

СПОСОБ ДИНАМИЧЕСКОЙ МАРШРУТИЗАЦИИ С ПОДДЕРЖКОЙ КАЧЕСТВА ОБСЛУЖИВАНИЯ В МОБИЛЬНЫХ СЕТЯХ БЕЗ ИНФРАСТРУКТУРЫ

Институт компьютерных технологий Национального авиационного университета

Предложен и обоснован способ динамической маршрутизации, который за счет формирования иерархической структуры сети и использования на каждом уровне иерархии наиболее эффективных алгоритмов маршрутизации позволяет повысить эффективность маршрутизации в мобильных сетях без фиксированной инфраструктуры класса Ad Hoc. Повышение устойчивости виртуальных соединений позволяет обеспечить в сетях Ad Hoc требуемый уровень качества обслуживания.

Введение

В настоящее время в связи с повышением быстродействия и качества беспроводных каналов одним из направлений развития компьютерной сети является повышение ее мобильности. Необходимость эффективной передачи в мобильных сетях трафика различных типов приложений, в частности мультимедийного трафика и трафика реального времени, обуславливает необходимость в дополнительных средствах обеспечения требуемого приложениями уровня качества обслуживания.

Известные способы обеспечения качества обслуживания (*QoS*) в стационарных сетях не учитывают динамической природы мобильных сетей и ограниченной полосы пропускания беспроводных каналов связи и не могут быть использованы в мобильных сетях. Известные же протоколы маршрутизации, разработанные для передачи данных в мобильных сетях, не обеспечивают необходимого уровня качества обслуживания и неэффективны при увеличении размеров мобильной сети.

В связи с этим возникает необходимость разработки и исследования новых способов маршрутизации, повышающих эффективность передачи данных в мобильных сетях и обеспечивающих необходимый уровень качества обслуживания.

Обеспечение QoS в современных компьютерных сетях

Сетевой трафик состоит из множества потоков, сгенерированных приложениями конечных станций. Эти приложения отличаются различными требованиями к обслуживанию и к характеристикам сети. Так трафик *реального времени*, к которому относится трафик с аудио- и видеoinформацией, не допускает задержки при передаче, кроме того колебания задержки должны быть сведены к нулю. При сжатии информации такой трафик очень чувствителен к ошибкам при передаче. *Трафик данных* может работать с любой задержкой, но имеет повышенную чувствительность к пропускной способности. Приложения, передающие большие объемы данных обычно захватывают всю доступную полосу пропускания.

Учитывая различные типы трафика и его требования, предъявляемые к сетям, в современных объединенных сетях передачи данных возникла необходимость добавления новых механизмов, учитывающих требования, предъявляемые приложениями к сети, и предоставляющие этим приложениям необходимое качество обслуживания *QoS* (*Quality of Service*).

Стандарт *RFC 2386* [7] определяет *QoS*, как набор требований, которые будут выполнены сетью при передаче потока пакетов от источника адресату. Понятие *QoS* включает в себя соглашение или гарантии сети о предоставлении определенным типам трафика набора измеримых

и требуемых этому трафику параметров качества обслуживания. Требования к качеству обслуживания каждого отдельного соединения задается как набор параметров, к которым относятся *минимальная пропускная способность, время задержки, изменения задержки, надежность, относительная загруженность* [2].

Существует три *класса соблюдения QoS* [4, 5]:

Сервис с максимальными усилиями (негарантированная доставка), который так же можно назвать отсутствием *QoS*, обеспечивает взаимодействие узлов без всяких гарантий. Это классические сети *Ethernet* и *IP*, которые не делают никаких различий между пакетами различных пользователей и приложений, и обслуживают пакеты по принципу *FIFO* («первым пришел – первым обслужен»).

Сервис с предпочтением (Best effort – улучшенное обслуживание) – некоторые типы трафика обслуживаются лучше, чем остальные, здесь подразумевается более быстрая обработка, больше пропускной способности и меньше потерь данных. Это статистическое предпочтение, а не численно выраженные гарантии. Точные параметры *QoS*, которые получают приложения в этом случае, неизвестны и зависят от характеристик предлагаемого трафика [4]. Такое обслуживание, может быть ориентировано на соединение и не ориентировано на соединение и обеспечивается за счет повышения эффективности работы в сети в целом за счет достижения максимальной пропускной способности и динамического распределения свободных сетевых ресурсов.

Гарантированный сервис – дает численные гарантии различным потокам трафика, основан на предварительном резервировании сетевых ресурсов для каждого из потоков, получившего гарантии обслуживания. Это гарантированная доставка данных, ориентированная на соединение, гарантии качества обслуживания обеспечиваются каждому отдельному соединению. Трафик, которому выделили ресурсы, гарантированно имеет при про-

хождении через сеть те параметры пропускной, которые определены для него в числовом виде. Сервис обеспечивается с помощью протоколов резервирования ресурсов [4, 5].

