

ОПТИМИЗАЦИЯ СРЕДНЕГО ВРЕМЕНИ ЗАДЕРЖКИ В СЕТИ IMS

Д.Ю. Пономарев

Сибирский государственный аэрокосмический университет

им. академика М.Ф. Решетнева

Россия, 660014, г. Красноярск, пр. им. газеты «Красноярский рабочий», 31

E-mail: dupon@sibsau.ru

Аннотация: Современные инфокоммуникационные сети обеспечивают доступ и обслуживание пользователей сети к различным медиаресурсам. На данном этапе развития инфокоммуникационных сетей для обеспечения информационных потребностей пользователей используется концепция IMS, которая позволяет обеспечить конвергенцию сетей, технологий и услуг применением горизонтальной архитектуры построения сети с разделением структуры сети на три плоскости: плоскость услуг и приложений, плоскость управления и транспортную плоскость. С точки зрения пользователя существуют различные субъективные параметры оценки качества предоставления инфокоммуникационных услуг, одним из которых является время отклика сервера на запрос пользователя. В данной задаче рассматривается возможность применения тензорных моделей плоскости управления IMS к решению задачи оптимизации распределения трафика с целью минимизации среднего времени задержки сети.

Введение

Рост потребностей современного общества в получении информации привел к созданию сетей, в которых доступ к цифровому контенту стал такой же равноправной услугой, что и передача речевой информации. Дальнейшее повышение объемов потребления цифрового контента и требований к пропускной способности каналов обеспечивающих процесс доступа к информационным ресурсам привело к необходимости перехода к полностью пакетному виду коммутации с повсеместным использованием в современных инфокоммуникациях на сетевом уровне протокола *IP (Internet Protocol)*. Поэтому основным направлением развития современных инфокоммуникационных сетей является концепция IMS (IMS – IP Multimedia Subsystem: подсистема обслуживания разнородных информационных потоков с использованием IP), которая позволяет обеспечить конвергенцию существующих сетей, технологий и услуг применением горизонтальной архитектуры построения сети с общей плоскостью управления.

Однако, динамически изменяющиеся топологии сети, наличие многовариантности при обработке, как информационных, так и сигнальных

потоков; разнородность аппаратных и программных платформ: все это приводит к большим сложностям при проектировании и эксплуатации сетей IMS. В данной работе рассматривается возможность оптимизации распределения трафика в сети IMS с использованием тензорных моделей.

1. Постановка задачи

Концепция сетей IMS предусматривает [2] трехуровневую архитектуру построения с разделением на три следующих уровня или плоскости: плоскость услуг и приложений, плоскость управления и транспортную плоскость. В данной работе рассматривается процесс взаимодействия плоскости управления и плоскости услуг и приложений сети IMS.

Основными составляющими сети IMS являются функциональные объекты управления соединениями (CSCF – Call Session Control Function): прокси P-CSCF (Proxy-CSCF), взаимодействия I-CSCF (Interrogating-CSCF) и обслуживания S-CSCF (Serving-CSCF); серверы приложений (AS – Application Server), присутствия и управления базами данных; функциональные объекты распределения ресурсов среды. Очень часто, функции I-CSCF и S-CSCF выполняются совмещенным устройством: I/S-CSCF. Кроме того, в сети обычно присутствует несколько устройств обеспечивающих

управление информационными потоками для повышения надежности, снижения нагрузки на отдельное устройство и уменьшения времени реакции сети на запросы пользователей.

Возможная структура плоскости управления сети IMS представлена на рис. 1. В рассматриваемой сети запросы пользователей поступают через P-CSCF на два функциональных объекта управления взаимодействием и обслуживанием I/S-CSCF₁ и I/S-CSCF₂, которые направляют запросы пользователей к серверам приложений AS₁ и AS₂.

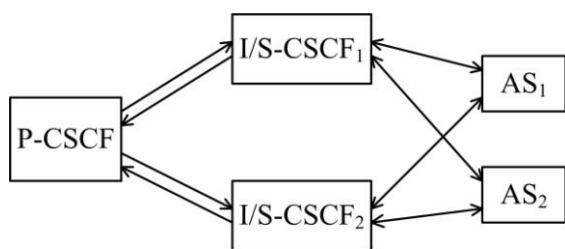


Рис. 1. Структурная схема плоскости управления сети IMS.

