УДК 658.512.011:681.326:519.713

*В.И. ХАХАНОВ, МУРАД АЛИ А., BAGHDAD AMMAR AVNI ABBAS, О.А. ГУЗЬ, И.В. ХАХАНОВА*

# МЕТРИКА И КРИТЕРИИ АНАЛИЗА КИБЕРПРОСТРАНСТВА

Предлагаются метрика и критерии качества взаимодействия объектов при анализе киберпространства, представленного в двоичном и многозначном исчислении. Показываются направления использования оценок для задач поиска, распознавания и принятия решений.

## 1. Введение

Инфраструктура киберпространства должна иметь развитую сеть сервисов, обеспечивающих быстрый поиск необходимых данных распараллеливания вычислительных процессов путем имплементации функциональностей в кристаллы специализированных цифровых систем. Такая плата в настоящее время вполне допустима, поскольку существуют проблемы заполнения площадей силиконового кристалла, который содержит до 1 миллиарда вентилей при толщине пластины, равной 5 микрон. При этом современные технологии допускают создание пакета или «сэндвича», содержащего до 7 кристаллов, что соизмеримо с объемом нейронов головного мозга человека. Практически «беспроводное» соединение таких пластин основывается на технологической возможности сверления порядка 10 тысяч сквозных отверстий (vias) на 1 квадратном сантиметре. Наполнить полезной функциональностью такой объем допустимых на кристалле вентилей в настоящее время проблематично. Поэтому можно и нужно использовать «жадные» к аппаратуре модели и методы для создания быстродействующих средств параллельного решения практических задач. Имея в виду дискретность и многозначность алфавитов описания информационных процессов, свойство параллелизма является особенно востребованным при создании эффективных и интеллектуальных «движков» для киберпространства или интернета [1].

Проблема создания эволюционирующего кибернетического пространства (Evolutive Cyber Space) и его инфраструктуры в последние годы является весьма привлекательной темой для крупного IT–бизнеса. Принципиальная позиция ECS – генерирование новых сервисов на основе мирового опыта, скрытого в информационном пространстве. Согласно запрету Геделя, адаптированному для информационного пространства, нельзя создать интеллектуальную структуру, которая решит любые задачи, формально представленные спецификацией. Тем не менее, принцип Геделя предоставляет методологическую основу эволюции (саморазвития) киберпространства на основе синтеза полезных спецификаций, которые не покрываются существующими у человечества примитивами решений, что обусловливает создание нового функционального или технологического компонента для его последующего использования в новых сервисах. ECS закономерно повторяет эволюцию человечества, только в тысячи раз более быстрыми темпами, с точностью до изоморфизма создавая виртуальный кибеобраз нашего мира со всеми его позитивными и негативными свойствами. Соотношение реального мира и виртуального киберпространства можно представить симметрической разностью (xor-операция на замкнутом теоретико-множественном алфавите), не равной пустому множеству $W \oplus C \neq \varnothing$. Более того, всегда будет существовать между двумя мирами степень различия, показывающая и определяющая стремление обоих миров к сближению через совершенство, которое уменьшает степень различия (рис.1):

$$W \oplus C = D,$$
$$D = \{W^*, C^*\}, W^* \in W, C^* \in C,$$
$$W = \{W^c, W^*\}, C = \{C^c, C^*\}.$$

Здесь $W^* \in W$ – интеллект человека и человечества, еще не имплементированный в киберпространство; $C^* \in C$ – интеллект (вычислительный, запоминающий, технологический, коммуникационный) киберпространства, которого (еще) нет у человечества.

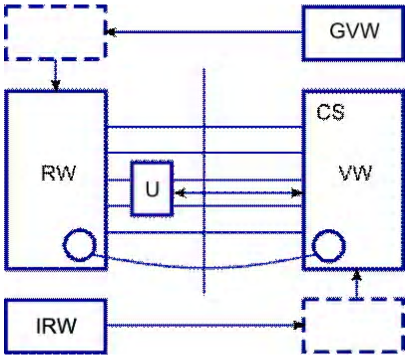
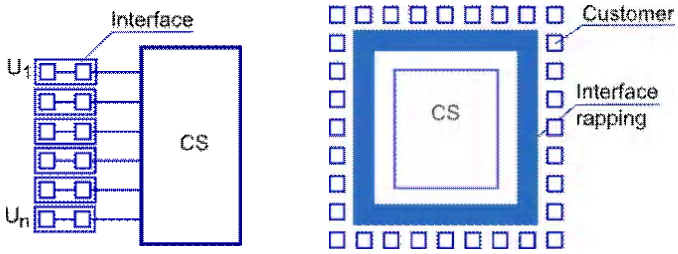



