- ☐ Пересылка
- ☐ Безусловный переход
- ☐ Условный переход
- ☐ Поменять знак
- ☐ Поместить в стек
- ☐ Извлечь из стека
- ☐ Возврат из подпрограммы
- ☐ Вызов прерывания
- ☐ Обнулить указатель стека
- ☐ Сравнения
- ☐ Логические
- ☐ Сдвига

Задание №8. Разработка программ на С для процессора TCPU, например: найти произведение чисел A и B, результат занести в C.

Название	Размерность	Тип
A	8	вход
B	8	вход
C	16	выход

A – первый множитель, B – второй множитель, C – произведение.

Среда разработки при этом выглядит следующим образом:



Здесь система отладки Winter взаимодействует с разработанным нами С-компилятором для процессора TCPU.

В компиляторе С для TCPU поддерживаются следующие возможности:

Типы данных:

- int – целочисленный со знаком;
- unsigned – целочисленный без знака;
- одномерные массивы перечисленных типов.

При объявлении целочисленной переменной можно указать ее размерность. В силу 8-разрядности процессора TSPU размерность переменных не может превышать 8-ми бит. Если размерность не указана явно, то переменная будет иметь размерность 8 бит.

При вычислении выражений, содержащих переменные разных размерностей, используются следующие правила приведения типов:

- результат операции над двумя операндами имеет размерность большего операнда;
- результат операции со знаковым (int) и беззнаковым (unsigned) операндами является знаковым (int).

Пример описания переменных с указанием размерности:

- int __bits(8) in, __bits(3) out;
- unsigned __bits(1) bit_array[32].

Переменная in имеет размерность 8 бит, out – 3 бита. Массив bit_array состоит из 32 элементов, каждый имеет размерность 1 бит.

Константы.

Поддерживаются целочисленные и символьные константы. Символьные константы заключаются в одинарные кавычки, например, 'A' – символ 'A' или '\x10' – символ с шестнадцатеричным кодом 10. Целочисленные константы имеют размерность 8 бит. Можно указывать систему счисления целочисленных констант с помощью префиксов:

- восьмеричная система счисления, если число начинается с цифры '0', например, 0777 – число 777 в системе счисления с основанием 8;
- шестнадцатеричные начинаются с префикса '0x' или '0X', например, 0xff10;
- десятичные начинаются с любой цифры, кроме нуля.

Для беззнаковых констант используется суффикс 'U' или 'u', например, 40U.

Операторы.

Поддерживаются следующие операторы управления исполнением:

- for;
- if ... else;
- while;
- do ... while;
- break, continue;
- switch;
- вызов функций.

Арифметические операторы:

- =
- +, -, *
- &, |, ^, ~
- <<
- +=, -=, <=, &=, |=, ^=
- ==, !=, <, >, &&, ||, !
- ++, --
- ? :
- оператор ',' (запятая)

Синтаксис и назначение перечисленных операторов полностью аналогичен языку Си.

Использование внутренних регистров и памяти TSPU.

Обращаться к внутренним регистрам и памяти TSPU можно через зарезервированные имена: _A, _B, _R1, _R2, _Data[0xff].

Например, найти количество букв в слове (слово заканчивается символом *).

Вход: R1 – адрес ячейки, содержащей первую букву слова.

Выход: A – количество букв в слове.

Решение:

```
void main()
{
    int i, j = _R1;
    for (i = 0;; i++)
    {
        int c = _Data[j++];
        if (c == '*') break;
    }
    _A = i;
}
```

При использовании внутренних регистров и памяти обязательно следует:

- в начале программы сохранить регистры во внутренние переменные, причем первым нужно сохранить R1;
- только в конце программы можно записать результат в соответствующий регистр.

Ограничения языка.

Обращение к массивам можно использовать только в операторах простого присваивания. Например:

```
int c = _Data[i];
c++;
```

```
_Data[i] = c;
```

Отсутствует поддержка:

- указателей;
- структур;
- операторов деления, сдвига вправо;
- возврат значений из функций.

Заключение

Описанные в данной работе лабораторные задания на базе модели микропроцессора TSPU активно используются в учебном процессе математического факультета Гомельского государственного университета им.Ф.Скорины и обеспечивают существенную интенсификацию и повышение качества обучения по соответствующим дисциплинам.

Литература:

1. Долинский М.С., Кугейко М.А. «Использование новых информационных технологий при обучении проектированию цифровых систем и программированию». – Минск, «Электроника-инфо», 2010, №4 (73). – с. 10-13.
2. Долинский М.С., Коршунов И.В. «Редактирование, симуляция и отладка аппаратного обеспечения с помощью HLCCAD». – Минск, «Электроника-инфо», 2010, №6 (75). – с. 22-26.
3. Долинский М.С., Коршунов И.В. «Среда WINTER для редактирования, симуляции и отладки программного обеспечения мультимикропроцессорных систем». – Минск, Электроника-ИНФО, 2011, №2. – с.53-56.
4. Долинский М.С., Коршунов И.В. «Технология разработки алгоритмически сложных цифровых систем с помощью автоматического синтеза микропрограммных автоматов». – Минск, Электроника-ИНФО, 2011, № 3. – с.53-57.
5. Долинский М.С., Коршунов И.В. «Автоматический синтез микропрограммных автоматов по С-МПА программам», 2012, №3. – с. 97-100.

