

КОМПЬЮТЕРНАЯ ИНЖЕНЕРИЯ И ТЕХНИЧЕСКАЯ ДИАГНОСТИКА



УДК 681.321:519.713

КОЛИЧЕСТВЕННЫЕ ОЦЕНКИ ТЕСТОПРИГОДНОСТИ ЦИФРОВЫХ УСТРОЙСТВ НА СХЕМОТЕХНИЧЕСКОМ УРОВНЕ

КРИВУЛЯ Г. Ф., АЛЬ – МАТАРНЕХ РАМИ,
ШКИЛЬ А. С.

Рассматривается выбор и вычисление оценок тестопригодности для цифрового устройства, которые характеризуют затраты на построение диагностического обеспечения (ДО) и позволяют определить участки схемы, вызывающие трудности при цифровом диагностировании детерминированными методами.

Моделью устройства при подсчете таких оценок является граф, узлы которого – простейшие элементы (ПЭ) устройства, а дуги – функциональные связи между ПЭ. Вершина графа ассоциируется не с корпусом микросхемы, а с группой функционально связанных ее выходов. Один и тот же выход может входить только в одну группу, а некоторый вход – в различные группы входов. Для каждого ПЭ задается кубическое и D – покрытие (пример покрытий для D – триггера приведен в табл. 1).

Для подсчета оценок тестопригодности цифрового устройства введем ряд коэффициентов, характеризующих ПЭ:

W – коэффициент абсолютной сложности ПЭ, который для одновыходовых ПЭ относится к самому элементу, а для многovýchодовых – к его выходу; V – коэффициент сложности транспортирования сигнала через ПЭ, который определяет затраты на продвижение сигнала от внешнего входа элемента до его выходов с учетом сложности ПЭ.

Указанные коэффициенты более точно характеризуют затраты на построение ДО детерминированными методами и требуют меньших затрат на подсчет, чем известные управляемость и наблюдаемость [1,2]. Это обусловлено двумя причинами. Во – первых, для многovýchодовых ПЭ количество альтернативных вариантов подсчета 0 (1) управляемости становится соизмеримым со сложностью проведения прямой (обратной) импликации. При этом требуются значительные затраты памяти для хранения всех промежуточных результатов. Во – вторых, управляемость и наблюдаемость не учитывают сложность самого ПЭ, а определяются лишь минимальным или максимальным значением. Следствием этого может

быть то, что управляемость (наблюдаемость) некоторого очень сложного ПЭ окажется соизмеримой с управляемостью (наблюдаемостью) гораздо менее сложного ПЭ. Для детерминированных методов построения ДО такое соотношение не отражает истинных затрат на обработку ПЭ различной сложности. Коэффициент W для ПЭ, закон функционирования которого задан в табличном виде (кубическое покрытие), связан с количеством строк в покрытии и количеством существенных переменных в кубах. Он может быть подсчитан по формуле

$$W = \sum_{i=1}^m P_i T_i. \quad (1)$$

Таблица 1

D-ТРИГГЕР	Входы				Выходы	
	~S	D	C	~R	Q	~Q
КУБИЧЕСКОЕ ПОКРЫТИЕ	1	X	K	1	S	S
	1	X	L	1	S	S
	1	X	L	1	B	B
	1	X	K	1	B	B
	1	0	F	1	0	1
	1	1	F	1	1	0
	1	X	X	0	0	1
	0	X	X	1	1	0
	0	X	X	0	1	1
	0	X	X	1	1	0
D-ПОКРЫТИЕ	1	X	K	D	D	D
	1	X	X	0	0	1
	D	X	K	1	D	D
	1	D	F ₂	1	D ₂	~D ₂
	0	X	X	1	1	0
	1	0	~D	1	D	~D
	1	X	X	0	0	1
	1	1	~D	1	~D	D
	1	0	F	1	0	1
	1	1	~D	1	~D	D
	1	1	F	1	1	0
	1	0	~D	1	D	~D
	1	0	~D	1	D	~D
V-коэффициент транспортируемости	6	8	32	6	1	1
W-коэффициент сложности	1	1	1	1	26	26

В табл. 1: X – произвольное состояние; S – сохранение состояния; L – задний фронт; F – передний фронт; B – запрещенная комбинация; K – неизменное значение на входе; ~ – инверсия, где P_i – плотность i-го куба (количество входных переменных ПЭ, не равных x); T_i – количество двоичных тактов, реализуемых некоторым кубом покрытия; m – количество кубов в покрытии.