Качество обслуживания может быть обеспечено на различных уровнях сетевой модели *OSI*: на уровне сетевых элементов; на транспортном уровне – «из-конца-в-конец»; на сетевом уровне – с помощью протоколов маршрутизации с поддержкой качества обслуживания.

Для обеспечения *QoS* на уровне сетевых элементов используются следующие средства: *классификация* – идентификация и маркирование потоков; *управление перегрузкой* – организация очередей дифференцированное обслуживание потоков с целью приоритетной обработки некоторых потоков; *избежание перегрузок* – предотвращение заполнения очередей и обеспечение мер по снижению вероятности перегрузок; *повышение эффективности канала* – методы уменьшения задержек на низкоскоростных каналах; *управление сетевым трафиком* – сетевое планирование и оптимизация [3, 4].

Способы обеспечения качества обслуживания «из-конца-в-конец» представляют собой соблюдение гарантий по предоставлению параметров качества обслуживания между двумя конечными пользователями. К таким способам относятся архитектуры Интегрированной службы (*Integrated Services Architectures, IntServ*) [5, 9, 20] и дифференцированной службы (*Differentiated Services, DifServ*) [5, 8], которые были разработаны специально для предоставления качества обслуживания *QoS* в сетях *Internet*. В работе [2] проведен подробный анализ архитектур *IntServ* и *DifServ* с точки зрения использования этих архитектур для обеспечения качества обслуживания в мобильных сетях без инфраструктуры класса *Ad Hoc*. Особенности мобильных сетей такого класса, а именно динамическая топология, ограниченная полоса пропускания беспроводных каналов связи и аппаратные ограни-

чения мобильных терминалов, не позволяют непосредственно использовать рассматриваемые способы. Однако, низкая аппаратная сложность реализации модели *DifServ* в узле, отсутствие централизованного управления, отсутствие внешнего сигнального механизма и резервирования ресурсов, позволяют все же рассматривать архитектуру *DifServ*, как базовую для разработки моделей *QoS* в мобильных сетях *Ad Hoc*.

Так известны модели *FQMM* [6], *SWAN* [23], *INSIGNIA* [13], предложенные для реализации *QoS* в мобильных сетях, которые предлагает комбинировать реализацию предоставления качества услуг, используемых в *IntServ* и *DifServ*, для различных приоритетных классов. Этим моделям присущи недостатки, связанные с *IntServ* и *DifServ*: требования устойчивой связи, доступной полосы пропускания и информации о топологии сети, поэтому они достаточно хорошо работают лишь в небольших сетях с низкой подвижностью узлов.

Мощным современным решением с точки зрения обеспечения гарантий качества обслуживания в проводных сетях является технология *Многопротокольной коммутации по меткам MPLS (Multiprotocol Label Switching, MPLS)* [12, 21], которая позволяет коммутировать пакеты на канальном уровне, используя информацию о продвижении данных сетевого уровня. Предоставляет возможность перенаправления пакетов по произвольным маршрутам, позволяющую оптимизировать распределение трафика с различными требованиями к качеству обслуживания, поддерживает механизмы маркировки пакетов и управления очередями [14]. В работе [1] разработан способ разделения потоков трафика, позволяющий повысить уровень качества сервиса в мобильных сетях.

С точки зрения применения *MPLS* в мобильных сетях без инфраструктуры так же возникают проблемы связанные с особенностями последних. Структура *MPLS*-сети предполагает разделение функцио-

нальности между ядром и граничной областью сети, поэтому для реализации технологии в такой сети возникает необходимость либо установки дополнительных стационарных станций для осуществления политики управления трафиком, либо усложнение структуры каждого мобильного узла, с целью выполнения им и функций узла края сети и функции узла ядра сети.

Таким образом, все известные способы обеспечения *QoS* с успехом используемые в проводных сетях неэффективны в сетях с динамической топологией. Проблемы, связанные с обеспечением качества обслуживания в мобильных сетях так же описаны в работах [10, 19, 24].

Протоколы маршрутизации с поддержкой QoS

Для обеспечения *QoS* в мобильных сетях необходимы средства, позволяющие динамически реагировать на изменения маршрутов передачи данных, обеспечивая при этом гарантии качества обслуживания, т.е. формировать такие пути между парами узлов, для которых при передаче данных будут гарантированы численные значения ряда параметров качества обслуживания требуемых пользователями.

Для решения такой задачи наиболее перспективно использование протоколов маршрутизации с поддержкой *QoS* (*QoS-маршрутизация*).

Традиционные протоколы маршрутизации базируются на принципе кратчайшего пути, не учитывая качество физических связей между промежуточными узлами. Такие протоколы не могут определить, сможет ли данный маршрут удовлетворить запрашиваемым требованиям пропускной способности или задержки.

