

# Отображение операторов кроссинговера и мутации в сети MCRB

Н.И. Витиска, В.В. Гудилов, С.В. Гудилов

**Аннотация.** Исследуются возможности применения существующих аппаратно реконфигурируемых структур при организации коммутируемых соединений между элементами многопроцессорных систем на примере параллельного выполнения операторов кроссинговера и мутации. Показан измененный подход организации многоступенчатой сети MCRB в условиях сокращения количества ступеней с упрощением структуры управления. Приведен пример построения коммутационной ячейки с учетом требований решаемых задач.

**Ключевые слова:** многоступенчатые сети; генетические алгоритмы; оператор кроссинговера; оператор мутации; MCRB; Truncated MCRB.

## Введение

Реализация генетических алгоритмов (ГА) в многопроцессорных вычислительных системах (МВС) получила широкое применение при решении многих NP-трудных задач. При выполнении ГА, наряду с трудоемкостью вычисления критерия, функционирование операторов кроссинговера и мутации требует значительных временных затрат. Для повышения быстродействия применяются методы программного и аппаратного распараллеливания [1] наиболее трудоемких операций. Использование существующих методов аппаратной реализации позволяет сократить затраты на отладку и сроки внедрения, что является актуальным для систем бюджетного уровня, для которых множество эффективных теоретических разработок зачастую не подкреплено экспериментальными исследованиями.

С 80-х годов XX-столетия группой российских ученых разрабатывалась теория оптимизации многокаскадных коммутационных систем, которые применяются в МВС для сокращения числа узлов при коммутации большого количества устройств [1]. Предлагал-

ся принцип оптимизации элементной базы в сочетании с децентрализованными принципами управления параллельными каналами сети. Показывалось, что использование полученных результатов перспективно в дальнейшем для новейших автоматических и цифровых коммутационных систем, нашедших сейчас широкое распространение в телекоммуникационных станциях и сетях передачи данных. Однако разрабатываемая теория для создаваемых многоступенчатых сетей предполагала полнодоступность, т.е. необходимость достижения в них универсального отображения параллельных программ без блокировок. Это влекло за собой избыточный расход элементной базы, увеличивалось количество ступеней, усложнялся процесс управления. Разрабатываемая при этом элементная база подтверждалась группой авторских свидетельств на изобретения (в том числе [2-3]).

В настоящее время разработчики, используя многоступенчатые коммутационные сети, стремятся отойти от классического принципа их построения, а также учитывать случайный характер поступления заявок на установление каналов. Это открывает дополнительные

возможности для оптимизации многоступенчатых сетей, но затрудняет применение существующих эффективных разработок коммутационных ячеек с параллельной идентификацией каналов. Распределение приоритетов в изобретении [3] упорядочено по номерам портов. В [4] имеет место параллельная идентификация свободных каналов с использованием приоритета по передаче и при занятости канала соединения не происходит. Необходима более гибкая система приоритетов.

Применение многоступенчатых сетей позволит осуществить параллельную реконфигурацию соединений на фоне передачи данных за одинаковые промежутки времени. В результате появляется возможность синхронного изменения структуры потоков информации между процессорами в соответствии с условиями решаемых задач. Изменение архитектуры многоступенчатых сетей для решения узкоспециализированных задач создает условия для аппаратной оптимизации коммутационной системы. Добавление в коммутационную ячейку динамических приоритетов увеличит гибкость и эффективность управления каналами сети. Настоящая работа посвящена рассмотрению возможностей оптимизации существующих аппаратно реконфигурируемых структур в соответствии с условиями решаемой задачи на примере реализации генетических операторов кроссинговера и мутации.

