

УДК 004.057.7

П.А. Новиков

**ОРГАНИЗАЦИЯ МЕХАНИЗМА КАЧЕСТВА ОБСЛУЖИВАНИЯ
ДЛЯ ЭМУЛЯЦИИ СЕТИ LTE**

ООО Мера-НН

Рассмотрена программная эмуляция элементов телекоммуникационной сети. Проведен анализ особенностей механизма качества обслуживания в сети четвертого поколения. Разработан новый алгоритм и архитектурно-функциональные особенности модуля QoS.

Ключевые слова: программная эмуляция; сеть связи; качество обслуживания; алгоритм; телекоммуникации.

Введение

Разработчикам аппаратных и программных средств для телекоммуникационных сетей необходимо проверять работоспособность проектируемого ими устройства или программного обеспечения в рамках определенной сетевой топологии. Такие эксперименты требуется выполнять как во время процесса разработки продукта, так и перед введением его в эксплуатацию. Натурный эксперимент в данной ситуации очень часто неприменим из-за экономической нецелесообразности или отсутствия законченных действующих решений. Задачу по созданию тестовых топологий позволяет успешно решить программная эмуляция реальных сетевых модулей. Эмуляционный подход имеет значительный экономический эффект по сравнению с использованием натурального моделирования, а также ускоряет и упрощает процесс тестирования разрабатываемого продукта.

Целью работы является исследование и проектирование модуля, предоставляющего качество обслуживания (QoS) в эмуляционных сетях LTE. *Во-первых*, такой модуль должен удовлетворять всем требованиям, предъявляемым стандартом LTE к QoS. Для реализации основной функциональности модуля качества обслуживания, отвечающей всем критериям стандарта связи, автором данной статьи предложен новый алгоритм обработки пакетов. Этот алгоритм интегрирует различные известные методы обработки очередей. Сутью предложенного алгоритма является применение для каждого типа потока трафика своего механизма обработки.

Во-вторых, разрабатываемый модуль QoS имеет специфическое назначение, он будет применяться в рамках эмуляции сети LTE. В связи с этим автором предлагается реализовать этот модуль с учетом ряда архитектурно-функциональных особенностей. Основной из них является проектирование модуля QoS как мультиплатформенного приложения. Часто при разработке и проверке какого-либо сетевого устройства возникает необходимость в построении разветвленных тестовых топологий, состоящих из большого числа сетевых элементов. А учитывая тот факт, что различные элементы тестовой топологии могут иметь различные и несовместимые операционные системы, важной задачей является разработка универсального программного обеспечения. Таким образом, реализация механизма качества обслуживания как мультиплатформенной программы позволяет добиться универсальности приложения, а значит и повышения скорости построения и удобства использования тестовых топологий.

В-третьих, для повышения гибкости настройки параметров модуля и выполнения контроля за применением политик обслуживания трафика, автором данной работы предлагается реализовать графический интерфейс и набор функций для пользовательской классификации трафика.

1. Организация телекоммуникационной сети LTE

В настоящее время мобильные сети используются как для сотовой связи, так и для передачи мультимедийной информации и работы с Интернет. Именно для целей предоставления комплексного мобильного сервиса была разработана технология LTE (Long Term Evolution), а далее ее последующая модификация LTE Advanced.

Для организации сетей LTE была предложена новая сетевая инфраструктура SAE (System Architecture Evolution) [1, 2, 3]. SAE описывает распределение необходимых функций к логическим узлам и требуемые интерфейсы между узлами. Как показано на рис. 1, системная архитектура разделена на две части: сеть радиодоступа (Radio access network - RAN) и core network(CN).

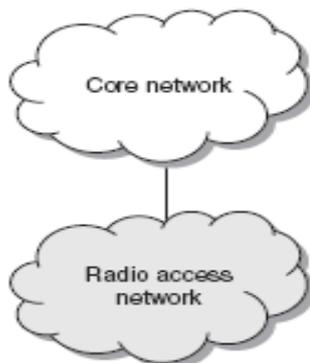


Рис. 1. Системная архитектура SAE

Далее (рис. 2) представлена упрощенная схема реализации архитектуры SAE в рамках сети LTE. Шлюз способен выполнять функции сети пакетных данных (PDN) и обслуживающего шлюза, при этом может быть настроен как на любую из этих ролей, так и на обе. Функционально MME отделен от шлюза – для облегчения развертывания сети, для перехода на независимую технологию и для максимально гибкой масштабируемости.