Таким образом, информационные потоки от пользователей распределены между двумя устройствами управления и двумя серверами. Задача состоит в том, чтобы распределить поступающую нагрузку между данными устройствами обеспечив при этом минимальное время задержки обработки информации по всей сети в целом, либо по отдельным маршрутам:

$$\sum_i T_i = \min, \quad (1)$$

где T_i - среднее время задержки в отдельной системе или для отдельного маршрута.

При этом необходимо учитывать, что информационные потоки от пользователей завершаются в серверах приложений, а информационные потоки ответов серверов должны завершиться, для данной схемы, в P-CSCF:

$$\sum \lambda_{P-CSCF}^{(out)} = \sum \lambda_{AS_1}^{(in)} + \sum \lambda_{AS_2}^{(in)}, \quad (2)$$

$$\sum \lambda_{P-CSCF}^{(in)} = \sum \lambda_{AS_1}^{(out)} + \sum \lambda_{AS_2}^{(out)}. \quad (3)$$

Оптимизация распределения трафика в таком случае заключается в определении таких интенсивностей потоков, которые обеспечат минимальное

значение среднего времени задержки, что может определяться распределением вероятностей перехода запросов между устройствами сети:

$P_{P-CSCF-I/S-CSCF_1}$, $P_{P-CSCF-I/S-CSCF_2}$, $P_{I/S-CSCF_1-AS_1}$, $P_{I/S-CSCF_1-AS_2}$, $P_{I/S-CSCF_2-AS_1}$, $P_{I/S-CSCF_2-AS_2}$, $P_{AS_1-I/S-CSCF_1}$, $P_{AS_2-I/S-CSCF_1}$, $P_{AS_1-I/S-CSCF_2}$, $P_{AS_2-I/S-CSCF_2}$. На данные вероятности накладываются следующие ограничения:

$$\begin{cases} P_{P-CSCF-I/S-CSCF_1} + P_{P-CSCF-I/S-CSCF_2} = 1 \\ P_{I/S-CSCF_1-AS_1} + P_{I/S-CSCF_1-AS_2} = 1 \\ P_{I/S-CSCF_2-AS_1} + P_{I/S-CSCF_2-AS_2} = 1 \\ P_{AS_1-I/S-CSCF_1} + P_{AS_1-I/S-CSCF_2} = 1 \\ P_{AS_2-I/S-CSCF_1} + P_{AS_2-I/S-CSCF_2} = 1 \end{cases} \quad (4)$$

в соответствии с направлениями обработки информационных потоков (2)-(3):

$$\begin{cases} \lambda_{P-CSCF-I/S-CSCF_1} + \lambda_{P-CSCF-I/S-CSCF_2} = \lambda_{P-CSCF}^{(out)} \\ \lambda_{I/S-CSCF_1-AS_1} + \lambda_{I/S-CSCF_1-AS_2} = \lambda_{I/S-CSCF_1}^{(out)} \\ \lambda_{I/S-CSCF_2-AS_1} + \lambda_{I/S-CSCF_2-AS_2} = \lambda_{I/S-CSCF_2}^{(out)} \\ \lambda_{AS_1-I/S-CSCF_1} + \lambda_{AS_1-I/S-CSCF_2} = \lambda_{AS_1}^{(out)} \\ \lambda_{AS_2-I/S-CSCF_1} + \lambda_{AS_2-I/S-CSCF_2} = \lambda_{AS_2}^{(out)} \end{cases} .$$

С учетом данных ограничений, для решения поставленной задачи оптимизации распределения потоков в сети IMS с целью минимизации среднего времени задержки сети, разработана тензорная модель исследуемой сети IMS [3].

2. Тензорная модель сети

Для определения тензорной модели сети, структура которой представлена на рис. 1, использовано представление каждого устройства в виде набора элементов: входящие и исходящие интерфейсы и центральная система обработки [4]. Каждому элементу в модели сети соответствует система массового обслуживания. Таким образом, формируется структура модели, как сети массового обслуживания (рис. 2). Для преобразования к узловому виду и сохранения потоков в узлах сети, вводятся мнимые системы, обозначенные пунктиром.

