

ЭВОЛЮЦИЯ ПРОЦЕДУР ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ В СЕТЯХ ПОДВИЖНОЙ РАДИОСВЯЗИ

Г. А. Фокин

Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций
им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, Санкт-Петербург, 193232, Российская Федерация
Адрес для переписки: grihafokin@gmail.com

Аннотация—В настоящей работе анализируются особенности эволюции процедур позиционирования в сотовых системах подвижной радиосвязи 2G – 4G. Анализ показывает, что вместе с совершенствованием архитектуры и методов сетевого позиционирования появлялись и новые специальные механизмы, и процедуры обмена данными для сбора и обработки первичных измерений при определении местоположения. **Предмет исследования.** Статья посвящена обзору эволюционного развития процедур позиционирования в сетях подвижной радиосвязи второго, третьего и четвертого поколений для решения задач определения местоположения средствами сетевой инфраструктуры. **Метод.** Сопоставительный анализ методов и средств сетевого позиционирования, проведенный в ходе обзора эволюции процедур 2G – 4G, позволил выявить тенденции совершенствования протоколов функционирования сетевых элементов для определения местоположения. **Основные результаты.** Результатом анализа является выявление тенденции программной реализации функционала процедур сетевого позиционирования. **Практическая значимость.** Проиллюстрированы тенденции реализации процедур сетевого позиционирования как в плоскости пользователя, так и в плоскости управления, что способствует снижению задержки в предоставлении услуг геолокации.

Ключевые слова—Позиционирование, сеть радиодоступа, базовая станция, абонентский терминал, 1G, 2G, 3G, 4G, PRS, GSM, UMTS, LTE.

Информация о статье

УДК 621.396.969.36

Язык статьи – русский.

Поступила в редакцию 24.01.20, принята к печати 16.03.20.

Ссылка для цитирования: Фокин Г. А. Эволюция процедур позиционирования в сетях подвижной радиосвязи // Информационные технологии и телекоммуникации. 2020. Том 8. № 1. С. 76–89. DOI 10.31854/2307-1303-2020-8-1-76-89.

EVOLUTION OF POSITIONING PROCEDURES IN MOBILE RADIO NETWORKS

G. Fokin

The Bonch-Bruevich Saint-Petersburg State University of Telecommunications,
St. Petersburg, 193232, Russian Federation
Corresponding author: grihafokin@gmail.com

Abstract—In this paper, we analyze the evolutionary features of positioning procedures in cellular 2G - 4G mobile radio systems. The analysis shows that along with the improvement of the architecture and methods of network positioning, new special mechanisms and procedures for the exchange of data appeared for the collection and processing of primary measurements during location estimation.

Keywords—Positioning, radio access network, base station, subscriber terminal, 1G, 2G, 3G, 4G, PRS, GSM, UMTS, LTE.

Article info

Article in Russian.

Received 24.01.20, accepted 16.03.20.

For citation: Fokin G.: Evolution of Positioning Procedures in Mobile Radio Networks // Telecom IT. 2020. Vol. 8. Iss. 1. pp. 76-89 (in Russian). DOI 10.31854/2307-1303-2020-8-1-74-86.

Введение

Эволюция сетей подвижной радиосвязи (СПРС) продолжается уже несколько десятилетий, и согласно плану развития IMT-2020 (*International Mobile Telecommunications*) на рубеже очередной декады ожидается переход от пилотных зон и опытных фрагментов к коммерческому использованию сетей пятого поколения 5G, экосистема которых на сегодняшний день рассматривается как инфраструктурная основа цифровой экономики [1, 2]. IMT-системы будущего должны поддерживать новые сценарии использования, в числе которых приложения, требующие подключения большого количества устройств [3], а также приложения, обладающие сверхнизкой задержкой [4] и высокой надежностью [5]. Вместе с развитием технологий радиодоступа [6] и соответствующего оборудования [7] совершенствуются также и методы анализа перспективных гетерогенных сетей [8]. Потенциал развертывания сетей 5G для приложений автоматизации в различных сферах жизнедеятельности основан в том числе и на новых возможностях сетевого позиционирования устройств, образующих сеть, так как использование данных о местоположении при управлении сетевой организацией позволяет существенным образом усовершенствовать возможности установления и ведения радиосвязи, и, таким образом, повысить связность [9] и эффективность распределения ресурсов [10] гетерогенных сетей в составе перспективной экосистемы 5G. Дополнительными факторами, способствующими совершенствованию технологий сетевого позиционирования являются миллиметровый диапазон радиоволн [11], а также режим непосредственной радиосвязи устройств друг с другом D2D [12, 13] в условиях сверхплотных радиосетей [14].

В настоящем исследовании проводится анализ эволюции механизмов и процедур сетевого позиционирования устройств в существующих СПРС 2G – 4G по результатам которого формулируются тенденции развития технологий геолокации в сетях подвижной радиосвязи 5G.

Процедуры позиционирования в сетях 2G – 4G

В англоязычной литературе существуют два термина для обозначения определения местоположения: *positioning* – позиционирование (определение

географических координат объекта; позиция может быть представлена точкой в декартовых координатах местоположения объекта) и localization – локализация (отображение координат на карту; идентификация местоположения на местности /электронной карте), которые обычно используются как синонимы [15]. Позиционирование в СПРС основано на известных принципах радиолокации и радионавигации для определения координат объектов с помощью радиоволн; отличие радиолокации от радионавигации заключается в том, что в радионавигации более активную роль играет объект, координаты которого измеряются. При позиционировании абонентских терминалов (АТ) используются опорные станции с известным местоположением: базовые станции (БС) в СПРС, или спутники в ГНСС (Глобальная Навигационная Спутниковая Система). Позиционирование в СПРС используется в случаях, когда прием сигнала ГНСС затруднен, например, в условиях плотной городской застройки и/или внутри помещений.

