

# МНОГОЯДЕРНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ С ПАРАЛЛЕЛЬНОЙ ОБРАБОТКОЙ ИНФОРМАЦИОННЫХ СЕНСОРНЫХ ОБРАЗОВ

В.М. Колешко\*, Е.А. Воробей\*, Н.А. Хмурович\*\*

\* Белорусский национальный технический университет, кафедра "Интеллектуальные системы"  
пр. Независимости 65, Минск, Беларусь

телефоны: (+37529) 646-15-34; (+37529) 165-31-83, e-mail: is@bntu.by

web: www.bntu.by

\*\* Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, кафедра "ПОИТ"  
ул. П. Бровки 6, Минск, Беларусь

web: www.bsuir.by

Разработана интеллектуальная система "МИС" распознавания многомерных сенсорных образов твердых, жидких, газовых и гетерогенных сред на основе микро-наносенсоров на поверхностных акустических волнах и оптической микротомографии в широкополосном диапазоне частот, а также дано описание многоядерных технологий с параллельной обработкой, позволяющих повысить скорость самообучения и распознавания в режиме реального времени.

Ключевые слова – микро-наносенсоры, оптическая микротомография, многоядерные технологии, распознавание сенсорных образов

## 1 ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время достигнут предел увеличения вычислительной мощности одноядерных вычислительных процессоров, а возможности повышения тактовой частоты и достижение высокой производительности ограничиваются физическими размерами, рассеиванием потребляемой мощности кристаллов транзисторов и тепловыделениями микросхем, пределами по сложности архитектуры и памяти, а также высокими затратами на производство. Стремительный рост количества обрабатываемых ядер способствует быстрому самообучению интеллектуальных систем в режиме реального времени, однако ограничивает полосу пропускания запросов, обращенных к системной памяти. Поэтому для решения задачи повышения быстродействия вычислительных средств с многоядерной архитектурой нами применена технология иерархической структуры памяти, которая позволяет повысить интеллектуальность систем распознавания многомерных сенсорных образов твердых, жидких, газовых и гетерогенных сред на основе микро-наносенсоров на поверхностных акустических волнах и оптической микротомографии в широкополосном диапазоне частот. Использование многопроцессорных технологий в аппаратной реализации разработанной саморазвивающейся интеллектуальной системы "МИС" или в виде программного инструмента распараллеливания системных процессов позволяет достичь существенного увеличения скорости вычислительных операций, перейти к применению рас-

ширенного параллелизма и современных микропроцессоров с параллельной архитектурой.

## 2 ПАРАЛЛЕЛЬНАЯ ОБРАБОТКА ДАННЫХ

В настоящее время изготовление микроэлектронных компонентов для сохранения тенденций роста производительности процессоров связано с разработкой многоядерных технологий параллельной архитектуры, которые по своим вычислительным возможностям приближаются к функциональности работы мозга (табл.1).

ТАБЛИЦА 1

### РАБОТА МОЗГА И ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Наименование параметра	Характерные особенности	
	современных технических систем на кристалле	мозга человека
вычислительная производительность на операциях, флопс	одинарной точности $8,942 \cdot 10^{11}$ (суперкомпьютер Roadrunner $1,4567 \cdot 10^{15}$ )	до $10^{16}$
вес	(суперкомпьютер Roadrunner) 226 тонн	1,4 кг
энергопотребление, Вт	(суперкомпьютер Roadrunner) $3,9 \cdot 10^6$	25
число элементов, шт.	(транзисторы) до $2,9 \cdot 10^9$ на $см^2$	(нейроны) до $4 \cdot 10^7$ на $см^3$
линейный размер элемента, м	(транзистор) до $22 \cdot 10^{-9}$	(нейрон) до $10^{-6}$
тактовая частота, Гц	$3,33 \cdot 10^9$	$10^{14}$
тепловая энергия, Дж	(энергия переключения микросхемы) до $10^{-13}$	(энергия нервного импульса) $5 \cdot 10^{-15}$
информационная емкость, бит	(техпроцесс 22 нм) $364 \cdot 10^4$ на $см^2$	$10^{23}$
режим обработки информации	параллельно-последовательный (более 80 ядер)	гибкая самонастраиваемая степень параллелизма
полоса пропускания памяти, байт/с	$112 \cdot 10^9$	10

