УДК 004.05

В. А. РОМАНКЕВИЧ [1], К. В. МОРОЗОВ [1], А. П. ФЕСЕНЮК [2]

[1] ***Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт»***
[2] ***Горловский региональный институт Университета «Украина»***

ОБ ОДНОМ МЕТОДЕ МОДИФИКАЦИИ РЕБЕРНЫХ ФУНКЦИЙ GL-МОДЕЛЕЙ

В работе предложен метод преобразования циклических графо-логических моделей, отражающих поведение отказоустойчивых многопроцессорных систем в потоке отказов, путем модификации их реберных функций. Приведены и доказаны оценки для множества блокируемых векторов состояния системы (т.е. таких векторов, на которых поведение модифицированной модели будет отличаться от базовой). Приведены также оценки для множества блокируемых векторов служебной модели, используемой при построении реберных функций базовой модели. Приведен пример модификации с моделированием предлагаемого метода. Полученное множество блокируемых векторов подтверждает соответствие теоретических оценок практическому результату.

***Ключевые слова**: графо-логические модели, реберные функции, отказоустойчивые многопроцессорные системы, надежность.*

Введение

В современном мире все больше и больше объектов и систем из различных отраслей используют системы управления (СУ), построенные на основе микропроцессоров. Для простых объектов СУ обычно состоят из одного микропроцессора. Однако, для более сложных объектов СУ строятся на основе нескольких процессоров, что позволяет повысить ее производительность, а при необходимости и надежность [1].

Для некоторых объектов, выход из строя которых может привести к значительным последствиям (угроза здоровью или жизни человека, ущерб экологии, значительные материальные потери) важно обеспечить достаточный уровень надежности, это относиться и к их СУ. Для решения этой задачи СУ может строиться на основе отказоустойчивой многопроцессорной системы (ОМС). Такая система остается работоспособной даже при выходе из строя нескольких ее процессоров [2].

Для разработчика СУ на этапе проектирования необходимо проводить оценку ее показателей надежности и в случае неудовлетворительных результатов принимать меры для их повышения. Известно несколько методов расчета надежности ОМС. Мы будем ориентироваться на использование GL-моделей [3], которые позволяют моделировать поведение ОМС в потоке отказов, что в свою очередь позволяет выполнять расчеты надежности статистическим методом, путем выполнения статистических экспериментов с моделями.

GL-модель представляет собой граф переменной структуры, каждому ребру которого соответствует некоторая логическая функция (реберная функция), зависящая от вектора состояния системы – вектора, состоящего из булевых переменных. Каждая такая переменная x_i, соответствует состоянию одного из процессоров системы (1 – процессор исправен, 0 – процессор неисправен). Если некоторая функция принимает нулевое значение, то соответствующее ей ребро исключается из графа. Связность графа соответствует работоспособности системы.

1. Постановка задачи

В [4, 5] предложен метод построения GL-моделей так называемых базовых систем на основе циклических графов. Базовая – это ОМС, состоящая из n процессоров, которая остается работоспособной до тех пор, пока из строя не выйдут больше, чем m из них [6]. Базовым ОМС соответствуют базовые GL-модели. Базовые системы и модели будем обозначать K(m,n).

Реальные СУ часто отличаются от базовых. Такие системы и соответствующие им модели называются небазовыми. Например, для повышения надежности базовой K(m,n) системы разработчик может модифицировать ее так, что она будет оставаться работоспособной даже при выходе из строя некоторых наборов из m+1 процессоров и таким образом станет небазовой. При этом необходимо модифицировать и модель так, чтобы ее поведение оставалось адекватным поведению системы. Данная задача может решаться по нескольким направлениям: проведением дополнительных ребер в графе модели и модификацией реберных функций, а также их комбинацией. К настоящему времени первое направление уже достаточно хорошо исследовано и задача построения таких моделей практически решена [6]. Второе направление не предполагает изменение структуры графа. Исследование этого альтернативного направления представляет интерес.

В качестве отправной точки для дальнейших исследований может быть выбрана модификация одной реберной функции модели. Исследование свойств такой модификации позволит, с одной стороны, построить новым способом модели, адекватные некоторому множеству небазовых систем. С другой стороны, полученные результаты могут послужить основой для дальнейших исследований.

