МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

МАТЕРИАЛЫ

**VIII Международной молодежной научной
конференции**

**«МАТЕМАТИЧЕСКОЕ
И ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ
ИНФОРМАЦИОННЫХ,
ТЕХНИЧЕСКИХ
И ЭКОНОМИЧЕСКИХ СИСТЕМ»**

Томск, 26–30 мая 2021 г.

Под общей редакцией И.С. Шмырина

Томск
Издательство Томского государственного университета
2021

и предназначения проектируемой сети. Тем не менее, Super-Peer топология предоставляет большее удобство в плане администрирования. Поиск данных в одноранговых сетях основан в большинстве случаев на распределенных хэш-таблицах. Рассмотрение разных реализаций, а именно – Kademia и Chord, выявило их разные подходы к логическому структурированию сети, но в обоих случаях механизм поиска основан на определении расстояния между ключами и идентификаторами узлов. Рассмотрение методов обеспечения качества было вызвано ограниченными параметрами сети. Акцент был сделан конкретно на техники управления очередями. Приоритетное обслуживание очередей показало свои пределы при высокой интенсивности потока с наивысшим приоритетом, в то время как взвешенное обслуживание показало более приемлемое решение в распределении пропускной способности.

ЛИТЕРАТУРА

1. J.J., Karlsen L., Birkeland S. Peer-to-peer networking with BitTorrent. – 2005.
2. Ojo O.E., Oluwatope A.O., Ajadi S.O. A reliable peer-to-peer streaming protocol in low-capacity networks // Peer-to-Peer Networking and Applications. – Oct. 2020. – V. 14. – No. 2. – P. 559–584. – doi: 10.1007/s12083-020-01002-4.
3. Delgado-Segura S., Pérez-Solà C., Herrera-Joancomartí J., Navarro-Arribas G., Borrell J. Cryptocurrency Networks: A New P2P Paradigm // Mobile Information Systems. – 2018. – V. 2018. – doi: 10.1155/2018/2159082.
4. Ramzan N., Park H., Izquierdo E. Video streaming over P2P networks: Challenges and opportunities // Signal Processing: Image Communication. – May 2012. – V. 27. – No. 5. – P. 401–411. – doi: 10.1016/j.image.2012.02.004.
5. Fiedler J., Kupka T., Magedanz T., Kleis M. Reliable VoIP Services Using a Peer-to-Peer Intranet. – 2006. – doi: 10.1109/ism.2006.132.
6. R.C., B.S. Mapster: a peer-to-Peer data sharing environment // South Afr. Comput. J. – 2007. – V. 39. – P. 35–46.
7. O.O., O.A., O.O. UStream: Ultra-Metric Spanning Overlay Topology for Peer-to-Peer Streaming Systems // IEEE International Symposium on Multimedia (ISM), 2015. – P. 601–604. – doi: 10.1109/ISM.2015.82.
8. Stoica I. et al. Chord: a scalable peer-to-peer lookup protocol for Internet applications // IEEE/ACM Transactions on Networking. – 2003. – V. 11. – No. 1. – P. 17–32. – doi: 10.1109/TNET.2002.808407.
9. Karger D., Lehman E., Leighton T., Panigrahy R., Levine M., Lewin D. Consistent hashing and random trees. – 1997. – doi: 10.1145/258533.258660.

DOI: 10.17223/978-5-907442-42-9-2021-19

К АНАЛИЗУ НЕПРЕРЫВНОСТИ ПОЛЬЗОВАТЕЛЬСКОЙ СЕССИИ В УСЛОВИЯХ МИКРОМОБИЛЬНОСТИ И БЛОКИРОВКИ ПРЯМОЙ ВИДИМОСТИ*

Конюхов Р.И.¹, Бесчастный В.А.¹, Молчанов Д.А.², Самуйлов К.Е.¹

¹Российский университет дружбы народов, ²Университет Тампере

konyukhov.roman@mail.ru, beschastnyy-va@rudn.ru, dmitri.moltcanov@tuni.fi, samuylov-ke@rudn.ru

Введение

Интересы исследовательского сообщества в наши дни направлены на изучение новой технологии радиоинтерфейса для систем 6G [1]. По общему мнению, этот новый интерфейс будет работать в нижней части терагерцового диапазона частот (0.3 – 3 ТГц) [2]. Используя массивные антенные решетки как на стороне базовой станции (БС), так и пользовательского оборудования (ПУ) для компенсации затухания радиосигнала, в ТГц системах будет применяться небольшая ширина диаграммы направленности по уровню половинной мощности (НРВW), приближенная к долям градуса [3].