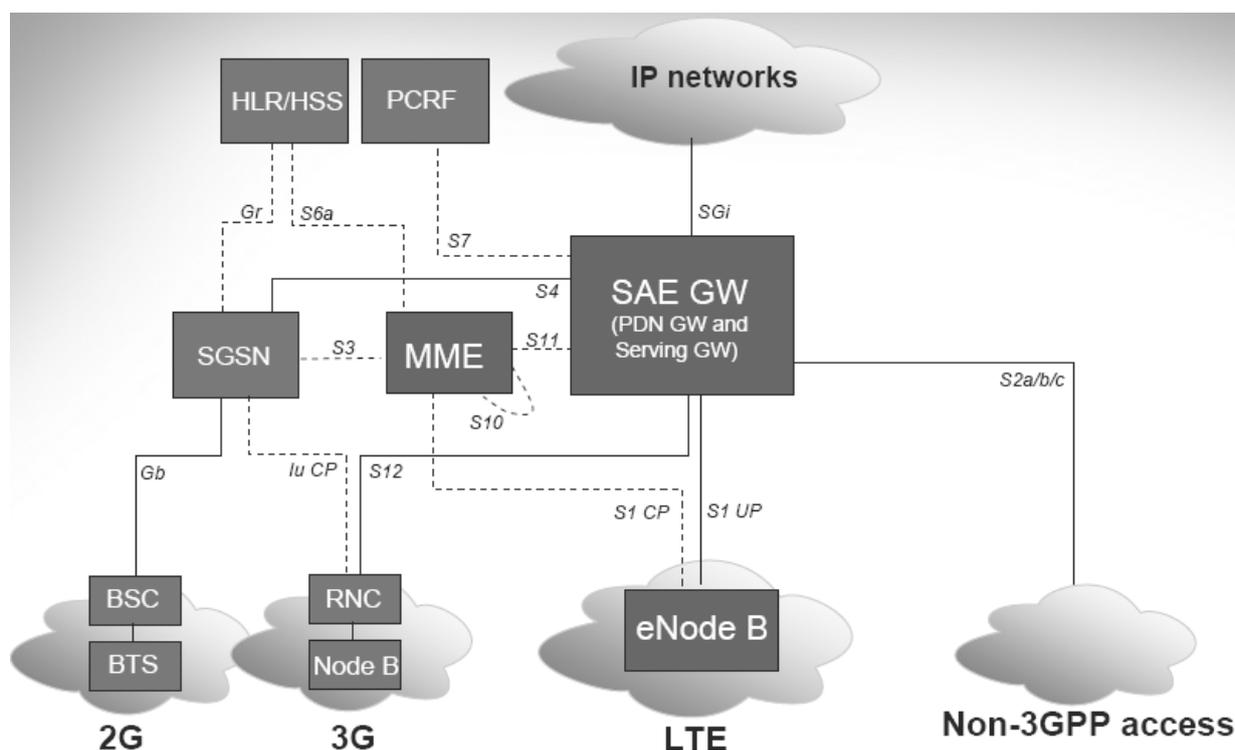


Рис. 2. Архитектура SAE в рамках сети LTE

PDN-шлюз служит общей опорной точкой для всех технологий доступа, обеспечивая стабильную IP-точку присутствия для всех пользователей вне зависимости от мобильности. MME – модуль управления мобильностью (Mobility Management Entity,) обеспечивает хранение служебной информации об абоненте и управление ею.

Далее рассмотрим телекоммуникационные сети с точки зрения их аппаратной реализации. Базовым элементом для построения ИТ-инфраструктуры любого предприятия является стоечная коробка. Простое увеличение количества серверов в стойках приводит и к пропорциональному увеличению выделяемого тепла, коммуникационных кабелей, потребляемой электроэнергии, занимает больше физического места и, конечно, требует больших затрат на администрирование. Повысить эффективность вычислительной системы дает возможность технология blade-servers. Процесс перехода к технологии blade-servers представлен на рис. 3.

Blade-server представляет собой готовые вычислительные блоки, состоящий из набора blade-systems – фактически, отдельных мощных компьютеров без собственного источника питания, выполненных в тонком корпусе (отсюда название blade – лезвие). Blade-systems можно установить на общее шасси, которое даёт им питание и высокоскоростной интерфейс для обмена данными. Вместе вся эта конструкция и представляет собой blade-server.