В настоящей работе ставится задача осуществления простого, но в то же время достаточно эффективного метода модификации одной реберной функции базовой модели и исследования свойств полученных моделей.

2. Суть метода и свойства получаемых моделей

Рассмотрим модель K(m,n). Согласно алгоритму, предложенному в [5] при ее построении множество входных переменных разбивается на 2 части. Далее строятся аналогичные модели для этих частей, для чего, при необходимости, подмножества также разбиваются. Следует заметить, что некоторые реберные функции могут зависеть не от всех входных переменных.

Модель K(m,n), построенная по методу, описанному в [5] содержит реберные функции вида $f_p = \kappa_1(i, n_1) \vee \kappa_2(m-i, n_2)$. Для такой функции можно выделить 3 непересекающихся подмножества входных переменных: V_1, V_2 и V_3, где V_1 и V_2, соответствуют разбиению входного множества, а V_3 соответствует переменным, от которых функция не зависит (может быть пустым). Мощности подмножеств обозначим соответственно n_1, n_2 и n_3. При этом этом выражение $\kappa_1(i,n_1)$ соответствует конъюнкции выражений реберных функций модели $K_1(i,n_1)$, построенной для подмножества V_1. Аналогично $\kappa_2(m–i,n_2)$ соответствует конъюнкции выражений реберных функций модели $K_2(m–i,n_2)$, построенной для подмножества V_2.

В [7] было доказано, что рассматриваемая модель K(m,n) на векторах с l нулями теряет ровно φ(m,l) ребер, где:

$$\varphi(m,l) = \begin{cases} 0, \text{ при } l < m, \\ l - m + 1, \text{ при } l \geq m. \end{cases} \quad (1)$$

Конъюнкция $\kappa_1(i,n_1)$ принимает нулевое значение, тогда и только тогда, когда у модели $K_1(i,n_1)$ хотя бы одна реберная функция принимает нулевое значение, т.е., исходя из (1) для количества нулей l_1 в подмножестве V_1 справедливо $l_1 \geq i$. Аналогично конъюнкция $\kappa_2(m–i,n_2)$ принимает нулевое значение, тогда и только тогда, когда для количества нулей l_2 в подмножестве V_2 справедливо $l_2 \geq m–i$.

Для модификации модели K(m,n) предлагается в реберной функции f_p некоторым образом модифицировать выражение $\kappa_1(i,n_1)$, получив вместо нее выражение $\kappa_1'(i,n_1)$, которое отличается от оригинального тем, что не принимает нулевого значения на некотором множестве подвекторов с l_1=i нулями. Таким образом, в результате замены в исходной модели функции f_p на другую функцию $f_p' = \kappa_1'(i, n_1) \vee \kappa_2(m-i, n_2)$, получим модифицированную модель K'(m,n).

Перейдем к рассмотрению некоторых свойств модифицированной модели.

Поведение модифицированной модели будет отличаться от поведения базовой модели со степенью отказоустойчивости m, на основе которой она была получена, на некотором множестве входных векторов, содержащих m+1 ноль. На этих векторах граф базовой модели потеряет связность, а граф модифицированной модели связности терять не будет. Такие векторы будем называть блокируемыми [8].

Пусть в соответствии с описанным выше разбиением множества входных переменных на подмножества V_1, V_2 и V_3 входной вектор v с l нулями и длиной n разбит на подвекторы v_1, v_2 и v_3. При этом длины этих векторов соответственно равны n_1, n_2 и n_3. Эти подвекторы содержат соответственно l_1, l_2 и l_3 нулей. Очевидно, что $n=n_1+n_2+n_3$, а $l=l_1+l_2+l_3$.

Свойство 1

Для предложенной модификации множеством блокируемых векторов будет объединение двух подмножеств:

1. Все векторы, у которых v_1 принадлежит множеству B, v_2 – любой вектор с m–i нулями и v_3 – любой вектор с 1 нулем.

2. Векторы, у которых v_1 принадлежит множеству B, v_2 – любой вектор с m–i+1 нулями и v_3 – не содержащий нулей.