Разработанная многоядерная интеллектуальная система "МИС", которая выступает в качестве аппаратно-программного комплекса для распознавания многомерных сенсорных образов твердых, жидких, газообразных

(кровь, слюна, пот, моча, слезы и другие биоинформационные среды организма) [1], и гетерогенных сред, представляет фундаментальное и перспективное направление развития интеллектуальных технологий для практического и индивидуального применения в микро-нанoeлектронике, промышленной биотехнологии, биохимии, биоинформатике, мониторинге для безопасности объектов и контроля процессов производства, экологии для сохранения и продолжения жизни, медицине, сельском хозяйстве для точного земледелия, безопасности жизнедеятельности.

Процесс распознавания физико-акустических и электро-акустических свойств исследуемой среды основывается на использовании акустических свойств тонкопленочных наноструктурированных материалов для создания на их основе интеллектуальных сенсорных систем на поверхностных акустических волнах (ПАВ), работа которых заключается в затухании акустической волны, проходящей через среду с чувствительными элементами в виде наноструктур или цепочек ДНК [2]. Поскольку каждый продукт, объект, технология может быть охарактеризована информационным образом, то возможно получение молекулярных особенностей исследуемой биосреды (крови, пота, слюны и другие биоинформационные образы) для дальнейшего их распознавания.

Лаборатория на кристалле типа "электронный язык и электронный нос" на ПАВ представляет собой тонкую пластину из пьезоэлектрического материала, в которой напряжение переменного тока индуцирует акустическую волну скоростью  $\sim 3000$  м/с – один из принципов считывания электрических свойств газовых, жидких, твердых и гетерогенных сред

Электронные языки и электронные носы на ПАВ структурах могут функционировать в режимах резонатора, линии задержки, а также использовать дифференциальную схему, состоящую линии задержки и одного резонатора [2,3]. На рис. 1 показана из двух резонаторов, двух линий задержки, одной сенсорная система электронного языка (е-языка) и электронного носа (е-носа) с двумя линиями задержки.

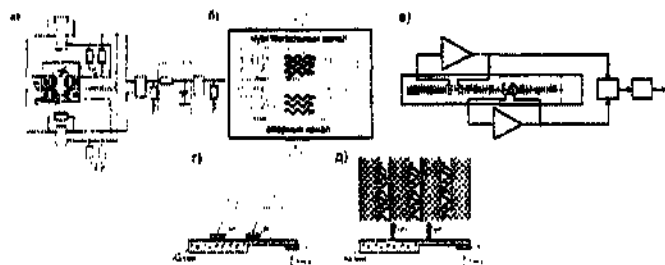


Рис. 1. Структурная схема е-языка и е-носа с сенсорной считывающей системой на ПАВ (а, б, в) с вариантами размещения наноструктур и двойных цепочек ДНК (г, д)

Чтобы контролировать подачу исследуемого вещества, была разработана специальная печатная плата и элемент, который содержит вещество до начала анализа и имеет размеры  $32 \times 20$  (мм) с резервуаром в центре  $6,8 \times 2,5 \times 8$  (мм) и объемом 136 микролитров (рис. 2а). При этом создан новый класс беспроводных микролабораторий на

кристалле с радиочастотной идентификацией (рис. 2б) [4].