Для каждой системы массового обслуживания выполняется соотношение: $\lambda = \mu\rho$, где: ρ - загрузка системы, λ -

интенсивность поступления запросов в систему, μ - интенсивность обслуживания запросов в системе.

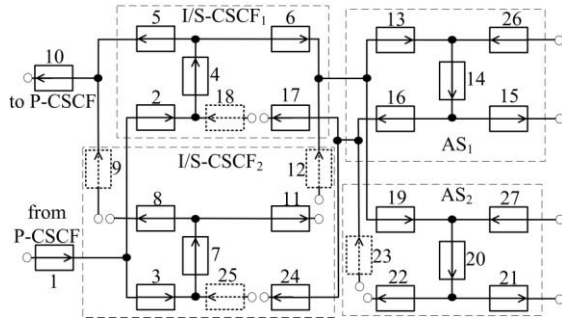


Рис. 2. Модель плоскости управления сети IMS.

Тогда, проводя декомпозицию сетевой модели, получаем примитивную сеть, состоящую из n отдельных не связанных между собой систем и описываемую выражением:

$$\begin{pmatrix} \lambda'_1 \\ \lambda'_2 \\ \dots \\ \lambda'_n \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \mu'_{11} & 0 & \dots & 0 \\ 0 & \mu'_{22} & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & \dots & \mu'_{nn} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \rho'_1 \\ \rho'_2 \\ \dots \\ \rho'_n \end{pmatrix}.$$

При объединении систем в единую сеть (рис. 2) для описания модели используем выражения, полученные в [4], определив соответствие между нагрузками исходной ρ и примитивной ρ' сетей через матрицу перехода A (здесь не приводится из-за большой размерности), как $\rho' = A\rho$.

Таким образом, исходная сеть описывается матричным уравнением [3,4]:

$$(A^T \mu' A) \rho = A^T \lambda' \quad (5)$$

Далее, решая полученное уравнение относительно ρ , находим коэффициенты использования систем сетевой модели ($\rho_{nodes} = A\rho$), что позволяет определить исследуемые характеристики, как:

$$T = \sum_{i=1}^{\alpha} T_i, \quad \text{где } \alpha - \text{число систем;}$$

$T_i = f(\rho)$ - среднее время задержки в отдельной системе. При этом, распределение интенсивностей потоков по системам определяется, как:

$$\lambda_{nodes} = \mu_{nodes} \rho_{nodes} \quad (6)$$

Левая часть уравнения (5) для данной модели принимает вид:

$$A^T \mu' A \rho = \begin{pmatrix} (\mu_1 + \mu_2 + \mu_3) \rho_1 - \mu_2 \rho_2 - \mu_3 \rho_3 \\ -\mu_2 \rho_1 + (\mu_2 + \mu_4 + \mu_{18}) \rho_2 - \mu_4 \rho_4 - \mu_{18} \rho_{18} \\ -\mu_3 \rho_1 + (\mu_3 + \mu_5 + \mu_{25}) \rho_3 - \mu_5 \rho_5 - \mu_{25} \rho_{25} \\ -\mu_4 \rho_2 + (\mu_4 + \mu_6 + \mu_6) \rho_4 - \mu_6 \rho_6 - \mu_6 \rho_6 \\ -\mu_5 \rho_3 + (\mu_5 + \mu_9 + \mu_{10}) \rho_5 - \mu_9 \rho_9 - \mu_{10} \rho_{10} \\ -\mu_6 \rho_4 + (\mu_6 + \mu_{12} + \mu_{13} + \mu_{19}) \rho_6 - \mu_{12} \rho_{12} - \mu_{13} \rho_{13} - \mu_{19} \rho_{19} \\ -\mu_7 \rho_3 + (\mu_7 + \mu_8 + \mu_{11}) \rho_7 - \mu_8 \rho_8 - \mu_{11} \rho_{11} \\ -\mu_8 \rho_7 + \mu_8 \rho_8 \\ -\mu_9 \rho_5 + \mu_9 \rho_9 \\ -\mu_{10} \rho_5 + \mu_{10} \rho_{10} \\ -\mu_{11} \rho_7 + \mu_{11} \rho_{11} \\ -\mu_{12} \rho_6 + \mu_{12} \rho_{12} \\ -\mu_{13} \rho_6 + (\mu_{13} + \mu_{14} + \mu_{26}) \rho_{13} - \mu_{14} \rho_{14} - \mu_{26} \rho_{26} \\ -\mu_{14} \rho_{13} + (\mu_{14} + \mu_{15} + \mu_{16}) \rho_{14} - \mu_{15} \rho_{15} - \mu_{16} \rho_{16} \\ -\mu_{15} \rho_{14} + \mu_{15} \rho_{15} \\ -\mu_{16} \rho_{14} + (\mu_{16} + \mu_{17} + \mu_{23} + \mu_{24}) \rho_{16} - \mu_{17} \rho_{17} - \mu_{23} \rho_{23} - \mu_{24} \rho_{24} \\ -\mu_{17} \rho_{16} + \mu_{17} \rho_{17} \\ -\mu_{18} \rho_2 + \mu_{18} \rho_{18} \\ -\mu_{19} \rho_6 + (\mu_{19} + \mu_{20} + \mu_{22}) \rho_{19} - \mu_{20} \rho_{20} - \mu_{22} \rho_{22} \\ -\mu_{20} \rho_{19} + (\mu_{20} + \mu_{21} + \mu_{22}) \rho_{20} - \mu_{21} \rho_{21} - \mu_{22} \rho_{22} \\ -\mu_{21} \rho_{20} + \mu_{21} \rho_{21} \\ -\mu_{22} \rho_{20} + \mu_{22} \rho_{22} \\ -\mu_{23} \rho_{16} + \mu_{23} \rho_{23} \\ -\mu_{24} \rho_{16} + \mu_{24} \rho_{24} \\ -\mu_{25} \rho_3 + \mu_{25} \rho_{25} \\ -\mu_{26} \rho_{13} + \mu_{26} \rho_{26} \\ -\mu_{27} \rho_{19} + \mu_{27} \rho_{27} \end{pmatrix}$$

При получении правой части уравнения (4) необходимо учесть что, во-первых, сумма интенсивность потоков в узле равна нулю; во-вторых, интенсивности поступления в мнимые системы равна интенсивностям систем, находящихся с ними в одной ветви; в-третьих, распределение интенсивностей подчиняется распределению вероятностей (4). Принимая во внимание вышеизложенное, правая часть уравнения (5) преобразуется к виду:

$$A^T \lambda' = \begin{pmatrix} \lambda_1 - \lambda_2 - \lambda_3 \\ \lambda_2 - \lambda_4 + \lambda_{18} \\ \lambda_3 - \lambda_7 + \lambda_{25} \\ \lambda_4 - \lambda_5 - \lambda_6 \\ \lambda_5 + \lambda_9 - \lambda_{10} \\ \lambda_6 + \lambda_{12} - \lambda_{13} - \lambda_{19} \\ \lambda_7 - \lambda_8 - \lambda_{11} \\ \lambda_8 \\ -\lambda_9 \\ \lambda_{10} \\ \lambda_{11} \\ -\lambda_{12} \\ \lambda_{13} - \lambda_{14} + \lambda_{26} \\ \lambda_{14} - \lambda_{15} - \lambda_{16} \\ \lambda_{15} \\ \lambda_{16} - \lambda_{17} + \lambda_{23} - \lambda_{24} \\ \lambda_{17} \\ -\lambda_{18} \\ \lambda_{19} - \lambda_{20} + \lambda_{22} \\ \lambda_{20} - \lambda_{21} - \lambda_{22} \\ \lambda_{21} \\ \lambda_{22} \\ -\lambda_{23} \\ \lambda_{24} \\ -\lambda_{25} \\ -\lambda_{26} \\ -\lambda_{27} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ \lambda_8 \\ -\lambda_8 \\ \lambda_{10} \\ \lambda_{11} \\ -\lambda_{11} \\ 0 \\ 0 \\ \lambda_{15} \\ 0 \\ \lambda_{17} \\ -\lambda_{17} \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ \lambda_{21} \\ \lambda_{27} \\ -\lambda_{27} \\ \lambda_8 \\ -\lambda_8 \\ -\lambda_{26} \\ -\lambda_{27} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ (\lambda_{26} + \lambda_{27}) P_{AS-1/S-CSCF_2} \\ -(\lambda_{26} + \lambda_{27}) P_{AS-1/S-CSCF_2} \\ \lambda_{10} \\ \lambda_{11} P_{P-CSCF-1/S-CSCF_2} \\ -\lambda_{11} P_{P-CSCF-1/S-CSCF_2} \\ 0 \\ 0 \\ \lambda_{15} P_{P-CSCF-AS_1} \\ 0 \\ (\lambda_{26} + \lambda_{27})(1 - P_{AS-1/S-CSCF_2}) \\ -(\lambda_{26} + \lambda_{27})(1 - P_{AS-1/S-CSCF_2}) \\ 0 \\ 0 \\ \lambda_{21} - \lambda_{21} P_{P-CSCF-AS_1} \\ \lambda_{27} \\ -\lambda_{27} \\ (\lambda_{26} + \lambda_{27}) P_{AS-1/S-CSCF_2} \\ -(\lambda_{26} + \lambda_{27}) P_{AS-1/S-CSCF_2} \\ -\lambda_{26} \\ -\lambda_{27} \end{pmatrix}$$

