

УДК 621.396.42

МЕТОДЫ ОПТИМИЗАЦИИ БЕСПРОВОДНЫХ СЕТЕЙ ЧЕТВЕРТОГО ПОКОЛЕНИЯ

*Асмарян А.Э., студент
Россия, 105005, г. Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана,
кафедра «Информационные системы и телекоммуникации»*

*Научный руководитель: Боровик И.Г., старший преподаватель
Россия, 105005, г. Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана
iu3@bmstu.ru*

Введение

В последние годы операторы сотовой связи по всему миру наблюдают резкий рост потребительского спроса на услуги мобильного интернета. Вместе с этим растет объем трафика на одного абонента, способствующее введению безлимитных тарифов и появлению новых высокотехнологичных мобильных устройств. Операторы вынуждены строить современные сети передачи данных четвертого поколения (LTE), для обеспечения потребительского спроса. LTE – это новейший стандарт беспроводной передачи данных на высоких скоростях, эволюционировавший с сетей третьего поколения. Основными преимуществами данного стандарта является высокая пропускная способность и низкие задержки при информационном обмене. Целью введения LTE сетей является увеличение емкости и скорости беспроводных сетей передачи данных.

Сети LTE основаны на довольно плоской архитектуре, по сравнению с сетями предыдущего поколения. Передача данных осуществляется непосредственно между базовыми станциями LTE, без использования различных контроллеров радиосети, применяемых в предыдущих стандартах. Также осуществляется исключительно пакетная передача данных.

В LTE используются различные концепции оптимизации сети, на основе требований по функциональности. Использование так называемой балансировки нагрузки для сетевых операций дают существенный прирост в производительности сети. Это достигается путем подстройки параметров управления сетью таким образом, что перегруженные ячейки могут распределить избыточный трафик с соседними ячейками, если таковые имеются.

Балансировка нагрузки в самооптимизирующихся сетях работает с алгоритмом мониторинга сети, реагирующем на пики нагрузки, за счет этого можно добиться более

высокой производительности за счет распределения нагрузки между соседними ячейками. Алгоритм балансировки нагрузки направлен в первую очередь на поиск оптимального процесса перехода сессии абонента от одной базовой станции к другой, что является одним из ключевых показателей эффективности сети. Также можно получить преимущество в виде сокращения ненужных запросов на доступ в процедуру, улучшение стабильности работы и уменьшение отключений сессий у абонентов, минимизация ручного вмешательства, что и является оптимизацией сети.

Математический аппарат

Основные математические соотношения будут даны ниже, включая отношения сигнал-шум, вероятность возникновения ошибки, и также соотношения для балансировки нагрузки в сети, с учетом синтетического моделирования.

С помощью соотношения, с учетом двух дополнительных параметров: N-тепловые шумы, P_c-мощность передачи для выбранной ячейки, мы можем определить и оценить показатель сигнал-шум для каждого пользователя с учетом помех:

$$SINR_u = \frac{P_c * L_x(u)(\vec{q}_u)}{N + \sum_{c \neq X(u)} \rho_c * L_c * P_c(\vec{q}_u)}$$

- \vec{q}_u – положение пользователя в пространстве
- X_u – функция, определяющее положение пользователя относительно заданной ячейки $c=X_u$, с ограничением относительно того, что каждый пользователь подключен к одной ячейке
- $L, L_x(u)(\vec{q}_u)$ – отображения, определяющие положение пользователя относительно ячейки $c, c=X_u$.
- ρ_c – коэффициент нагруженности ячейки, определяющий соотношение используемых ресурсов ко всем доступным ресурсам в данной ячейке

Допустим, что используется лучшая кодинговая схема модуляции(MCS) и наиболее высокие скорости передачи данных R(SINR) достижимы. Это можно выразить с помощью формулы Шеннона:

$$R(SINR_u) = \log_2(1 + SINR_u)$$

Однако, для лучшей аппроксимации с реалистичной кодинговой схемой модуляции, отображение функции масштабируется с коэффициентом 0,6 и ограничивается максимально возможным битрейтом (4,4бс/Гц) и минимально необходимый коэффициент сигнал-шум (-6,5 Дб). На основе достижимой пропускной способности для данного SINR, требуемая скорость передачи данных В и полосы пропускания BW одного PRB (с

пропускной способностью 180 кГц в LTE), объем необходимых PRBs N может быть получен из следующего выражения:

$$N_u = \frac{D_u}{R(\text{SINR}_u) * BW}$$

Также можно использовать важнейший параметр качества сети – вероятность того, что данный бит информационного сообщения является ошибочным, для контроля качества:

$$\text{SINR}_u = -10 \lg(BER)$$

- BER^{-1} – длина блока сообщения, в котором 1 бит информации ошибочен

На рисунке 1 показана взаимосвязь между SINR, пропускной способностью, и необходимыми ресурсами в нисходящей передаче.

