

МРНТИ 50.43.19

В. Войджик | ©



PhD, доцент

ORCID

<https://orcid.org/0000-0002-0843-8053>



Люблинский технологический университет,



г. Люблин, Польша



waldemar.wojcik@pollub.pl

<https://doi.org/10.55956/OLZU4780>

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННЫХ РЕСУРСОВ В IP- И MPLS-СЕТЯХ

Аннотация. Эффективное развитие современных многофункциональных телекоммуникационных систем (ТКС), служащих фундаментом для сетей нового поколения (NGN), во многом определяется прогрессом в их системах управления. Важнейшими компонентами этих систем являются инструменты контроля за потоками данных – информационный ресурс, и механизмы распределения доступной пропускной способности каналов связи, представляющей собой канальный ресурс ТКС.

Ключевые слова: IP (Internet Protocol), MPLS (Multiprotocol Label Switching), мультисервисные сети, транспортные технологии, QoS, передача данных, инфраструктура сетей, сетевые протоколы.



Войджик, В. Математическое моделирование распределения информационных ресурсов в IP- и MPLS-сетях [Текст] / В. Войджик // Механика и технологии / Научный журнал. – 2025. – №1(87). – С.531-540. <https://doi.org/10.55956/OLZU4780>

Введение. В настоящее время телекоммуникационные сети (ТКС) сталкиваются с постоянно растущим спросом на инфокоммуникационные услуги. Это означает, что потребителям все больше требуются услуги связи, которые включают в себя автоматизированную обработку, хранение и предоставление информации по запросу, используя компьютерные технологии как для получения, так и для отправки данных.

Рост популярности сетевых приложений требует непрерывного развития телекоммуникаций и появления новых сервисов связи. Современные телекоммуникационные системы (ТКС) должны обеспечивать передачу разнообразной информации (голос, данные, видео, аудио) с синхронизацией в реальном времени и гарантированным качеством.

Вместо того, чтобы поддерживать отдельные сети для разных видов связи (данные, голос, видео), выгоднее создать единую, современную сеть, которая сможет предоставлять все эти услуги. Пользователи смогут получать доступ ко всему через одно универсальное устройство.

Особенности транспортных технологий в мультисервисных телекоммуникационных сетях. NGN – это пакетная сеть связи, предназначенная для предоставления широкого спектра

телекоммуникационных услуг. Она использует различные широкополосные технологии, гарантирует качество обслуживания и отделяет функции услуг от способа их передачи. NGN обеспечивает пользователям гибкий доступ к различным сетям, поставщикам услуг и самим услугам.

Эта сеть обеспечивает пользователям постоянный и повсеместный доступ к широкому спектру услуг, реализуя концепцию «4Any» (любая услуга, в любом месте, любым способом, в любое время). Благодаря этому, NGN является мультисервисной сетью, обладающей значительным потенциалом для расширения и привлечения новых клиентов за счет добавления новых сервисов.

Сеть NGN спроектирована для поддержки любого количества разнообразных сервисов, предлагая широкие возможности для их настройки, адаптации под конкретного пользователя и разработки новых. Это достигается за счет стандартизации сетевых решений. Благодаря многоуровневой архитектуре NGN, предоставляемые услуги и сервисы полностью отделены от используемой транспортной инфраструктуры, как логически, так и физически (Рис. 1). Для добавления нового сервиса достаточно просто подключить соответствующий сервер, который немедленно становится доступным всем пользователям сети благодаря универсальному транспортному уровню. Это требует создания универсальной транспортной сети с распределенной коммутацией, переноса функций предоставления услуг на периферию сети и обеспечения совместимости с существующими сетями связи.

Основой NGN является транспортный уровень, работающий по принципу пакетной коммутации. Этот уровень обеспечивает одинаковый способ передачи для всех видов информации, независимо от того, что это за информация и как она передается. Это означает, что в мультисервисной ТКС все телекоммуникационные услуги используют одну и ту же базовую архитектуру, которая и формирует функциональную схему NGN (Рис. 2).