Цель *QoS-маршрутизации* состоит в том, что приложение сообщает необходимые параметры качества обслуживания уровню маршрутизации, чтобы он нашел подходящий маршрут. Протоколы маршрутизации с учетом *QoS* при выборе пути учитывают не только топологию сети, а и такие параметры как, пропускная

способность, задержка при передаче сигналов, надежность, относительная загрузка узла, а часто и совокупность нескольких параметров. Выбор маршрута по таким критериям позволит отыскать, возможно, не самый короткий, но наиболее удовлетворяющий требованиям приложения или менее загруженный маршрут.

Такой путь может быть найден несколькими способами. Например, при применении преактивного подхода маршрутизации, поддерживающего полную информацию о состоянии каждой связи, можно применить алгоритм *Dijkstra*, рассчитывая, удовлетворяет ли каждая связь требованиям приложения. Такой способ реализован только в проводных сетях протоколами *OSPF* [15] и *IGRP* [3]. Протоколы маршрутизации «по требованию», обычно используемые в мобильных сетях, могут быть дополнены расширениями, позволяющими во время формирования маршрута описать требования к параметрам качества обслуживания, так, чтобы только подходящие маршруты возвращались после обнаружения. Однако, среди известных протоколов маршрутизации в мобильных сетях только протокол *AODV* [18] дополнен некоторыми расширениями, позволяющими учесть параметры задержки и пропускной способности при формировании маршрутов.

В литературе описаны алгоритмы маршрутизации, используемые в мобильных сетях, которые пытаются принимать во внимание качество обслуживания в мобильной сети. Наиболее известные из таких алгоритмов, это *CEDAR* [22], *TORA* [17], *AODV* [18], *DSR* [11]. Подробный анализ работы протоколов с точки зрения обеспечения качества обслуживания представлен в работе [2].

Известные протоколы маршрутизации, используемые в мобильных сетях Ad Hoc, были разработаны без явного учета качества обслуживания маршрутов, которые они генерируют, т.е. не обеспечивают численных значений параметров качества обслуживания на протяжении пути передачи данных. Качество обслуживания,

предлагаемое этими протоколами, относится к классу *best effort* (улучшенное обслуживание) и обеспечивается за счет повышения эффективности работы сети в целом. Так использование этих протоколов маршрутизации позволяет адаптивно реагировать на изменения топологии мобильной сети, выбирать наиболее актуальные пути передачи данных, организовывать многопутевую маршрутизацию, сокращать время формирования маршрутов за счет кэширования путей и использования эффективных механизмов обнаружения ошибок связи. Кроме того, с увеличением размера сети и подвижности мобильных узлов резко повышается количество служебной информации в сети, размеры пакетов данных и вычислительная сложность алгоритмов маршрутизации, что существенно понижает эффективность рассмотренных протоколов.

Таким образом, проведенный анализ известных способов обеспечения *QoS* и протоколов маршрутизации в мобильных сетях с точки зрения обеспечения *QoS* показал, что ни один из существующих подходов не способен динамически обеспечить гарантированный уровень качества обслуживания в мобильных сетях. Это обуславливает необходимость разработки новых адаптивных способов маршрутизации, решающих поставленные задачи.

Метрики маршрутизации с поддержкой качества обслуживания

При разработке алгоритмов маршрутизации с учетом параметров качества обслуживания задача осложняется необходимостью учета нескольких метрик для выбора, удовлетворяющего требованиям трафика маршрута. Здесь в качестве метрик могут быть использованы пропускная способность, задержка, флуктуация задержки, процент потерянных пакетов, длина маршрута, относительная загрузка канала связи. Задача выбора маршрута определяется как нахождение выполнимого маршрута по заданной метрике, либо по комбинации нескольких метрик.

Предложенный способ динамической маршрутизации предполагает использовать в качестве метрик маршрутизации время задержка передачи, этот параметр очень важен в сети с частым изменением путей передачи данных, и пропускная способность канала связи.

Рассмотрим некоторую мобильную сеть, заданную с помощью графа $G(V, E)$. Где $V = \{v_1, v_2, v_3, v_4, v_5, v_6\}$ представляют собой узлы мобильной сети, а ребра $E = \{(v_1, v_2), (v_2, v_1), (v_2, v_3), (v_3, v_4), (v_4, v_5), (v_5, v_6) \dots\}$ – асимметричные каналы связи. Линии связей асимметричны, т.е. имеют различные параметры в обоих направлениях. Каждая линия имеет свое состояние, описанное с помощью меток маршрутизации пропускная способность (c), задержка (d), устойчивость канала связи (λ).

Время задержки и пропускная способность являются статическими параметрами, которые можно вычислить. Значение задержки для состояния ребра определяется как, сумма задержки в буфере узла (t_{vi}) и времени распространения по каналу связи ($t_{(vi, vj)}$).

Пусть $d(v_1, v_2)$ является метрикой задержки канала (v_1, v_2), которая равна

$$d(v_1, v_2) = t_{v_1} + t_{(v_1, v_2)}$$

Время задержки в линии связи между источником и приемником является сумма задержек на протяжении всего маршрута.