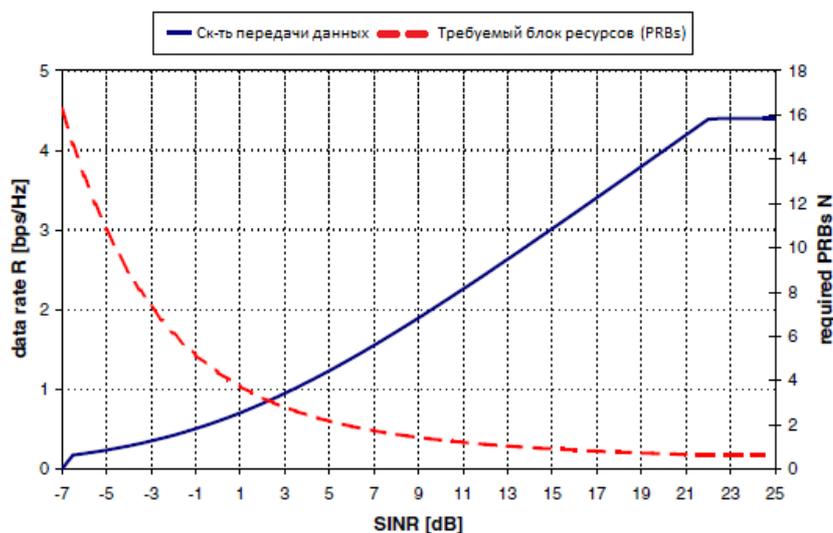


Рис. 1. Необходимый блок ресурсов для передачи 512 кбит/с

Занимаясь вопросами оптимизации и исследования различных сценариев распределения нагрузки, включая количество пользователей и их потребляемого трафика, встает необходимость оценки критерия загруженности конкретной ячейки. Ячейка считается загруженной, когда необходимое количество ресурсов PRBs N_u превышает общее число доступных ресурсов в одной ячейке M_{PRB} . Можно записать выражение для коэффициента ρ_c :

$$\rho_c = \frac{1}{M_{PRB}} * \sum_{u|X_u=c} N_u$$

В случае, когда $\rho_c > 1$ мы можем оценить масштаб перегрузки в данной ячейке. Из этого следует, что можно определить общее количество неудовлетворенных пользователей:

$$z = \sum_{\forall c} \max(0, M_c * (1 - \frac{1}{\rho_c}))$$

- M_c – число пользователей в ячейке c

Балансировка нагрузки достигается за счет перемещение абонентов с перегруженных секторов (необходимо определить показатель перегруженности) на соседние ячейки, которые смогут обслужить дополнительную нагрузку. После передачи сессии абонента от одного сектора к другому, показатель SINR должен держаться на предыдущем уровне. Нагрузка, передаваемая в течении процесса, не должна превышать пропускную способность целевой базовой станции (eNB). Этот процесс должен контролироваться с помощью специального механизма. При этом, когда запросы на доступ к соседнему сектору повторяются, но обслужить его нет возможности, значительно увеличиваются расходы на сигнализацию. Для правильного функционирования системы необходимо прогнозировать нагрузку, основанных на показателе SINR, после передачи сессии, принимая во внимание такие показатели абонентских устройств, как: принимаемая мощность опорного сигнала (RSRP) и полученный индикатор уровня сигнала (RSSI). Для упрощения не рассматриваются дополнительные факторы, связанные с нагрузкой, которые могут оказать влияние на SINR в реальных ситуациях. Сигнал, полученный пользователями и от ячейки c можно записать следующим образом:

$$S_c = P_c * L_c(\vec{q}_u)$$

Системы моделирования и анализа имеют ключевое значение в планировании и оптимизации операторской сети. В этой статье представлен анализ производительности LTE сетей с оптимизацией и без. Модель системы характеризуется отношением связей между ячейками, с учетом неоднородного трафика и интерференцией между секторами с произвольной топологией. Решение данной модели позволяет всей сети в целом работать эффективнее в потреблении ресурсов. Разрабатывается достаточное и необходимое условие нагрузки системы связи с теоретическими выводами, сопровождаемые результатами моделирования.

