

Keywords: radiolocation, synthetic aperture radar (SAR), radar image, radar system, earth remote sensing, duct, cable, locating

DOI: 10.18469/ikt.2017.15.1.09

Goriachkin Oleg Valerjevich, Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics, 77, Moscovskoe shosse, Samara 443090, Russian Federation; the Head of Department of Radio Engineering and Telecommunication Theory, Scientific Director of the Center for radar remote sensing, Doctor of Technical Science. Tel.: +79179474286. E-mail: oleg.goryachkin@gmail.com

References

1. Ishimaru A., Kuga Y., Liu J. et al. Ionospheric effects on synthetic aperture radar at 100 MHz to 2 GHz. *Radio Science (USA)*, 1999, vol. 34, no. 1, pp. 257-268.
2. Goriachkin O.V., Kloovsky D.D. The some problems of realization spaceborne SAR's in P, UHF, VHF bands. *Proceedings IEEE 1999 International Geoscience and Remote Sensing Symposium (Hamburg, Germany), July 1999*, vol. 2, pp. 1271-1273. doi: 10.1109/IGARSS.1999.774601.
3. Goriachkin O.V. Vliyanie atmosfery Zemli na degradaciyu karakteristik izobrazhenij kosmicheskikh radiolokacionnyh stancij s sintezirovannoj aperturoj [Influence of the atmosphere of Earth on degradation of characteristics of images of space radar stations with the synthesized aperture]. *Kompyuternaya optika*, 2002, no. 24, pp.177-183.
4. Goriachkin O.V. *Metody slepoj obrabotki signalov i ih prilozheniya v sistemah radiotekhniki i svyazi* [Methods of blind processing of signals and their application in systems of radio engineering and communication]. Moscow, Radio i svyaz Publ., 2003, 230 p.
5. Goriachkin O.V. Azimuth Resolution of Spaceborne P, VHF-Band SAR. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, 2004, vol. 1, no. 4, pp. 251–254. doi: 10.1109/LGRS.2004.833777.
6. Ramongassie S., Valle P., Orlando G. et al. P-band SAR instrument for BIOMASS. EUSAR, 2014, p.1156–1159.
7. Goriachkin O.V. Puti razvitiya radiolokacionnyh kosmicheskikh sistem distancionnogo zondirovaniya Zemli [Ways of development of radar-tracking space systems of remote sensing of Earth]. *Vestnik SGAU*, 2010, no. 2, pp. 92–104.
8. Borisenkov A.V., Goriachkin O.V., Dmitrenok V.I. et al. Bistatic P-band SAR for spacecraft AIST-2. *Procedia Engineering*, 2015, vol. 104, pp. 1–162. doi: 10.1016/j.proeng.2015.04.089.
9. Goriachkin O.V., Zhengurov B.G., Bakeev V.B., Baraboshin A.YU., Nevskij A.V., Skorobogatov E.G. Bistaticheskij radiolokator s sintezirovannoj aperturoj P-diapazona dlya MKA «AIST-2» [Bistatic synthetic aperture radar P-band for the MCA «AIST-2»]. *Elektrosvyaz*, 2015, no. 8, pp. 34-39.

Received 15.02.2017

УДК 621.396.49: 654.021.8

МЕТОДЫ УПРАВЛЕНИЯ ЗАГРУЗКОЙ ВОСХОДЯЩЕЙ ЛИНИИ В СЕТИ ПОДВИЖНОЙ РАДИОСВЯЗИ

Севериненко А.М.

Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики, Самара, РФ
E-mail: andrey.severinenko@gmail.com

Рассмотрены функции управления загрузкой соты, используемые на сетях, работающих по технологии WCDMA, в том числе функции перераспределения пользователей, интеллектуального контроля доступа, контроля приема запросов, балансировки загрузки между частотами и между сотами, корректировки параметров при угрозе перегрузки соты, экстренной корректировки в режиме перегрузки. Рассмотрены основные параметры, измеряемые средствами базовой станции и контроллера радиосети в рамках определения загрузки соты. Показано, что текущая загрузка восходящей линии связи является одним из главных факторов для применения алгоритмов управления загрузкой. Предложен и подробно рассмотрен автоматический адаптивный алгоритм обновления фонового шума, обеспечивающий его ограничение в изменяющихся условиях окружающей среды. Намечены перспективные направления дальнейшего развития предложенного подхода.

