

УДК 621.394.396

## **Особенности маршрутизации в совмещенной сети сотовой связи и беспроводного широкополосного доступа.**

Настасин К.С. Родионов В.В.

### **Аннотация**

Создание совмещенной сети сотовой связи и беспроводного широкополосного доступа ставит задачу обеспечения требуемого уровня качества обслуживания и максимального задействования доступных ресурсов. Задача решается с применением новых алгоритмов маршрутизации, созданных с учетом особенностей построения совмещенной сети.

**Ключевые слова:** совмещенная сеть; mesh-сеть; алгоритмы маршрутизации; моделирование сети.

### **Введение**

Сети сотовой связи и беспроводного широкополосного доступа (БШД) в настоящее время все более востребованы со стороны пользователей, приобретая доминирующее значение и увеличивая свою долю на рынке. Для примера, уровень проникновения сотовой связи в Российской Федерации в 2011г. превысил 166% [1], а доля пользователей беспроводного широкополосного доступа в мире - 20% [2].

Современные сети сотовой связи характеризуются большой зоной покрытия, высоким качеством передачи речевых сообщений, возможностью доступа в Интернет. Вместе с тем, существующие тенденции увеличения требуемой пропускной способности сетей передачи данных обуславливают экстенсивное строительство сетей сотовой связи в сочетании с развитием сетей БШД. Возникает задача создания транспортной сети для подключения базовых станций. В сетях БШД данная задача успешно решена с появлением

mesh-сетей [5]. В данной работе рассматриваются способ построения и алгоритм маршрутизации в совмещенной сети сотовой связи и БШД на основе топологии mesh.

### **Способы построения совмещенной сети**

Использование сетей БШД для организации подключения базовых станций является эффективным способом повышения производительности сети сотовой связи в целом.

В основу построения совмещенной сети сотовой связи и БШД должны быть положены следующие принципы:

- возможность динамического перераспределения ресурсов сети;
- высокий уровень показателей ключевых показателей эффективности;
- прозрачный горизонтальный хендовер;
- бесшовный межсетевой хендовер;
- двусторонняя проверка безопасности передачи сообщений.

Возможность динамического перераспределения ресурсов сети необходима при изменении стационарного состояния сети, например, при возникновении потребности повышенной пропускной способности на каком-либо участке сети. Реализация данной особенности сети напрямую связана с протоколами маршрутизации, применяемыми на сети, а также со структурой сети и радиointерфейса.

Высокий уровень ключевых показателей эффективности достигается за счет обеспечения требуемого качества обслуживания для пользователей и перераспределения оставшихся ресурсов сети для остальных абонентов с учетом неоднородной структуры данных. Разделение ресурсов сети решается с помощью многоканального сетевого интерфейса на основе временного и частотного разделения каналов. Различные потоки данных могут направляться различными маршрутами, что позволит оптимизировать сеть передачи данных для пропуска разнородного трафика. В связи с увеличением количества возможных маршрутов передачи данные между узлами сети, многократно возрастает нагрузка на сетевые интерфейсы узлов. Общая производительность сети при этом определяется для заданного количества конечных пользователей с учетом типа предоставляемых сервисов.

Прозрачный горизонтальный хендовер предоставляет возможность широкого покрытия сети для всех поддерживаемых устройств с обязательной обратной совместимостью сети и абонентских устройств. Обратная совместимость здесь означает поддержку более функциональным оборудованием опорной сети работы с менее

функциональным абонентским оборудованием в рамках возможностей менее функционального оборудования.

Бесшовный вертикальный хендовер предоставляет возможность автоматической смены сети, в зависимости от предоставляемого в данной точке сервиса. Например, абонент должен незаметно для него перемещаться между сетями 2G и UMTS в зависимости от наличия радиопокрытия .

Двусторонняя проверка безопасности призвана защитить от несанкционированного доступа как со стороны опорной, так и backhaul сети (участок сети между опорной сетью оператора и базовой станцией).

На сегодняшний день существуют способы построения совмещенной сети сотовой связи и БШД на основе технологии IMS (IP Multimedia System) [6] (рис.1) и UMA (Unlicensed Mobile Access) [6] (рис. 2).