Для сбора первичных измерений в СПРС может использоваться как канал «вниз» DL (*Downlink*) от БС к АТ, так и канал «вверх» UL (*Uplink*) от АТ к БС. После сбора первичных измерений выполняется их обработка, в результате которой с использованием некоторого алгоритма и знания координат опорных базовых станций осуществляется вычисление координат АТ.

В зависимости от того, где производятся вычисления, различают позиционирование с вычислениями в АТ и в сети. При позиционировании с вычислениями в терминале АТ производит оценку координат самостоятельно на основе первичных измерений, полученных от передающих опорных БС или спутников; вспомогательные данные сопровождения (координаты опорных станций) поступают из сети. При позиционировании с вычислениями в сети оценка координат производится сетевым сервером геолокации; первичные измерения при этом могут формироваться двумя способами:

- а) АТ передает сигналы, по которым опорные БС выполняют первичные измерения;
- б) опорные БС передают сигналы, по которым АТ выполняет первичные измерения и отправляет их обратно в сеть.

При ОМП в СПРС наибольшее распространение получил способ позиционирования с вычислениями в опорной сети; такой подход обеспечивает централизованное управление сервисами мобильной геолокации.

В зависимости от степени вовлечения АТ и сетевой инфраструктуры – опорных БС и сервера геолокации – различают следующие способы позиционирования:

- а) на основе мобильной станции (*Mobile-based*) без участия сетевой инфраструктуры: АТ измеряет уровень сигнала и определяет местоположение независимо от сети;
- б) с поддержкой сети (*Network-assisted*): процесс ОМП происходит в АТ, однако АТ получает поддержку от сети;
- в) с поддержкой АТ (*MS-assisted*): АТ измеряет уровни принимаемых от БС сигналов, а сеть определяет МП АТ;
- г) на базе сети (*Network-based*): сеть выполняет все функции, связанные с определением местоположения.

Каждый из перечисленных способов ОМП поддерживается одним или несколькими методами позиционирования, которые постоянно развиваются и/или дополняются новыми методами, позволяющими устранить или минимизировать недостатки предыдущих.

Далее рассмотрим эволюцию сетевой организации процедур позиционирования в СПРС.

Сетевая организация процедур позиционирования в **СПРС 2G GSM** представлена на рис. 1 [16].

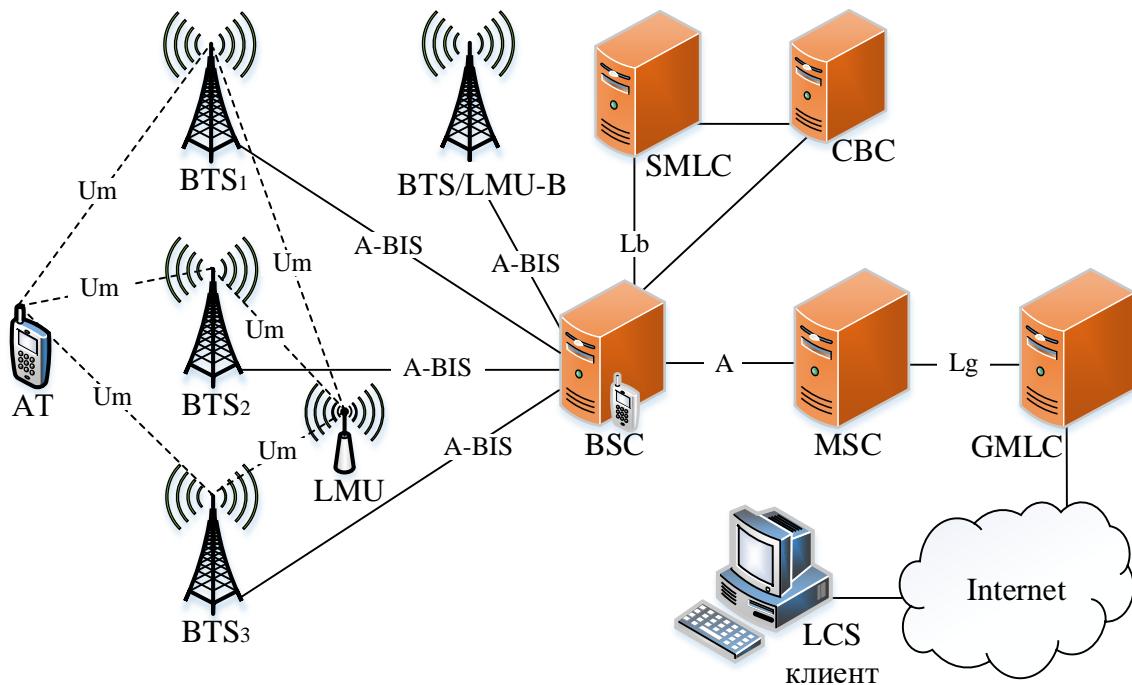


Рис. 1. Сетевая организация позиционирования в СПРС 2G GSM

Для поддержки услуг геолокации LCS (*Location Service*) в сети радиодоступа GERAN было добавлено два новых модуля: сервисный центр позиционирования SMLC (*Serving Mobile Location Center*) и модуль измерения местоположения LMU (*Location Measurement Unit*). В ядро сети GSM был добавлен третий элемент – шлюзовой центр позиционирования GMLC (*Gateway Mobile Location Center*).

Сервисный центр позиционирования SMLC является частью подсистемы БС BSS (*Base Station Subsystem*) и может быть отдельным модулем, или составной частью BTS. SMLC принимает и транслирует запрос на позиционирование к AT, когда инициатором ОМП является сеть; и принимает запрос на позиционирование от AT, когда инициатором ОМП является AT. SMLC осуществляет сбор измерений, сделанных AT и модулями LMU, а также измерений ГНСС для позиционирования A-GNSS. SMLC выбирает метод обработки измерений с учетом требований клиента LCS. LCS клиент представляет собой ПО, которое может функционировать как в AT, так и в SMLC; если LCS клиент работает вне инфраструктуры сети, GMLC служит для установления связи с СПРС. SMLC также отправляет данные сопровождения позиционирования в центр широковещательной рассылки

CBC (*Cell Broadcast Center*) для поддержки позиционирования из категории MS-based.

