

УДК 681.142.01

В.А. Краснобаев<sup>1</sup>, А.С. Янко<sup>1</sup>, С.А. Кошман<sup>2</sup>, В.Н. Курчанов<sup>1</sup>, Ю.П. Бендес<sup>1</sup><sup>1</sup> Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка, Полтава<sup>2</sup> Харківський національний технічний університет сільського господарства імені Петра Василенко, Харків

## РАСЧЕТ И СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ КОМПЬЮТЕРНОЙ СИСТЕМЫ ОБРАБОТКИ ЦЕЛОЧИСЛЕННЫХ ДАННЫХ, ПРЕДСТАВЛЕННЫХ В СИСТЕМЕ ОСТАТОЧНЫХ КЛАССОВ

В статье представлены результаты расчета и сравнительного анализа производительности компьютерных систем обработки целочисленных данных (КСОЦД), функционирующих в составе системы передачи данных при решении стандартной задачи реализации алгоритма выбора пути между абонентами телекоммуникационной сети. Сравнительный анализ производительности проводится для КСОЦД, функционирующих в непозиционной системе счисления в остаточных классах и в обычной двоичной позиционной системе счисления.

**Ключевые слова:** системы передачи данных, система остаточных классов, компьютерная система обработки целочисленных данных, производительность вычислительной системы.

### Введение

Известно, что использование непозиционной системы счисления в классе вычетов (СОК) в компьютерной системе обработки целочисленных данных (КСОЦД) позволяет существенно повысить быстродействие реализации целочисленных арифметических операций [1 – 3]. Поэтому задача расчета и сравнительного анализа производительности КСОЦД, функционирующей в СОК и в обычной двоичной позиционной системе счисления (ПСС), является актуальной и практически важной. Цель статьи – провести сравнительный анализ производительности КСОЦД в ПСС и в СОК.

### Основная часть

В некоторых существующих системах передачи данных (СПД) специального назначения в контуре управления присутствует КСОЦД. Результат анализа эксплуатации технических систем и средств обработки информации реального времени показали, что в большинстве случаев от производительности обработки данных КСОЦД зависит эффективность использования всей СПД в целом. Очевидно, что одной из наиболее важных характеристик специализированных КСОЦД является ее производительность. Производительность КСОЦД определяется количеством вычислительной работы за единицу времени.

Для проведения сравнительной оценки рассчитаем производительность КСОЦД в СОК и существующая в ПСС КСОЦД АПО – 221 изделия 15Э1235 – система коммутации сообщений. В свою очередь, изделие 15Э1235 входит в состав системы 15Э1142 – центра автоматической коммутации (ЦАК), осуще-

ствляющей функцию автоматизированного обмена информацией управления между источниками и потребителями данных, расположенными на командных пунктах, штабах и других объектах специального назначения. Основная, базовая задача процесса коммутации сообщений – задача выбора пути передачи формализованного сообщения (алгоритм выбора пути (АВП)). В дальнейшем под стандартной задачей будем понимать задачу реализации АВП. Производительность КСОЦД будем определять при решении стандартной задачи реализации АВП между двумя абонентами телекоммуникационной сети [4].

Проведем расчет оценки производительности П КСОЦД АПО – 221.

В этом случае под производительностью П будем понимать количество решаемых в единицу времени стандартных задач АВП в режиме нормальной эксплуатации, т.е.

$$П = \frac{1}{T_c} \quad (1)$$

где  $T_c = T_{вв}(1 - \varepsilon_1) + T_p + T_{об} + T_k + T_{пр} + T_{выв}(1 - \varepsilon_2)$

– время решения стандартной задачи АВП;

$T_{вв}$  – время ввода исходной информации;

$T_p$  – время непосредственного решения задачи;

$T_{об}$  – время, затрачиваемое на обмен информацией с ОЗУ;

$T_k$  – время контроля функционирования КСОЦД с помощью тестов, проводимых в процессе решения задачи;

$T_{пр}$  – время, затрачиваемое на профилактические работы, поиск и устранение отказов, приведенное к однократному решению задачи;

$T_{выв}$  – время вывода результатов решения задачи;

$\varepsilon_1, \varepsilon_2$  – коэффициенты совмещения соответственно ввода и вывода информации с процессом решения задачи ( $\varepsilon_1, \varepsilon_2 \leq 1$ ).

