

Теленик С.Ф., д.т.н.,
Ролик А.И., к.т.н.,
Ясочка М.В.,
Бутенко М.Е.

МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВЛИЯНИЯ НЕПОЛАДОК НА КАЧЕСТВО СЕРВИСА В IP-СЕТЯХ С ПРОТОКОЛАМИ RIP И OSPF

Национальный технический университет Украины
«Киевский политехнический институт»

Предложен метод решения важной для крупных операторов телекоммуникационных услуг задачи определения влияния неполадок в сети доступа на качество предоставляемых сервисов. Метод объединяет продукционный и алгоритмический подходы к решению задачи в IP-сетях доступа с протоколами RIP и OSPF. Разработаны модель узла сети, алгоритм решения задачи и продукционные правила для рассматриваемых протоколов маршрутизации. Приведены результаты экспериментальных исследований, доказывающих работоспособность и эффективность предложенного метода.

Введение

Сети доступа операторов телекоммуникационных сервисов (ОТС) имеют сложную многоэлементную структуру с количеством абонентов, исчисляемым миллионами. Необходимость повышения качества обслуживания вызывает потребность непрерывного совершенствования методов и средств импакт-анализа, задачей которого является определение влияния неполадок в сети на качество обслуживания абонентов [1, 2]. Среди сетей доступа к сервисам Интернет наиболее распространенными являются IP-сети с протоколами маршрутизации RIP и OSPF, и разработка методов решения задачи импакт-анализа для таких сетей является актуальной. Данная работа посвящена решению этой задачи путем комбинации продукционного и алгоритмического подходов.

Обзор литературы

Чаще всего ОТС используют протоколы маршрутизации RIP и OSPF [3, 4], описываемые без рассмотрения задачи импакт-анализа.

В [5] оценка влияния неполадок на качество телекоммуникационных услуг произведена без учета особенностей протоколов RIP и OSPF.

В работе [1] задача импакт-анализа решается для ОТС, когда в качестве параметра, определяющего качество обслуживания, выступает скорость доступа к сети Интернет. Предложенный подход, базирующийся на аналитическом расчете коэффициентов снижения скорости доступа, не позволяет учесть

влияние многих неполадок в тех случаях, когда задействуются компенсаторные функции путем переключения на резерв.

В [2] предложен подход к решению задачи импакт-анализа на основе системы правил, учитывающих структуру сети, характеристики ее элементов и позволяющих определить распространение влияния неполадок. Для решения задач импакт-анализа интегрированы продукционный и алгоритмический подходы. Продукции используются для построения упрощенного представления сети с учетом правил влияния, а алгоритмический метод — для определения степени влияния. Результаты экспериментальных исследований подтвердили, что реализация указанного подхода позволяет уложиться в ограничения, накладываемые на время оценки, актуальное для ОТС широкомасштабных сетей с количеством абонентов, исчисляемым миллионами. При этом исследования ограничиваются только использованием общих продукционных правил без учета особенностей конкретных протоколов маршрутизации, что не позволяет применить предложенный подход при исследовании реальных сетей.

Расширение области применения эффективной комбинации продукционного и алгоритмического подходов на широкий класс сетей доступа, построенных с использованием разных сетевых протоколов и предлагающих различные сервисы, требует разработки соответствующих наборов правил и подтверждения работоспособности предложенного мето-

да с выполнением ограничений на время анализа.

Целью статьи является решение задачи импакт-анализа в IP-сетях с протоколами *RIP* и *OSPF* методом, использующим комбинацию продукционного и алгоритмического подходов, а также создание типовых продукционных правил и проверка работоспособности предложенного метода.

Постановка задачи

Известна информация о структуре, составных частях и взаимосвязях между элементами IP-сети доступа ОТС, а также информация относительно настройки каждого узла сети, использующей протоколы маршрутизации *RIP* и *OSPF*. Вся информация хранится в инвентарной базе данных (БД) ОТС.

Необходимо разработать метод решения задачи импакт-анализа, суть которой сводится к выявлению абонентов, качество сервиса у которых снизилось в результате неполадок в сети доступа, и определению степени снижения качества получаемых сетевых услуг. Для этого необходимо разработать типовые правила, учитывающие особенности используемых протоколов маршрутизации, и подтвердить работоспособность предлагаемого метода.

Возникновение неполадок в сети доступа ОТС приводит к снижению качества предоставляемых абонентам телекоммуникационных услуг. В тех случаях, когда происходит полный отказ в предоставлении определенной услуги, можно быстро определить пострадавших абонентов путем чтения списка абонентов, пользующихся этой услугой. Однако, в случаях частичного или функционального отказа в сети доступа ОТС определить абонентов, качество обслуживания которых заметно ухудшилось, существенно сложнее. Причиной этому является то обстоятельство, что предоставление услуги продолжается, но с худшим качеством, кроме того, в сети могут сработать механизмы автоматической компенсации неисправностей в виде переключения на резерв, в результате чего негативное воздействие неисправности может быть полностью компенсировано. В таких случаях необходимо провести аналитический расчет значений параметров, определяющих качество услуги, предоставляемой абоненту, и сравнить полученные значения с номинальными. Степень расхождения этих значений, а также категория абонента

определяет мероприятия, проводимые ОТС по работе с абонентами.

