

ИНФРАСТРУКТУРА ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА НА ОСНОВЕ ВЕКТОРНЫХ ЛОГИЧЕСКИХ ОПЕРАЦИЙ

Предлагается аппаратная платформа и технологии для экспертного обслуживания запросов в реальном масштабе времени в виде мультипроцессорной системы на кристалле, ориентированной на анализ логических ассоциативных структур данных для получения точного детерминированного и многозначного решения, валидность (состоятельность) которого оценивается интегральным критерием качества взаимодействия запроса с векторами n -мерного ассоциативного пространства.

1. Введение

Мозгоподобность мультипроцессорной цифровой системы на кристалле есть концепция создания архитектуры и моделей вычислительных процессов, ориентированных на эффективную и быстродействующую реализацию функциональностей, свойственных мозгу, на основе использования векторных логических операций для решения задач поиска, распознавания и принятия решений.

Существует большой класс логических задач, которые в настоящее время решаются не эффективно на универсальных компьютерах путем использования арифметических операций. Система логических команд является универсальным и полным базисом, а согласно теореме Поста способна описать и решить любую задачу. Однако практические разработчики программно-аппаратных систем уже забыли об изначальной логической сущности компьютера. Они привыкли неэффективно (на 5-10%) использовать мощности системы команд, компиляторов, операционных систем, отдавая компаниям-производителям порядка 90% денежных средств безвозмездно при покупке компьютера. Решение логических задач с помощью арифметического процессора не есть правильный выбор с позиции технологической и математической культуры. В настоящее время существующая платформа цифровых систем на кристаллах предоставляет практически неограниченные возможности для переориентации инфраструктуры моделей и методов на создание специализированных компьютеров с минимальной системой логических векторных операций или команд. Мотивация – создание мультипроцессора, как специализированной системы на кристалле для анализа и синтеза логических ассоциативных отношений, свойственных мозгу. Подтверждением актуализации таких изделий является появление на рынке iPad планшета (толщиной 12 мм и весом 0,68 кг), процессор которого выполнен в виде системы на кристалле Apple A4 на базе многоядерного ARM-процессора Cortex-A9 MPCore с использованием контроллеров памяти и графики.

Наличие аппаратного, быстродействующего и дешевого специализированного логического вычислителя позволяет эффективно решать интересные для рынка информационных технологий задачи: 1. Анализ и синтез синтаксических и семантических языковых конструкций (реферирование, исправление ошибок, оценивание качества текстов). 2. Распознавание видео- и аудио-образов путем их представления вектором существенных параметров в дискретном пространстве. 3. Сервисное обслуживание сложных технических изделий и восстановление работоспособности в процессе их функционирования. 4. Тестирование знаний и экспертное обслуживание объектов или субъектов для определения их валидности. 5. Идентификация объекта или процесса для принятия решения в условиях неопределенности. 6. Точный поиск заданной вектором параметров информации в Internet, где по запросу пользователя очень часто выдаются два сообщения: отсутствуют данные или слишком много информации, слабо ассоциируемой с входным запросом. Здесь нужна правильная метрика оценивания и валидный запрос. 7. Коррекция текста в процессе его набора, когда автоматически исправляются только тривиальные ошибки, такие как повторение буквы в слове. Можно также корректировать более сложные семантические ошибки,

связанные с неверным окончанием, и предлагать более приемлемые варианты порядка слов в предложении или в его части. Данная задача актуальна для 100% пользователей компьютеров. 8. Более серьезная проблема выбора принадлежит критическим технологиям: целеуказание в истребителе или в автоматической системе посадки лайнера, работающих в реальном масштабе времени в микросекундном диапазоне измерения. 9. Обратной задачей выбора цели в критических технологиях является разведение объектов во времени и в пространстве, например, в диспетчерской службе аэропорта или оптимизация инфраструктуры городского транспорта для исключения коллизий. Практически все упомянутые задачи решаются в реальном масштабе времени, являются сходными по логической структуре процесс-моделей на основе использования ассоциативных таблиц. Для их решения необходима быстродействующая и специализированная аппаратная платформа в виде логического ассоциативного мультипроцессора (LAMP – Logical Associative MultiProcessor), ориентированного на параллельное выполнение процедур поиска, распознавания и принятия решений, оцениваемых путем использования интегрального критерия качества.

Цель – существенное повышение быстродействия процедур поиска, распознавания и принятия решений путем мультипроцессорной реализации параллельных средств обработки аналитических, графовых и табличных форм задания информации для определения детерминированного многозначного решения в n-мерном дискретном булевом пространстве.