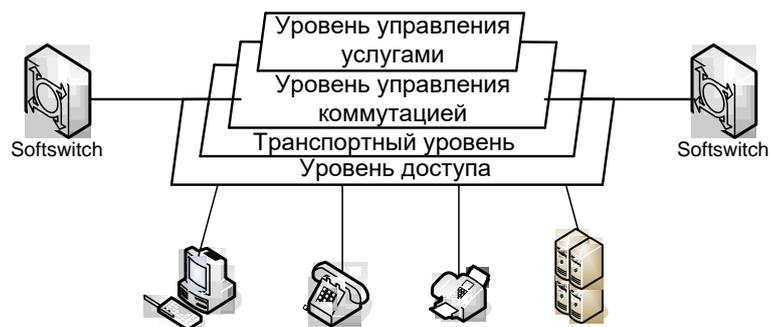


Рис. 1. Уровневая архитектура NGN

Сети NGN, возникшие в результате интеграции традиционных телефонных сетей и интернета, сочетают в себе преимущества обеих технологий:

– Гибкость в обработке различных типов данных. NGCN, подобно интернету, может передавать любые виды трафика, в отличие от традиционной телефонной сети (ТфОП), которая ограничена в этом плане.

– Надежность и качество. NGCN обеспечивает стабильное качество голосовой связи и надежную передачу данных для критически важных приложений, что сопоставимо с надежностью ТфОП, но превосходит нестабильное качество, характерное для интернета.

– Экономичность. Стоимость передачи единицы информации в NGCN приближается к низкой стоимости передачи данных в интернете, что делает ее более выгодной по сравнению с более дорогой ТфОП.

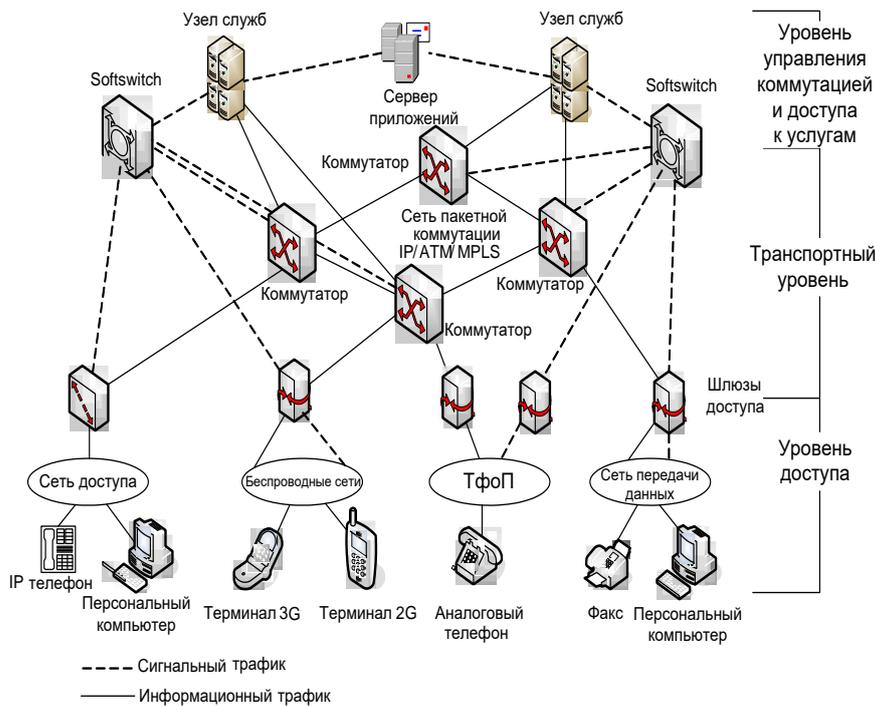


Рис. 2. Функциональная схема NGN

При проектировании мультисервисных сетей NGN остается нерешенным вопрос о выборе конкретной технологии пакетной передачи данных для транспортного уровня. Хотя IP, ATM и MPLS рассматриваются как потенциальные основы для этого уровня, окончательное решение о том, какую технологию или их комбинацию использовать, остается на усмотрение разработчиков и носит рекомендательный характер. Транспортный уровень сети NGN, использующий IP-протокол и ATM-технологии, характеризуется тем, что IP (RFC 791) обеспечивает негарантированную передачу данных. IP-протокол, работающий на третьем уровне модели OSI, разбивает данные на пакеты и отправляет их между узлами сети, но не гарантирует их надежную доставку. Это означает, что пакеты могут быть доставлены в неправильном порядке, продублированы, повреждены или потеряны. Гарантии надежной доставки обеспечиваются протоколами транспортного уровня (например, TCP), которые используют IP в качестве транспортного механизма. В стандартной IP-сети нет гарантии, что ваши данные будут доставлены вовремя и с нужным качеством. Это связано с тем, что она плохо поддерживает QoS (качество обслуживания) и не позволяет заранее зарезервировать необходимые ресурсы сети. Хотя IP-протокол и пытается расставлять приоритеты и управлять потоками данных, он делает это