## 1. Оптимизация сети MCRB для реализации операторов кроссинговера и мутации

Возможность совмещения передачи данных с реализацией операторов кроссинговера и мутации была исследована в [5] на примере мультипроцессоров UMA с многоступенчатыми сетями [1]. Среди различных многоступенчатых коммутирующих структур для достижения результата была выбрана сеть MCRB (Multistage Chordal Ring Based network) [6], изображенная

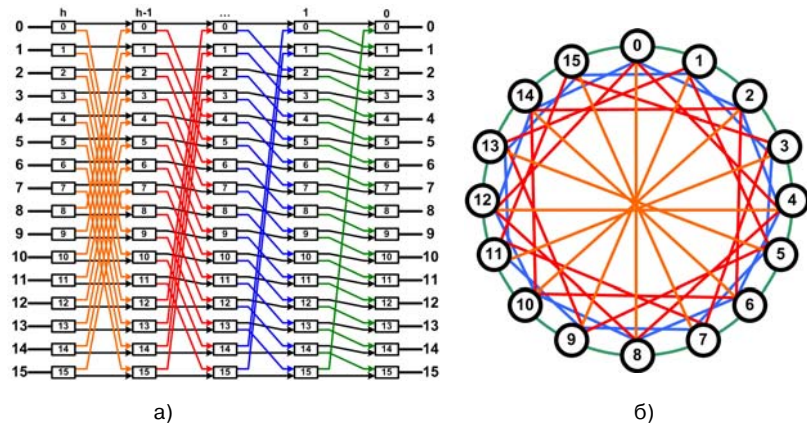


Рис. 1. Сеть MCRB, развернутая на плоскости (а) и в виде группы хордальных колец (б)

на Рис. 1, обладающая наилучшей управляемостью и приемлемым количеством узлов. Узлы строятся на простых коммутирующих элементах (КЭ) размером  $2 \times 2$ , управляемых посредством кодов управления (КУ). При значении КУ «0» КЭ переключается на соединение с верхним выводом, а при «1» – с нижним. Сеть MCRB относится к топологиям на основе функции циклического сдвига  $\pm 2^h$  [7], при  $0 \leq h \leq \log_2 N - 1$ , где  $h$  – номер используемой ступени,  $N$  – количество портов в сети.

Для упрощения маршрутизации с учетом условий выполнения ОК и ОМ, в работе [5] было реализовано перестроение сети MCRB в режим параллельной передачи. При настройке в этот режим КЭ сети по умолчанию настраиваются таким образом, чтобы при значении КУ «0» все сообщения передавались параллельно, а при «1» – КЭ переключался в противоположное состояние. Применение данного подхода позволяет упростить структуру КУ до отраженного кода (кода Грея) [8], обладающего свойством непрерывности бинарной комбинации. Код Грея предпочтительнее обычного двоичного тем, что и изменение кодируемого числа на единицу соответствует изменению кодовой комбинации только в одном разряде.

Максимальная величина смещения между любыми соединяемыми ступенями в сети MCRB определится разностью чисел  $2$  в степенях значений номеров ступеней по формуле соединений, вытекающей из вышеуказанной функции циклического сдвига:

$$k' = (k + 2^h - 2^{h'}) \bmod N,$$

где  $h$  – номер ступени источника,  $h'$  – номер ступени назначения,  $k$  – номер КЭ в ступени источника,  $k'$  – номер КЭ в ступени назначения.

Применение принципа кодирования Грея позволяет избежать излишней коммутации в тех КЭ, где их настройки по умолчанию совпадают с необходимыми, а также исключить незадействованные КЭ при выполнении ОК или ОМ. В этом случае возможно исключение неиспользуемых ступеней и приведение сети к четырем ступеням независимо от количества портов. Эта сеть способна параллельно реализовать ОК и ОМ используя КУ в формате  $\rightarrow x_3, x_2, x_1$  и порядок их анализа, как показано в Табл. 1.

Табл. 1. КУ при выполнении ОК и ОМ

Генетические операторы	КУ
Не выполняются	000
ОМ- (младший порт)	001
ОК: (задействованные порты)	110
ОМ+ (старший порт)	100

В итоге, соединив соответствующие контакты узлов между ступенями  $h-1$  и  $1$  параллельно или по формуле соединений, мы получаем сокращенную MCRB (Truncated MCRB). На Рис.2 показано, каким образом в сокращенной сети при коммутации меняются местами части двух хромосом относительно каждой из точек кроссинговера (ТК) и соседние порты двух хромосом относительно точек мутации (ТМ).