Задачи: 1) Актуальность создания мозгоподобных вычислителей. 2) Метрика оценивания векторно-логических решений. 3) Архитектуры структур данных и ассоциативных отношений: таблицы, графы, уравнения. 4) Оптимизация логических структур данных.

Сущность – аппаратное обеспечение экспертного обслуживания запросов в реальном масштабе времени в виде мультипроцессорной системы на кристалле, ориентированной на анализ логических ассоциативных структур данных для получения точного детерминированного и многозначного решения, валидность (состоятельность) которого оценивается интегральным критерием качества взаимодействия запроса с векторами n-мерного ассоциативного пространства.

Объект исследования – аппаратная инфраструктура экспертного обслуживания задач поиска, распознавания и принятия решений в дискретном булевом пространстве на основе использования интегрального критерия качества и иерархических структур данных.

Предмет исследования – аппаратная платформа и технологии для реализации мультипроцессорной системы на кристалле, ориентированной на обслуживание задач поиска, распознавания и выбора решения в ассоциативных информационных структурах путем использования интегрального критерия качества в дискретном булевом пространстве.

Источники. 1. Аппаратные вычислительные изделия, ориентированные на решение логических задач ассоциативного поиска [1-4]. 2. Ассоциативные и логические структуры данных для решения информационных задач [5-8]. 3. Модели и методы дискретного анализа информации [9-12]. 4. Мультипроцессорные модели и средства для решения информационно-логических задач [13-19].

2. Интегральная метрика оценивания решения

При создании аппаратной платформы для информационно-логических задач акцент делается на следующие характеристики: 1) Высокое быстродействие параллельного выполнения минимального множества логических команд. 2) Исключение из процессора мощной системы арифметических вычислений, как функциональностей, несвойственных человеку. 3) Логический секвенсор – элементарный процессор – содержит 4 команды, которые кодируются двумя разрядами. 4) Устройство управления логическим ассоциативным мультипроцессором должно обеспечивать параллельное выполнение задач логического анализа. 5) Каждый секвенсор имеет ассоциативную память, а также регистры для хранения результатов логических вычислений и связи с другими секвенсорами. 6) Компилятор для языка описания аппаратуры или программирования есть внешняя программа по отношению к мультипроцессору, которая обеспечивает квазиоптимальное планирование вычислительного процесса во времени и в пространстве секвенсоров с учетом ограничений на размерность блоков ассоциативной памяти. 7) Память прямого доступа обслуживает мультипроцессор и хранит программу вычислительного процесса, полученную от компиля-

тора, для решения логической задачи. 8) Гибкая инфраструктура ассоциативной памяти обеспечивает размещение таблиц произвольной размерности. 9) GUI (Guide User Interface) предназначен для эффективного и дружественного общения с пользователем в процессе решения логических задач. 10) Точный и экономичный по времени подсчета критерий качества получаемого решения.

В последнем случае речь идет о качестве взаимодействия запроса (входного многозначного, в частности, трюичного вектора m) с системой ассоциативных векторов (ассоциаторов), в результате которого должен быть сгенерирован конструктивный ответ в виде одного или нескольких ассоциаторов (A), а также численной характеристики степени принадлежности (функции качества) входного вектора m к найденному решению: $\mu(m \in A)$. Входной вектор $m = (m_1, m_2, \dots, m_i, \dots, m_q)$, $m_i \in \{0, 1, x\}$ и матрица A_i ассоциаторов $A_{ijr} (\in A_{ij} \in A_i \in A) = \{0, 1, x\}$ должны иметь одинаковую размерность, равную q . Далее, для удобства изложения материала, степень принадлежности m -вектора к одному ассоциатору или A -вектору будет обозначаться в виде $\mu(m \in A)$.

Существует всего 5 видов или результатов логического (теоретико-множественного) Δ -взаимодействия (пересечения) двух векторов $m \cap A$, определенных на рис. 1. Они формируют все первичные примитивные варианты реакции обобщенной ПРП-системы (Поиска, Распознавания и Принятия решения) на входное воздействие-запрос.

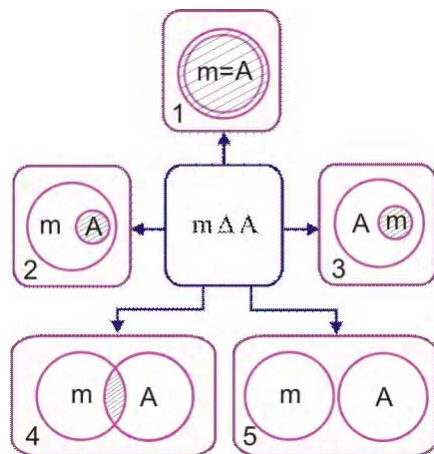


Рис. 1. Результаты пересечения двух векторов

В технологической отрасли знаний – технической диагностике (Design & Test) – указанная последовательность действий трансформируется к маршруту: поиск дефектов, их (распознавание) идентификация, (принятие решения на) восстановление работоспособности. Все три стадии технологического маршрута нуждаются в метрике оценивания решений для выбора оптимального варианта.