Процесс передачи сессии абонента от одной базовой станции к другой можно показать следующим образом: изначально пользователь u_1 подключен к базовой станции SeNB, $SeNB = X(u_1)$ с достаточно хорошим RSRP сигналом(S_1). Сигнал RSRP от базовой Молодежный научно-технический вестник ФС77-51038

станции TeNB и от остальных станций eNBs (I) (Рис.2а) в данном случае являются составной частью возникаемой интерференции. После хэндовера (передачи сессии от одной БС к другой) (Рис.2б) пользователь u_1 подключается к TeNB с полезным сигналом (S_2), и теперь уже сигнал S_1 вносит свой вклад в составные помехи.

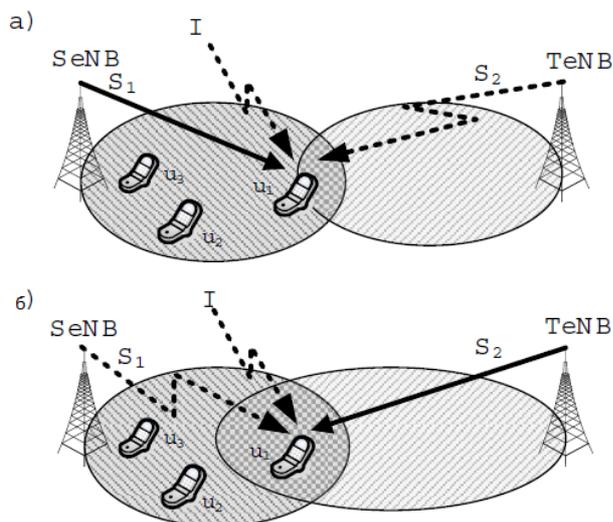


Рис. 2. Получение сигнала пользователем а) до хэндовера б) после хэндовера [5]

Предполагается, что во время процедуры хэндовера положение пользователя u_1 существенно не изменяется и следовательно мощность принимаемого сигнала так же остается практически неизменной. Можно извлечь сигналы S_1 и S_2 как части составных помех от $SINR_{SeNB}$ и $SINR_{TeNB}$ и комбинируя их можно написать следующее выражение:

$$SINR_{u_1, TeNB} = \frac{S_2}{\frac{S_1}{SINR_{u_1, SeNB}} + S_1 - S_2}$$

Алгоритм балансировки нагрузки

В данном алгоритме будет форсироваться переход абонента от SeNB к TeNB, но главное не превышать допустимую нагрузку на TeNB после процедуры хэндовера. Основной целью представленного алгоритма – найти оптимальное количество хэндоверов, которое позволит максимальному количеству пользователей менять ячейку, без каких-либо отказов, со стороны TeNB. Перед применением процедуры балансировки SeNB необходимо создать лист потенциальных целей для успешного хэндовера, включая: отчет об использовании подключенных абонентских устройств, а также данные о доступных

ресурсах соседних ячеек. Эти действия описаны в шагах 1-5 представленного алгоритма. Для каждого скорректированного значения хэндовер смещения T , SeNB сортирует список потенциальных TeNB по отношению к числу возможных хэндоверов. Далее для T и ячейки C из листа L оценивается загрузка. Если прогнозируемая нагрузка ρ_c не превышает допустимого уровня ρ_{Thld} в TeNB смещение хэндовера для этой ячейки доводится до значения T и виртуальная нагрузка в SeNB ρ_{SeNB} уменьшается на количество пользователей перешедших с этим смещением. Алгоритм работает, пока нагрузка ρ_{SeNB} в SeNB выше допустимого значения ρ_{Thld} , SeNB и хэндовер смещения ниже максимально допустимого значения и соседние ячейки способны разместить дополнительную нагрузку. Также в процессе можно мониторить вероятность появления ошибок, и количество падений пользователя из сети (DR) – не должно быть больше назначенного допустимого (dop_n). Вообще говоря в коммерции все эти показатели предоставляют в виде счетчиков по базе вендоры, предоставляющие непосредственно оборудование. Также мы знаем количество переподключений (RRCR) – не должно быть больше допустимого. Этого достаточно для правильной работы алгоритма, но не достаточно для непосредственного контроля качества. Каждый оператор устанавливает свои нормы контроля качества для каждой ситуации, поэтому сложно разработать универсальные критерии.