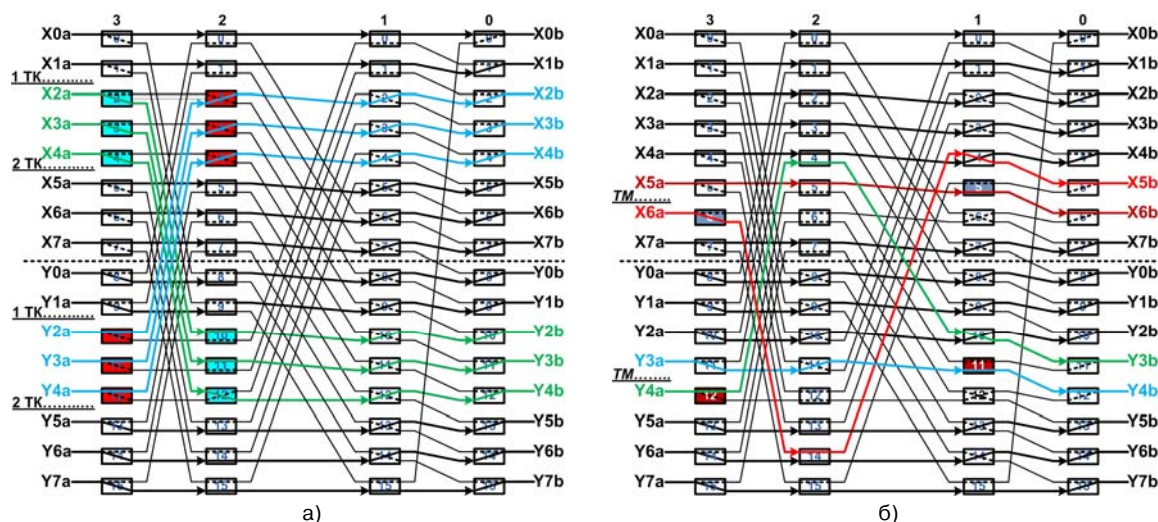


Рис. 2. Реализация выполнения двухточечного ОК (а) и ОМ (б) при исключении неиспользуемых ступеней

## 2. Методы управления коммутацией

Многоступенчатые сети относятся к сетям с динамической топологией, в которых каждое соединение создается в процессе коммутации. Сигналы переключения состояний КЭ обычно формируются устройством управления сетью. Существуют более сложные варианты КЭ, формирующих эти сигналы самостоятельно с использованием адреса источника и получателя данных, хранящихся в заголовке пакета, что требует от КЭ поддержки таблиц коммутации [7].

Номера портов назначения определяются по частным случаям формулы соединений для соответствующих номеров ступеней. Например, для задействованных портов при выполнении ОК номер порта назначения определяется по формуле:

$$k' = (k + N/2) \bmod N. \quad (\text{ОК:})$$

Соответственно, для младшего и старшего портов относительно ТМ:

$$k' = (k + 1) \bmod N, \quad (\text{ОМ-})$$

$$k' = (k - 1) \bmod N. \quad (\text{ОМ+})$$

Таким образом, формулы коммутации (ОК:), (ОМ-) и (ОМ+) реализуют циклический сдвиг соответственно на  $N/2$ ,  $+1$  и  $-1$ .

Для упрощения описания положим, что сигналы КУ формируются узлами старшей ступени. При использовании только четырех портов назначения исключается необходимость хранения в КЭ таблицы из  $N$  вариантов пере-

ключений. Следовательно, есть возможность сократить таблицу коммутации до вида, приведенного в Табл. 2, где используются только номера портов назначения для каждого порта источника, определяемые по соответствующим формулам коммутации.

Табл. 2. Таблица коммутации в Truncated MCRB

№ значения	1	2	3	4
Вид коммутации	нет	ОК:	ОМ-	ОМ+
Адрес источника	Адрес назначения			
0	0	8	1	15
***	***	***	***	***
8	8	0	9	7
***	***	***	***	***
15	15	7	0	14
Код управления	000	110	001	100

На Рис. 3 показан граф определения КУ по адресу назначения. Выделенные ребра от вершин 1-4 обозначают направление «истина» при результате сравнения адреса назначения из заголовка пакета с соответствующим значением из таблицы коммутации.

