

ленному значению, особенно для деформационных частот плоских колебаний. Соответствие данных расчета и эксперимента значительно улучшается с учетом изменения эффективных зарядов при колебаниях посредством $\partial\mu^{(2)}/\partial Q_i$. Согласно формулам (11), уменьшение производной дипольного момента больше для частот ν_9 и ν_{10} типа B_{2u} , чем для ν_{11} и ν_{12} типа B_{3u} , поскольку множитель $\sin \vartheta_0$ в формуле (11, а) больше $\cos \vartheta_0$ (11, б). Вариант расчета II целесообразно произвести при диагональной матрице производных эффективных зарядов, т. е. при

$$\frac{\partial \zeta_{H_1}}{\partial q_2} = \frac{\partial \zeta_{H_1}}{\partial \beta_2} = \frac{\partial \zeta_{H_1}}{\partial \alpha_{12}} = 0; \quad s_{CH} \frac{\partial \zeta_{H_1}}{\partial q_1} = -0,07 \frac{D}{\text{Å}}; \quad \frac{\partial \zeta_{H_1}}{\partial \beta_1} = -0,38 \frac{D}{\text{Å}}.$$

Три параметра удовлетворительно определяют интенсивности всех инфракрасных полос. Окончательный вариант расчета III выполнен при условии, что основную часть производной дипольного момента молекулы составляет $\partial\mu^{(1)}/\partial Q_i$. Сумма величин $\partial\mu^{(2)}/\partial Q_i$ и $\partial\mu^{(3)}/\partial Q_i$ вносит поправки и меньше по модулю основной части, поэтому в расчете параметров экспериментальные значения $\partial\mu/\partial Q_i$ приняты со знаком, который следует из формул. В результате получены следующие значения параметров

$$bD/\text{Å}: \zeta_H^{(0)} = 0,57; \quad \zeta_H^{(0)} + \sigma\delta = 0,639; \quad s_{CH} \frac{\partial \zeta_{H_1}}{\partial q_1} = -0,118; \quad s_{CH} \frac{\partial \zeta_{H_1}}{\partial q_2} = 0,059; \\ \frac{\partial \zeta_{H_1}}{\partial \beta_1} - \frac{\partial \zeta_{H_1}}{\partial \alpha_{12}} = -0,478; \quad \frac{\partial \zeta_{H_1}}{\partial \beta_2} - \frac{\partial \zeta_{H_1}}{\partial \alpha_{12}} = -0,103.$$

Следует отметить, что отрицательный знак $s_{CH} \frac{\partial \zeta_{H_1}}{\partial q_1}$, $\frac{\partial \zeta_{H_1}}{\partial \beta_1} - \frac{\partial \zeta_{H_1}}{\partial \alpha_{12}}$ соответствует тому, что растяжение связи С—Н и особенно увеличение валентного угла С—С—Н вызывает уменьшение полярности связи С—Н. Параметры $s_{CH} \frac{\partial \zeta_{H_1}}{\partial q_2}$, $\frac{\partial \zeta_{H_1}}{\partial \beta_2} - \frac{\partial \zeta_{H_1}}{\partial \alpha_{12}}$, характеризующие более далекие влияния, значительно меньше по величине остальных параметров.

Все полученные формулы применимы для молекул замещенных этилена симметрии D_{2h} .

В заключение авторы выражают глубокую благодарность проф. Д. С. Умрейко за интерес и содействие в работе.

ЛИТЕРАТУРА

1. Свердлов Л. М., Ковнер М. А., Крайнов Е. П. Колебательные спектры многоатомных молекул.— М., 1970.
2. Волькенштейн М. В., Ельяшевич М. А., Степанов Б. И. Колебания молекул.— М.— Л., 1949, т. 2.
3. Волькенштейн М. В.— Докл. АН СССР, 1941, т. 32, с. 185.
4. Волькенштейн М. В., Грибов Л. А., Ельяшевич М. А., Степанов Б. И. Колебания молекул.— М., 1972.
5. Wilson E. B., Decius J. C., Cross P. S. Molecular vibration.— Mc Crow-Hill, — New-York, 1955, p. 41.
6. Decius J. C.— J. Mol. Spectrosc., 1975, v. 57, p. 348.
7. Yozo Kakiuti, Minori Akiyama, Hiroshi Saito.— J. Mol. Spectrosc., 1976, v. 61, p. 164.
8. Прима А. М., Прима В. М.— Вестн. Белорусского ун-та. Сер. 1, физ., мат. и мех., 1981, № 1, с. 6.
9. Golike R., Mills J. M., Crawford B.— J. Chem. Jhys., 1956, v. 25, p. 1266.