В качестве побочного эффекта такая высокая направленность позволяет эффективно подавлять помехи между соседними сотами [4]. Однако это также ставит перед разработчиками систем ряд трудноразрешимых задач. В частности, в дополнение к большей чувствительности к блокировкам прямой видимости по сравнению с диапазоном

* Публикация выполнена при поддержке Программы стратегического академического лидерства РУДН и при финансовой поддержке РФФИ в рамках научных проектов № 19 07 00933 и № 20 07 01064.

миллиметровых волн, высокая направленность может привести к частым сбоям в работе, вызванными микроомобильностью ПУ, т.е. быстрыми изменениями положения рук пользователя по вертикальной и поперечной осям, а также небольшим смещениям [5]. При возникновении таких сбоев необходимо применять процедуру поиска луча, чтобы восстановить активное соединение. Производительность на уровне канала ТГц при наличии микроомобильности ПУ была исследована в [6], где авторы продемонстрировали компромиссы между долей времени в условиях отсутствия связи и достижимой пропускной способностью канала. В зависимости от типа эффекта, приводящего к потере сигнала, блокировки или микроомобильности, пользовательские приложения могут находиться в состоянии простоя в течение периодов разной продолжительности, влияющие на общую непрерывность сессии.

Одним из способов избежать блокировки в системах миллиметрового и терагерцового диапазона является использование стандартизованных 3GPP функциональных возможностей мультисвязности [7]. В соответствии с ним ПУ может поддерживать два или более одновременных соединения с соседними БС и использовать их, когда потеряна связь с ближайшей БС. Мультисвязность изучалась на системном уровне в контексте систем 5G mmWave, например, в [8]. Использование мультисвязности для ТГц систем исследовалось в [9], где авторы продемонстрировали спектральную эффективность и пользу от множественных соединений при блокировках прямой видимости. Однако этот механизм также можно использовать и для борьбы с эффектами микроомобильности.

Известные на данный момент исследования мультисвязности как в миллиметровом, так и в терагерцовом диапазоне частот, были сосредоточены на усредненных значениях показателей производительности, таких как вероятность отсутствия связи или средняя спектральная эффективность. Однако на практике приложениям, использующим сеть, часто требуется непрерывное подключение, и решить эту проблему значительно сложнее, поскольку необходимо постоянно отслеживать состояние устройства. В данной работе исследуется непрерывность пользовательской сессии, для чего выводится распределение плотности интервалов времени непрерывного соединения. При этом в явном виде учитываются конкретные условия распространения, плотность развертывания ТГц БС, конфигурация антенны и процедуры поиска луча, а также степень мультисвязности. Затем, охарактеризовав интервалы периода простоя приложения, исследуется вероятность успешного завершения сессии.

Основными результатами нашего исследования являются:

1. Математическая модель для оценки времени непрерывного соединения ТГц системах в условиях микроомобильности и блокировки прямой видимости при наличии мультисвязности;
2. Численный эксперимент показал, что вероятность завершения сессии линейно увеличивается с увеличением степени мультисвязности до 5, на которую в основном влияет микроомобильность.

1. Системная модель

Модель системы проиллюстрирована на рис. 1.

Рис. 1. Иллюстрация модели рассматриваемой системы

Мы предполагаем, что положения базовых станций ТГц диапазона следуют Пуассоновскому точечному процессу в R^2 с плотностью λ_A . Высота ТГц БС – h_T . Местоположение интересующего нас ПУ является случайным в области БС, что означает, что плотность распределения вероятностей расстояния до ближайшей i -й ТГц БС [Ошибка! Источник ссылки не найден.] можно записать как

$$f_i(x) = \frac{2(\pi\lambda_A)^i}{(i-1)!} x^{2i-1} e^{-\pi\lambda_A x^2}, \quad x > 0, \quad i = 1, \dots$$

Предполагается, что линия прямой видимости может быть перекрыта из-за динамической блокировки человеческим телом. Потенциальные блокаторы моделируются в виде цилиндров с радиусом r_B и высотой h_B . Плотность блокаторов составляет λ_B бл./м², и предполагается, что они движутся согласно модели случайного направления со скоростью v м/с. Высота ПУ предполагается равной h_U , $h_U \leq h_B$. Согласно [11], время между последовательными событиями блокировки при модели случайного направления аппроксимируется экспоненциальным распределением. Таким образом, процесс блокировки i -й БС является пуассоновским со средней интенсивностью $\mu_{B,i}$, представленной формулой

$$\mu_{B,i} = \int_0^\infty f_i(x) \frac{(x[h_B - h_U] + r_B[h_T - h_U])}{(2r_B\lambda_B v)^{-1}(h_T - h_U)} dx.$$