превентивно, что не всегда эффективно в условиях разного трафика и размеров пакетов. В последнее время популярной стала стратегия DiffServ, которая использует поле TOS в IP-пакетах для определения приоритета обслуживания. DiffServ маркирует пакеты пользователей в зависимости от класса обслуживания, к которому они относятся. Фильтрация и маркировка происходят на границе между сетями клиента и провайдера, а внутри сети провайдера трафик обрабатывается по этим классам.

Эта модель относительно несложная. Входящие в сеть пакеты анализируются и, если нужно, обрабатываются на входе для приведения к определенным стандартам. Затем каждому пакету присваивается метка, указывающая на его принадлежность к определенному классу обслуживания (агрегатору поведения). Эта метка, называемая DSCP, вставляется в заголовок IP-пакета. Обращение с пакетом внутри сети DS зависит от типа локального поведения (PHB), который определяется значением DSCP. Другими словами, каждый маршрутизатор обрабатывает пакет в зависимости от его DSCP, определяя, как этот пакет будет отправлен дальше по сети.

Отличительные признаки MPLS. MPLS работает, используя метки для пересылки пакетов [7]. Каждый пакет относится к определенному классу пересылки (FEC), и этому классу присваивается уникальная метка. Эта метка значима только между двумя соседними MPLS-маршрутизаторами (LSR). Метка добавляется к пакету, и способ добавления зависит от используемой технологии канального уровня.

Сеть MPLS состоит из двух основных частей: ядра и границы (Рис. 3). Ядро отвечает за быструю передачу данных, используя только коммутацию MPLS. Граница сети выполняет более сложные задачи, такие как определение маршрута для каждого пакета, фильтрация и управление трафиком. Такое разделение позволяет оптимизировать работу сети: граница выполняет сложные вычисления, а ядро обеспечивает высокую скорость передачи.

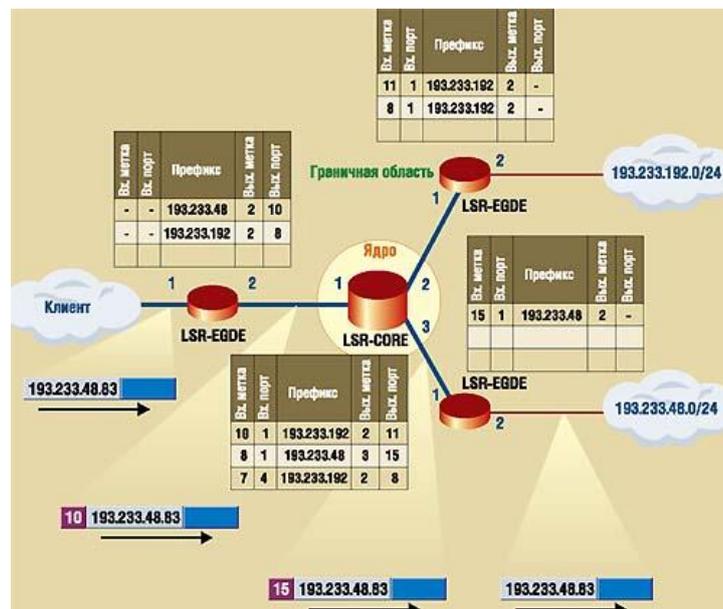


Рис. 3. Структура MPLS сети

Основная идея MPLS заключается в том, что маршрутизация пакетов происходит не на основе анализа IP-адресов, а по заранее определенным меткам. Это позволяет создавать маршруты, которые отличаются от стандартных IP-маршрутов.

Обсуждение результатов научных исследований. *Использование математических моделей для достижения баланса в распределении информации в сетях, использующих протоколы IP и MPLS.* Современные мультисервисные телекоммуникационные сети нового поколения (ТКС) в основном используют протоколы и алгоритмы динамической маршрутизации для управления сетевыми ресурсами. Эти инструменты позволяют эффективно распределять пользовательский трафик и ресурсы каналов связи на сетевом уровне, обеспечивая требуемое качество обслуживания (QoS).