Отметим, что для КСОЦД в СОК время  $T_{\text{вв.СОК}}$  ввода исходной информации и время  $T_{\text{выв.СОК}}$  вывода результатов решения задачи определяются соответствующими выражениями

$$T_{\text{вв.СОК}} = T_{\text{вв}} + T_{\text{пр1}}, T_{\text{выв.СОК}} = T_{\text{выв}} + T_{\text{пр2}},$$

где  $T_{\text{пр1}}$  – время преобразования операндов из ПСС в СОК,  $T_{\text{пр2}}$  – время преобразования операндов из СОК в ПСС. В этом случае время ввода-вывода информации для КСОЦД в СОК несколько больше чем для ПР-009 в ПСС за счет необходимости преобразования операндов из ПСС в СОК и обратно. Результаты исследований, проведенных в [2], показали, что для табличного принципа обработки данных (ТП) в СОК выполняется следующее условие:  $T_{\text{пр1}} + T_{\text{пр2}} \leq 1$ , в относительных временных единицах (усл. ед.). Данное обстоятельство в дальнейшем учитывалось при определении времени реализации АВП в СОК.

Специализированная КСОЦД АПО-221 изделия 15Э1235 системы 15Э1142 состоит из двух процессоров ПР-009, а также из памяти команд, памяти данных и канала ввода-вывода. Процессор ПР-009 реализует совокупность команд (арифметических, логических, перехода, обмена и т.д.) посредством четырехбайтовых ( $l = 4$ ) разрядных слов. Для повышения быстродействия решения задачи в ПР-009 применяется режим совмещения, при котором выборка очередной команды из памяти команд начинается до полного завершения предыдущей команды. В изделии 15Э1235 принято, что  $\varepsilon_1 = \varepsilon_2 = 0,2$ . Основные временные характеристики в усл. ед. изделия 15Э1235 и ПР-009 системы 15Э1142 приведены в табл. 1. Вычислительная система КСОЦД АПО-221 создана по надежностной схеме горячего резервирования. Если оба процессора ПР-009 работоспособны, то обработка текущей информации обеспечивается одним процессором ("ведущий"), а второй ("ведомый") является горячим резервом. Назначение процессора "ведущим" осуществляется программно. Отказ в первом и во втором ПР-009 приводит к отказу изделия 15Э1235 и системы 15Э1142 в целом.

Таблица 1

Основные характеристики изделия 15Э1142

| № п.п. | Изделие, система (блок) | Тип реализуемой операции   | Время [усл. ед.] |
|--------|-------------------------|--|------------------|
| 1      | ОЗУ-094<br>(ОЗУ-095)    | Цикл обращения   | 3                |
|        |                         | Время выборки  | 0,6              |
| 2      | ПЗУ-098                 | Цикл обращения   | 3                |
| 3      | ПР-009                  | Время ввода-вывода информации  | 6                |
|        |                         | Время тестового контроля   | 1                |
|        |                         | Среднее время выполнения операции сложения (вычитания) в режиме совмещения   | 7                |
|        |                         | Среднее время выполнения операции сложения (вычитания) в обычном режиме  | 20               |
|        |                         | Среднее время выполнения операции умножения  | 200              |
| 4      | 15Э1235                 | Время, затрачиваемое на профилактические работы, поиск и устранение отказов, приведенное к однократному решению задачи АВП | 0,5 час.         |
| 5      | 15Э1235                 | Объем памяти команд  | 256 кбайт        |
|        |                         | Объем памяти данных  | 192 кбайт        |
| 6      | 15Э1142                 | Система форматов команд  | 0, 1, 2, 3       |
| 7      | 15Э1235                 | Разрядная сетка  | 32 дв. разр.     |
| 8      | 15Э1142                 | Коэффициент готовности системы   | 0,9995           |
|        |                         | Среднее время восстановления системы   | 0,5 час.         |

