

ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ (05.13.00)

УДК 519.691

DOI: 10.24160/1993-6982-2017-4-92-100

Концепция механизма адаптивного управления сетевыми ресурсами

Л.И. Абросимов, П.А. Ледовский

Рассмотрена концепция механизма адаптивного управления сетевыми ресурсами корпоративной вычислительной сети (КВС). Описаны основные тенденции развития вычислительных сетей, а также перечислены проблемы, требующие дополнительных исследований и разработок. Проведен сравнительный анализ существующих методов автоматизированного распределения нагрузки между имеющимися сетевыми ресурсами. Предложен адаптивный механизм изменения приоритетов пользователей и направления движения транзакций, составляющих информационные потоки, в режимах пиковой нагрузки на основе программно-конфигурируемых сетей. Приведен алгоритм функционирования разработанного механизма. Для достижения поставленной задачи в топологию корпоративной вычислительной сети вводится контроллер — программно-аппаратный модуль, выполняющий основные функции мониторинга сетевых ресурсов, определения пар приоритетных пользователей, инициировавших передачу блоков данных, и резервных маршрутов, формирования таблицы потоков, а также применения сформированных потоков к коммутаторам. В качестве примера взята корпоративная вычислительная сеть, в которой в реальном времени высокопроизводительные хостмашины обмениваются большими объемами данных, используя основные и резервные каналы связи. Экспериментально подтверждена реализуемость предложенной концепции механизма адаптивного управления сетевыми ресурсами. Приведены результаты экспериментального тестирования на фрагменте КВС, подтверждающие увеличение скорости передачи данных между парой приоритетных пользователей в сравнении с механизмом агрегирования каналов.

Ключевые слова: программно-конфигурируемые сети, корпоративные вычислительные сети, адаптивный механизм управления, приоритетные пользователи.

Для цитирования: Абросимов Л.И., Ледовский П.А. Концепция механизма адаптивного управления сетевыми ресурсами // Вестник МЭИ. 2017. № 4. С. 92—100. DOI: 10.24160/1993-6982-2017-4-92-100.

The Concept of an Adaptive Network Resources Control Mechanism

L.I. Abrosimov, P.A. Ledovsky

The concept of a mechanism for adaptive control of resources available in a corporate computer network is considered. The main trends in the development of computer networks are described, and the main problems requiring additional research and development are pointed out. The existing methods for distributing load among the available network resources in an automated manner are subjected to a comparative analysis. A mechanism for adaptively altering the network users' priorities and redirecting the transactions forming the data traffic flows in the peak load modes on the basis of software-defined networking principle is proposed. An algorithm for implementing the developed mechanism is presented. The objective that has been set forth is solved by integrating a dedicated controller into the corporate computer network topology. The above-mentioned controller is essentially a computerized module that performs the basic functions of monitoring the network resources, identifying the priority pairs of users initiated the transmission of data blocks, determining the backup routes, creating a data flow tables, and assigning the shaped flows to the network switches. An example corporate computer network is considered, in which high-performance host machines exchange large amounts of data in the real time mode using the main and backup communication channels. The feasibility of the proposed concept of the adaptive network resource control mechanism has been confirmed experimentally. The results of experimental testing carried out on a corporate computer network fragment are presented, which confirm an increase in the data transmission rate between a pair of priority users in comparison with the channel aggregation mechanism.

Key words: software-defined networking, corporate computer networks, adaptive control mechanism, priority users.

For citation: Abrosimov L.I., Ledovsky P.A. The Concept of an Adaptive Network Resources Control Mechanism. MPEI Vestnik. 2017; 4: 92—100. (in Russian). DOI: 10.24160/1993-6982-2017-4-92-100.

Введение

Современные корпоративные вычислительные сети предоставляют свои информационно-вычислительные ресурсы большому количеству пользователей [1].

Фирмы AT&T, IBM, HP, SUN и др. разрабатывают и поставляют на рынок платформы сетевого администрирования, которые реализуют сходные по своему составу набор функций, предоставляемых администратору системы. Известные платформы обладают рядом недостатков:

- правила следования трафика, маршруты и правила балансировки задает администратор сети во время первоначальной настройки, ориентируясь только на физическую структуру, а не на реальную загруженность ресурсов вычислительной сети;
- в моменты передачи большого блока данных, например видеофильма, платформы не позволяют определить пользователя, инициировавшего передачу блока данных, и автоматически перераспределить информационные потоки пользователей и зарезервировать для них сетевые ресурсы с целью снижения перегрузки отдельных участков КВС.

В современном мире бизнес в сфере информационных технологий предъявляет все большие требования к гибкости и масштабируемости компьютерных сетей. Одними из основных трендов развития корпоративных сетей и центров обработки данных являются стремительный рост объемов и преобладание передачи мультимедийного трафика, для которого характерны:

- высокая интенсивность передачи, при которой (если говорить о локальных сетях) количество переданной информации приближается к пропускной способности канала связи;
- большой объем передаваемой информации, при этом время передачи данных за одну сессию может достигать нескольких часов [2].