Мощность множества блокируемых векторов:

$$N = |B| \cdot \left(C_{n_2}^{m-1} \cdot n_3 + C_{n_2}^{m-i+1} \right). \quad (2)$$

Далее отметим, что рассматриваемая модель K(m,n) может использоваться в качестве служебной (промежуточной) для построения одной из реберных функции базовой модели, построенной по [5], описывающей поведение системы K(M,N) в потоке отказов. Замена модели K(m,n) на модифицированную модель K'(m,n) позволяет получить модифицированную модель K'(M,N).

Пусть к(m,n) – конъюнкция всех реберных функций модели K(m,n), а к'(m,n) – конъюнкция всех реберных функций модели K'(m,n). Для определения свойств моделей, при построении которых производится замена оригинальной подмодели K(m,n) на подмодель K'(m,n), необходимо знать множество векторов, на которых значения конъюнкций к(m,n) и к'(m,n) отличаются. Это множество является аналогом множества B для модификации модели K(M,N).

Свойство 2

Векторы, на которых значения к(m,n) и к'(m,n) будут различаться это векторы, у которых v_1 принадлежит множеству B, v_2 – любой вектор с m–1 нулями и v_3 – не содержащий нулей.

Количество таких векторов:

$$N = |B| \cdot C_{n_2}^{m-i}. \qquad (3)$$

Перейдем к доказательству справедливости сформулированных положений. Отметим, что значения функций f_p' и f_p будут различаться на некоторых векторах. Рассмотрим все возможные значения выражений $к_1(i,n_1)$, $к_1'(i,n_1)$ и $к_2(m–i,n_2)$, а также значения функций f_p' и f_p в зависимости от них (таблица 1). Отметим также, что ситуация, когда $к_1(i,n_1)=1$, а $к_1'(i,n_1)=0$ в принципе не возможна.

Таблица 1

Значения выражений и функций

$к_1(i,n_1)$	$к_1'(i,n_1)$	$к_2(m-i,n_2)$	f_p	f_p'
0	0	0	0	0
0	1	0	0	1
1	1	0	1	1
0	0	1	1	1
0	1	1	1	1
1	1	1	1	1

Таблица показывает, что значения функций f_p и f_p' отличаются только в случае одновременного выполнения трех условий: $к_1(i,n_1)=0$, $к_1'(i,n_1)=1$ и $к_2(m–i,n_2)=0$.

Первые два условия выполняются тогда и только тогда, когда $v_1 \in B$, а третье – когда $l_2 \geq m–1$. Заметим, что все векторы в B содержат i нулей, т.е. $l_1=i$.

Проанализируем поведение модели K'(m,n), полученной путем замены в модели K(m,n) реберной функции f_p на f_p'.

Состояние моделируемой системы (работоспособна/отказала) соответствует связности графа модели (связный/несвязный). Циклический граф, взятый за основу построения модели, теряет связность в случае потери любых 2 или больше ребер. Рассмотрим, для каких векторов связность графов исходной и модифицированной моделей будет различаться.

Т.к. модифицирована лишь одна из реберных функций, то различия будут только в случае, когда исходная модель теряет 2 ребра ($f_p=0$) и граф теряет связность, а модифицированная – 1 ребро ($f_p'=1$) и граф остается связным. Противоположная ситуация, когда исходная и модифицированная модели теряют соответственно 1 и 2 ребра (т.е. $f_p=1$ и $f_p'=0$), в соответствии с таблицей 1 – невозможна.

Модель K(m,n) теряет 2 ребра только тогда, когда входной вектор содержит ровно l=m+1 нулей (по (1)). При этом исходя из необходимости различия значений функций f_p и f_p' имеем дополнительные условия: $v_1 \in B$ ($l_1=i$) и $l_2 \geq m–i$.

Вспомним, что $l_1+l_2+l_3=l$. Исходя из условий: $l=m+1$, $l_1=i$, $l_2 \geq m–i$, и учитывая, что l, l_1, l_2, l_3 – целые неотрицательные числа, допустимы только два варианта:

1) $v_1 \in B$ ($l_1=i$), $l_2=m–i$, $l_3=1$,

2) $v_1 \in B$ ($l_1=i$), $l_2=m–i+1$, $l_3=0$.

Сказанное относится к векторам, соответствующим Свойству 1 модели.

Посчитаем количество таких векторов:

1. Количество векторов, $v_1 \in B$ равно мощности множества B.

2. Количество векторов v_2 с m–i нулями равно $C_{n_2}^{m-i}$.