Процесс функционирования изделия 15Э1235 обеспечивается программно и аппаратно. Основным режимом работы данного изделия является коммутация сообщений. Задача АВП принадлежит к классу современных децентрализованных и адаптивных алгоритмов управления, решаемых посредством КСОЦД СПД. В табл. 2 приведены: этапы реализации АВП, совокупность операций, реализующая данный этап вычислений АВП, а также частота реализации

стандартных операций в ПР-009. Кратко опишем реализуемый АВП. Суть АВП – определение оптимального пути доведения сообщения от источника информации к потребителю данных в специализированной системе 15Э599 информационно-расчетной системы "Ярус" СПД. Информация для решения алгоритма АВП хранится в системе 15Э1142 в матрице  $M$ , состоящей из двух матриц смежности: телефонной и телеграфной. При выборе пути используются

двоичные операции над целыми числами строк этих матриц. Число строк и столбцов в этих матрицах равно числу ЦАК. Алгоритм АВП состоит из четырех основных ветвей: передача сообщения по маршруту; выбор пути по матрице  $M_{\phi}$  (телефонная сеть); выбор пути по матрице  $M_r$  (телеграфная сеть); передача сообщения оператору. Если значение варианта передачи соответствует варианту передачи по маршруту, то подключается первая ветвь. Выбор пути при работе АВП по второй и третьей ветвям осуществляется на основе глобальной информации о структуре телекоммуникационной сети и локальной информации об

очередях и нагрузке на сети. Для заданного ЦАК, для каждого сообщения, выбор пути осуществляется последовательно, начиная с кратчайших путей, определяя тем самым множество  $U_s$  транзитных ЦАК на пути к требуемому ЦАК получателя с отклонением  $S$  от кратчайшего пути. В качестве ЦАК кандидата для дальнейшей передачи выбирается ЦАК, направление передачи к которому в данный момент имеет минимальную приведенную длину очереди  $L_s = 1 + I_s + I\delta_s$ , где  $l$  – длина очереди, пересчитанная в сообщениях на 1 канал направления связи.

Таблица 2

Перечень, тип и количество операций, входящих в алгоритм выбора пути сообщения

| № п.п. | Реализуемая функция  | Тип операции         | Количество операций |
|--------|--|----------------------|---------------------|
| 1      | Определение значений элементов $a_{jif}$ ( $a_{jir}$ ) строк (столбцов) матрицы смежности.                           | Обращение к ПЗУ      | 40                  |
|        |  | Сложение             | 30                  |
| 2      | Формирование двоичной строки доступности.  | Сложения по модулю 2 | 40                  |
| 3      | Определение смежной ветви.   | Сложение             | 4                   |
|        |  | Сравнение            | 3                   |
| 4      | Определение множества $U_s$ транзитных ЦАК.  | Сложение             | 30                  |
|        |  | Сложение по модулю 2 | 20                  |
| 5      | Определение необходимого направления передачи информации.  | Сложение             | 100                 |
|        |  | Сравнение            | 50                  |
| 6      | Формирование признака маршрута $q_{i+1}=q_i+S$ .   | Сложение             | 50                  |
| 7      | Определение приоритета сообщения (вычисление функции $T_x$ ).  | Сложение             | 400                 |
|        |  | Умножение            | 1600                |
|        |  | Обращение к ОЗУ      | 10                  |
|        |  | Сравнение            | 10                  |
| 8      | Вычисление алгоритмов формирования, передачи и обработки служебной информации о состоянии телекоммуникационной сети. | Обращение к ОЗУ      | 100                 |
|        |  | Обращение к ПЗУ      | 20                  |
|        |  | Сложение             | 200                 |
|        |  | Вычитание            | 300                 |
| 9      | Размножение сообщений.   | Обращение к ОЗУ      | 250                 |
|        |  | Обращение к ПЗУ      | 40                  |
|        |  | Сложение             | 200                 |
| 10     | Доведение информации по каналам связи.   | -                    | -                   |

