

Информатика и вычислительная техника

УДК 621.39

DOI: 10.22363/2312-9735-2018-26-3-261-271

Процедура установления соединения по радиоканалу случайного доступа с возможностью ретрансляции

О. В. Семенова*, А. С. Власкина*, Е. Г. Медведева*,
Э. Р. Зарипова*, И. А. Гудкова*[†]

* *Кафедра прикладной информатики и теории вероятностей
Российский университет дружбы народов
ул. Миклуко-Маклая, д. 6, Москва, Россия, 117198*

[†] *Институт проблем информатики
Федеральный исследовательский центр «Информатика и управление» РАН
ул. Вавилова, д. 44, корп. 2, Москва, Россия, 119333*

В связи с быстро растущим числом абонентских устройств, функционирующих в сети беспроводной мобильной связи LTE (Long-Term Evolution), возникла необходимость поиска методов снижения пользовательской и обслуживающей сигнальной нагрузки. Для сокращения объёмов сетевых ресурсов создаются правила, упрощающие взаимодействие устройств внутри сети. В данной статье исследуется процедура установления соединения между устройством и базовой станцией LTE. Одно из возможных решений задачи передачи малых данных, генерируемых при межмашинном соединении (M2M, Machine-to-Machine), было представлено в техническом отчёте TR 37.868 консорциума 3GPP (3rd Generation Partnership Project). Данное предложение подразумевает использование радиоканала случайного доступа RACH (Random Access Channel) для соединения между устройствами. Эффективное использование процедуры установления соединения по радиоканалу случайного доступа основывается на анализе вероятностно-временных характеристик, таких как вероятность успешного и неуспешного установления соединения, средняя задержка успешного установления соединения. В данной статье исследована зависимость перечисленных характеристик от вероятности коллизии, возможной при передаче преамбулы, и граничных условий на количество возможных ретрансляций сообщений, используемых в процедуре установления соединения. Точность и достоверность расчётов, получаемых при использовании предлагаемой аналитической модели, была проверена с помощью имитационного моделирования на языке R.

Ключевые слова: межмашинное соединение, канал случайного доступа (RACH), коллизия, среднее время установления соединения, вероятность успешного установления соединения

1. Введение

Современные сети связи пятого поколения 5G широко используют радиоканал случайного доступа RACH для установления соединения с целью передачи данных по технологиям межмашинного взаимодействия [1]. Высокоприоритетная сигнальная конструкция в процедуре установления соединения является синхронной и требует выполнения соответствий по допустимой задержке. Важно анализировать ключевые вероятностно-временные метрики функционирования сети, представленные в релизе 11 стандарта TR 37.868 [2] консорциума 3GPP, такие как время реагирования (задержка) датчика от момента инициации соединения до момента начала передачи данных, вероятность успешного установления соединения и вероятность неуспешного установления соединения. Процедура передачи сигнальных сообщений заключается

Статья поступила в редакцию 6 апреля 2018 г.

Публикация подготовлена при поддержке Программы РУДН «5-100» и при финансовой поддержке РФФИ в рамках научных проектов № 16-07-00766 и № 18-07-00576.

в пересылке сообщений между базовой станцией (eNB, eNodeB) и конечным устройством (UE, User Equipment). Соединение устанавливается при успешной пересылке четырёх сообщений (Msg1, Msg2, Msg3, Msg4). При этом в беспроводных сетях LTE (Long-Term Evolution) успешное выполнение процедуры подразумевает корректную передачу последнего сообщения (Msg4).

Разработчиками ведутся исследования по оптимизации алгоритмов взаимодействия устройств, направленные на эффективное использование радиоканала RACH: увеличение пропускной способности сети, успешная передача преамбул и сигнальных сообщений, эффективное использование ресурсов сети. В [3] был предложен подход к анализу процедуры установления соединения между оборудованием пользователя и базовой станцией, в [4] разработана аналитическая модель процедуры установления соединения с возможностью ретрансляции сообщений Msg1 и Msg3. Имитационное моделирование процедуры установления соединения в [5] предоставило возможность адаптировать параметры RACH для увеличения вероятности успешного соединения и уменьшения среднего времени установления соединения. В работе [6] была исследована зависимость вероятности коллизии от количества M2M-устройств в условиях быстро растущего M2M-трафика и большого количества M2M-устройств, которым необходима поддержка подключения к единой точке доступа.