3. Количество векторов v_2 с m–i+1 нулями равно $C_{n_2}^{m-i+1}$.

4. Количество векторов v_3 с 1 нулем равно $C_{n_3}^{1} = n_3$.

5. Количество векторов v_3 без нулей равно $C_{n_3}^{0} = 1$.

Выполнив несложные преобразования получаем:

$$N = |B| \cdot \left(C_{n_2}^{m-1} \cdot n_3 + C_{n_2}^{m-i+1} \right). \qquad (4).$$

Определим, на каких векторах значения к(m,n) и к'(m,n) будут различны. Выражения к(m,n) и к'(m,n) принимают значение 0 тогда и только тогда, когда соответственно модели K(m,n) и K'(m,n) теряют хоть одно ребро. Различия между значениями к(m,n) и к'(m,n) будут только в случае, если K(m,n) теряет одно ребро ($f_p=0$), а K'(m,n) не теряет ребер ($f_p'=1$).

Модель K(m,n) теряет 1 ребро только тогда, когда входной вектор содержит ровно l=m нулей (по (1)). При этом, исходя из необходимости различия значений функций f_p и f_p' имеем дополнительные условия: $v_1 \in B$ ($l_1=i$) и $l_2 \geq m–i$.

Исходя из условий: $l=m$, $l_1=i$, $l_2 \geq m-i$, и учитывая, что l, l_1, l_2, l_3 – целые неотрицательные числа, допустим только один вариант:

$v_1 \in B$ ($l_1=i$), $l_2=m-i$, $l_3=0$,

Сказанное относится к векторам, соответствующим Свойству 2 модели.

В свою очередь, количество таких векторов:

$$N = |B| \cdot C_{n_2}^{m-i}. \tag{5}$$

Как вариант модификации $K_1(i,n_1)$ можно выполнить просто ее замену на модель, с большей на 1 степенью отказоустойчивости, т.е. $K_1(i+1,n_1)$. В таком случае вектор B будет содержать все возможные подвекторы v_1 с ровно i нулями.

В соответствии с доказанными выше свойствами, векторы, на которых поведение моделей будет различаться это:

1. Векторы, у которых v_1 – любой вектор с i нулями, v_2 – любой вектор с m–i нулями и v_3 – любой вектор с 1 нулем.

2. Векторы, у которых v_1 – любой вектор с i нулями, v_2 – любой вектор с m–i+1 нулями и v_3 – не содержащий нулей.

Количество векторов, на которых поведение систем будет различаться:

$$N = C_{n_1}^{i} \cdot \left(C_{n_2}^{m-1} \cdot n_3 + C_{n_2}^{m-i+1} \right). \tag{6}$$

Различия между к(m,n) и к'(m,n) в таком случае будут при появлении векторов, у которых v_1 – любой вектор с i нулями, v_2 – любой вектор с m–i нулями и v_3 – не содержащий нулей.

Количество таких векторов:

$$N = C_{n_1}^{i} \cdot C_{n_2}^{m-i}. \tag{7}$$

Пример

Построим модель K(3,11) по [5], она будет содержать следующие реберные функции:

$$f_1 = x_1 \vee x_2 \vee x_3$$

$$f_2 = (x_1 \vee x_2)(x_1x_2 \vee x_3) \vee x_4x_5x_6$$

$$f_3 = x_1x_2x_3 \vee (x_4 \vee x_5)(x_4x_5 \vee x_6)$$

$$f_4 = x_4 \vee x_5 \vee x_6$$

$$f_5 = (x_1 \vee x_2)(x_1x_2 \vee x_3)(x_1x_2x_3 \vee x_4x_5x_6) \wedge$$
$$\wedge (x_4 \vee x_5)(x_4x_5 \vee x_6) \vee x_7x_8x_9x_{10}x_{11}$$

$$f_6 = x_1x_2x_3x_4x_5x_6 \vee (x_7 \vee x_8)(x_7x_8 \vee x_9) \wedge$$
$$\wedge (x_7x_8x_9 \vee x_{10}x_{11})(x_{10} \vee x_{11})$$