НАИМЕНОВАНИЕ ТОВАРА	ЦЕНА	НАЗВАНИЕ ОРГАНИЗАЦИИ	АДРЕС, ТЕЛЕФОН
ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКАЯ ПРОДУКЦИЯ			
Индукционные лампы Saturn 40, 80, 120, 150, 290, 300W. В комплекте электронный балласт	80-380 у.е.	ООО «ФЭК»	г. Минск. Тел./ф.: 200-34-23, тел.: 200-04-96. E-mail: lighting@fek.by
Индукционные лампы Smart Dragon 40, 80, 120, 150, 200, 300W.	80-380 у.е.		
Дроссели, ЭПРА, ИЗУ, пусковые конденсаторы, патроны и ламподержатели для люминесцентных ламп	Договор	ООО «Альфалидер групп»	г. Минск. Тел./ф.: 391-02-22, тел.: 391-03-33. www.alider.by
Мощные светодиоды (EMITTER, STAR), сборки и модули мощных светодиодов, линзы ARLIGHT	Договор	ООО «СветЛед решения»	г. Минск. Тел./ф.: 214-73-27, 214-73-55. E-mail: info@belaist.by www.belaist.by
Управление светом: RGB-контроллеры, усилители, диммеры и декодеры			
Источники тока AC/DC для мощных светодиодов (350/700/100-1400 мА) мощностью от 1W до 100W ARLIGHT			
Источники тока DC/DC для мощных светодиодов (вход 12-24V) ARLIGHT			
Источники напряжения AC/DC (5-12-24-48V/ от 5 до 300W) в металлическом кожухе, пластиковом, герметичном корпусе ARLIGHT, HAITAIK			
Светодиодные ленты, линейки открытые и герметичные, ленты бокового свечения, светодиоды выводные ARLIGHT			
Светодиодные лампы E27, E14, GU 5.3, GU 10 и др.			
Светодиодные светильники, прожектора, алюминиевый профиль для светодиодных изделий			
КВАРЦЕВЫЕ РЕЗОНАТОРЫ, ГЕНЕРАТОРЫ, ФИЛЬТРЫ, ПЬЕЗОКЕРАМИЧЕСКИЕ ИЗДЕЛИЯ			
Любые кварцевые резонаторы, генераторы, фильтры (отечественные и импортные)	от 0,10 у.е.	УП «Алнар»	г. Минск. Тел./ф.: 209-69-97, тел. (029) 644-44-09. E-mail: alnar@alnar.net www.alnar.net
Кварцевые резонаторы Jauch под установку в отверстия и SMD-монтаж	от 0,10 у.е.		
Кварцевые генераторы Jauch под установку в отверстия и SMD-монтаж	от 0,50 у.е.		
Резонаторы и фильтры на ПАВ			
Пьезокерамические резонаторы, фильтры, звонки, сирены	от 0,04 у.е.		
СПЕЦПРЕДЛОЖЕНИЕ			
Большой выбор электронных компонентов со склада и под заказ	Договор	ЧТУП «Чип электроникс»	г. Минск. Тел./ф.: 269-92-36. E-mail: chipelectronics@mail.ru www.chipelectronics.by
Широчайший выбор электронных компонентов (микросхемы, диоды, тиристоры, конденсаторы, резисторы, разъемы в ассортименте и др.)	Договор	ООО «Альфалидер групп»	г. Минск. Тел./ф.: 391-02-22, тел.: 391-03-33. www.alider.by
Мультиметры, осциллографы, вольтметры, клещи, частотомеры, генераторы отечественные и АКІП, APPA, GW, LeCroy, Tektronix, Agilent	1-й поставщик	ООО «Приборостроительная компания»	г. Минск. Тел./ф.: 284-11-18, тел.: 284-11-16. E-mail: 4805@tut.by
Широкий выбор электронных компонентов от ведущих производителей	Договор	ООО «Адвик-Строй	г. Минск. Тел./ф.: 269-93-34. E-mail: info@advik.by www.advik.by

**ПРОМЫШЛЕННАЯ ЭЛЕКТРОНИКА
И ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЕ**

ПЭС
ОДО «ПНЕВМОЭЛЕКТРОСЕРВИС»



***Безграничная
свобода движения!***

- Авторизованный сервисный центр по приводному оборудованию Schneider Electric
- Обслуживание, гарантийный и послегарантийный ремонт приводной техники
- Создание систем автоматизации и управления технологическими процессами