Модули измерения местоположения LMU бывают двух типов:

- а) отдельно-стоящий модуль LMU-A оборудован приемником GNSS и ведет прямой обмен с BTS по радиоинтерфейсу Um;
- б) интегрированный в BTS модуль LMU-B ведет обмен с BSC по интерфейсу A-BIS.

Шлюзовой центр позиционирования GMLC служит для установления связи с GERAN в случае, если LCS клиент работает вне СПРС.

Сетевая организация процедур позиционирования *A-GPS* в сети 2G GSM с поддержкой от СПРС представлена на рис. 2 [16].

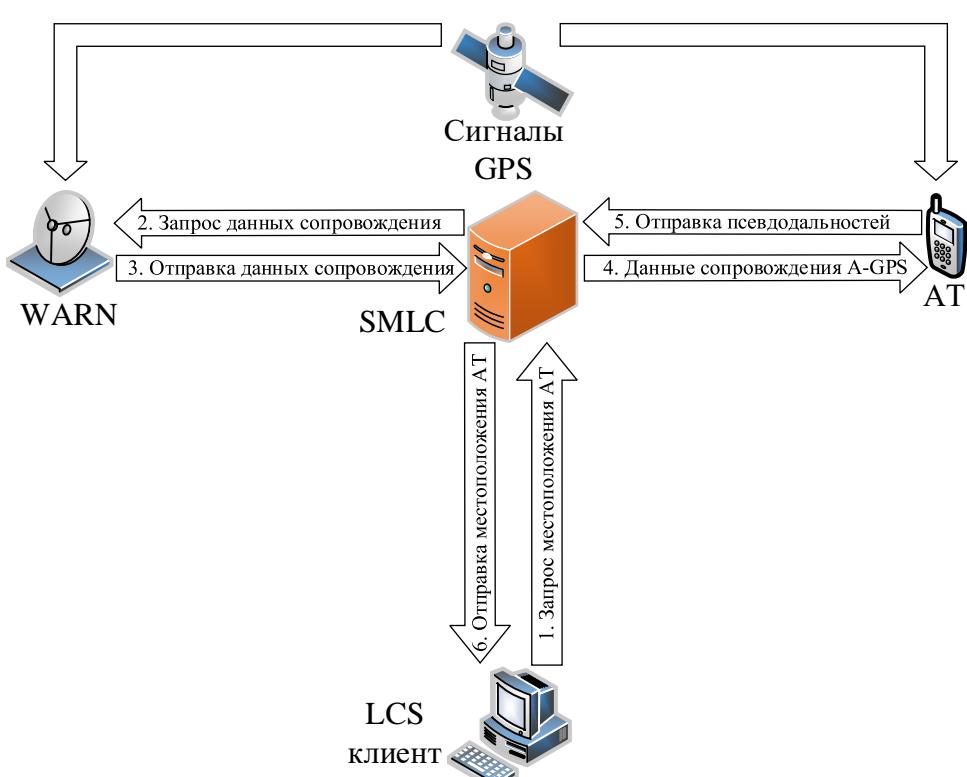


Рис. 2. Сетевая организация позиционирования в СПРС 2G GSM методом A-GPS

Позиционирование AT с приемником GPS может осуществляться как в автономном режиме исключительно по сигналам GPS, так и в режиме сопровождения A-GPS (*Assisted GPS*), когда AT помимо сигналов GPS принимает данные сопровождения от СПРС. В качестве данных сопровождения может быть список доступных спутников для начальной грубой оценки местоположения AT, коррекция допплеровских сдвигов для каждого спутника, а также окна поиска кодовых последовательностей спутников. С данными сопровождения инициализация GPS приемника AT происходит значительно оперативнее. Данные сопровождения от СПРС могут также включать дифференциальные поправки DGPS (*Differential GPS*). Системы дифференциальной коррекции ГНСС DGPS служат для повышения точности ОМП за счет исправления измеренных GPS приемником псеводальностей до спутников поправками к ним, полученным извне от достоверного измерителя (опорной станции). Сеть стационарных наземных опорных станций

WARN (*Wide Area Reference Network*) служит для определения погрешности/разницы между точно известными и определенными системой GPS координатами. Опорная станция WARN формирует корректирующее сообщение, по которому вычисляются дифференциальные поправки. На рис. 2 показана упрощенная сетевая организация обмена сообщениями между LCS клиентом, SMLC, WARN и AT при позиционировании методом A-GPS категории MS-assisted. Процесс обмена начинается с отправки запроса на позиционирования LCS клиентом на сервер SMLC через шлюз GMLC. Далее сервер SMLC запрашивает и получает данные сопровождения A-GPS и дифференциальные поправки DGPS от станции WARN. Затем SMLC отправляет данные сопровождения A-GPS через центр широковещательной рассылки CBC, получив которые AT использует их для вычисления псевдодальностей до видимых спутников. Затем AT отправляет вычисленные псевдодальности на SMLC, где производится вычисление местоположения (МП) AT с использованием дифференциальной коррекции, полученной от WARN. Вычисленные координаты отправляются сервером SMLC LCS клиенту.

В 3GPP TS 04.31¹ определен протокол RRLP управления радиоресурсами LCS для GERAN. Данный протокол является частью 3-го уровня стэка протоколов GSM и служит для организации обмена сообщениями LCS между SMLC и AT. RRLP поддерживает процедуры доставки данных сопровождения (рис. 3а), измерения МП (рис. 3б), управления ошибками и реализуется пятью сообщениями:

- 1) запрос на измерение МП: используется SMLC для получения от AT измерений (при позиционировании MS-assisted) или оценок МП (при позиционировании MS-based);
- 2) ответ на запрос измерений МП: используется AT в ответ на запрос на измерение МП; содержит измерения или оценки МП, или же индикатор ошибки;
- 3) данные сопровождения: используются сервером SMLC для отправки AT данных сопровождения E-OTD или A-GPS;
- 4) подтверждение приема данных сопровождения: используется AT для подтверждения приема данных сопровождения;
- 5) ошибка протокола: используется принимающей стороной для уведомления отправителя о проблеме завершения запрошенной процедуры.