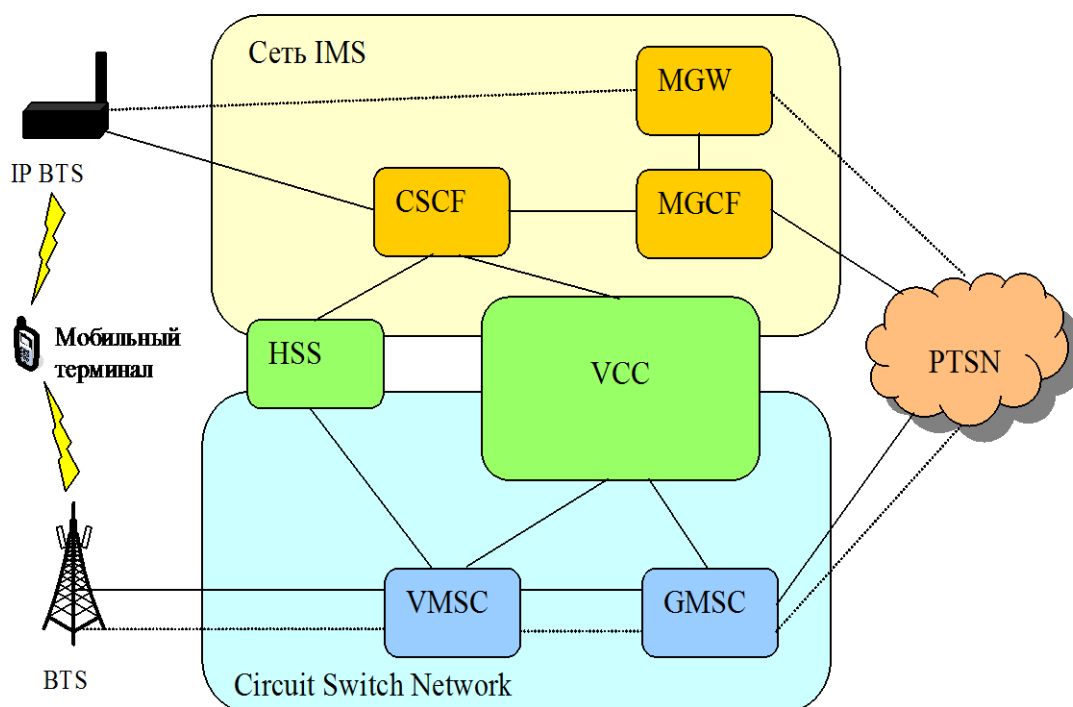


Рис. 1 Способ построения совмещенной сети сотовой связи и БШД на основе топологии IMS.

Структурная схема совмещенной сети сотовой связи и БШД на основе технологии IMS включает в себя помимо элементов сети сотовой связи элементы сети IMS:

- MGW (Media Gateway) – медиашлюз, транслирует речевые каналы между разделенными телекоммуникационными сетями, например PSTN и IP;
- MGCF (Media Gateway Control Function) – контролер медиашлюза;
- CSCF (Call Session Control Function)– элемент с функциями управления вызовами и сеансами.
- HSS (Home Subscriber Server) - сервер домашних абонентов, является базой пользовательских данных, связанных с услугами, и индивидуальным данным пользователя.

Функции взаимодействия между сетью IMS и сетью сотовой связи выполняют следующие элементы:

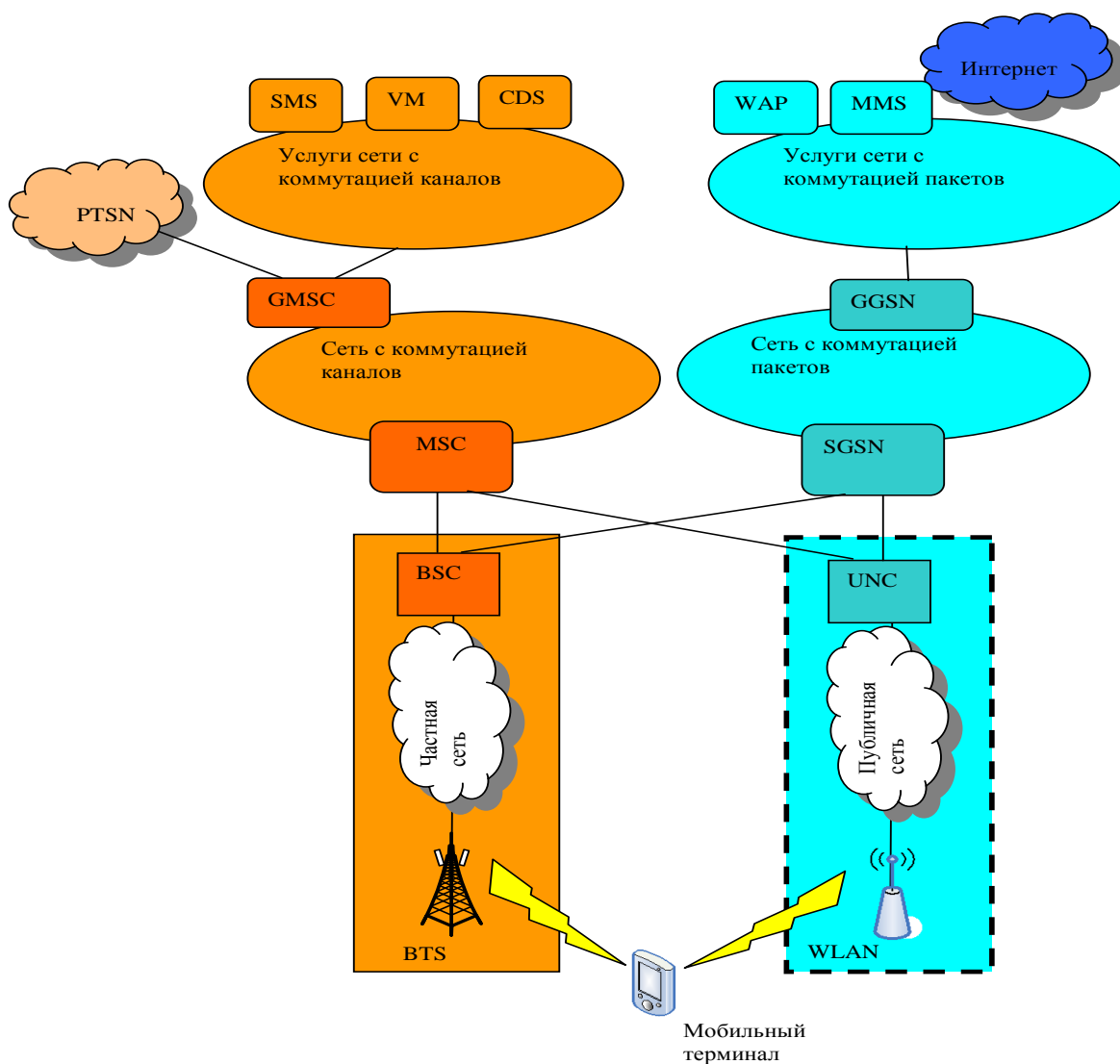


Рис. 2 Способ построения совмещенной сети сотовой связи и БШД на основе технологии UMA.

VCC (Voice Call Continuity) – это технология в рамках IMS, позволяющая предоставить голосовые конвергентные сервисы и бесшовную эстафетную передачу между сетью сотовой связи и БШД. Архитектура решения VCC специфицирована 3GPP Release 7. Решение базируется на платформе IMS, в качестве протокола сигнализации использует SIP (Session Initiation Protocol - протокол управления уровнем приложений модели OSI для установления, модификации и завершения сессий с участием одного или более участников). Способ предполагает наличие абонентского терминала со специализированным программным обеспечением, сети GSM/UMTS/HSPA, мультисервисной IP сети и сервера приложений VCCA (VCC Application).

VCC Application – это SIP приложение, установленное в IMS сети и обеспечивающее переход голосовых соединений между подсистемой канальной коммутации сети сотовой связи и IMS.

К недостаткам IMS можно отнести:

- Отсутствие преимуществ для абонента без использования терминала с установленным специальным программным обеспечением;
- Традиционная архитектура транспортной сети;
- Отсутствие дополнительных сервисов, характерных для БШД.
- Скорость передачи данных ограничена возможностями сети сотовой связи.

Технология UMA (Unlicensed Mobile Access) позволяет обслуживать абонентов сетей сотовой связи с помощью локальных сетей беспроводного доступа, при этом применяются мобильные терминалы, предназначенные как для работы в сетях сотовой связи, так и БШД.

Данный эффект достигается за счет использования беспроводной сети доступа в дополнение к основной сети сотовой связи, что позволяет объединить покрытие сетей сотовой связи и БШД. Сеть доступа UMA основана на использовании стандартов IEEE 802.11a/b/g (Wi-Fi) [4, 7, 8] и 802.16d/e (WiMAX) [9, 10]. Абонентский терминал, находясь в зоне действия UMA -сети, через точку доступа сети БШД по IP-сети подключается к UNC – контроллеру (UMA network controller – контроллер сети UMA), который через интерфейсы A и Gb подключён к подсистеме пакетной передачи данных мобильной сети. Таким образом, со стороны сети мобильной связи контроллер UNC похож на стандартный контроллер базовых станций BSC и рассматривается как обычный узел доступа сети сотовой связи.

Преимуществами технологии UMA являются:

- Контроль со стороны мобильного оператора за доставкой сервисов;
- Полная прозрачность сервиса для мобильной сети;
- Обеспечение бесшовного вертикального хэндовера.

С точки зрения конечного применения мобильного терминала в UMA остается тем же самым, что и при работе в сети сотовой связи, включая хэндовер, роуминг и услуги, доступные в сети сотовой связи. Дополнительно, находясь в зоне обслуживания сети БШД, абонент может получить голосовые услуги по более выгодным тарифам одновременно с услугами высокоскоростного доступа в Интернет.

Вместе с тем, UMA обладает рядом недостатков, существенно сдерживающих развитие данной технологии:

- Необходимость построения нескольких сетей связи с параллельной транспортной инфраструктурой на одной территории для обеспечения минимального уровня обслуживания для всех абонентов;
- Отсутствие преимуществ для абонента без использования специального терминала с поддержкой БШД;
- Традиционная архитектура транспортной сети.

Очевидно, что и этот способ не решает задачу построения совмещенной сети сотовой связи и БШД на вышеуказанных принципах. В действительности, UMA предлагает совмещение сетей лишь на уровне ядра сети, предоставляя абонентам возможность выбора сети доступа. Такой подход неизбежно приведет к росту капитальных и операционных издержек на содержание различных сетей доступа и поставит под сомнение эффективность UMA для дальнейшего развития сетей связи.

Технологии UMA и IMS предлагают два подхода к формированию совмещенной сети сотовой связи и БШД. По существу IMS – это платформа для доставки сервисов, в то время как UMA – это способ ввести новый способ доступа (WLAN). Тем не менее, ни один из этих способов не решает задачу построения совмещенной сети на заявленных принципах. С целью решения вышеуказанной задачи предлагается новый способ на основе mesh-сети.

Главным преимуществом mesh-сетей по сравнению с известными сетями PmP (Point-to-Multipoint) является возможность развертывания ограниченного числа точек доступа, непосредственно имеющих соединение с транспортной сетью оператора (GAP – Gateway access point), и некоторого количества транзитных точек доступа (TAP – Transit access point), что позволяет осуществить расширение зоны покрытия оператором. При этом функции TAP могут быть совмещены, например, транзитная точка доступа может также одновременно являться конечной точкой доступа для пользователя сети. В случае

отказа одной или нескольких ТАР, трафик будет автоматически перенаправлен на другие ТАР. Таким образом, повышается надежность mesh-сети.