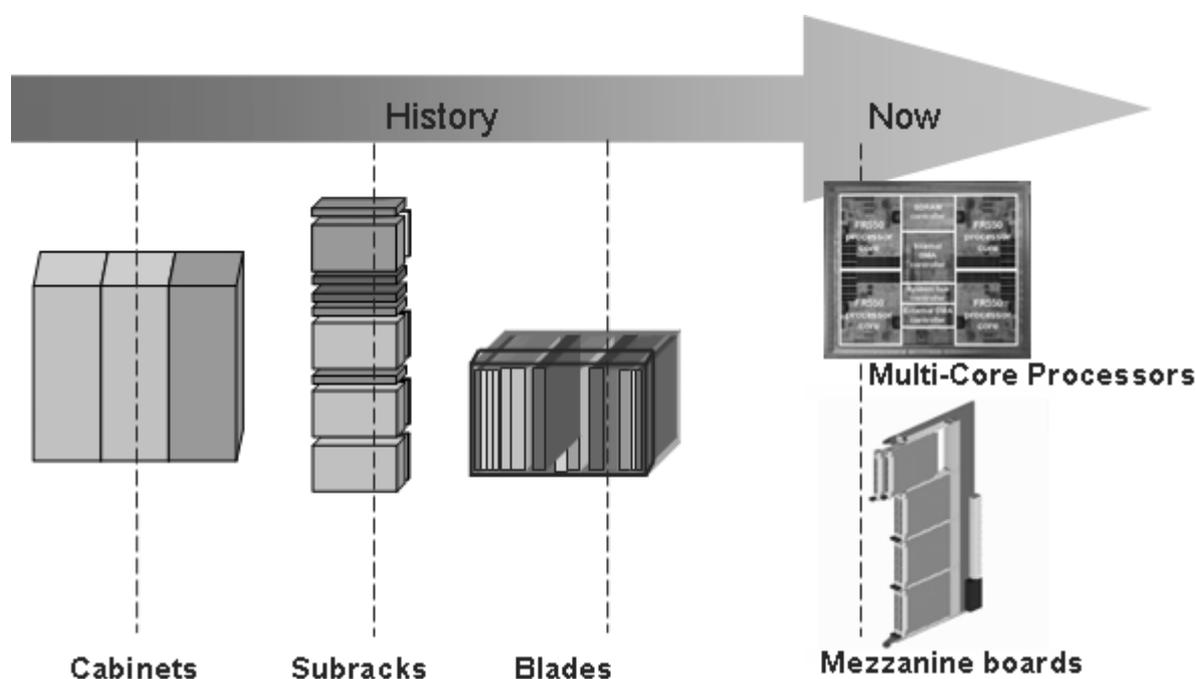


Рис. 3. Эволюция серверов для телекоммуникационных сетей

Инфраструктура blade-server обеспечивает взаимодействие всех blade-systems в subrack как единой системы, а также предоставляет оператору интерфейс для управления этой системой.

2. Эмуляция сети LTE программными средствами

В результате быстрого развития методов, принципов, технологий, применяемых в сетях связи, а также их программного представления, сложилась ситуация, когда скорость и время создания аппаратной части отстает от ее программной реализации. Также при разработке и проверке какого-либо сетевого устройства часто возникает необходимость в построении разветвленных тестовых топологий, состоящих из большого числа сетевых элементов. В связи с этим, при разработке программного обеспечения для сетевых устройств blade-systems в большинстве случаев нецелесообразно полностью собирать всю сеть со множе-

ством элементов и модулей. *Во-первых*, потому, что покупка каждой новой версии сетевого устройства является весьма затратным и экономически невыгодным решением. *Во-вторых*, новой версии электрической платы или устройства, для которой разработано программное обеспечение, может еще просто не существовать.

Одним из выходов из данной ситуации является программная эмуляция физических элементов сети, т.е. разработка программных моделей проектируемой аппаратуры. В таком случае можно использовать в качестве элементов сети эмуляционные модели реальных устройств, т.е. соединенные между собой машины с необходимым программным обеспечением. Этот подход дает возможность использовать вместо сетевого устройства обычный персональный компьютер с запущенной на нем программой, имитирующей поведение реального устройства. При этом компьютеры соединяются в локальную сеть, на каждом из них запускается программа определенного элемента сети. Таким образом, эмуляция сети LTE программными средствами позволяет использовать лишь компьютеры и радиочасти, что открывает возможность вести работу над программным обеспечением сети без наличия лаборатории с большим количеством дорогостоящих микросхем и аппаратуры.