Рис. 1. Взаимодействие реального мира и киберпространства

Пространства (кибернетического) всегда будет мало! Как памяти и производительности компьютера. При этом пользователь всегда будет платить за ненужные функциональности. Понятие персонального компьютера теряет свою актуальность ввиду появления облачных сервисов в киберпространстве, временная аренда которых становится экономически более выгодной по сравнению с покупкой программных продуктов. Компьютер, на пути к созданию интерфейсной оболочки глобального киберпространства, трансформируется в гаджет, типа IPhone, а затем – в электронную таблетку (tablet) – идентификатор. Сегодня необходим лишь любой, пока что аппаратный, интерфейс связи с киберпространством (рис. 2,а). Завтра будет создана непрерывная и глобальная инфраструктура киберпространства, не предусматривающая наличия у пользователя «тяжелых» интерфейсных гаджетов для входа в интернет (рис. 2,б).




а б

Рис. 2. Трансформирование инфраструктуры киберпространства

Агрессивность интернета и прозрачность общего «дома» порождает естественное желание каждого пользователя создать свой собственный микромир. Необходима личная киберячейка или квартира, где человек может и должен быть один. Виртуальный индивидуальный киберкомпьютер ($C^V = \{D, S, C^i, I, M\}$ – данные, сервисы, интеллектуальная система управления, инфраструктура и монитор для ввода-вывода информации) – возможное решение данной проблемы.

Новое свойство возникает при взаимодействии (суперпозиции) не менее двух различных компонентов $W \oplus C = D \neq \varnothing$. Если же $W \oplus C = \varnothing$, то $W = C$. Если в качестве компонентов выступают примитивы, то степень их различия равна объединению таких компонентов.

Доказательство. Пусть имеются два примитива, входящие в универсум $\{a, b\} \in U$. Тогда на основании определения симметрической разности можно получить $a \oplus b = (a \cap \bar{b}) \cup (\bar{a} \cap b) = (a \cap U \setminus b) \cup (U \setminus a \cap b) = (a \cup b)$, поскольку $a \in (U \setminus b), b \in (U \setminus a)$.

Иначе – фиксируется результат $a \oplus b = (a \cup b) = \{a, b\}$. Если объекты в пространстве не имеют общих точек (не пересекаются), то степень их различия равна объединению объектов. Сказанное выше в равной степени относится и к примитивам.

*Цель* – усовершенствование метрики и критериев качества взаимодействия объектов при анализе киберпространства, представленного в двоичном и многозначном исчислении.

*Задачи*: 1) Показать направления использования оценок для поиска, распознавания и принятия решений в киберпространстве [1-5]. 2) Определить критерии качества (скалярный и векторный) взаимодействия информационных объектов для анализа и синтеза двоичных и многозначных данных в кибернетическом пространстве [1, 6, 7].

## 2. Метрика и критерии взаимодействия объектов в киберпространстве

Основываются на использовании бета-метрики [1-3] измерения расстояний в киберпространстве. Киберпространство – дискретное векторно-логическое пространство – совокупность взаимодействующих по соответствующей метрике информационных процессов и явлений, описываемых векторами логических переменных и использующих в качестве носителя компьютерные системы и сети. Метрика – способ измерения расстояния в пространстве между компонентами процессов или явлений, описанных векторами логических переменных. Расстояние (булева производная, степень изменения, различия или близости) в киберпространстве определяется xor-отношением векторов, обозначающих компоненты процесса или явления, что отличает его от кодового расстояния по Хэммингу. Процедуры сравнения, измерения, оценивания, распознавания, тестирования, диагностирования, оперируют xor-отношением объектов. Компонент пространства представлен k-мерным вектором $a=(a_1,a_2,...,a_j,...,a_k)$, $a_j \in \{0,1\}$, где каждая его координата определена в двоичном алфавите, 0 – «ложь», 1 – «истина». Нуль-вектор есть k-мерный кортеж, все координаты которого равны нулю: $a_j = 0, j=\overline{1,k}$.