Определение концепции построения совмещенной сети сотовой связи и БШД, а также решение прикладной задачи маршрутизации в совмещенной сети позволит существенно повысить эффективность сетей сотовой связи, что существенно скажется на развитии телекоммуникаций. Снижение затрат на транспортную инфраструктуру позволит операторам сосредоточиться на повышении пропускной способности сетей сотовой связи и БШД, а совмещенная сеть сотовой связи и БШД позволит предоставлять абонентам услуги высокоскоростного доступа в интернет.

В качестве связующей для базовой подсистемы сети сотовой связи и сети беспроводного широкополосного доступа предлагается полносвязная сеть (wireless mesh backhaul или просто mesh-сеть) (рис. 3).

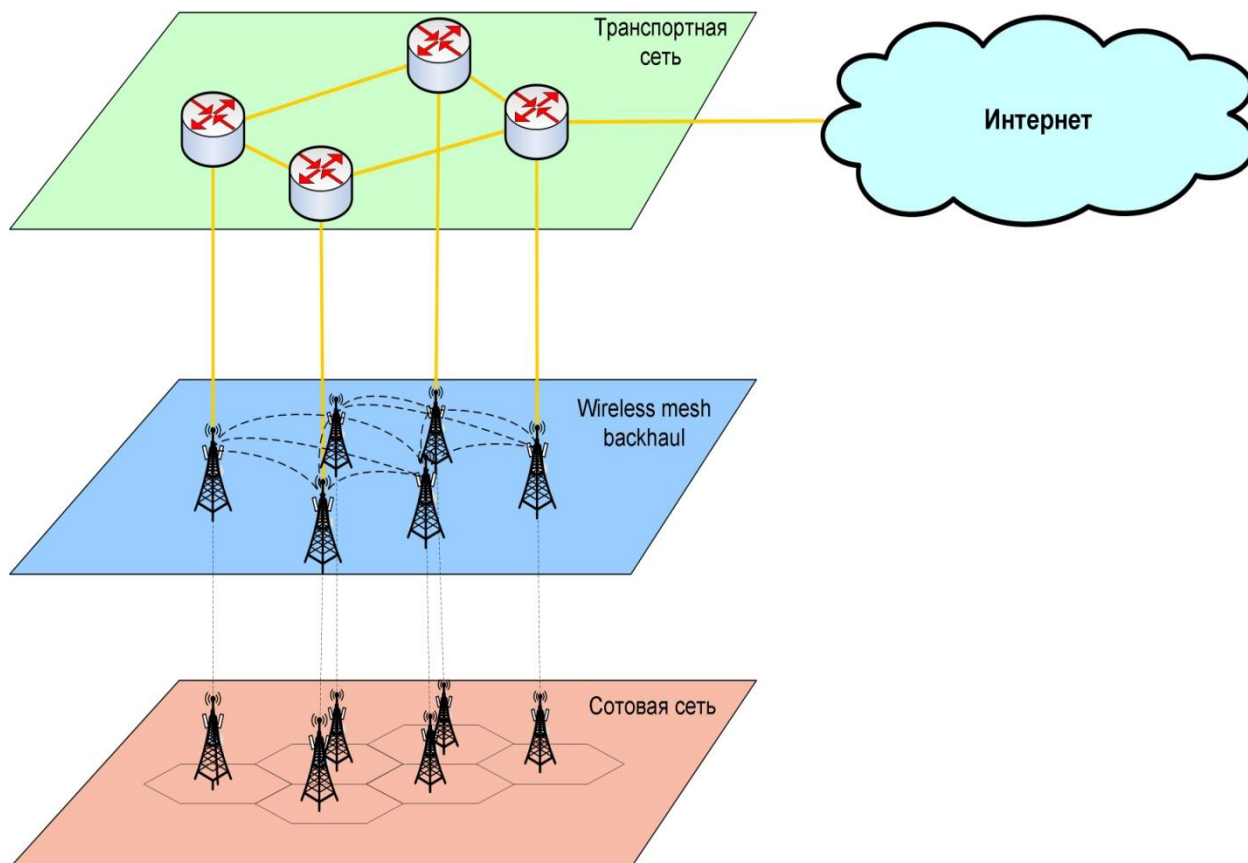


Рис. 3 Совмещенная сеть сотовой связи и БШД на основе топологии mesh.

Mesh-сеть выполняет роль транспортной сети, передавая данные от базовых станций сети сотовой связи и в обратном направлении. Кроме того, непосредственно к mesh-сети подключаются мобильные терминалы сети БШД, дополняя и расширяя ее возможности. Таким образом, сеть сотовой связи и сеть БШД на основе топологии mesh формируют единую совмещенную беспроводную сеть.

### Алгоритм маршрутизации в совмещенной сети.

В результате совмещения сети сотовой связи и БШД на основе топологии mesh возникает задача определения совокупности максимальных потоков данных, которыми мобильные терминалы обмениваются с интернетом, для предоставления требуемого уровня обслуживания, которая решается с помощью алгоритма маршрутизации с учетом особенностей построения совмещенной сети сотовой связи и БШД на основе топологии mesh.