Тогда для любого маршрута $P = \{v_1, v_2, v_4, v_5, \dots, v_6, v_m\}$ метрика задержки равна

$$D = d(v_1, v_2) + d(v_2, v_4) + d(v_4, v_5) + \dots + d(v_6, v_m).$$

Таким образом, задача нахождения маршрута по требуемой метрике задержки сводится к нахождению маршрута, в котором суммарное значение задержки не превышает требуемое приложением значение.

Пусть $c(v_1, v_2)$ – метрика пропускной способности канала связи (v_1, v_2). Значение пропускной способности для состояния ребра будет равно минимальному из

двух значений: остаточной доступной пропускной способности и максимальной скорости, с которой узел может посылать данные.

Тогда для любого маршрута $P = \{v_1, v_2, v_4, v_5, \dots, v_6, v_m\}$, пропускная способность предоставленная приложению будет равна минимальной пропускной способности пройденных каналов связи.

$$C = \min(c(v_1, v_2), c(v_2, v_4), c(v_4, v_5), \dots, c(v_6, v_m)).$$

Задача нахождения маршрута по метрике пропускной способности сводится к нахождению маршрута со значением минимальной пропускной способности, превышающей некоторую требуемую величину пропускной способности на протяжении всего маршрута.

Проблема выбора пути осложняется необходимостью учета нескольких метрик для выбора оптимального пути. Фирмой Cisco в протоколе маршрутизации IGRP [3], поддерживающем QoS, предложено использование композитарной метрики:

$$M = \left(\frac{K1 \times B + K2 \times B}{(256 - L)} + K3 \times D \right) \times \frac{K5}{R + K4},$$

где D – время задержки, B – пропускная способность, R – надежность, L – относительная загрузка. Коэффициенты K позволяют администратору сети учитывать те или иные характеристики связей и варьировать степень их влияния на результирующую композитарную метрику.

Способ динамической маршрутизации

В настоящей работе в качестве способа повышения эффективности маршрутизации при увеличении размера сети и мобильности узлов предложено применение иерархического подхода к решению задачи маршрутизации. Иерархический подход подразумевает разбиение сети на логические группы узлов, называемые кластерами. В такой системе одни маршрутизаторы обмениваются информацией только с маршрутизаторами внутри своей группы, а другие и с маршрутиза-

торами других групп. В мобильной сети такая модель позволяет локализовать изменения топологии внутри каждой логической группы узлов и на каждом уровне иерархии использовать наиболее эффективные алгоритмы маршрутизации.

При реализации предложенного динамического способа маршрутизации для формирования путей передачи данных используется информация о глобальном состоянии сети, для сбора которой используется алгоритм маршрутизации по состоянию каналов связи. В качестве метрик маршрутизации используются данные о ресурсах каждого узла: время задержки, пропускная способность каналов связи и устойчивость пути. Таблицы маршрутизации хранят по несколько наиболее предпочтительных путей к каждому узлу назначения с точки зрения параметров качества обслуживания.

В настоящей работе предлагается двухуровневая иерархическая структура сети. Среди узлов, входящих в состав каждого кластера, имеется узел Hv_i , выполняющий функции головы соответствующего кластера Z_i (рис.4). Голова кластера поддерживает динамическую структуру кластера и обеспечивает межкластерную маршрутизацию. Связь между кластерами поддерживается с помощью одного или нескольких узлов Gi , выполняющих функции шлюза кластера.

Предложенная структура сети позволяет разбить задачу маршрутизации на две задачи: внутрикластерная маршрутизация и межкластерная маршрутизация.

Внутрикластерная маршрутизация

Внутри сформированных кластеров для формирования внутрикластерных таблиц маршрутизации и их обновления с успехом может быть использовано расширение протокола маршрутизации OSPF [15], позволяющее учесть различные метрики маршрутизации, чем обеспечить гарантированное качество обслуживания.

Протокол маршрутизации OSPF основан на алгоритме маршрутизации по состоянию связей. Узлы кластера лавино-

образно распространяют информацию о состояниях своих связей. По мере прохождения пакетов через сеть каждый маршрутизатор строит базу данных топологии сети, на основании которой строятся графы топологии сети. Причем при прохождении пакета через сеть фиксируются параметры качества обслуживания – задержка, пропускная способность. Учитываемые метрики маршрутизации, такие как время задержки, минимальная пропускная способность и устойчивость канала связи, с помощью алгоритма *Dijkstra* формируются маршруты передачи данных, которые сохраняются в таблицах маршрутизации, причем для достижения каждого адресата формируется несколько путей с различными метриками. Приложение, передающее данные в сеть имеет возможность запросить необходимые параметры качества обслуживания, например, время задержки или минимальную пропускную способность канала, в таблицах маршрутизации соответственно выбирается наиболее предпочтительного путь, отвечающий требуемым параметрам. Такое способ формирования путей передачи данных обеспечивает гарантированное качество обслуживания в сети. В связи с тем, что мобильная сеть характеризуется частыми изменениями положения узлов, наиболее важной является метрика, характеризующая устойчивость сформированного пути передачи данных. При выборе путей передачи данных эта метрика имеет наибольший приоритет.