Метрика $\beta$ кибернетического пространства определяется равенством

$$\beta = \bigoplus_{i=1}^{n} d_i = 0,$$

которое формирует нуль-вектор для xor-суммы расстояний $d_i$ между ненулевым и конечным числом объектов, замкнутых в цикл. Здесь n – количество расстояний между компонентами (векторами) пространства, составляющими цикл $D=(d_1,d_2,...,d_i,...,d_n)$, $d_i$ – есть вектор расстояния, соответствующий ребру цикла, соединяющему два компонента (вектора) $a, b$ пространства, который далее обозначается без индекса как $d(a,b)$. Расстояние между двумя объектами a и b есть производный вектор: $d(a,b)=(a_j \oplus b_j)_1^k$. Векторному значению расстояния соответствует норма (скаляр), определяемая кодовым расстоянием по Хэммингу между двумя векторами в виде числа единиц вектора $d(a,b)$. Метрика $\beta$ векторного логического двоичного пространства есть равная нуль-вектору xor-сумма расстояний между конечным числом вершин графа, образующих цикл. Теперь можно дать более формальное определение киберпространства, как векторно-логическое, нормируемое $\beta$-метрикой, где xor-сумма расстояний между конечным числом точек цикла равна нуль-вектору. Определение метрики через отношения позволяет сократить систему аксиом (тождественности, симметрии и транзитивности треугольного замыкания) с трех до одной и распространить ее действие на сколь угодно сложные структуры n-мерного логического пространства. Классическое задание метрики для определения взаимодействия одной, двух и трех точек в векторном логическом пространстве является частным случаем $\beta$-метрики при $i=1,2,3$ соответственно:

$$M \subset \beta = \begin{cases} d_1 = 0 \leftrightarrow a = b; \\ d_1 \oplus d_2 = 0 \leftrightarrow d(a,b) = d(b,a); \\ d_1 \oplus d_2 \oplus d_3 = 0 \leftrightarrow d(a,b) \oplus d(b,c) = d(a,c). \end{cases}$$

Векторно-логический транзитивный треугольник имеет полную аналогию численному измерению расстояния в метрическом M-пространстве, которое задается системой аксиом, определяющей взаимодействие одной, двух и трех точек в любом пространстве:

$$M=\begin{cases} d(a,b)=0 \leftrightarrow a=b; \\ d(a,b)=d(b,a); \\ d(a,b)+d(b,c)\ge d(a,c). \end{cases}$$

Специфика аксиомы треугольника (метрического) М-пространства заключается в численном (скалярном) сравнении расстояний трех объектов. При этом интервальная неопределенность ответа – две стороны треугольника могут быть больше либо равны третьей – малопригодна для определения точной длины последней стороны. Бета-метрика устраняет данный недостаток и исключает неопределенность бинарного отношения детерминированных процессов или явлений. Третья сторона треугольника в векторном логическом пространстве определяется двоичным вектором-расстоянием между двумя вершинами путем вычисления xor-суммы расстояний двух других сторон треугольника: $d(a,b)\oplus d(b,c)=d(a,c)\rightarrow d(a,b)\oplus d(b,c)\oplus d(a,c)=0$.

Метрика $\beta$ кибернетического многозначного векторно-логического пространства, есть вектор, равный значению $\varnothing$ по всем координатам, полученный путем применения симметрической разности расстояний между конечным числом точек, образующих цикл:

$$\beta=\mathop{\Delta}_{i=1}^{n} d_i=\varnothing.$$

Здесь каждая координата вектора, соответствующего объекту, определена в алфавите, составляющем булеан на универсуме примитивов мощностью p:

$$a_j=\{\alpha_1,\alpha_2,...,\alpha_r,...,\alpha_m\}, m=2^p.$$

На основе введенной метрики анализа киберпространства вводятся критерии оценивания взаимодействия конечного числа объектов между собой [1-3]. Скалярный критерий взаимодействия двух объектов (процессов) в дискретном булевом пространстве, представленных k-мерными многозначными векторами

$$m=(m_1,m_2,...,m_j,...,m_k),\ m_j\in\{0,1,x\} \text{ и } A=(A_1,A_2,...,A_j,...,A_k),\ A_j\in\{0,1,x\},$$

необходим для сравнения и последующего выбора, лучшего в некотором смысле, решения. Степень принадлежности m-вектора к A обозначается как $\mu(m\in A)$, непринадлежности – $\overline{\mu}(m\in A)$. Существует 5 типов теоретико-множественного взаимодействия двух векторов:

1) $m=A$; 2) $m\subset A$; 3) $A\subset m$; 4) $m\cap A\ne\{m,A,\varnothing\}$; 5) $m\cap A=\varnothing$.