Процедура доставки данных сопровождения (рис. 3а) позволяет серверу SMLC отправлять данные сопровождения AT для сбора измерений МП (*UE-assisted*) или вычисления оценки МП (*UE-based*). Порядок обмена между SMLC и AT: SMLC отправляет AT одно или несколько сообщений с данными сопровождения; в случае ошибки приема AT отправляет в SMLC сообщение ошибки протокола, в противном случае AT отправляет сообщение подтверждения приема данных сопровождения от SMLC.

Процедура измерений (рис. 3б) позволяет SMLC запрашивать и получать промежуточные измерения и окончательные оценки МП. Порядок обмена между SMLC и AT: SMLC отправляет AT запрос на измерения; в случае ошибки AT отправляет в SMLC сообщение ошибки протокола, в противном случае AT отправляет сообщение с запрошенными измерениями.

¹ 3GPP TS 04.31, "Mobile Station (MS) – Serving Mobile Location Centre (SMLC) Radio Resource LCS Protocol (RRLP)," Rel. 1999, V8.18.0, Jun. 2007.

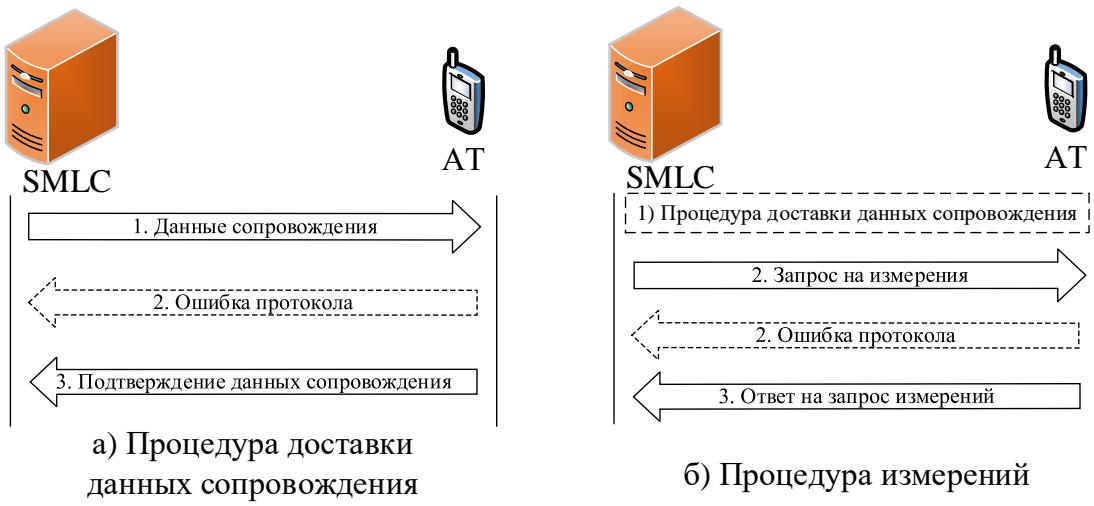


Рис. 3. Процедуры протокола RRLP:
а) доставки данных сопровождения; б) измерения местоположения

Сетевая организация процедур позиционирования в **СПРС 3G UMTS**, несмотря на то, что радиоинтерфейсы сетей GSM и UMTS отличаются принципиально, осталась похожей: сетевые модули, участвующие в сеансе позиционирования для сетей UTRAN остаются теми же, что и для GERAN: LMU, SMLC и GMLC; новым элементом является модуль позиционирования PE (*Positioning Entity*), добавленный в UTRAN для повышения точности функционирования гиперболического метода позиционирования OTDOA-PE.

Сетевая организация процедур позиционирования в **СПРС 4G LTE** с 9-го релиза описана в 3GPP TS 36.305². Сетевая архитектура позиционирования отличалась от 2G/3G тем, что сервер стал называться E-SMLC (*Evolved SMLC*) и мог поддерживать комбинированные методы позиционирования. Для LTE был разработан специальный протокол поддержки процедур позиционирования LPP (*LTE Positioning Protocol*). В отличие от предыдущих протоколов позиционирования (RRLP в GSM и RRC в UMTS), где поддерживался обмен сообщениями позиционирования исключительно в плоскости управления CP (*Control Plane*), в протоколе LPP поддерживался обмен также и в пользовательской плоскости UP (*User Plane*). Обмен сообщениями позиционирования (данными сопровождения и измерениями/оценками местоположения) в CP существует выделенные каналы управления, считается более оперативным/надежным и используется для ОМП в случаях экстренного вызова; ОМП по каналам управления может происходить без ведома абонента. Обмен сообщениями позиционирования в плоскости пользователя UP осуществляется с использованием TCP/IP соединения по протоколу SUPL (*Secure User Plane Location*), который функционирует на уровне приложений поверх LPP, RRC, RRLP. LPP является протоколом типа точка-точка и функционирует между UE и E-SMLC. Расширением LPP является протокол LPPa (*LPP Annex*), который определяет обмен сообщениями позиционирования между eNB и SMLC в CP. С точки зрения модели OSI LPP является протоколом уровня приложений, а LPPa – протоколом сетевого уровня. На рис. 4

² 3GPP TS 36.305, "Stage 2 functional specification of UE positioning in E-UTRAN," Rel. 9, V9.0.0, Sep. 2009.