Ключевые слова: подвижная радиосвязь, управление трафиком соты, измерение загрузки соты, функции регулировки загрузки, алгоритм обновления фонового шума

Введение

В [1] было показано, что реализация автоматизированной опорно-транспортной сети связи (АОТСС) для сети подвижной радиосвязи является необходимым условием построения целостной взаимоувязанной сети, обеспечивающей потребителей качественными услугами. В то же время наличие в такой сети подсистемы радиосвязи ставит на этапе проектирования не менее важную задачу, заключающуюся в максимизации пропускной способности радиосегмента сети. Относительно высокий уровень помех может повлиять на зону покрытия сот и качество предоставляемых услуг (Quality of Service – QoS). Таким образом, параметры QoS, емкость и покрытие радиосегмента существенно ухудшается. Кардинальным решением этой проблемы могло бы быть использование на базовых станциях цифровых антенных решеток (smart-антенн) [2]. Однако такой путь требует обновления оборудования и определенных финансовых затрат. Поэтому в качестве альтернативного решения предлагается использовать особую функцию управления загрузкой, обеспечивающую управление трафиком в соте в случае использования технологии WCDMA [3].

Функция управления загрузкой стремится максимизировать пропускную способность сети, обеспечивая при этом зону покрытия и QoS, а также контролируя ключевые ресурсы, такие как мощность, число каналообразующих кодов нисходящей линии связи, число канальных элементов (CE), и количество ресурсов Iub-интерфейса, которые непосредственно влияют на работу пользователей. Каждая сота имеет свой собственный набор функций управления загрузкой, которые отвечают за мониторинг и контроль ресурсов соты. Функции управления загрузкой следят за состоянием нагрузки на соту через измерение уровня загрузки и принимают решение о предоставлении услуги с помощью функций интеллектуального контроля доступа и управления принимаемым вызовом. Все это позволяет уменьшить перегрузки в соте. Целью данной работы является исследование функций управления загрузкой соты, а также алгоритмов, позволяющих оптимизировать нагрузку на соту.

Функции управления загрузкой соты при различных сценариях

В зависимости от фазы доступа абонентского устройства (User Equipment – UE) используются различные функции управления загрузкой – см. рис. 1.

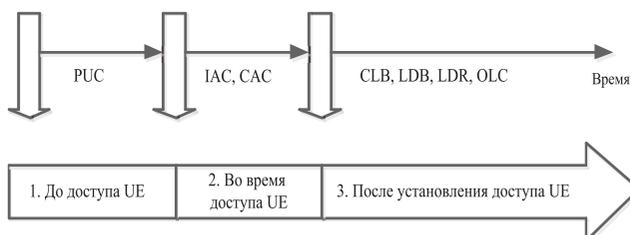


Рис. 1. Функции управления загрузкой в зависимости от фазы доступа UE

Управление загрузкой осуществляется в контроллере радиосети (Radio Network Controller – RNC) после получения отчета с измерениями от базовой станции (NodeB), см. рис. 2. Рассмотрим каждую функцию, представленную на рис. 1.

Перераспределение пользователей (Potential User Control – PUC). Данная функция используется для балансировки трафика пользователей среди сот, работающих на разных частотах. RNC изменяет выбранную соту, перевыбирает параметры и передает их по каналу сигнализации. Таким образом, абоненты распределяются на менее нагруженные соты.

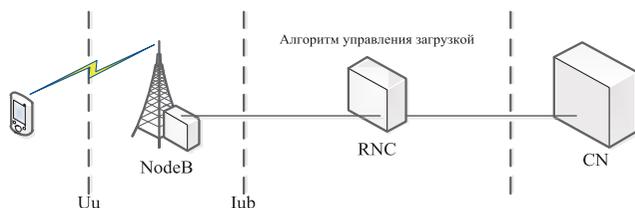


Рис. 2. Общий процесс управления загрузкой в сети

Интеллектуальный контроль доступа (Intelligent Access Control – IAC) и контроль приема запросов (Call Admission Control – CAC). Функция IAC заключается в увеличении вероятности успешного соединения с текущим гарантированным QoS. Функция CAC в зависимости от состояния ресурсов соты решает, следует ли принимать новые запросы ресурсов от UE, такие как: доступ, реконфигурация и запрос хэндовера.

Перераспределение загрузки: между частотами (Inter-Frequency Load Balancing Based

on Configurable Load Threshold – CLB), между сотами на одной частоте (Intra-frequency Load Balancing – LDB), в состоянии, близком к перегрузке соты (Load Reshuffling – LDR), при перегрузке соты (Overload Control – OLC).

