

мизации временных и аппаратных затрат при поиске отказа.

Устройство имеет собственный цифровой индикатор и выводящее на него коды инициализации материнской платы. По последнему выведенному коду можно определить, в каком из компонентов имеется неисправность. Данные коды зависят от системного ПО. В случае отсутствия ошибок и нормального прохождения теста модуль тестирования выдаёт на свой индикатор не меняющееся на протяжении работы компьютера значение, зависящее от версии системного ПО.

Литература

1. Невлюдов И.Ш., Омаров М.А., Шостак Б.А. Программно-технические средства диагностики цифровых модулей

систем управления технологическим оборудованием. – Х.: НТМТ, 2008. – 216 с.

2. Фурман И.А., Краснобаев В.А., Скороделов В.В., Рысовый А.Н. Организация и программирование микроконтроллеров: Учебник. – Харьков: Эспада, 2005. – 248 с.
3. Хаханов В.И. Техническая диагностика цифровых и микропроцессорных структур: Учеб. пособие / МО Украины, Институт системных исследований образования. – Киев: ИСИО, 1995. – 242 с.
4. Хаханов В.И. Техническая диагностика элементов и узлов персональных компьютеров: Учеб. Пособие. – Киев: ИЗМН, 1997. – 308 с.
5. Тоценко В.Г. Алгоритмы технического диагностирования дискретных устройств. – Москва: Радио и связь, 1985. – 240 с.

УДК 621.372.852

МНОГО- КРИТЕРИАЛЬНЫЙ ПОДХОД К МАРШРУТИЗАЦИИ В СЕТЯХ СВЯЗИ

В.М. Безрук

Доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой*
Контактный тел.: 067-722-31-18
E-mail: bezruk@kture.kharkov.ua

В.В. Варич

Стажер-исследователь*
*Кафедра «Сети связи»
Харьковский Национальный университет
радиоэлектроники
пр. Ленина, 14, г. Харьков, Украина
Контактный тел.: 063-294-09-62
E-mail: amg_slava@mail.ru

Розглянуті основні положення керування мережею, практичні особливості застосування багатокритеріального підходу до рішення задач оптимальної маршрутизації
Ключові слова: багатокритеріальний підхід, Парето-оптимум, маршрутизація

Рассмотрены основные положения управления сетью, практические особенности применения многокритериального подхода к решению задачи оптимальной маршрутизации
Ключевые слова: многокритериальный подход, Парето-оптимум, маршрутизация

The paper discusses the basic principles of governance of the network, especially the practical applications improved multi-criteria approach to solving the problem of optimal routing
Keywords: multi-criteria approach, Pareto optimum, routing

1. Введение

В современных в мультисервисных сетях постоянный рост объемов трафика, с требованием качества обслуживания, призывает к необходимости применения новых подходов к его управлению. Необходимы механизмы управления, ориентированные на качество обслуживания. В настоящее время существует несколько механизмов управления сетевыми ресурсами.

В статье рассматривается механизм планирования маршрутов. Для управления сетями существует большое количество алгоритмов маршрутизации, реализованных по различным принципам [1]. Все эти алгоритмы решают задачи выбора оптимальных маршрутов, как правило, с учетом одного из показателей качества. Поэтому в современных мультисервисных сетях связи возникает задача учета совокупности показателей сети для обеспечения заданных требований качества

обслуживания различных типов трафика. Это определяет необходимость применения методов многокритериальной оптимизации на сетях для решения задач маршрутизации [2, 3]. В статье рассматриваются теоретические и практические особенности решения задачи многокритериальной оптимизации на основе методов, изложенных в работе [4].

2. Основные положения управления сетью

Сеть связи является распределенной системой. Организация управления сетью включает в себя (см. рис. 1): сбор контрольной информации о состоянии элементов сети; анализ качественных характеристик работы сети на предмет их соответствия пользовательским требованиям; выработку управляющего решения; доведение этого решения через технические средства реализации управляющих решений (ТСУР) до элементов сети.