Официальный
дистрибьютор

**Schneider
Electric**

ОДО «Пневмоэлектросервис»
246027, Беларусь, г. Гомель, ул. Богдана Хмельницкого, 77
Тел. +375(23) 248-88-95 (многоканальный), тел./факс +375(23) 247-06-37
www.profes.by mail: info@profes.by
Наш представитель в г. Минске: +375(44)565-53-25 (Velcom)

БЕЛОРУССКИЙ**ПРОИЗВОДИТЕЛЬ****ЭЛЕКТРОНИКИ**

Контрактное производство электроники
 Автоматический и ручной монтаж печатных плат
 Поставка печатных плат
 Поставка электронных компонентов
 Поставка трафаретов из нержавеющей стали
 Разработка электроники на заказ

ЭЛЕКТРОКОНТИНЕНТ

КОНТРАКТНОЕ ПРОИЗВОДСТВО
 Э Л Е К Т Р О Н И К И

www.elcontinent.by

**ПОЛНЫЙ КОМПЛЕКС УСЛУГ,
 ИЗГОТОВЛЕНИЕ
 ОТ ОПЫТНЫХ ОБРАЗЦОВ -
 ДО КРУПНЫХ СЕРИЙ**

Приглашаем посетить наш стенд

на выставке

«Автоматизация. Электроника - 2013. Электротех-2013»

Наш стенд D5.

Республика Беларусь, 220026, г. Минск, пер. Бехтерева, 8, офис 35
 тел. (+375 17) 205 06 94, 296 31 61, Velcom (+375 29) 115 35 75
 e-mail: info@elcontinent.com



**ВСЁ НЕОБХОДИМОЕ ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ
 ПРОЦЕССОВ И ВСТРАИВАЕМЫХ СИСТЕМ**

Группа компаний **ЭЛТИКОН**

- Промышленные компьютеры, серверы, центры обработки и хранения данных;
- Встраиваемые и бортовые вычислительные системы, в т.ч. для жестких условий эксплуатации;
- ПЛК и микроконтроллеры, распределенные системы управления и сбора данных;
- Средства операторского интерфейса: мониторы, панели оператора, консоли управления, клавиатуры, трекболы, указательные устройства, информационные табло и мониторы для уличных применений;
- Устройства локального и удаленного ввода-вывода сигналов, АЦП, ЦАП, решения для управления движением, нормализаторы сигналов;
- Сетевое и коммуникационное оборудование для различных сетей, шлюзы данных, коммутаторы, Ethernet-конвертеры, сетевые контроллеры, модемы, удлинители сетей, преобразователи интерфейсов, протоколов и т.п.;
- Датчики для различных применений;
- Источники вторичного электропитания для промышленных, медицинских, бортовых и специальных применений, инверторы электропитания, программируемые источники питания;
- Решения на основе полупроводниковых источников света для уличного освещения и архитектурной подсветки;
- Специализированные датчики, контроллеры и устройства для «умного дома»
- Корпуса, конструктивы, субблоки в стандарте евромеханика, шкафы, стойки, компьютерные корпуса;
- Крепежные элементы, клеммы, монтажный инструмент, провода и кабели, кабельные вводы, соединители;
- Программное обеспечение всех уровней АСУТП, SCADA-система Genesis, OPC-серверы и средства их разработки

ADVANTECH

ADLINK
 TECHNOLOGY INC.

XP

ProSOFT[®]
 АВТОРИЗОВАННЫЙ ДИЛЕР

Akiwa Technology, Inc.
SUBSIDIARY OF OUBANSHING INDUSTRIAL (TAIWAN)

iKey

OCTAGON
 SYSTEMS

Getac**iconics****LITEMAX**

BELDEN
SENDING ALL THE RIGHT SIGNALS

TDK-Lambda

APC
by Schneider Electric

iBASE

PEPPERL+FUCHS
ELCON

IEE**Transcend****SCAIME****WEINTEK****EtherWAN****rttd**

innODISK[®]
 Beyond your imagination

Schroff**GENCOP**

ifm electronic

WAGO**PLANAR****XLIGHT****Fastwel****DATAFORTH**

men
micro elektronik
 gmbh - nurnberg

VIPA[®]
 art of automation

InduKey[®]
 Industrial Input Devices

TRI-M ENGINEERING

- ✓ Более 50 вендоров в программе поставок
- ✓ Широкий диапазон продукции "из одних рук"
- ✓ Сервисный центр и послегарантийное обслуживание продукции

- ✓ Компетентный анализ технических решений с гарантией совместимости и работоспособности конфигурации
- ✓ Наличие сертификатов и ГТД

- ✓ Развитая система логистики, нестандартные схемы поставок, склады в Минске, Москве и Гамбурге
- ✓ Производство промышленных компьютеров, шкафов автоматизации, сборки телекоммуникационных шкафов

220125 Минск, пр-т Независимости, 183 • Тел. (017) 289-6333 • Факс (017) 289-6169 • E-mail: info@elticon.ru • Web: www.elticon.ru

УНП 191092652