Одной из наиболее распространенных услуг, предоставляемых ОТС, является доступ к сети Интернет. Поверх этой услуги реализовано множество сервисов, таких как *VoIP*, *IPTV* и пр. Одним из важнейших параметров Интернет-услуг является скорость доступа. При снижении скорости в результате неполадок в сети доступ сохраняется, но качество предоставляемых услуг перестает соответствовать оговоренным требованиям. Поэтому в данной статье в качестве параметра, характеризующего качество предоставляемых услуг, рассматривается скорость доступа к сети Интернет, а задача импакт-анализа сводится к определению степени снижения скорости доступа относительно ее номинального значения, произошедшей в результате неполадок в сети.

Структура системы импакт-анализа

Структура системы определения влияния неполадок на качество обслуживания абонентов ОТС приведена на рис. 1.

Инвентарная БД ОТС хранит информацию обо всем оборудовании и его настройках, линиях связи, их пропускной способности и скорости передачи данных, предоставляемых сервисах, пользователях, которыми являются частные лица и организации, и пр.

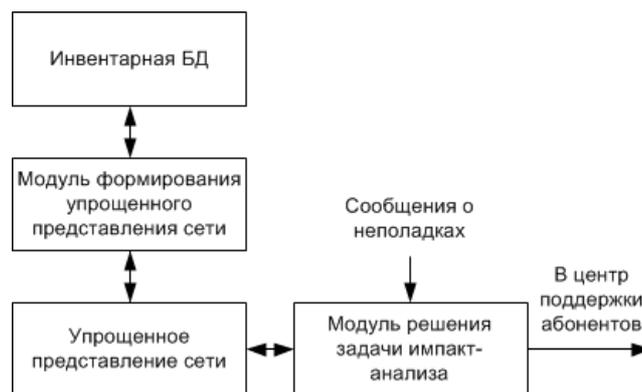


Рис. 1. Структура системы импакт-анализа

Путем поиска в инвентарной БД можно найти все сведения о структуре и свойствах сети, а также об абонентах, необходимые для решения задачи импакт-анализа. В то же время, объем инвентарной БД крупного ОТС огромный, поэтому использовать ее для решения задач импакт-анализа не представляется возможным по причине существенных за-

трат времени на поиск информации, необходимой для решения поставленной задачи.

Поэтому вместо инвентарной БД, позволяющей получить полное представление о сети, для импакт-анализа строится упрощенное представление, которое отображает только те аспекты сетевой инфраструктуры, которые имеют отношение к решению задачи импакт-анализа [1].

Для предлагаемого в статье метода необходимо иметь упрощенное представление сети, содержащее топологическую схему сети, модель узла, а также систему правил, описывающих особенности взаимодействия узлов сети.

Топологическую схему удобно представить в виде графа, вершины которого соответствуют сетевым узлам, а ветви — линиям связи, соединяющим узлы. Модель узла должна описывать прохождение информационных потоков через сетевой узел и учитывать реакцию сетевого оборудования на возникающие неисправности. Система правил должна учитывать особенности сетевых протоколов, функционирования сетевого узла и реакции узлов на неполадки.

Сообщения о неполадках поступают из системы мониторинга сети ОТС (рис.1). После расчета значений параметров импакт-анализа по упрощенному представлению результаты оценки влияния неполадок в сети доступа в виде информации об абонентах, которые должны ощутить снижение качества получаемых сетевых сервисов, и степени снижения показателей качества сервисов передаются в центр поддержки абонентов ОТС для последующей работы с абонентами.

Разработка модели сети

Модель сети доступа ОТС, используемую для решения задачи импакт-анализа, целесообразно представить в виде графа, когда вершинам графа сопоставляются узлы сети, а ребрам — линии связи [2].

Каждый сетевой узел $U_{i,j}$, $i = \overline{1, I}$, $j = \overline{1, J_i}$, I — количество уровней иерархии узлов, J_i — количество узлов на i -м иерархическом уровне, соединяется с другими узлами входящими и исходящими связями.

Для решения задачи импакт-анализа предлагается использовать модель узла, представленную на рис. 2.

Каждый узел сети $U_{i,j}$, $i = \overline{1, I}$, $j = \overline{1, J_i}$ представляется в виде совокупности входного модуля, ядра узла и выходного модуля.

Входной модуль состоит из портов и промежуточного входного интерфейса.

Оценка состояния входной связи производится посредством нормированного коэффициента снижения скорости доступа на входе порта входного модуля $G_n^{(i,j)}$, $n = \overline{1, N_{i,j}}$, где n — номер порта входного модуля, $N_{i,j}$ — количество портов входного модуля узла $U_{i,j}$, $i = \overline{1, I}$, $j = \overline{1, J_i}$. Коэффициент $G_n^{(i,j)} \in [0, 1]$ вычисляется следующим образом:

$$G_n^{(i,j)} = \begin{cases} \frac{s_n^{(i,j)}}{v_n^{(i,j)}}, & \text{при } v_n^{(i,j)} > 0; \\ 0, & \text{при } v_n^{(i,j)} = 0, \end{cases}$$

где $s_n^{(i,j)}$ и $v_n^{(i,j)}$, $n = \overline{1, N_{i,j}}$ — соответственно фактическая и номинальная скорости на входе n -го порта узла $U_{i,j}$.