При получении сообщения каждый КЭ старшей ступени сети последовательно производит сравнение на равенство полученного адреса назначения с одним из четырех хранящихся в его таблице возможных значений. Если в первом значении найден номер порта назначения – присваивается КУ «000». Иначе выполняется анализ второго значения и при совпадении – присваивается КУ «110» и так далее. Если же совпадение не найдено, заголовок сообщения считается ошибочным, КУ не присваивается и сообщение не передается. Преимуществом использования КЭ с поддержкой таблицы коммутации является полностью децентрализованное управление сетью. К недостаткам данного метода относятся использование более сложных КЭ и необходимость программирования в КЭ уникальных для каждого номера порта таблиц коммутации.

При формировании КУ устройством управления сетью и реализации ОК и ОМ также возможна оптимизация. Используя КУ 000, 001, 110 и 100 (Табл. 1), мы можем исключить из анализа выделенные повторяющиеся биты x2 в первой паре КУ и x1 во второй паре. В полученных двузначных КУ появляется возможность анализа бита x3 с последующим анализом x1 или x2. В результате, соответствующий граф

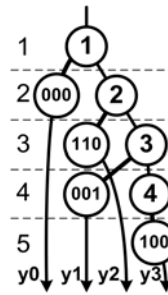


Рис. 3. Граф определения КУ по адресу при выполнении ОК и ОМ в Truncated MCRB

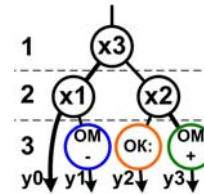


Рис. 4. Граф определения номера порта назначения по КУ при выполнении ОК и ОМ в Truncated MCRB

определения порта назначения примет более компактный вид, показанный на Рис. 4. Выделенные линии обозначают направление «истина» при результате сравнения с «0» соответствующих бит КУ. Вершины последнего уровня соответствуют виду коммутации из Табл. 2.

К преимуществам данного решения можно отнести меньшее количество последовательных действий, а также возможность применения более простых КЭ без привязки к номерам портов, что расширяет область применения при наличии ограничений на сложность применяемого оборудования. В Табл. 3 приведены количественные характеристики для рассмотренных методов организации коммутации. Очевидны преимущества метода определения адреса по КУ.

Табл. 3. Сравнение графов организации коммутации

Граф метода определения	Длина	Кол-во вершин	Ширина	Кол-во ветвлений
КУ по адресу	5	8	2	4
Адреса по КУ	3	6	3	3

### 3. Аппаратная реализация ячейки коммутации

КЭ достаточно просты в любых вариациях, что позволяет реализовать их на базе интегральных схем [7]. Для аппаратной реализации объединения ступеней (Рис. 5), достаточно соз-

дать макроузел коммутации, выполняющий соединение с учетом значений КУ, приведенных в Табл. 4, и ячейку коммутации, реализующую соединения с помощью такого макроузла с учетом приоритетов операций.

На Рис. 5 представлена схема такого макроузла, собранная на 3-х НЕ и 4-х ИЛИ элементах с дополнительным входом EN для разрешения работы схемы.

При задании приоритетов следует учитывать важность выполняемого действия и частоту его применения. При выполнении ОК количество задействованных КЭ в среднем составляет N, а при ОМ – определяется отношением  $4/N$ . Поскольку  $N \gg 4/N$ , эффективнее определить наивысший приоритет более редкому ОМ, используемому для выхода из локальных экстремумов, которые могут привести к потере решения еще на этапе его поиска. Далее применять

ОК, который чаще теряет решение и в последнюю очередь – параллельную передачу.

Модель ячейки коммутации, представленная на Рис. 6, была реализована в САПР «Altera Max+ II» на программируемых логических матрицах, способных к эффективной реализации ГА, что подтверждают существующие исследования в области эволюционного синтеза [9] и аппаратные решения [10]. Схема содержит входы  $x1-x3$  для получения КУ, шину данных data, входы EN для разрешения работы схемы и CLK для синхронизации всей схемы, а также выходы  $y0-y3$  для реализации соединения. Функциональная схема ячейки коммутации состоит из макроузла коммутации macronode, элемента И 5, разрешающего его работу, триггера T1 для фиксации разрешения или запрещения анализа КУ, триггеров фиксации канала T2-T5, соответственно элементов И 7-10 для разрешения их