Протокол RIP (Routing Information Protocol) – один из самых распространенных дистанционно-векторных протоколов маршрутизации. Он определяет оптимальный маршрут, опираясь на простую метрику – число хопов (переходов между устройствами). Однако, эта простота является и его ограничением: RIP не подходит для крупных сетей, поскольку допускает не более 15 хопов. Кроме того, периодические обновления маршрутных таблиц, независимо от необходимости, приводят к избыточному трафику, который может перегружать каналы с низкой пропускной способностью [3].

Протокол маршрутизации IGRP применяет составную метрику для оценки маршрутов, включающую в себя компоненты, отражающие задержку в сети, пропускную способность канала, надежность соединения и уровень загрузки тракта передачи данных. Общая метрика формируется на основе следующего расчета:

$$Metr = [K_1 \cdot C + K_2 \cdot D] + K_3 \cdot (256 - L) \cdot (R + K_4), \quad (1)$$

где C – ПС; D – задержка передачи; L – загрузка тракта передачи; R – надежность.

В отличие от RIP, протокол IGRP использует для расчета маршрутов более гибкую систему. Композитная метрика IGRP формируется на основе нескольких параметров (надежность, нагрузка, пропускная способность и задержка), каждый из которых имеет широкий диапазон значений. Администратор может настраивать весовые коэффициенты этих параметров, что позволяет точно оптимизировать маршрутизацию в сетях с разнообразными характеристиками производительности.

Гибкость IGRP расширяется за счет поддержки многопутевой маршрутизации, позволяющей балансировать нагрузку как по маршрутам с равной, так и с неравной стоимостью [1]. Доля трафика, направляемого по маршруту с неравной стоимостью, напрямую зависит от его композитной метрики (Уравнение 1). Решение о применении многопутевой маршрутизации в IGRP обычно основывается на заданном администратором пороге дисперсии, определяющем допустимое отклонение метрик альтернативных маршрутов от метрики оптимального маршрута.

В технологии ATM (как описано в RFC 2386) также применяются протоколы, отслеживающие состояние каналов. Их основная задача – обеспечить гарантированное качество обслуживания (QoS) для постоянных и коммутируемых соединений. Самым популярным протоколом маршрутизации в сетях ATM является PNNI (определенный в спецификации

ATM Forum af-pnni-055.000). Этот протокол регламентирует обмен информацией, необходимой для создания распределенной топологической карты сети [12]. На основе этой карты выбирается оптимальный маршрут для передачи данных между отправителем и получателем. После выбора маршрута устанавливается постоянное или коммутируемое виртуальное соединение, поддерживающее заданный уровень QoS. Это достигается за счет использования композитной метрики, учитывающей QoS, которая включает в себя следующие параметры:

1. Скорость передачи данных, которая в данный момент свободна и может быть использована.

2. Наивысшая скорость, с которой данные могут быть переданы по определенному маршруту.

3. Наивысшая скорость, с которой данные могут быть переданы по определенному маршруту.

4. Значение, присваиваемое маршруту или каналу, отражающее его приоритет или стоимость использования с точки зрения администратора сети.

5. Доля потерянных ячеек данных от общего числа переданных ячеек.

6. Изменение времени задержки при передаче данных по определенному маршруту.

Многопутевые алгоритмы маршрутизации стремятся определить несколько оптимальных (кратчайших) путей в графе, представляющем сеть.

$$S_j^i = \{k \in M^i / D_{jk}^i < D_j^i\}, \quad (2)$$

где S_j^i – множество вариантов передачи пакетов от узла i к узлу j ; M^i – множество узлов-соседей i -му узлу; D_j^i – кратчайшие пути от узла i к узлу j ; D_{jk}^i – локальная величина дерева кратчайших путей от узла i к узлу k .

Изучение применяемых математических моделей для управления маршрутами и распределения информационных ресурсов в телекоммуникационных системах. Вероятностно-временные графы (ВВГ) [11] являются распространенным математическим инструментом для разработки аналитических моделей, описывающих процессы управления сетевыми ресурсами. ВВГ представляют собой ориентированные графы, где вершины соответствуют различным состояниям системы, подлежащей моделированию.

