

# ПРОЦЕДУРЫ ОПТИМИЗАЦИИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННЫХ ПОТОКОВ В АГЕНТНЫХ МУЛЬТИСЕРВИСНЫХ СЕТЯХ

**А.Н. Буханько**

Аспирант  
Кафедра сетей свяоти\*  
Контактный тел.: 8-097-280-72-87  
E-mail: a\_borman@mail.ru

**В.М. Безрук**

Доктор технических наук, профессор, заведующий  
кафедрой  
Кафедра сетей свяоти\*  
Контактный тел.: 8 (057) 702-14-29

**Е.В. Дуравкин**

Кандидат технических наук, доцент  
Кафедра телекоммуникационных систем\*  
\*Харьковский национальный университет  
радиоэлектроники  
пр. Ленина, 14, г. Харьков, Украина, 61166

*Розглянуто загальну характеристику децентралізованих систем керування на основі агентів. Наведені агентні процедури керування інформаційними потоками в мультисервісних мережах і результати їхнього застосування*

*Ключові слова: керуючий агент, градієнтний спуск, оптимізація*

---

*Рассмотрена общая характеристика децентрализованных систем управления на основе агентов. Приведены агентные процедуры управления информационными потоками в мультисервисных сетях и некоторые результаты их исследования*

*Ключевые слова: управляющий агент, градиентный спуск, оптимизация*

---

*This article is represented a general characteristic of the decentralized control systems on the basis of operating agents. There are result-ed some management procedures by information streams in multiservice networks and results of their application*

*Key words: operating agent, gradient's descent, optimization*

## 1. Введение

Развитие сетевых приложений выдвигает требование к постоянному развитию телекоммуникационных технологий, появлению новых предлагаемых услуг связи. Это обстоятельство приводит к тому, что телекоммуникационные сети (ТКС) должны позволять передавать многокомпонентную (мультимедийную) информацию (речь, данные, видео, аудио) с необходимой синхронизацией этих компонентов в реальном времени [1] и гарантированными параметрами качества обслуживания. При этом одновременная эксплуатация нескольких сетей (передачи данных, передачи голоса, передачи видео) не выгодна с экономической точки зрения.

В связи с этим вышесказанным, актуальной задачей является создание единой мультисервисной сети следующего поколения, которая позволит получать все виды сетевых услуг с помощью универсального телекоммуникационного терминала. Исходя из концепции 4G/LTE, современные мультисервисные сети строятся путем конвергирования, что связано с гибридизацией различных сетевых приложений, а это приводит к усложнению ТКС в целом. Соответственно такая мультисервисная ТКС должна обладать эффективными и надежными методами управления с целью обеспечения QoS.

Эффективным средством обеспечения заданных параметров QoS в мультисервисных сетях является децентрализованная система управления [2]. Составля-

ющим элементом данной системы является управляющий агент (УА), отвечающий за определенный участок сети и обменивающийся служебной информацией с ближайшими агентами. УА может быть построен на базе интеллектуального сетевого устройства, такого как, управляемый коммутатор, маршрутизатор или сервер со специализированным программным обеспечением. Определяющей составной частью каждого УА является программный комплекс, содержащий ряд алгоритмов и процедур для управления принадлежащим агенту участку ТКС. Эти процедуры рассмотрены в [3] и других источниках. Недостатки данных методов определяются их несистемным подходом к реализации управления многоприоритетным, пульсирующим трафиком сетевых приложений, сложностью моделирования и реализации.

**Цель статьи** – развитие и совершенствование методов и процедур работы УА участка ТКС для комплексного управления распределением информационных потоков по принадлежащим ему каналам связи (КС) для поддержки выбранных показателей QoS с целью обеспечения заданных параметров и характеристик передачи данных в условиях пульсирующего, многоприоритетного, различного по происхождению трафика мультисервисной ТКС.

**2. Основная часть**

Рассмотрим отдельный УА, которому принадлежат  $m$  КС, инцидентных некоторым смежным  $n$  агентам (рис. 1). Множество УА работают в тактовом режиме управления сетью, где такт равен  $T$ .

В каждый такт работы системы агент оперирует значениями пропускной способности (ПС) и интенсивности нагрузки тех каналов, которым он инцидентен. Способы определения данных ПС различаются для каждого протокола, однако для случая мультисервисной сети, построенной на базе протокола IP, наиболее распространенным является метод пакетов службы *tcp* или схожих методов. Кроме этого, каждый КС имеет свою стоимость, которая является постоянной и задается заранее экспертно или исходя из статистики сети.