Функция CLB инициирует процедуру балансировки загрузки между частотами, когда сота не перегружена, обеспечивая балансировку загрузки между сотами. Эта функция поддерживает внутричастотную и межчастотную балансировку загрузки. CLB может предшествовать функции LDR, то есть контроллер может выполнять распределение загрузки между частотами, прежде чем сота будет перегружена.

Функция LDB нужна, чтобы сбалансировать загрузку между соседними сотами одной частоты, чтобы обеспечить лучшее использование ресурсов. Когда загрузка соты увеличивается, покрытие соты уменьшается, чтобы не было перегрузки. Когда загрузка соты уменьшается, покрытие расширяется таким образом, чтобы принять часть трафика из соседних сот [4].

Функция регулировки LDR нужна для того, чтобы уменьшить загрузку сот, когда сота переходит в состояние перегрузки. Цель LDR состоит в том, чтобы увеличить процент успешных соединений путем следующих мер: перераспределение кодов, загрузка соседних сот с помощью межчастотных хэндоверов, снижение скорости обслуживания, пересмотр QoS для неконтролируемых услуг в режиме реального времени.

Функция OLC быстро снижает загрузку соты, когда она перегружена. Целью OLC является обеспечение стабильности системы и QoS большинства UE одним из следующих способов:

- ограничение транспортного формата (TF) услуг класса Best Effort (BE);
- переключение услуг BE на общие каналы;
- регулировка максимальной мощности передачи;
- освобождение некоторых каналов радиодоступа.

Все функции работают на основе измерений загрузки соты. Процесс измерения мы рассмотрим в следующем разделе.

Измерение загрузки соты

Измерение загрузки реализуется в NodeB. Фильтрация измеряемых величин реализуется в NodeB и RNC. Основные измеряемые величины:

- RTWP (Uplink Received Total Wideband Power) – полная принимаемая мощность в восходящей линии;

- TCP (Downlink Transmitted Carrier Power) – мощность несущей в нисходящей линии;

- Non-HSPA power – TCP, за вычетом мощности каналов высокоскоростной пакетной передачи HSPA (High Speed Packet Access);

- PBR (Provided Bit Rate) – битрейт в канале транспортного уровня HS-DSCH (High-Speed Downlink Shared Channel) [5];

- PBR в улучшенном выделенном канале E-DCH (Enhanced Dedicated Channel);

- RSEPS (Received Scheduled E-DCH Power Share) – мощность планировщика канала E-DCH в обслуживающей соте;

- минимальная требуемая мощность, необходимая для обеспечения GBR в канале HS-DSCH;

- общая загрузка восходящей линии связи: сумма измерений по R99, HSUPA и каналов управления. Измерение этого параметра зависит от аппаратных характеристик NodeB;

- минимальная загрузка восходящей линии связи: сумма измерений по R99, HSUPA GBR и каналов управления. Измерение этого параметра зависит от аппаратных характеристик NodeB.

При помощи NodeB измеряют основные величины, связанные с управлением загрузкой. После фильтрации уровня 1 и уровня 3 измеренные значения передаются в RNC через сообщение «COMMON MEASUREMENT REPORT».

Функция RNC выполняет фильтрацию измеренных значений, полученных из NodeB, а затем получает готовые значения, которые в дальнейшем служат в качестве входных данных для алгоритмов управления загрузкой [6-7].

RNC вычисляет фактическую загрузку восходящей линии связи на основе отфильтрованных значений RTWP, по общей загрузке восходящей линии связи (см. рис. 3, верхний график) и минимальной загрузке восходящей линии связи (рис. 3, нижний график). Текущая загрузка восходящей линии связи является одним из главных факторов для применения алгоритмов управления загрузкой.

Обработка результатов измерений

На рис. 4 показана модель измерения на физическом уровне, в соответствии с 3GPP 25.302.