Так как не все входы ПЭ одинаково влияют на его выход, введем нормирующий коэффициент R_t, характеризующий весомость некоторого входа ПЭ:

$$R_t = \frac{\sum_{i=1}^m L_i T_i}{\sum_{i=1}^m T_i}, \quad (2)$$

где t = $\overline{1, n}$; n – количество входов ПЭ;

$$L_i = \begin{cases} 1 & \text{при } a_{it} \neq x, \text{ } a_{it} - \text{элемент некоторого куба;} \\ 0 & \text{при } a_{it} = x. \end{cases}$$

Для многовыходовых схем коэффициент W под- считывается для каждого выхода по формуле (1), но суммирование производится только по тем кубам, значение выхода которых не равно X . Таким обра- зом, для каждого ПЭ формируется вектор – строка, на координатах выходов которой располагаются W_j , а на координатах входов – нормирующие коэффи- циенты R_t .

Перед изложением способа подсчета V для ПЭ отметим, что в общем случае существует несколько условий транспортирования от некоторой входной переменной ПЭ к его выходам. При подсчете коэф- фициента V для каждого условия транспортирования можно подсчитать свою сложность и соответственно иметь несколько коэффициентов V , которые в даль- нейшем будем называть альтернативными.

Такой подход аналогичен подсчету управляемо- сти схемы. Если рассматривать табличный способ задания закона функционирования ПЭ, то отображе- нием понятия условия транспортирования (условие активизации) на языке кубических покрытий явля- ется D – куб (D – вектор). Для комбинационных схем (КС) условие транспортирования записывается в виде одного D – куба, а для последовательностных схем – в виде кратного D – куба или неразрывного сегмента (НС) [3]. В этом случае плотностью D – куба P_i назовем количество его входных координат, кроме активной, не равных x . Плотность двоичного куба, входящего в НС, аналогична предыдущему опреде- лению плотности. Под T_i в случае анализа условия транспортирования будем понимать количество дво- ичных тактов, деленное на 2, за которое осуществ- ляется продвижение символа активизации от внешней входной переменной ПЭ до его выходов. Если же условие транспортирования записано в виде не- нескольких кубов (D – кубов), то T_i считается для

каждого куба своим, $i = \overline{1, B}$, где B – количество кубов в НС. Деление на 2 необходимо в связи с тем, что для простоты вычисления реализация D – вектора принята за 1 временной такт.

Определим затраты на транспортирование сигнала через ПЭ по некоторому j – му входу ($j = \overline{1, n}$), где n – количество внешних входов схемы, по следующей формуле:

$$V_j = \sum_{i=1}^G \sum_{i=1}^B f_1 \cdot P_{i,1} \cdot f_2 \cdot T_{i,1} \quad ; \quad (3)$$