На рис. 1 приведен фрагмент таблицы маршрутизации головы кластера Hv_1 . Кластер Z_0 (рис. 4) состоит из 8-ми узлов, представляющих собой мобильные терминалы связанные беспроводными каналами связи, узел Hv_1 выполняет функции головы кластера, узлы Gv_{11} Gv_{15} являются шлюзами кластера, через эти узлы осуществляется связь с соседними кластерами Z_1 и Z_2 . Структура таблиц маршрутизации шлюзов кластера с точки зрения внутрикластерной маршрутизации соответствует структуре таблиц обычных узлов.

Узел назначения	Следующий узел	T_{DELAY}	C_{min}	λ
$v1$	—	—	—	—
$v2$	$v2$	T_{1-2}	C_{1-2}	λ_{1-2}
$v2$	$v6$	T_{1-6-2}	C_{6-2}	λ_{1-6-2}
$v2$	$v4$	$T_{1-4-6-2}$	C_{4-6}	$\lambda_{1-4-6-2}$
$v3$	$v3$	T_{1-3}	C_{1-3}	λ_{1-3}
$v3$	$v4$	T_{1-4-3}	C_{4-3}	λ_{1-4-3}
$v4$	$v4$	T_{1-4}	C_{1-4}	λ_{1-4}
...

Рис. 1. Таблица внутрикластерной маршрутизации

Для уменьшения количества реконфигураций кластера используется таблица динамических адресов, куда помещается временный адрес узла при переходе из одного соседнего кластера в другой. Если по истечению времени регистрации $T_{рег}$ узел не покинул кластер, он объявляется своим и принимает участие во внутренней маршрутизации данного кластера.

Межкластерная маршрутизация

Межкластерная маршрутизация осуществляется между головами кластеров через шлюзы кластеров (рис. 4). Таким образом в каждом узле выполняющей функции головы кластера формируется внутрикластерная таблица маршрутизации. Для формирования такой таблицы

головы кластеров обмениваются своими таблицами внутрикластерной маршрутизации, на основании которых строится таблица, содержащая пути передачи данных ко всем узлам домена маршрутизации. Пути передачи содержат информацию о параметрах качества обслуживания, т.е. позволяют сформировать маршрут передачи данных с обеспечением гарантированного уровня качества обслуживания. Осуществление маршрутизации таким способом позволяет сократить время формирования маршрутов. На рис. 2 представлен фрагмент внутрикластерной таблицы маршрутизации, сформированной в узле $Hv17$, выполняющей функции головы кластера $Z1$.

Узел назначения	№ кластера узла назначения	Шлюз	Метрики (К+М)		
			d	c	λ
v_1	$Z0$	v_{17}	$Kd_{17\ 1}$	$Kc_{17\ 1}$	λ_1
v_2	$Z0$	v_{17}	$T_{12} + Kd_{17\ 1}$	$C_{12} + Kc_{17\ 1}$	$\lambda_{2(1)}$
v_2	$Z0$	v_{17}	$T_{162} + Kd_{17\ 1}$	$C_{62} + Kc_{17\ 1}$	$\lambda_{2(2)}$
v_2	$Z0$	v_{17}	$T_{1462} + Kd_{17\ 1}$	$C_{46} + Kc_{17\ 1}$	$\lambda_{2(3)}$
v_3	$Z0$	v_{17}	$T_{13} + Kd_{17\ 1}$	$C_{13} + Kc_{17\ 1}$	$\lambda_{3(1)}$
v_3	$Z0$	v_{17}	$T_{143} + Kd_{17\ 1}$	$C_{43} + Kc_{17\ 1}$	$\lambda_{3(2)}$
...

Рис. 2. Пример таблицы межкластерной маршрутизации

Выбор оптимальной структуры кластера

В качестве критерия выбора оптимальной структуры кластеров служит эф-

фективность передачи данных, которая равна

$$\Theta = \frac{V_n}{V_n + V_{сн}}$$

где V_n – количество переданных полезных данных, V_{cl} – количество служебной информации. Для повышения эффективности использования лавинного алгоритма для формирования маршрутной информации объем служебного трафика не должен превышать допустимого значения.

Объем служебного трафика зависит от частоты реконфигураций в кластере (F_r) и количества узлов в кластере (V_0):

$$V_{cl} = f(F_r, V_0).$$

Таким образом, при выборе оптимальной структуры кластера необходимо выполнение условия

$$\frac{F_r \times V_0}{T_{omn}} \rightarrow 0.$$

Количество служебной информации зависит от диаметра кластера D и степени связности мобильных узлов E :

$$V_{cl} = f(D, E).$$

Усредненное общее количество служебного трафика распространенного одним узлом с помощью лавинного алгоритма определяется по формуле:

$$V_{cl_{vi}}^{cp} = \sum_{t_r=1}^r (E^2(t_r - 1) - (E(2t_r - 3))).$$

На рис. 3 представлен график зависимости усредненного количества служебных пакетов от радиуса сети и степени связности узлов. Из графика видно, что количество служебного трафика резко увеличивается при увеличении диаметра сети и связности узлов.