Основой алгоритма будет являться формирование транспортной сети передачи данных в рамках mesh-сети и выделение остаточной сети для предоставления услуг передачи данных пользователям сети БШД с разделением маршрутов для разных видов трафика (рис. 4).

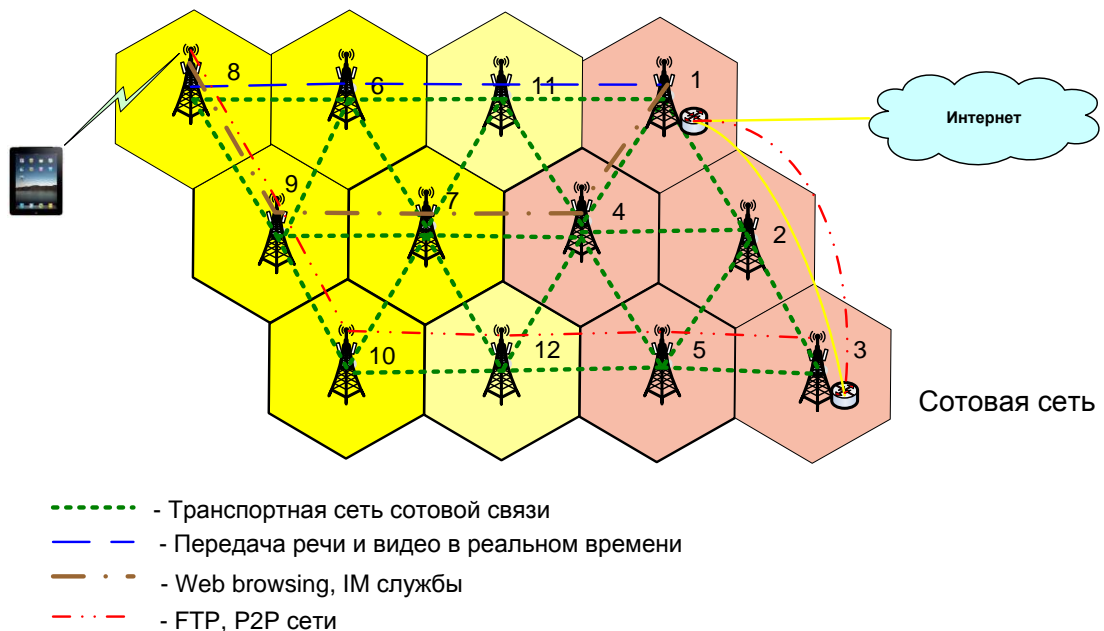


Рис.4 Выделение остаточной сети передачи данных для пользователей сети БШД с разделением маршрутов для различных видов трафика.



С целью максимального использования ресурсов сети при безусловном обеспечении необходимого ресурса транспортной сети сотовой связи в mesh – сети последовательно выделяют сети передачи данных для разных видов трафика в зависимости от требований к пропускной способности, задержке передачи пакетов, надежности и стоимости:

1. Транспортная сеть сотовой связи;
2. Передача речи и видео в реальном времени;
3. Просмотр Интернет-страниц и использование Интернет-служб передачи сообщений в реальном времени (Web browsing и IM – службы (Instant Messaging – служба мгновенного обмена сообщениями));
4. Передача файлов (FTP – File Transmission Protocol – протокол передачи данных.) и файлообменные сети (P2P – Peer – to – peer сети – сети обмена данными между пользователями).

Таким образом, применение разделения маршрутов для разных видов трафика позволяет максимально использовать ресурсы сети. Практическая реализация метода разделения маршрутов связана с разработкой соответствующих новых алгоритмов.

Метод разделения маршрутов реализуется, на основе предложенного алгоритма нахождения маршрутов произвольной длины, представленного на рис. 5. Основой алгоритма является определение такой  $n$  длины маршрута между двумя узлами mesh-сети, при которой совокупность совместных маршрутов длины  $n$  обладает максимальной пропускной способностью. Достигается это путем поэтапного вычисления совместных маршрутов с помощью математического аппарата теории графов. Пропускная способность совместных маршрутов складывается, требуемое значение  $n$  находят методом простого перебора.

Поскольку алгоритмом не предусмотрено изменение характеристик каналов передачи данных между узлами mesh-сети, для оценки производительности сетей БШД на основе топологии mesh применим выражение для оценки пропускной способности для протокольной модели [5]:

$$\lambda \cdot \bar{L} = \frac{\sqrt{8}}{\pi} \cdot \frac{1}{\Delta \cdot \sqrt{n}} \cdot W. \quad (1)$$

где  $n$  – количество узлов, расположенных на плоскости, ограниченной окружностью единичного радиуса;  $\lambda$  – пропускная способность между двумя произвольными узлами сети [Мбит/с];  $W$  – количество бит, передаваемых за  $T$  секунд

[Мбит];  $\bar{L}$  – среднее расстояние между начальным и конечным узлом;  $\Delta$  – константа, принимающая положительные значения, определяющая защитный интервал для предотвращения взаимных помех между узлами сети.

Примем величину защитного интервала  $\Delta = 2$ , так как при данном пространственном разнесении исключается взаимное влияние узлов mesh-сети.