Для данного случая, поток запросов от серверов AS_1 и AS_2 объединяется, поэтому нет необходимости использовать все вероятности из набора $P_{AS_1-1/S-CSCF_1}$, $P_{AS_2-1/S-CSCF_1}$, $P_{AS_1-1/S-CSCF_2}$, $P_{AS_2-1/S-CSCF_2}$. Достаточно определить долю суммарного

трафика поступающую от серверов AS_1 и AS_2 к объектам $I/S-CSCF_1$ и $I/S-CSCF_2$, как:
 $(\lambda_{26} + \lambda_{27})P_{AS-I/S-CSCF_1}$ и
 $(\lambda_{26} + \lambda_{27})P_{AS-I/S-CSCF_2}$. Естественно, что
 $P_{AS-I/S-CSCF_1} + P_{AS-I/S-CSCF_2} = 1$. С учетом,
того, что загрузки систем определяются,
как:

$$\rho_{nodes} = A\rho = \begin{pmatrix} \rho_1 \\ -\rho_1 + \rho_2 \\ -\rho_1 + \rho_3 \\ -\rho_2 + \rho_4 \\ -\rho_4 + \rho_5 \\ -\rho_4 + \rho_6 \\ -\rho_5 + \rho_7 \\ -\rho_7 + \rho_8 \\ -\rho_5 + \rho_9 \\ -\rho_5 + \rho_{10} \\ -\rho_7 + \rho_{11} \\ -\rho_6 + \rho_{12} \\ -\rho_6 + \rho_{13} \\ -\rho_{13} + \rho_{14} \\ -\rho_{14} + \rho_{15} \\ -\rho_{14} + \rho_{16} \\ -\rho_{16} + \rho_{17} \\ \rho_2 - \rho_{18} \\ -\rho_6 + \rho_{19} \\ -\rho_{19} + \rho_{20} \\ -\rho_{20} + \rho_{21} \\ -\rho_{20} + \rho_{22} \\ -\rho_{16} + \rho_{23} \\ -\rho_{16} + \rho_{24} \\ \rho_3 - \rho_{25} \\ \rho_{13} - \rho_{26} \\ \rho_{19} - \rho_{27} \end{pmatrix}, \quad (7)$$