Управление реальной сетью носит дискретный характер, т.е. управляющие системы и администрация сети производят изменения характеристик сети при достижении показателями качества некоторых критических значений (порогов);

В СУ сетью могут быть выделены следующие относительно автономные функциональные подсистемы (рис. 1): система динамического управления ресурсами сети (СДУ); система технического обслуживания (СТО); система административного управления (САУ).

Автономное проектирование каждой из выделенных подсистем управления представляет собой решение двух задач: оптимизацию структуры и оптимизацию алгоритмов функционирования. Так как структура СДУ определяется структурой системы доставки информации (т.е. телекоммуникационной сети), то при моделировании СДУ основной задачей является оптимизация ее алгоритмов, главным из которых является маршрутизация, обеспечивающая распределение потоков информации в соответствии с определенным планом, и управление потоками, осуществляющее контроль входящей и транзитной нагрузки в сети. Общая структура управления сетью связи приведена на рис. 1.



Рис. 1. Организация управления сетью

СУ – система управления; ССКИ – система сбора контрольной информации; СДУ – система динамического управления ресурсами; СТО – система технического обслуживания; САУ – система административного управления; ТСУР – технические средства реализации управляющих решений; УК (УС) – узел коммутации (узел связи); ЦУС – центр управления сетью; ЦТО – центр технического обслуживания.

Используемые механизмы управления (обработке потоков) в сетях связи определяются: резервированием полосы пропускания; управлением шириной полосы пропускания; управлением маршрутизацией и планированием маршрутов; использованием кэш технологий; управлением очередями.

В статье в качестве механизма управления состоянием сети, под воздействием управляющих сигналов, рассматривается маршрутизация.

В разветвленных коммутируемых сетях связи между любыми двумя узлами сети (источником и адресатом) имеется, как правило, несколько независимых путей, по которым могут быть переданы сообщения. Основной задачей маршрутизации является выбор определенного пути из указанного множества. Выбор осуществляется с помощью матриц (таблиц) маршрутов, которые находятся в каждом узле маршрутизации. Матрица маршрутов M_i i -го узла задает очередность выбора исходящих направлений при установлении связи i -го узла к любому из других узлов сети.

Матрицу M_i можно представить в следующем виде:

$$M_i = \begin{matrix} \beta_{i1} \\ \beta_{i2} \\ \vdots \\ \beta_{ij} \\ \vdots \\ \beta_{iA_i} \end{matrix} \begin{bmatrix} m_{i11} & m_{i12} & \dots & m_{i1r} & \dots & m_{i1N} \\ m_{i21} & m_{i22} & \dots & m_{i2r} & \dots & m_{i2N} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ m_{ij1} & m_{ij2} & \dots & m_{ijr} & \dots & m_{ijN} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ m_{iA_i1} & m_{iA_i2} & \dots & m_{iA_ir} & \dots & m_{iA_iN} \end{bmatrix}$$

где N – число узлов (УК) сети, β_{ij} – j -я ветвь, исходящая из узла i , $j=1, \overline{A_i}$, A_i – количество ветвей, исходящих из узла i , m_{ijr} – элемент, определяющий порядковый номер ветви β_{ij} при выборе пути передачи информации от узла i к узлу r , в случае простой матрицы маршрутов, либо вероятность выбора ветви β_{ij} , $\sum_{j=1}^{A_i} m_{ijr} = 1, r = \overline{1, N}$ в случае стохастической матрицы маршрутов.

Одним из вариантов управления сетью связи может быть изменение маршрутов с использованием многокритериального подхода.

3. Многокритериальный подход к постановке и решению задачи маршрутизации

Рассмотрим особенности многокритериального подхода к маршрутизации в мультисервисных сетях. При этом формулируется следующая многокритериальная задача маршрутизации. Пусть определено множество допустимых решений (маршрутов) на графе

сети $X = \{x\}$, который считается дискретным, если X конечно или счетно.