Целью текущей работы является разработка аналитической модели процедуры установления соединения по радиоканалу случайного доступа RACH с возможностью ретрансляции трёх сообщений (Msg1, Msg3, Msg4) для вычисления вероятностно-временных показателей системы. В отличие от известных результатов [4, 5], в данной работе исследуется возможность ретрансляции последнего сообщения (Msg4, Connection Response), которое является подтверждённым ответом на установление соединения. Подобные подходы предлагались и ранее, например, в [7, 8], а также в работе [9], где был предложен аналитический подход к решению в замкнутой форме, продолжением которой является данное исследование.

Статья организована следующим образом. В разделе 2 описаны ключевые аспекты процедуры установления соединения по радиоканалу случайного доступа RACH, определены необходимые временные интервалы процедуры установления соединения и изменения этих интервалов в случае неуспешной передачи сообщений. Раздел 3 описывает процедуру «четырёх рукопожатий» в виде последовательной передачи четырёх сообщений, приведены формулы для расчёта показателей эффективности процедуры с учётом трёх сообщений. Численный анализ характеристик и задачи дальнейших исследований представлены в разделах 4 и 5 соответственно.

2. Процедура установления соединения

Процедура установления соединения по каналу случайного доступа RACH состоит из четырёх шагов, представленных на рис. 1, которые могут быть разделены на два этапа: этап синхронизации связи (Msg1, Msg2) и этап передачи обслуживания (Msg3, Msg4).

Инициация процедуры установления соединения начинается с отправки первого сообщения Msg1 (Preamble Transmission) [10] от устройства UE к базовой станции eNB, при этом выбирается одна из 64 возможных преамбул RACH. Значения преамбул различают запросы, поступающие от устройств. При передаче от нескольких устройств в одном временном слоте одинаковых преамбул возникает коллизия. Если M2M-устройство не получает ответа Msg2 (RAR, Random Access Response) от базовой станции, то пользовательское устройство увеличивает мощность и снова передаёт преамбулу после окончания фиксированного интервала времени. В случае успешного обмена сообщениями Msg1 и Msg2 заканчивается этап синхронизации, и M2M-устройство передаёт следующее сообщение-запрос Msg3 (Connection Request). Затем автоматический запрос повтора передачи HARQ ACK (Hybrid Automatic

Repeat Request) позволяет защитить передачу сигнальных сообщений. При успешной передаче и обработке Msg3 базовая станция отвечает сообщением-разрешением Msg4 (Connection Response). Если устройство не получило сообщение Msg4 от базовой станции, то по истечению заданного временного интервала сообщение Msg4 будет отправлено повторно. Заметим, что при достижении граничного значения количества ретрансляций преамбулы Msg1 процедура инициализации соединения считается неуспешной, при превышении порога количества ретрансляций передачи сообщений Msg3/Msg4 необходима новая передача преамбулы Msg1.

Расчёт продолжительности процедуры установления соединения по каналу RACH оценивается от начала момента инициации до начала передачи данных [3] и может быть получен суммированием соответствующих временных интервалов. В текущей работе авторы придерживаются обозначений, введённых в [4, 7]: Δ_1 — время синхронизации до передачи Msg1; T_{RAR} — время обработки, необходимое eNB для обнаружения преамбулы (Msg1); W_{RAR} — временной интервал, отведённый для ответа Msg2; $\Delta_1 + T_{RAR} + W_{RAR} + \Delta_2$ — временной интервал от начала процедуры до отправки сообщения Msg3 (при успешной пересылке сообщения Msg1); $\Delta_1 + T_{RAR} + W_{RAR} + W_{BO}$ — временной интервал от начала процедуры до повторной передачи преамбулы (при неуспешной пересылке сообщения Msg1); T_{HARQ} — временной интервал, необходимый для приёма сообщения HARQ ACK; T_{AM_4} — временной интервал перед передачей сообщения Msg4; T_{M_3} — временной интервал перед повторной передачей сообщения Msg3; T_{M_4} — временной интервал перед повторной передачей сообщения Msg4.

На рис. 1 представлена диаграмма последовательностей сообщений в процедуре установления соединения без ретрансляций с указанием временных интервалов.

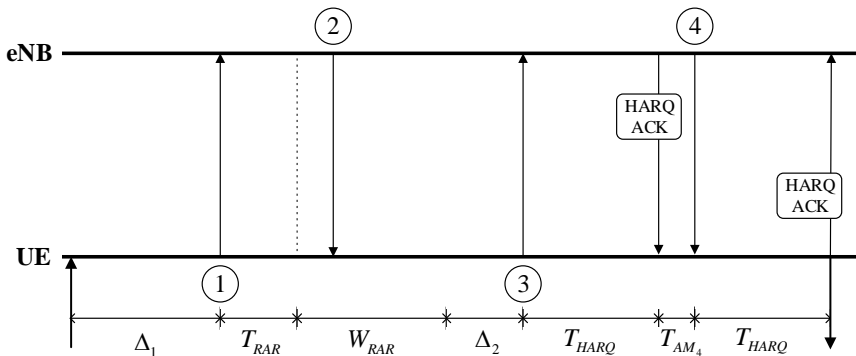


Рис. 1. Диаграмма последовательности сообщений без коллизий

3. Математическая модель процедуры установления соединения

При исследовании процедуры установления соединения по радиоканалу RACH было замечено, что наличие ретрансляций усложняет анализ вероятностно-временных характеристик из-за большого количества возможных вариантов, приводящих к установлению соединения. Для представления расчётов введём вероятностные события:

$$\begin{aligned}
 A_1 &= \{\text{Msg1 передано успешно}\}, & \overline{A_1} &= \{\text{Msg1 заблокировано}\}, \\
 A_3 &= \{\text{Msg3 передано успешно}\}, & \overline{A_3} &= \{\text{Msg3 заблокировано}\}, \\
 A_4 &= \{\text{Msg4 передано успешно}\}, & \overline{A_4} &= \{\text{Msg4 заблокировано}\}.
 \end{aligned}$$

Для процедуры установления соединения необходима успешная передача четырёх сообщений Msg1, Msg2, Msg3, Msg4 с количеством ретрансляций, не превосходящим заранее заданные граничные значения N_1, N_3, N_4 для сообщений Msg1, Msg3, Msg4 соответственно. Обозначим вероятности введённых событий:

$$\begin{aligned} P(A_1) &= 1 - p_1 = \bar{p}_1, & P(\bar{A}_1) &= p_1, \\ P(A_3) &= 1 - p_3 = \bar{p}_3, & P(\bar{A}_3) &= p_3, \\ P(A_4) &= 1 - p_4 = \bar{p}_4, & P(\bar{A}_4) &= p_4. \end{aligned}$$

На рис. 2 показана схема возможных переходов по событиям A_i и $\bar{A}_i, i \in \{1, 3, 4\}$, с указанием временных интервалов, соответствующих этим событиям.

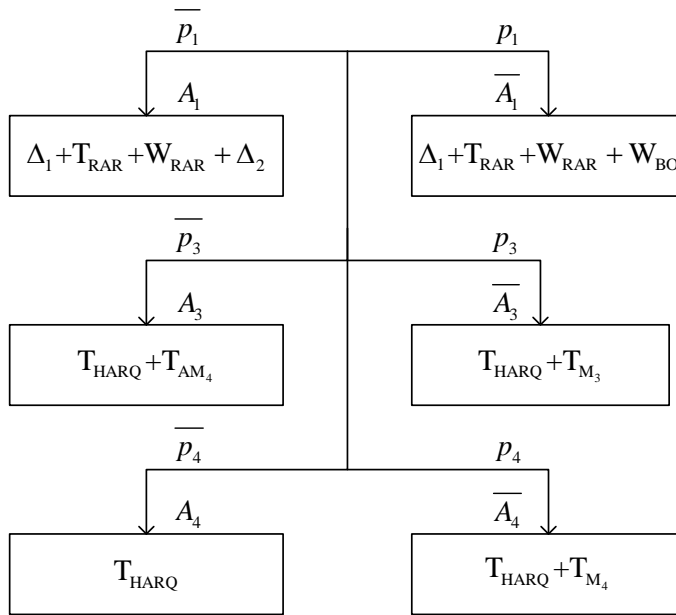


Рис. 2. Схема переходов

Введём марковскую цепь с дискретным временем $\{\xi_i, i = 0, \dots, (N_1 + 1)(N_3 + 1)(N_4 + 1)\}$ и пространством состояний

$$\begin{aligned} \mathcal{X} = \{X, n_i = \bar{N}_i, 0 \leq m_1 \leq n_1, 0 \leq m_i \leq 1, i = \{3; 4\}, 0 \leq k_{1j} \leq m_1, \\ k_1 \in \{0, 1\}, j = \{3; 4\}, k_{13} + k_{14} + k_1 = m_1, k_{14} \leq l_3 \leq k_{14} \cdot N_3, \}, \end{aligned}$$

где для краткости обозначено

$$X := \begin{pmatrix} n_1, m_1, k_{13}, k_{14}, k_1 \\ n_3, m_3, l_3 \\ n_4, m_4 \end{pmatrix}.$$

Для описания марковской цепи использованы следующие обозначения: n_1 — общее число переданных сообщений Msg1; m_1 — число успешно переданных сообщений Msg1; k_{13} — число успешно переданных сообщений Msg1, после которых соединение не установилось из-за блокировки сообщения Msg3 по причине достижения порога

