

РАЗДЕЛ 4

АВТОМАТИКА, КОМПЬЮТЕРНЫЕ
И ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

УДК 004.7

И.В. Грищенко

Одесская национальная академия пищевых технологий, институт холода, криотехнологий и экоэнергетики, ул. Дворянская, 1/3, г. Одесса, 65082

МЕТОД ПОВЫШЕНИЯ ЖИВУЧЕСТИ ИНФОКОММУНИКАЦИОННОЙ СЕТИ

В статье приведен метод оптимального резервирования узлового оборудования для обеспечения требуемого уровня параметра «посредничество». Решение задачи оптимального резервирования дает возможность определять структуру резерва узлов сети, обеспечивающего устойчивое функционирование сети с целью повышения живучести функционирования инфокоммуникационной сети.

Ключевые слова: Инфокоммуникационная сеть – Живучесть – «Посредничество» – Резервирование – Узел.

I.V. Grishchenko

Одеська національна академія харчових технологій, інститут холоду, кріотехнологій та екоенергетики, вул. Дворянська 1/3, м. Одеса, 65082

МЕТОД ПІДВИЩЕННЯ ЖИВУЧОСТІ ІНФОКОМУНІКАЦІЙНОЇ МЕРЕЖІ

У статті наведено метод оптимального резервування вузлового обладнання для забезпечення необхідного рівня параметра «посередництво». Рішення задачі оптимального резервування дає можливість визначити структуру резерву вузлів мережі, що забезпечує стійке функціонування мережі з метою підвищення живучості функціонування інфокомунікаційної мережі.

Ключові слова: Інфокомунікаційна мережа – Живучість – «Посередництво» – Резервування – Вузол.

I.V. Grishchenko

Odessa national academy of food technologies, Institute of the cold, cryotechnologies and ecoenergetics, 1/3 Dvoryanskaya str., Odessa, 65082

INFOCOMMUNICATION NETWORKS SURVIVABILITY INCREASING METHOD

The article provides the method of optimal reservation hub equipment to ensure the required level parameter «betweenness». Solution of the problem of optimal reservation enables you to define the structure of the provision of network nodes to ensure sustainable operation of the network to improve survivability of the infocommunication network functioning.

Keywords: Infocommunication network – Survivability – «Betweenness» – Reservations – Node.

I. ВВЕДЕНИЕ

Обеспечение живучести инфокоммуникационных сетей ИКС является одной из актуальных современных задач. Живучесть – это способность сети продолжать свое функционирование (передачу информации), т.е. восстанавливаться после внешнего неблагоприятного воздействия (ВНВ).

Существует несколько актуальных вопросов исследования сетей с точки зрения живучести, среди которых можно выделить следующие основные [1, 2]:

– определение фрагментов сети (клик, кластеров), в которых узлы связаны между собой сильнее, чем с членами других подобных фрагментов;

– выделение фрагментов сети (компонент связности), которые связаны внутри и не связаны между собой;

– нахождение перемычек, т.е. узлов, при изъятии которых сеть распадается на несвязанные части;

– определение характера изменения характеристик потоков сообщений;

- оценка нагрузки дуг и пропускной способности сетей;

- выбор и обоснование путей повышения эффективности сетей;

- определение вариантов построения и развития сети, обеспечивающих минимальные значения средней длины пути, нагрузки дуг и одновременно максимальные значения пропускной способности и живучести.

Для повышения живучести ИКС предложены такие методы [3, 4]:

- применение пакетной передачи данных; позволяет строить сеть таким образом, что маршруты доставки от одной точки сети до другой разных пакетов информации могут проходить по разным физическим каналам связи и меняться в зависимости от работоспособности или загрузки каналов. Это значительно увеличивает живучесть сети в целом – даже если часть каналов связи будут неработоспособными, информация все равно может быть доставлена по другим работающим каналам;

- использование кольцевых топологий; создает возможность автоматического переключения каналов при любых аварийных ситуациях на резервный путь, например, оборудование SDH предусматривает возможность резервирования линии и основных аппаратных блоков по схеме 1+1, при аварии автоматически переключая трафик на резервное направление. Данное свойство значительно повышает живучесть сети и позволяет проводить различного типа технологические работы без перерыва трафика.