Допустимыми будут те решения $x \in X$ в виде подграфов $x = (V_x, E_x)$ для многовершинного графа $G = (V, E)$, которые удовлетворяют ограничениям $V_x \in V, E_x \in E$. Предполагается, что на X задана векторная целевая функция $\vec{F}(x) = (F_1(x), \dots, F_v(x), \dots, F_m(x))$, составляющие которой определяют показатели качества маршрутов. Как правило, показатели качества являются связанными между собой и антагонистическими.

При этом оптимальные по совокупности показателей качества варианты маршрутов представляет собой множество Парето-оптимальных альтернатив решения задачи маршрутизации, которым соответствует согласованный оптимум частных целевых функций $F_1(x), \dots, F_v(x), \dots, F_m(x)$ [2].

Рассмотрим особенности выбора оптимальных маршрутов в мультисервисной сети связи, состоящую из узлов и линий связи, соединяющие узлы. Эта сеть представляется графом $G = (V, E)$, где V – множество узлов, E – множество линий связи [3]. Каждая линия e характеризуется показателями качества обслуживания k_l , которым в соответствие можно ставить весовые функции $w_l(e)$ с заданными ограничениями $w_l(e) \leq c_l, l = \overline{1, m}$. Для учета совокупности показателей качества обслуживания предлагается использовать скалярную целевую функцию линии e в виде [4]:

$$F(e) = \lambda_1 w_1(e) + \dots + \lambda_l w_l(e) + \dots + \lambda_m w_m(e),$$

где $\lambda_i > 0, \sum_{i=1}^m \lambda_i = 1$. (1)

Предлагается решать задачу нахождения оптимального пути (маршрута) x от узла источника s к узлу назначения t путем нахождения экстремального значения целевой функции маршрута при варьировании коэффициентов λ_i :

$$\text{extr}_{\text{var}(\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_m)} \left(w(x) = \sum_{j=1}^N F_j(e) \right) \quad (2)$$

где N – число линий связи, входящих в маршрут.

Первым этапом выбора оптимальных маршрутов является выделение подмножества Парето-оптимальных маршрутов, в результате чего отбрасываются безусловно худшие варианты маршрутов. Вариант маршрута $\tilde{x} \in X$ является Парето-оптимальным, если не существует другого допустимого решения $x^* \in X$, что выполняются неравенства $F_v(x^*) \leq F_v(\tilde{x}), v = \overline{1, \dots, N}$, среди которых хотя бы одно является строгим [2,4].

Для нахождения подмножества Парето-оптимальных решений предлагается использовать весовой метод [4]. Его суть сводится к нахождению экстремума взвешенной суммы показателей качества входящих в маршруты при всевозможных комбинациях коэффициентов, характеризующих их относительную важность.

В результате этого выбирается некоторое подмножество Парето-оптимальных вариантов маршрутизации с учетом совокупности показателей качества. В критериальном пространстве Парето-оптимальным вариантам соответствует некоторая весовая поверхность, точки которой выделяются согласованным оптимумом значений выбранных показателей качества маршрутов. Ни одна из безусловно худших точек

(вариантов маршрутов) не может принадлежать этой поверхности.

Парето-оптимальные варианты маршрутов равнозначны с точки зрения безусловного критерия предпочтения (БКП) – критерия Парето. Поэтому каждый из них может быть использован при решении задачи многопутевой маршрутизации, что позволит равномерно загрузить линии связи соответствующими видами трафика с требуемым качеством обслуживания.

Однако в ряде случаев возникает необходимость выбора единственного варианта маршрутизации с учетом дополнительной информации, поступающей от экспертов (опытных специалистов). При этом могут быть применены разные методы сужения подмножества Парето до единственного варианта, в частности: с использованием функций ценности, применении лексикографического подхода, на основе теории размытых множеств и др. [4].