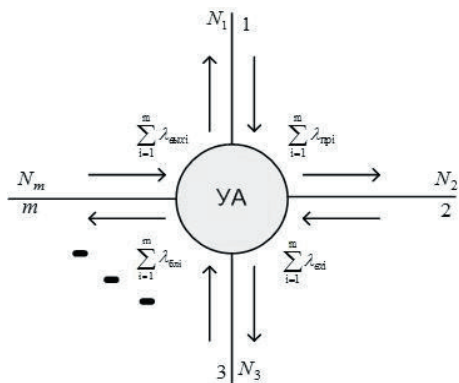


Рис. 1.

Для рассматриваемого УА были выделены следующие процедуры в плоскости управления инцидентными ему КС:

1. *Управление среднеквадратичным отклонением (СКО) нагрузки инцидентных рабочих каналов.* Это позволяет оптимизировать распределение поступающей нагрузки, чаще всего пульсирующей, на агент по принадлежащим ему КС и снизить время адаптации участка сети к стохастическому изменению параметров мультимедийного трафика.

2. *Организация контроля степени загруженности соседних УА и управление информационными потоками соответствующих КС, соединяющих с ними рассматриваемый агент.* Это позволяет оптимизировать распределение нагрузки не только по одному агенту, но по группе УА, а соответственно, по более крупному участку сети, в общем случае, всей мультисервисной ТКС.

3. *Нахождение наиболее экономически выгодного варианта использования совокупности КС для обслуживания поступающей нагрузки при максимальной их загруженности.* последних.

Данные процедуры осуществляются на основе анализа выбранных показателей качества: интенсивность входящего/исходящего потока, ПС и стоимость  $i$ -го КС.

Общая относительная загруженность отдельного УА находится следующим образом:

$$Z_{УА} = \frac{\sum_{i=1}^m \lambda_{вхi} + \sum_{i=1}^m \lambda_{выхi}}{\sum_{i=1}^m N_i}, \tag{1}$$

где  $\sum_{i=1}^m \lambda_{вхi}$  – общая входная интенсивность информационных потоков КС, принадлежащих УА;  $\sum_{i=1}^m \lambda_{выхi}$  – общая исходящая интенсивность КС агента;  $\sum_{i=1}^m N_i$  – общая ПС КС агента.

Заметим, что интенсивность потока в каждом канале определяется смежным агентом либо сетевым приложением источника. При этом минимальной распределяемой единицей в сети является IP пакет, что означает стохастическое распределение потоков по КС.

В общем виде исходящая интенсивность отдельного УА согласно рис. 1 находится следующим образом:

$$\sum_{i=1}^m \lambda_{выхi} = \sum_{i=1}^m \lambda_{вхi} + \sum_{i=1}^m \lambda_{прi} + \lambda_{пер} - \sum_{i=1}^m \lambda_{блi}, \tag{2}$$

где  $\sum_{i=1}^m \lambda_{прi}$  – часть потока, адресованного непосредственно агенту или узлам его участка;  $\lambda_{пер}$  – интенсивность потока, генерируемая самим агентом или узлами его участка;  $\sum_{i=1}^m \lambda_{блi}$  – полезная нагрузка, заблокированная в агенте, вследствие переполнения его буферного устройства.

Управление распределением исходящей интенсивности потока по КС заключается в нахождении вектора распределения потока (ВРП) следующего вида:

$$\bar{K} = (k_1, k_2, \dots, k_m), \sum_{i=1}^m k_i = 1. \tag{3}$$

Другими словами, каждому каналу ставится в соответствие свой коэффициент распределения  $k_i$ , соответственно, выражение (3) для  $i$ -го КС сводится к следующему виду:

$$\lambda_{\text{вых}i} = k_i \left( \sum_{i=1}^m \lambda_{\text{вх}i} + \sum_{i=1}^m \lambda_{\text{пр}i} + \lambda_{\text{пер}} - \sum_{i=1}^m \lambda_{\text{бл}i} \right). \quad (4)$$

По аналогии с (1) получим относительную загруженность  $i$ -го канала

$$\rho_i = \frac{\lambda_{\text{вх}i} + k_i \left( \sum_{i=1}^m \lambda_{\text{вх}i} + \sum_{i=1}^m \lambda_{\text{пр}i} + \lambda_{\text{пер}} - \sum_{i=1}^m \lambda_{\text{бл}i} \right)}{N_i}, \quad (5)$$

где  $\lambda_{\text{вх}i}$  – входящая интенсивность потока  $i$ -го канала;

$N_i$  – ПС  $i$ -го канала.