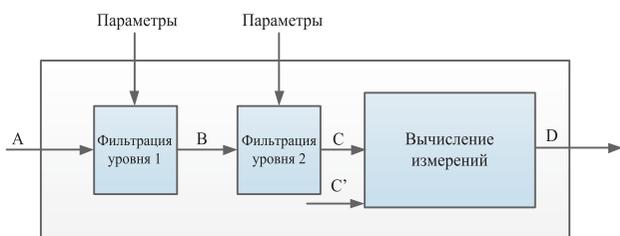


Рис. 4. Модель измерения на физическом уровне

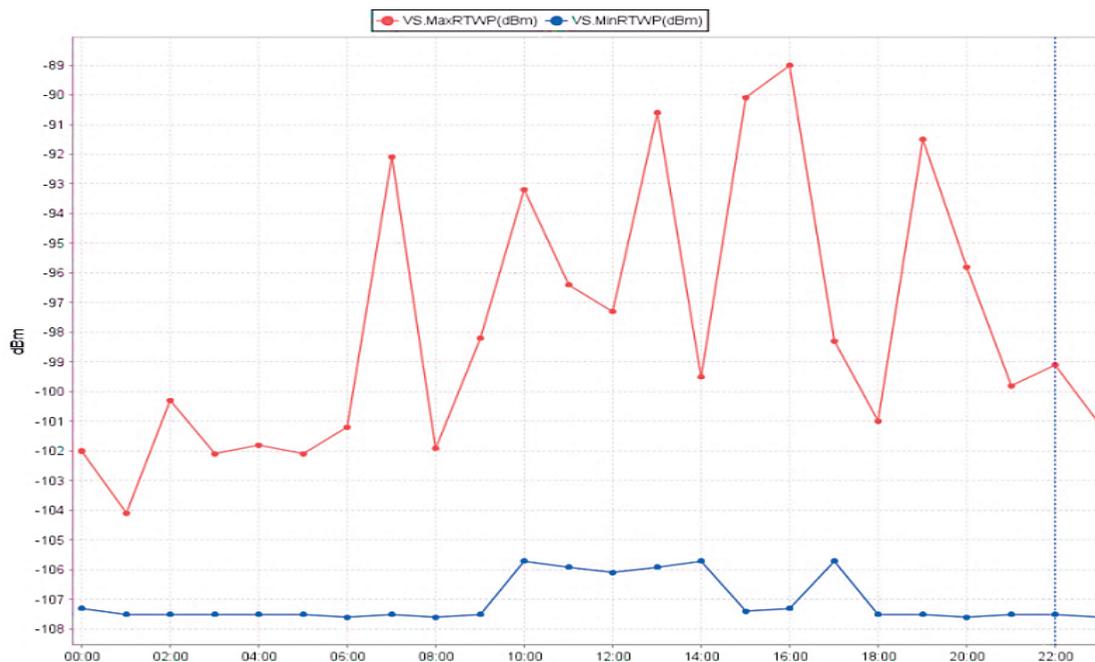


Рис. 3. Общая и минимальная нагрузка восходящей линии связи

Обозначения на рис. 4: А – значение выборки измерений; В – значение измерения после фильтрации на уровне 1; С – значение измерения после фильтрации на уровне 3; С' – еще одно измеренное значение (если таковое имеется) для оценки измерения; D – итоговый результат измерения. Уровень 1 не стандартизирован протоколами и зависит от поставщика оборудования. Фильтрация 3 уровня стандартизирована. Эффект фильтрации контролируется на более высоком уровне. К уровню 3 применяется так называемая альфа-фильтрация, которая рассчитывается по следующей формуле:

$$F_n = (1 - \alpha)F_{n-1} + \alpha M_n, \quad (1)$$

где F_n – новая величина измерения после фильтрации; F_{n-1} – последнее значение измерения после фильтрации; M_n – новое значение измерения с физического уровня; $\alpha = (1/2)^{k/2}$, k – коэффициент фильтра, который задается в зависимости от выбранного алгоритма и изменяется в пределах от 0 до 19. Чем больше значение этого параметра, тем сильнее эффект сглаживания и выше способность борьбы с замираниями, но хуже способность отслеживать изменение сигнала. Более детально данный параметр рассмотрен в [8].

После того как RNC получает отчет об измерениях, он фильтрует значения измерений, используя метод окон сглаживания [9]. Если предположить, что сообщалось измеренное значение Q_n и что длина окна сглаживания равна N , то измеренное значение фильтруется по формуле:

$$Q'_n = \frac{\sum_{i=0}^{N-1} Q_{n-i}}{N}. \quad (2)$$

Различную длину окна сглаживания и время измерения для PUC, CAC, LDR и OLC должен обеспечивать LDM, чтобы получить корректные отфильтрованные значения. Например, функция CLB имеет такую же длину сглаживающего окна, как и функция LDR.

В таблице 1 показаны значения длины окна сглаживания в зависимости от применяемой функции.