Цель скалярного критерия – оценить любое из указанных взаимодействий интервальной оценкой [0,1] путем совместного использования трех параметров: кодового расстояния $d(m,A)$ и двух функций непринадлежности $\overline{\mu}(m\in A)=1-\mu(m\in A)$, $\overline{\mu}(A\in m)=1-\mu(A\in m)$:

$$Q=\frac{1}{3}\left[\frac{1}{k}d(m,A)+[1-\mu(m\in A)]+[1-\mu(A\in m)]\right],$$

$$d(m,A)=\mathrm{card}\,(m_i \mathop{\cap}_{i=1}^{k} A_i=\varnothing);$$

$$\mu(m\in A)=2^{c-a};$$

$$\mu(A\in m)=2^{c-b};$$

$$a=\mathrm{card}\,(A_i=x), i=\overline{1,k};$$

$$b=\mathrm{card}\,(m_i=x), i=\overline{1,k};$$

$$c=\mathrm{card}\,(m_i \mathop{\cap}_{i=1}^{k} A_i=x).$$

Здесь $d(m,A)=\mathrm{card}\,(m_i \overset{k}{\underset{i=1}{\cap}} A_i=\varnothing)$ – мощность или количество пустых координатных пересечений двух взаимодействующих векторов, составляющих расстояние по Хэммингу; $\mu(m\in A)=2^{c-a}$ $(\mu(A\in m)=2^{c-b})$ – отношение общего для m и A пространства к пространству вектора A (m), что формирует указанную функцию принадлежности. Операции координатного пересечения (and), симметрической разности (xor) определены для символов алфавита Кантора $A=\{0,1,x=\{0,1\},\varnothing\}$, кодируемых векторами (01,10,11,00) соответственно:

| $\cap$ | 0 | 1 | x | $\varnothing$ |
|---|---|---|---|---|
| 0 | 0 | $\varnothing$ | 0 | $\varnothing$ |
| 1 | $\varnothing$ | 1 | 1 | $\varnothing$ |
| x | 0 | 1 | x | $\varnothing$ |
| $\varnothing$ | $\varnothing$ | $\varnothing$ | $\varnothing$ | $\varnothing$ |

| $\wedge$ | 01 | 10 | 11 | 00 |
|---|---|---|---|---|
| 01 | 01 | 00 | 01 | 00 |
| 10 | 00 | 10 | 10 | 00 |
| 11 | 01 | 10 | 11 | 00 |
| 00 | 00 | 00 | 00 | 00 |

| $\Delta$ | 0 | 1 | x | $\varnothing$ |
|---|---|---|---|---|
| 0 | $\varnothing$ | x | 1 | 0 |
| 1 | x | $\varnothing$ | 0 | 1 |
| x | 1 | 0 | $\varnothing$ | x |
| $\varnothing$ | 0 | 1 | x | $\varnothing$ |

| $\oplus$ | 0 | 1 | x | $\varnothing$ |
|---|---|---|---|---|
| 0 | 00 | 11 | 10 | 01 |
| 1 | 11 | 00 | 01 | 10 |
| x | 10 | 01 | 00 | 11 |
| $\varnothing$ | 01 | 10 | 11 | 00 |

Нормирование параметров критерия (кодового расстояния и функций непринадлежности) позволяет оценить уровень взаимодействия векторов в численном интервале [0,1]. С учетом изоморфизма теоретико-множественных и логических операций критерий качества можно трансформировать к виду:

$$Q=\frac{1}{3}\left[\frac{1}{k}d(m,A)+[1-\mu(m\in A)]+[1-\mu(A\in m)]\right],$$

$$d(m,A)=\mathrm{card}\,(m_i \overset{k}{\underset{i=1}{\oplus}} A_i=U);$$

$$\mu(m\in A)=\mathrm{card}\,(A_i=U)-\mathrm{card}\,(m_i \overset{k}{\underset{i=1}{\wedge}} A_i=U);$$

$$\mu(A\in m)=\mathrm{card}\,(m_i=U)-\mathrm{card}\,(m_i \overset{k}{\underset{i=1}{\wedge}} A_i=U);$$

$$U=\begin{cases}1\leftarrow\{m_i,A_i\}\in\{0,1\};\\ x\leftarrow\{m_i,A_i\}\in\{0,1,x\}.\end{cases}$$