Определение. Интегральная теоретико-множественная метрика для оценивания качества запроса есть функция качества взаимодействия многозначных векторов $m \cap A$, которая определяется средней суммой трех нормированных параметров: кодовое расстояние $d(m, A)$, функция принадлежности $\mu(m \in A)$ и эффективность использования входного запроса – функция принадлежности $\mu(A \in m)$:

$$\begin{aligned}
 Q &= \frac{1}{3} [d(m, A) + \mu(m \in A) + \mu(A \in m)], \quad d(m, A) = \frac{1}{n} [n - \text{card}(m_i \cap A_i = \emptyset)]; \\
 \mu(m \in A) &= 2^{\text{card}(m \cap A) - \text{card}(A)} \leftarrow \text{card}(m \cap A) = \\
 &= \text{card}(m_i \cap A_i = x) \ \& \ \text{card}(A) = \text{card}(\bigcup_{i=1}^n A_i = x); \\
 \mu(A \in m) &= 2^{\text{card}(m \cap A) - \text{card}(m)} \leftarrow \text{card}(m \cap A) = \\
 &= \text{card}(m_i \cap A_i = x) \ \& \ \text{card}(m) = \text{card}(\bigcup_{i=1}^n m_i = x).
 \end{aligned} \tag{1}$$

Пояснения. Нормирование параметров позволяет оценивать уровень взаимодействия векторов в интервале $[0,1]$. Если зафиксировано предельное максимальное значение каждого параметра, равное 1, то векторы равны между собой. Минимальная оценка, $Q=0$, фиксируется в случае полного несовпадения векторов по всем n координатам. Если мощность пространства вектора m ($m \cap A = m$) равна половине пространства вектора A , то функции принадлежности и качества соответственно равны:

$$\mu(m \in A) = \frac{1}{2}; \mu(A \in m) = 1; d(m, A) = 1; Q(m, A) = \frac{5}{2 \times 3} = \frac{5}{6}.$$

Аналогичное значение будет иметь параметр Q , если мощность пространства вектора A равна половине вектора m . Если мощность пространства пересечения $\text{card}(m \cap A)$ равна половине мощностей пространств векторов A и m , то функции принадлежности имеют значения:

$$\mu(m \in A) = \frac{1}{2}; \mu(A \in m) = \frac{1}{2}; d(m, A) = 1; Q(m, A) = \frac{4}{2 \times 3} = \frac{4}{6} = \frac{2}{3}.$$

Следует также заметить, что если результат пересечения двух векторов равен пустому множеству, то степень двойки от символа «пусто» равна нулю (но не единице): $2^{\text{card}(m \cap A) = \emptyset} = 2^{\emptyset} = 0$. Это действительно означает, что количество общих точек при пересечении двух пространств равно нулю.

3. Процесс-модель поиска, распознавания и принятия решения

Метрика качества, представленная в (1), дает возможность оценивать близость пространственных объектов друг к другу, а также взаимодействие векторных пространств. Практическим примером полезности интегрального критерия качества может служить стрельба по цели, которая иллюстрируется ранее приведенными диаграммами (см. рис. 1) взаимодействия векторов: 1) пуля попала точно в цель и поразила ее полностью; 2) мишень поражена необоснованно большим калибром пули (снаряда); 3) калибра пули недостаточно для поражения крупной цели; 4) неэффективный и неточный выстрел снарядом большого калибра; 5) пуля пролетела мимо мишени. Для решения практических задач взаимодействия $P(m, A)$ интегральный критерий качества дает точную оценку попадания или промаха, а также эффективность использования «калибра оружия».