Таблица 1. Рекомендуемые значения длины окна сглаживания

| Функция | Рекомендуемое значение длины окна сглаживания |
|----------|---|
| PUC | 6 |
| CAC | 5 |
| LDB | 32 |
| LDR, CLB | 5 |
| OLC | 5 |

В следующем разделе рассмотрим один из возможных алгоритмов управления нагрузкой соты.

Автоматический адаптивный алгоритм обновления фонового шума

В восходящей линии связи UL фоновые шумы чувствительны к условиям окружающей среды, и колебания фоновых шумов имеют негативное

влияние на величину измерения RTWP. Как следствие, функция LDM запускает автоматический адаптивный алгоритм обновления для ограничения фонового шума в пределах указанного диапазона. Суть такого подхода описывается следующим образом:

- если температура в помещении с оборудованием является постоянной, то фоновый шум изменяется незначительно. В этом случае фоновый шум не требует регулировки после начальной коррекции;

- если температура в помещении с оборудованием изменяется в зависимости от температуры окружающей среды, то фоновый шум существенно изменяется. В этом случае для ограничения фонового шума требуется автоматическое адаптивное обновление;

- альфа-фильтрация рассчитывается по следующей формуле:

$$F_n = (1 - \alpha)x \cdot F_{n-1} + \alpha x M_n, (n \geq 1); \quad (3)$$

- расчет порогового значения вычисляется следующим образом:

$$BGNULLoadThd = \frac{(BGNEndTime - BGNStartTime)}{RTWP}. \quad (4)$$

В предлагаемом автоматическом адаптивном алгоритме используется продолжительность воздействия фонового шума, значение которого устанавливается в RNC (см. рис. 5).

Процедура автоматического адаптивного обновления фонового шума заключается в следующем.

1. RNC определяет счетчик и фильтр, которые используются для авто-адаптивного обновления и устанавливает начальное значение фильтра (F_0) на параметр «BackgroundNoise».

2. RNC получает последнее значение измерения RTWP и общее значение загрузки восходящей линии связи с физического уровня.

3. RNC проверяет текущее время в период действия алгоритма, которое должно быть в промежутке между начальным (BGNStartTime) и конечным временем (BGNEndTime).

Если текущее время находится в пределах этого интервала, то выполняется следующий условный переход:

- если переключатель (BGNOptSwitch) установлен в положение OFF, $M_n = \{\text{последнее значение измерения RTWP}\}$, то алгоритм переходит к шагу 4а;

- если переключатель (BGNOptSwitch) установлен в положение ON, $M_n = \{\text{последнее значе-$

ние измерения RTWP – общая величина загрузки восходящей линии связи}, то алгоритм переходит к шагу 4б.

Если текущее время не находится в пределах вышеуказанного периода, RNC ожидает следующего значения измерения RTWP и общей величины загрузки восходящей линии связи.

Измерение полной загрузки восходящей линии связи зависит от аппаратной возможности NodeB. Если нет возможности измерения общей загрузки восходящей линии связи, то обновление фонового шума не производится. Начальное значение фильтра устанавливается на текущий фоновый шум.

4а. RNC определяет, является ли текущее эквивалентное число пользователей ENU в соте больше, чем пороговое значение числа эквивалентных пользователей при использовании авто-адаптивного обновления фонового шума (*BGNEqUserNumThd*):

- если текущий ENU больше, чем значение *BGNEqUserNumThd*, то RNC делает вывод, что M_n включает в себя другие шумы в дополнение к фоновому шуму, и, следовательно, не подает M_n на фильтр. Кроме того, контроллер RNC устанавливает счетчик в ноль, сохраняет текущий фоновый шум и устанавливает начальное значение фильтра в текущее значение фонового шума. Процедура обновления фонового шума заканчивается. RNC ждет следующего значения RTWP и общую величину загрузки восходящей линии связи;

- если текущее значение ENU в соте меньше или равно значению *BGNEqUserNumThd*, то RNC передает M_n на фильтр и выполняет следующий шаг.

4б. RNC определяет, больше ли общее измеренное значение загрузки, восходящей линии связи, чем пороговое значение загрузки (*BGNULLoadThd*):

- если последнее общее измеренное значение загрузки восходящей линии больше, чем значение *BGNULLoadThd*, то RNC устанавливает счетчик в ноль, сохраняет текущий фоновый шум и устанавливает начальное значение фильтра в текущее значение фонового шума. Процедура обновления фонового шума заканчивается. RNC ожидает следующего значения RTWP и общей величины загрузки восходящей линии связи;

- если последнее общее измеренное значение загрузки восходящей линии меньше или равно значению *BGNULLoadThd*, то RNC подает M_n на фильтр и выполняет следующий шаг.