Одним из эффективных методов повышения живучести ИКС является резервирование. Резервирование предназначено для обеспечения работоспособности сети в случае отказа отдельных ее частей. Наиболее целесообразным видом резервирования при этом является структурное резервирование. Резервирование особо важно для тех ветвей и узлов сети, которые многократно используются при организации различных маршрутов, поскольку выход из строя таких ветвей и узлов приводит к невозможности организации соответствующих маршрутов [5].

Критериями для сравнения эффективности основных методов резервирования сетевых соединений является их предназначение — восстановление работоспособности сети после выхода из строя узла или ветви связи.

Существует несколько способов создания резервированных сетей: технология RSTP, соединение сегментов попарно (Redundant Coupling), двойное соединение (Dual Homing), «транковые» соединения (traunking) и технология резервируемых кольцевых структур — например, Hirschmann HIPER-Ring [6].

Первый из них определен спецификацией IEEE802.1w и является развитием протокола STP (Spanning Tree Protocol), позволяя объединять линейные сегменты сети в кольцо. При этом один из узлов становится главным, а остальные выби-

рают порт для быстрого доступа к нему. Второй порт считается резервным и блокируется.

Технология Redundant Coupling позволяет соединять 2 пары узлов из соседних сегментов одновременно. Топология сегментов может быть как линейной, так и кольцевидной или типа «звезда».

Двойное соединение Dual Homing — это соединение двумя кабелями, один из которых является резервным.

«Транковые» соединения — удел многопортовых коммутаторов уровня рабочей группы. Два таких коммутатора могут соединяться несколькими линиями (от 2 до 7), объединенными в группу. Такая группа, согласно протоколу LACP (Link Agregation Control Protocol), получает единый MAC-адрес в таблице маршрутизации и распределяет трафик поровну между линиями связи.

HIPER-Ring (Hirschmann PERformance Redundant Ring) — фирменная технология известной немецкой компании Hirschmann для создания отказоустойчивых сетей Ethernet типа «кольцо». При замыкании сегмента сети с линейной топологией в кольцо резервной линией один из коммутаторов кольца выбирается ведущим. Он постоянно рассылает тестовые пакеты в обоих направлениях и следит за их возвращением. Потеря тестовых пакетов расценивается ведущим коммутатором как разрыв кольца, при возникновении которого задействуется резервная линия.

FAST HIPER-Ring обладает схожим с предыдущей версией принципом действия, однако обеспечивает гораздо более высокую скорость восстановления.

Смешанное резервирование (и узлов, и путей) при построении сети эффективно дополняют друг друга. В основе метода резервирования лежит очевидная идея замены отказавшего элемента исправным, находящемся в резерве. Однако реализация этой идеи часто становится достаточно сложной, если необходимо обеспечить минимальное время перехода на резерв и минимальную стоимость оборудования при заданной вероятности безотказной работы в течение определенного времени (наработки).

Резервированные системы составляют системы с горячим резервированием замещением (Hot Standby) [7]. Их отличительной чертой является принципиальная необходимость в подсистеме контроля работоспособности как основного, так и резервного элементов наличие блока переключения на резерв.

Системы с более медленным переключением на резерв относят к системам с теплым резервом (Warm Standby). Конструктивное отличие теплового резервирования от горячего заключается в отсутствии высокоскоростного канала синхронизации между процессорами.

Для контроля работоспособности используются такие параметры и события, как, например, обрыв линии связи, короткое замыкание, величина напряжения и тока питания, отсутствие связи, перегрузка по току, выход сигналов за границы

динамического диапазона, срабатывание блокировок и защит, целостность линий связи с модулями ввода-вывода, ошибка контрольной суммы, ошибка памяти, "зависание" процессора и т. п.

В настоящее время используются следующие показатели, которые характеризуют живучесть сети: число узлов, число ребер, геодезическое расстояние между узлами, среднее расстояние от одного узла к другим, плотность — отношение количества ребер в сети к возможному максимальному количеству ребер при данном количестве узлов, количество симметричных, транзитивных и циклических триад, диаметр сети — наибольшее геодезическое расстояние в сети, уязвимость, рассматриваемая как максимальная уязвимость всех вершин сети, ассортативность как мера корреляции между степенями узлов и т. д.

II. ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Параметрами узлов сети, которые учитываются при расчетах показателей, характеризующих живучесть сети, являются [2]:

- входная степень связности узла — количество ребер графа, которые входят в узел; степень связности k_i узла i — это количество ребер, соединенных с этим узлом. Соответственно, средняя степень всей сети рассчитывается как среднее всех k_i для всех узлов сети;
- выходная степень связности узла — количество ребер графа, которые выходят из узла;
- расстояние от данного узла до каждого из других;
- среднее расстояние от данного узла до других;
- эксцентricность (eccentricity) — наибольшее из геодезических расстояний (минимальных расстояний между узлами) от данного узла к другим;
- посредничество (betweenness), показывающее, сколько путей проходит через данный узел;
- центральность — общее количество связей данного узла по отношению к другим;
- уязвимость, рассматриваемая как уровень спада производительности сети в случае удаления вершины и всех смежных ей ребер.

Среди указанных параметров узлов сети наиболее важным для обеспечения живучести сети является параметр «посредничество».

Посредничество (betweenness) — иногда обозначается как нагруженность (load); это один из важных параметров узла, который отражает роль узла в установлении связей в сети и учитывает число путей передачи информации, проходящих через него. Очень важными являются узлы с большим уровнем посредничества, они играют главную роль в установлении связей с другими узлами.

Посредничество узла N_m определим отношением числа путей Π_{ij}^m из узла i в узел j (

$i, j = \overline{1, n}, i \neq j$; n — число узлов сети), проходящих через узел m , к общему числу путей из узла i в узел j — Π_{ij} .

$$N_m = \frac{\sum_i \sum_j \Pi_{ij}^m}{\sum_i \sum_j \Pi_{ij}} \quad (1)$$

В соответствии с выражением (1) параметр $N_m \leq 1$ и чем ближе N_m к единице, тем более высокий уровень посредничества узла m .

Поддержка параметра «посредничество» обеспечивает необходимый уровень структурной живучести сети. Определение уровня посредничества узла m — N_m — связано с определением числа путей в сетях. Методы определения числа путей в сетях различной структуры предложены в работе [8]. Приведена оценка вероятности исключения некоторого заданного пути при удалении некоторой произвольной ветви. Получено выражение для количества путей ранга r , которые остаются после удаления из полносвязной сети l ветвей (в сети остается $L = L_{\max} - l$ ветвей):

$$M_{r,L} = \frac{n(n-1)}{2} C_{n-2}^{r-1} \left(1 - \frac{2m_{r,L_{\max}}}{n(n-1)C_{n-2}^{r-1}} \right)^l, \quad (2)$$

$m_{r,L_{\max}}$ — количество путей ранга r , которые приходится на одну связь ($i-j$) в сети с n пунктами и L_{\max} ветвями (L_{\max} — максимально возможное количество ветвей сети, $i, j = \overline{1, n}, i \neq j$; n — количество пунктов сети). Ранг r — количество ветвей, составляющих путь.

Количество путей ранга r , которые приходится на одну связь ($i-j$) в сети с n пунктами и L ветвями, определяется по формуле:

$$m_{(ij)r,L} \frac{M_{r,L}}{g} = \frac{M_{r,L}}{n(n-1)}, \quad (3)$$

где g — общее количество тяготеющих пар.

На основе выражений (2) и (3) может быть получено значение параметра «посредничество» для любого узла m сети ($m = \overline{1, n}, m \neq i$) по выражению (1). Кроме того, вероятность безотказного функционирования связи произвольной тяготеющей пары (i, j), которая характеризует структурную надежность всей сети, рассчитывается по формуле:

$$P_{(ij)} = 1 - \prod_{r=1}^R (1 - p_{xy}^r)^{m_{(ij)r,L}}, \quad (4)$$

где p_{xy} — вероятность безотказной работы ветви между произвольными пунктами x и y .

Поддержание параметра «посредничество» узлов сети на требуемом уровне является актуальной задачей, решение которой позволяет обеспечить структурную живучесть сети.

Структурная живучесть рассматривается как возможности реконструкции, реорганизации, реконфигурации при ВНВ, которые позволят создать структуру, обеспечивающую выполнение критического подмножества функций для достижения цели функционирования системы.

При рассмотрении структурной живучести учитывается топология сети межкомпонентной связи и надежностные характеристики компонент. Задачи, связанные с анализом структурной живучести, можно свести к задачам надежности, связности топологических структур, в зависимости от введения понятия «разрушение».

Анализ структурной живучести требует определения:

- структуры для выполнения цели функционирования системы в некоторый момент времени, когда возникают нежелательные влияния на систему;
- требований к отдельным видам ресурсов системы и их взаимосвязи;
- требований к функциональным возможностям компонент системы;
- особенностей характера нежелательных влияний или их последствий.