Оптимальное формирование ВРП осуществляется минимизацией СКО загруженностей каналов УА

$$\sigma_1 = \sqrt{\frac{1}{m} (\rho_i - \bar{\rho})^2}, \quad (6)$$

где  $\bar{\rho} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \rho_i$ .

Организация контроля загруженности соседних УА и, соответственно, корректировка исходящей интенсивности информационных потоков осуществляется минимизацией СКО загруженностей (1) смежных УА

$$\sigma_2 = \sqrt{\frac{1}{m} (Z_{\text{vAi}} - \bar{Z}_{\text{vAi}})^2}, \quad (7)$$

где  $\bar{Z}_{\text{vAi}} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m Z_{\text{vAi}}$ .

Принимая во внимание то, что система управления работает в тактовом режиме, найдем загруженность  $i$ -го смежного УА в момент времени  $t_0 + T$

$$Z_{\text{vAi}}^{t_0+T} = Z_{\text{vAi}}^0 + 2(k_i - k_i^0), \quad (8)$$

где  $Z_{\text{vAi}}^0$  – загруженность агента в момент инициализации системы управления;

$k_i^0, k_i$  – коэффициент ВРП (3) для КС, инцидентному  $i$ -му агенту, соответственно, в момент времени  $t_0$  и  $t_0 + T$ .

Кроме этого, каждый УА оперирует стоимостью использования полностью загруженных КС  $c_i$ . Соответственно стоимость использования всех каналов, принадлежащих УА, определяется как

$$C = \sum_{i=1}^m c_i \rho_i. \quad (9)$$

Другими словами относительная стоимость канала определяется коэффициентом загруженностью  $\rho_i$  (5).

Общий минимизируемый критерий управления участком сети агента равен

$$\varepsilon = k_c C + k_{\sigma_1} \sigma_1 + k_{\sigma_2} \sigma_2. \quad (10)$$

Весовые коэффициенты  $k_c, k_{\sigma_1}$  и  $k_{\sigma_2}$  определяют в зависимости от степени использования того или иного критерия в разрабатываемой системе управления и выбираются заранее путем экспертной оценки либо по результатам практических испытаний.

Для минимизации критерия (10) можно использовать различные методы, существенно отличающиеся по адекватности и вычислительным затратам [4]. Для рассматриваемого УА наиболее эффективными являются способ пропорционального распределения (СПР) и оптимизационный метод.

СПР является наиболее простым, быстрым и эффективным методов минимизации критерия (10) в условиях ярко выраженного импульсного стохастического трафика в сети и отсутствия оптимизации по стоимости ( $k_c = 0$ ). По сравнению с другими методами данный способ обладает лучшей переходной характеристикой критерия без наличия в ней существенных пиков. СПР предполагает нахождение ВРП в некоторый интервал работы системы следующим образом:

$$k_i = \frac{N_i - \lambda_{\text{вх}i}}{\sum_{j=1}^m (N_j - \lambda_{\text{вх}j})}, \quad (11)$$

Более адекватным и сложным является метод оптимизации, который заключается в оптимизационной минимизации полученного критерия как функции от ВРП  $\varepsilon = f(k_1, k_2, \dots, k_m)$ .

Отличительной особенностью данного метода является возможность оптимизации всех трех параметров (10), включая стоимость, при этом каждый из рассматриваемых критериев также является функцией от ВРП.

Для минимизации функции (11) используется градиентный метод спуска [1]. Исходными значениями оптимизации являются: начальный ВРП (чаще всего выбирается произвольно или по правилу  $k_i = \frac{1}{m}$ ), шаг-вектор изменения ВРП  $\Delta \bar{K} = (\Delta k_1, \Delta k_2, \dots, \Delta k_m)$  и нулевой градиент  $\varepsilon^0(k)$ . Для каждого шага процедуры находится градиент значения критерия  $\varepsilon(k)$

$$\text{grad}(\varepsilon(k)) = \left( \frac{\partial \varepsilon}{\partial k_1}, \frac{\partial \varepsilon}{\partial k_2}, \dots, \frac{\partial \varepsilon}{\partial k_m} \right). \quad (13)$$

Направление вектора градиента является направлением наиболее быстрого возрастания функции в данной точке. Противоположное ему направление представляет собой направление наиболее быстрого убывания функции. Соответственно задачей оптимизационного метода является нахождение определенного набора  $\bar{K} = (k_1, k_2, \dots, k_m)$  и соответствующего ему антиградиента, при котором функция  $\varepsilon(k)$  минимальна.