На каждом шаге, по  $S$  на допустимость отклонения от кратчайшего пути, сначала проверяется телефонное направление. Если оно недопустимо, то затем проверяется телеграфное направление. После определения направления дальнейшей передачи определяется приоритет передачи сообщения. Для этого вычисляется функция оценки времени доведения сообщения  $T_x = \tau\sigma_1 d + \sigma_2(1 + I_{ds})$ , где  $d$  – длина остаточного пути (в дугах) до ЦАК получателя;  $\sigma_1, \sigma_2$  – константы, выбираемые из ПЗУ-098. Далее, посредством КСОЦД, идет процесс вычисления алгоритмов формирования, передачи и обработки служебной информации о состоянии телекоммуникационной сети. Для доведения информации до всех ЦАК сообщение размножается на выделенных ЦАК высших звеньев 1, 2 и 3 СПД. Далее по каналам связи идет процесс доведения информации до ЦАКов, соответствующих звеньев СПД.

На основании данных, представленных в табл. 1 и 2, а также литературных источников [5], составим табл. 3.

Таблица 3

Характеристики АВП в ПСС

| № п.п. | Тип операции    | Количество операций | Время выполнения операций [усл. ед.] |
|--------|-----------------|---------------------|--------------------------------------|
| 1      | Обращение к ОЗУ | 360                 | 1080                                 |
| 2      | Обращение к ПЗУ | 100                 | 300                                  |
| 3      | Сложение        | 1314                | 9198                                 |
| 4      | Умножение       | 1600                | 320000                               |
| 5      | Сравнение       | 63                  | 441                                  |

В этой таблице помещены обобщенные сведения о количестве операций каждого типа, входящих в АВП.

В табл. 3 имеются также расчетные данные о суммарном времени реализации всех операций каждого типа в ПСС, содержащихся в АВП, для четырехбайтовых (32 двоичных разряда (l=4)) разрядных слов.

На основании данных табл. 3, в соответствии с выражением (1), определим значения производительности ПСС изделия 15Э1235 при решении алгоритма АВП в ПСС.

Используя результаты вычислений, помещенные в табл. 3, определим время T<sub>p</sub> решения задачи АВП. Получим, что T<sub>p</sub> = 0,33 · 10<sup>4</sup> усл. ед.

С учетом того, что ε<sub>1</sub>=ε<sub>2</sub>=0,2, определим следующие значения:

$$T_{\text{вв}}(1-\epsilon_1) \approx T_{\text{выв}}(1-\epsilon_2) = 1,2 \text{ усл. ед.};$$

$$T_{\text{оо}}=1380 \text{ усл. ед.}; T_{\text{к}}=1 \text{ усл. ед.}; T_{\text{пр}}=0,5 \text{ усл. ед.}$$

В соответствии с выражением (1) определим значение производительности изделия 15Э1235 при решении алгоритма АВП. Результаты расчетов показали, что ПСС ≈ 3 АВП./ усл. ед., т.е. пользовательская производительность процессора КСОЦД в ПСС равна трем эталонным задачам АВП одну относительную условную единицу времени.

С целью оценки производительности КСОЦД в СОК воспользуемся полученными результатами исследований [1], помещенными в табл. 4.