4. Практические особенности применения методов многокритериальной оптимизации к маршрутизации в сетях связи

В работе рассмотрены практические особенности решения указанной многокритериальной задачи маршрутизации на примере фрагмента сети связи (рис. 1).

Модель исследуемой сети состоит из двенадцати узлов, связанных между собой линиями связи с потерями. Информация передается из узла 0 во все остальные узлы. Исследования проводились в программном пакете Network Simulator.

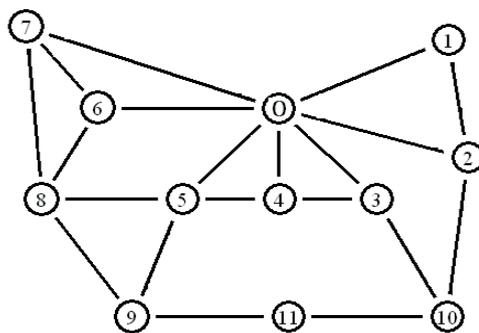


Рис. 2. Структура сети связи, используемая для моделирования

Будем рассматривать следующие показатели качества обслуживания, которыми характеризуется каждая линия связи:

1. Время задержки пакетов.
2. Уровень потерь пакетов.
3. Стоимость использования линии связи.

Будем считать, что время задержки передачи пакетов определяется в основном длиной линий связи. Уровень потерь пакетов зависит от модели потерь, введенной в каждой линии.

Стоимость использования линии зависит от времени задержки на линии, величины потерь и интенсивности использования.

Нормированные к максимальным значениям показатели качества линий связи приведены в табл. 1.

Таблица 1

Нормированные к максимальным значениям показатели качества линий связи

Линия связи	Время задержки передачи пакетов	Уровень потерь пакетов	Стоимость использования линии связи
0-1	0.676	1	0.333
0-2	1	0.25	1
0-3	0.362	1	0.333
0-4	0.381	0.25	1
0-5	0.2	1	0.333
0-6	0.19	1	0.333
0-7	0.571	0.25	1
7-6	0.4	0.25	0.333
7-8	0.362	0.25	0.667
8-6	0.314	0.5	0.5
8-5	0.438	0.25	0.333
8-9	0.248	0.5	0.333
9-5	0.257	0.25	1
9-11	0.571	0.25	0.667
11-10	0.762	0.25	0.333
5-4	0.381	0.25	0.667
2-10	0.457	0.25	0.333
3-10	0.79	0.25	0.333
4-3	0.286	0.25	0.333
1-2	0.448	0.25	0.333

При анализе графа сети (рис. 1) видно, что для каждого узла назначения существует большое множество вариантов выбора маршрута, даже при условии невозможности повторного посещения пройденного узла. Количество маршрутов для каждого узла назначения с источником в узле 0 приведены в табл. 2.

Таблица 2

Количество маршрутов для каждого узла назначения с источником в узле 0

Узел источник – узел назначения	Количество вариантов маршрутов
0-1	27
0-2	27
0-3	29
0-4	29
0-5	25
0-6	41
0-7	41
0-8	22
0-9	27
0-10	27
0-11	31

Ставится задачи выбора множество оптимальных по совокупности показателей качества вариантов маршрутов, которые соответствуют согласованному оптимуму показателей качества.

Выбор Парето-оптимальных маршрутов. Для решения задачи выбора Парето-оптимальных маршрутов применим описанный выше весовой метод с использованием следующих показателей качества: k_1 ,

отражающий длину линии; k_2 , отражающий уровень потерь пакетов; k_3 , отражающий стоимость использования линий связи.

При минимизации выражения (2) со всевозможными комбинациями весовых коэффициентов (с шагом 0.1) получим множество Парето-оптимальных маршрутов, с соответствующими согласованными оптимумами введенных показателей качества.

Для каждого узла назначения получено несколько Парето-оптимальных маршрутов. При этом ни одному из них нельзя отдать предпочтения, так как они равнозначны с точки зрения БКП.