Изменение значения переменных  $k_i$  осуществляется по следующему закону:

$$k_i^{(n+1)\tau} = k_i^{n\tau} + \Delta k_i, \quad (14)$$

где  $\tau$  – интервал работы градиентного метода.

На каждом шаге работы метода происходит уменьшение и переформирование шага-вектора ВРП по следующим правилам:

$$\Delta k_i = \Delta k_i \cdot 0,5, \max(\Delta k_i) = 10^{-6}, \quad (15)$$

$$\Delta k_i = -|\Delta k_i| \cdot \text{signum}\left(\frac{\partial \varepsilon}{\partial k_i}\right), \sum_{i=1}^m \Delta k_i = 0.$$

Используя соотношения (13 – 15) можно найти минимум функции  $\varepsilon(k)$  с максимальной степенью приближения ( $\max(\Delta k_i) = 10^{-6}$ ). Заметим, что сравнение наборов ВРП между собой предполагают цикличность градиентного метода, при этом, интервал его работы должен быть намного меньше такта работы УА  $T$  ( $\tau \ll T$ ). В случае математического моделирования предполагается, что оптимальный ВРП находится мгновенно.

Для моделирования агентной мультисервисной сети с описанными процедурами управления был вы-

бран математический имитационный аппарат E-сетей. Проведенный анализ [5] показал, что среди методов имитационного моделирования E-сети обладают наибольшей универсальностью, что позволяет моделировать любые сложные структуры информационного обмена, которыми и являются децентрализованные системы управления ТКС.

Формально E-сеть задается как двудольный ориентированный граф, описываемый множеством:

$$E = (P, H, L, D, A, M_0),$$

где P – конечное множество мест, включающее подмножества B и R, (B – конечное множество периферийных мест, R – конечное множество решающих мест); H – конечное множество переходов; L – прямая функция инцидентности; D – обратная функция инцидентности; A – конечное множество набора характеристик перехода, которое включает включающее  $\tau(a_i)$  – время срабатывания перехода, q – процедура перехода и другие;  $M_0$  – начальная разметка сети.

На рис. 2 приведены результаты имитационного моделирования мультисервисной ТКС без управления (рис. 2а), с управлением на основе СПР (рис. 2б) и с использованием оптимизационного метода (рис. 2в). Здесь изображены зависимости значения критерия управления (10) от времени моделирования с величиной площади (интеграла) полученных фигур.