Если векторы m и A – двоичные по всем координатам, то переменная U=1 и вычисления проводятся по правилам двоичной $\oplus$–операции. Если векторы m и A определены в троичном алфавите, то переменная U = x инициирует вычисления на основе использования теоретико-множественной операции симметрической разности $\Delta$. Первый компонент $\frac{1}{n}d(m,A)$ критерия формирует степень несовпадения k-мерных векторов в виде кодового расстояния по Хэммингу, отнесенного к длине вектора, путем выполнения операции xor над всеми координатами; второй и третий компоненты $[1-\mu(m\in A)]+[1-\mu(A\in m)]$ определяют степени непринадлежности результата конъюнкции к пространству каждого из двух взаимодействующих векторов. Если такие степени равны нулю $\frac{1}{n}d(m,A)=0,\ [1-\mu(m\in A)]=0,\ \ [1-\mu(A\in m)]=0$, то объекты идентичны друг другу. Понятия принадлежности и непринадлежности являются взаимодополняющими, но в данном случае технологичнее вычислять непринадлежность, поскольку общепринятым в литературе является понятие нулевого расхождения объектов, свидетельствующее об их полной идентичности. Данный критерий работает в интервале [0,1]. Полное совпадение двух объектов $d(m,A)=0,\ \mu(m\in A)=1,\ \mu(A\in m)=1$ характеризуется нулевой оценкой критерия $Q = \frac{1}{3}\left[\frac{1}{k}0 + [1-1] + [1-1]\right] = 0$. Противоположным вариантом является максимальное несовпадение двух объектов: $d(m, A) = k,\ \mu(m \in A) = 0,\ \mu(A \in m) = 0$, которое определяется оценкой взаимодействия: $Q = \frac{1}{3}\left[\frac{1}{k}k + [1-0] + [1-0]\right] = 1$. Если параметры взаимодействия равны $d(m, A) = 0,\ \mu(m \in A) = \frac{1}{2},\ \mu(A \in m) = \frac{1}{2}$, то критерий будет иметь следующую оценку: $Q = \frac{1}{3}\left[\frac{1}{k}0 + [1-\frac{1}{2}] + [1-\frac{1}{2}]\right] = \frac{1}{3}$. Взаимодействие (пересечение) двух векторов: A = (XXX1X) и m = (XX0X0) дает общее пространство, равное (XX010) = {00010, 01010, 10010, 11010}. Критерий качества взаимодействия при параметрах $d(m, A) = 0,\ \mu(m \in A) = \frac{1}{2},\ \mu(A \in m) = \frac{1}{4}$ будет иметь следующую оценку: $Q = \frac{1}{3}\left[\frac{1}{k}0 + [1-\frac{1}{2}] + [1-\frac{1}{4}]\right] = \frac{1}{4}$.

Достоинство введенного критерия (непринадлежности, различия) заключается в линейности изменения его численного значения от 0 до 1 по мере увеличения «расстояния» от полного совпадения двух объектов до максимально возможного, когда кодовое расстояние равно $d(m, A) = k$.

Критерий может быть использован в задачах отслеживания цели, движения по заданному маршруту, диагностирования функциональных нарушений, поиска, распознавания и принятия решений. Критерий качества Q, используемый для выполнения регуляторной функции при оценивании взаимодействия объектов в реальном масштабе времени, необходимо минимизировать.

Тем не менее, скалярная оценка имеет только интегральные свойства взаимодействия двух объектов, что позволяет осуществлять сравнение нескольких расстояний, чаще меры близости одного объекта по отношению к конечному множеству других. Недостатком интегральной оценки является неоднозначность ее приведения к исходному векторному эквиваленту, как и любого другого функционального отношения: прямая импликация однозначна, обратная – многозначна. Поэтому полная картина анализа взаимодействия объектов должна содержать не только интегральный скалярный критерий Q, но и результат их векторного отношения $Q(m, A) = m \oplus A$, который более информативен для последующей коррекции направления решения задач синтеза или анализа процессов взаимодействия в рамках существующей системы. Как получить векторный критерий качества взаимодействия двух объектов? Формула скалярного критерия качества после проведения векторных операций использует процедуры вычисления трех компонентов: кодовое расстояние, определяемое числом единиц в координатах результирующего вектора, полученного на основе xor-операции $d(m, A) = m \oplus A$, и две функции принадлежности $\mu = \mu(m \in A) \vee \mu(A \in m) = (A \wedge \overline{m \wedge A}) \vee (m \wedge \overline{m \wedge A})$, которые в совокупности также определяются xor-операцией, в общем случае на замкнутом теоретико-множественном алфавите:

$$
\begin{aligned}
\mu &= (A \wedge \overline{m \wedge A}) \vee (m \wedge \overline{m \wedge A}) = [A \wedge (\overline{m} \vee \overline{A})] \vee [m \wedge (\overline{m} \vee \overline{A})] = \\
&= [(A \wedge \overline{m}) \vee (A \wedge \overline{A}) \vee (m \wedge \overline{m}) \vee (m \wedge \overline{A})] = \\
&= (A \wedge \overline{m}) \vee (m \wedge \overline{A}) = m \oplus A.
\end{aligned}
$$