Поскольку известно, что эффект блокировки человеческим ТГц диапазоне приводит к огромным потерям сигнала [12], мы предполагаем, что в заблокированном состоянии линии прямой видимости связь невозможна. Значение SINR на UE в незаблокированном состоянии линии прямой видимости может быть записано как

$$S(x) = P_T G_T G_U \left[\frac{x^{-\xi_T} e^{-Kx}}{N_0} \right],$$

где ξ_T – коэффициент затухания сигнала; N_0 – мощность шума; P_T – излучаемая мощность; G_T и G_U – коэффициенты усиления антенны на БС и ПУ, K – коэффициент поглощения.

Следуя [6], мы описываем процесс микромобильности как броуновское движение со случайным процессом смещения по x - и y -плоскостям и вращениями по вертикальной и поперечной осям, $\phi(t)$ и $\theta(t)$. Смещения по плоскости z , т.е. по направлению к базовой станции и от неё, и вращения по продольной оси не учитываются, поскольку их вклад в эффект расхождения лучей достаточно мал [6]. Это обеспечивает плотность распределения вероятностей времени до рассогласования луча, T_A , в виде минимума из двух случайных величин с плотностями распределения вероятностей, соответствующую

щими временам первого прохождения броуновской частицы, т.е. $S_{T_A}(t) = f_0(t)[1 - F_\phi(t)] + f_\phi(t)[1 - F_0(t)]$, где компоненты представлены формулой

$$f_{(\cdot)}(t) = \frac{M_{\phi 0}}{\sqrt{4\pi D_{(\cdot)} t^3}} \exp\left(-\frac{M_{\phi 0}^2}{4D_{(\cdot)} t}\right), \text{ здесь } D_{(\cdot)} - \text{ постоянная диффузии в соответствующей}$$

плоскости. При этом $M_{\phi 0} = (102\pi/360)(1/N_T + 1/N_U)$, где N_T, N_U – количество антенных элементов на БС и ПУ соответственно.

В работе рассматриваются квадратные плоские антенные решетки как на ПУ, так и на ТГц БС. Аналогично [13], используется модель диаграммы направленности в виде конуса с шириной луча, соответствующей ширине по уровню половинной мощности (англ. HPBW). Следуя [14], мы аппроксимируем HPBW как $102/N_{(\cdot)}$.

Мы предполагаем, что в случае блокировки линии прямой видимости, или расхождения лучей, базовые станции ТГц диапазона иницируют итеративный алгоритм поиска луча, которые используются, например, в системах IEEE 802.11ad/ay [15]. Длительность процедуры поиска луча $T_B = (N_U + N_T)\sigma$, где σ – время одного переключения.

Чтобы оценить влияние эффекта мультисвязности на непрерывность сессии, предполагается, что целевое ПУ поддерживает $N = 1, 2, \dots$ связей с ближайшими ТГц БС. Поскольку показатель отношения сигнал-шум (англ. SNR) обратно пропорционален расстоянию между ТГц БС и ПУ, то ближайшая БС обеспечивает наилучшее качество связи с точки зрения усредненного по времени SNR. Предполагается, что во время процедуры поиска луча выбирается БС с наибольшим значением SNR на данный момент, т.е. выбирается ближайшая БС в условиях линии прямой видимости. Также предполагается, что поиск луча запускается каждый раз, когда активное соединение потеряно в результате микроподвижности или блокировки прямой видимости.

В отличие от других исследований эффекта мультисвязности, где авторы в первую очередь концентрируются на средних показателях производительности, таких как вероятность отсутствия связи или средняя спектральная эффективность, мы характеризуем свойства процесса обслуживания сессии на временном интервале. В частности, сначала приводится плотность распределения времени непрерывного подключения, а затем, с использованием полученных выражений, находится вероятность успешного завершения сессии.