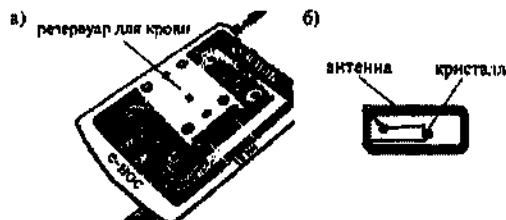


Рис. 2. Лабораторная мультисенсорная система на ПАВ с RFID идентификацией

На рис. 3а,б показана схема действия оптического широкополосного микротомографа, где посредством микросветодиодов происходит испускание заданных электромагнитных волн в диапазоне частот  $10^{11} - 10^{15}$  Гц, а микрофотодиоды регистрируют количественное изменение отраженного излучения (коэффициенты поглощения, преломления, рассеивания и другие показатели). Становится возможным рассмотрение большого спектра изменения оптических свойств среды, а минитюаризация исполнения самого устройства отличается легкой технической адаптацией к любым другим системам в зависимости от целей реализации (рис 3,в) [5].

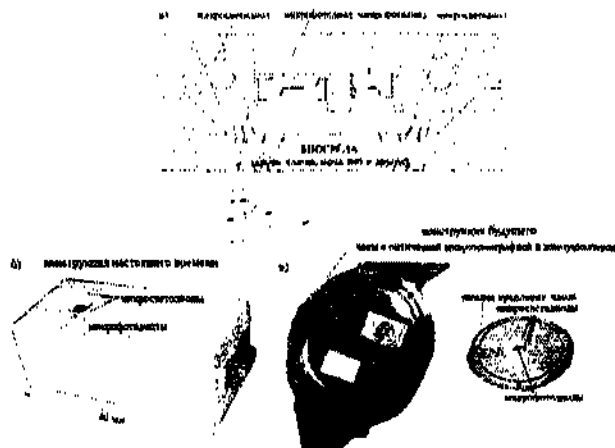


Рис. 3. Анализ биосред оптической широкополосной микротомографией (а), общий вид (б) для точного земледелия и программная среда WIS в умных часах с оптическим распознаванием образов (в)

Использование для распознавания информационных сенсорных образов многоядерных технологий параллельных вычислений позволяет распределить вычислительный процесс на несколько потоков и подзадач, каждый из которых выполняется на своем ядре процессора. Поэтому развитие многоядерных процессоров выступает в качестве технической базы параллельной обработки информационных сенсорных образов и оптимизации фоновых вычислений. Тем самым инструментальные средства многопроцессорной обработки позволяют гибко моделировать работу интеллектуальной системы в реальном времени для каждого конкретного информационного объекта распознавания с расчетом индивидуальных оптимальных параметров микро-наносенсорных систем или данных оптической микротомографии. Кроме того, рас-

ширение применения многоядерных самообучающихся технологий, которые обеспечивают рост производительности многопоточных приложений и уменьшение времени их реакции в многозадачных средах, в интеллектуальных системах распознавания решает проблемы интенсивных вычислений при работе в условиях реального времени, а также при передаче и защиты данных в коммуникационных и компьютерных сетях.

### 3 МНОГОЯДЕРНОЕ РАСПОЗНАВАНИЕ ОБРАЗОВ

Среди многоядерных процессоров с параллельной архитектурой в настоящее время наиболее известны графические GPU (Graphics Processing Unit), IBM CELL, Intel Core (табл. 2).

ТАБЛИЦА 2

#### МНОГОЯДЕРНЫЕ ПРОЦЕССОРЫ

Характеристики	Виды многоядерных процессоров		
	GeForce GTX 295 (GoForce GT 220)	CELL PowerX Cell 8i.	Intel Core i7 Extreme Edition 975
производство по техпроцессу, нм.	55 (40)	65 (45)	45 (22)
количество транзисторов, млрд. шт.	1,4 (0,3)	0,25	0,731 (2,9)
площадь кристалла ядра, мм <sup>2</sup>	470	212	263
вычислительная производительность на операциях одинарной точности, Гфлопс	894,2 (192,2)	204,8	211,2
тактовая частота, ГГц	1,242 (1,335)	3,2	3,33
полоса пропускания памяти, Гб/с	112 (25,3)	25,6	