Структурную живучесть системы можно оценивать при некоторых допущениях, которые позволяют упростить задачу оценки и свести ее к задаче анализа связности графов, оценки вероятности формирования работоспособной структуры в случае нежелательных влияний и т.п. [2].

Для обеспечения требуемого уровня параметра «посредничество», в данной работе предлагается метод оптимального резервирования узлового оборудования, состоящий в выполнении следующих действий:

1. Построение матрицы маршрутов M содержащей пути μ_{ij} , которые целесообразно использовать для передачи информации из узла i в узел j сети ($i, j = \overline{1, n}, i \neq j, n$ – число узлов сети);

2. Для всех узлов m сети ($m = \overline{1, n}$) определение количества их вхождений в различные маршруты; т.е. определение параметра N_m в соответствии с выражением (1);

3. Формирование таблицы «весов» узлов (ТВУ). При формировании «веса» узла учитывается не только количество вхождений узлов в различные маршруты, но также и значимость, приоритет требований v_{ij} на передачу информации из узла i в узел j ($i, j = \overline{1, n}, i \neq j$), использующих данные маршруты;

4. Проверка условия: выполняется ли условие (5) для каждого узла m ($m = \overline{1, n}; n$ – количество узлов сети:

$$(N_m \leq N_{m\text{дон}}), \quad (5)$$

где N_m – показатель загруженности узла, т.е. параметр «посредничество»;

$N_{m\text{дон}}$ – допустимое значение показателя загруженности узла. Это значение задается из требуемого уровня живучести сети и качества предоставляемых услуг.

Значение $N_{m\text{дон}}$ может задаваться с использованием экспертных оценок на основе требований к системам обеспечения качества [9].

Выполнение условия (5) означает, что показатели загруженности узла соответствуют допустимым и нет необходимости резервирования оборудования узлов для поддержки параметра «посредничество».

При невыполнении условия (5) – переход к п.5.

5. Формирование списка узлов m , для которых условие (5) не выполняется, в последовательности, определяемой приоритетом требований v_{ij} – (ПТ), маршруты которых проходят через узлы m ;

6. Формулирование задачи оптимального резервирования как задачи линейного программирования.

Найти оптимальную структуру резерва оборудования узлов сети $X = (x_1, x_2, \dots, x_m, x_n)$, обеспечивающую минимальные суммарные затраты C на элементы резерва оборудования узлов с целью поддержки параметра «посредничество» на требуемом уровне:

$$C = \sum_{m=1}^n c_m x_m \rightarrow \min \quad (6)$$

при

$$P^P \geq P_{\text{дон}} \quad (7)$$

где x_m – число резервных элементов на m -м узле,

c_m – стоимость резерва m -го узла;

n – количество резервируемых узлов;

P^P – показатель структурной живучести сети, достигаемый после резервирования узлов.

В качестве показателей структурной живучести сети предлагается использовать [8]: средневзвешенную величину максимального потока в сети \bar{V}_{maxcp} , средневзвешенную величину кратчайших путей \bar{P}_{mincp} , а также средневзвешенную оценку показателей структурной живучести – средневзвешенная величина максимального потока и средневзвешенная величина кратчайших путей:

$$\bar{V}P_{CB} = \bar{V}_{\text{maxCB}} + W_f + \bar{P}_{\text{minCB}} * W_r,$$

где W_f и W_r – весовые характеристики оценок для максимальных потоков и кратчайших

путей, соответственно, определяемые исходя из условия $W_f + W_r = 1$.

Использование представленных показателей структурной живучести $\bar{V}_{\max CB}$, $\bar{P}_{\min CB}$, \bar{VP}_{CB} зависит от выбранного критерия, характеризующего структурную живучесть сети;

$P_{\text{дон}}$ – показатель структурной живучести сети, определяемый исходя из требований к системам обеспечения качества.

Резервирование производится в последовательности, определяемой сформированными таблицами приоритетов требований ПТ и весов узлов ТВУ.

Процесс резервирования завершается, когда будет выполнено условие (7).

Минимизация затрат (6) при этом обеспечивается за счет предложенной последовательности выбора очередных элементов списка ПТ в соответствии с их приоритетами и резервирования узлов сети в соответствии с последовательностью, определяемой «весами» узлов ТВУ.

III. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, решение задачи оптимального резервирования дает возможность определять структуру резерва $X = (x_1, x_2, \dots, x_m, x_n)$, узлов сети, обеспечивающего устойчивое функционирование сети в соответствии с требованиями к обеспечению заданного уровня параметра «посредничество» узлов сети.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Ивин, Ю. Э.** Разработка и исследование методики повышения живучести мультисервисных сетей, построенных на основе технологии ATM/ Ю. Э. Ивин. Дис. канд. техн. наук. – Москва, 2004. – 194 с.
2. **Додонов, А.Г.** Живучесть информационных систем/ А.Г. Додонов, Д.В. Ландэ // К.: Наук. думка, 2011. – 256 с.
3. Издательство газетный мир. Записки старого провайдера/ Тираж 15207. Заказ № 5167002. – Новгород, 2011. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://paulnn.ru>.
4. Библиотека Интернет Индустрии. Технологии построения опорных сетей/ – 2013. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://i2r.ru>.
5. **Грищенко, И.В.** Обеспечение живучести телекоммуникационной сети путем структурного резервирования/ И.В. Грищенко // Тезисы доповідей 17-го Международного молодежного форума «Радиоэлектроника и молодежь в XXI веке». – Харьков, 2013. – С.259- 260.

6. **Лопухов, И.В.** Резервирование в промышленных сетях Ethernet: следующий шаг к абсолютной надежности/ И.В. Лопухов // «ИСУП», № 1(17), ПРОСОФТ. – Москва, 2008.

7. **Боломытцев, В.С.** Замена элементов управляющей вычислительной системы без отключения питания/ В. С. Боломытцев // «СТА», №2, 2000. – С. 72-77.

8. **Князева, Н.А.** Метод оценки структурной надежности сети при изменении ее структуры/ Н.А. Князева, А.Л. Ненов // К.: Вісник. ДУИКТ. Т.9, №4, 2011. – С. 318- 325.

9. Державний стандарт України «Системи управління якістю. Вимоги». (ISO 9001: 2000, IDT)//Київ, Держстандарт України, 2001.

REFERENCES

1. **Ivin, Ju. Je.** Razrabotka i issledovanie metodiki povysheniya zhivuchesti mul'tiservisnyh setej, postroennyh na osnove tehnologii ATM/ Ju. Je. Ivin. Dis. kand. tehn. nauk. – Moskva, 2004. – 194 s.
2. **Dodonov, A.G.** Zhivuchest' informacionnyh sistem/ A.G. Dodonov, D.V. Landje // K.: Nauk. dumka, 2011. – 256 s.
3. Izdatel'stvo gazetnyj mir. Zapiski starogo provajdera/ Tirazh 15207. Zakaz № 5167002. – Novgorod, 2011. – [Jelektronnyj resurs]. – Rezhim dostupa: <http://paulnn.ru>.
4. Biblioteka Internet Industrii. Tehnologii postroeniya opornyh setej/ – 2013. – [Jelektronnyj resurs]. – Rezhim dostupa: <http://i2r.ru>.
5. **Grishhenko, I.V.** Obespechenie zhivuchesti telekommunikacionnoj seti putem strukturnogo rezervirovaniya/ I.V. Grishhenko // Tezi dopovidej 17-go Mezhdunarodnogo molodezhnogo foruma «Radiojelektronika i molodezh' v XXI veke». – Har'kov, 2013. – S.259- 260.
6. **Lopuhov, I.V.** Rezervirovanie v promyshlennyh setjah Ethernet: sledujushhij shag k absoljutnoj nadezhnosti/ I.V. Lopuhov // «ISUP», № 1(17), PROSOFT. – Moskva, 2008.
7. **Bolomytcev, V.S.** Zamena jelementov upravljajushhej vychislitel'noj sistemy bez otkljuchenija pitaniya/ V. S. Bolomytcev // «STA», №2, 2000. – S. 72-77.
8. **Knjazeva, N.A.** Metod ocenki strukturnoj nadezhnosti seti pri izmenenii ee struktury/ N.A. Knjazeva, A.L. Nenov // K.: Visnik. DUIKT. T.9, №4, 2011. – S. 318- 325.
9. Derzhavnij standart Ukraїni «Sistemi upravlinnja jakistju. Vimogi». (ISO 9001: 2000, IDT)//Київ, Derzhstandart Ukraїni, 2001.

Получена в редакции 07.10.2013, принята к печати 03.12.2013