Наглядным примером сети с преимущественно мультимедийным трафиком является корпоративная вычислительная сеть киностудии, где ежедневно между компьютерами по локальной сети передаются терабайты информации.

Несмотря на отлаженный за много лет процесс организации вычислительного конвейера внутри предприятия [3], основное время уделяется организации отдельного рабочего узла, предназначенного для конкретной задачи, но все реже заботятся о создании эффективной схемы взаимодействия этих узлов друг с другом. Вся мультимедийная информация передается в «несжатом» виде, удобном для обработки непосредственно на киностудиях, поэтому на передачу данных от узла к узлу тратится значительное время, иногда даже превышающее время обработки самих данных.

Поскольку время является одним из ключевых факторов в производстве, используемая технология рабочего процесса оказывается неэффективной.

Наличие указанных недостатков позволяет сделать вывод о необходимости создания принципиально новой платформы сетевого администрирования, которая должна бы в своем составе блоки, моделирующие работу КВС, собирающие информацию о движении транзакций в вычислительной сети для дальнейшего анализа и принимающие управляющие решения о движении и обработке транзакций, составляющих информационные потоки.

Механизм адаптивного управления ресурсами корпоративной вычислительной сети

Рассмотрим фрагмент КВС (рис. 1). Все ее элементы можно логически разделить на 4 группы:

- хосты (H) — пользовательские рабочие станции и (или) серверы, выполняющие определенные функции, хранилища данных и т. д., являющиеся либо инициаторами передачи данных, либо получателями данных;
- коммутаторы (S) — сетевые устройства, предназначенные для соединения нескольких узлов компьютерной сети;
- каналы связи (L) — средства, обеспечивающие передачу данных между устройствами КВС;
- контроллер (K) — вычислительное устройство, отвечающее за формирование управляющих команд.

Во время проектирования физической топологии сети между коммутаторами S обычно прокладывают резервные каналы связи, которые в зависимости от настройки коммутаторов могут быть использованы как для повышения надежности, так и для повышения пропускной способности. Причем в случае использования протокола STP при отсутствии механизма адаптивного управления резервный канал $L2$ не используется для передачи данных, и весь трафик передается по каналу $L1$. Но на практике если дополнительный канал проложен, то он всегда агрегируется для повышения пропускной способности. Балансировка нагрузки в агрегированных каналах осуществляется только на основании таких параметров, как MAC- и IP-адреса, порты отправителя или получателя, т. е. реальная загруженность конкретного интерфейса никак не учитывается. Приоритетность необходимого трафика на практике осуществляется протоколом QoS, но он позволяет определить только тип трафика, не учитывая одновременную передачу приоритетного трафика от нескольких пользователей.

Учитывая перечисленные недостатки, ставится задача создания механизма адаптивного управления, осуществляющего перенаправление трафика в зависимости от реальной загруженности каналов связи с целью повышения средней скорости передачи данных для конкретной пары приоритетных пользователей передачи данных, а следовательно, и сокращения времени передачи данных.

Разрабатываемая концепция использует функциональные модули, помогающие достигнуть поставленной цели на основе заданных и формируемых данных: передачи, вычисления параметров, принятия решения и формирования управляющих команд.