N_3 ; k_{14} — число успешно переданных сообщений Msg1, после которых соединение не установилось из-за блокировки сообщения Msg4 по причине достижения порога N_4 ; k_1 — индикатор, показывающий текущее состояние последнего переданного сообщения Msg1 (при успешной последней передаче равно 1, при коллизии — 0); n_3 — общее число переданных сообщений Msg3 при последнем успешно переданном сообщении Msg1; m_3 — число успешно переданных Msg3 при последнем успешно переданном сообщении Msg1; l_3 — число переданных сообщений Msg3 (успешных и неуспешных), после которых заблокированы сообщения Msg4 по причине достижения порога N_4 ; n_4 — общее число переданных сообщений Msg4 при последнем успешно переданном сообщении Msg3; m_4 — число успешно переданных сообщений Msg4 при последнем успешно переданном сообщении Msg3.

Поскольку время установления соединения определяется как интервал времени от момента первой передачи преамбулы до момента успешно полученного Msg4, получим выражение (1) для расчёта вероятности P_X попадания в состояние X из начального состояния $\begin{pmatrix} 0, 0, 0, 0, 0 \\ 0, 0, 0 \\ 0, 0 \end{pmatrix}$:

$$P_X = p_1^{n_1 - m_1} (1 - p_1)^{m_1} p_3^{N_3 k_{13} + l_3 - k_{14} + n_3 - m_3} (1 - p_3)^{k_{14} + m_3} p_4^{N_4 k_{14} + n_4 - m_4} \times \\ \times (1 - p_4)^{m_4} C_{n_1 - 1}^{k_{13} + k_{14}} C_{k_{13} + k_{14}}^{k_{13}} \left(\sum_{i=0}^{\lfloor \frac{l_3 - k_{14}}{N_3} \rfloor} (-1)^i C_{k_{14}}^i C_{l_3 - i N_3 - 1}^{k_{14} - 1} \right)^{u(k_{14} - 1)}, \quad (1)$$

где $u(k_{14} - 1) = \begin{cases} 0, & k_{14} - 1 \leq 0 \\ 1, & k_{14} - 1 > 0 \end{cases}$ — функция Хевисайда.

Первый множитель $p_1^{n_1 - m_1}$ соответствует $n_1 - m_1$ коллизиям сообщения Msg1; множитель $(1 - p_1)^{m_1}$ — m_1 успешным передачам сообщений Msg1; множитель $p_3^{N_3 k_{13} + l_3 - k_{14} + n_3 - m_3}$ — всем неуспешным передачам Msg3; множитель $(1 - p_3)^{k_{14} + m_3}$ — всем успешным передачам Msg3; множитель $p_4^{N_4 k_{14} + n_4 - m_4}$ — всем неуспешным передачам Msg4; множитель $(1 - p_4)^{m_4}$ соответствует всем успешным передачам Msg4; биномиальные коэффициенты $C_{n_1 - 1}^{k_{13} + k_{14}}$, $C_{k_{13} + k_{14}}^{k_{13}}$, и

$\left(\sum_{i=0}^{\lfloor \frac{l_3 - k_{14}}{N_3} \rfloor} (-1)^i C_{k_{14}}^i C_{l_3 - i N_3 - 1}^{k_{14} - 1} \right)^{u(k_{14} - 1)}$ отражают число возможных путей, приводя-

щих к состоянию X . При этом последний из коэффициентов необходим только при $N_1 \geq 3$.

Обозначим пространство состояний успеха $\mathcal{X}_{\text{success}} = \{X : k_1 = m_3 = m_4 = 1\}$, а пространство состояний неудачи $\mathcal{X}_{\text{fail}} = \{X : n_1 = N_1, n_4 = N_4, m_4 = 0\}$.

Вероятности успешного P_{success} и неуспешного P_{fail} соединения вычисляются по формулам:

$$P_{\text{success}} = \sum_{X \in \mathcal{X}_{\text{success}}} P_X, \quad P_{\text{fail}} = \sum_{X \in \mathcal{X}_{\text{fail}}} P_X. \quad (2)$$

Для граничных условий $N_1 = N_3 = N_4 = 2$ формулы (2) могут быть получены в явном виде (3) и (4).

$$P_{\text{success}} = (1 - p_1)(1 - p_3^2)(1 - p_4^2) [2 - (1 - p_1)(1 - p_3^2)(1 - p_4^2)], \quad (3)$$

$$P_{\text{fail}} = [1 - (1 - p_1)(1 - p_3^2)(1 - p_4^2)]^2. \quad (4)$$

Заметим, что сумма вероятностей P_{success} и P_{fail} равна 1.