На вход узла (рис. 2) могут поступать потоки с различающейся скоростью передачи данных, и вклад этих потоков в суммарный выходной поток на выходе промежуточного интерфейса входного модуля будет различным. Также будет различным влияние отказа одного из потоков на общую картину трафика, проходящего через узел. В данной статье задача импакт-анализа рассматривается относительно скорости доступа, поэтому отказ потока с большей номинальной скоростью приведет к большему снижению скорости доступа на выходе промежуточного интерфейса входного модуля и. Для учета степени влияния отказа потока введем коэффициент $g_n^{(i,j)}$, который для всех $n = \overline{1, N_{i,j}}$ определяется следующим образом:

$$g_n^{(i,j)} = \begin{cases} \frac{v_n^{(i,j)}}{V_{i,j}}, & \text{при } V_{i,j} > 0; \\ 0, & \text{при } V_{i,j} = 0, \end{cases}$$

где $v_n^{(i,j)}$, $n = \overline{1, N_{i,j}}$, — номинальная скорость n -го порта узла $U_{i,j}$, а $V_{i,j} = \max_n(v_n^{(i,j)})$, $n = \overline{1, N_{i,j}}$ — максимальная номинальная ско-

рость среди всех входных портов узла $U_{i,j}$, $g_n^{(i,j)} \in [0,1]$.

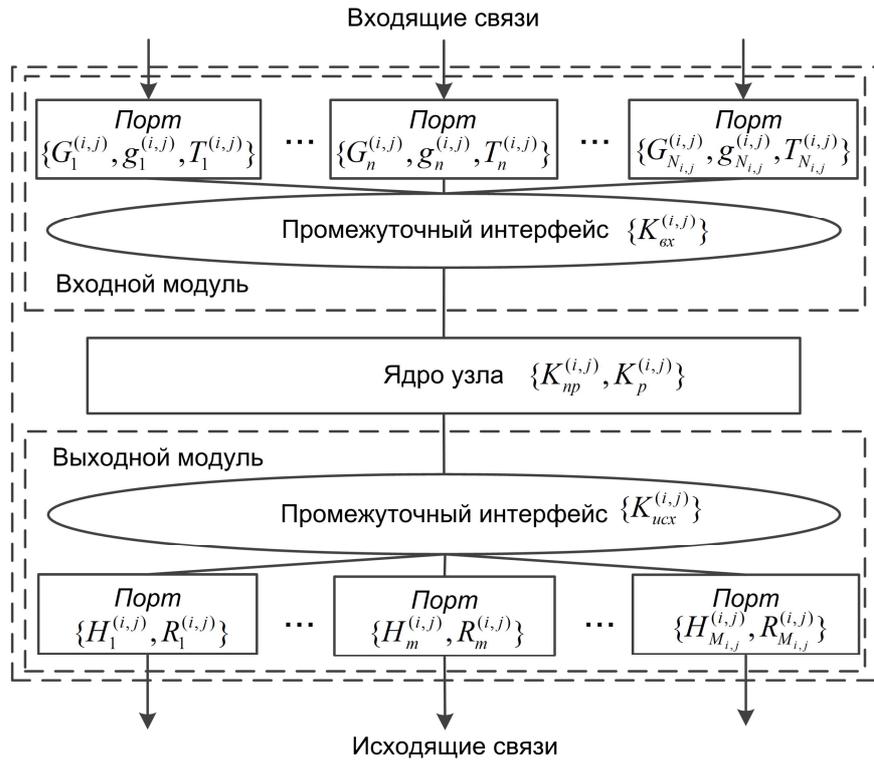


Рис. 2. Модель узла сети

Связи узлов могут быть основными или резервными. Основные связи используются для приема и передачи данных при штатной работе узла. Резервные связи в нормальных условиях не используются, а задействуются только при возникновении неисправностей в сети.

Для учета типа входных связей узла введем вектор $\bar{D}_{i,j} = (d_1^{(i,j)}, d_2^{(i,j)}, \dots, d_{N_{i,j}}^{(i,j)})$ размерностью $N_{i,j}$, значения элементов которого определяются так

$$d_n^{(i,j)} = \begin{cases} 1, & \text{если связь основная} \\ & \text{или задействованная резервная;} \\ 0, & \text{если связь резервная} \\ & \text{и не задействована,} \end{cases} \quad \forall n = \overline{1, N_{i,j}}$$

для всех $n = \overline{1, N_{i,j}}$.