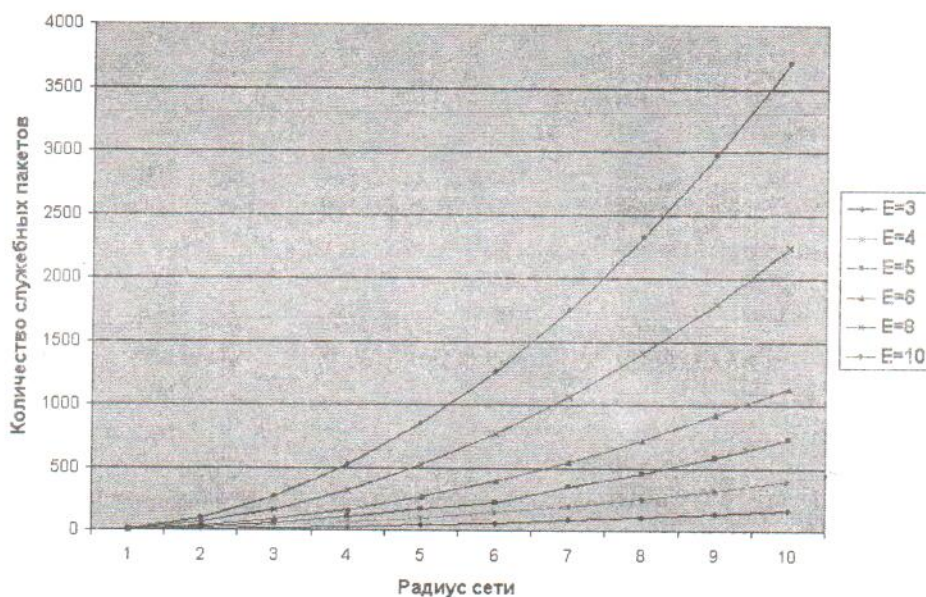


Рис. 3. Зависимость усредненного количества служебных пакетов от радиуса сети и степени связности узлов

Алгоритм распределенного динамического разбиения сети на кластеры

Для разбиения сети на кластеры в работе предлагается использовать динамический алгоритм разбиения сети *DDR (Distributed Dynamic Routing Algorithm)* [16].

В работе смоделирована и исследована мобильная сеть без инфраструктуры состоящая из 29 узлов, связанных между собой беспроводными каналами связи. Узлы

сети равноправны, связаны между собой динамически произвольным образом. С помощью алгоритма динамического разбиения сети на кластеры сеть разбита на 4 кластера оптимального размера с точки зрения минимизации количества служебного трафика и времени передачи информации. Пример сети представлен на рис. 5.

В работе проведено исследование зависимости эффективности предложенного алгоритма маршрутизации от скоро-

сти движения мобильных узлов. С увеличением количества реконфигураций кластера в сети с динамической топологией эффективность передачи информации понижается. Для сравнения рассматриваются алгоритм маршрутизации *AODV* используемый в мобильных сетях класса *Ad*

Hoc, без разбиения сети на кластеры (кривая 1) и предложенный способ динамической маршрутизации оптимизированный за счет разбиения сети на кластеры (кривая 2) и за счет учета устойчивости пути (кривая 3). Графики зависимости представлены на рис. 6.