Алгоритм оптимального хэндовера с балансировкой нагрузки

Требования: Лист L потенциальных TeNB для хэндовера

1. Собрать данные использования от пользователя; RSRP сигнал к потенциальной TeNB, выборка группы пользователей с лучшими условиями для подключения к TeNB
2. Определение различия в принимаемом сигнале между SeNB и TeNB
3. Получение информации от TeNB об имеющихся ресурсах
4. Оценка необходимых ресурсов PRBs после хэндовера для каждого пользователя в группе.
5. Сбор информации по показателям DR и RRCR
6. $T \leftarrow 0$
7. **While** $\rho_{SeNB} > \rho_{Thld}, SeNB \wedge T < T_{max}$ **do**
8. $i \leftarrow 1$
9. $T \leftarrow T + step$
10. $Sum \leftarrow Sum(RRCR) * 1.0$

11. $L \leftarrow \text{sort}$
 12. **While** $\rho_{SeNB} > \rho_{Thld, SeNB} \wedge i \leq \text{size}(L)$ **do**
 13. $C \leftarrow L(i)$
 14. Estimate ρ_c after HO for given T
 15. **While** $\text{Sum} \leq \text{dop}_1 \wedge \text{DR} \leq \text{dop}_2$ **do**
 16. **If** $\rho_c < \rho_{Thld,c}$ **then**
 17. $\rho_{SeNB} \leftarrow \rho_{SeNB} - \rho_{SeNB,T}$
 18. $T_{C,u} \leftarrow T$
 19. **end if**
 20. $i \leftarrow i + 1$
 21. **end while**
 22. **end while**
 23. **end while**
 24. adjust HO offsets T_c
-

Моделирование

LTEeNB позволяет симулировать реальные 4G LTE базовые станции (eNodeB) с помощью стандартного ПК и необходимого программного обеспечения для радиоинтерфейса. Все физические слои и процессы осуществляются в режиме реального времени внутри ПК, без каких-либо специальных аппаратных средств информационного обмена. Т.к. она имитирует LTE сеть, то может работать не в связке с реальной сетью (Рис. 3). Можно её использовать как wi-fi точку доступа. Используется стандартная нисходящая система FDD LTE Release 8 с шириной 10 МГц, которая используется при различных моделированиях в LTE 3GPP [1]. Было проведено моделирование с временным шагом 500мс [7]. Таким образом, все внутренние сигналы оценки и прочее осуществляются с усреднением по этому шагу.

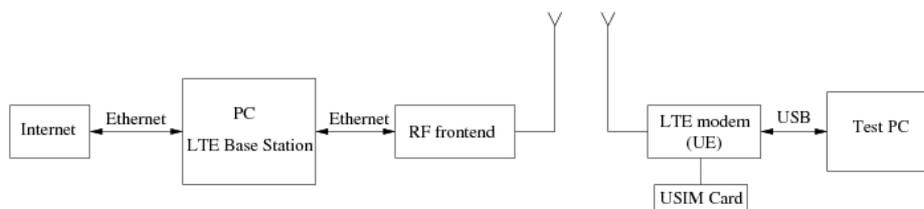


Рис. 3. Структурная схема моделируемой LTEeNB

Синтетическое моделирование

Было проведено моделирование с 19 базовыми станциями в правильной шестиугольной сетке, с тремя секторами на одну станцию (идеальное). Кроме того, было промоделировано нестандартное расположение с 12 станциями и 36 ячейками, для сравнения и симуляции реальных процессов в сети, с разными размерами ячеек, числом соседних ячеек и различными помехами (реалистичное). Для распределения нагрузки в системе используется довольно низкая загруженность в ячейках, с низким количеством пользователей, поэтому они чувствуют себя комфортно в любой точке сети, а также дополнительные точки доступа, в которые новые пользователи периодически перемещаются.

Канальная модель определена в замкнутой форме, а отображение L – в непрерывной. Все движения пользователей происходят с постоянной скоростью. На рис. 4 и рис. 5 показан график для z -составляющей каждого из сценариев моделирования для обычной системы без оптимизации (красная кривая) и с балансировкой нагрузки (зеленая кривая). Рабочая точка в обоих случаях – пять пользователей на ячейку и сорок пользователей в точке доступа. Производительность балансировки нагрузки, как и ожидалось, зависит от позиции точки доступа и позиции пользователей по отношению к точке доступа. Усредненные показатели неудовлетворенных пользователей z изображается горизонтальной линией. В таблице приведены усредненные результаты по количеству неудовлетворенных пользователей.