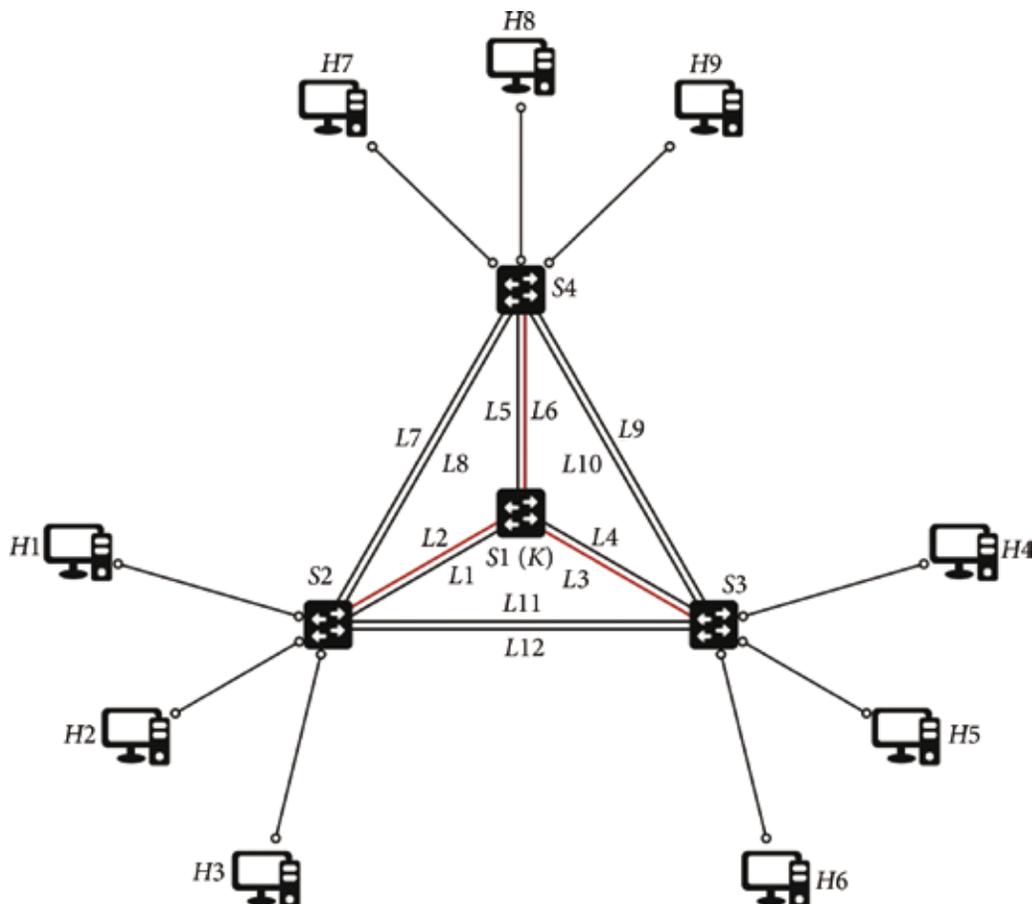


Рис. 1. Пример структуры КВС:
красная и синяя линии — резервный и основной каналы

На основании положений концепции формируется частное техническое задание на выбор и (или) разработку программных средств, реализующих функции, определяемые концепцией.

В основе идеи адаптивного управления ресурсами КВС лежит поиск пары пользователей H , между которыми осуществляется интенсивная передача данных, и выделение резервного маршрута для повышения скорости передачи данных, приближенной к пропускной способности канала связи.

Под интенсивной передачей данных понимается трафик, при котором в течение интервала времени t_p коэффициент загрузки канала связи превышает 0,9.

Реализация механизма адаптивного управления (рис. 2) осуществляется средствами программно-конфигурируемых сетей [4], при этом разрабатываются и используются следующие модули:

- топологии сети, предназначенный для централизованного хранения исчерпывающей информации о топологии сети и о состоянии ключевых узлов;
- мониторинга, необходимый для сбора информации о состоянии каналов связи средствами сенсоров (программными компонентами, осуществляющими сбор и анализ трафика на определенных портах коммутатора);

- контроллер — модуль принятия решений о реконфигурации вычислительной сети и формировании соответствующих команд.

Все модули — это программные компоненты, которые выполняются либо на отдельном вычислительном узле, либо средствами коммутаторов в программно-конфигурируемых сетях. Каждый модуль расположен в контроллере, а сенсоры модуля мониторинга — в коммутаторах.

Функции модуля топологии сети заключаются в хранении информации о топологии сети. Это централизованное место хранения информации о всей топологии сети, первоначально задается администратором сети, а в дальнейшем может корректироваться как администратором, так и контроллером.

В функции модуля мониторинга входят:

- уточнение точек мониторинга; с целью экономии как аппаратных, так и вычислительных ресурсов сети необходимо минимизировать количество установленных сенсоров, сбор информации с которых позволит получить исчерпывающее представление о трафике в сети;
- обнаружение наличия интенсивного трафика в сети; детальный мониторинг трафика в течение всего време-

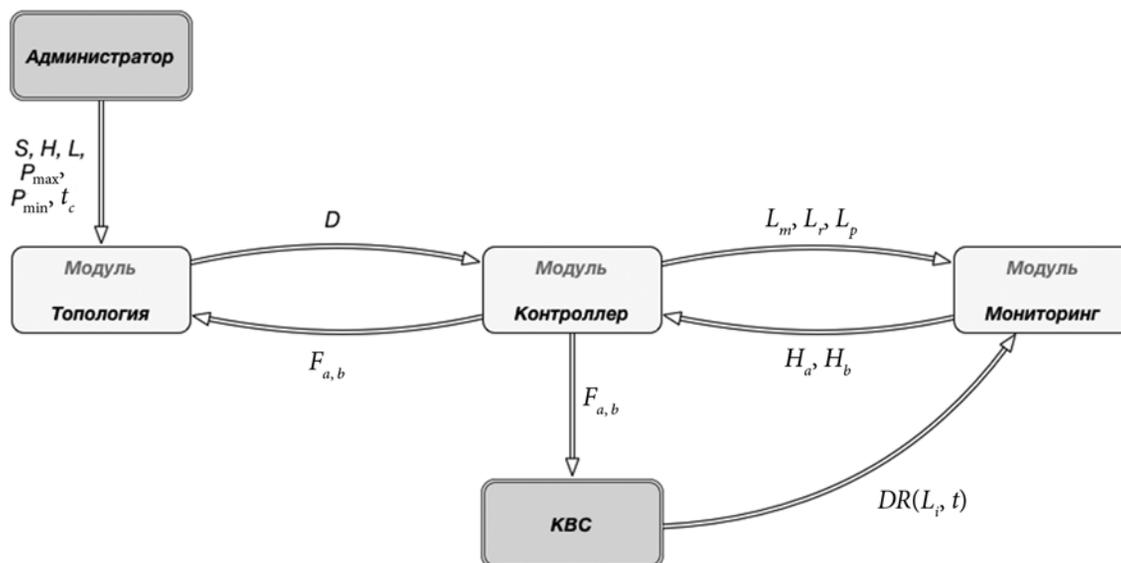


Рис. 2. Взаимодействие модулей механизма адаптивного управления

ни работы сети — операция, которая требует больших вычислительных ресурсов, в связи с этим по заданным уставкам определяется наличие интенсивного трафика в основных каналах связи без идентификации пользователей, передающих данные;