Время D_X установления соединения для состояния X соответствует сумме временных интервалов, участвующих в процедуре, и представлено формулой (5):

$$\begin{aligned}
 D_X = & k_{13} (\Delta_1 + T_{\text{RAR}} + W_{\text{RAR}} + \Delta_2) + \\
 & + k_{13} (N_3 (\Delta_1 + T_{\text{RAR}} + W_{\text{RAR}} + W_{\text{BO}})) + k_{14} (\Delta_1 + T_{\text{RAR}} + W_{\text{RAR}} + \Delta_2 + T_{\text{HARQ}}) + \\
 & + k_{14} (T_{\text{AM}_4} + N_4 (T_{\text{HARQ}} + T_{M_4})) + (l_3 - k_{14}) (T_{\text{HARQ}} + T_{M_3}) + \\
 & + k_1 (\Delta_1 + T_{\text{RAR}} + W_{\text{RAR}} + \Delta_2) + (n_1 - m_1) (\Delta_1 + T_{\text{RAR}} + W_{\text{RAR}} + W_{\text{BO}}) + \\
 & + m_3 (T_{\text{HARQ}} + T_{\text{AM}_4}) + (n_3 - m_3) (T_{\text{HARQ}} + T_{M_3}) + m_4 T_{\text{HARQ}} + \\
 & + (n_4 - m_4) (T_{\text{HARQ}} + T_{M_4}). \quad (5)
 \end{aligned}$$

Среднее время успешного установления соединения D определяется по формуле (6):

$$D = \frac{\sum_{X \in \mathcal{X}_{\text{success}}} P_X \cdot D_X}{P_{\text{success}}}. \quad (6)$$

4. Численный эксперимент

Для анализа вероятностно-временных характеристик рассмотрим одну соту сети LTE, поддерживающую обслуживание M2M-устройств, и используем данные табл. 1 [2, 4–7, 9].

Таблица 1

Исходные параметры

Параметры	Обозначение	Значение
Максимальное число коллизий преамбулы	N_1	2/4/10
Максимальное число ретрансляций сообщений Msg3	N_3	2/2/5
Максимальное число ретрансляций сообщений Msg4	N_4	2/2/5
Вероятность коллизии преамбулы (Msg1)	p_1	[0;1]
Вероятность неуспешной передачи сообщения Msg3 [7]	p_3	0,1
Вероятность неуспешной передачи сообщения Msg4 [7]	p_4	0,1
Время синхронизации до передачи Msg1	Δ_1	5 мс
Время обнаружения преамбулы [7]	T_{RAR}	2 мс
Время отклика (Backoff window) [3]	W_{BO}	21 мс
Backoff индикатор (Backoff Indicator, BI) [3]	BI	20 мс
Временной интервал для ответа Msg2 [7]	W_{RAR}	5 мс
Временной интервал после успешной передачи Msg2 до отправки Msg3 [7]	Δ_2	2 мс

Таблица 1

Исходные параметры (продолжение таблицы)

Параметры	Обозначение	Значение
Временной интервал, необходимый для приёма сообщения HARQ ACK [7]	T_{HARQ}	4 мс
Временной интервал перед передачей сообщения Msg4 [7]	T_{AM_4}	1 мс
Временной интервал перед повторной передачей сообщения Msg3 [7]	T_{M_3}	1 мс
Временной интервал перед повторной передачей сообщения Msg4 [7]	T_{M_4}	1 мс

Граничные условия по количеству ретрансляций существенно влияют на параметры пространства состояний марковской цепи $\{\xi_i\}$. Для численного эксперимента выбраны три частных случая (табл. 2), для которых показано изменение размерности пространств состояний.

Таблица 2

Размерность пространств состояний

	Граничные условия	$ \mathcal{X} $	$ \mathcal{X}_{\text{success}} $	$ \mathcal{X}_{\text{fail}} $
1	$N_1 = N_3 = N_4 = 2$	36	20	16
2	$N_1 = 4, N_3 = N_4 = 2$	220	140	80
3	$N_1 = 10, N_3 = N_4 = 5$	60005	55000	5005

На рис. 3 показана зависимость вероятности успешного и неуспешного соединения для граничных условий $N_1 = N_3 = N_4 = 2$ от вероятности коллизии Msg1 при фиксированных вероятностях ретрансляции Msg3 и Msg 4 ($p_3 = p_4 = 0, 1$). Заметим, что при увеличении граничных условий до рекомендованных в стандарте [2] значений вероятность успешного установления соединения увеличивается. Этот факт легко объясняется физическим смыслом процедуры, так как при каждой последующей ретрансляции преамбулы инициализируется новый счётчик количества ретрансляций сообщений Msg3 и Msg4, что увеличивает вероятность успешного установления соединения.