показана упрощенная организация процедур обмена сообщениями позиционирования между UE и E-SMLC в плоскости управления CP, или между модулем SET (*SUPL Enable Terminal*) и SLP (*SUPL Location Platform*) в плоскости пользователя UP [16].

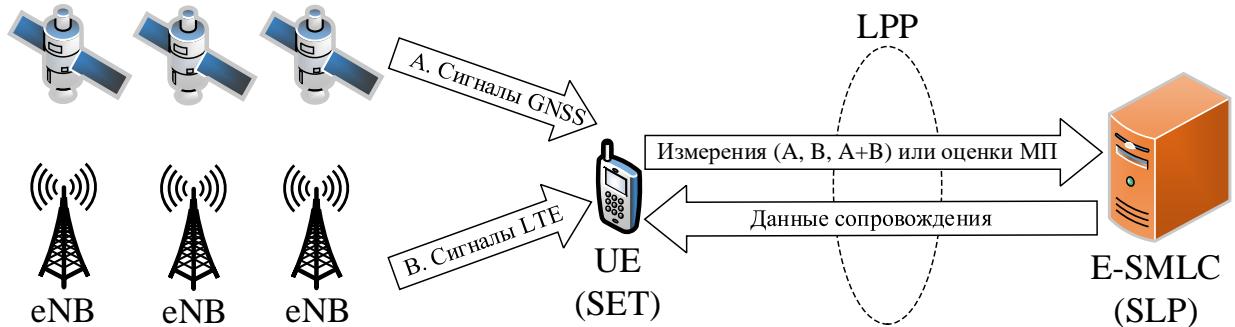


Рис. 4. Упрощенная организация процедур позиционирования с использованием LPP

На рис. 5 представлена упрощенная сетевая архитектура LTE LCS [17]. Основным элементом LCS является сервер позиционирования LS (*Location Server*). В плоскости управления LS представлен элементом E-SMLC; в пользовательской плоскости LS представлен элементом SUPL SLP. Шлюз GMLC является первым элементом в CP, на который поступает запрос клиента LCS; после регистрации и авторизации клиента (UE), шлюз GLMC отправляет запрос позиционирования на блок управления мобильностью (БУМ) MME (*Mobility Management Entity*), откуда и получает координаты UE.

Сервер позиционирования (E-SMLC или SLP) управляет процедурами обмена при позиционировании UE. В CP сообщения LPP передаются прозрачными блоками данных PDU по протоколам S1-AP через S1-MME интерфейс, NAS/RRC через Uu интерфейс [17] (рис. 6).

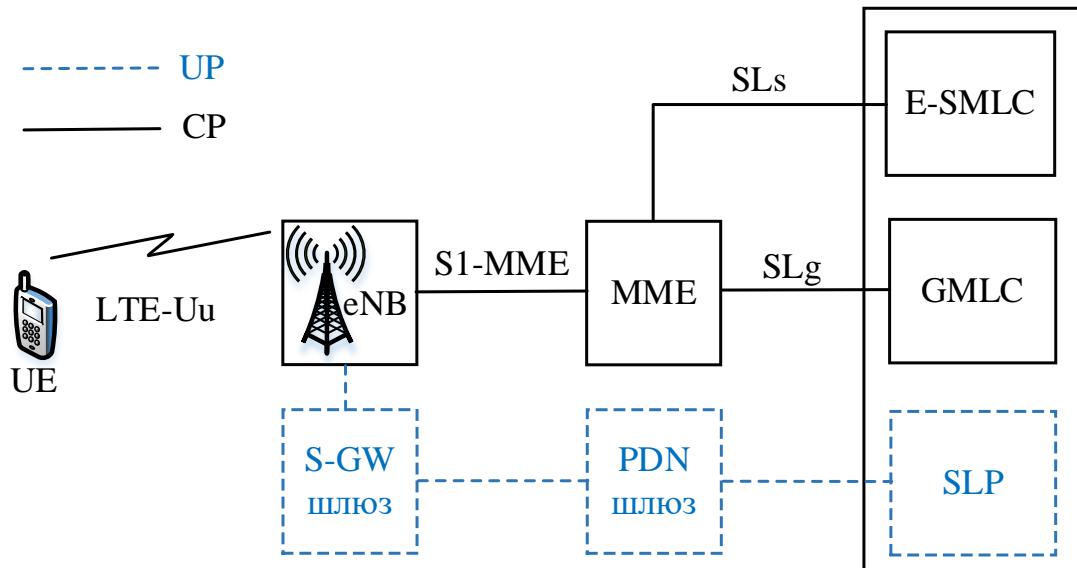


Рис. 5. Упрощенная структура LTE LCS при позиционировании методом OTDOA

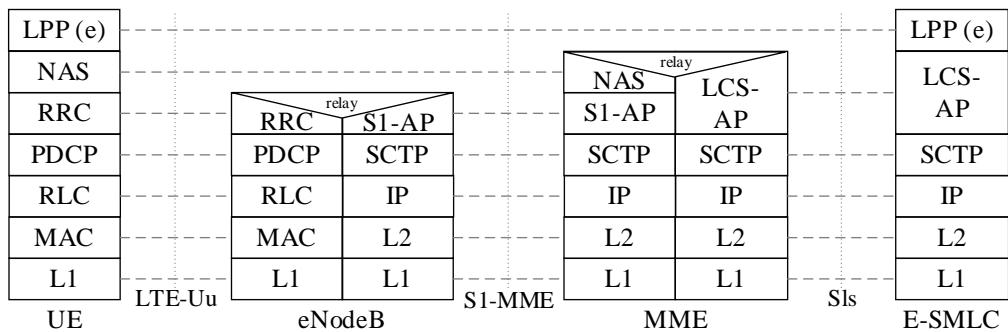


Рис. 6. Стэк протоколов LPP в плоскости управления CP: обмен м/д UE и E-SMLC

Интерфейс LTE-Uu служит для обмена между UE и eNodeB по радиоканалу. Сообщения LPP в UL/DL передаются в пакетах подуровня RRC. Интерфейс S1-MME служит для организации обмена между eNodeB и БУМ MME. Интерфейс S1s служит для организации обмена между MME и E-SMLC. В UP сообщения LPP передаются согласно рис. 7 [17].