Аналитическая модель описания и решения логических ассоциативных отношений представлена системой уравнений:

$$\begin{aligned} P(m, A) &= \max_{i=1}^n Q_i(m \Delta A_i); Q(m, A) = (Q_1, Q_2, \dots, Q_i, \dots, Q_n); \\ A &= (A_1, A_2, \dots, A_i, \dots, A_n); Q(m, A_i) = \frac{1}{3}[d(m, A_i) + \mu(m \in A_i) + \mu(A_i \in m)]; \\ Q(m, A_i) &= [0,1] \vee (1 \leftarrow m = A); \Delta = \{\text{and, or, xor, not, slc, nop}\}; \\ A_i &= (A_{i1}, A_{i2}, \dots, A_{ij}, \dots, A_{is}); A_{ij} = (A_{ij1}, A_{ij2}, \dots, A_{ijr}, \dots, A_{msq}); \\ m &= (m_1, m_2, \dots, m_r, \dots, m_q). \end{aligned} \quad (2)$$

Здесь определены предикаты (высказывания) трех уровней иерархии: 1) Системный уровень функциональности $P(m, A)$ задает не структуры данных, а аналитическую модель вычислительного процесса в виде предиката, максимизирующего интегральный критерий принадлежности в интервале $Q(m, A) = [0,0-1,0]$, на множестве введенных операций. 2) Система предикатов среднего уровня представляется в виде вершин-таблиц графа $A = (A_1, A_2, \dots, A_i, \dots, A_m)$, логически взаимодействующих между собой. 3) Предикат нижнего уровня задает упорядоченную совокупность вектор-строк ассоциативной таблицы $A_i = (A_{i1}, A_{i2}, \dots, A_{ij}, \dots, A_{is})$, где строка $A_{ij} = (A_{ij1}, A_{ij2}, \dots, A_{ijr}, \dots, A_{msq})$ есть истинное высказывание. Предикат $A_i = (A_{i1}, A_{i2}, \dots, A_{ij}, \dots, A_{is}) = 1$ задается совокупностью ассоциативных векторов, формирующих многозначную таблицу явных решений. Поскольку функционал не имеет постоянных во времени входных и выходных переменных, то данная структура отличается от последовательной машины фон Неймана, задаваемой конечными автоматами Мили и Мура. Ассоциативность или равнозначность всех переменных в векторе $A_{ij} = (A_{ij1}, A_{ij2}, \dots, A_{ijr}, \dots, A_{msq})$ создает равные условия их существования, что означает

инвариантность решения задач прямой и обратной импликации в пространстве $A_i \in A$. Ассоциативный вектор A_{ij} определяет собой явное решение, где каждая переменная задается в конечном, многозначном и дискретном алфавите $A_{ijr} \in \{\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_i, \dots, \alpha_k\} = \beta$. Взаимодействие $P(m, A)$, входного вектора-запроса $m = (m_1, m_2, \dots, m_r, \dots, m_q)$ с графом $A = (A_1, A_2, \dots, A_i, \dots, A_m)$, формирует множество решений с выбором лучшего из них по максимальному критерию качества: $P(m, A) = \max Q_i[m \wedge (A_1 \vee A_2 \vee \dots \vee A_i \vee \dots \vee A_m)]$.

Конкретное взаимодействие вершин графа между собой создает функциональность $A = (A_1, A_2, \dots, A_i, \dots, A_m)$, которая может быть оформлена в следующие структуры: 1) Единственная ассоциативная таблица, содержащая все решения логической задачи в явном виде. Преимущество – максимальное быстродействие параллельного ассоциативного поиска решения по таблице. Недостаток – максимально высокая аппаратная сложность решения задачи. 2) Древоидная (графовая) структура бинарных отношений между предикатами, каждый из которых формирует таблицу истинности для незначительного количества (двух) переменных. Преимущество – максимально низкая аппаратная сложность решения задачи. Недостаток – минимальное быстродействие последовательного ассоциативного поиска решения по дереву. 3) Компромиссная графовая структура логически понятных для пользователя отношений между предикатами, каждый из которых формирует таблицу истинности для логически сильно взаимосвязанных переменных. Преимущество – высокое быстродействие параллельного ассоциативного поиска решений по минимальному числу таблиц. Сравнительно невысокая аппаратная сложность решения задачи. Недостаток – снижение быстродействия из-за последовательной логической обработки графовой структуры решений, найденных в таблицах. Разбиение одной таблицы (ассоциативной памяти) на k частей приводит к уменьшению аппаратных затрат, выраженных в компонентах (лутах) (LUT – Look Up Table) программируемой логической матрицы. Каждая ячейка памяти создается с помощью четырех лутов. В связи с тем, что ассоциативную матрицу можно представить квадратом со стороной n , суммарные аппаратные затраты для реализации памяти системы будут иметь функциональную зависимость от числа разбиений, которая определяется следующим выражением:

$$Z(n) = k \times \frac{1}{4} \times \left(\frac{n}{k}\right)^2 + h = \frac{n^2}{4 \times k} + h, (h = \{n, \text{const}\}) . \quad (3)$$