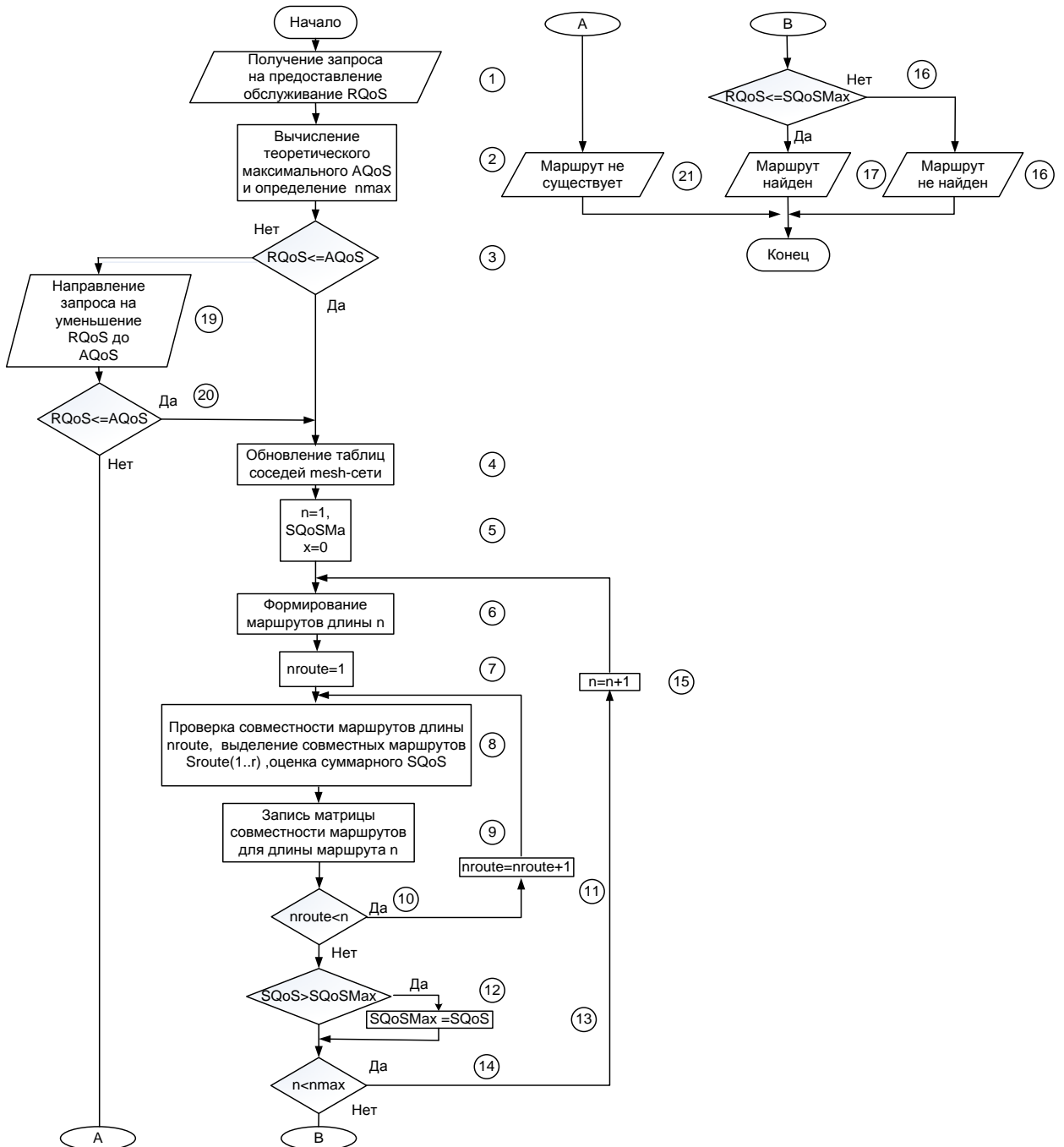


Рис.5 Блок- схема алгоритма определения совокупности маршрутов произвольной длины для случая одного пользователя.

Работа алгоритма заключается в следующем:

1. Входящим событием является получение запроса на предоставление обслуживания с минимальным качеством RQoS. Запрос обрабатывается, значения RQoS сохраняются для дальнейшей работы.

2. Вычисляют по формуле (1) максимально возможный уровень качества обслуживания AQoS и наибольшую допустимую длину маршрута mesh-сети  $n_{max}$ .

3. Определяют теоретическую возможность достижения заданного уровня RQoS путем его сравнения с максимально достижимым. В случае наличия возможности достижения заданного уровня QoS переходят к четвертому шагу, в противном случае к десятому шагу.

4. С помощью известных протоколов маршрутизации (см. например, [5]), создают (в случае отсутствия) или обновляют таблицу соседей mesh-сети, представляющую собой модифицированную матрицу совместности.

5. Определяют начальную длину маршрута  $n=1$  и максимально достигнутое значение качества обслуживания  $SQoS_{Max}=0$ .

6. Формируют множество маршрутов длины  $n$  между заданными узлами mesh-сети.

7. Определяют начальную длину маршрута  $n_{route}$  для организации сквозного поиска маршрутов произвольной длины.