Использование предварительной программной эмуляции элементов сети в итоге позволяет существенно снизить время разработки и внедрения новых аппаратных модулей и получить заметный экономический эффект. А учитывая тот факт, что различные элементы тестовой топологии могут иметь различные и несовместимые операционные системы, важной задачей является разработка универсального программного обеспечения.

Для эмуляции сети LTE необходимо программно реализовать каждый функциональный элемент сети. Элементы эмулируемой сети приведены на рис. 4, где представлена радиочасть и сетевая часть LTE [4, 5, 6].

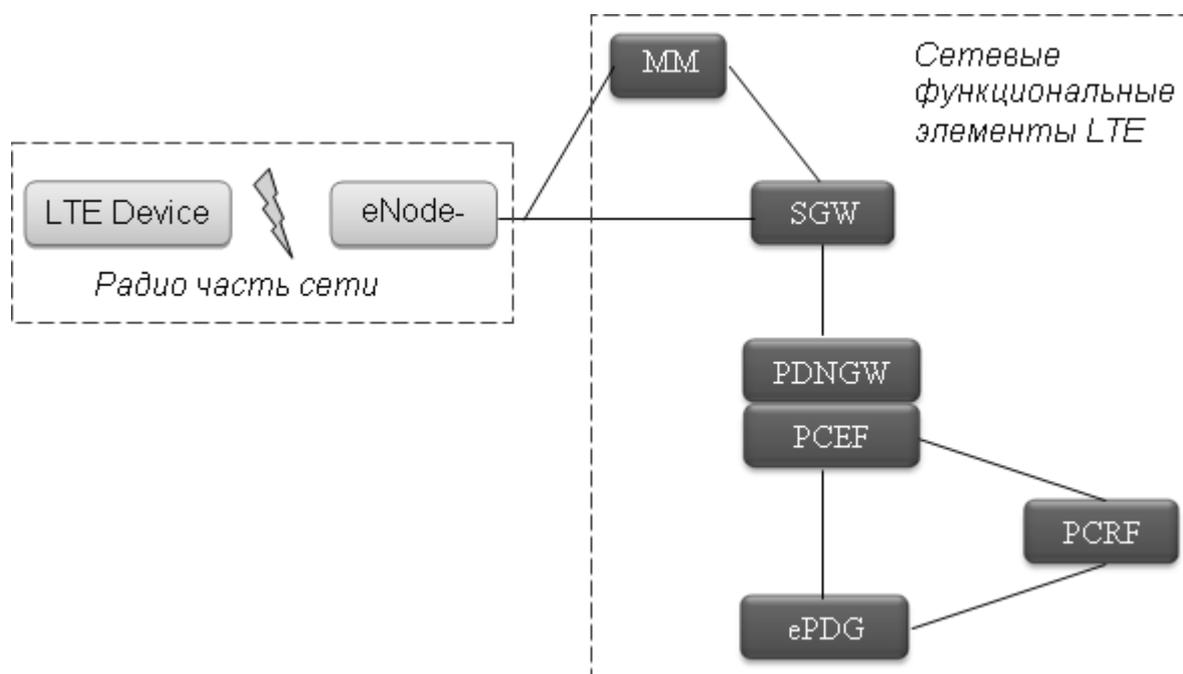


Рис. 4. Структура сети LTE

К радиочасти относятся мультимедийное устройство LTE и приемная часть – базовая станция. Сетевая часть состоит из функциональных блоков. Эти блоки реализованы в виде специальных программ, которые эмулируют элементы LTE сети. MME (Mobility Management Entity) – модуль управления мобильной частью. SGW (Serving Gateway) – модуль, осуществляющий маршрутизацию пользовательского трафика. PDNGW (Packet Data Network Gateway) – модуль, предоставляющий возможность доступа в пакетные сети. ePDG (Evolved

Packet Data Gateway) – функциональность PDN GW для Untrusted Non-3GPP Access. PCRF (Policy and Charging Rules Function) – модуль управления качеством услуг. PCEF (Policy and Charging Enforcement Function) – модуль выявляет применимый трафик и выполнение применяемой политики. Этот модуль обычно размещен в узле межсетевого интерфейса.