Поступила в редакцию
06.12.78.

НИИ ПФП, БПИ

УДК 681.142.01

А. А. КОЛЯДА, А. Ф. ЧЕРНЯВСКИЙ

БЫСТРОДЕЙСТВИЕ АУ В ОБОБЩЕННЫХ СОК

Алгоритмы арифметики обобщенных систем остаточных классов (ОСОК) обладают поточной структурой и при реализации на ЭВМ вычислительных процедур выполнение операций, зависящих от результа-

тов предшествующих операций, может быть начато задолго до полного получения этих результатов [1]. Предложенное в [1] арифметическое устройство (АУ) не только выполняет каждый из алгоритмов арифметики ОСОК в отдельности за минимальное число модульных тактов, но и способно функционировать в соответствии со структурой алгоритмов арифметики, т. е. в поточном режиме.

В данной работе проведен сравнительный анализ скоростных характеристик ОСОК и позиционных систем счисления (ПСС). Показано, что в ОСОК можно достичь более высокого быстродействия, чем в ПСС.

1. Сравнение времен выполнения арифметических операций в ОСОК и ПСС. Время работы некоторой логической схемы (ЛС) при однократном обращении к ней определяется числом логических элементов (ЛЭ) (числом уровней) в самой длинной цепочке ЛЭ, по которой есть путь от входа ЛС к ее выходу и временем t_3 задержки в ЛЭ. Будем считать, что у всех использующихся элементов t_3 одно и то же.

Для определения времен выполнения операций в ОСОК оценим длительность t_{MT} модульного такта, т. е. минимальное время, за которое может выполнить свою функцию любой из элементарных ФУ, описанных в [1]. В рассматриваемом АУ указанную величину следует увеличить на время t_p записи слова в регистр. Нетрудно проверить, что все используемые в [1] функциональные узлы могут быть реализованы таблично и с помощью небольших быстродействующих запоминающих устройств (ПЗУ), функционирующих как комбинационные схемы [2, 3]. В этом случае $t_{MT} = t_d + t_q + t_p$, где t_d — время дешифрации адреса слова ПЗУ; t_q — время чтения слова.

Обозначим через R_{max} число битов, требующееся для представления вычетов по наибольшему из модулей ОСОК. Тогда при использовании ЛЭ с количеством входов R_{max} и $2R_{max}$ можно достичь нижней оценки времени $t_{ПЗУ} = t_d + t_q$, составляющей $2t_3$ [2—5]. Таким образом,

$$t_{MT} \geq 2t_3 + t_p. \quad (1)$$

Используя (1), можно оценить время выполнения любой операции в ОСОК. Перейдем к ПСС.

Согласно [2, 6], самой быстродействующей схемой суммирования в позиционных ЭВМ считается комбинационный сумматор со сквозными переносами, работа которого описывается следующими булевыми соотношениями:

$$p_i = p_0 F_1 F_2 \dots F_i + D_1 F_2 F_3 \dots F_i + D_2 F_3 F_4 \dots F_i + \dots + D_{i-1} F_i + D_i, \\ s_i = x_i \bar{y}_i \bar{p}_{i-1} + \bar{x}_i y_i \bar{p}_{i-1} + \bar{x}_i \bar{y}_i p_{i-1} + x_i y_i p_{i-1}; \quad i = 1, 2, \dots, N, \quad (2)$$

где N — число битов в слове; $D_j = x_j y_j$, $F_j = \bar{x}_j y_j + x_j \bar{y}_j$ ($j = 1, 2, \dots, i$); x_i , y_i — значения i -го разряда слагаемых; p_i — значение переноса из $i-1$ -го разряда; s_i — значение i -го разряда суммы.