8. Проверяют совместность сформированных маршрутов длины  $n$  между собой, а также с маршрутами длины  $n_{route}$ , выделяют совместные  $SRoute(1..r)$ , где  $r$  – количество совместных маршрутов и оценивают их суммарный SQoS.

9. Записывают в память матрицу совместности маршрутов для длины маршрута  $n$ .

10. Проверяют достижение счетчика  $n_{route}$  максимально возможного значения равного  $n$ . В случае отрицательного результата на **одиннадцатом** шаге прибавляют к значению счетчика  $n_{route}$  единицу и возвращаются к **восьмому** шагу.

12. Проверяют, сравнивают текущий уровень обслуживания SQoS с максимальным достигнутым уровнем  $SQoS_{Max}$ . В случае превышения текущего уровня обслуживания SQoS максимального достигнутого  $SQoS_{Max}$ , на **тринадцатом** шаге приравнивают максимальный уровень  $SQoS_{Max}$  текущему и переходят к **четырнадцатому** шагу, в противном случае сразу переходят к **четырнадцатому** шагу.

14. Проверяют достижение значения  $n$  максимально допустимого, в случае, если  $n < n_{max}$ , на **пятнадцатом** шаге прибавляют к значению  $n$  единицу и возвращаются на **шестой** шаг. В противном случае переходят к шагу **шестнадцать**.

16. Проверяют, достигнут ли требуемый уровень обслуживания RQoS. В случае достижения требуемого уровня RQoS переходят к **семнадцатому** шагу, в противном случае переходят к **восемнадцатому** шагу.

17. Формируют сообщение «Маршрут найден», количество маршрутов  $r$ , длины от 1 до  $n$ , суммарный уровень качества обслуживания  $SQoS_{Max}$ .

18. Формируют сообщение «Маршрут не найден» и переходят к концу алгоритма.

19. Направляют запрос на контроллер базовой станции на уменьшение минимального уровня качества обслуживания  $RQoS$  до уровня максимально достижимого в mesh-сети  $AQoS$ .

20. В случае получения подтверждения от контроллера базовой станции на уменьшение минимального уровня качества обслуживания равного или меньшего  $AQoS$  переходят к четвертому шагу, в противном случае переходят к **двадцать первому** шагу.

21. Формируют сообщение «Маршрут не существует» и переходят к концу алгоритма.

Преимуществом предложенного метода является возможность наиболее полного использования ресурсов сети – пропускной способности каналов связи. Получена комбинация маршрутов различной длины, построение которых возможно совместно, таким образом, задействуются все доступные канальные ресурсы сети. Реализация данного алгоритма достаточно ресурсоемкая, т.к. требует построения  $n$ -мерной матрицы совместности маршрутов для реализации функции поиска совместных маршрутов произвольной длины.

В результате проведенного анализа алгоритма нахождения маршрутов произвольной длины в совмещенной сети сотовой связи и БШД на основе топологии mesh с разделением маршрутов очевидно, что длина дополнительных маршрутов будет равна. Следовательно, поскольку  $c = \sqrt{a^2 + b^2}$  для прямоугольного треугольника, каждый дополнительный маршрут будет содержать в 2 раза больше узлов, при этом будет в  $\sqrt{2}$  раза длиннее наилучшего.

Результатом исследования является сравнение нормированной пропускной способности сетей БШД на основе топологии mesh для различной длины маршрута и количества (рис. 6).

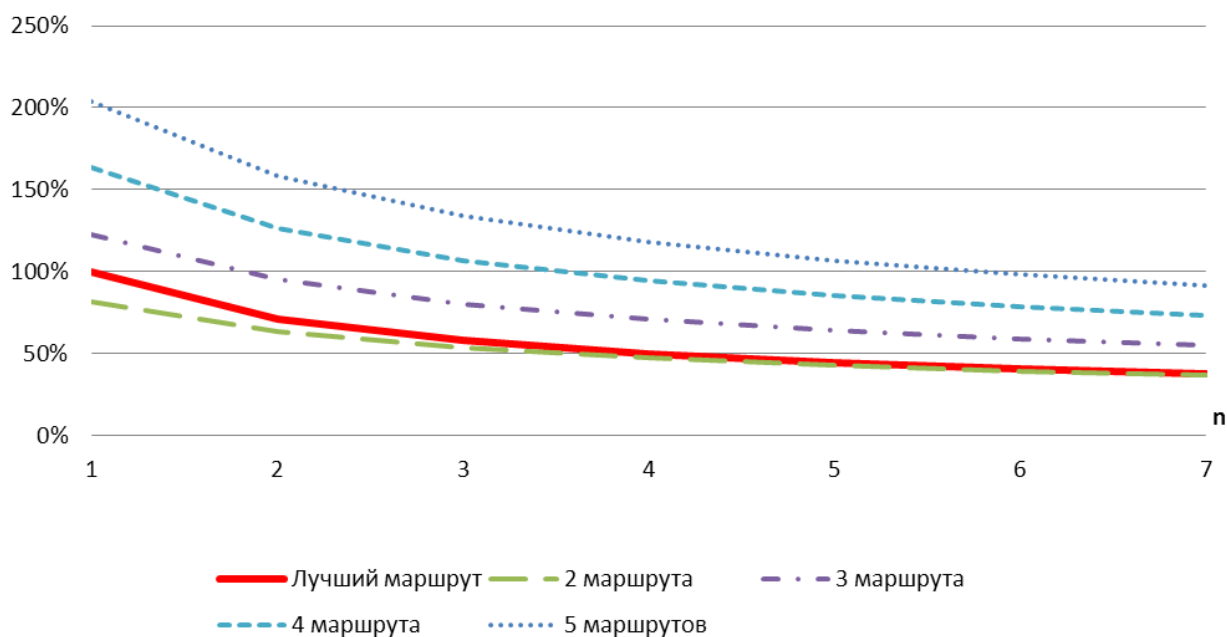


Рис. 6 Сравнение пропускной способности сетей БШД на основе топологии mesh.