Отличительной особенностью разработанного нами программного продукта "МИС" является создание интеллектуальных клиентских приложений в Visual Studio 2008 с наглядной быстрой разработкой подключенных приложений на разных платформах, использования библиотеки Parallel Extensions для ускорения процессов обработки данных в зависимости от количества доступных ядер в системе, SQL Server 2005 с предоставлением широких возможностей для создания Web-приложений, а также улучшенных методов быстрой кластерной обработки с эталонным сравнением и защиты данных анализа, полученных результатов прогнозирования при передаче в коммуникационных и информационных сетях. Безопасность работы программы "МИС" посредством помехоустойчивого кодирования, индивидуальной криптографической защиты и интеллектуальной суперзащиты личности предотвращает создание имитационных моделей и фальсификацию биометрических характеристик [5].

На основании применения перспективных многоядерных микропроцессоров становится возможным точное обоснование выбора аппаратных ускорителей алгоритмов самоорганизации и самообучения в разработанных интеллектуальных системах анализа информационных сенсорных образов посредством клеточных, многослойных

нейронных сетей, эволюционных и генетических алгоритмов для решения задач распознавания и прогнозирования.

При распознавании, например, информационных образов при точном земледелии трех различных видов почв с содержанием органических веществ, которые различаются контрастными цветовыми оттенками, биохимической и индивидуальной микро-наноструктурой, в качестве исходных данных были использованы их физико-акустические, электроакустические и оптические свойства [6]. Интеллектуальная система "МИС" позволила использовать методы расчета псевдообратных матриц, а также различные самообучающиеся структуры вероятностных и оптимизационных нейронных сетей с генетическими алгоритмами минимизации ошибки распознавания, которые обладают высокой скоростью обучения, устой-

ТАБЛИЦА 3

#### РАСПОЗНАВАНИЕ СЕНСОРНЫХ ОБРАЗОВ ПОЧВ

Методы распознавания сенсорных образов (матрица 73×8)	Время выполнения (в секундах)			Средне-квадратичная ошибка
	одnojядерная система		многоядерная система	
	Intel Pentium 3, 753 ГГц, 256 Мб ОЗУ, 320 Мфлопс, XP), с	Intel Pentium 4, 3 ГГц, 1 Гб ОЗУ, XP), 782 Мфлопс, с		
вычисление псевдообратных матриц	2,7818	0,4070	0,2055	0,2588
вероятностные нейронные сети	3,1003	0,4680	0,2759	0,0714
оптимизационные нейронные сети	12,5049	1,1340	0,7048	0,1380
метод группового учета аргументов с вычислением псевдообратных матриц (двойки)	130,2664	48,4370	12,3100	0,0804
метод группового учета аргументов с вычислением псевдообратных матриц (тройки)	1197,7637	150,0151	98,4398	0,0482

чивостью и точностью классификации многомерных данных (табл. 3).

Применение многоядерных технологий с параллельной обработкой позволяет в несколько раз ускорить самообучение интеллектуальной системы, что дает возможность для использования "МИС" в режиме реального времени для распознавания информационных сенсорных образов. Из табл. 3, где сведены данные временной продолжительности выполнения функций расчета при нейросетевом и эволюционном самообучении, показаны преимущества многоядерных технологий, которые позволяют в несколько раз повысить скорость работы интеллектуаль-

ной системы “МИС”. Значительные временные отличия могут быть обусловлены несколько скоростью выполнения операций в секунду, как выделением участков в работе исполняемых функций, допускающих параллельную обработку или массив однотипных операндов для конвейеризации, конструктивными характеристиками (частота, память, объем шины и т.д.) и фоновыми процессами программного обеспечения вычислительных систем, что приводит к задержкам при поступлении данных из памяти на обработку. Очевидно, что увеличение тактовой частоты приводит к существенному возрастанию скорости самообучения интеллектуальной системы “МИС”, однако в отличие от многоядерных систем возможности одноядерных технологий ограничены частотой 4,13 ГГц из-за технологии изготовления кремниевого кристалла, используемой системной платы, высокого тепловыделения и энергопотребления процессора.