На рис. 4 показана зависимость среднего времени установления соединения от вероятности коллизии Msg1 для различных граничных условий и значения Backoff Indicator BI=20 мс [3]. С увеличением количества повторных передач преамбулы и HARQ-сообщений значительно растёт продолжительность среднего времени установления соединения. Так при граничных условиях $N_1 = N_3 = N_4 = 2$ максимальное среднее время составляет 38,6 мс, а при $N_1 = 10, N_3 = N_4 = 5$ возрастает в более чем 4 раза и достигает 172,3 мс.

5. Заключение

Основные результаты, полученные в рамках данного исследования, в частности анализ вероятности успешного и неуспешного установления соединения, могут быть применены, например, в концепциях смарт-парковок в городах-мегаполисах.

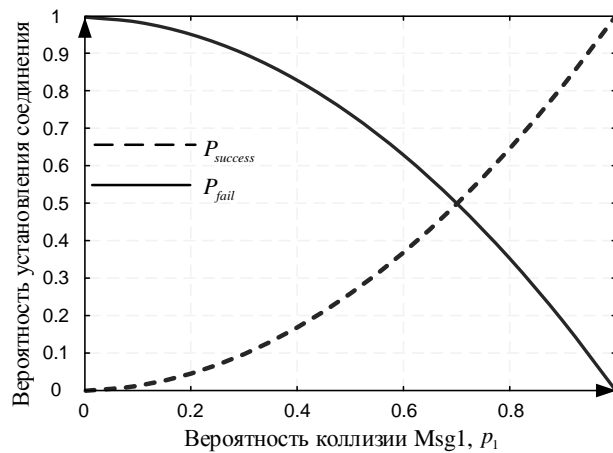


Рис. 3. Вероятность успешного и неуспешного установления соединения для граничных условий $N_1 = N_3 = N_4 = 2$

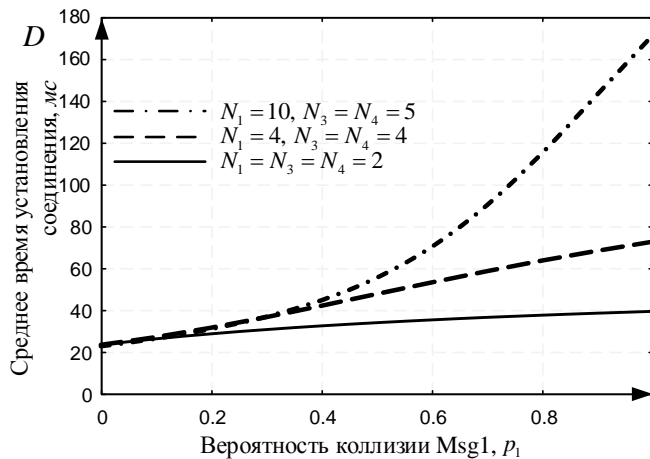


Рис. 4. Среднее время установления соединения

Среднее время установления соединения для передачи данных от датчиков имеет важное значение при выполнении технических условий: информация о состоянии парковочных мест должна быть предоставлена водителю в режиме реального времени.

Одной из задач дальнейших исследований является построение процедуры установления соединений, основываясь на представленной математической модели, с использованием процедуры I-RA (Improved Random Access) с D2D-RA-устройствами (Device-to-Device), которые объединяют информацию от расположенных вблизи M2M-устройств с целью её дальнейшей передачи на базовую станцию. Другой задачей можно назвать применение процедуры запрета классов вызовов ACB (Access Class Baring), для которой можно использовать в качестве основы изученную в представленной статье процедуру установления соединения по радиоканалу случайного доступа.