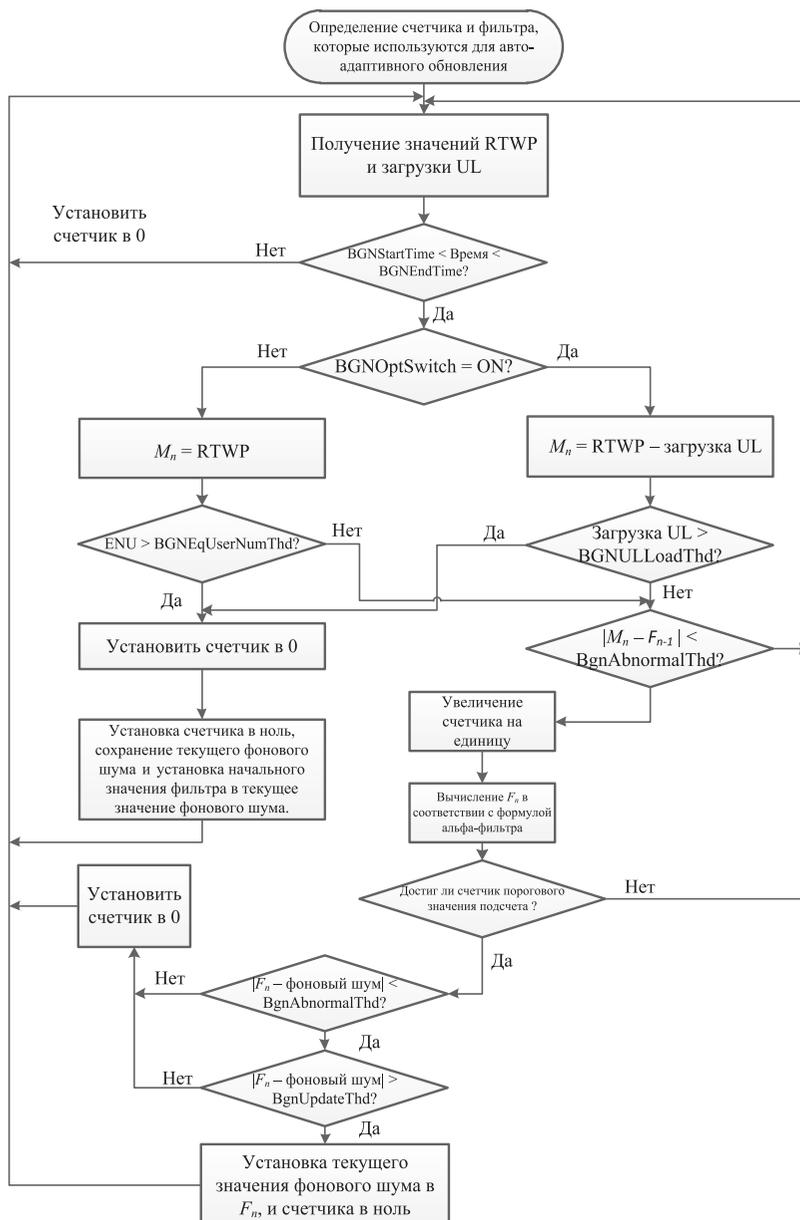


Рис. 5. Автоматический адаптивный алгоритм обновления фонового шума

5. RNC проверяет: разность $|M_n - F_n - 1|$ меньше, чем критическое пороговое значение ($BgnAbnormalThd$), или нет. Если разность меньше, чем это пороговое значение, то RNC увеличивает счетчик на единицу, вычисляет F_n в соответствии с формулой альфа-фильтрации, и выполняет следующий шаг. В противном случае RNC ожидает следующего значения RTWP.

6. RNC проверяет, достиг ли счетчик порогового значения подсчета. Если достиг, RNC выполняет следующий шаг. В противном случае RNC ожидает следующего значения RTWP.

7. RNC проверяет: модуль разности ($F_n - \text{фоновый шум}$) меньше, чем значение $BgnAbnormalThd$, или нет. Целью является избежание помех и предотвращение резкого из-

менения RTWP. Если данная разность меньше, чем значение $BgnAbnormalThd$, то RNC выполняет следующий шаг. В противном случае RNC устанавливает счетчик в ноль и ждет следующего значения RTWP.