здесь B – количество кубов в первом условии транспортирования; G – количество условий транс- портирования; f_1, f_2 – нормирующие коэффициенты, задающие соотношения между ценой затрат машин- ного времени и оперативной памяти при реализации детерминированного алгоритма активизации путей в схеме. В простейшем случае $f_1 = f_2 = 1$. Для комбина- ционных схем $T_{i,1} = 1$. Если же рассматривать несум- марный коэффициент сложности транспортирова- ния отдельно, то формула (3) преобразуется к следу- ющему виду:

$$V_j = \sum_{i=1}^B f_1 \cdot P_i \cdot f_2 \cdot T_i \quad . \quad (4)$$

Аналогично введению коэффициента нормиров- ки входов R_t введен коэффициент нормирования выходов $S(t = \overline{1, k})$, где k – количество выходов ПЭ. Коэффициент S_t указывает степень существенности по D различных выходов в каждой группе выходов. Для каждого выхода подсчитывается количество символов D на j – м входе, а затем среди всех сумм выбирается максимальная. Тогда формула вычисле- ния S_t будет следующей:

$$S_t = \frac{\sum_{i=1}^m l_{i,t}}{\max \left(\sum_{i=1}^m l_{i,t} \right)} \quad , \quad (5)$$

$$L_{i,t} = \begin{cases} 1, & \text{если } a_{i,t} = D \text{ или } a_{i,t} = \bar{D} \quad ; \\ 0 & - \text{в противном случае,} \end{cases}$$

$a_{i,t}$ – значение координаты покрытия t -го столбца i -й строки. Отметим, что $0 \leq S_t \leq 1$.

Таким образом, каждому D – покрытию можно поставить в соответствии вектор – строку, в которой на координатах входов ПЭ находятся коэффициенты V_j , а на координатах выходов – коэффициенты S_t .

Коэффициенты W_j и V_j для D – триггера приве- дены в табл. 1.

Существует ряд стратегий подсчета транспортиру- емости схемы цифрового устройства. В основе любой стратегии подсчета транспортируемости V , аналогич- но управляемости или наблюдаемости, лежит выбор минимальной, максимальной или усредненной сум- мы частотных коэффициентов на каждом простей- шем элементе схемы. Если выбирается минимум, то данный расчет показывает лучший случай соотноше- ния сигналов при анализе схемы. Если выбирается максимум, то рассчитывается худший случай соотно- шения сигналов в схеме. При выборе усредненного значения рассматривается средний случай между минимумом и максимумом.

Здесь и в дальнейшем все подсчеты будут вестись для лучшего случая и соответственно выбираться будет минимум. Эти соотношения будут указывать на минимально возможные затраты при анализе цифрового устройства. Отметим, что C_j^i – затраты на транспортирование сигнала для i – го входа ПЭ (при вычислениях C_j для j – го выхода ПЭ); V^c – коэффи- циент транспортирования через ПЭ без учета слож- ности самого ПЭ;

$$V_i^c = L_i T_i,$$

где $i = \overline{1, n}$; n – количество входов ПЭ; T_i – количество тактов для транспортирования по i – му внешнему входу на выход;

$$L_i = \begin{cases} 0, & \text{если } i - \text{й вход несущественен в некотором} \\ & \text{условии транспортирования,} \\ 1, & \text{если } i - \text{й вход существенен в условии} \\ & \text{транспортирования.} \end{cases}$$

Рассмотрим две стратегии подсчета C_j для некото- рого ПЭ. Одну из них назовем альтернативной, другую – интегральной.

Альтернативная стратегия заключается в том, что каждое условие транспортирования для j – го выхода ПЭ записывается в виде отдельной альтернативы.

Для каждой из альтернатив вычисляются затраты на транспортирование C^a :

$$C_k^a = \sum_{i=1}^n C_i^t V_i^c, \quad (6)$$

где k – номер альтернативы. Затем вычисляется C_j , как цена лучшей альтернативы:

$$C_j = \min C_k^a, \quad (k = \overline{1, A}) ; \quad (7)$$

здесь A – общее количество альтернатив для j -го выхода.

По альтернативной стратегии вычисляются управляемость и наблюдаемость в известных методах. К ее недостаткам можно отнести, во – первых, сложность составления отдельных альтернатив и трудности автоматизации этого процесса; во – вторых, данная стратегия не учитывает сложности самого ПЭ. Для очень сложного ПЭ может существовать одно простое условие транспортирования и оно будет выбрано при вычислении C_j по формуле (7). В результате функционально очень сложный участок, для которого существует много различных альтернатив транспортирования, по затратам C_j окажется соизмеримым с простейшим участком схемы, имеющим только одну альтернативу. Область применения указанной стратегии – это анализы схемы для ручного построения тестов, сложных ПЭ для их функционального тестирования, участков схемы для их последующей реконфигурации.