Для иллюстрации на рис. 2 изображено некоторое множество вариантов маршрутов между узлами 0 и 8 в пространстве показателей качества k_1 и k_2 . Левая нижняя граница, включающая три точки, соответствует множеству Парето-оптимальных решений. Нетрудно видеть, что им соответствует согласованный оптимум по Парето показателей качества (минимально возможное значения одного показателей качества при заданных фиксированных значениях другого показателя). Эта граница также являет собой диаграмму обмена показателей качества, которая показывает, как зависит потенциально достижимое значение одного из показателей качества от значения другого показателя.

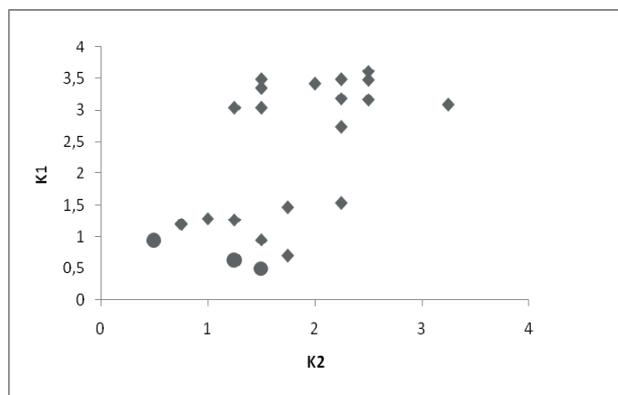


Рис. 3. Множество вариантов маршрутов между узлами 0 и 8

Полученное в табл. 3 подмножество Парето-оптимальных вариантов маршрутов можно использовать для организации многопутевой маршрутизации и выбора оптимальных маршрутов для передачи соответствующего трафика с требуемым качеством обслуживания.

При этом возникает вопрос: имеет ли смысл осуществлять выбор на основе безусловного критерия предпочтения (критерия Парето), если в дальнейшем для выбора единственного маршрута приходится вводить условный критерий предпочтения. В обоснованность целесообразности введения этапа нахождения Парето-оптимальных вариантов следует отметить:

- применение БКП дает возможность найти все Парето-оптимальные маршруты, отбросив при этом все безусловно худшие варианты маршрутов;
- применение БКП дает возможность найти наилучшие возможные значения каждого из показателей качества и связь между ними;
- даже если при выборе единственного варианта маршрута приходится вводить условный критерий предпочтения, то лучше вводить разного рода условности на более позднем этапе выбора.

Выбор единственного маршрута. Для выбора единственного маршрута из полученного множества Парето-оптимальных вариантов необходимо использовать дополнительную информацию, которая уточняет и формализует начальное нечеткое представление об оптимальном маршруте.

Для выбора единственного маршрута будем использовать один из методов сужения множества Парето – лексикографический метод, когда набор показателей качества $k_1 \dots k_m$ строго упорядочен по важности. При этом используется лексикографическое отношение вариантов маршрутов, описываемых векторами оценок значений показателей качества $\vec{v} = (\hat{k}_1 \dots \hat{k}_m)$.

Приведем особенности лексикографического отношения маршрутов. Пусть дано векторы оценок $\vec{v}, \vec{v} \in V$. Лексикографическое отношение $\vec{v} \succ \vec{v}$ выполняется тогда, когда выполняется одно из таких условий:

$$\begin{aligned} v_1 &> v_1, \\ v_1 &= v_1, v_2 > v_2, \\ &\dots\dots\dots \\ v_j &> v_j, j=1,2,\dots,m-1; v_m > v_m. \end{aligned} \tag{3}$$

Здесь $v_1 > v_1 \in V$ – координаты соответствующих векторов оценок.

В определении лексикографического отношения важную роль играет порядок перечисления показателей качества. При изменении порядка перечисления изменяется и лексикографическое отношение.