а интенсивности поступления находятся из (6), правая часть уравнения (5) будет выражена, как:

$$A^T \lambda = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ (\lambda_{26} + \lambda_{27})P_{AS-I/S-CSCF_2} \\ -(\lambda_{26} + \lambda_{27})P_{AS-I/S-CSCF_1} \\ \lambda_{10} \\ \lambda_1 P_{P-CSCF-I/S-CSCF_2} \\ -\lambda_1 P_{P-CSCF-I/S-CSCF_1} \\ 0 \\ 0 \\ \lambda_1 P_{P-CSCF-AS_1} \\ 0 \\ (\lambda_{26} + \lambda_{27})(1 - P_{AS-I/S-CSCF_2}) \\ -(\lambda_{26} + \lambda_{27})(1 - P_{AS-I/S-CSCF_1}) \\ 0 \\ 0 \\ \lambda_1 - \lambda_1 P_{P-CSCF-AS_1} \\ \lambda_{27} \\ -\lambda_{27} \\ (\lambda_{26} + \lambda_{27})P_{AS-I/S-CSCF_2} \\ -(\lambda_{26} + \lambda_{27})P_{AS-I/S-CSCF_1} \\ -\lambda_{26} \\ -\lambda_{27} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ \mu_8(\rho_8 - \rho_7) \\ -\mu_8(\rho_8 - \rho_7) \\ \lambda_{26} + \lambda_{27} \\ \mu_{11}(\rho_{11} - \rho_7) \\ -\mu_{11}(\rho_{11} - \rho_7) \\ 0 \\ 0 \\ \mu_{15}(\rho_{15} - \rho_{14}) \\ 0 \\ \lambda_{26} + \lambda_{27} - \mu_8(\rho_8 - \rho_7) \\ -[\lambda_{26} + \lambda_{27} - \mu_8(\rho_8 - \rho_7)] \\ 0 \\ 0 \\ \lambda_1 - \mu_{15}(\rho_{15} - \rho_{14}) \\ \lambda_{27} \\ -\lambda_{27} \\ \mu_8(\rho_8 - \rho_7) \\ -\mu_8(\rho_8 - \rho_7) \\ -\lambda_{26} \\ -\lambda_{27} \end{pmatrix}$$

Таким образом, матричное уравнение, описывающее тензорную модель исследуемой сети окончательно будет выглядеть, как:

$$\begin{pmatrix} (\mu_1 + \mu_2 + \mu_3)\rho_1 - \mu_2\rho_2 - \mu_3\rho_3 \\ -\mu_2\rho_2 + (\mu_2 + \mu_4 + \mu_5)\rho_2 - \mu_4\rho_4 - \mu_5\rho_5 \\ -\mu_4\rho_4 + (\mu_4 + \mu_5 + \mu_6)\rho_2 - \mu_5\rho_5 - \mu_6\rho_6 \\ -\mu_5\rho_5 + (\mu_5 + \mu_6 + \mu_7)\rho_2 - \mu_6\rho_6 - \mu_7\rho_7 \\ -\mu_6\rho_6 + (\mu_6 + \mu_7 + \mu_8)\rho_2 - \mu_7\rho_7 - \mu_8\rho_8 \\ -\mu_7\rho_7 + (\mu_7 + \mu_8 + \mu_9)\rho_2 - \mu_8\rho_8 - \mu_9\rho_9 \\ -\mu_8\rho_8 + (\mu_8 + \mu_9 + \mu_{10})\rho_2 - \mu_9\rho_9 - \mu_{10}\rho_{10} \\ -\mu_9\rho_9 + (\mu_9 + \mu_{10} + \mu_{11})\rho_2 - \mu_{10}\rho_{10} - \mu_{11}\rho_{11} \\ -\mu_{10}\rho_{10} + (\mu_{10} + \mu_{11} + \mu_{12})\rho_2 - \mu_{11}\rho_{11} - \mu_{12}\rho_{12} \\ -\mu_{11}\rho_{11} + (\mu_{11} + \mu_{12} + \mu_{13})\rho_2 - \mu_{12}\rho_{12} - \mu_{13}\rho_{13} \\ -\mu_{12}\rho_{12} + (\mu_{12} + \mu_{13} + \mu_{14})\rho_2 - \mu_{13}\rho_{13} - \mu_{14}\rho_{14} \\ -\mu_{13}\rho_{13} + (\mu_{13} + \mu_{14} + \mu_{15})\rho_2 - \mu_{14}\rho_{14} - \mu_{15}\rho_{15} \\ -\mu_{14}\rho_{14} + (\mu_{14} + \mu_{15} + \mu_{16})\rho_2 - \mu_{15}\rho_{15} - \mu_{16}\rho_{16} \\ -\mu_{15}\rho_{15} + (\mu_{15} + \mu_{16} + \mu_{17})\rho_2 - \mu_{16}\rho_{16} - \mu_{17}\rho_{17} \\ -\mu_{16}\rho_{16} + (\mu_{16} + \mu_{17} + \mu_{18})\rho_2 - \mu_{17}\rho_{17} - \mu_{18}\rho_{18} \\ -\mu_{17}\rho_{17} + (\mu_{17} + \mu_{18} + \mu_{19})\rho_2 - \mu_{18}\rho_{18} - \mu_{19}\rho_{19} \\ -\mu_{18}\rho_{18} + (\mu_{18} + \mu_{19} + \mu_{20})\rho_2 - \mu_{19}\rho_{19} - \mu_{20}\rho_{20} \\ -\mu_{19}\rho_{19} + (\mu_{19} + \mu_{20} + \mu_{21})\rho_2 - \mu_{20}\rho_{20} - \mu_{21}\rho_{21} \\ -\mu_{20}\rho_{20} + (\mu_{20} + \mu_{21} + \mu_{22})\rho_2 - \mu_{21}\rho_{21} - \mu_{22}\rho_{22} \\ -\mu_{21}\rho_{21} + (\mu_{21} + \mu_{22} + \mu_{23})\rho_2 - \mu_{22}\rho_{22} - \mu_{23}\rho_{23} \\ -\mu_{22}\rho_{22} + (\mu_{22} + \mu_{23} + \mu_{24})\rho_2 - \mu_{23}\rho_{23} - \mu_{24}\rho_{24} \\ -\mu_{23}\rho_{23} + (\mu_{23} + \mu_{24} + \mu_{25})\rho_2 - \mu_{24}\rho_{24} - \mu_{25}\rho_{25} \\ -\mu_{24}\rho_{24} + (\mu_{24} + \mu_{25} + \mu_{26})\rho_2 - \mu_{25}\rho_{25} - \mu_{26}\rho_{26} \\ -\mu_{25}\rho_{25} + (\mu_{25} + \mu_{26} + \mu_{27})\rho_2 - \mu_{26}\rho_{26} - \mu_{27}\rho_{27} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ \mu_8(\rho_8 - \rho_7) \\ -\mu_8(\rho_8 - \rho_7) \\ \lambda_{26} + \lambda_{27} \\ \mu_{11}(\rho_{11} - \rho_7) \\ -\mu_{11}(\rho_{11} - \rho_7) \\ 0 \\ 0 \\ \mu_{15}(\rho_{15} - \rho_{14}) \\ 0 \\ \lambda_{26} + \lambda_{27} - \mu_8(\rho_8 - \rho_7) \\ -[\lambda_{26} + \lambda_{27} - \mu_8(\rho_8 - \rho_7)] \\ 0 \\ 0 \\ \lambda_1 - \mu_{15}(\rho_{15} - \rho_{14}) \\ \lambda_{27} \\ -\lambda_{27} \\ \mu_8(\rho_8 - \rho_7) \\ -\mu_8(\rho_8 - \rho_7) \\ -\lambda_{26} \\ -\lambda_{27} \end{pmatrix}. \quad (8)$$

Используя данное выражение, можно найти для заданных интенсивностей поступления и обслуживания, загрузки отдельных систем и распределение трафика по сети.

3. Оптимизация среднего времени задержки

Для оптимизации распределения потоков информации в исследуемой сети, в качестве систем массового обслуживания используем системы вида $M/M/1$. Однако, для тензорной модели данный тип систем не является ограничением.

Для отдельных систем массового обслуживания $M/M/1$ среднее время

задержки определяется, как: $T_i = \frac{1/\mu_i}{1-\rho_i}$.

Тогда, среднее время задержки для всей сети можно определить, как (1):

$$Z = \sum_i \frac{1/\mu_i}{1-\rho_i}. \quad (9)$$

Данное выражение будем использовать как целевую функцию, в которой μ_i - интенсивность обслуживания запросов в i -ой системе из μ_{nodes} , а ρ_i - загрузки систем, определяемые в соответствии с (7). Используемое выражение является сумой выпуклых функций, а, следовательно, обладает глобальным минимумом.