Применение альтернативной стратегии для оценки затрат на анализ схемы детерминированными методами не дает нужного результата, так как в этом случае происходит перебор всех условий транспортирования, на что необходимы ресурсы времени и оперативной памяти. Поэтому при анализе затрат на детерминированный метод построения ДО необходимо применять иную стратегию, которая бы учитывала все условия транспортирования, существующие для рассматриваемого ПЭ.

Сущность интегральной стратегии заключается в том, что для каждого i – го входа ПЭ подсчитывается коэффициент V_i . Подсчет может вестись по формуле (3) или по какому – либо другому методу, если закон функционирования ПЭ задан не в табличном виде. В этом случае вычисляются C^s – затраты на транспортирование от каждого существенного входа до j – го выхода ПЭ и затем из всех

$$C_i^s = V_i + C_i^t \quad (i = \overline{1, k}),$$

где k – количество существенных входов ПЭ, выбирается лучшая:

$$C_j = \min C_i^s. \quad (8)$$

Понятие существенности входа связано со стратегией подсчета C_j для всех линий схемы. Если, допустим, считается C_j для некоторой линии схемы

(относительно внешних выходов), то на K – м ПЭ существенными окажутся те внешние входы, в собственные подграфы которых входит j – я линия. Если в рассмотренном случае схема имеет древовидную структуру, то выбор $\min C_i^s$ производиться не будет, так как на каждом ПЭ будет только по одному существенному входу ($i=1$).

Рассмотрим применение интегральной стратегии для подсчета транспортируемости при табличном способе задания закона функционирования ПЭ. Для каждого ПЭ схемы вычисляются коэффициенты W и V по таблицам, отображающим закон функционирования схемы. Для каждой линии схемы вычисляется ее абсолютный вес по коэффициентам W для всех ПЭ. При этом веса W для линий внешних входов принимаются равными 1. Для вычисления W_j ($i = \overline{1, B}$, где B – количество линий схемы) справедлива следующая формула:

$$W_j = \sum_{i=1}^n W_i R_i + W_j^{собр} ; \quad (9)$$

здесь n – количество входов ПЭ. В формуле (9) $W_j^{собр}$ – сложность выхода ПЭ, соответствующего j – й линии схемы, предварительно вычисляемая по той же формуле для отдельного ПЭ. Сложность транспортирования для j – й линии схемы вычисляем следующим образом:

$$C_j = \min (C_k^t + V_k S_j + \sum_{i=1, i \neq k}^n W_i) \quad (k = \overline{1, m}), \quad (10)$$

где m – число существенных входов ПЭ. Формула (9) может иметь и другой вид:

$$C_j = \min ((C_k^t + V_k) S_j + \sum_{i=1, i \neq k}^n W_i) \quad (k = \overline{1, m}). \quad (11)$$

Интегральная стратегия подсчета затрат на транспортирование C_j используется для подсчета двух характеристик транспортирования $C_{пр}$ и $C_{обр}$. $C_{пр}$ характеризует затраты на транспортирование от любого из внешних входов до j – й линии схемы, т. е. минимальные затраты, с помощью которых можно активизировать линию j . Эта оценка по своим свойствам аналогична управляемости. При подсчетах $C_{пр}$ в начале существенными принимаются все входные линии схемы. Поэтому при подсчете $C_{пр}$ в формуле (11) принимаем количество внешних входов ПЭ $m=n$. $C_{обр}$ показывает затраты на транспортирование от j – й линии схемы до любого из ее внешних выходов. Подсчитывается $C_{обр}$ движением по схеме также от входов к выходам, а линии перебираются в порядке, обратном уровням срабатывания (рангом схемы). При подсчете $C_{обр}$ для меньших рангов учитывается $C_{обр}$ для более высоких рангов схемы, которое уже подсчитано. По своим свойствам $C_{обр}$ аналогично наблюдаемости линии схемы. При подсчете $C_{обр}$ для j – й линии схемы при

анализе K -го ПЭ (более высокого ранга, чем линия j) на K -м ПЭ существенными выбираются те входы, в собственные подграфы которых входит линия j .