8. RNC проверяет: модуль разности ($F_n - \text{фоновый шум}$) больше, чем значение $BgnUpdateThd$ или нет. Цель заключается в предотвращении частых обновлений фонового шума на интерфейсе Iub. Если разность больше, чем значение $BgnUpdateThd$, то RNC устанавливает текущий фоновый шум в F_n , устанавливает счетчик в ноль и ждет следующего значения RTWP. В противном случае RNC сразу устанавливает счетчик в ноль и ждет следующего значения RTWP.

Заключение

В данной работе были рассмотрены функции управления загрузкой соты, используемые на реальных сетях, работающих по технологии WCDMA. Был представлен и детально рассмотрен один из возможных алгоритмов управления загрузкой соты, а именно автоматический адаптивный алгоритм обновления фонового шума, обеспечивающий его ограничение в изменяющихся условиях окружающей среды.

Дальнейшее направление исследований по данной тематике связано с модификацией представленного алгоритма [10]. Вектор исследования будет направлен на введение настраиваемых параметров, которые будут обеспечивать адаптивно-интеллектуальное поведение алгоритма в зависимости от состояния радиоканала [11].

Литература

- Севериненко А.М., Сызранцев Г.В., Безуглый А.В., Даниленко А.Н., Иншин Г.В. Модель функционирования автоматической системы сетевого технологического управления первичной сетью связи высокочастотной системы связи специального назначения // Вопросы оборонной техники. Серия 16. Технические средства противодействия терроризму. М. НТЦ «Информтехника». СПб.: Изд. Любавич, 2013. Вып. 11-12. – С. 90-95.
- Слюсар В.И., Титов И.В. Метод коррекции характеристик передающих каналов активной ЦАР // Известия высших учебных заведений. Радиоэлектроника. Т.47, №8, 2004. – С. 9-13.
- Andrews J.G., Ganti R.K., Haenggi M., Jindal N., Weber S. A primer on spatial modeling and analysis in wireless networks // IEEE Communications Magazine. Vol. 48, No. 11, 2010. – P. 156-163. doi: 10.1109/MCOM.2010.5621983.
- Skowron M., Namal S., Pellikka J., Gurtov A. Inter Technology Load Balancing Algorithm for Evolved Packet System // In Proceedings of the 76th IEEE Vehicular Technology Conference. VTC Fall 2012, Quebec City, Canada, 2012. – P. 1-5. doi: 10.1109/VTCFall.2012.6399169.
- 3GPP TS 25.321 Medium Access Control (MAC) Protocol Specification.
- Tantawy M.M., Eldien A.S.T., Zaki R.M. A novel cross-layer scheduling algorithm for Long Term-Evolution (LTE) wireless system // Canadian Journal on Multimedia and Wireless Networks. Vol. 2, No. 4, 2011. – P. 57-62.
- Li J., He Yi., Tie Yu., Guan L. Optimal Resource Allocation for LTE Uplink Scheduling in Smart Grid Communications // International Journal of Wireless Communications and Mobile Computing. Vol. 1, No. 4, 2013. – P. 113-118.
- 3GPP TS 25.433 UTRAN Iub interface Node B Application Part (NBAP) Signaling.
- Федосов В.П., Нестеренко А. К. Цифровая обработка сигналов в LabVIEW. М.: ДМК Пресс, 2007. – 456 с.
- Li J., He Yi., Tie Yu., Guan L. Optimal Load Balancing Algorithm for Multi-Cell LTE Networks // International Journal of Wireless Communications and Mobile Computing. Vol. 2, Issue 2, 2014. – P. 23-29.
- Indhurani S., Suganiya N. Survey of Optimal Load Balancing Algorithm for Multi-Cell LTE Networks // SSRG International Journal of Mobile Computing & Application (SSRG-IJMCA). Vol. 3, Issue 2, 2016. – P. 21-24.

Получено 15.12.2016

Севериненко Андрей Михайлович, соискатель Кафедры технологий исследований и инноваций специальной связи. ФГБОУ ВО «Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики». Тел.: +7-926-293-22-00, E-mail: andrey.severinenko@gmail.com

METHODS TO CONTROL THE LOADING OF AN UPLINK LINE IN A MOBILE RADIO NETWORK

Severinenko A.M.