3. Применение механизма эмуляции для модуля, управляющего качеством обслуживания

В связи с повсеместным ростом объемов трафика, такие явления, как перегрузка или задержка трафика становятся насущной проблемой и могут серьезно повлиять на качество доставки пакетов. Провайдеры, в свою очередь, обязаны гарантировать оговоренный уровень сервиса независимо от количества трафика в сети. Для обеспечения требуемого уровня сервиса применяется набор механизмов QoS, которые позволяют обеспечить качество с помощью приоритизации данных и гарантируют производительность в рамках соглашения о качестве обслуживания или тарифа. Применяя необходимые механизмы QoS, провайдеры могут обеспечить, например, корректное распознавание и приоритизацию пакетов с голосом и видео.

Автором в составе группы инженеров велась разработка программного обеспечения для blade-system, которая должна была стать одним из ключевых элементов телекоммуникационной сети. Эта система должна была предоставлять возможности коммутации и маршрутизации трафика, т.е. предоставлять ряд сервисов и возможностей на L2 и L3 уровнях. Целью разработки такого модуля было последующее применение его операторами и провайдерами в рамках блока SAE GW (Core Network) в LTE сетях как многофункционального маршрутизатора. Помимо прочих функций обработки и управления трафиком на L2 и L3 уровнях, такая система должна была содержать модуль QoS (Quality of Service), отвечающий всем требованиям сетей LTE.

В ходе разработки данного программного продукта, возникла необходимость тестировать blade-system в рамках сложных и многоэлементных сетевых топологий на предмет соответствия стандартам работы стека протоколов. Для формирования необходимых топологий было решено прибегнуть к эмуляции элементов сети.

Модуль, обеспечивающий QoS, является одним из важнейших как в реальной сети, так и в ее программной модели. С помощью QoS можно предлагать различные уровни сервиса. При соответствующей конфигурации, для нужного потока данных QoS позволит обеспечить поддержку тарифов с параметрами, оговоренными с заказчиком. Таким образом, провайдер может создать ценовую политику, основываясь на различных классах приоритета.

Автором были рассмотрены особенности реализации QoS модуля в рамках эмуляционной модели современной сети. Проведен анализ особенностей механизма качества обслуживания для сети LTE. Разработан алгоритм, позволяющий учесть требования стандарта LTE к модулю QoS. Рассмотрены способы повышения эффективности применения приложения, предоставляющего качество обслуживания, выраженное в реализации ряда архитектурно-функциональных особенностей модуля. В частности, реализация механизма качества обслуживания как мультиплатформенной программы. Такая особенность позволяет добиться универсальности приложения, а значит, и повышения эффективности при построении и использовании тестовых топологий.

4. Анализ особенностей механизма QoS в сетях LTE

Механизм QoS применяется для потоков данных в PCEF, эти потоки данных представлены IP пакетами. PCEF применяет правила PCC (контроль управления и загрузки) для классификации трафика по потокам сервисных данных. Правила могут быть определены заранее или динамически обеспечены в PCEF. Динамические правила PCC получают из модуля PCRF на основе информации, предоставленной AF (согласно необходимой полосе пропускания), данных PCEF (согласно необходимому QoS на уровне трафика пользователя) и других особых данных абонента, при их наличии [7, 8].

Тип трафика однозначно характеризуется маркером QCI (*QoS Class Identifier*), который определяется в PCRF для каждого из пакетов. При поступлении пакетов трафика, PCEF отправляет запрос в PCRF с целью их классификации. PCEF посылает в PCRF идентификатор пользователя или его IP адрес, а также тип обрабатываемых данных ToS (*Type of Service*). На основании этих параметров PCRF формирует и высылает обратно в PCEF тот или иной QCI. В зависимости от значения, принятого QCI в PCRF к пакету применяется тот или иной тип обслуживания.

Информация о соответствии значения QCI трафику определенного типа, а так же требования к качеству обслуживания такого трафика находится в модуле PCRF. Стандарт требований к качеству для LTE сети представлен в табл. 1. PCRF предоставляет эту информацию, когда в PCEF необходимо принять решение о том, как поступить с тем или иным пакетом.