$$K_{вх}^{(i,j)} = \begin{cases} \frac{\sum_{n=1}^{N_{i,j}} (G_n^{(i,j)} \cdot T_n^{(i,j)} \cdot g_n^{(i,j)} \cdot d_n^{(i,j)})}{\sum_{n=1}^{N_{i,j}} (g_n^{(i,j)} \cdot d_n^{(i,j)})}, & \text{при } \sum_{n=1}^{N_{i,j}} (g_n^{(i,j)} \cdot d_n^{(i,j)}) > 0; \\ 0, & \text{при } \sum_{n=1}^{N_{i,j}} (g_n^{(i,j)} \cdot d_n^{(i,j)}) = 0. \end{cases} \quad (1)$$

В ядре узла принимается решение о переключении на резервные линии связи. Введем коэффициент перехода на резерв $K_{np}^{(i,j)}$, $i = \overline{1, I}$, $j = \overline{1, J_i}$, значение которого определя-

ется работоспособностью порта входного модуля оценивается коэффициентом $T_n^{(i,j)} \in [0,1]$, $n = \overline{1, N_{i,j}}$, причем

$$T_n^{(i,j)} = \begin{cases} \frac{w_n^{(i,j)}}{s_n^{(i,j)}}, & \text{при } s_n^{(i,j)} > 0; \\ 0, & \text{при } s_n^{(i,j)} = 0, \end{cases}$$

где $s_n^{(i,j)}$ и $w_n^{(i,j)}$, $n = \overline{1, N_{i,j}}$, соответственно, фактическая скорость на входе и выходе n -го порта узла $U_{i,j}$.

Для оценки скорости доступа входного модуля введем коэффициент $K_{вх}^{(i,j)}$

ся настройками узла $U_{i,j}$, хранящимися в инвентарной БД, и учитывается производственными правилами для конкретных узлов и протоколов. Ядру узла соответствуют шасси и

операционная система реального коммутационного оборудования.

Когда $K_{ex}^{(i,j)} \leq K_{np}^{(i,j)}$, ядро переводит резервные связи в активное состояние и входной модуль учитывает это при расчете $K_{ex}^{(i,j)}$. При возвращении скорости доступа по основным связям к номинальному значению, ядро переводит резервные связи в неактивное состояние, и они перестают учитываться при расчете $K_{ex}^{(i,j)}$.

Для оценки работоспособности ядра введем коэффициент $K_p^{(i,j)} \in [0,1]$, $i = \overline{1, I}$, $j = \overline{1, J_i}$, который зависит от состояния узла и определяется следующим образом:

$$K_p^{(i,j)} = \begin{cases} \frac{S_{вых}^{(i,j)}}{S_{ex}^{(i,j)}}, & \text{при } S_{ex}^{(i,j)} > 0; \\ 0, & \text{при } S_{ex}^{(i,j)} = 0, \end{cases}$$

где $S_{ex}^{(i,j)}$ и $S_{вых}^{(i,j)}$, соответственно, скорость доступа на входе и выходе ядра узла $U_{i,j}$.

Выходной модуль состоит из промежуточного интерфейса и портов.

Состояние промежуточного интерфейса выходного модуля оценивается коэффициентом $K_{исх}^{(i,j)}$, который рассчитывается следующим образом:

$$K_{исх}^{(i,j)} = K_{ex}^{(i,j)} \cdot K_p^{(i,j)}. \quad (2)$$

Для оценки работоспособности портов выходного модуля введем коэффициент $R_m^{(i,j)}$, $m = \overline{1, M_{i,j}}$, где $M_{i,j}$ — количество портов выходного модуля узла $U_{i,j}$, $i = \overline{1, I}$, $j = \overline{1, J_i}$.

Коэффициент определяется аналогично коэффициенту $T_n^{(i,j)}$.

Оценка состояния исходящей связи осуществляется коэффициентом $H_m^{(i,j)}$, который рассчитывается следующим образом:

$$H_m^{(i,j)} = K_{исх}^{(i,j)} \cdot R_m^{(i,j)}. \quad (3)$$

Посредством описанных выше коэффициентов можно аналитически рассчитать скорость на исходящих линиях узла сети при известных скоростях входящих связей.

Разработка продукционных правил для сетей с RIP и OSPF

В зависимости от протоколов маршрутизации, используемых в сетях доступа ОТС, влияние неполадок на распределение и перераспределение

сетевого трафика будет различным. Протоколы маршрутизации типа OSPF задействуют резервные линии связи или строят сложные пути маршрутизации трафика. Протоколы, подобные RIP, не обладают подобными свойствами.

Предложенная модель узла позволяет рассчитывать степень снижения скорости доступа на выходе узла, но не учитывает аспекты взаимодействия узлов и особенности протоколов маршрутизации. Учет взаимодействия узлов при решении задачи импакт-анализа можно реализовать путем использования продукционных правил, описывающих логику взаимодействия узлов сети и свойства самих узлов, необходимые для расчета по упрощенному представлению.

Реализация продукционного подхода в программном коде требует выполнения большого количества строковых сравнений и преобразований, что существенно увеличивает время расчета влияния неисправностей в сети на качество сервисов. Поэтому целесообразно объединить продукционный подход с алгоритмическим, обладающим высоким быстродействием и позволяющим быстро пересчитывать все необходимые коэффициенты узлов сети. Высокая скорость работы программной реализации алгоритмического подхода достигается за счет выполнения только алгебраических операций над коэффициентами.