К недостаткам интегральной стратегии можно отнести, во-первых, то, что она дает несколько завышенную оценку сложности транспортирования сигналов в цифровых схемах (вследствие учёта перебора всех альтернатив на каждом ПЭ). Во-вторых, получаемые по ней оценки не применимы к реконфигурации схемы. Реконфигурированная по таким оценкам схема станет проще для анализа детерминированным методом, а сложность диагностирования схемы в целом может возрасти. С точки зрения последующей реконфигурации схемы альтернативная стратегия дает более адекватные результаты.

Рассмотрим применение альтернативной стратегии для табличного способа задания закона функционирования ПЭ. Предположим, что таблица, описывающая ПЭ в виде кубического покрытия, содержит n столбцов (по числу внешних входов ПЭ) и m строк. Элемент a_{ij} кубического покрытия соответствует i -му столбцу ($i = 1, n$) и j -й строке ($j = 1, m$). Формула (6) может быть представлена в следующем виде:

$$C_j^a = \sum_{i=1}^n L_i^t T_i, \quad (12)$$

где C^t обозначает 0 – управляемость (C^0); 1 – управляемость (C^1) или транспортируемость (C^T), т.е. $t = \{0, 1, T\}$; L_i^t – коэффициент существенности, который для различных значений t вычисляется по формулам:

$$L_i^0 = \begin{cases} 0, & \text{если } a_{ij} \neq 0, \\ 1, & \text{если } a_{ij} = 0, \end{cases}$$

$$L_i^1 = \begin{cases} 0, & \text{если } a_{ij} \neq 1, \\ 1, & \text{если } a_{ij} = 1, \end{cases} \quad (13)$$