- определение пары пользователей, между которыми осуществляется передача данных. После обнаружения наличия интенсивного трафика следует определить пару пользователей, между которыми происходит передача данных. В один и тот же момент времени по одному каналу может передаваться информация от множества хостов, поэтому нужно собрать некоторую статистику за короткий промежуток времени, чтобы понять, между какой парой передано наибольшее количество информации по отношению к другим парам;

- установление момента завершения передачи данных между приоритетными пользователями. Для тех пользователей, которым выделен приоритетный маршрут, необходимо определить момент завершения передачи данных, который будет соответствовать отсутствию интенсивного трафика по заданным уставкам;

- формирование сигналов, сообщающих о текущем состоянии сети; для оповещения контроллера о необходимости реконфигурации сети требуется сформировать соответствующие сигналы и передать их.

Функции контроллера заключаются:

- в получении информации о топологии сети. Перед любыми вычислениями проводится обновление информации о топологии сети, которая может быть изменена контроллером или администратором сети при смене оборудования;

- принятии информации о наличии интенсивного трафика в сети, что говорит о том, что в данный момент времени происходит передача данных между пользователями и следует запустить алгоритм поиска резервного маршрута с целью повышения скорости передачи данных;

- определении возможности использования резервных каналов связи. Поиск резервного маршрута осуществляется за счет наличия в сети резервных каналов связи, но такого маршрута может и не быть, поэтому стоит понять, существует ли возможность перестроения маршрутов;

- формировании и передаче управляющих команд. Если резервный маршрут найден, то формируется список команд для коммутаторов, которые реализуют функционирование найденных маршрутов;

- в прогнозировании наличия интенсивного трафика в сети. На основе собранной статистики могут быть выявлены закономерности появления интенсивного трафика, и резервный маршрут может быть применен по расписанию, при этом общий алгоритм приоритизации пользователей не меняется и работа с маршрутами, выделенными на основе статистики, не отличается от маршрутов, выделенных на основе мониторинга.

Алгоритм реализации механизма адаптивного управления ресурсами корпоративной вычислительной сети, расположенного в контроллере

Исходными данными для реализации положений концепции являются структура D КВС и набор хостов H . По структуре D строится графовая модель (S, L) , описывающая связи между коммутационными узлами сети, где S, L — наборы коммутаторов и каналов связи, которые, в свою очередь, объединяют два коммутатора из множества S . Каждый канал связи L_i характеризуется максимальной пропускной способностью B_i .

Каналы связи с учетом функциональных состояний логически делятся на три группы:

- основные — каналы связи, по которым идет весь основной трафик в сети, они назначаются при инициализации сети и остаются основными до изменения ее топологии;

- резервные — каналы связи, по которым трафик не передается, при инициализации сети к этой группе относятся все неосновные каналы связи;

- подключенные — каналы связи, по которым передается трафик приоритетных пользователей, назначаются по необходимости в процессе работы.

Каждый канал L_i может принадлежать одновременно только одной группе из основных L_m , резервных L_r и подключенных L_p . В начальный момент времени все каналы связи принадлежат группе L_r .

Общий алгоритм механизма адаптации ресурсов КВС изображен на рис. 3. На этапе инициализации по графу D определяется минимальное покрывающее дерево $D_m = (S_m, L_m)$, где $S_m \in S$, а $L_m \in L$, и каждый канал связи из множества L_m назначается основным. Таблица потоков составляется таким образом, чтобы трафик между хостами из множества H проходил только по основным каналам. Полученные таблицы отправляются на соответствующие коммутаторы. Задаются уставки для модуля мониторинга пороговых значений для определения наличия интенсивного трафика P_{\max} , отсутствия интенсивного трафика P_{\min} , а также интервала времени t_p , в течение которого канал связи должен быть занят выше или ниже пороговых значений, что говорит о наличии или отсутствии интенсивного трафика. При этом P_{\max} и P_{\min} принимают значения от 0 до 1, которые соответствуют отношению переданной информации к пропускной способности канала связи за единицу времени.

После этапа инициализации запускается мониторинг всех основных каналов связи из множества L_m на наличие интенсивного трафика и всех подключенных каналов связи из множества L_p , которое на начальном этапе пустое. Основным параметром, который должен определять сенсор, является значение количества переданной информации за единицу времени $DR(L_i, t)$, где L_i — i -й канал связи, t — метка времени, в которое проводились измерения.