Второе слагаемое, равное h – есть затраты на общую схему управления системой ассоциативных памяти. Платой за уменьшение аппаратуры является снижение быстродействия обработки структуры памяти или увеличение периода анализа компонентов системы. Функциональная зависимость времени анализа логического ассоциативного графа от числа вершин или разбиений памяти имеет следующий вид:

$$T(n) = \frac{4 \times k}{t_{\text{clk}}} + \frac{4}{t_{\text{clk}}} = \frac{4}{t_{\text{clk}}}(k + 1), (t_{\text{clk}} = \text{const}). \quad (4)$$

Здесь период обработки одной ассоциативной памяти представлен циклом, содержащим 4 синхроимпульса. Число разбиений k пропорционально увеличивает количество тактов в худшем варианте последовательного соединения памяти. Второе слагаемое $\frac{4}{t_{\text{clk}}}$ задает

время, необходимое для подготовки данных на входе системы, а также для их декодирования на выходе вычислительной структуры. Функциональные зависимости аппаратных затрат и времени анализа графа ассоциативных памяти от числа вершин или разбиений представлены на рис. 2.

Построение обобщенной функции эффективности графовой структуры от числа вершин

$$f[Z(n), T(n)] = Z(n) + T(n) = \left(\frac{n^2}{4 \times k} + h\right) + \left(\frac{4}{t_{\text{clk}}}(k + 1)\right) \quad (5)$$

позволяет определить оптимальное разбиение совокупного и наперед заданного объема ассоциативной памяти. В данном случае это есть минимум аддитивной функции, который определяется значением k , обращающим производную функции в нуль. В данном случае

($n = 600$, $h = 200$, $t_{clk} = 4$) оптимальное число разбиений k для матрицы памяти, размерностью 600×600 , равно 4.

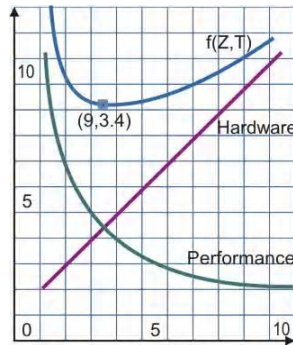


Рис. 2. Функции аппаратуры и времени от числа разбиений

4. Векторно-логический критерий качества решения

Цель введения критерия заключается в использовании только логических операций и исключении арифметических вычислений из процедуры формирования оценки взаимодействия компонентов m и A для существенного повышения быстродействия логического анализа структур информационных данных.

Идея – оценивать решение задачи взаимодействия входного вектора m с ассоциативными таблицами мощностью единиц в векторе качества Q путем использования векторных логических операций. Арифметическая оценка качества взаимодействия может формироваться сложением без усреднения приведенных критериев принадлежности и кодового расстояния, что определяется следующими формулами:

$$Q = d[m, A_{i(j)}] + \mu[m \in A_{i(j)}] + \mu[A_{i(j)} \in m], \quad d(m, A_{i(j)}) = \text{card}[m \bigoplus_{i(j)=1}^{n(m)} A_{i(j)} = 1];$$

$$\mu(m \in A_{i(j)}) = \text{card}[A_{i(j)} = 1] - \text{card}[m \bigwedge_{i(j)=1}^{n(m)} A_{i(j)} = 1];$$

$$\mu(A_{i(j)} \in m) = \text{card}[m = 1] - \text{card}[m \bigwedge_{i(j)=1}^{n(m)} A_{i(j)} = 1].$$
(6)

Первый компонент, составляющий критерий, формирует степень несовпадения n -мерных векторов – кодовое расстояние путем выполнения операции хог, второй и третий определяют степень непринадлежности результата конъюнкции к числу единиц каждого из двух взаимодействующих векторов. Понятия принадлежности и непринадлежности являются взаимодополняющими, но в данном случае технологичнее высчитывать именно непринадлежность. Таким образом, идеальный критерий качества равен нулю, когда два вектора равны между собой. Оценка качества взаимодействия двух двоичных векторов убывает по мере роста критерия от 0 к 1. Чтобы окончательно уйти от арифметических операций при подсчете уже векторного критерия качества, необходимо выражения (6) преобразовать к виду:

$$Q = d(m, A) \vee \mu(\overline{m \in A}) \vee \mu(A \in m), \quad d(m, A) = m \oplus A;$$

$$\mu(m \in A) = A \wedge \overline{m \wedge A}; \quad \mu(A \in m) = m \wedge \overline{m \wedge A}.$$
(7)

Здесь критерии представлены уже не числами, а векторами, которые оценивают взаимодействие между компонентами m, A . При этом число нулей в трех оценках есть хорошо, а единицы ухудшают качество взаимодействия. Оптимизация решения логической задачи направлена на минимизацию числа единиц и максимизацию количества нулевых координат в векторах критерия качества. Для сравнения двух оценок необходимо определять мощность единиц в каждом векторе без выполнения операций суммирования. Это можно сделать, например, с помощью регистра [4] уплотнения единиц и их сдвига влево, представленного на рис. 3. Регистр позволяет за один такт выполнить сдвиг влево и уплотнить все единичные координаты n -разрядного двоичного вектора.