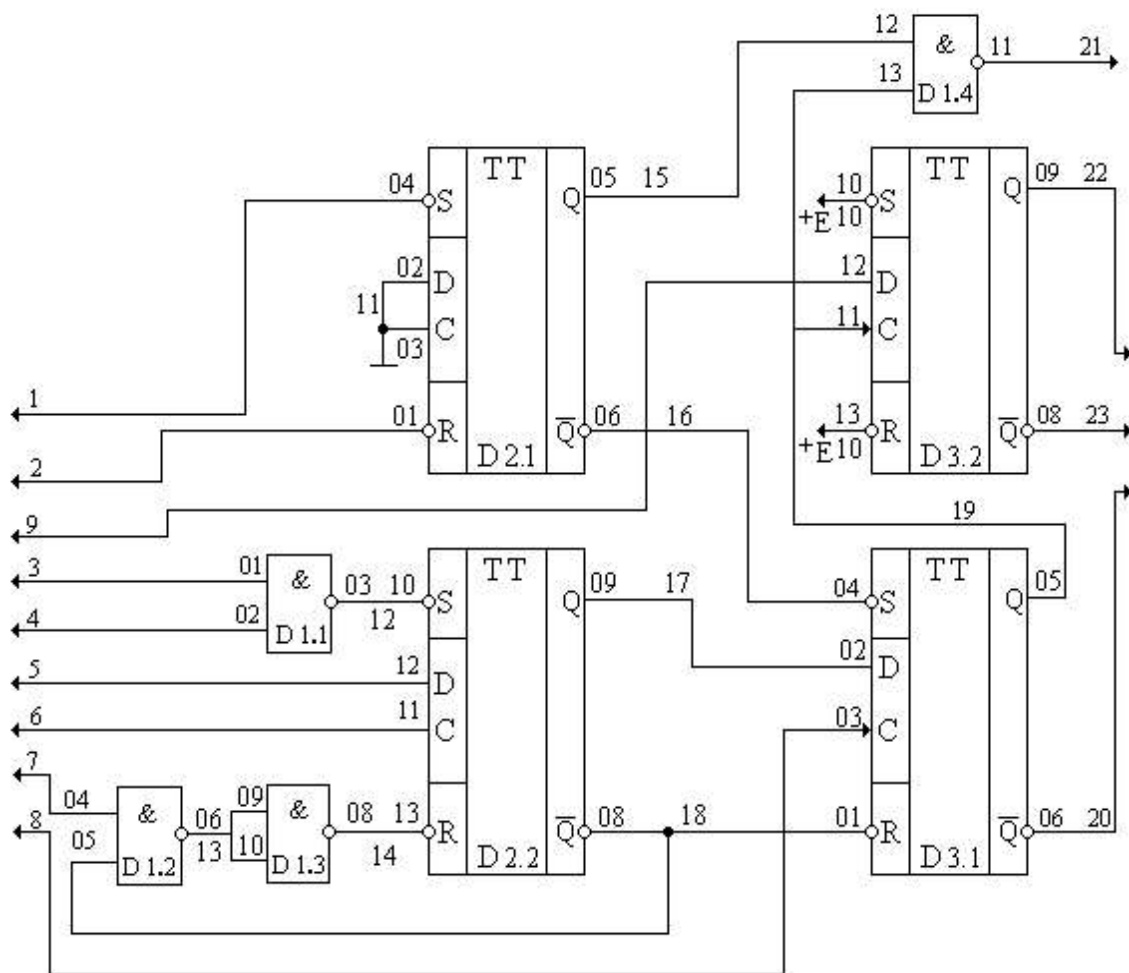
$$L_i^t = \begin{cases} 0, & \text{если } a_{ij} = x, \\ 1, & \text{если } a_{ij} \neq x. \end{cases}$$

Значение T_i характеризует количество тактов, реализуемое соответствующим символом алфавита a_{ij} .

При нахождении оптимальной стратегии выбирается минимум или максимум альтернативы для ПЭ:

$$C^a = \text{opt } C_j^a. \quad (14)$$

Достоинством методики подсчета C^a по формуле (14) является, во-первых, ее универсальность по вычислению управляемости, наблюдаемости или транспортируемости; во-вторых, при реализации данного подхода нет необходимости записывать специальные аналитические выражения для определения C^a .



Фрагмент цифровой схемы

Таблица 2

Номер линии	C_0	C_1	O	W	$C_{пр}$	$C_{обр}$
1	1	1	13	1	1	97
2	1	1	13	1	1	97
3	1	1	10	1	1	175
4	1	1	10	1	1	175
5	1	1	14	1	1	180
6	1	1	23	1	1	204
7	1	1	16	1	1	176
8	1	1	26	1	1	142
9	1	1	28	1	1	119
10	1	1	1	1	1	1
11	1	1	1	1	1	1
12	3	2	8	6	3	173
13	8	2	9	44	3	132
14	3	9	8	48	4	131
15	3	3	11	28	8	112
16	3	3	14	28	8	89
17	6	13	12	82	11	119
18	13	6	4	82	11	117
19	17	10	4	111	97	29
20	10	17	1	111	97	1
21	14	4	1	139	119	1
22	29	29	1	138	119	1
23	29	29	1	138	119	1

УДК 007.52;519.7

МЕТОДЫ ИНТЕГРАЦИИ СЕТЕВЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ НА ОСНОВЕ СОЧЕТАНИЯ ОБЪЕКТНО-ОРИЕНТИРОВАННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ И ЯЗЫКОВ РАЗМЕТКИ ТЕКСТА

ЕВСЮКОВ А.Ю.