$$f_7 = x_7 \vee x_8 \vee x_9$$

$$f_8 = (x_7 \vee x_8)(x_7x_8 \vee x_9) \vee x_{10}x_{11}$$

$$f_9 = x_7x_8x_9 \vee (x_{10} \vee x_{11})$$

Возьмем, к примеру, функцию f_8. При построении она имела вид $f_8 = \kappa_1(2,3) \vee \kappa_2(1,2)$, и при этом $V_1=\{x_7, x_8, x_9\}$, $V_2=\{x_{10}, x_{11}\}$, $V_3=\{x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6\}$. Модифицируем данную функцию следующим образом:

$$f_8' = \kappa_1(3,3) \vee \kappa_2(1,2), \tag{8}$$

т.е. получим:

$$f_8' = (x_7 \vee x_8 \vee x_9) \vee x_{10}x_{11}, \tag{9}$$

Эксперименты показывают, что поведение моделей отличается на следующих 39 векторах:
{11111010010, 11110110010, 11101110010, 11011110010, 10111110010, 01111110010, 11111001010, 11110101010, 11101101010, 11011101010, 10111101010, 01111101010, 11111000110, 11110100110, 11101100110, 11011100110, 10111100110, 01111100110, 11111010001, 11110110001, 11101110001, 11011110001, 10111110001, 01111110001, 11111001001, 11110101001, 11101101001, 11011101001, 10111101001, 01111101001, 11111000101, 11110100101, 11101100101, 11011100101, 10111100101, 01111100101, 11111110000, 11111101000, 11111100100}.

Если подсчитать количество векторов, руководствуясь предложенными выше соотношениями, получим

$$N = C_{n_1}^{i} \cdot \left(C_{n_2}^{m-1} \cdot n_3 + C_{n_2}^{m-i+1} \right) =$$
$$= C_3^2 \cdot \left(C_2^1 \cdot 6 + C_2^2 \right) = 3 \cdot (2 \cdot 6 + 1) = 39.$$

Как видим пример подтверждает справедливость доказанных выше положений. Сравним множество отличающихся векторов с предсказанным теоретически:

1. Векторы, у которых подвектор v_1 – любой вектор с 2 нулями (т.е. {100, 010, 001}), подвектор v_2 – любой вектор с 1 нулем (т.е. {10, 01}) и подвектор v_3 – любой вектор с 1 нулем (т.е. {111110, 111101, 111011, 110111, 101111, 011111}).

2. Векторы, у которых подвектор v_1 – любой вектор с 2 нулями (т.е. {100, 010, 001}), подвектор v_2 – любой вектор с 2 нулями (т.е. {00}) и подвектор v_3 – не содержащий нулей (т.е. {111111}).

Как видим, векторы из п.1 соответствуют первым 36 из множества полученных векторов, а вектора из п.2 – последним 3.

Заключение

Модификация реберных функций базовых моделей может быть выполнена различными способами. В статье предложен простой и эффективный метод, который заключается в модификации одной части одной реберной функции модели. В результате такой модификации на некотором множестве векторов с m+1 нулем, где m – степень отказоустойчивости исходной базовой системы, граф модели не теряет связность, что соответствует работоспособному состоянию моделируемой системы.

Показаны зависимости между модифицируемой функцией и множеством блокируемых векторов. Разработчик ОМС при построении ее модели может выбрать такую модификацию базовой модели, которой соответствует наиболее подходящее множество блокируемых векторов. Для этого нет необходимости строить модель, а достаточно воспользоваться приведенными в работе оценками.

Приведен пример модификации модели предложеным способом, который подтверждает, что множество заблокированных векторов совпадает с теоретическими оценками.

Литература

1. Реконфигурируемые мультиконвейерные вычислительные структуры [Текст] / И. А. Каляев, И. И. Левин, Е. А. Семерников, В. И. Шмойлов // под общ. ред. И. А. Каляева. – Ростов/Д. : Издательство ЮНЦ РАН, 2008. – 320 с.

2. Huang, L. On Modeling the Lifetime Reliability of Homogeneous Manycore Systems [Text] / L. Huang, Q. Xu // PRDC. IEEE Computer Society. – 2008. – P. 87 – 94.

3. Романкевич, В. А. Об одной модели поведения отказоустойчивой многопроцессорной системы [Текст] / В. А. Романкевич // Радиоэлектроника и информатика. – 1999. – № 1. – С. 75 – 76.