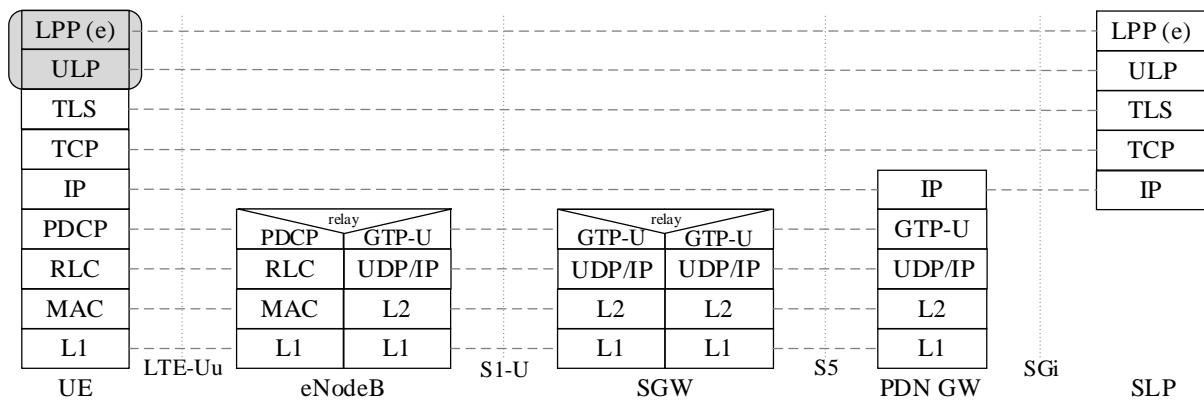


Рис. 7. Стэк протоколов LPP в плоскости пользователя: обмен м/д UE и SLP

Протокол LPPa служит для обмена между eNB и E-SMLC и прозрачен для БУМ; стэк протоколов между E-SMLC и eNodeB представлен на рис. 8. По протоколу LPPa от eNB к E-SMLC могут передаваться PCI нескольких сот, временная метка eNB и координаты eNB.

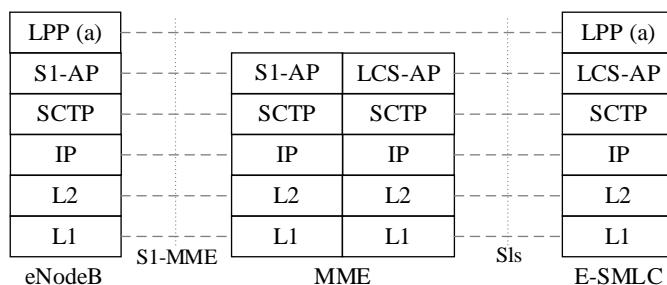


Рис. 8. Стэк протоколов LPPa: обмен м/д E-SMLC и eNodeB

Протокол LPP использует шесть типов процедур, которые можно разделить на три группы обмена сообщениями: о возможностях/поддерживаемых методах

позиционирования; сопровождения сеанса позиционирования; измерениями/оценками МП. На рис. 9 показан пример процедур LPP, инициированных сетью NI-LR (*Network Initiated Location Request*).



Рис. 9. Процедуры протокола LPP

Сначала выполняется процедура обмена сообщениями о возможностях/поддерживаемых методах позиционирования (рис. 9а); если инициатором сеанса позиционирования является сеть, запрос выполняет сервер SMLC; UE отвечает на запрос отправкой сообщения о возможностях/поддерживаемых методах позиционирования; транзакция заканчивается подтверждением приема ACK от SMLC. Затем UE отправляет в SMLC запрос данных сопровождение на сеанс позиционирования (рис. 9б); сервер отправляет в ответ необходимые данные сопровождения; транзакция заканчивается подтверждением приема ACK от UE. После отправки данных сопровождения сервер SMLC выполняет запрос данных местоположения от UE (рис. 9в); AT отправляет измерения (при позиционировании UE-assisted) или оценки МП (при позиционировании *UE-based*); транзакция заканчивается подтверждением приема ACK от SMLC. Если инициатором ОМП является устройство, UE начинает сеанс LPP и отправляет запрос на SMLC.

Рассмотрим процедуры позиционирования методом OTDOA. При позиционировании UE-а AT отправляет измерения RSTD на сервер LS, который выполняет вычисления координат AT; при позиционировании UE-б AT по измерения RSTD самостоятельно выполняет вычисления своих координат. Порядок информационного обмена сигналами на установление и ведение сеанса позиционирования в пользовательской плоскости инвариантен к радиоинтерфейсу (GSM, UMTS, LTE) и стандартизирован как SUPL в 3GPP TS 36.305³. В плоскости управления при позиционировании OTDOA происходит следующий обмен: БУМ MME получает запрос на позиционирование конкретной UE от GMLC или UE; затем БУМ отправляет запрос позиционирования на E-SMLC; E-SMLC обрабатывает полученный запрос: передает сигналы измерений OTDOA конкретной UE; после этого E-SMLC возвращает данные измерений на БУМ. В пользовательской плоскости происходит обмен данными измерений OTDOA между UE и SLP напрямую⁴.

³ 3GPP TS 36.305, "Stage 2 functional specification of UE positioning in E-UTRAN," Rel. 9, V9.10.0, Jan. 2013.

⁴ Там же.

Процедуры LPP между LS и UE специфицированы в 3GPP TS 36.355⁵ и включают установление сеанса позиционирования, обмен данными сопровождения сеанса позиционирования и измерениями координат (рис. 10).