Логическое объединение двух векторных функций, формирующих кодовое расстояние и взаимную принадлежность друг другу, дает, естественно, искомый результат:

$$Q = d(m, A) \vee [\mu(m \in A) \vee \mu(A \in m)] = (m \oplus A) \vee (m \oplus A) = m \oplus A.$$

Это означает, что по существу взаимодействие любых объектов в киберпространстве определяется выполнением симметрической разности в многозначном алфавите (xor-операции в двоичном):

| Δ | 0 | 1 | x | ∅ |
|---|---|---|---|---|
| 0 | ∅ | x | 1 | 0 |
| 1 | x | ∅ | 0 | 1 |
| x | 1 | 0 | ∅ | x |
| ∅ | 0 | 1 | x | ∅ |

$\xrightarrow{0=01;\ 1=10;\ x=11;\ \varnothing=00}$

| ⊕ | 0 | 1 | x | ∅ |
|---|---|---|---|---|
| 0 | 00 | 11 | 10 | 01 |
| 1 | 11 | 00 | 01 | 10 |
| x | 10 | 01 | 00 | 11 |
| ∅ | 01 | 10 | 11 | 00 |

Но при кодировании символов алфавита двоичными векторами-примитивами операция симметрической разности между символами в координатах векторов превращается в xor-операцию двоичных векторов. Другие логические операции при формировании векторной оценки взаимодействия объектов в киберпространстве, согласно приведенным выше формулам, не используются. В качестве примера ниже предложены процедуры выполнения операции симметрической разности и xor над двумя формами объектов, представленными в виде символов алфавита Кантора и двоичных кодов:

| | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| m = | x | x | x | x | 1 | 0 | 1 | 0 |
| A = | 1 | 0 | 0 | x | x | x | 1 | 0 |
| Δ = | 0 | 1 | 1 | ∅ | 0 | 1 | ∅ | ∅ |
| m = | 11 | 11 | 11 | 11 | 10 | 01 | 10 | 01 |
| A = | 10 | 01 | 01 | 11 | 11 | 11 | 10 | 01 |
| ⊕ = | 01 | 10 | 10 | 00 | 01 | 10 | 00 | 00 |

Второй пример иллюстрирует вычисление взаимодействия векторов в двухтактном алфавите описания автоматных переменных $B^2(Y)$ в форматах символьного и двоичного описания координат:

| | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| m = | Y | A | B | S | P | L | E | Q |
| A = | H | S | J | L | E | L | F | C |
| Δ = | L | B | H | E | H | ∅ | Y | Y |
| m = | 1111 | 1100 | 0011 | 1001 | 0110 | 1101 | 0100 | 1000 |
| A = | 0010 | 1001 | 0001 | 1101 | 0100 | 1101 | 1011 | 0111 |
| ⊕ = | 1101 | 0101 | 0010 | 0100 | 0010 | 0000 | 1111 | 1111 |

Здесь интересен факт, что в кубитном формате описания символьных переменных теоретико-множественные, в общем случае последовательно выполняемые, операции над элементами множеств заменяются параллельными операциями, что существенно повышает быстродействие вычислительных процессов анализа моделей за счет соответствующего увеличения объема памяти. Для создания кубитных структур данных вычислительных процессов необходимо определить: 1) универсум примитивов (процессов или явлений) с последующим их унитарным кодированием в пределах кубита; 2) компактную систему (структуру) отношений (функциональных), задающих поведение объекта; 3) последовательность обработки компонентов структуры на основе параллельного выполнения векторных логических операций, заменяющих теоретико-множественные, последовательные во времени, вычислительные процедуры.