Для каждого канала связи из L_r , принадлежащего множеству L_m , проверяется неравенство

$$\frac{\sum_{t=t_c-t_p}^{t_c} DR(L_i, t)}{t_p} > B_i P_{\max},$$

где t_c — текущий момент времени. В том случае, если неравенство выполняется, то определяется пара пользователей (H_a, H_b), занимающая большую часть пропускной способности канала связи, в котором обнаружен интенсивный трафик. Далее эта информация передается контроллеру для поиска резервного маршрута.

Для каждого канала связи из L_r , принадлежащего множеству L_p , проверяется выражение

$$\frac{\sum_{t=t_c-t_p}^{t_c} DR(L_i, t)}{t_p} < B_i P_{\min}.$$

Если неравенство выполняется, то, как и в первом случае, определяется пара пользователей H_a, H_b , для которой

был зарезервирован маршрут, и передается контроллеру, но уже для отмены резервного маршрута.

Контроллер, получая информацию от модуля мониторинга о найденной паре, претендующей на приоритет, запускает механизм поиска резервного маршрута по графу, полученному путем удаления всех каналов связи L_r , принадлежащих группам L_m и L_p . Если такой маршрут найден, то все каналы, принадлежащие этому маршруту, переходят в группу L_p ; составляется приоритетная таблица маршрутов $F(a, b)$ для пары хостов H_a, H_b и передается на соответствующие коммутаторы. В случае получения от модуля мониторинга информации о найденной паре пользователей H_a, H_b , завершившей сессию передачи данных, соответствующая таблица $F(a, b)$ удаляется из соответствующих коммутаторов, а все каналы связи, принадлежащие данному маршруту, переходят в группу L_r .

Для предотвращения заикливания вводится очередь ожидания приоритетных пользователей. Если маршрут не найден для пары, претендующей на приоритет, то эта пара заносится в очередь. Модуль мониторинга перед отправкой сигнала контроллеру проверяет наличие пары пользователей с интенсивным трафиком в очереди, и если она там присутствует, то сигнал не отправляется. Очередь сбрасывается после любого перестроения маршрутов.

Выполнение алгоритма прекращается по сигналу администратора, при этом удаляются все резервные маршруты, а локальная сеть продолжает функционировать в обычном режиме, используя маршруты, созданные при инициализации.

Любые переназначения каналов связи между группами синхронизируются между модулем мониторинга и контроллером средствами модуля топологии сети.

Тестирование механизма адаптивного управления ресурсами на фрагменте корпоративной вычислительной сети

Целью тестирования является проверка реализуемости предложенной концепции и подтверждение ее эффективности.

Для достижения поставленной цели проведем два теста для фрагмента КВС, изображенного на рис. 1, в котором в рассматриваемый интервал времени взаимодействуют три пары хостов: ($H1 - H4$), ($H2 - H5$) и ($H3 - H6$).

В первом тесте механизм адаптации не участвует, а резервные каналы агрегированы.

Во втором тесте механизм адаптации (контроллер), расположенный в коммутаторе $S1$, выполняет все необходимые функции.

Сравнение результатов тестирования позволит установить реализуемость и эффективность предложенной концепции механизма адаптивного управления сетевыми ресурсами.

В обоих тестах проводится передача генерированного трафика по заранее определенному сценарию:

- на 5-й секунде запускается передача файла объемом 8 ГБ от хоста $H1$ к хосту $H4$;