Поэтому использование многоядерных систем параллельного программирования дает возможность для быстрого распознавания информационных сенсорных образов, создания эффективных, производительных и не энергоемких интеллектуальных систем, как, например, разработанная система “МИС”. Применение специальных библиотек для подключения возможностей параллельных вычислений (Parallel Extensions) обеспечивает гибкую функциональность работы и эффективность распределения ресурсов каждого вычислительного ядра интеллектуальных систем при распознавании образов в информационных и коммуникационных технологиях. Хотя использование многоядерных процессоров может обеспечить значительное увеличение вычислительной мощности, однако их освоение может вызвать определенные проблемы для программирования, поэтому в настоящее время разрабатываются инструментальные программно-аппаратные среды с новыми моделями программирования, адекватными параллелизму и поточности обработки данных.

## 5 ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработка многоядерных процессоров в силу их исключительных вычислительных возможностей является наиболее перспективным средством аппаратной поддержки интеллектуальных систем распознавания информационных сенсорных образов как, например, программа “МИС”, поскольку такие системы способны решать проблемы быстрых вычислений, выступают в качестве аппаратных ускорителей самообучающихся и генетических алгоритмов для прогнозирования и решения задач имитаци-

онного моделирования. Технические возможности многоядерных систем позволяют быстро решать задачи, которые возможно распараллелить на аппаратных и программных уровнях, что дает разработанной системе “МИС” преимущества в способности распознавания сенсорных образов в реальном времени. Кроме того, использование принципов параллелизма и параллельного доступа повышает безопасность интеллектуальной системы, ее возможности в высокoeffективной и высокоскоростной суперзащите личности от фальсификации ее биометрических информационных образов [5], а также совместный доступ нескольких пользователей к используемым ресурсам интеллектуальной системы “МИС”.

## ЛИТЕРАТУРА

- [1] Колешко В.М., Хмурович, Н.В. Воробей, Е.А. и др. Интеллектуальная система диагностики биохимических образов крови / В.М. Колешко // Современные информационные и телемедицинские технологии для здравоохранения: сб. II междунар. науч. конф., Минск, 1–3 октября 2008 / Объедин. инстит. пробл. информ. (ОИПИ). – Минск, 2008. – С. 202–204.
- [2] Колешко В.М., Мешков Ю.В. Микроэлектронные преобразователи информации на поверхностно-акустических волнах / В.М. Колешко. – Москва: Электроника, 1985. – № 9. – 116 с.
- [3] Колешко В.М., Мешков Ю.В., Скопич В.И. и др. Преобразователь информации на поверхностных акустических волнах. Авторское свидетельство СССР №1648234, 1991.
- [4] Колешко В.М., Польшкова Е.В. Сенсорные микронаносистемы на ПАВ с RFID идентификацией / В.М. Колешко // Нанотехнологии производству 2007: сб. IV науч.-практ. конф., Фрязино, ноябрь 2007. – Фрязино, 2007. – С. 126–132.
- [5] Колешко В.М., Гулай А.В., Воробей Е.А. и др. Интеллектуальная система распознавания информационных образов для защиты и безопасности жизнедеятельности человека / В.М. Колешко // Технические средства защиты информации: материалы VII Белорус-рос. науч.-техн. конф., Минск, БГУИР, 23–24 июня 2009. – Минск, 2009. – С. 46–47.
- [6] Колешко В.М., Гулай А.В., Лученок С.А. Нейросетевые технологии – базис создания интеллектуальных систем точного земледелия // Материалы в второго белорусского космического конгресса, Минск, 25–27 октября 2005. – Минск, 2005. – С. 376–380.