Анализ графика показывает, что суммарная пропускная способность возрастает уже при разделении передачи данных по трем маршрутам. При этом достигается повышение суммарной пропускной способности на 22,5%, а при разделении на 5 маршрутов на 204%. Следует отметить, что на практике результаты будут несколько хуже в связи с возникновением дополнительных негативных факторов, как то отсутствие возможности разделить передачу данных на соответствующее количество равноценных дополнительных каналов, ограниченность радиочастотного спектра, необходимость проводить дополнительные операции по разделению трафика передачи данных и т.д.

### Заключение

В статье предложен способ построения совмещенной сотовой связи и БШД на основе топологии mesh. Предложенный способ реализует возможности задействования mesh-сети для построения транспортной backhaul сети сотовой связи. С целью эффективного использования пропускной способности каналов связи mesh-сети, предложен алгоритм определения совокупности маршрутов произвольной длины, который обеспечивает одновременное использование свободных каналов связи mesh-сетей. Поскольку предложенный алгоритм позволяет существенно повысить пропускную

способность mesh-сети, целесообразно его применение в совмещенной сети сотовой связи и БШД на основе топологии mesh.

На основании предложенных алгоритмов могут быть реализованы протоколы маршрутизации в совмещенной сети сотовой связи и БШД на основе топологии mesh.

Таким образом, предложенный способ построения сети позволяет быстро и эффективно создать совмещенную сеть для предоставления услуг абонентам с высоким качеством.

### **Библиографический список**

1. International telecommunications union (ITU) [Электронный ресурс]: содержит разделы и статьи, посвященные новостям Международного союза электросвязи – Режим доступа: <http://www.itu.int/newsroom> , свободный. – Загл. с экрана. – Яз. рус., англ.

2. MForum Analytics [Электронный ресурс]: содержит разделы и статьи посвященные сотовой связи; мобильным телефонам – Режим доступа: <http://www.mforum.ru> , свободный. – Загл. с экрана. – Яз. рус., англ.

3. Vijay K. Garg, Joseph E. Wilkes Principles & Applications of GSM. Prentice-Hall Inc. 1999-486с.

4. IEEE Std 802.11a-1999 IEEE Std 802.11a-1999 Information Technology-Telecommunications and Information Exchange Between Systems-Local and Metropolitan Area Networks-Specific Requirements-Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications: High-speed Physical Layer in the 5 GHz Band.

5. Громаков Ю.А. Настасин К.С. Исследование применения mesh-сети в современных системах беспроводного доступа. «Информационно-измерительные и управляющие системы», №11 г. М.: Радиотехника. 2007.

6 Разработка предложений по созданию опытной зоны сети подвижной связи с конвергентными возможностями: Отчет по проекту НИОКР Создание опытной зоны сети подвижной связи с конвергентными возможностями (промежуточн.) : 11-13 / ОАО Интеллект-телеком ; рук. Громаков Ю.А. ; исп. Керженцев Ю.А., Князев К.Г. [и др.]. –М., 2008. – 68с.

7. IEEE Std 802.11b-1999 IEEE Std 802.11a-1999 Information Technology-Telecommunications and Information Exchange Between Systems-Local and Metropolitan Area Networks-Specific Requirements-Part 11: Wireless Lan Medium Access Control (MAC) and

Physical Layer (PHY) Specifications: High-speed Physical Layer Extension in the 2.4 GHz Band.

8. IEEE Std 802.11g-2003 IEEE Std 802.11a-2003 Information Technology-Telecommunications and Information Exchange Between Systems-Local and Metropolitan Area Networks-Specific Requirements-Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications: Further Higher Data Rate Extension in the 2.4 GHz Band.

9. IEEE Std IEEE 802.16-2004 (Revision of IEEE Std IEEE 802.16-2001). IEEE Standard for Local and metropolitan area networks. Part 16: Air Interface for Fixed Broadband Wireless Access Systems. – IEEE, 1 October 2004

10. IEEE Std 802.16e-2005 and IEEE Std 802.16–2004/ Cor 1-2005. Part 16: Air Interface for Fixed and Mobile Broadband Wireless Access Systems. Amendment 2:Physical and Medium Access Control Layers for Combined Fixed and Mobile Operation in Licensed Bands. – IEEE, 28 February 2006.

### **Сведения об авторах**

Настасин Кирилл Сергеевич, аспирант Московского авиационного института (национального технического университета), тел. +7 (910) 451-97-43, e-mail: nastasin@mail.ru;

Родионов Владимир Вячеславович, аспирант Московского авиационного института (национального технического университета), тел. +7 (903) 138-04-63, e-mail: knowgrim@mail.ru;