Продукционный подход использует систему правил, запись которых в нотации Бекуса-Наура имеют вид [2]:

```
<система_правил> ::= [<продукция>]
<продукция> ::= <условие> → <следствие>
<условие> ::= [<простое_условие>]
<простое_условие> ::= <объект> <атрибут>
<предикат> <значение>
<объект> ::= client | service | technology | device | port
<следствие> ::= [<команда> | <формула> | <программа>]
<предикат> ::= = | <|> | <|<|>
<атрибут> ::= <название_сервиса> | <название_технологии> | <тип_устройства> | <параметр> | <тип_клиента> | <название_клиента>
```

Для узлов $U_{i,j}$, $i = \overline{1, I}$, $j = \overline{1, J_i}$, использующих протокол маршрутизации RIP, необходимо использовать следующие правила:

```
IF technology.parent.port.node = RIP ^
class.parent.port.node = Router ^ technology.node =
RIP ^ class.node = Router THEN IsActive.port.node =
1;
```

IF technology.parent.port.node \neq RIP \wedge
 class.parent.port.node = Router \wedge technology.node =
 RIP \wedge class.node = Router THEN g.port.node = 0,
 где *node* — узел сети, для которого применяется
 производственное правило (далее — текущий
 узел), *port.node* — входной порт текущего узла,
technology.node — протокол маршрутизации
 текущего узла, *parent.port.node* — узел,
 который соединен с текущим узлом через
 порт *port.node* (далее — родительский узел),
technology.parent.port.node — протокол маршрутизации
 родительского узла, *IsActive.port.node* — определяет,
 является ли связь порта основной, *g.port.node* — коэффициент
 $g_n^{(i,j)}$ порта.

Если используется маршрутизация *RIP*, а
 узлы $U_{i,j}$, $i = \overline{1, I}$, $j = \overline{1, J_i}$ являются маршрутизаторами,
 то нужно указать, что входная связь является основной.
 Если родительский узел не использует протокол *RIP*,
 то при помощи изменения коэффициента $g_n^{(i,j)}$ поток
 порта перестает использоваться в расчете $K_{ex}^{(i,j)}$.

Для узлов $U_{i,j}$, $i = \overline{1, I}$, $j = \overline{1, J_i}$, использующих
 протокол *OSPF*, необходимо применять следующие правила:

IF technology.parent.port.node = OSPF \wedge
 class.parent.port.node = Router \wedge technology.node =
 OSPF \wedge class.node = Router THEN IsActive.port.node
 = 1;

IF technology.parent.port.node \neq OSPF \wedge
 class.parent.port.node = Router \wedge technology.node =
 OSPF \wedge class.node = Router THEN g.port.node = 0;

IF UseAsReserve.port.parent.port.node = 1 \wedge
 technology.parent.port.node = OSPF \wedge
 class.parent.port.node = Router \wedge technology.node =
 OSPF \wedge class.node = Router THEN
 IsReserve.port.node = 1;

IF UseAsReserve.port.parent.port.node = 1 \wedge
 technology.parent.port.node = OSPF \wedge
 class.parent.port.node = Router \wedge technology.node =
 OSPF \wedge class.node = Router THEN IsActive.port.node
 = 0,

где *UseAsReserve.port.parent.port.node* — определяет,
 используется ли связь как резервная в текущей конфигурации сети.

Для учета общих особенностей взаимодействия всех узлов сети необходимо описать общие производственные правила, учитывающие общесетевые аспекты и аспекты взаимодействия с внешними сетями. Например, необходимо отдельно описать правило для узла верхнего уровня, скорость доступа которого зависит

не от неполадок в сети провайдера, а от неполадок в магистральных сетях.

Таковыми правилами могут быть, например,
 IF MainNode.node = 1 \wedge InPortCount.node = 0
 THEN kIn.node = InputValue.MainNode.node,

где *MainNode.node* — признак того, что скорость доступа узла зависит от внешних сетей,
InPortCount.node — количество портов входного модуля узла, *kIn.node* — коэффициент $K_{ex}^{(i,j)}$ узла, *InputValue.MainNode.node* — отношение реальной скорости доступа к заявленной.

Алгоритм расчета упрощенного представления сети доступа

Упрощенное представление строится на основании информации из инвентарной БД и производственных правил. При возникновении неисправностей необходимо быстро пересчитать коэффициенты узлов с целью определения влияния неисправностей на скорость доступа абонентов. Расчет коэффициентов происходит при помощи модифицированного алгоритма расчета по упрощенному представлению [2]. Алгоритм заключается в последовательном обходе графа в глубину и вычислении коэффициентов для каждого узла сети. Отличительной особенностью предлагаемого алгоритма является дополнительная логика при повторном расчете коэффициентов узла и исключение узлов из расчета. Когда коэффициенты узла невозможно рассчитать по причине, например, циклических связей в модели, то узел добавляется в список узлов, требующих повторного расчета. Если узел нельзя рассчитать несколько раз, то он добавляется в список узлов, коэффициенты которых рассчитать невозможно, а информация о таких узлах поступает к администратору системы импакт-анализа. Для повышения скорости расчета при возникновении неисправности обход графа начинается с вершины, в которой возникла неисправность. Определяются все зависимые узлы, для которых производится перерасчет коэффициентов. После перерасчета коэффициентов в узлах нижнего уровня (уровня абонентов) можно определить степень снижения качества предоставляемого сервиса путем определения фактической скорости доступа.