В результате применения лексикографического метода были выбраны Парето-оптимальные варианты маршрутов при двух видах упорядочивания показателей качества: (k_2, k_3, k_1) и (k_3, k_2, k_1) .

Сравнение полученных вариантов маршрутизации с однокритериальной маршрутизацией. Под однокритериальной маршрутизацией понимается протокол динамической маршрутизации, состояние (качество маршрута), которого определяется только одним показателем качества.

Сравним предложенный многокритериальный подход к выбору маршрутов и подход к выбору маршрутов на основе одного критерия. На рис. 4 изображена загрузка линий сети связи при использовании полученного на основе многокритериального подхода множества Парето-оптимальных маршрутов (многопутевая маршрутизация) и маршрутов, полученных на основе однокритериального подхода.

Рис. 4 показывает, что при использовании полученного на основе многокритериального подхода множество Парето-оптимальных маршрутов, которое используется при организации многопутевой

маршрутизации, загрузки линий связи более равномерные.

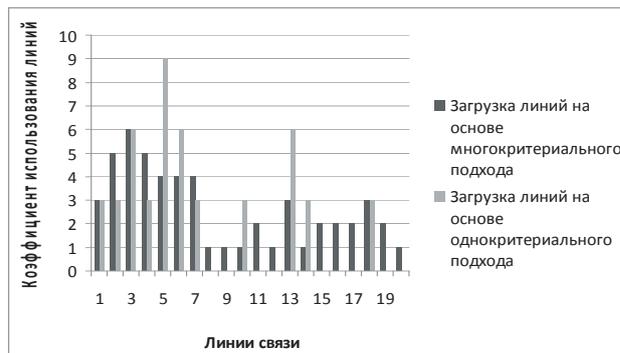


Рис. 4. Загрузка линий сети связи при использовании маршрутов на основе многокритериального подхода и однокритериального подхода

На рис. 5 изображено сравнение выбора маршрута из узла 0 в узел 8 с использованием многокритериального подхода при выборе коэффициентов относительной важности (0.3; 0.3; 0.4) и подхода на основе однокритериального подхода по стоимости и потери пакетов на этом маршруте.

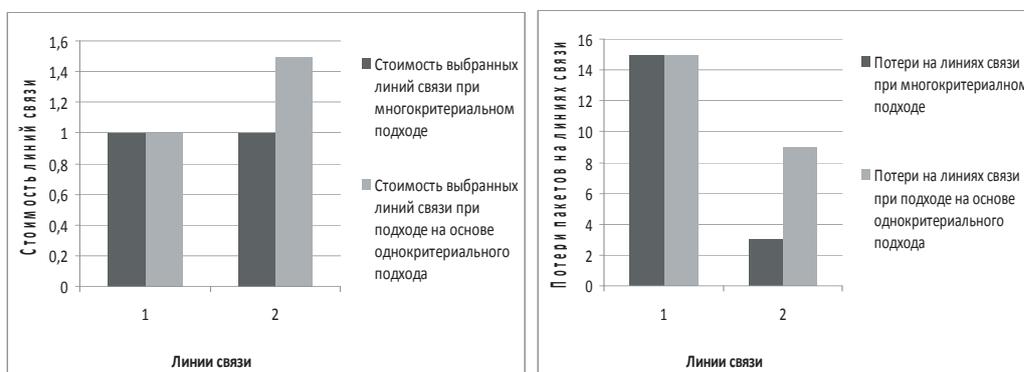


Рис. 5. Сравнение выбранных маршрутов с использованием многокритериального подхода и однокритериального подхода по стоимости использования линий и потери пакетов

Рис. 5 показывает сравнение выбранных маршрутов из узла 0 в узел 8 с использованием многокритериального подхода при значении коэффициентов относительной важности (0.3; 0.3; 0.4) и однокритериального подхода по стоимости и потери пакетов на этом маршруте. На рис. 5 виден выигрыш многокритериального подхода при учете потерь пакетов и стоимости использования линий связи относительно однокритериального подхода. Хотя однокритериальный подход, будет выигрывать с точки зрения одного показателя качества, в частности временной задержки, так как он выбирал путь по этому показателю качества k_1 .