Таблица 1

Соответствие значений QCI характеристикам трафика

QCI	Resource type	Priority	Packet delay budget	Packet error loss rate	Example services
1	GBR	2	100 ms	10^{-2}	Conversational voice
2		4	150 ms	10^{-3}	Conversational video (live streaming)
3		3	50 ms	10^{-3}	Real time gaming
4		5	300 ms	10^{-6}	Non-conversational video (buffered streaming)
5	Non-GBR	1	100 ms	10^{-3}	IMS signaling
6		6	300 ms	10^{-6}	Video (buffered streaming). TCP-based (e.g., www, e-mail, chat, ftp, p2p file sharing, progressive video, etc.)
7		7	100 ms	10^{-6}	Voice, Video (live streaming), Interactive gaming
8		8	300ms	10^{-3}	Video (buffered streaming). TCP-based (e.g., www, e-mail, chat, ftp, p2p file sharing, progressive video, etc.)
9		9		10^{-6}	

Основными параметрами трафика, которые ставятся в соответствии значению QCI, являются следующие: GBR (*Guaranteed bit rate*), Priority, Resource Type, Packet Budget Delay, Packet Error Loss Rate. Таким образом, качество обслуживания в LTE сети должно соответствовать требуемым для каждого конкретного потока уровням задержки и потери пакетов. Кроме того, сигнальному трафику с наивысшим приоритетом должно отдаваться абсолютное предпочтение при обслуживании. Однако, как правило, объем сигнального трафика не велик и не требует всей ширины пропускания канала. Следовательно, чтобы избежать простоев системы, необходима параллельная обработка очередей. Часть классов трафика требует гарантированно выделенной полосы пропускания. Для таких очередей необходимо производить анализ имеющейся в наличии свободной полосы пропускания и начинать обработку только в том случае, если требуемая полоса пропускания доступна. Обработка потоков с GBR начинается только в том случае, если свободна необходимая полоса пропускания либо ее можно освободить от менее приоритетного трафика с non-GBR.

5. Алгоритм и функциональные особенности QoS модуля

Реализация механизма качества обслуживания заключается в реализации модуля QoS (*routing_pcc_qos*). Этот модуль запускается на PCEF и применяет политику QoS к проходящему через PCEF трафику. Для классификации входящих пакетов модуль *routing_pcc_qos* отправляет запрос к PCRF. На PCRF запущен модуль, обрабатывающий присылаемые PCEF

параметры, идентифицирующие пользователя. После обработки принятых данных PCRF определяет QCI и отправляет требования к качеству обслуживания для трафика назад PCEF.

Как известно, основными алгоритмами обработки очередей в рамках модуля QoS являются следующие [9]:

- алгоритм FIFO (First In – First Out);
- приоритетное обслуживание PQ (Priority Queuing);
- настраиваемые очереди CQ (Custom Queuing);
- взвешенное справедливое обслуживание WFQ (Weighted Fair Queuing).

Однако из анализа требований к QoS в сетях LTE видно, что ни один из перечисленных алгоритмов не может быть эффективно использован для удовлетворения всем особенностям LTE. Алгоритм FIFO не обладает поддержкой дифференцированного качества обслуживания. В механизме PQ приоритеты очередей имеют абсолютный характер предпочтения при обработке: пока из более приоритетной очереди не будут выбраны все пакеты, устройство не переходит к обработке следующей, менее приоритетной. Для CQ с каждой очередью связывается доля пропускной способности, предоставляемая трафику с данным приоритетом, но такое распределение полосы пропускания не эффективно для non-GBR трафика. В механизме WFQ очередям в порядке круговой очереди выделяется сетевой ресурс, пропорциональный назначенным им весам. Однако предварительное выделение постоянного сетевого ресурса очередям, не требующим гарантированной полосы пропускания, является неэффективным решением.

В связи с этим для QoS модуля в данной работе предлагается использовать новый алгоритм, построенный на следующих принципах:

- все очереди обрабатываются параллельно;
- приоритет для сигнального трафика, характеризующегося $QCI = 5$, имеет абсолютный характер и наибольшее значение;
- очереди с $QCI = 1, 2, 3$ и 4 , характеризующиеся GBR, связываются с установленным значением пропускной способности выходного интерфейса, гарантируемой данному классу трафика;
- полоса пропускания для очередей с GBR резервируется с ущербом для менее приоритетного трафика, но без помех для сигнального трафика с $QCI = 5$;
- очереди с non-GBR трафиком используют всю оставшуюся от более приоритетного трафика полосу пропускания, используют абсолютный характер приоритета по значению QCI.