Работу алгоритма при первоначальном расчете, когда необходимо рассчитать коэффициенты для всех узлов в сети можно описать следующим образом:

Шаг 1. Начиная с верхнего иерархического уровня для всех узлов рассчитывать коэффициенты $K_{ex}^{(i,j)}$ и $K_{исх}^{(i,j)}$.

Шаг 2. Если коэффициенты узла нельзя пересчитать, то добавить узел в список узлов, требующих повторного расчета.

Шаг 3. Если расчет коэффициентов для всех узлов закончен, то пересчитать коэффициенты узлов из списка узлов, требующих повторного расчета.

Шаг 4. Если коэффициенты узла нельзя рассчитать несколько раз (количество попыток задается администратором системы импакт-анализа), то добавить узел в список узлов, коэффициенты которых рассчитать невозможно.

В случае неполадки в узле работу алгоритма можно описать в виде:

Шаг 1. Пересчитать коэффициенты проблемного узла.

Шаг 2. Пересчитать коэффициенты узлов, имеющих входную связь с проблемным узлом.

Шаг 3. В случае снижения скорости доступа для одного из узлов — считать его проблемным и повторить алгоритм начиная с шага 1.

Алгоритм решения задачи импакт-анализа

Шаг 1. Построить граф модели. На основании данных инвентарной БД ОТС строится граф модели сети.

Шаг 2. Применить продукционные правила к графу с целью получения упрощенного представления. Для учета логики взаимодействия узлов сети к узлам графа применяются продукционные правила, состоящие из условия и следствия. Если условие выполняется, то применяется следствие правила. Продукционный подход позволяет: отделить алгоритм расчета коэффициентов узла от правил, по которым взаимодействуют узлы в сети; описать логику взаимодействия узлов в сети в виде продукционных правил. Недостаток продукционного подхода — медленное выполнение преобразований при применении правила к узлу.

Шаг 3. Выполнить расчет коэффициентов по упрощенному представлению. После применения продукционных правил выполняются расчеты по упрощенному представлению с использованием алгоритмического подхода, позволяющего быстро делать все преобразования за счет выполнения только математических операций над коэффициентами. Расчеты

по упрощенному представлению сводятся к расчету коэффициентов узлов в сети. Сначала рассчитываются коэффициенты всех узлов модели. При возникновении неполадок перерасчет выполняется только для узлов, на которые повлияла неполадка.

Шаг 4. Определить степень влияния неполадки на качество предоставляемых сервисов, путем сравнения полученных значений коэффициентов с номинальными значениями. Информация о степени снижения значений показателей качества сервиса передается в центр поддержки абонентов провайдера.

Тестовые примеры модели сети

Подтверждение работоспособности предлагаемого метода произведено на тестовых примерах модели сети.

1. Модель без резервных связей.

Все узлы являются маршрутизаторами, использующими протокол RIP. Резервные линии связи не используются (см. рис. 3).

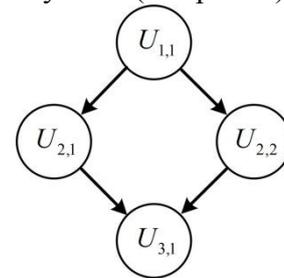


Рис. 3. Модель без резервных связей

На основании модели узлов и продукционных правил опишем модель следующим образом.

В начальный момент коэффициенты узлов в сети имеют значения:

$$K_p^{(1,1)} = K_p^{(2,1)} = K_p^{(2,2)} = K_p^{(3,1)} = 1,$$

$$T_1^{(2,1)} = T_1^{(2,2)} = T_1^{(3,1)} = T_2^{(3,1)} = 1,$$

$$g_1^{(2,1)} = g_1^{(2,2)} = g_1^{(3,1)} = g_2^{(3,1)} = 1,$$

$$R_1^{(1,1)} = R_2^{(1,1)} = R_1^{(2,1)} = R_1^{(2,2)} = 1.$$

Все связи являются основными

$$d_n^{(i,j)} = 1, \quad \forall i = \overline{1, I}, j = \overline{1, J_i} \text{ и } n = \overline{1, N_{i,j}}.$$

Значения параметров узла $U_{1,1}$:

$MainNode.node = 1, InPortCount.node = 0, InputValue.MainNode.node = 1.$

Применив общие правила и правила для протокола RIP, задав $K_{ex}^{(1,1)} = 1$ для сети без неполадок, получим:

$$K_{ex}^{(3,1)} = \frac{G_1^{(3,1)} \cdot T_1^{(3,1)} \cdot g_1^{(3,1)} \cdot d_1^{(3,1)}}{g_1^{(3,1)} \cdot d_1^{(3,1)} + g_2^{(3,1)} \cdot d_2^{(3,1)}} + \frac{G_2^{(3,1)} \cdot T_2^{(3,1)} \cdot g_2^{(3,1)} \cdot d_2^{(3,1)}}{g_1^{(3,1)} \cdot d_1^{(3,1)} + g_2^{(3,1)} \cdot d_2^{(3,1)}} = 1.$$

Таким образом, если в сети нет неполадок, то скорость доступа на выходе узла $U_{3,1}$ соответствует заявленной.