Табл. 4. Таблица истинности узла коммутации с уравнениями реализации

КУ на входе			Уравнение реализации	Значения на выходе			
x3	x2	x1		y3	y2	y1	y0
1	0	*	$x_3 \cdot x_2 = 1$	1	0	0	0
1	1	*	$x_3 \cdot x_2 = 1$	0	1	0	0
0	*	1	$x_3 \cdot x_1 = 1$	0	0	1	0
0	*	0	$x_3 \cdot x_1 = 1$	0	0	0	1

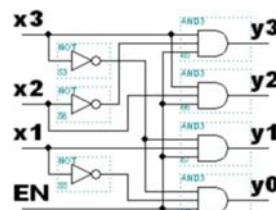


Рис. 5. Принципиальная схема макроузла коммутации macronode

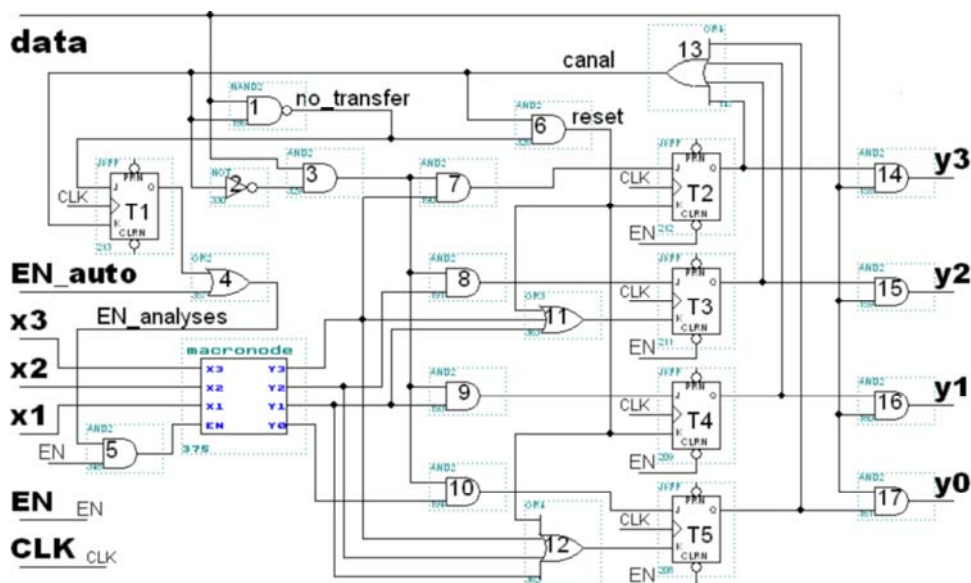


Рис. 6. Имитационная модель ячейки коммутации с параллельным определением траектории по КУ

работы и 14-17 – для передачи данных, элемента ИЛИ 13 (canal) для определения наличия канала, элемента И-НЕ 1 (no\_transfer) для определения отсутствия передачи данных по шине data и элемента И 6 (reset) для сброса триггеров T2-T5. Для перехода в режим приоритета по КУ, в схему добавлены вход EN\_auto с элементом ИЛИ 4 и элементы ИЛИ 11 и 12, сбрасывающие триггер T3 или T5 при занятости канала более низкоприоритетной передачей.

Ячейка осуществляет анализ полученного КУ и фиксацию канала для передачи с учетом используемого вида приоритета. Работа ячейки определяется наличием потенциала на входе разрешения EN. В этом случае разрешается выбор канала по КУ и открывается макроузел (macro node) для анализа КУ на входах x1-x3. Далее, в соответствии с полученным КУ, устанавливается один из триггеров T2-T5 в единичное состояние, тем самым разрешая передачу по выбранному пути через один из элементов И 14-17 (при наличии данных на шине data). Параллельно с установкой канала элемент ИЛИ 13 сбрасывает триггер T1, закрывая элемент И5 низким уровнем сигнала (EN\_analyses), запрещая анализ КУ. Таким способом реализуется приоритет по передаче. По окончании передачи по шине data единичный сигнал с элемента И-НЕ 1 (no\_transfer) открывает элемент И 6 (reset), сбрасывая триггеры T2-T5. Этим же сигналом устанавливается триггер T1 для разрешения выбора нового канала и закрывается элемент ИЛИ 13, запрещая сброс через И 6 (reset) и устанавливая в единичное состояние элемент ИЕ 2. Далее, при наличии потенциала на шине data, открывается элемент И 3, разрешая создание нового канала.