Этот алгоритм определяет базовые функции обработки пользовательского трафика в зависимости от значения QCI. Таким образом, в модуле routing_pcc_qos на PCEF должны быть реализованы фильтрация пакетов, распределение пакетов по различным очередям в соответствии с их QCI, обработка пакетов с учетом требуемых критериев качества, удаление из очереди пакетов с истекшим временем жизни. Пакеты из входящего потока помещаются в девять входных очередей в соответствии с их значением QCI. Каждая очередь характеризуется порядковым номером $N = 1, 2, \dots, 9$, соответствующим приоритету трафика, для которого эта очередь предназначена. Для обработки пакеты из этих очередей помещаются в специальный буфер. Размер буфера (buffValue) формируется исходя из пропускной способности выходного (BR) канала: $buffValue = BR [bit / s] \cdot TimeSlot [s]$, где TimeSlot временной интервал, в течение которого формируется буфер. Таким образом, происходит циклическое заполнение буфера пакетами в соответствии с приоритетами, а затем его освобождение и передача пакетов на выход системы. Длительность одной итерации равна TimeSlot, алгоритм ее выполнения представлен на рис. 5. Операция записи пакетов из текущей очереди в буфер выполняется пока в буфере остается свободное место либо пока во входной очереди имеются пакеты.

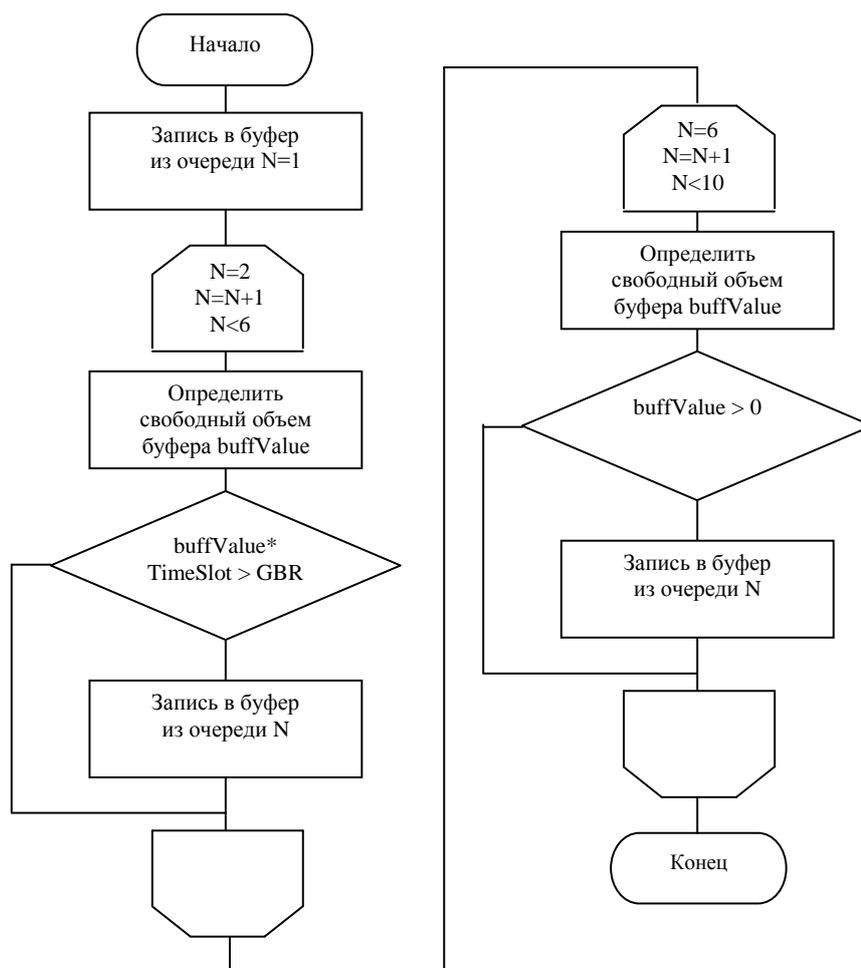


Рис. 5. Алгоритм одной итерации формирования буфера пакетов

Кроме базовой функциональности обеспечения качества обслуживания в QoS приложении с целью повышения эффективности его использования предлагается реализовать следующие возможности:

- мультиплатформенность программы, что упростит переносимость разрабатываемого продукта и устранит привязку к конкретной операционной системе и оборудованию;
- возможность редактировать таблицу параметров (критериев качества обслуживания, приведенных на рис. 2 трафика или использовать предустановленные значения, что позволит формировать при тестировании различные политики и условия обработки трафика;
- графический пользовательский интерфейс для настройки основных параметров программы и критериев качества обслуживания, который позволит разработчику быстро сконфигурировать приложение под выполнение требуемых задач.