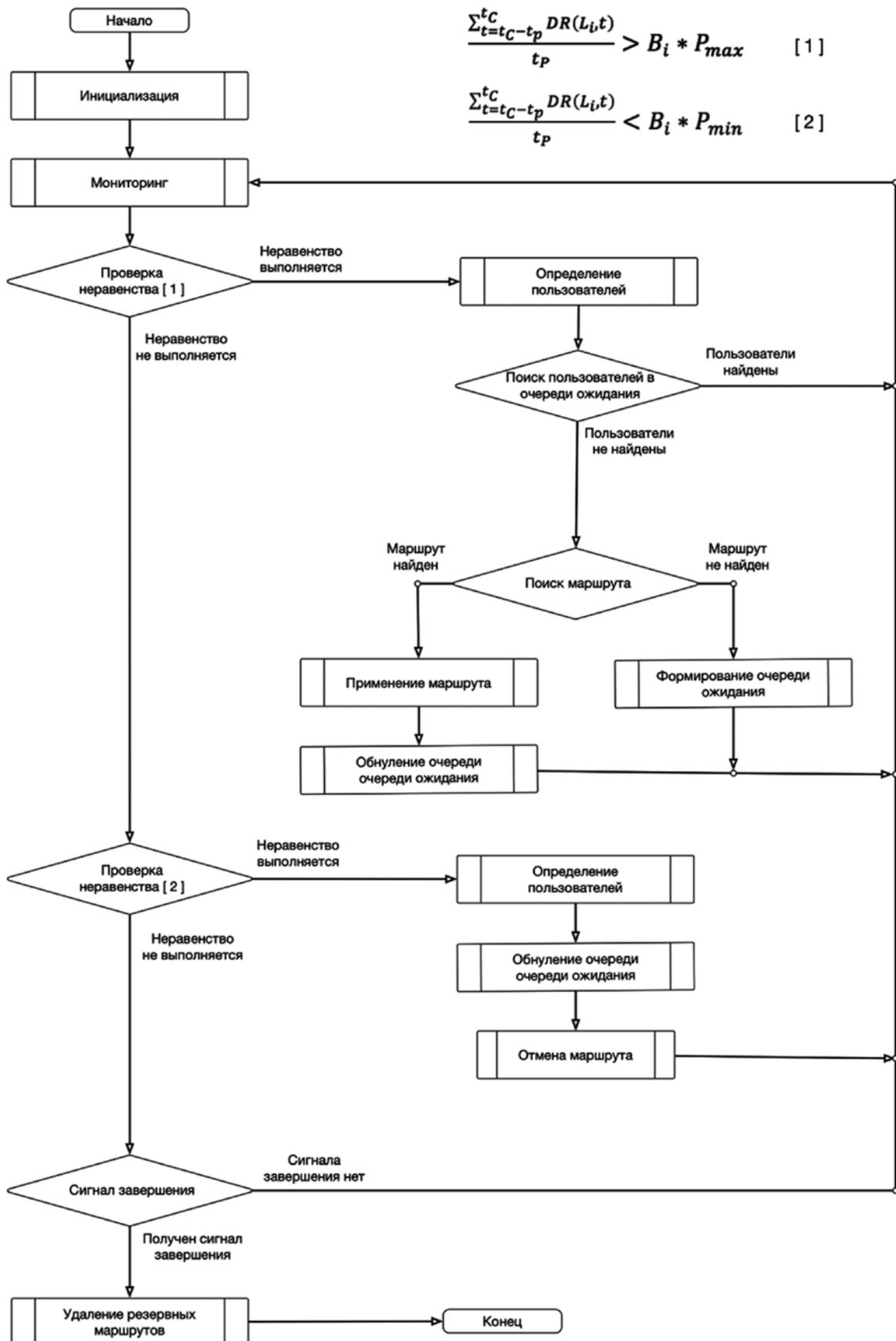


Рис. 3. Алгоритм реализации механизма адаптации ресурсов КВС

- на 15-й секунде — передача файла объемом 2 ГБ от хоста $H2$ к хосту $H5$;

- на 35-й секунде происходит передача файла объемом 2 ГБ от хоста $H3$ к хосту $H6$.

Моделирование проходит с использованием системы виртуализации VirtualBox в операционной среде Mininet [5] со следующими выделенными ресурсами: 2×4 ГГц ЦПУ, 4 ГБ ОЗУ.

Проведение первого теста

Выбор канала, по которому будут передаваться данные, определяется MAC-адресом, определен заранее: для пар ($H1, H4$) и ($H2, H5$) — это канал связи $L1$, а для пар ($H3, H6$) — $L2$. Результаты проведения первого теста изображены на рис. 4.

Как следует из графика рис. 4, передача данных между парами ($H1, H4$) и ($H2, H5$) пересекается во времени и осуществляется по одному каналу $L1$, а значит, и скорость передачи данных для каждой пары снижается.

Проведение второго теста

В качестве исходных данных, определяющих наличие в сети интенсивного трафика и отсутствие трафика: $P_{\max} = 0,9$; $P_{\min} = 0,1$ и $t_p = 2$ с. Сенсоры устанавливаются на коммутаторе $S1$ и каналах связи $L1$ и $L2$. Функции контроллера, модуля топологии и модуля мониторинга будет выполнять коммутатор $S1$. В начальный момент времени необходимо распределить каналы связи: к основной группе будет относиться первый канал связи $L1$, к резервной — второй $L2$. Результаты проведения второго теста показаны на рис. 5.

Как видно из графиков рис. 5, на 7-й секунде происходит обнаружение интенсивного трафика между парой ($H1, H4$) и ей выделяется резервный маршрут через канал $L2$.

Сравнительные результаты проведения двух тестов приведены в таблице. Очевидно, что при одном и том же сценарии передачи данных между хостами в сравнении с агрегированием каналов (тест 1) при применении алгоритма адаптивного управления (тест 2) время передачи данных сокращается, а скорость возрастает.

Выводы

Экспериментально подтверждена реализуемость предложенной концепции механизма адаптивного управления сетевыми ресурсами.

Благодаря эффективному использованию резервных каналов связи между коммутаторами, возможно увеличение скорости передачи данных. Рациональное использование резервных каналов связи достигается путем применения разработанной концепции адаптивного управления сетевыми ресурсами.

Предложенная концепция заключается в возможности выделения ресурсов КВС (в данном случае — каналов передачи данных) для пар приоритетных пользователей с помощью программно-конфигурируемых сетей.