4. Романкевич, А. М. Графо–логические модели для анализа сложных отказоустойчивых вычислительных систем [Текст] / А. М. Романкевич, Л. Ф. Карачун, В. А. Романкевич // Электронное моделирование. – 2001. – Т. 23, № 1.– С. 102 – 111.

5. Романкевич, В. А. GL–модель поведения отказоустойчивых многопроцессорных систем с минимальным числом теряемых рёбер [Текст] / В. А. Романкевич, Е. Р. Потапова, Х. Бахтари, В. В. Назаренко // Вісник НТУУ "КПІ". – Інформатика, управління та ОТ. – 2006. – № 45. – С. 93 – 100.

6. Романкевич, А. М. Анализ отказоустойчивых многомодульных систем со сложным распределением отказов на основе циклических GL–моделей [Текст] / А. М. Романкевич, В. В. Иванов, В. А. Романкевич // Электронное моделирование. – 2004. – № 5, Т. 26. – С. 67 – 81.

7. Об одном свойстве GL–модели с минимальным количеством теряемых ребер [Текст] / И. В. Майданюк, К. В. Морозов, Е. Р. Потапова, А. В. Шурига // Науковий вісник Чернівецького університету. Серія: Комп'ютерні системи та компоненти. – 2010. – Т. 1, № 2. – С. 31 – 34.

8. Романкевич, В. А. Об одном методе преобразования GL–моделей поведения отказоустойчивых многопроцессорных систем в потоке отказов [Текст] / В. А. Романкевич, А. А. Кононова // Радіоелектронні і комп'ютерні системи. – 2007. – № 7. – С. 49 – 56.

Поступила в редакцию 28.02.2013, рассмотрена на редколлегии 25.03.2013

Рецензент: д-р техн. наук, проф. М. Ф. Каравай, Институт проблем управления РАН, Москва, Российская Федерация.

ПРО ОДИН МЕТОД МОДИФІКАЦІЇ РЕБЕРНИХ ФУНКЦІЙ GL-МОДЕЛЕЙ

В. О. Романкевич, К. В. Морозов, А. П. Фесенюк

У роботі запропоновано метод перетворення циклічних графо-логічних моделей , що відображують поведінку відмовостійких багатопроцесорних систем в потоці відмов , шляхом модифікації їх реберних функцій. Наведено і доведено оцінки для множини блокованих векторів стану системи (тобто таких векторів, на яких поведінка модифікованої моделі буде відрізнятися від базової). Наведено також оцінки для множини блокованих векторів службової моделі, що використовується при побудові реберних функцій базової моделі. Наведено приклад модифікації з моделюванням запропонованого методу. Отримана множина блокованих векторів підтверджує відповідність теоретичних оцінок практичному результату.

Ключові слова: графо-логічні моделі, реберні функції, відмовостійкі багатопроцесорні системи, надійність.

ON THE METHOD OF MODIFICATION OF EDGE FUNCTIONS OF GL-MODELS

V. A. Romankevich, K. V. Morozov, A. P. Feceniuk

In this paper a method for modification of cyclic graph-logic models that reflect the behavior of the fault-tolerant multiprocessor systems in a flow of failures, by means of modifying of their edge functions is presented. Estimations for the set of blocked state vectors of the system (i.e. such vectors on which the behavior of the modified model differ from the base model) are given and proved. Also estimations for the set of blocked vectors of auxiliary model used in the construction of edge functions of the basic model are given. An example of the modification with the modeling of the proposed method is given. Obtained set of blocked vectors confirms accordance of theoretical estimation to practical result.

Key words: graph-logic models, edge function, fault-tolerant multiprocessor systems, reliability.

Романкевич Виталий Алексеевич – канд. техн. наук, доц., доц. каф. Ситемного программирования и специализированных компьютерных систем, Факультет прикладной математики, Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт», Киев, Украина, e-mail: romankev@scs.ntu-kpi.kiev.ua.

Морозов Константин Вячеславович – аспирант каф. Ситемного программирования и специализированных компьютерных систем, Факультет прикладной математики, Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт», Киев, Украина, e-mail: mcng@ukr.net.

Фесенюк Андрей Петрович – канд. техн. наук, доц. каф. Компьютерных систем и сетей, Горловский региональный институт Университета "Украина", Горловка, Украина, e-mail: andrew_fesenyuk@ukr.net.