Литература

1. 3GPP. — 3GPP LTE Release 10 & Beyond (LTE-Advanced), MTC Enhancements.
2. 3GPP, 2011. — Study on RAN Improvements for Machine-Type Communications. Release 11.
3. Analyzing the Overload of 3GPP LTE System by Diverse Classes of Connected-Mode MTC Devices / O. Dementev, O. Galinina, M. Gerasimenko et al. // IEEE World Forum on Internet of Things. — IEEE, 2014. — Pp. 309–312. — DOI: 10.1109/WF-IoT.2014.6803178.
4. Baseline Analytical Model for Machine-Type Communications over 3GPP RACH in LTE-Advanced Networks / K. E. Samouylov, Y. V. Gaidamaka, I. A. Gudkova et al. // Computer and Information Sciences. ISCIS 2016. Communications in Computer and Information Science. — Springer, Cham, 2016. — Vol. 659. — Pp. 203–213. — DOI: 10.1007/978-3-319-47217-1_22.
5. Modelling a Random Access Channel with Collisions for M2M Traffic in LTE Networks / V. Borodakiy, K. Samouylov, Y. Gaidamaka et al. // Internet of Things, Smart Spaces, and Next Generation Networks and Systems. NEW2AN 2014. Lecture Notes in Computer Science / Ed. by S. Balandin, S. Andreev, Y. Koucheryavy. — Springer, Cham, 2014. — Vol. 8638. — Pp. 301–310. — DOI: 10.1007/978-3-319-10353-2_26.
6. RACH Collision Probability for Machine-Type Communications / R.-G. Cheng, C.-H. Wei, S.-L. Tsao, F.-C. Ren // IEEE 75th Vehicular Technology Conference (VTC Spring). — IEEE, 2012. — Pp. 1–5. — DOI: 10.1109/VETECS.2012.6240129.
7. *Wei C.-H., Bianchi G., Cheng R.-G.* Modelling and Analysis of Random Access Channels with Bursty Arrivals in OFDMA Wireless Networks // IEEE Trans. on Wireless Communication. — 2015. — Vol. 14, issue 4. — Pp. 1940–1953. — DOI: 10.1109/TWC.2014.2377121.
8. Virtual Code Resource Allocation for Energy-Aware MTC Access over 5G Systems / M. Condoluci, G. Araniti, M. Dohler et al. // Ad Hoc Networks. — 2016. — Vol. 43. — Pp. 3–15. — DOI: 10.1016/j.adhoc.2016.02.006.
9. *Зарипова Э. Р., Ардила Пинто А.* Метод оценки времени установления соединения по радиоканалу случайного доступа // Вестник РУДН. Серия: Математика. Информатика. Физика. — 2017. — Т. 25, № 1. — С. 9–18. — DOI: 10.22363/2312-9735-2017-25-1-9-18.
10. 3GPP, 2010. — Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA) Medium Access Control (MAC) Protocol Specification. Release 9.3.0.

UDC 621.39

DOI: 10.22363/2312-9735-2018-26-3-261-271

RACH Session Initiation Procedure with Retranslations

O. V. Semenova*, **A. S. Vlaskina***, **E. G. Medvedeva***, **E. R. Zaripova***,
I. A. Gudkova*[†]

** Department of Applied Probability and Informatics
Peoples' Friendship University of Russia (RUDN University)
6, Miklukho-Maklaya str., Moscow, 117198, Russian Federation*

*[†] Institute of Informatics Problems
Federal Research Center "Computer Science and Control" of the Russian Academy of Sciences
44-2 Vavilov str., Moscow, 119333, Russian Federation*

Due to the rapidly growing number of user's equipments, operating in the LTE (Long-Term Evolution) mobile radio network, it became necessary to find methods to reduce the user load and signaling message's traffic. New rules and procedures of devices communication are created to downsize network resources. This article explores the procedure for establishing a connection between mobile user's equipment and the LTE base station. Such possible solution of transferring

small data generated by machine-to-machine connections (M2M, Machine-to-Machine) was presented in the technical report TR 37.868 of the 3GPP consortium (3rd Generation Partnership Project). This approach implies the use of the random access channel (RACH) to interconnect between devices. Effective usage of the procedure for establishing a connection through a random access radio channel is based on the analysis of time-probability characteristics, such as the access success probability and failed access probability, average access delay. In this article we proposed analytical model in term of Markov chain to find these characteristics and present numerical analysis, considering collisions of preamble message, retransmissions of signalling messages and the boundary conditions on the number of possible retransmissions. The accuracy of the proposed analytical model was verified using programming environment R.

Key words and phrases: LTE-advance, machine-type communications, random access channel, collision, access success probability, average access delay