В случае отказа узла $U_{2,1}$ коэффициент $K_p^{(2,1)} = 0$, а $K_{ex}^{(3,1)} = 0,5$.

Таким образом, происходит очевидное снижение скорости в два раза.

2. Модель с одной резервной связью.

Все узлы являются маршрутизаторами, направляющими трафик по нескольким линиям. Резервная линия связи обозначена R (рис. 4).

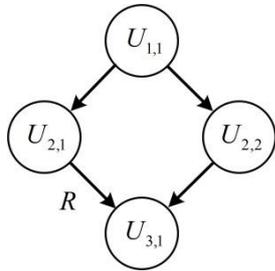


Рис. 4. Модель с одной резервной связью

При отказе узла $U_{2,2}$ или при обрыве связи между узлами $U_{3,1}$ и $U_{2,2}$ задействуется резервная связь, соединяющая узлы $U_{3,1}$ и $U_{2,1}$. В случае снижения скорости передачи от узла $U_{2,2}$ на узел $U_{3,1}$ резервная связь задействоваться не будет, т.е. считается, что коэффициент перехода на резерв $K_{np}^{(3,1)} = 0$.

На основании модели узлов и продукционных правил при отсутствии неисправностей коэффициент $K_{ex}^{(3,1)} = 1$.

При отказе узла $U_{2,2}$ скорость на выходе узла $U_{3,1}$ упадет до нуля, но тогда $K_{ex}^{(3,1)} \leq K_{np}^{(3,1)}$ и, в соответствии с продукционным правилом для OSPF, $d_1^{(3,1)} = 1$ и за счет маршрутизации

$$K_{ex}^{(3,1)} = \frac{G_1^{(3,1)} \cdot T_1^{(3,1)} \cdot g_1^{(3,1)} \cdot d_1^{(3,1)}}{g_1^{(3,1)} \cdot d_1^{(3,1)} + g_2^{(3,1)} \cdot d_2^{(3,1)}} + \frac{G_2^{(3,1)} \cdot T_2^{(3,1)} \cdot g_2^{(3,1)} \cdot d_2^{(3,1)}}{g_1^{(3,1)} \cdot d_1^{(3,1)} + g_2^{(3,1)} \cdot d_2^{(3,1)}} = 1.$$

Таким образом, после перехода на резервную линию скорость доступа узла $U_{3,1}$ восстановилась до нормативного значения.

3. Модель фрагмента сети доступа ОТС.

Представим фрагмент сети ОТС с двумя корневыми узлами $U_{1,1}$ и $U_{1,2}$ (см. рис. 5).

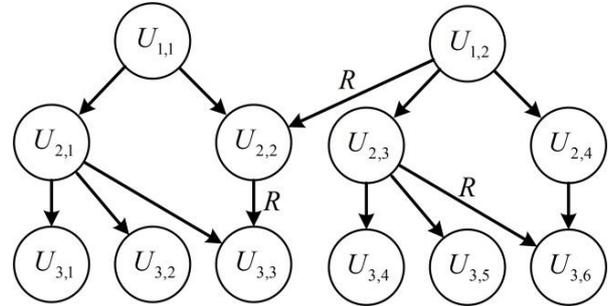


Рис. 5. Модель фрагмента сети ОТС

При работоспособной сети

$$K_p^{(i,j)} = T_n^{(i,j)} = g_n^{(i,j)} = R_n^{(i,j)} = 1, \text{ для всех}$$

$$i = \overline{1,3}, j = \overline{1,6}.$$

При отказе узла $U_{1,1}$ скорость доступа на узлах $U_{3,1}$ и $U_{3,2}$ упадет до нуля.

При $K_{ex}^{(2,2)} \leq K_{np}^{(2,2)}$ в соответствии с продукционным правилом для OSPF $d_2^{(3,3)} = 1$ и за счет маршрутизации

$$K_{ex}^{(3,3)} = \frac{G_1^{(3,3)} \times T_1^{(3,3)} \times g_1^{(3,3)} \times d_1^{(3,3)}}{g_1^{(3,3)} \times d_1^{(3,3)} + g_2^{(3,3)} \times d_2^{(3,3)}} + \frac{G_2^{(3,3)} \times T_2^{(3,3)} \times g_2^{(3,3)} \times d_2^{(3,3)}}{g_1^{(3,3)} \times d_1^{(3,3)} + g_2^{(3,3)} \times d_2^{(3,3)}} = 1,$$

скорость доступа на узле $U_{3,3}$ за счет маршрутизаторов не изменится.