2. Анализ рабочих характеристик системы

Интервалы подключения и отключения в системе организуют альтернирующий полумарковский процесс. Подход основан на применении теории полумарковских процессов [16], позволяющей характеризовать процесс восстановления матрицей интервальных переходных вероятностей $\Phi(s)$, состоящей из условных переходных вероятностей за время t . На рис. 2 представлена диаграмма вероятностей переходов с 5 непересекающимися множествами состояний: (I) активная связь с БС, $j = \overline{1, N}$; (II) поиск луча в результате блокировки, $j = \overline{N+1, 2N}$; (III) поиск луча из-за микроподвижности, $j = \overline{2N+1, 3N}$, (IV) условия отключения с непрерывным подключением $j = \overline{3N+1, 4N}$ и (V) нулевое состояние для отключения. Состояния $i = \overline{1, N}$ соответствуют периодам непрерывной связи с i -й БС в условиях блокировки. Состояния $j = N+i, i, \dots, 2N$ представляют процедуру поиска луча в результате блокировки после установления связи с i -й БС.

Применяя одностороннее преобразование Лапласа $f^*(s) = \int_0^\infty e^{-sx} f(x) dx$, получаем

искомую матрицу в виде $\Phi^*(s) = [I - U \circ F^*(s)]^{-1} \Psi^*(s)$, где I – единичная матрица, U – матрица переходных вероятностей, F – матрица распределений условных вероятностей, Ψ – вспомогательная диагональная матрица.

Элементы $U = [u_{ij}]$, $i, j = \overline{0, 4N}$, можно записать в виде:

$$u_{i, N+i} = 1 - \int_0^\infty \int_y^\infty f_{T_A}(y) F_{T_{L,i}}(x) dx dy, \quad i = \overline{1, N},$$

$$u_{i, 2N+i} = \int_0^\infty \int_y^\infty f_{T_A}(y) F_{T_{L,i}}(x) dx dy, \quad i = \overline{1, N},$$

$$u_{N+i, j} = (1 - F_I(T_B)) \prod_{k=1}^{j-1} p_{N,k}, \quad i, j = \overline{1, N},$$

$$u_{2N+i, i} = (1 - F_I(T_B)) \prod_{k=1}^{i-1} p_{N,k}, \quad i = \overline{1, N},$$

$$u_{N+i, 3N+i} = (1 - F_I(T_B)) \prod_{k=1, k \neq i}^N p_{N,k}, \quad i = \overline{1, N},$$

$$u_{N+i, 0} = F_I(T_B), \quad i = \overline{1, 2N},$$

$$u_{3N+i, 2N+i} = F_{NL}(T_N; i) \prod_{k=1}^{i-1} p_{N,k}, \quad i = \overline{1, N},$$

$$u_{3N+i, 0} = 1 - F_{NL}(T_N; i), \quad i = \overline{1, N},$$

$$u_{i, j} = 0, \text{ в других случаях.}$$

Элементы $F(t) = [f_{ij}(t)]$, $i, j = \overline{0, 4N}$, состоящие из переходных вероятностей за время t , могут быть записаны как:

$$f_{i, N+i}(t) = f_{T_{L,i}}(t) (1 - F_{T_A}(t)), \quad i = \overline{1, N},$$

$$f_{i, 2N+i}(t) = f_{T_A}(t) (1 - F_{T_{L,i}}(t)), \quad i = \overline{1, N},$$

$$f_{N+i, j}(t) = \delta(t - T_B), \quad i = \overline{1, N},$$

$$f_{2N+i, i}(t) = \delta(t - T_B), \quad i = \overline{1, N},$$

$$f_{N+i, 3N+i}(t) = \delta(t - T_B), \quad i = \overline{1, N},$$

$$f_{N+i, 0}(t) = \delta(t - T_N), \quad i = \overline{1, 2N},$$

$$f_{3N+i, 2N+i}(t) = f_{NL}(t; i) F_{NL}(T_N; i), \quad i = \overline{1, N},$$

$$f_{3N+i, 0}(t) = f_{NL}(t + T_N; i) (1 - F_{NL}(T_N; i)), \quad i = \overline{1, N},$$

$$f_{i, j} = 0, \text{ в других случаях,}$$

где f_{T_L} – распределение времени до блокировки прямой видимости, f_{T_A} – распределение времени до микромобильности, f_{NL} – длительность блокировки прямой видимости, $\delta(t)$ – дельта-функция Дирака.

Наконец, мы определяем плотность распределения вероятностей времени непрерывного подключения и вероятность успешного завершения сеанса следующим образом: $f_U(t) = 1 - \sum_{i=1}^{4N} \pi_i \phi_{i0}(t)$, $p_U = \int_0^{T_C} f_U(t) dt$, где T_C – продолжительность сессии.