5. Заключение

1. Многокритериальный подход к оптимальному решению задачи маршрутизации дает возможность учитывать несколько показателей качества, которые всесторонне оценивают маршруты. Оптимальным решением задачи, которое удовлетворяют согласован-

ному оптимуму показателів якості маршрутів, єть множество Парето-оптимальних рішень.

2. Незважаючи на вибір маршрутів з точки зору узгодженого оптимума, багьокритеріальний підхід дає не хужє, а іногда і лужше результати по сравнению з однокритеріальним підходом. При цьому в багьокритеріальном підходє учитываються нескілько показателів якості.

3. Множество Парето-оптимальних рішень можна використовувати для організації багьопутєвої маршрутизації, що дозволить рівномірно використовувати лінії зв'язу.

4. Для вибору єдиного варіанта маршруту можна використовувати доповнітельную інформацію від експертів з використанням методів суження подмножества Парето на основе введення скалярних функцій цєнности, лексикографіческого підходу, теорії размытых множеств и др.

5. Проведен сравнительний аналіз результатів рішення задачі багьокритеріальної оптимізації и

маршрутизації на основе однокритеріального підхода.

6. В системє управління сєтєю зв'язу можуть використовуватись лубєє из перечисленных механизмов управления потоками.

Литература

1. Семенов Ю.А. Алгоритмы телекоммуникационных сетей ч.1. Алгоритмы и протоколы каналов и сетей передачи данных. – Москва, 2007.
2. Подиновский В.В., Ногин В.Д. Парето-оптимальные решения багьокритеріальных задач. – М.: Высшая школа, 1982.
3. Перепелица В.А. Багьокритеріальные задачи теории графов. Алгоритмический підхід. – Киев УМК ВО, 1989.
4. Безрук В.М. Векторная оптимізація и статистическое моделирование в автоматизированном проектировании системы зв'язу. – Харків: ХНУРЕ, 2002.

УДК 004.942

СТРУКТУРИЗАЦІЯ ТА ДИНАМІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ СКЛАДНИХ КОМП'ЮТЕРНИХ МЕРЕЖ

В.В. Пасічник

Доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри*
Контактний тел.: (0322) 258-25-38
E-mail: vpasichnyk@gmail.com

Н.М. Іванущак

Фахівець I категорії*

*Кафедра комп'ютерних систем та мереж
Чернівецький національний університет імені Юрія
Федьковича
вул. Коцюбинського, 2, м. Чернівці, 58000
Контактний телефон: 096-677-13-74
E-mail: ivanuschak@yandex.ru

У роботі розглянуто основні характеристики складних мереж, правила їх генерації та моделі структуризації. Означені основні фактори впливу на ріст та генерацію вузлів мережі. Розглянуто статистичний підхід до опису складних мереж

Ключові слова: характеристики складних мереж, моделі мереж, правила генерації

В работе рассмотрены основные характеристики сложных сетей, правила их генерации и модели структуризации. Определены основные факторы влияния на рост и генерацию узлов сети. Рассмотрен статистический подход к описанию сложных сетей

Ключевые слова: характеристики сложных сетей, модели сетей, правила генерации

This article examines the main characteristics of complex networks, rules of their generation and models of their structure. There was determined the main factors that influencing growth and generation vertices in the network. The statistical approach was considered in describing complex networks

Keywords: characteristics of complex networks, network models, rules of generation

1. Вступ

Предметом огляду та дослідження статті є складні мережі, які виникають у результаті людської діяльно-

сті. У роботі розглянуті моделі та сформульовані правила структуризації складних комп'ютерних мереж. Здійснено аналіз факторів впливу на генерацію та кластеризацію складних мереж, зокрема вплив при-