После процедуры сжатия номер последнего или правого единичного бита уплотненной серии единиц формирует индекс качества взаимодействия векторов. Для двоичных векторов $m = (1100110011\ 00)$, $A = (0000111101\ 01)$ определение качества их взаимодействия в соответствии с моделью (7) представлено в следующем виде (нулевые координаты отмечены точками):

m	1 1 . . . 1 1 . . . 1 1 . .
A	. . . . . 1 1 1 1 . 1 . 1
$\overline{m \wedge A}$	. . . . . 1 1 1 . .
$m \wedge A$	1 1 1 1 . . . 1 1 1 . 1 1
$d(m, A) = m \oplus A$	1 1 1 1 1 . . 1
$\mu(A \in m) = m \wedge \overline{m \wedge A}$	1 1 1 . . .
$\mu(m \in A) = A \wedge \overline{m \wedge A}$	. . . . . . . 1 1 1
$Q = d(m, A) \vee \mu(m \in A) \vee \mu(A \in m)$	1 1 1 1 1 . . 1
$Q(m, A) = (6/12)$	1 1 1 1 1 1

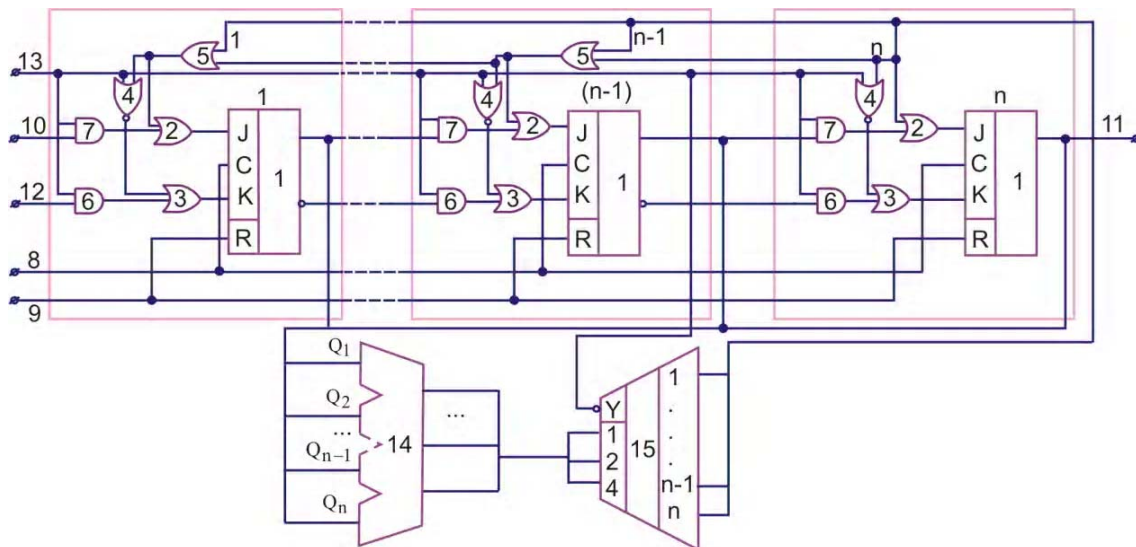


Рис. 3. Регистр уплотнения единиц

Здесь сформирована не только оценка качества взаимодействия векторов, равная $Q(m, A) = (6/12)$, но, что самое главное, единичные координаты строки $Q = d(m, A) \vee \mu(m \in A) \vee \mu(A \in m)$ идентифицируют все те места или позиции, по которым существует некачественное взаимодействие векторов. Другой пример иллюстрирует формирование максимального критерия качества для двоичных векторов $m = (1100001100\ 11)$; $A = (110000110011)$, имеющих совпадение по всем координатам:

m	1 1 1 1 . . . 1 1
A	1 1 1 1 . . . 1 1
$\overline{m \wedge A}$	1 1 1 1 . . . 1 1
$m \wedge A$	. . 1 1 1 1 . . . 1 1 . .
$d(m, A) = m \oplus A$	. . . . . . . . . . . . . .
$\mu(A \in m) = m \wedge \overline{m \wedge A}$	. . . . . . . . . . . . . .
$\mu(m \in A) = A \wedge \overline{m \wedge A}$	. . . . . . . . . . . . . .
$Q = d(m, A) \vee \mu(m \in A) \vee \mu(A \in m)$	. . . . . . . . . . . . . .
$Q = (0/12)$	. . . . . . . . . . . . . .