Рис. 2. Поглощающая полумарковская модель

3. Численные результаты

В этом разделе представлены результаты численного эксперимента.

На рис. 3.а показано влияние степени мультисвязности на вероятность успешного завершения сессии. Ожидаемо, увеличение значения N приводит к более высокой вероятности успешного завершения сессии. Однако, начиная с $N=5$ эффект от использования дополнительных ТГц БС резко сокращается. На рис. 3б охарактеризована рассматриваемая метрика как функция продолжительности сессии, T_C , для четырех рассматриваемых значений T_N и при $N=1$. Здесь $T_N=5$ мс и 5 с соответствуют крайним случаям высокочувствительных и нечувствительных приложений, в то время как два оставшихся значения представляют собой промежуточные случаи. Как можно заметить, существует резкая разница между вероятностью успешного завершения сеанса для $T_N=5$ мс и 5 с. В первом случае, если случается микромобильность или блокировка, это сразу же приводит к прерыванию сессии (т.к. у нас продолжительность поиска луча занимает некоторое время, порядка 8 мс, а средняя продолжительность блокировки составляет порядка секунды), в то время как в случае $T_N=5$ с приложения могут переносить как блокировку, так и нарушения микромобильности, которые как правило длятся меньше 5 секунд. При этом стоит отметить, что нет большой разницы между промежуточными значениями в 50 и 500 мс. Это означает, что, адаптируя будущие приложения к технологии доступа ТГц диапазона, необходимо гарантировать, что приложения могут выдерживать время простоя в масштабе длительности процедуры поиска луча.

Теперь рассмотрим влияние интенсивности блокаторов на вероятность успешного завершения сессии, проиллюстрированного рис. 2 для двух степеней множественного подключения $N=1$ и $N=3$ и двух длительностей сессии, $T_C=10$ с и $T_C=30$ с. Как видно, положительный эффект мультисвязности сохраняется на всем рассматриваемом диапазоне значений, особенно, когда продолжительность сессии велика.

Рис. 3. Вероятность успешного завершения сессии в зависимости от степени мультисвязности и допустимого периода простоя

Наконец, рассмотрим влияние плотности развертывания ТГц БС на вероятность успешного завершения сессии, показанного на рис.4б, для двух длительностей сессии и двух степеней мультисвязности. Как можно заметить, увеличение плотности развертывания ТГц БС приводит к небольшому увеличению вероятности завершения сессии, т.е. рано или поздно, такое увеличение перестанет давать нам желаемый результат, эффект влияния пропадает. Обоснование этого состоит в том, что использование функции мультисвязности в ТГц системах по своей сути требует очень плотного развертывания, но при этом расстояние до ближайших базовых станций при таких плотностях изменяется лишь незначительно.

Рис. 4. Вероятность успешного завершения сессии в зависимости от плотности блокаторов и плотности развертывания БС

Заключение

В данной работе исследованы временные характеристики процесса подключения в плотных развертываниях ТГц диапазона в условиях динамической микромобильности пользователей и условиях блокировки линии прямой видимости. Для этой цели используется полумарковский процесс, характеризующий процесс подключения и интервалы простоя в виде матрицы интервальных переходных вероятностей. Проведен численный анализ зависимости вероятности успешного завершения сессии от различных параметров системы. В частности, в работе показано, что выигрыш от использования мультисвязности наблюдается до 5 одновременно поддерживаемых каналов. Этот выигрыш в значительной степени зависит от ожидаемой продолжительности сессии и сохраняется во всем рассматриваемом диапазоне плотностей блокаторов. На вероятность успешного завершения сессии приложений, которые очень чувствительны к продолжительности простоя, в основном влияет микромобильность. На практике, чтобы улучшить искомую метрику, необходимо убедиться, что приложение может выдерживать про-

стои, вызванные временем поиска луча, которое составляет порядка нескольких миллисекунд.