Используя ЛЭ с R входами, соотношения (2) можно получить за $t_c = 5 + \log_2 N + 1$ — логических уровней.

Самой быстродействующей схемой умножения в позиционных ЭВМ, способной работать в поточном режиме, является дерево сумматоров [7], состоящее из $\log_2 N$ уровней (рядов) $2N$ -разрядных сумматоров со сквозными переносами. Сумматоры соседних уровней отделяются регистрами. Время работы такого умножителя определяется соотношением $t_y = \log_2 N [((5 + \log_2 2N)(t_3 + t_p))]$.

В таблице приведены скоростные характеристики ОСОК и ПСС для конкретных значений диапазона 2^N и характеристик сложности ЛЭ. Для определения числа основных модулей СОК используется следующее соотношение: $2(p_{cp})^{n+1} = 2^N$, где p_{cp} — средняя величина модуля ОСОК. Величина максимального модуля p_{max} выбирается так, чтобы $(p_{max})^2$ не превышало емкости применяемых ПЗУ. ОСОК обладает более высоким быстродействием, чем ПСС, особенно при работе с целыми числами (табл. 1). При этом следует отметить, что схема умножения позиционных кодов с помощью дерева сумматоров требует для своей реализа-

ции чрезвычайно большого объема оборудования и на практике применяется очень редко [7].

Скоростные характеристики ОСОК и ПСС

N			32—36	36—64	16	32—36	32—36	36	36	
n			6,7	8,15	3	6,7	6,7	6,7	6,7	
P _{ср}			16	16	16	16	16	16	16	
R			2	2	2	3	2	2	2	
t _P			1	1	1	1	2	1	1	
t _{ПЗУ}			2	2	2	2	2	2	3	
Тип сумматора			сквозн. перенос	сквозн. перенос	сквозн. перенос	сквозн. перенос	сквозн. перенос	групп. перенос	групп. перенос	
Сложение	ОСОК	Ирода	9	9	9	9	12	9	12	
		РИИР	21	24	18	21	28	21	28	
	ПСС		12	12	11	8	13	14	14	
Умноже- ние	ОСОК	Ирода	умн. целых	27	30	24	27	36	27	36
			умн. дроб.	45	48	39	45	60	45	60
		РИИР	умн. целых	27	30	24	27	36	27	36
			умн. дроб.	42	48	36	42	56	42	56
	ПСС		78	78	44	36	84	126	126	
Эффект поточ- ности	k	целые	5,3	6,0	4,66	5,3	5,3	5,3	5,3	
		дроб.	1,9	2,0	1,8	1,9	1,9	1,9	1,9	
	k	целые	10,0	10,0	5,2	4,99	8,0	15,55	11,66	
		дроб.	2,98	2,5	1,6	1,33	2,2	4,3	3,2	

Примечание. Время измеряется числом логических уровней.

II. Повышение быстродействия ОСОК за счет поточной структуры алгоритмов арифметики. Отмечалось, что рассматриваемое АУ может работать в поточном режиме, поэтому, если выполняемая программа содержит независимые участки, время ее реализации в этом АУ существенно уменьшается. В отличие от ПСС производительность АУ в ОСОК может быть повышена и при выполнении плохо распараллеливаемых или вообще нераспараллеливаемых вычислительных процедур.

Рассмотрим рекуррентное соотношение 1-го порядка:

$$y_m = ay_{m-1} + b, \quad m = 1, 2, \dots \quad (3)$$

Распараллеливание его в позиционных ЭВМ весьма затруднительно. Напротив, при реализации (3) в ОСОК возможно совмещение выполнения операций. Пусть в (3) все величины — целые числа. Тогда, сразу после первого такта умножения a на y_{m-1} может быть начато сложение, а после 3-го такта — умножение на y_m и т. д. (см. [1]). В результате M итераций определяется за время $t_{M, \text{ОСОК}}^{\text{II}} = (3M + 3 + 1) \log_2(n + 1) [1] t_{\text{MT}}$. Если же в (3) дробные числа, то M итераций вычисляется за время

$t_{\text{ОСОК}} = (M(8 + \lceil \log_2(n+1) \rceil) + 3 + \lceil \log_2(n+1) \rceil) t_{\text{МТ}}$.