Две формы (скалярная и векторная) существования критерия качества $q = \{Q, Q(m, A)\}$ направлены на выбор лучшего решения (для пользователя) и детализацию различий между объектами (для компьютера) соответственно. Численный эквивалент удобен для человека, который не способен оперировать лингвистическими (многозначными) переменными при оценке взаимодействия объектов, представленных векторами. К тому же две одинаковые численные оценки не означают идентичности двух расстояний при взаимодействии трех объектов в пространстве. Например: d(a,b) = 0011 = 2, d(a,c) = 1100 = 2, при a = 0000, b = 1100, c = 0011. Поэтому к скалярной оценке необходимо иметь векторный эквивалент критерия качества взаимодействия, который показывает структуру сходства и различия по всем параметрам (переменным) векторов.

Вычислить критерий – значит определить степень принадлежности или непринадлежности данного процесса или явления, в том числе к некоторому классу объектов. Такая классификация, путем сравнения анализируемого объекта с семейством, но представленным в форме одного обобщенного вектора, дает возможность существенно повысить быстродействие задач анализа структур данных. Для этого необходимо создавать иерархические форматы структур данных, ориентированные на компактное представление специальным образом закодированных объектов. При представлении объекта киберпространства совокупностью теоретико-множественных или кубитных переменных структура вектора делится на сегменты, соответствующие кубиту. Кубитная переменная (кубит) – совокупность n двоичных разрядов, необходимых для унитарного кодирования n примитивов и булеана порожденных символов. Формы представления вектора кубитных переменных: символьная и/или кубитно-двоичная, ориентированы на параллельное выполнение теоретико-множественных операций $(\cap, \cup, \tilde{m})$ с помощью алгебры векторной логики $(\wedge, \vee, \overline{m})$ [11]. Примеры таких операций в упомянутых форматах представлены ниже:

| | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $m =$ | Y | A | B | S | P | L | E | Q |
| $A =$ | H | S | J | L | E | L | F | C |
| $\cap =$ | H | Q | J | S | E | L | ∅ | ∅ |
| $m =$ | 1111 | 1100 | 0011 | 1001 | 0110 | 1101 | 0100 | 1000 |
| $A =$ | 0010 | 1001 | 0001 | 1101 | 0100 | 1101 | 1011 | 0111 |
| $\vee =$ | 0010 | 1000 | 0001 | 1001 | 0100 | 1101 | 0000 | 0000 |
| $m =$ | Y | A | B | S | P | L | E | Q |
| $\tilde{m} =$ | ∅ | B | A | P | S | H | F | C |
| $m =$ | 1111 | 1100 | 0011 | 1001 | 0110 | 1101 | 0100 | 1000 |
| $\overline{m} =$ | 0000 | 0011 | 1100 | 0110 | 1001 | 0010 | 1011 | 0111 |

При анализе кубитно-двоичных форм представления объектов в целях определения расстояний между ними необходимо учитывать: 1) Кодовое расстояние формируется при наличии хотя бы одного кубита, равного нулю по всем его координатам. 2) В противном случае вычисляются функции принадлежности на основании подсчета общего числа единиц, полученного при выполнении векторной операции конъюнкции, отнесенных к количеству единиц каждого из векторов, соответствующих двум различным объектам киберпространства. 3) Xor-сумма расстояний объектов, составляющих цикл, равна вектору, составленному из нулевых кубитов. 4) Xor-сумма всех примитивов кубита равна вектору, имеющему все единичные координаты. 5) Формирование многозначных сигнатур на основе кубитных структур данных может существенно расширить область применения аппарата xor-полиномов с нелинейными обратными связями. 6) Неструктурированное множество примитивов, самоорганизующееся в процессе моделирования или решения конкретной задачи, существенно уменьшает объем моделей и время их создания. 7) Реализация дерева классификации и процедур его анализа значительно сокращает объем структур данных, а также время решения соответствующих задач. Пример такого дерева представлен на рис. 3, которое, благодаря бинарности, выполняет классификацию (спуск по дереву) за минимальное число шагов вычислительной процедуры.