Граф представлен набором дуг (P_{ij}, t_{ij}) , каждая из которых характеризуется вероятностью выбора ij (P_{ij}) и временем прохождения (t_{ij}). Для анализа траекторий системы, переходящей из начального состояния в конечное, используется функция дуги. Эта функция должна обеспечивать, чтобы при вычислении произведения функций для последовательности дуг $f_{ij}(P_{ij}, t_{ij})$, вероятности перемножались, а времена суммировались. Функция вида $f_{ij}(P_{ij}, t_{ij}) = P_{ij} z^{t_{ij}}$, удовлетворяет этим требованиям, где z – параметр.

В результате, процесс изменения состояний моделируемой системы можно описать следующей функцией:

$$f_{1...k}(z) = \prod_{i=1}^k P_{i,i+1} z^{t_{i,i+1}} \quad (4)$$

Функция (4) предоставляет возможность вычислять вероятности и длительности переходов между различными состояниями протокола. Для облегчения расчета производящей функции используется упрощение графа состояний. Это упрощение достигается путем удаления промежуточных состояний и соответствующей корректировки функций, описывающих переходы между оставшимися состояниями.

Эквивалентные преобразования продолжаются до тех пор, пока не будет получена производящая функция, позволяющая напрямую вычислить вероятность перехода из начальной вершины графа в конечную. Преобразования завершаются, когда граф упрощен до такой степени, что содержит только вершины, представляющие начальные и конечные состояния моделируемой системы [4].

Аппарат ВВГ позволяет оценить ключевые параметры системы управления.

Среднее время выполнения процесса управления ($T_{\bar{n}\bar{d}}$) – это ожидаемое время, необходимое для завершения процесса управления.

Дисперсия времени выполнения ($D_{T_{cp}}$) – эта величина характеризует разброс времени выполнения процесса управления относительно среднего значения. Она показывает, насколько сильно время выполнения может отклоняться от среднего.

Вероятность достижения заданной вершины ($D_{\bar{e}\bar{a}\bar{d}}$) – это вероятность того, что процесс управления достигнет конкретной точки (вершины) в графе.

$$\begin{aligned} T_{\bar{n}\bar{d}} &= \frac{dF(z)}{dz} \Big|_{z=1} \\ D_{T_{cp}} &= \frac{d^2 F(z)}{dz^2} \Big|_{z=1} + \frac{dF(z)}{dz} \Big|_{z=1} - \left(\frac{dF(z)}{dz} \Big|_{z=1} \right)^2 \\ D_{\bar{e}\bar{a}\bar{d}} &= F(z) \Big|_{z=1} \end{aligned} \quad (5)$$

Модель «ВВГ» представляет собой полезный инструмент для имитации управления сетевыми ресурсами, принимая во внимание воздействие внешних факторов. Тем не менее, этот математический подход не лишен определенных ограничений [13].

Эта аналитическая модель ограничена в своих возможностях и предоставляет информацию только о вероятности и времени наступления определенного события, а также о степени их изменчивости [12].

Методология ВВГ не подходит для адекватного моделирования динамических процессов в управляемой системе, особенно когда требуется одновременное обеспечение мультисервисности и гарантированного качества обслуживания по нескольким параметрам.

Для сложных систем управления аналитические модели становятся слишком сложными и трудными для оптимизации.

Заключение. Многопутевая маршрутизация становится действенным решением для баланса между необходимостью гарантировать высокое качество обслуживания и оптимальной загрузкой ресурсов телекоммуникационной системы (ТКС). Этот метод позволяет пакетам одного потока данных передаваться по нескольким маршрутам

одновременно, что способствует равномерному распределению нагрузки и улучшению, в первую очередь, скоростных характеристик и временных показателей качества обслуживания. К многопутевой маршрутизации предъявляются два типа требований. Первая группа включает в себя стандартные для всех алгоритмов маршрутизации: низкую вычислительную нагрузку, оперативную сходимость и минимальное количество служебных сообщений.

Вторая группа требований связана с обеспечением стабильно высокого качества обслуживания и равномерного распределения нагрузки в телекоммуникационной сети. Для этого используются методы управления трафиком, такие как маршрутизация с учетом качества обслуживания (QoS) и балансировка нагрузки. Однако эти требования часто противоречат друг другу. Поэтому сейчас активно разрабатываются различные подходы к многопутевой маршрутизации, которые используют математические модели и алгоритмы для решения сложных задач оптимизации.