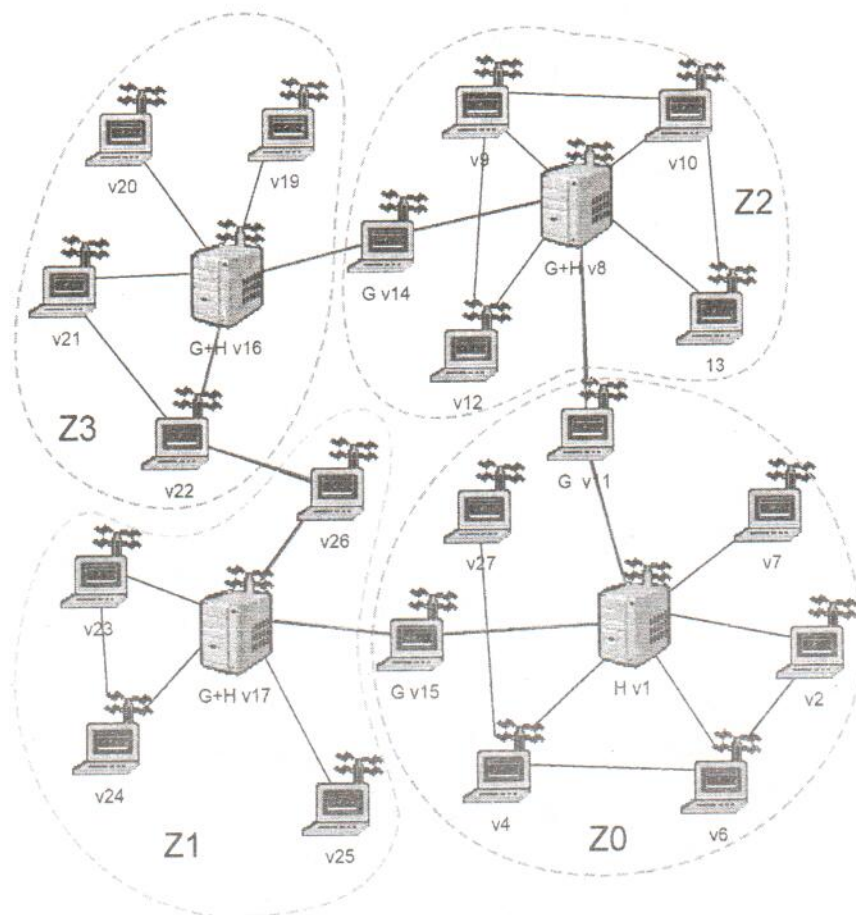


Рис. 4. Пример разбиения мобильной сети на кластеры оптимального размера

Выводы

Проведенный анализ существующих способов и алгоритмов маршрутизации в современных компьютерных сетях показывает, что ни один из них не может обеспечить эффективной передачи данных с обеспечением гарантий качества обслуживания в мобильных сетях без фиксированной инфраструктуры. Все подходы уязвимы к изменению топологии сети и увеличению размеров мобильной сети.

Наиболее эффективным подходом обеспечения требуемого уровня качества обслуживания в мобильных сетях является *QoS*-маршрутизация. Ни один из существующих протоколов маршрутизации в мобильных сетях не является протоколом маршрутизации, предоставляющим гарантированный уровень качества обслуживания, а лишь предлагают улучшенное обслуживание (*best effort*) и зависят от увеличения размеров сети и подвижности мобильных узлов.

Эффективность протоколов маршрутизации в мобильных сетях зависит от структуры сети. Предложенная иерархическая структура сети позволяет повысить эффективность передачи данных за счет локализации изменений топологии сети и использования на каждом иерархическом уровне наиболее эффективных алгоритмов маршрутизации. Выбор оптимального размера кластера позволяет сократить время маршрутизации и объем служебного трафика, чем повысить эффективность предложенного способа маршрутизации.

Учет устойчивости виртуального соединения наряду с требуемыми параметрами качества обслуживания позволяет обеспечить гарантированный уровень качества обслуживания в мобильных сетях.

С практической точки зрения, разработанный способ динамической маршрутизации, по сравнению с известными способами маршрутизации в мобильных сетях класса *Ad Hoc* позволяет повысить эффективность функционирования мобильных сетей такого класса на 10-15% в зависимости от скорости перемещения мобильных узлов.

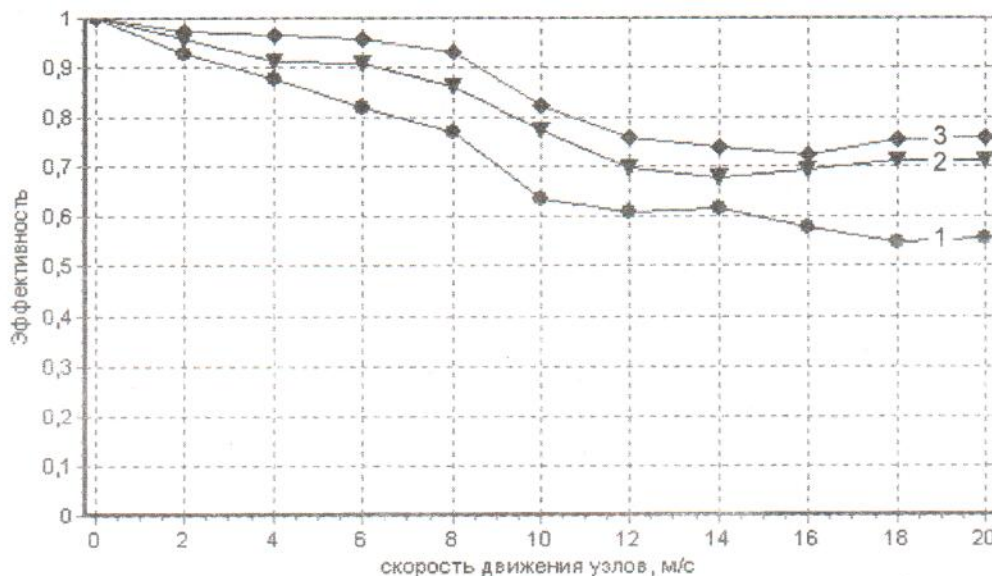


Рис. 5. График зависимости загрузки каналов связи от скорости движения мобильных узлов

Список литературы

1. Жуков И. А., Клименко И. А., Аленин О. И. Организация многопутевой маршрутизации средствами MPLS. // Проблемы інформатизації та управління: Зб. наук. праць. — К.: НАУ, 2005. — Вип. №3 (14). — С. 59-70.