Последовательность включает следующие процедуры:

- 1) LS отправляет запрос UE о возможностях измерений OTDOA;
- 2) UE отвечает LS сообщением, в котором содержится поддерживающий UE режим измерений OTDOA:
 - а) в режиме UE-a: UE отправляет измерения RSTD на сервер LS, который выполняет вычисления координат AT; в режиме UE-b: UE по измерениям RSTD самостоятельно выполняет вычисление своих координат;
 - б) диапазоны частот, поддерживаемые UE для измерений RSTD;
 - в) поддержка измерений RSTD на разных частотах;
- 3) LS отправляет UE данные сопровождения; данные сопровождения OTDOA включают данные об опорной и соседних сотах;
- 4) LS отправляет UE запрос на измерения RSTD; запрос на измерения RSTD включает следующие параметры:
 - а) тип данных измерений (в режиме UE-а это измерения параметров OTDOA по протоколу LPP);
 - б) требуемая точность позиционирования, которая достигается сервером LS после обработки измерений RSTD, сделанных UE;
 - в) время измерений; этот параметр устанавливает ограничение на интервал времени с момента запроса сервером измерений до момента их получения (измеряется в секундах);
 - г) параметры PPB: LS информирует UE о таких условиях PPB в радиолинии как многолучевость, наличие/отсутствие прямой видимости;
- 5) UE выполняет измерения RSTD используя данные сопровождения и параметры запроса на измерения, полученные от LS ранее. После измерений UE отправляет их на сервер. Состав отправки включает следующие данные:
 - а) временная метка измерений в форме параметра SFN;
 - б) идентификатор опорной сотовой PCI, использованной для расчета по методу OTDOA;
 - в) метрика качества измерений TOA от опорной сотовой;
 - г) список измерений от соседних сотов: идентификаторы соседних сотов (PCI), измерения RSTD от соседних сотов, метрики качества измерений TOA от соседних сотов. В качестве метрики качества измерений TOA может быть СКО или оценка ОСШ.

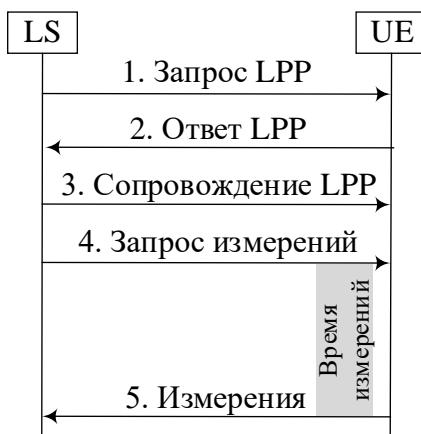


Рис. 10. Пример последовательность процедур LPP между LS и UE при OTDOA

⁵ 3GPP TS 36.355 "LTE Positioning Protocol (LPP)," Rel. 15, V15.5.0, Sep. 2019.

Обмен данными сопровождения OTDOA между E-SMLC и eNodeB по протоколу LPPa следующие параметры:

- а) PCI;
- б) ширина полосы сигналов PRS BW_{PRS} , индекс конфигурации PRS I_{PRS} , длина циклического префикса N_{CP} , число последовательных кадров PRS N_{PRS} , число антенных портов;
- в) временная метка SFN;
- г) координаты антенны;
- д) конфигурация отключения сигналов PRS.

Протокол LPP поддерживает позиционирование в режиме UE-а, когда вычисление координат UE осуществляется на сервере LS. Расширение протокола LPRe поддерживает позиционирование в режиме UE-б, когда вычисление координат UE осуществляется AT, а обмен данными позиционирования SUPL реализуется в UP специальными блоками EPDU.

Заключение

Проведенный анализ показал усложнение сетевой организации и процедур позиционирования в СПРС вследствие увеличения числа используемых методов и операций обработки первичных измерений.

Отличительными тенденциями развития технологий позиционирования в СПРС 5G являются следующие. Во-первых, множественные технологии радиодоступа RAT (*Radio Access Technology*) в гетерогенной сети могут быть совместно использованы для решения задачи ОМП. Во-вторых, облачные и гравитационные вычисления, основанные на концепции SDN (*Software Defined Network*) и виртуализации сетевых функций NFV (*Network Function Virtualization*) привносят гибкость в архитектуру СПРС; необходимость в отдельных элементах сетевого позиционирования при этом отпадает, их функционал может быть реализован программно. В-третьих, разделены функции плоскости управления СР и плоскости пользователя UP. Позиционирование может быть реализовано как в СР, так и в UP, в зависимости от предъявляемых требований KPI и дополняют друг друга; в режиме реального времени ОМП может быть реализовано в UP для снижения задержки.

Литература

1. Бородин А. С., Кучеряный А. Е. Сети связи пятого поколения как основа цифровой экономики // Электросвязь. 2017. № 5. С. 45–49.
2. Тихвинский В. О. Технологии 5G – базис мобильной инфраструктуры цифровой экономики // Электросвязь. 2018. № 3. С. 48–55.
3. Кучеряный А. Е., Махмуд О. А., Парамонов А. И. Метод маршрутизации трафика в сети Интернета Вещей на основе минимума вероятности коллизий // Труды учебных заведений связи. 2019. Т. 5. № 3. С. 37–44. DOI :10.31854/1813-324 X-2019-5-3-37.
4. Махмуд О. А., Парамонов А. И., Кучеряный А. Е. Модель сети Интернета вещей как сети, толерантной к задержкам // Электросвязь. 2019. № 7. С. 43–49.
5. Кучеряный А. Е., Бородин А. С., Киричек Р. В. Сети связи 2030. // Электросвязь. 2018. № 11. С. 52–56.
6. Рыжков А. Е., Сиверс М. А., Бабкин А. С., Пыленок А. М., Трофимов А. П. Сети стандарта LTE. Развитие технологий радиодоступа. СПб.: СПбГУТ, 2015. 256 с.
7. Тихвинский В. О. Особенности построения и ЭМС-характеристики будущего оборудования сетей мобильной связи 5G // Электросвязь. 2018. № 6. С. 18–23.