*Povolzhskiy State University of Telecommunication and Informatics, Samara, Russian Federation
E-mail: andrey.severinenko@gmail.com*

In this article considers the functions for the control of cells load used on real networks of WCDMA technology, including: Potential User Control, Intelligent Access Control, Call Admission Control, Inter-Frequency Load Balancing Based on Configurable Load Threshold, Intra-frequency Load Balancing, Load Reshuffling, Overload Control. The basic parameters are measured by means of a Base

Station and Radio Network Controller for the cell load testing. Examples are offered for the characteristics of the load. It is shown that the uplink operating load level is one of the main factors for the application of control algorithms. The issues of measurement results processing are discussed. There is proposed and reviewed in detail the automatic adaptive algorithm update of background noise, ensuring its limitation in changing environmental conditions. The promising directions for further development of the proposed approach are identified.

Keywords: mobile radio, traffic management, measuring of the load in the cell, the functions for load control, the algorithm of background noise update

DOI: 10.18469/ikt.2017.15.1.10

Severinenko Andrey Mihailovich. Povolzhskiy State University for Telecommunications and Informatics, 23 L. Tolstogo str., Samara, 443010, Russian Federation; PhD student of the Department of Technology, Research and Innovation for Special Communications. Tel. +79262932200. E-mail: andrey.severinenko@gmail.com

References

1. Severinenko A.M., Syzrantsev G.V., Bezuglyi A.V., Danilenko A.N., Inshin G.V. Model funktsionirovaniya avtomaticheskoy sistemy setevogo tehnologicheskogo upravleniya pervichnoy setju svjazi vysokodinamichnoy sistemy svjazi spetsialnogo naznachenija [Model of automatic network system of technological management the primary network connection, dynamic communication systems for special purposes]. *Voprosy oboronnoy tehniki. Seriya 16. Tehnicheskie sredstva protivodejstviya terrorizmu* [Enginery Problems. Scientific and Technical Journal. Series 16. Anti-Terrorist Engineering Means], 2013, no. 11–12, pp. 90-95.
2. Slyusar V.I. Titov I.V. Metod korrektsii harakteristik peredajuschih kanalov aktivnoy CAR [Correction of characteristics of transmitting channels in an active digital antenna array]. *Izvestija Vysshih Uchebnyh Zavedeniy. Radioelektronika*, 2004, vol. 47, no. 8, pp. 9-13.
3. Andrews J.G., Ganti R.K., Haenggi M., Jindal N., Weber S. A primer on spatial modeling and analysis in wireless networks. *IEEE Communications Magazine*, 2010, vol. 48, no. 11, pp.156-163. doi: 10.1109/MCOM.2010.5621983.
4. Skowron M., Namal S., Pellikka J., Gurtov A. Inter Technology Load Balancing Algorithm for Evolved Packet System. *Proceedings of the 76th IEEE Vehicular Technology Conference, VTC Fall 2012*, Quebec City, Canada, 2012, pp. 1-5. doi: 10.1109/VTCFall.2012.6399169.
5. 3GPP TS 25.321 «Medium Access Control (MAC) protocol specification».
6. Tantawy M.M., Eldien A.S.T., Zaki R.M. A novel cross-layer scheduling algorithm for Long Term Evolution (LTE) wireless system. *Canadian Journal on Multimedia and Wireless Networks*, 2011, vol. 2, no. 4, pp. 57-62.
7. Jian Li, Yifeng He, Yun Tie, Ling Guan. Optimal Resource Allocation for LTE Uplink Scheduling in Smart Grid Communications. *International Journal of Wireless Communications and Mobile Computing*, 2013, vol. 1, no. 4, pp. 113-118.
8. 3GPP TS 25.433 «UTRAN Iub interface Node B Application Part (NBAP) signaling».
9. Fedosov V.P., Nesterenko A.K. *Tsyfrovaja obrabotka signalov v LabVIEW: uchebnoe posobie, pod reaksiey V.P. Fedosova* [Digital signal processing by LabVIEW: Stud. Manual, ed. by V.P. Fedosov]. Moscow: DMK Press, 2007, 456 pp.
10. Jian Li, Yifeng He, Yun Tie, Ling Guan. Optimal Load Balancing Algorithm for Multi-Cell LTE Networks. *International Journal of Wireless Communications and Mobile Computing*, 2014, vol. 2, issue 2, pp. 23-29.
11. Indhurani S., Suganiya N. Survey of Optimal Load Balancing Algorithm for Multi-Cell LTE Networks. *SSRG International Journal of Mobile Computing & Application (SSRG-IJMCA)*, 2016, vol. 3, no. 2, pp. 21-24.

Received 15.12.2016