2. Жуков И. А., Клименко И. А. Обеспечение заданного уровня качества обслуживания в объединенных сетях. // Проблемы інформатизації та управління: Зб. наук. праць. — К.: НАУ, 2005. — Вип. №13. — С. 5-14.

3. Кучерявый Е. А. Управление трафиком и качество обслуживания в сети

Интернет. — С.Пб.: Наука и техника, 2004. — 336 с.

4. Руководство по технологиям объединенных сетей: Пер с англ. — М.: Издательский дом «Вильямс», 2005. — 1040 с.

5. Столлингс В. Современные компьютерные сети. — С.Пб.: Питер, 2003. — 783с.

6. A flexible quality of service model for mobile ad-hoc networks / H. Xiao, W. Seahand, A. Lo, K. Chua // Proc. IEEE Vehicular Technology Conf. (IEEE VTC 2000). — Tokyo (Japan), 2000. — Vol.1. — P. 445-449.

7. *A framework for qos-based routing in the Internet* / E. Crawley, R. Nair, B. Rajagopalan, H. Sandick. // IETF RFC 2386, <http://www.ietf.org/rfc/rfc2386.txt>, 1998.
8. *An architecture for differentiated services* / S. Blake, D. Black, M. Carlson, et al. // IETF RFC 2475, <http://www.ietf.org/rfc-editor/in-notes/rfc2475.txt>, 1998.
9. Braden R., Clark D., Shenker S. Integrated services in the Internet architecture: an overview // RFC 1633, <http://www.ietf.org/rfc/rfc1633.txt>, 1994.
10. Haas Z. Wireless ad hoc networks // IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 1999. – Vol.17, №8. – P.1329-1330.
11. Johnson D. B., Maltz D. A., Hu Y.-C. The dynamic source routing protocol for mobile ad-hoc networks (DSR). – IETF MANET Working Group Internet-Draft, draft-ietf-manet-dsr-09.txt, 2003.
12. LDP specification / L. Andersson, P. Doolan, N. Feldman et al. // RFC 3036, <http://www.rfc-editor.org/in-notes/rfc3036.txt>, 2001.
13. Lee S.-B., Ahn G.-S. Campbell A.T. Improving UDP and TCP performance in mobile ad hoc networks with INSIGNIA // IEEE Communications Magazine, 2001. – Vol.39, №6. – P.156-165.
14. MATE: MPLS Adaptive Traffic Engineering / A. Elwalid, C. Jin, S. Low, I. Widjaja // Computer Networks-The International Journal of Computer and Telecommunications Networking, 2002. – Vol. 40, №6. – P. 695-709.
15. Moy. J. Open shortest path first version 2 // RFC 2328, <http://www.rfc-editor.org/rfc2328.txt>, 1998.
16. Nikaein N., Labiod H., Bonnet C. DDR-distributed dynamic routing algorithm for mobile ad hoc networks // Proc. First Annual Workshop on Mobile Ad Hoc Network and Computing (MobiHOC 00). – Boston (USA), 2000. – P. 19-27.
17. Park V. D., Corson M. S. A highly adaptive distributed routing algorithm for mobile wireless networks // Proc. Conf. on Computer Communications (IEEE INFOCOM 97). – Kobe (Japan), 1997. – P. 1405-1413.
18. Perkins C. E., Royer E. M., Das S. Ad hoc on-demand distance vector (AODV) routing // IETF RFC 3591, <http://www.rfc-editor.org/rfc3591.txt>, 2003.
19. Perkins D. D., Hughes H. D. A survey on quality-of-service support for mobile ad hoc networks // Wireless Communications and Mobile Computing, 2002. – P. 503-513.
20. Resource reservation protocol (RSVP) version 1, functional specification / R. Braden, L. Zhang, S. Berson et al. // IETF RFC 2205, <http://www.rfc-editor.org/in-notes/rfc2205.txt>, 1997.
21. Rosen E. Vashvanathan F., Callon R. Multiprotocol label switching architecture // RFC-3031, <http://www.rfc-editor.org/rfc3031.txt>, 2001.
22. Sivakumar R., Sinha P., Bharghavan V. Cedar: A core-extraction distributed ad hoc routing algorithm // IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 1999 – Vol.17, №8. – P. 1454-1465.
23. Supporting service differentiation for real-time and best-effort traffic in stateless wireless ad hoc networks (SWAN) / G. Ahn, A. Campbell, A. Veres, L. Sun // IEEE Transactions on Mobile Computing, 2002. – Vol.1, №3. – P.192-207.
24. Wu K., Harms J. QoS support in mobile ad hoc networks // Crossing Boundaries the GSA Journal of University of Alberta, 2001 – Vol.1, №1. – P.92-106.