По сравнению со случаем, когда поточный режим не применяется, скорость вычислений увеличивается в

$$k_1 = \begin{cases} \frac{2M(5 + \lceil \log_2(n+1) \rceil)}{3M + 3 + \lceil \log_2(n+1) \rceil} \text{ раз, если в (3) целые числа,} \\ \frac{3M(4 + \lceil \log_2(n+1) \rceil)}{M(8 + \lceil \log_2(n+1) \rceil) + 3 + \lceil \log_2(n+1) \rceil} \text{ раз, если в (3) дробные числа.} \end{cases}$$

По сравнению с ПСС скорость вычисления (3) увеличивается в

$$k_2 = \begin{cases} \frac{M(t_c + t_y)}{(3M + 3 + \lceil \log_2(n+1) \rceil) t_{\text{МТ}}} \text{ раз, если в (3) целые числа,} \\ \frac{M(t_c + t_v)}{M(8 + \lceil \log_2(n+1) \rceil) + 3 + \lceil \log_2(n+1) \rceil t_{\text{МТ}}} \text{ раз, если в (3) дробные числа.} \end{cases}$$

Рассмотрим рекуррентное соотношение 2-го порядка

$$y_m = ay_{m-1} + by_{m-2} + cx_{m-2} + dx_{m-1} + x_m; m = 1, 2, \dots \quad (4)$$

При реализации на ЭВМ оно хорошо распараллеливается. Нетрудно проверить, что дополнительно к эффекту максимального распараллеливания, получаемому позиционными ЭВМ, в ОСОК скорость вычислений по (4) может быть увеличена во столько же раз, как и в (3).

Приведенные примеры показывают, что при выполнении АУ, функционирующих в ОСОК, любых вычислительных процедур применим поточный режим. В результате фактические времена выполнения арифметических операций значительно уменьшаются. В самом худшем случае сложение превращается в одноктактную, умножение целых — в трехтактную и умножение дробей — в $(8 + \lceil \log_2(n+1) \rceil)$ -тактную операции.

Логические операции такие, как сравнение чисел, анализ на переполнение и другие превращаются в одноктактные.

Если, например, использовать ЛЭ с $t_a = 20$ пс и $t_{\text{МТ}} = 3t_a = 60$ пс, то при соответствующей архитектуре ЭВМ, функционирующей в ОСОК с диапазоном 2^{36} , можно выполнить: около 17 млн. сложений, 5,5 млн. умножений целых чисел или 1,5 млн. умножений дробей в секунду.

Отметим, что имеются дополнительные возможности повышения быстродействия ОСОК за счет увеличения числа матриц ПЦАУ.

Подводя итог изложенному, можно сделать следующие выводы.

1. При работе в поточном режиме выполнение таких операций, как определение знака числа, сравнение чисел и анализ на переполнение совмещается во времени с выполнением арифметических операций. Таким образом, устраняется главный недостаток СОК — определяющее влияние на быстродействие ЭВМ алгоритмов вычисления позиционных характеристик.

2. Благодаря поточной структуре алгоритмов арифметики в ОСОК можно достичь более высокого быстродействия, чем в ПСС, особенно при реализации плохо распараллеливаемых вычислительных процедур.

3. При разработке мощных вычислительных систем, работающих в реальном масштабе времени, особенно важен контроль арифметических операций и коррекции случайных ошибок. Для ОСОК разработаны эффективные корректирующие коды, позволяющие не только обнаруживать, но и исправлять в ходе работы ЭВМ ошибки различной кратности [9, 10].

4. АУ ОСОК, реализованные таблично, отличаются высокой регулярностью, и с развитием интегральной технологии их производство оказалось бы весьма экономичным [3].

ЛИТЕРАТУРА

1. Коляда А. А. — Вестн. Белорусского ун-та. Сер. 1, физ., мат. и мех., 1981, № 1, с. 19.
2. Самохвалов К. Г., Корнейчук В. И., Тарасенко В. П. Электронные цифровые вычислительные машины. — Киев, 1976.