Здесь критерий качества, равный нулю во всех 12 разрядах $Q = (0/12)$, является максимальным или самым лучшим для взаимодействующих векторов $m = (1100001100\ 11)$; $A = (110000110011)$, поскольку он определен минимальным числом еди-

ниц на двенадцати координатах вектора. Для сравнения двух решений, полученных в результате логического анализа, следует использовать сжатые векторы качества Q , над которыми необходимо выполнить процедуру, включающую следующие векторные операции:

$$Q(m, A) = \begin{cases} Q_1(m, A) \leftarrow Q_1(m, A) \oplus Q_1(m, A) \wedge Q_2(m, A) = 0; \\ Q_2(m, A) \leftarrow Q_1(m, A) \oplus Q_1(m, A) \wedge Q_2(m, A) \neq 0. \end{cases} \quad (8)$$

Для двоичных векторов, представляющих собой критерии качества, выполнена процедура выбора лучшего из них на основе выражения, представленного в (8):

$Q_1(m, A) = (6,12)$	1 1 1 1 1 1
$Q_2(m, A) = (8,12)$	1 1 1 1 1 1 1 1
$Q_1(m, A) \wedge Q_2(m, A)$	1 1 1 1 1 1
$Q_1(m, A) \oplus Q_1(m, A) \wedge Q_2(m, A)$	. . . . .
$Q(m, A) = Q_1(m, A)$	1 1 1 1 1 1

Предложенная модель вычислительного процесса на основе векторных логических операций и разработанные аналитические модели и методы анализа таблиц, а также критерии качества решения позволяют использовать все упомянутое в виде инфраструктуры для поиска квазиоптимального покрытия, диагностирования одиночных и кратных дефектов программных и/или аппаратных блоков. Модель векторных вычислений может служить основой для разработки специализированной мультипроцессорной архитектуры, ориентированной на решение, например, следующих задач технической диагностики: моделирование исправного поведения цифрового устройства, заданного таблицей истинности; определение качества теста по таблице неисправностей; минимизация тестовых наборов; поиск тестовых последовательностей, распознающих дефект; идентификация кратной неисправности, имеющей место в цифровом изделии.

5. Выводы

1. *Научная новизна* представлена новой моделью вычислительного процесса на основе векторных логических операций для решения задач поиска, диагностирования, распознавания образов и принятия решений в векторном дискретном булевом пространстве. Модель ориентирована на достижение высокого быстродействия процедур параллельного векторного логического анализа табличных форм задания информации, в пределах полностью исключая использование арифметических операций, в том числе и для подсчета критерия качества решения.

2. *Практическая значимость* заключается в ориентации предложенной модели, использующей векторные операции, на анализ ассоциативных таблиц с помощью логического мультипроцессора с ограниченной системой команд, что обеспечивает высокое быстродействие параллельной обработки больших массивов информации, представленных в общем случае графовыми структурами ассоциативных матриц или таблиц.