Полученные результаты работы ячейки и временные диаграммы, представленные на Рис. 7, показывают корректность функционирования ячейки. Анализ КУ для выбора нового

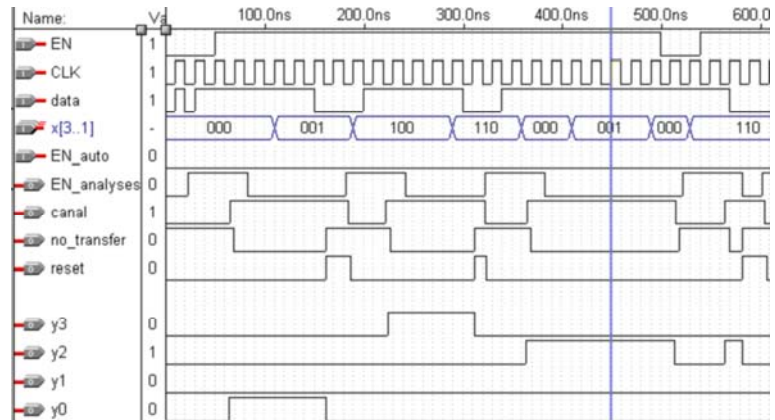


Рис. 7. Временные диаграммы ячейки коммутации в режиме приоритета по передаче

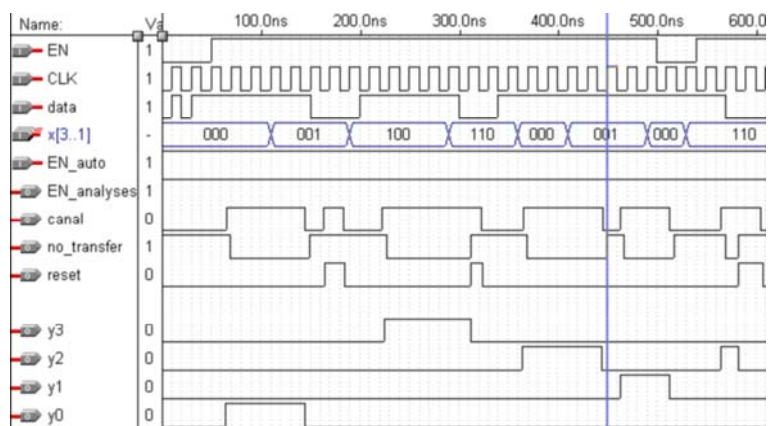


Рис. 8. Временные диаграммы ячейки коммутации в режиме приоритета по КУ

канала осуществляется параллельно со сбросом триггеров фиксации предыдущего. Начало передачи по выбранному каналу происходит спустя 2 такта после установления соответствующего сигнала на шине data, окончание передачи – через 1 такт. В случае отсутствия сигнала EN запрещается анализ входных КУ и сбрасываются выходные триггеры T2-T5.

При наличии единичного потенциала на входе EN\_auto, через элемент ИЛИ 4 элемент И 5 остается открытым, разрешая работу схемы в режиме приоритета по КУ. В этом случае разрешается анализ КУ параллельно передаче данных. При получении КУ приоритета выше выполняемого происходит сброс соответствующего триггера и фиксируется соединение по новому каналу, как показано на Рис. 8 для тех же значений КУ.

## Заключение

1. Определены принципы настройки сети MCRB для режима параллельной передачи и сокращения количества применяемых ступеней до четырех.

2. В отличие от классической элементной базы, примененной в [4], реализация модели ячейки коммутации выполнена на основе ПЛИС, что позволяет значительно расширить область применения.

3. К возможности приоритета по передаче, реализованного в [4], добавлена возможность приоритета по КУ без изменения алгоритмов управления ячейкой.