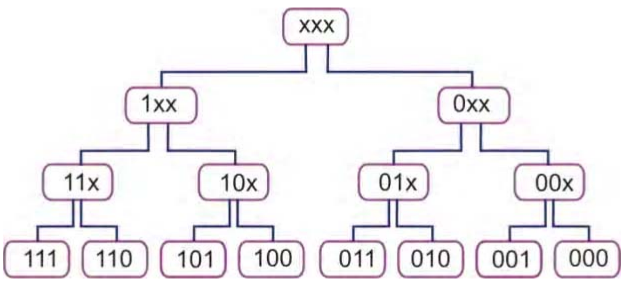



Рис.3. Пример классификационного бинарного дерева

Процедура классификации: 1) Анализ i-го разряда входного вектора m по правилам

$$P = \begin{cases} P^0 \leftarrow m_i \oplus A_i = 0; \\ P^1 \leftarrow m_i \oplus A_i = 1 \end{cases}$$

для выбора левой или правой ветви вершины дерева. Здесь множество A определяет обобщенные коды-сигнатуры, а также конечные вершины дерева. 2) Анализ заканчивается положительно, если обработаны все разряды входного вектора, который идентифицирован существующим аналогом в библиотеке. В противном случае объект не может быть идентифицирован в рамках системы, которая должна быть расширена. 3) Если результат анализа имеет неоднозначность по отношению к 0 и 1, то объект идентифицируется уже не примитивом, а классом (подклассом). Время выполнения процедуры классификации определяется выражением: $T = \log_2 N$ , что является заслугой избыточных вершин, позволяющих систему из N отношений (нижний уровень кодов) представить в виде древовидной структуры.

### 3. Заключение

*Предложена* модифицированная модель критерия скалярного и векторного качества оценивания бинарных отношений, которая отличается использованием функции непринадлежности и кодового расстояния Хэмминга, что обеспечивает линейность изменения численного значения критерия от 0 до 1 по мере увеличения «расстояния» от полного совпадения двух объектов до максимально возможного, когда кодовое расстояние равно $d(m, A) = k$. Критерий может быть использован при оценивании взаимодействия объектов в реальном масштабе времени в задачах отслеживания цели, движения по заданному маршруту, диагностирования функциональных нарушений, поиска, распознавания и принятия решений.

*Практическая значимость* – существенное повышение быстродействия при решении задач анализа процессов и явлений в киберпространстве и других задач дискретной оптимизации упрощения системы команд и процедур при вычислении критериев путем параллельного выполнения векторных логических операций.

**Список литературы:** **1.** *Инфраструктура* мозгоподобных вычислительных процессов / М.Ф. Бондаренко, О.А. Гузь, В.И. Хаханов, Ю.П. Шабанов-Кушнаренко. Харьков: Новое слово, 2010. 160 с. **2.** *Хаханов В. И., Литвинова Е. И., Чумаченко С. В., Гузь О.А.* Логический ассоциативный вычислитель. Электронное моделирование. 2011. № 1. С. 73-90. **3.** *Hahanov V., Wajeb Gharibi, Litvinova E., Chumachenko S.* Information analysis infrastructure for diagnosis. Information. An international interdisciplinary journal. 2011. Japan. Vol. 14. No 7. P. 2419-2433. **4.** *Хаханов В.И.* Проектирование и тестирование цифровых систем на кристаллах / В.И. Хаханов, Е.И. Литвинова, О.А. Гузь. Харьков: ХНУРЭ, 2009. 484с. **5.** *Stig Stenholm, Kalle-Antti Suominen.* Quantum approach to informatics. Published by John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey. 2005. 238p. **6.** *Акритас А.* Основы компьютерной алгебры с приложениями: Пер. с англ. / А. Акритас. М.: Мир, 1994. 544 с. **7.** *Аттетков А.В.* Методы оптимизации / А.В. Аттетков, С.В. Галкин, В.С. Зарубин. Москва: Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана. 2003. 440 с.

*Поступила в редколлегию 22.09.2011*

**Хаханов Владимир Иванович**, декан факультета компьютерной инженерии и управления, 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.

**Мурад Али А.**, аспирант кафедры АПВТ ХНУРЭ. Научные интересы: компьютерные системы и сети. Адрес: Украина, 61166, Харьков, пр. Ленина, 14, тел. 70-21-326.

**Baghdad Ammar Avni Abbas,** аспирант кафедры АПВТ ХНУРЭ. Научные интересы: компьютерные системы и сети. Адрес: Украина, 61166, Харьков, пр. Ленина, 14, тел. 70-21-326.

**Гузь Олеся Алексеевна,** канд. техн. наук, доцент кафедры СКС Донецкой Академии автомобильного транспорта. Научные интересы: техническая диагностика цифровых систем. Адрес: Украина, 83086, Донецк, пр. Дзержинского, 7.

**Хаханова Ирина Витальевна**, д-р техн. наук, профессор кафедры АПВТ ХНУРЭ. Научные интересы: техническая диагностика цифровых систем. Адрес: Украина, 61166, Харьков, пр. Ленина, 14, тел. 70-21-326.