References

1. 3GPP, 3GPP LTE Release 10 & beyond (LTE-Advanced), MTC Enhancements.
2. 3GPP, Study on RAN Improvements for Machine-Type Communications. Release 11. (Sept 2011).
3. O. Dementev, O. Galinina, M. Gerasimenko, T. Tirronen, J. Torsner, S. Andreev, Y. Koucheryavy, Analyzing the Overload of 3GPP LTE System by Diverse Classes of Connected-Mode MTC Devices, in: IEEE World Forum on Internet of Things, IEEE, 2014, pp. 309–312. doi:10.1109/WF-IoT.2014.6803178.
4. K. E. Samouylov, Y. V. Gaidamaka, I. A. Gudkova, E. R. Zaripova, S. Y. Shorgin, Baseline Analytical Model for Machine-Type Communications over 3GPP RACH in LTE-Advanced Networks, Vol. 659, Springer, Cham, 2016, pp. 203–213. doi:10.1007/978-3-319-47217-1_22.
5. V. Borodakiy, K. Samouylov, Y. Gaidamaka, P. Abaev, I. Buturlin, S. Etezov, Modelling a Random Access Channel with Collisions for M2M Traffic in LTE Networks, Vol. 8638, Springer, Cham, 2014, pp. 301–310. doi:10.1007/978-3-319-10353-2_26.
6. R.-G. Cheng, C.-H. Wei, S.-L. Tsao, F.-C. Ren, RACH Collision Probability for Machine-Type Communications, IEEE, 2012, pp. 1–5. doi:10.1109/VETECS.2012.6240129.
7. C.-H. Wei, G. Bianchi, R.-G. Cheng, Modelling and Analysis of Random Access Channels with Bursty Arrivals in OFDMA Wireless Networks, IEEE Trans. on Wireless Communication 14 (2015) 1940–1953. doi:10.1109/TWC.2014.2377121.
8. M. Condoluci, G. Araniti, M. Dohler, A. Iera, A. Molinaro, Virtual Code Resource Allocation for Energy-Aware MTC Access over 5G Systems, Ad Hoc Networks 43 (2016) 3–15. doi:10.1016/j.adhoc.2016.02.006.
9. E. R. Zaripova, A. Ardila Pinto, Performance and Modeling of Session Setup Procedure Using Random Access Channel, RUDN Journal of Mathematics, Information Sciences and Physics 25 (1) (2017) 9–18, in Russian. doi:10.22363/2312-9735-2017-25-1-9-18.
10. 3GPP, Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA) Medium Access Control (MAC) Protocol Specification. Release 9.3.0. (Jun 2010).

© Семенова О. В., Власкина А. С., Медведева Е. Г., Зарипова Э. Р., Гудкова И. А., 2018

Для цитирования:

Семенова О. В., Власкина А. С., Медведева Е. Г., Зарипова Э. Р., Гудкова И. А. Процедура установления соединения по радиоканалу случайного доступа с возможностью ретрансляции // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Математика. Информатика. Физика. — 2018. — Т. 26, № 3. — С. 261–271. — DOI: 10.22363/2312-9735-2018-26-3-261-271.

For citation:

Semenova O. V., Vlaskina A. S., Medvedeva E. G., Zaripova E. R., Gudkova I. A. RACH Session Initiation Procedure with Retranslations, RUDN Journal of Mathematics, Information Sciences and Physics 26 (3) (2018) 261–271. DOI: 10.22363/2312-9735-2018-26-3-261-271. In Russian.

Сведения об авторах:

Семенова Оксана Владимировна — студент кафедры прикладной информатики и теории вероятностей РУДН (e-mail: 1032163670@rudn.university, тел.: +7 (495) 9522823)

Власкина Анастасия Сергеевна — студент кафедры прикладной информатики и теории вероятностей РУДН (e-mail: 1032163669@rudn.university, тел.: +7 (495) 9522823)

Медведева Екатерина Георгиевна — ассистент кафедры прикладной информатики и теории вероятностей РУДН (e-mail: medvedeva_eg@rudn.university, тел.: +7 (495) 9550999)

Зарипова Эльвира Ринатовна — кандидат физико-математических наук, доцент кафедры прикладной информатики и теории вероятностей РУДН (e-mail: zaripova_er@rudn.university, тел.: +7 (495) 9550999)

Гудкова Ирина Андреевна — доцент, кандидат физико-математических наук, доцент кафедры прикладной информатики и теории вероятностей РУДН (e-mail: gudkova_ia@rudn.university, тел.: +7(495)9522823)

Information about the authors:

Semenova O. V. — Student of Department of Applied Probability and Informatics of Peoples' Friendship University of Russia (RUDN University) (e-mail: 1032163670@rudn.university, phone: +7 (495) 9522823)

Vlaskina A. S. — Student of Department of Applied Probability and Informatics of Peoples' Friendship University of Russia (RUDN University) (e-mail: 1032163669@rudn.university, phone: +7 (495) 9522823)

Medvedeva E. G. — Assistant of Department of Applied Probability and Informatics of Peoples' Friendship University of Russia (RUDN University) (e-mail: medvedeva_eg@rudn.university, phone: +7 (495) 9550999)

Zaripova E. R. — Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Assistant Professor of Department of Applied Probability and Informatics of Peoples' Friendship University of Russia (RUDN University) (e-mail: zaripova_er@rudn.university, phone: +7 (495) 9550999)

Gudkova I. A. — Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor of Department of Applied Probability and Informatics of Peoples' Friendship University of Russia (RUDN University) (e-mail: gudkova_ia@rudn.university, phone: +7(495)9522823)