В работе показана возможность перехода от классической схемы сети MCRB к схеме, адаптированной к аппаратной реализации генетических операторов, что позволяет расширить область применения многоступенчатых сетей для аппаратной реализации генетических алгоритмов, а также решения задач с применением эволюционных алгоритмов. Статья детально рассматривает методы построения параллельной архитектуры многоступенчатых сетей для реализации генетических операторов кроссинговера и мутации. Приведенные методы позволяют расширить область применения эволюционных алгоритмов для задач, где необходима аппаратная реализация ГА для увеличения их быстродействия или построения автономных систем.

При использовании неординарной коммутации в многоступенчатых сетях возможны организация ветвления каналов и осуществление копирования информации. Настройка состояния КЭ по умолчанию позволяет вдвое сократить количество переключений при реализации двухступенчатых ОК и ОМ, что создает возможности для структурной оптимизации четырехступенчатой сети в даль-

нейшем. В сочетании с оптимизацией, применение многоступенчатых сетей позволит создавать надежные и компактные системы с децентрализованным управлением и возможностью быстрой реконфигурации для параллельного отображения проблемно-ориентированных программ.

## Литература

1. Э.С. Танденбаум. Архитектура компьютера. Питер: 4-е издание, 2003. 698 с.
2. Н.И. Витиска., Н.И. Макогон. Соединитель многокаскадной коммутационной системы, а.с. № 1226643 Н 03К 17/84, опубликовано 23.04.1986 года, бюллетень №15, С. 15.
3. Н.И. Витиска., Э.Н. Витиска. Модуль многокаскадной коммутационной системы, а.с. № 1793443 G06F 15/16, опубликовано 07.02.1993 года, бюллетень №5, С. 19.
4. Н.С. Мальцева. Коммутационная структура с параллельной идентификацией для многопроцессорных вычислительных систем // Автореферат к диссертационной работе. Астрахань, 2008.
5. Н.И. Витиска, С.В. Гудиллов. Исследование аппаратной реализации основных операторов генетических алгоритмов в многоступенчатых сетях. // Вестник компьютерных и информационных технологий. – Издательство «Машиностроение», 2010. - № 9. С 43 – 48.
6. A.C. Aljundi, J.L. Dekeyser, M.T. Kechadi, I.D. Scherson. A universal performance factor for multi-criteria evaluation of multistage interconnection networks // Future Generation Computer Systems, August 2006. ISSN 0167-739X. P. 794–804.
7. С.А. Орлов, Б. Я. Цилькер. Организация ЭВМ и систем. Питер: Учебник для ВУЗов, 2004. 672 с.
8. И.С. Потемкин. Функциональные узлы цифровой автоматики. Энергоатомиздат, 1998. 320 С. ISBN: 5-283-01478-9.
9. В.В. Гудиллов. Разработка и исследование алгоритмов эволюционного синтеза комбинационных схем. Диссертационная работа. Таганрог, 2007.
10. В.В. Гудиллов. Л.А. Зинченко. Устройство аппаратной реализации вероятностных генетических алгоритмов. Патент Российской Федерации на изобретение №2294561, заявка № 2005108760 от 28.03.2005 г.

**Витиска Николай Иванович.** Профессор кафедры «Информационные системы» ГОУВПО «Таганрогский государственный педагогический институт». Окончил Таганрогский государственный радиотехнический институт в 1969 году. Доктор технических наук (1992 г.), профессор (1995 г.). Автор более 140 печатных работ и патентов. Область научных интересов: моделирование протекания информационных процессов на высокопроизводительных вычислительных системах.

**Гудиллов Виталий Витальевич.** Руководитель отдела информационных технологий ООО "Ямал", г. Ростов-на-Дону. Окончил Таганрогский технологический институт южного федерального университета в 2007 году. Кандидат технических наук (2007 г.). Автор 13 печатных работ и патентов. Область научных интересов: разработка алгоритмов эволюционного синтеза цифровых схем. E-mail [vgudilov@mail.ru](mailto:vgudilov@mail.ru).

**Гудиллов Сергей Витальевич.** Аспирант ГОУВПО «Таганрогский государственный педагогический институт». Окончил Таганрогский государственный радиотехнический университет в 2003 году. Автор 4 печатных работ. Область научных интересов: программируемые коммутационные структуры. E-mail [gsv7819@mail.ru](mailto:gsv7819@mail.ru).