3. Торгашев В. А. Система остаточных классов и надежность ЦВМ.— М., 1973.
4. Хассон С. Микропрограммное управление.— М., 1969, вып. 1.
5. Букреев И. Н., Мансуров Б. М., Горячев В. И. Микропрограммные схемы цифровых устройств.— М., 1975.
6. Чу Я. Организация ЭВМ и микропрограммирование.— М., 1975.
7. Аллен. Архитектура ЭВМ для обработки сигналов.— Труды Ин-та инженеров по электротехнике и радиоэлектронике, 1975, с. 63.
8. Коляда А. А., Кравцов В. К.— Вестн. Белорусского ун-та. Сер. 1, мат., физ., мех., 1979, № 3, с. 57.
9. Коляда А. А., Кравцов В. К. О корректирующих возможностях R-кодов обобщенных СОК.— Рукопись деп. в ВИНТИ. № 4112-76. Деп. от 29.11.76.
10. Коляда А. А., Кравцов В. К. Обнаружение и исправление ошибок при выполнении операций в ОСОК с помощью R-кодов.— Рукопись деп. в ВИНТИ. № 2240-77. Деп. от 06.06.77.

Поступила в редакцию
06.06.79.

Кафедра ЭММ

УДК 621.372.8

[В. И. ЛАВРУКОВИЧ], А. В. СИДОРЕНКО

ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКАЯ ЛИНИЯ СВЯЗИ ДЛЯ ПЕРЕДАЧИ СВЧ СИГНАЛА ПО ЛУЧУ ЛАЗЕРА

При измерении параметров СВЧ антенн возникает необходимость в передаче опорного СВЧ сигнала на переменные расстояния [1], при этом нестабильность фазы не должна превышать нескольких градусов, а амплитуды — 1 дБ. Перспективным методом передачи СВЧ сигнала является использование оптических линий связи. Модулированная СВЧ сигналом оптическая несущая может передаваться по атмосферному каналу связи или по волокну. Особенности передачи СВЧ сигнала в атмосферной линии связи рассматривались в работах [2, 3].

В настоящей статье обсуждаются вопросы передачи СВЧ сигнала в волоконно-оптической линии связи (ВОЛС). Одним из основных элементов такой линии связи является оптическое волокно, полоса пропускания и потери в котором существенным образом влияют на передачу СВЧ сигнала. Лучшие многомодовые волокна имеют полосу пропускания до

Параметры исследуемых оптических волокон

Параметры	Кварцевое волокно с боросиликатной оболочкой № 1	Кварцевое волокно с боросиликатной оболочкой № 2	Кварцевое волокно без защитной оболочки № 3
Апертура	0,33	0,22	0,22
Диаметр волокна, мкм	130	150	210
Диаметр сердцевин- ны, мкм	40	60	120
Потери, дБ/км	16	20	200
$\frac{\partial A}{\partial \theta}$, дБ/град·м	$7,2 \cdot 10^{-3}$	$1,5 \cdot 10^{-2}$	$5,2 \cdot 10^{-3}$
$\frac{\partial \Phi}{\partial \theta}$, град/град·м	$2,06 \cdot 10^{-2}$	$3,8 \cdot 10^{-2}$	$1 \cdot 10^{-2}$
$\frac{\partial A}{\partial R}$, дБ/см·м	$2 \cdot 10^{-2}$	—	$2,7 \cdot 10^{-2}$
$\frac{\partial \Phi}{\partial R}$, град/см·м	$1,25 \cdot 10^{-1}$	—	$3,9 \cdot 10^{-3}$
$\frac{\partial A}{\partial T}$, дБ/град·м	$9,4 \cdot 10^{-4}$	$3,2 \cdot 10^{-3}$	$4,2 \cdot 10^{-4}$
$\frac{\partial \Phi}{\partial T}$, град/град·м	$1,1 \cdot 10^{-1}$	$9,5 \cdot 10^{-2}$	$1,4 \cdot 10^{-2}$