Результаты моделирования

Моделирование проводилось на сервере с ОС *Windows Server 2008 R2 Enterprise*, процессором *Intel Xeon X5675* (частота 3 ГГц), 96 Гб ОЗУ, режим работы 64-бит, один поток. Граф тестовой модели состоял из десяти иерархических уровней, выходной модуль каждого из узлов содержал пять портов. Результаты моделирования усреднялись по тридцати экспериментам. Для демонстрации преимуществ предлагаемого метода производились дополнительные исследования с использованием только продукционного подхода, когда задача импакт-анализа решалась только применением правил.

На графиках рис. 6 изображена зависимость среднего времени построения упрощенного представления (кривые 1 и 2) и

среднего времени решения задачи импакт-анализа (кривые 3 и 4) от количества узлов сети ОТС.

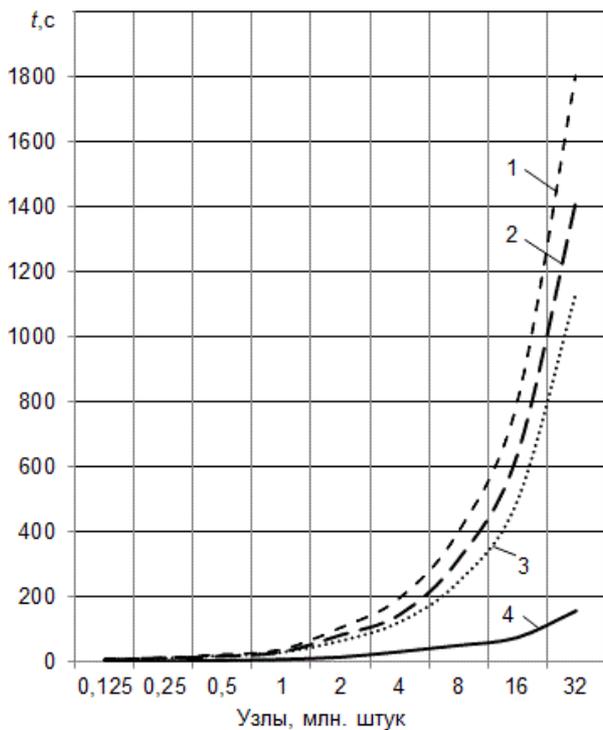


Рис. 6. Результаты моделирования:

- 1 — среднее время построения упрощенного представления продукционным методом;
- 2 — среднее время построения упрощенного представления предлагаемым методом;
- 3 — среднее время выполнения анализа продукционным методом;
- 4 — среднее время выполнения анализа предлагаемым методом

Анализ результатов эксперимента позволяет сделать вывод, что предлагаемый метод, использующий интеграцию продукционного и алгоритмического подходов, значительно быстрее решает задачу импакт-анализа, чем продукционный подход. Причем выигрыш тем больше, чем больше узлов в сети ОТС.

Выводы

В работе предложен метод определения влияния неполадок в IP-сети доступа на качество предоставляемого сервиса. Метод объединяет алгоритмический и продукционный подходы, что позволяет соединить гибкость

продукционных правил и высокую скорость расчета по модели сети. Разработана модель узла сети, позволяющая использовать алгоритмический и продукционный подходы для решения задачи импакт-анализа. Определены продукционные правила, учитывающие особенности взаимодействия узлов, использующих протоколы маршрутизации *RIP* и *OSPF*. Проведенные исследования подтвердили работоспособность метода и преимущества по быстродействию интеграции продукционного и алгоритмического подходов. Время решения задачи импакт-анализа для сети оператора с количеством оборудования 4 млн. единиц — не более 30 с.

Дальнейшее развитие исследований видится в создании библиотеки типовых продукционных правил для распространенных сетевых протоколов, что позволит расширить класс сетей, для которых можно будет решать задачу импакт-анализа предложенным методом.

Список литературы

1. Теленик С.Ф. Определение распространения влияния неисправностей в сети доступа на качество предоставляемых сервисов / С.Ф. Теленик, А.И. Ролик, М.М. Букасов, М.В. Ясочка // Вісник НТУУ «КПІ»: Інформатика, управління та обчислювальна техніка. — 2009. — № 50. — С. 164–173.
2. Теленик С.Ф. Швидкий алгоритм визначення впливу неполадок елементів мережі доступу на якість обслуговування клієнтів / С.Ф. Теленик, О.І. Ролік, М.В. Ясочка, Д.В. Малюгін // Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія. — 2010. — №2 (18). — С. 51–62.
3. RFC2453. Malkin G. RIP Version 2. November, 1998. — 39 p.
4. RFC1131. Moy J. OSPF specification. October, 1989. — 107 p.
5. Теленик С.Ф. Нечітке оцінювання в задачах управління рівнем обслуговування / С.Ф. Теленик, О.І. Ролік, М.В. Ясочка, О.М. Моргалъ // Наукові записки УНДІЗ. — 2011. — № 2 (18). — С. 29–42.