Рассмотрен частный случай применения механизма адаптации ресурсов КВС, но разработанные алгоритмы назначения пар приоритетных пользователей легко мас-

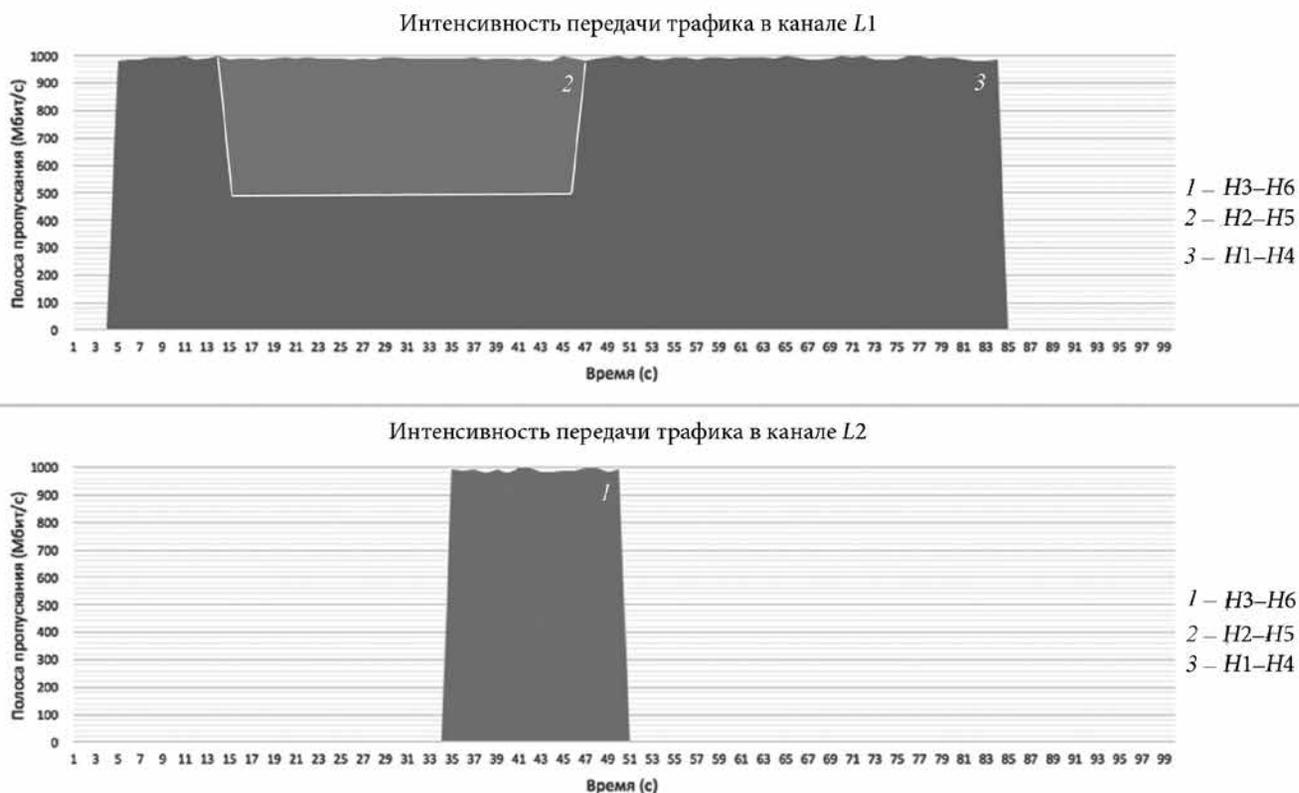


Рис. 4. Результаты моделирования агрегирования каналов (тест 1)