ЛИТЕРАТУРА

1. David K., Berndt H. 6G vision and requirements: Is there any need for beyond 5G? // IEEE Vehicular Technology Magazine. – 2018. – V. 13. – No. 3. – P. 72–80.
2. Petrov V., Kurner T., Hosako I. IEEE 802.15. 3d: First standardization efforts for sub-terahertz band communications toward 6G // IEEE Communications Magazine. – 2020. – V. 58. – No. 11. – P. 28–33.
3. Tousi Y., Afshari E. A high-power and scalable 2-D phased array for terahertz cmos integrated systems // IEEE Journal of Solid-State Circuits. – 2014. – V. 50. – No. 2. – P. 597–609.
4. Petrov V., Komarov M., Moltchanov D., Jornet J.M., Koucheryavy Y. Interference and sinr in millimeter wave and terahertz communication systems with blocking and directional antennas // IEEE Transactions on Wireless Communications. – 2017. – V. 16. – No. 3. – P. 1791–1808.
5. Petrov V., Moltchanov D., Koucheryavy Y., Jornet J.M. The effect of small-scale mobility on terahertz band communications // Proceedings of the 5th ACM International Conference on Nanoscale Computing and Communication. – 2018. – P. 1–2.
6. Petrov V., Moltchanov D., Koucheryavy Y., Jornet J.M. Capacity and outage of terahertz communications with user micro-mobility and beam misalignment // IEEE Transactions on Vehicular Technology. – 2020.
7. 3GPP, “NR; Multi-connectivity; stage 2 (Release 16),” 3GPP TS 37.340V16.0.0, December 2019.
8. Begishev V., Sopin E., Moltchanov D., Pirmagomedov R., Samuylov A., Andreev S., Koucheryavy Y., Samouylov K. Performance Analysis of Multi-Band Microwave and Millimeter-Wave Operation in 5G NR Systems // IEEE Transactions on Wireless Communications. – 2021.
9. Shafie A., Yang N., Han C. Multi-connectivity for indoor terahertz communication with self and dynamic blockage // ICC 2020-2020 IEEE International Conference on Communications (ICC). – 2020. – P. 1–7.
10. Moltchanov D. Distance distributions in random networks // Elsevier Ad Hoc Networks. – August 2012. – V. 10. – P. 1146–1166.
11. Begishev V., Moltchanov D., Sopin E., Samuylov A., Andreev S., Koucheryavy Y., Samouylov K. Quantifying the impact of guard capacity on session continuity in 3GPP new radio systems // IEEE Transactions on Vehicular Tech. – 2019. – V. 68. – No. 12. – P. 12345–12359.
12. Kurner T., Fricke A., Rey S., Le Bars P., Mounir A., Kleine-Ostmann T. Measurements and modeling of basic propagation characteristics for intra-device communications at 60 GHz and 300 GHz // Journal of Infrared, Millimeter, and Terahertz. – 2015. – V. 36. – No. 2. – P. 144–158.
13. Mokrov E., Ponomarenko-Timofeev A., Gudkova I., Masek P., Hosek J., Andreev S., Koucheryavy Y., Gaidamaka Y. Modeling transmit power reduction for a typical cell with licensed shared access capabilities // IEEE Vehicular Technology Magazine. – 2018. – V. 67. – No. 6. – P. 5505–5509.
14. Constantine A.B. et al. Antenna theory: analysis and design. – Microstrip Antennas, John Wiley & Sons, 2005.
15. IEEE, “Telecommunications and information exchange between systems local and metropolitan area networks – specific requirements. Part 11. Amendment 3,” IEEE standard for information technology, 2012.
16. Cinlar E. Markov renewal theory // Advances in Applied Probability. – 1969. – V. 1. – No. 2. – P. 123–187.

DOI: 10.17223/978-5-907442-42-9-2021-20

МОДЕЛЬ ПРИОРИТЕТНОГО ДОСТУПА ТРАФИКА URLLC С АДАПТИВНЫМ ИЗМЕНЕНИЕМ СКОРОСТИ ТРАФИКА EMBB В СЕТИ 5G: ЗАДАЧА ОПТИМИЗАЦИИ

Куцазли А.И., Агеева А.С., Харин П.А.

Российский университет дружбы народов

aikushch@yandex.ru, anastasia.ageeva.it@gmail.com, gruzavjeg@mail.ru

Введение

На сегодняшний день в цифровом обществе с каждым днём растёт роль телекоммуникационных услуг. Мы уже не можем представить себе жизнь без скоростного интернета, улучшенной сотовой сети. В современных быстро развивающихся телекоммуникационных технологиях услуги мобильной связи широко проникают во все слои жизни общества, тем самым беспроводная сеть 5-го поколения покрывает более широкий диапазон использования. Услуги 5G поставляются с различными вариантами использования, такими как расширенная мобильная широкополосная связь (eMBB), сверхнадежная связь с низкой задержкой (URLLC) и массовая связь машинного типа (mMTC). Если же рассматривать каждую услугу по отдельности, то к отличительной особенности URLLC являются требования к задержке, требования же к eMBB это вы-