Список литературы

1. Гургенидзе, А.Т. Мультисервисные сети и услуги широкополосного доступа [Текст] / А.Т. Гургенидзе, В.И. Кореш. – С-Пб.: Наука и техника, 2006. – 400 с.
2. Гольдштейн Б.С. Проблемы перехода к мультисервисным сетям [Текст] / Б.С. Гольдштейн // Вестник связи. – 2007. – № 12. – С 26-31.
3. Шварцман В.О. Качество услуг сетей следующего поколения [Текст] / В.О. Шварцман // Электросвязь. – 2006. – №3. – С. 26-31.
4. Вегешна, Ш. Качество обслуживания в сетях IP [Текст] / Ш. Вегешна. – М.: Издательский дом «Вильямс», 2006. – 386 с.
5. Денисова, Т.Б. Мультисервисные АТМ сети [Текст] / Т.Б. Денисова, Б.Я. Лихтциндер, А.Н. Назаров, М.В. Симонов, С.М. Фомичев. – М.: Эко Трендз, 2007. – 320 с.
6. Назаров, А.Н. АТМ: Принципы и технические решения создания сетей [Текст] / А.Н. Назаров, И.А. Разживин, М.В. Симонов. – М.: Горячая линия – Телеком, 2006. – 408 с.
7. Кучерявый, Е.А. Управление трафиком и качество обслуживания в сети Интернет [Текст] / Е.А. Кучерявый. – М.: Наука и Техника, 2007. – 336 с.
8. Лемешко О.В. Модель динамічного балансування мережних ресурсів у телекомунікаційній мережі [Текст] / О.В. Лемешко, О.Ю. Эвсезва, Д.В. Симоненко // Системи обробки інформації. – 2008. – № 5(72). – С.71-74.
9. Безрук В.М. Методы многокритериальной оптимизации в задачах проектирования телекоммуникационных систем [Текст] / В.М. Безрук, О.А. Колесников, И.В. Свид, И.В. Корсун // Комп'ютерні технології друкарства. – 2006. – № 14. – С. 166-190.
10. Wang Y., Wang Z. Explicit routing algorithms for Internet Traffic Engineering // Proc. of 8th International Conference on Computer Communications and Networks. – Paris, 2009. – P. 582-588.
11. Дуравкин, Е.В. Методика моделирования протоколов информационного обмена с помощью аппаратов E-сетей и вероятностно-временных графов [Текст]: дис. ... канд. техн. наук / Е.В. Дуравкин. – Харьков: УкрДАЗТ, 2006. – 184 с.
12. Gulmira D Bazil, Shinar K Adilova, Laulasyn K Abzhanova, Laura A Sugurova, Mira E Yerzhanova. Fuzzy simulation of organizational adjustment processes management based on heat supply balanced scorecard // Innovative Infrastructure Solutions. – 2021. – Vol. 6. – Issue 2.
13. Bayegizova A., Abdikerimova G., Kaliyeva S., Shaikhanova A., Shangytbayeva G., Sugurova L., Sugur Zh., Saimanova Z. Fire detection using deep learning methods //

International Journal of Electrical and Computer Engineering (IJECE). – 2024. – Vol. 14. – No. 1. – P. 547-555.

Материал поступил в редакцию 04.02.25, принят 11.03.25.

В. Войджик

Люблин технологиялық университеті, Люблин қ., Польша

IP ЖӘНЕ MPLS ЖЕЛІЛЕРІНДЕГІ АҚПАРАТТЫҚ РЕСУРСТАРДЫҢ БӨЛУІНІҢ МАТЕМАТИКАЛЫҚ МОДЕЛЬДЕУ

Аңдатпа. Жаңа буын (NGN) желілерінің негізі ретінде қызмет ететін заманауи көпфункционалды телекоммуникациялық жүйелердің (TKS) тиімді дамуы көбінесе олардың Басқару жүйелеріндегі прогреспен анықталады. Бұл жүйелердің маңызды құрамдас бөліктері деректер ағынын бақылау құралдары – ақпараттық ресурс және TKS арналық ресурсы болып табылатын байланыс арналарының қол жетімді өткізу қабілетін бөлу механизмдері болып табылады.

Тірек сөздер: IP (Internet Protocol), MPLS (Multiprotocol Label Switching), мультисервистік желілер, көлік технологиялары, QoS, деректерді беру, желілік инфрақұрылым, желілік протоколдар.