Таблица 4

Относительное время реализации арифметических операций в СОК

| l   | t, [τ]               |             |                      |    |     |     |    |    |           |    |      |     |      |    |
|-----|----------------------|-------------|----------------------|----|-----|-----|----|----|-----------|----|------|-----|------|----|
|     | ПСС                  |             | СОК                  |    |     |     |    |    |           |    |      |     |      |    |
|     | сложение (вычитание) | умножение   | Сложение (вычитание) |    |     |     |    |    | Умножение |    |      |     |      |    |
|     |                      |             | I                    | II | III | IV  | V  | VI | I         | II | III  | IV  | V    | VI |
| l=1 | 15                   | 128         | 2                    | 5  | 21  | 12  | 6  | 3  | 2         | 18 | 63   | 23  | 30   | 6  |
| l=2 | 31                   | 512         | 2                    | 7  | 52  | 31  | 16 | 4  | 2         | 32 | 234  | 60  | 132  | 9  |
| l=3 | 47                   | 1152        | 2                    | 9  | 95  | 34  | 17 | 5  | 2         | 50 | 513  | 132 | 306  | 13 |
| l=4 | <b>63</b>            | <b>2048</b> | <b>2</b>             | 9  | 145 | 60  | 30 | 5  | <b>2</b>  | 50 | 2030 | 298 | 756  | 30 |
| l=8 | 127                  | 8192        | 2                    | 11 | 318 | 155 | 45 | 6  | 2         | 72 | 6500 | 660 | 1200 | 64 |

Для этого необходимо определить совокупность значений коэффициентов пересчета относительного времени реализации арифметических операций, реализуемых на основе табличного (I) принципа (ТП), соответственно для операций сложения K<sup>+</sup>, вычитания K<sup>-</sup> и сравнения K<sup>срав.</sup> [5] чисел для l=4. Из табл. 3 и из [5] имеем, что K<sup>+</sup> = 2 / 63 = 0,03, K<sup>-</sup> = 2 / 2048 = 0,001 и K<sup>срав.</sup> = 7 / 63 = 0,1. На основании полученных значений коэффициентов пересчета определим значения суммарного времени реализации всех операций каждого типа.

В табл. 5 помещены обобщенные сведения о количестве операций каждого типа, входящих в АВП. В табл. 5 имеются также расчетные данные о суммарном времени реализации всех операций каждого типа в СОК, содержащихся в АВП, для четырехбайтовых (32 двоичных разряда (l=4)) разрядных слов.

На основании соотношения (1) в статье был произведен расчет производительности КСОЦД в СОК при решении АВП. Анализ полученных результатов показал, что производительности КСОЦД

в СОК равна величине П<sub>СОК</sub> ≈ 500 АВП./ усл. ед., т.е. производительность процессора КСОЦД в СОК равна 500 эталонным задачам АВП за одну усл. ед. Это где-то примерно в 160 раз больше, чем при ПСС (табл. 6).

Таблица 5

Характеристики АВП в СОК

| № п.п. | Тип операции    | Количество операций | Время выполнения операций [усл. ед.] |
|--------|-----------------|---------------------|--------------------------------------|
| 1      | Обращение к ОЗУ | 360                 | 1080                                 |
| 2      | Обращение к ПЗУ | 100                 | 300                                  |
| 3      | Сложение        | 1314                | 275                                  |
| 4      | Умножение       | 1600                | 320                                  |
| 5      | Сравнение       | 63                  | 6                                    |

В табл. 6 додатково показано, що використовуючи ТП обробки даних, а також використовуючи розрахункові дані, представлені в [5], використання СОК забезпечують більш високу надійність (по ймовірності безотказної роботи  $P_{КСОЦД}(t_{АВП})$ ) КСОЦД, ніж при застосуванні троїрованої мажоритарної структури в двоичній ПСС і при найменшому додатково вводимому кількості ДА обладнання.

Таблиця 6

Значення показників продуктивності і надійності КСОЦД різних типів при реалізації АВП

| № п.п.  | ПСС      | СОК               |
|---|----------|-------------------|
|   |          | Табличний принцип |
| <b>Пользовательская производительность П [АВП/ усл. ед.].</b> | <b>3</b> | <b>500</b>        |
| Надійність $P_{КСОЦД}(t_{АВП})$ [ймовірт. безотк. роботи].    | 0,966    | 0,9999            |
| Відносительное количество $V_{КСОЦД}$ обладнання [усл. ед.].  | 64       | 60                |
| Кількість ДА додатково вводимого кількості обладнання [%].    | 100      | 87,5              |