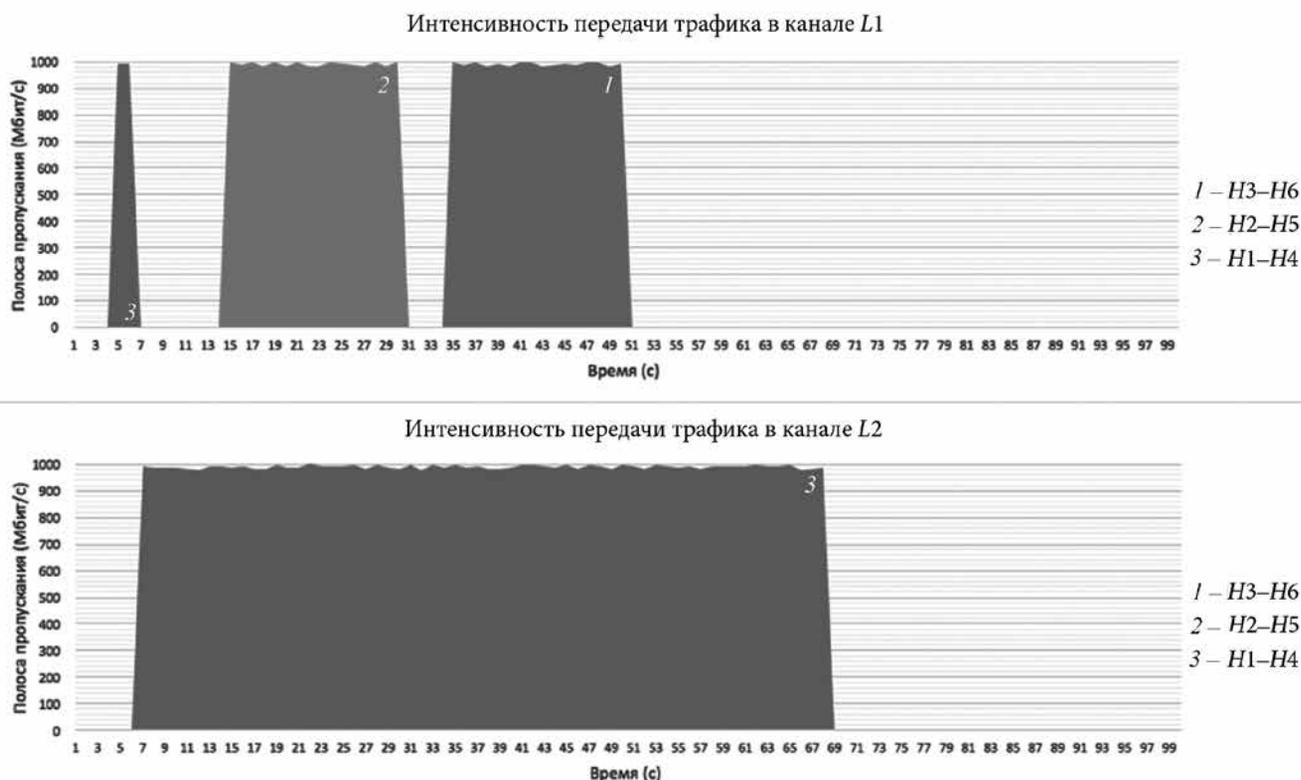


Рис. 5. Результаты моделирования предлагаемого алгоритма адаптивного управления ресурсами (тест 2)

Результаты проведения тестов

Пара пользователей	Тест 1		Тест 2	
	Время передачи данных, с	Средняя скорость передачи данных, Мбит/с	Время передачи данных, с	Средняя скорость передачи данных, Мбит/с
H1, H4	80,4	815,40	65,3	1003,61
H2, H5	32,9	497,99	16,4	999,02
H3, H6	16,7	981,08	16,3	1005,15

штабируются на более крупные КВС, что позволяет применять его на практике в реальных системах.

Основным преимуществом концепции адаптивного управления КВС является возможность создания автоматической системы администрирования за счет назначения таблиц потоков динамически с удаленного контроллера.

Предложенная система администрирования самостоятельно назначает приоритеты и выделяет ресурсы на основании реальной загруженности каналов связи, что в итоге позволяет увеличить скорость и сократить время передачи данных между хостами.

Литература

1. Абросимов Л.И. Базисные методы проектирования и анализа сетей ЭВМ. М.: Университетская книга, 2015.
2. Efimov V.V., Mescheryakov S.V., Shchemelinin D.A. Integrated Management and Big Data Exchange in a Globally

Distributed Corporative Network – Architecture, Methods of Control, Modeling and Design of Computer Networks, 2016.

3. Абросимов Л.И. Основные положения теории производительности вычислительных сетей // Вестник МЭИ. 2001. № 4. С. 70—75.

4. Смелянский Р. Программно-конфигурируемые сети [Электрон. ресурс]. <http://www.osp.ru/os/2012/09/13032491/> (дата обращения 15.05.2017)

5. William E.S. CS 154: Introduction to Mininet. Yu.: Ateneo de Manila University, 2014.

References

1. Abrosimov L.I. Bазисnye Metody Proektirovaniya i Analiza Setey EVM. M.: Universitetskaya Kniga, 2015. (in Russian)
2. Efimov V.V., Mescheryakov S.V., Shchemelinin D.A. Integrated Management and Big Data Exchange in a Globally Distributed Corporative Network – Architecture,

Methods of Control, Modeling and Design of Computer Networks, 2016.

3. **Abrosimov L.I.** Osnovnye Polozheniya Teorii Proizvoditel'nosti Vychislitel'nyh Setey, MPEI Vestnik. 2001;4:70 —75. (in Russian).

4. **Smelyanskiy R.** Programmno-konfiguriruyemye Seti [Elektron. Resurs]. <http://www.osp.ru/os/2012/09/13032491/> (Data Obrashcheniya 15.05.2017). (in Russian)

5. **William E.S.** CS 154: Introduction to Mininet. Yu.: Ateneo de Manila University, 2014.

Сведения об авторах

Абросимов Леонид Иванович – доктор технических наук, профессор кафедры вычислительных машин, си-

стем и сетей НИУ «МЭИ», e-mail: AbrosimovLI@mpei.ru

Ледовский Павел Александрович – аспирант кафедры вычислительных машин, систем и сетей НИУ «МЭИ», e-mail: ledovskyp@gmail.com

Information about authors

Abrosimov Leonid I. – Dr.Sci. (Techn.), Professor of Computing Machines, Systems and Networks Dept., NRU MPEI, e-mail: AbrosimovLI@mpei.ru

Ledovsky Pavel A. – Ph.D.-student of Computing Machines, Systems and Networks Dept., NRU MPEI, e-mail: ledovskyp@gmail.com

Статья поступила в редакцию 09.11.2016