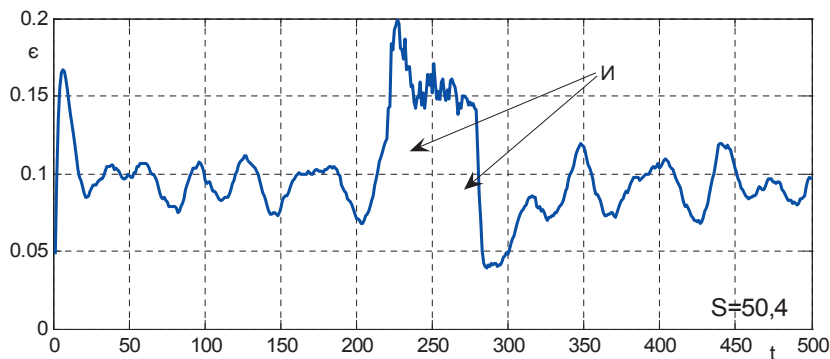


Рис. 2а

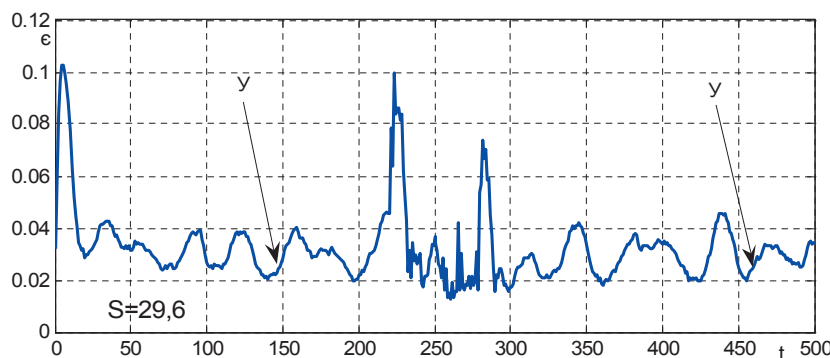


Рис. 2б

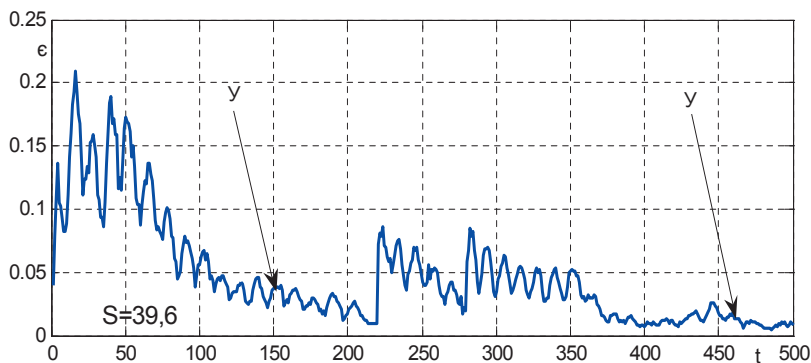


Рис. 2в

Анализируя полученные результаты можно сделать следующие *заключения*:

1. Использование СПР и оптимизационного метода позволяют уменьшить значение общего критерия  $\epsilon$  на 20 – 40 %, особенно применимо к обработке и адаптации сети к пульсирующему импульсному мультимедийному трафику (область И).

2. Особенности метода СПР является относительно малое время переходных процессов (адаптации) в сети, малая средняя результирующая величина критерия (около 0,03 в устоявшемся режиме (область У)). Достоинство СПР определяется малым количеством «прыжков» при быстром расчете оптимальных СКО (6 – 7), что позволяет максимально уменьшить время адаптации УА и их каналов к поступающей пульсирующей нагрузке. Недостатками данного метода являются отсутствие оптимизации распределения потоков по стоимости КС и постоянная средняя величина критерия  $\epsilon$  в устоявшемся режиме.

3. Оптимизационный метод требует больших вычислительных затрат по сравнению с СПР, однако, при этом проводит оптимизацию по всем трем критериям выражения (10), включая стоимость. Достоинством данного метода является средний низкий уровень критерия (около 0,025), который имеет тенденцию к постоянному стремлению к нулю в устоявшемся режиме (область У). При этом данный метод характеризуется большим временем переходных процессов и адаптации УА к поступающей пульсирующей нагрузке, что определяет большее по сравнению с СПР значение площади S.

4. Исходя из данного анализа, можно сделать вывод, что метод СПР целесообразно применять в случаях агентных систем без оптимизации по стоимости  $k_c = 0$  и с наличием стохастически пульсирующего трафика. Оптимизационный метод более пригоден для использования в случаях наличия УА с различными стоимостями каналов при устоявшемся режиме (без существенных «прыжков»

и импульсов). В данном случае возможна оптимизация критерия (10) до нуля.

С точки зрения теории оптимальным является одновременное использование двух рассмотренных методов, однако, практическая реализация показала, что полученная объединенная процедура имеет неадекватное большое время реализации, что неприемлемо в рассматриваемых быстрых мультисервисных ТКС.

---

### 3. Выводы

---

Рассмотренные процедуры УА позволяют выработать оптимальные решения при управлении распределением информационных потоков в мультисервисной ТКС в зависимости от характера трафика и сетевого приложения, его сгенерировавшего. Дальнейшие исследования будут направлены на создание объединенной процедуры, обладающей достоинствами двух рассмотренных методов, реализацию полученной процедуры УА с использованием аппарата нечеткой логики [6] и ее практическое внедрение.

---

### Литература

1. Гургенидзе А.Т., Кореш В.И. Мультисервисные сети и услуги широкополосного доступа. – С-Пб.: Наука и техника. – 2003. – 400 с.
2. Степанов А.Н. Архитектура вычислительных систем и компьютерных сетей. – С-Пб.: Питер, 2007. – 512 с.
3. Буханько А.Н. Алгоритмы управляющего агента участка сети связи / А.Н. Буханько // Мат. 3-его Международного радиоэлектронного форума «Прикладная радиоэлектроника. Состояние и перспективы развития» – Харьков: ХНУРЭ, 2008. – С. 37 – 40.
4. Безрук В.М. Векторна оптимізація та статистичне моделювання в автоматизованому проектуванні систем зв'язку. – Харків: ХНУРЕ, 2002. – 156 с.
5. Лосев Ю. И., Шматков С. И., Дуравкин Е. В. Применение E-сетей для моделирования процесса функционирования СОД//Радиотехника: Всеукр. межвед. науч.-техн. сб. 2001. Вып. 123. С. 99-103.
6. Буханько А.Н. Применение нечеткой логики в предикатах управляющих переходов E-сетей / Буханько А.Н., Дуравкин Е.В. // Системы обработки информации. Сб. 2008. Выпуск 3(70) . С. 44 – 48.