W. Wójcik

Lublin University of Technology, Lublin, Poland

MATHEMATICAL MODELING OF INFORMATION RESOURCE ALLOCATION IN IP AND MPLS NETWORKS

Abstract. The effective development of modern multifunctional telecommunications systems (TKS), which serve as the basis of new generation (NGN) networks, is largely determined by progress in their control systems. The most important components of these systems are the mechanisms for distributing the available bandwidth of communication channels, which are the means of monitoring the data flow – an information resource and a TKS channel resource.

Keywords: IP (Internet Protocol), MPLS (Multiprotocol Label Switching), multiservice networks, transport technologies, QoS, data transmission, network infrastructure, network protocols.

References

1. Gurgenzidze, A.T., Koresh, V.I. Mul'tiservisnyye seti i uslugi shirokopolosnogo dostupa [Multiservice networks and broadband access services]. – St. Petersburg: Science and Technology, 2006. – 400 p. [in Russian].
2. Gol'dshteyn B.S. Problemy perekhoda k mul'tiservisnym setyam [Problems of transition to multiservice networks] // Bulletin of Communications. – 2007. – No. 12. – P. 26-31. [in Russian].
3. Shvartsman V.O. Kachestvo uslug setey sleduyushchego pokoleniya [Quality of services in next-generation networks] // Telecommunications. – 2006. – No. 3. – P. 26-31. [in Russian].
4. Vegeshna, SH. Kachestvo obsluzhivaniya v setyakh IP [Quality of service in IP networks]. – Moscow: Williams Publishing House, 2006. – 386 p. [in Russian].

5. Denisova, T.B., Likhtsinder, B.YA., Nazarov, A.N., Simonov, M.V., Fomichev, S.M. Mul'tiservisnyye ATM seti [Multiservice ATM networks]. – Moscow: Eko Trends, 2007. – 320 p. [in Russian].
6. Nazarov, A.N., Razzhivin, I.A., Simonov, M.V. ATM: Printsipy i tekhnicheskiye resheniya sozdaniya setey [ATM: Principles and technical solutions for creating networks]. – Moscow: Hotline – Telecom, 2006. – 408 p. [in Russian].
7. Kucheryavyy, Ye.A. Upravleniye trafikom i kachestvo obsluzhivaniya v seti Internet [Traffic management and quality of service on the Internet]. – Moscow: Science and Technology, 2007. – 336 p. [in Russian].
8. Lemeshko O.V., Evseeva O.YU., Simonenko D.V. Model' dinamichnogo balansuvannya mreznikh resursiv u telekomunikatsionnykh mrezhakh [Model of dynamic balancing of marginal resources in a telecommunications network] // Information processing systems. – 2008. – No. 5(72). – P. 71-74. [in Ukrainian].
9. Bezruk V.M., Kolesnikov O.A., Svid I.V., Korsun I.V. Metody mnogokriterial'noy optimizatsii v zadachakh proyektirovaniya telekommunikatsionnykh sistem [Methods of multicriteria optimization in problems of designing telecommunication systems] // Computer technologies of medicine. – 2006. – No. 14. – P. 166-190. [in Ukrainian].
10. Wang Y., Wang Z. Explicit routing algorithms for Internet Traffic Engineering // Proc. of 8th International Conference on Computer Communications and Networks. – Paris, 2009. – P. 582-588.
11. Duravkin, Ye.V. Metodika modelirovaniya protokolov informatsionnogo obmena s pomoshch'yu apparatov Ye-setey i veroyatnostno-vremennykh grafov [Methodology for modeling information exchange protocols using E-network devices and probabilistic-temporal graphs]: dis. ... Cand. of Technical Sciences. – Kharkov: UkrDAZT, 2006. – 184 p. [in Russian].
12. Gulmira D Bazil, Shinar K Adilova, Laulasyn K Abzhanova, Laura A Sugurova, Mira E Yerzhanova. Fuzzy simulation of organizational adjustment processes management based on heat supply balanced scorecard // Innovative Infrastructure Solutions. – 2021. – Vol. 6. – Issue 2.
13. Bayegizova A., Abdikerimova G., Kaliyeva S., Shaikhanova A., Shangytbayeva G., Sugurova L., Sugur Zh., Saimanova Z. Fire detection using deep learning methods // International Journal of Electrical and Computer Engineering (IJECE). – 2024. – Vol. 14. – No. 1. – P. 547-555