Используются технология объектно-ориентированного программирования и Internet технологии для построения сетевых систем с гетерогенным информационным обменом.

На сегодняшний день World Wide Web (WWW) представляет собой колоссальное хранилище информации, которое основано на множестве синтаксически структурированных HTML страниц, ссылающихся друг на друга и на файлы данных самых разнообразных форматов. Быстрое развитие спецификации HTML (и WWW в целом) обусловлено правилами обработки разметки текста, позволяющими игнорировать неизвестные элементы. Целью введения такого способа работы с неизвестной разметкой было предоставить группам разработчиков и производителям программного обеспечения возможность экспериментировать с новыми языковыми элементами, обеспечивая частичную совместимость с предыдущими версиями Internet браузеров. Однако

В табл. 2 приведены оценки 0 и 1 – управляемости (C^0 , C^1), наблюдаемости (O), абсолютного веса W, затрат на транспортирование $C_{пр}$ и $C_{обр}$ для схемы, представленной на рисунке.

Литература: 1. Горяшко А. П. Синтез диагностируемых схем вычислительных устройств. М.: Наука, 1987. 188с. 2. Spillman R., Glaser N., Peterson D. Development of a general testability figure of merit, IEEE. International conference of computer aided design, Santa – Clara/ 1983, P. 34–35. 3. Кузуб В. А., Кривуля Г. Ф., Шкиль А. С. Генерация тестов в системе автоматизированного проектирования диагностического обеспечения // Управляющие системы и машины. 1987. N4. С.44–47.

Поступила в редколлегию 22.11.1998

Рецензент: д-р техн. наук, проф. Хаханов В.И.

Кривуля Геннадий Федорович, д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой АПВТ ХТУРЭ. Научные интересы: техническая диагностика, системы автоматизированного проектирования цифровых устройств. Хобби: автомобилизм, туризм, рыбная ловля. Адрес: Украина, 310726, Харьков, пр. Ленина, 14, тел. (0572) 40-93-26.

Аль – Матарнех Рами, аспирант кафедры АПВТ ХТУРЭ. Научные интересы: искусственный интеллект и экспертные системы. Хобби: спорт и чтение научной литературы. Адрес: Украина, 310726, Харьков, пр. Ленина, 14, тел. (0572) 40-93-26.

Шкиль Александр Сергеевич, канд. техн. наук, доцент кафедры АПВТ ХТУРЭ. Научные интересы: техническая диагностика, автоматизированные обучающие системы. Хобби: теннис. Адрес: Украина, 310726, Харьков, пр. Ленина, 14, тел. (0572) 40-93-26.

каждое новое расширение, предложенное одним из производителей, в большинстве случаев не могло быть корректно обработано альтернативными браузерами, потому что разметка текста в HTML оторвана от его семантики и, в силу этого, из-за нечеткости в определении правил игнорирования для каждого нового элемента разметки. Таким образом, каждое новое свойство HTML может широко применяться только после утверждения его в очередной версии языкового стандарта.

Отсутствие достаточных средств для структурной организации, расширяемости, проверки правильности электронных документов приводит к тому, что инфраструктура Web всё чаще не может удовлетворить современные нужды электронного издательства, корпоративных информационных систем и систем электронной коммерции. Для удовлетворения растущих потребностей коммерческого использования Web и возможности дальнейшего расширения Web-технологий в новых областях распределенной обработки документов World Wide Web Консорциум разработал Extensible Markup Language (XML) для приложений, которые требуют функциональных возможностей, выходящих за рамки Hypertext Markup Language (HTML)-формата, доминирующего в настоящее время в Internet. По-другому складывается ситуация в сфере распределенных объектных систем.

Технология объектно-ориентированного программирования (ООП) явилась первым шагом на пути разрешения проблем, связанных с созданием сложных программных систем. Использование объектно-ориентированной технологии было вызвано необхо-