В качестве ограничений необходимых для минимизации среднего времени задержки выступает матричное уравнение (8), полученное на основе (5). Приведем систему ограничений к следующему виду:

$$\rho = \begin{pmatrix} 0.4 \\ 0.823 \\ 0.777 \\ 1.224 \\ 1.603 \\ 1.647 \\ 1.242 \\ 1.563 \\ 1.283 \\ 2.303 \\ 1.619 \\ 1.27 \\ 2.208 \\ 2.638 \\ 3.199 \\ 2.938 \\ 3.318 \\ 0.444 \\ 1.886 \\ 2.526 \\ 2.765 \\ 2.926 \\ 2.538 \\ 3.259 \\ 0.456 \\ 1.908 \\ 1.486 \end{pmatrix} \quad \rho_{nodes} = \begin{pmatrix} 0.4 \\ 0.423 \\ 0.377 \\ 0.401 \\ 0.379 \\ 0.423 \\ 0.465 \\ 0.321 \\ 0.321 \\ 0.7 \\ 0.377 \\ 0.377 \\ 0.561 \\ 0.43 \\ 0.561 \\ 0.3 \\ 0.379 \\ 0.379 \\ 0.239 \\ 0.639 \\ 0.239 \\ 0.4 \\ 0.4 \\ 0.321 \\ 0.321 \\ 0.3 \\ 0.4 \end{pmatrix}$$

определяются расчетными значениями интенсивности:

$$\lambda_{nodes} = \begin{pmatrix} 80 \\ 42.305 \\ 37.695 \\ 80.233 \\ 37.928 \\ 42.305 \\ 69.767 \\ 32.072 \\ 32.072 \\ 70 \\ 37.695 \\ 37.695 \\ 56.078 \\ 86.078 \\ 56.078 \\ 30 \\ 37.928 \\ 37.928 \\ 23.922 \\ 63.922 \\ 23.922 \\ 40 \\ 40 \\ 32.072 \\ 32.072 \\ 30 \\ 40 \end{pmatrix}$$

Для данных значений загрузок систем среднее время задержки по всей сети равно: $T = \sum_i T_i = 0.3611$.

Для подтверждения того, что данное значение является минимальным для исследуемой сети было проведено имитационное моделирование в среде GPSS World.

Для создания модели данной сети используем модели систем массового обслуживания M/M/1, состоящие из блоков QUEUE - DEPART (постановка и освобождение очереди) и SEIZE - ADVANCE - RELEASE (процесс обслуживания), в точках распределения трафика используются блоки TRANSFER в разделяющем режиме с соответствующими вероятностями переходов, которые

Полученное значение средней задержки при моделировании 0.361, что соответствует расчетному значению. При изменении распределения трафика путем изменения вероятностей перехода в блоках TRANSFER получено увеличение среднего времени задержки в сети, что подтверждает вывод об оптимальности рассчитанного значения.

Заключение

В связи с тем, что в сетях IMS необходимо управлять большим количеством устройств и проводить обработку множества информационных потоков, решение задачи обеспечения качества предоставления услуг значительно

усложняется. Тензорное моделирование инфокоммуникационных сетей, позволяет уменьшить задержки при обработке запросов пользователей, повысить управляемость и обеспечить хорошую расширяемость и масштабируемость сети.

Литература

1. *Yan Zhang; Nirwan Ansari; Mingquan Wu; Heather Yu.* On Wide Area Network optimization / IEEE Communications surveys & tutorials. 2012. Vol. 14(4). Pp. 1090 – 1113.
2. *Poikselka M., Mayer G.* The IMS: IP Multimedia Concepts and Services, 3rd edition. London: John Wiley&Sons, 2009.
3. *Ponomarev D.* Tensor model of IMS network / IV International Congress on Ultra Modern Telecommunications and Control Systems 2012, ICUMT'2012. Pp. 56-62.
4. *Пономарев Д.Ю.* Тензорная методология в информационных коммуникациях / Известия высших учебных заведений. Приборостроение. 2012. Т. 55. № 5. С. 18-23.