8. Андреев С. Д., Кучеряный Е. А., Самуйлов К. Е. Пространственно-временной подход к анализу гетерогенных систем связи // Электросвязь. 2018. № 9. С. 20–26.
9. Нуриллоев И. Н., Парамонов А. И., Кучеряный А. Е. Метод оценки и обеспечения связности беспроводной сенсорной сети // Электросвязь. 2017. № 7. С. 39–44.
10. Кучеряный Е. А., Самуйлов К. Е. Методология распределения ресурсов в гетерогенных сетях // Электросвязь. 2018. № 4. С. 34–40.
11. Пирмагомедов Р. Я., Молчанов Д. А., Кучеряный Е. А. Исследование характеристик ячеистых сетей миллиметрового диапазона при их использовании в среде с динамической блокировкой // Электросвязь. 2019. № 11. С. 29–34.
12. Бородин А. С., Кучеряный А. Е., Парамонов А. И. Особенности использования D2D-технологий в зависимости от плотности пользователей и устройств // Электросвязь. 2018. № 10. С. 40–45.
13. Хуссейн О. А., Парамонов А. И., Кучеряный А. Е. Анализ кластеризации D2D-устройств в сетях пятого поколения // Электросвязь. 2018. № 9. С. 32–38.
14. Тонких Е. В., Парамонов А. И., Кучеряный А. Е. Анализ беспроводной сети Интернета вещей высокой плотности // Электросвязь. 2020. № 1. С. 44–48.
15. J. A. del Peral-Rosado, R. Raulefs, J. A. López-Salcedo and G. Seco-Granados, Survey of Cellular Mobile Radio Localization Methods: From 1G to 5G // In IEEE Communications Surveys & Tutorials, vol. 20, no. 2, pp. 1124-1148, Secondquarter 2018.
16. Campos R. S. Evolution of Positioning Techniques in Cellular Networks, from 2G to 4G // Wireless Communications and Mobile Computing, 2017, Art. ID 2315036, 17 pp.
17. Fischer, Observed time difference of arrival (OTDOA) positioning in 3GPP LTE // Tech. rep., Qualcomm Technologies, July 2014.

References

1. Borodin A. S., Koucheryavy A. E. Fifth generation networks as a base to the digital economy // Electrosvyaz'. 2017. No 5. pp. 45–49.
2. Tikhvinsky V. O. 5G technologies - the basis of mobile infrastructure of digital economy // Electrosvyaz'. 2018. No 3. pp. 48–55.
3. Koucheryavy A., Mahmood O. A., Paramonov A. Traffic Routing Method for the Internet of Things Based on the Minimum of Collisions Probability. Proceedings of Telecommunication Universities. 2019;5(3):37–44. (in Russ.) Available from: <https://doi.org/10.31854/1813-324X-2019-5-3-37>.
4. Mahmood O. A., Paramonov A. I., Koucheryavy A. E. odel of Internet of Things as a delay tolerant network // Electrosvyaz'. 2019. No 7. pp. 43–49.
5. Koucheryavy A.Eu., Borodin A.S., Kirichek R.V. Network 2030 // Electrosvyaz'. 2018. № 11. pp. 52–56.
6. Ryzhkov A. E., Sivers M. A., Babkin A. S., Pylenok A. M., Trofimov A. P. Seti standarta LTE. Razvitiye tekhnologiy radiodostupa. SPb.: SPbGUT. 2015. 256 s.
7. Tikhvinskii V. O. Design features and EMS-characteristics of future equipment of 5G mobile communication networks // Electrosvyaz'. 2018. No 6. pp. 18–23.
8. Andreev S. D., Koucheryavy Y. A., Samouylov K. E. Space-time analysis of heterogeneous wireless systems // Electrosvyaz'. 2018. No 9. pp. 20–26.
9. Nurilloev I. N., Paramonov A. I., Koucheryavy A. E. Method of estimation and maintenance of connectivity of the wireless sensor network // Electrosvyaz'. 2017. No 7. pp. 39–44.
10. Koucheryavy Y. A., Samouylov K. E. Resource distribution in heterogeneous networks // Electrosvyaz'. 2018. No 4. pp. 34–40.
11. Pirmagomedov R. Ya., Molchanov D. A., Koucheryavy Y. A. Analysis of the mmWave mesh networks performance in dynamic blockage conditions // Electrosvyaz'. 2019. No 11. pp. 29–34.
12. Borodin A. S., Koucheryavy A. E., Paramonov A. I. Method for developing a communication network based on D2D technologies using additional routers // Elektrosvyaz'. 2019. No 4. pp. 20–26.
13. Hussein O. A., Paramonov A. I., Koucheryavy A. E. Analysis of D2D clustering in 5G network // Electrosvyaz'. 2018. No 9. pp. 32–38.
14. Tonkikh E. V., Paramonov A. I., Koucheryavy A. E. Analysis of wireless high-density IoT network // Электросвязь. 2020. № 1. С. 44–48.

15. J. A. del Peral-Rosado, R. Raulefs, J. A. López-Salcedo and G. Seco-Granados, Survey of Cellular Mobile Radio Localization Methods: From 1G to 5G // In IEEE Communications Surveys & Tutorials, vol. 20, no. 2, pp. 1124-1148, Secondquarter 2018.
16. Campos R. S. Evolution of Positioning Techniques in Cellular Networks, from 2G to 4G // Wireless Communications and Mobile Computing, 2017, Art. ID 2315036, 17 pp.
17. Fischer, Observed time difference of arrival (OTDOA) positioning in 3GPP LTE // Tech. rep., Qualcomm Technologies, July 2014.

Фокин Григорий Алексеевич – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, grihafokin@gmail.com
Fokin Gregory – Candidate of technical sciences, docent, associate professor, The Bonch-Bruevich Saint-Petersburg State University of Telecommunications, grihafokin@gmail.com