Часто при разработке и проверке какого-либо сетевого устройства возникает необходимость в построении разветвленных тестовых топологий, состоящих из большого числа сетевых элементов. В таких случаях целесообразнее использовать в качестве элементов сети эмуляционные модели реальных устройств, т.е. соединенные между собой машины с необходимым программным обеспечением. Различные сетевые устройства, серверы и компьютеры могут иметь различные операционные системы и аппаратные особенности. Программное обеспечение, независимое от платформы и системы, может быть установлено на любое устройство. Такая универсальность заметно упрощает установку, настройку программного обеспечения, а также взаимодействие сетевых элементов друг с другом. Таким образом, для программного модуля QoS, используемого в рамках эмуляционной модели сети, мультиплатформенность является одной из наиболее важных архитектурных особенностей. Такие

же особенности, как графический интерфейс и возможность пользовательской настройки, улучшают и упрощают процесс тестирования.

Заключение

Предложен новый алгоритм для управления качеством обслуживания пользовательского трафика в эмуляционной модели LTE сети, позволяющий обрабатывать множество потоков одновременно в соответствии с их типами и приоритетами и тем самым улучшить эффективность использования полосы пропускания канала.

Программа, реализованная на основе предложенного алгоритма с учетом рассмотренных архитектурно-функциональных особенностей, позволит оценить эффективность применения профилей и тарифов к каждому потоку данных в эмуляционной LTE сети. Программное обеспечение, независимое от платформы и системы, может быть установлено на любые устройства в рамках тестовой топологии. Такая универсальность заметно упрощает установку, настройку программного обеспечения, а также взаимодействие сетевых элементов друг с другом. Таким образом, для программного модуля QoS, используемого в рамках эмуляционной модели сети, мультиплатформенность является одной из наиболее важных архитектурных особенностей. Такие же особенности, как графический интерфейс и возможность пользовательской настройки улучшают и упрощают процесс тестирования.

Библиографический список

1. **Fritze, M.Sc.** SAE – The Core Network for LTE. // Ericsson Austria GmbH. 2008.
2. **Beming, P.** LTE-SAE architecture and performance / P. Beming, L. Frid // Ericsson, 2007.
3. **Дальман, Э.** Радио-интерфейс LTE в деталях / Э. Дальман, А.Фурускар, И. Ядинг. – М.: Сети и Системы связи, 2008.
4. Широкополосные беспроводные сети передачи информации / В.М. Вишневецкий [и др.]. – М.: Техносфера, 2005.
5. **Zyren, J.** Overview of the 3GPP Long Term Evolution Physical Layer – White Paper, www.freescale.com
6. **Graf, T.** Remco van Mook and other / T. Graf, G. Maxwell // Linux Advanced Routing & Traffic Control, 2004.
7. Long Term Evolution (LTE): an introduction. White Paper // Ericsson. 2007.
8. **Катал, М.** Анализ и сравнение контроля QoS (качества услуг) в сетях следующего поколения / М. Катал. – М., 2008.
9. **Sierra, R.** Fair queuing in data networks // Internetworking, 2002.

*Дата поступления
в редакцию 08.02.2013*

P. Novikov

THE QUALITY OF SERVICE MODULE FOR PROGRAMMING EMULATION OF THE NETWORK

Purpose: Developing of programming emulation model for 4th Generation telecommunication network and design of a QoS mechanism as part of this investigation.

Design/methodology/approach: Developing of specific Java/JUnit framework. Combination of different types of QoS algorithms.

Findings: Analysis of quality of service for 4th generation network is proposed in the paper.

Research limitations/implications: The present study provides a starting-point for further creation of programming emulation model for LTE network.

Originality/value: New algorithm and features of QoS are proposed in the paper. The approach to design of QoS framework was specified during the investigation.

Key words: programming emulation; network; quality of service; algorithm; telecommunication.