Список литературы: 1. Zorian Y. Test Strategies for System-in-Package / Y. Zorian // Plenary Paper of IEEE East-West Design & Test Symposium (EWDTS'08). Lviv, Ukraine. 2008. 2. Smith L. 3D Packaging Applications, Requirements, Infrastructure and Technologies / L. Smith // Fourth Annual International Wafer-Level Packaging Conference. San Jose, California. September, 2007. 3. The next Step in Assembly and Packaging: System Level Integration in the package (SiP) / Editors: William Chen, W. R. Bottoms, Klaus Pressel, Juergen Wolf // SiP White Paper. International Technology Roadmap for Semiconductors. 2007. P. 17-23. 4. А.с. №1439682. 22.07.88. Регистр сдвига / Какурин Н.Я., Хаханов В.И., Лобода В.Г., Какурина А.Н. 4с. 5. Бондаренко М.Ф. О мозгоподобных ЭВМ / М.Ф. Бондаренко, З.В. Дударь, И.А. Ефимова, В.А. Лещинский, С.Ю. Шабанов-Кушнаренко // Радиотехника и информатика. 2004. №2. С. 89-105. 6. Бондаренко М.Ф. Об алгебре предикатов / М.Ф. Бондаренко, Ю.П. Шабанов-Кушнаренко // Бионика интеллекта. 2004. № 1. С. 15-26. 7. Бондаренко М.Ф. Теория интеллекта. Учебник / М.Ф. Бондаренко, Ю.П. Шабанов-Кушнаренко; Харьков: СМИТ. 2006. 592 с. 8. Бондаренко М.Ф. Модели языка / М.Ф. Бондаренко, Ю.П. Шабанов-Кушнаренко // Бионика интеллекта. 2004. № 1. С. 27-37. 9. Акритас А. Основы компьютерной алгебры с приложениями: Пер. с англ. / А. Акритас. М.: Мир, 1994. 544 с. 10. Гилл Ф. Практическая оптимизация / Ф. Гилл, У. Мюррей, М. Райт. М.: Мир, 1985. 509 с. 11. Аттетков А.В. Методы оптимизации / А.В. Аттетков, С.В. Галкин, В.С. Зарубин. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2003. 440 с. 12. Дегтярев Ю. И. Методы оптимизации: Учебное пособие для вузов / Ю. И. Дегтярев. М.: Сов. радио, 1980. 270 с. 13. Bergeron J. Writing Testbenches Using SystemVerilog / J.

Bergeron // Springer Science and Business Media, Inc. 2006. 414 p. **14.** *Abramovici M.* Digital System Testing and Testable Design / M. Abramovici, M.A. Breuer and A.D. Friedman. Comp. Sc. Press. 1998. 652 p. **15.** Densmore D. A Platform-Based taxonomy for ESL Design / Douglas Densmore, Roberto Passerone, Alberto Sangiovanni-Vincentelli // Design & Test of computers. 2006. P. 359-373. **16.** *Хаханов В.И.* Проектирование и тестирование цифровых систем на кристаллах / В.И. Хаханов, Е.И. Литвинова, О.А. Гузь. Харьков: ХНУРЭ, 2009. 484с. **17.** *Hahanov V.I.* SIGETEST – Test generation and fault simulation for digital design / V.I. Hahanov, D.M. Gorbunov, Y.V. Mirosnichenko, O.V. Melnikova, V.I. Obrizan, E.A. Kamenuka // Proc. of Conf. «Modern SoC Design Technology based on PLD». Kharkov.2003. P. 50-53. **18.** *Автоматизация диагностирования электронных устройств/ Ю.В.Мальшенко и др./* Под ред. В.П.Чипулиса. М.: Энергоатомиздат, 1986. 216с. **19.** *Хаханов В.И.* Проектирование и верификация цифровых систем на кристаллах / В.И. Хаханов, И.В. Хаханова, Е.И. Литвинова, О.А. Гузь. Харьков: Новое слово, 2010. 528с.

Поступила в редколлегию 08.12.2010

Хаханов Владимир Иванович, декан факультета КИУ ХНУРЭ, д-р техн. наук, профессор кафедры АПВТ ХНУРЭ. Научные интересы: техническая диагностика цифровых систем, сетей и программных продуктов. Увлечения: баскетбол, футбол, горные лыжи. Адрес: Украина, 61166, Харьков, пр. Ленина, 14, тел. 70-21-326. E-mail: hahanov@kture.kharkov.ua.

Чумаченко Светлана Викторовна, д-р техн. наук, профессор кафедры АПВТ ХНУРЭ. Научные интересы: математическое моделирование, методы дискретной оптимизации. Увлечения: спорт, путешествия, любительское фото. Адрес: Украина, 61166, Харьков, пр. Ленина, 14, тел. 70-21-326, e-mail: ri@kture.kharkov.ua.

Ticouga Yves, аспирант кафедры АПВТ ХНУРЭ. Научные интересы: техническая диагностика цифровых систем и сетей. Адрес: Украина, 61166, Харьков, пр. Ленина, 14, тел. 70-21-326. E-mail: kiu@kture.kharkov.ua.

Василенко Василина Александровна, аспирантка кафедры АПВТ ХНУРЭ. Научные интересы: техническая диагностика цифровых систем и сетей. Адрес: Украина, 61166, Харьков, пр. Ленина, 14, тел. 70-21-421. E-mail: kiu@kture.kharkov.ua.

Щербин Дмитрий Александрович, студент факультета КИУ ХНУРЭ. Научные интересы: техническая диагностика цифровых систем и сетей. Адрес: Украина, 61166, Харьков, пр. Ленина, 14, тел. 70-21-421.