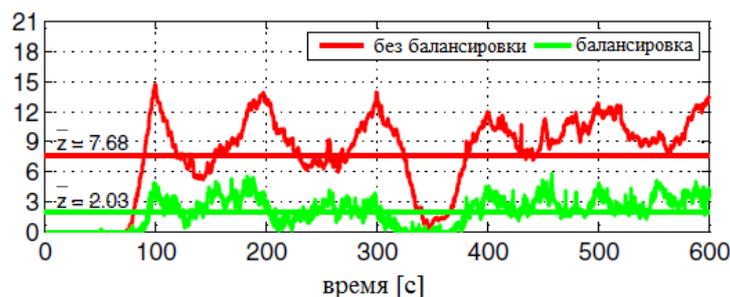


Рис. 4. Производительность балансировки нагрузки для идеальной сети

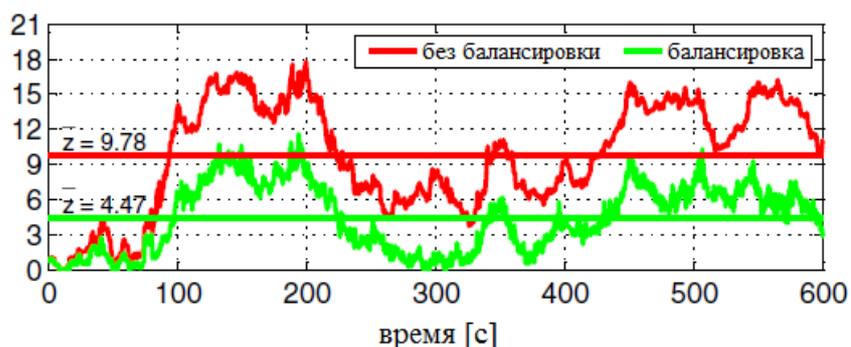


Рис. 5. Производительность балансировки нагрузки для реальной сети

| Сценарий | Z без оптимизации | | Z балансировка нагрузки | |
|--------------|-------------------|------------|-------------------------|------------|
| | Идеал. | Реалистич. | Идеал. | Реалистич. |
| Пользователи | | | | |
| 30 | 2,8 | 3,2 | 0,3 | 0,7 |
| 40 | 7,7 | 9,8 | 2,0 | 4,5 |
| 50 | 13,6 | 16,8 | 6,4 | 10,6 |
| 60 | 22,0 | 23,1 | 15,5 | 17,4 |

Заключение

В данной статье описываются ключевые показатели эффективности беспроводных сетей четвертого поколения, и рассматривается алгоритм балансировки нагрузки, как часть оптимизации сети. Алгоритм оценивает нагрузку в данной ячейке, соседних с ней а также последствия хэндоверов в целях повышения производительности сети. Предлагается метод оценки нагрузки после хэндовера, основанный на прогнозировании SINR и использовании данных с абонентских устройств. Эффективность данного алгоритма подтверждается результатами синтетического моделирования. Видно, что общее количество успешно подключенных пользователей выросло. Конечно он не является панацеей, ведь алгоритм в первую очередь опирается на имеющиеся возможности в соседних ячейках, и если таковые отсутствуют, то производительность сети останется неизменной.

Список литературы

1. 3GPP, Self-configuring and self-optimizing network use cases and solutions, Технический доклад 36.902//URL:<http://www.3gpp.org> (дата обращения: 21.11.2012).
2. 3GPP, 3rd Generation Partnership Project; Technical Specification Group Radio Access Network; Evolved Universal Terrestrial Radio Access (EUTRA); Radio Frequency (RF)

- system scenarios (Release 8), Технический Доклад 36.942//<http://www.3gpp.org> (дата обращения: 21.11.2012).
3. M. Amirijoo, R. Litjens, K. Spaey, M. Döttling, T. Jansen, N. Scully
"Use Cases, Requirements and Assessment Criteria for Future Self-Organising Radio Access Networks" Семинар о самоорганизующихся сетях, Вена, Австрия, 2008.
 4. Мобильные сети следующего поколения, различные сценарии использования самоорганизующихся сетей//ngmn.org: портал об инновациях в телекоммуникациях. URL. <http://www.ngmn.org/nc/downloads/techdownloads.html> (дата обращения 02.03.2013).
 5. Проект СОКРАТ//fp7-socrates.eu: сообщество по изучению самоорганизации в беспроводных сетях. URL.http://www.fp7-socrates.eu/files/Workshop2/SOCRATES_final (дата обращения: 03.02.2013).
 6. 3GPPP, Self-organizing networks, //3gpp.org: консорциум, разрабатывающий спецификации. URL. <http://www.3gpp.org/SON> (дата обращения 05.03.2013).
 7. LTE Signal Generator. URL. <http://bellard.org/lte/ltemod.html> (дата обращения 28.11.2012).