### Выводы

В відповідності з поставленою метою, в статті проведено розрахунок і порівняльний аналіз продуктивності КСОЦД в ПСС і в СОК. В якості прикладу розрахунок і порівняльний аналіз продуктивності

обробки даних приведено базову задачу процесу комутації повідомлень – задача вибору шляху передачі формалізованого повідомлення між абонентами телекомунікаційної мережі. Результати досліджень показали, що використання СОК в якості системи числення КСОЦД дозволяє суттєво, по порівнянню ПСС, підвищити продуктивність обробки даних, представлених в цілочисленному вигляді. Так, застосування ТП реалізації арифметических операцій, входять в склад АВП, дозволяє в 160 раз, по порівнянню з двоичною ПСС, підвищити продуктивність непозиційної КСОЦД, функціонуючої в СОК.

### Список литературы

1. Сиора А.А. Отказоустойчивые системы с версионно-информационной избыточностью в АСУ ТП: Монография / А.А. Сиора, В.А. Краснобаев, В.С. Харченко. – Х.: МОН, НАУ ім. Н.Е. Жуковського (ХАИ), 2009. – 320 с.
2. Материалы Международной научно-технической конференции "50 лет модулярной арифметике". МИЭТ, Зеленоград. Моск. обл. 23-25 ноября 2005.
3. Акуиский И.Я. Машинная арифметика в остаточных классах / И.Я. Акуиский, Д.И. Юдицкий. – М.: Сов. радио, 1968. – 440 с.
4. Гальцев М.А. Системы передачи данных. Издание 15Э1144. Учебное пособие / Гальцев М.А. – Х.: ХВВКИ-УРВ, 1989. – 56 с.
5. Методы и средства обработки информации в непозиционной системе счисления в остаточных классах / В.Я. Жихарев, Я.В. Илюшко, Л.Г. Кравец, В.А. Краснобаев. – Житомир: Изд-во "Волянь", 2005. – 220 с.

Поступила в редколлегию 14.01.2015

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. Г.А. Кучук, Харьковский университет Воздушных сил им. Ивана Кожедуба, Харьков.

### РОЗРАХУНОК І ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ ПРОДУКТИВНОСТІ КОМП'ЮТЕРНОЇ СИСТЕМИ ОБРОБКИ ЦІЛОЧИСЛОВИХ ДАНИХ, ЩО ПРЕДСТАВЛЕНІ У СИСТЕМІ ЗАЛИШКОВИХ КЛАСІВ

В.А. Краснобаєв, А.С. Янко, С.О. Кошман, В.М. Курчанов, Ю.П. Бендес

У статті представлені результати розрахунку і порівняльного аналізу продуктивності комп'ютерних систем обробки цілочислових даних (КСОЦД), що функціонують у складі системи передачі даних при вирішенні стандартної задачі реалізації алгоритму вибору шляху між абонентами телекомунікаційної мережі. Порівняльний аналіз продуктивності проводиться для КСОЦД, що функціонують у непозиційній системі числення в залишкових класах і в звичайній двійковій позиційній системі числення.

**Ключові слова:** системи передачі даних, система залишкових класів, комп'ютерна система обробки цілочислових даних, продуктивність обчислювальної системи.

### CALCULATION AND COMPARATIVE ANALYSIS OF CAPABILITY OF COMPUTER SYSTEM OF INTEGER DATA PROCESSING, WHICH DESCRIBED IN RESIDUE NUMBER SYSTEM

V.A. Krasnobayev, A.S. Yanko, S.A. Koshman, V.N. Kurchanov, Y.P. Bendes

The results calculation and comparative analysis of the capability of computer systems of integer data processing (CSIDP) which function consisting of the data communication system in the solution the problem of realizing a standard path selection algorithm between subscribers of the telecommunications network submitted in the article. Comparative analysis of the capability are carried out for CSIDP which function in nonpositional number system in residue classes and in ordinary binary positional number system.

**Keywords:** data transmission system, residue number system, computer system of integer data processing, capability of computer system.