

ФОРМИРОВАНИЕ ПОДХОДОВ К РАЗРАБОТКЕ МОДЕЛИ КАНАЛА МНОЖЕСТВЕННОГО ДОСТУПА, ИСПОЛЬЗУЕМОГО В СОСТАВЕ СИСТЕМЫ ОБМЕНА ДАННЫМИ С ДИНАМИЧЕСКОЙ СТРУКТУРОЙ

Шарко Г. В.¹

DOI:10.21681/3034-4050-2025-4-28-32

Ключевые слова: внешние помехи, внутрисистемные помехи, необнаруживаемый конфликт, соотношение сигнал-шум, контроль занятости канала, максимальная обслуживаемая нагрузка, максимально допустимое количество корреспондентов в канале множественного доступа.

Аннотация

Цель работы: получение расчетных выражений для оценки граничных значений нагрузочных и структурных параметров каналов множественного доступа с целью их практического применения при развертывании и обеспечении функционирования систем обмена данными с динамической структурой.

Методы исследования: теория вероятности, методы оценки помехоустойчивости приёма сигналов.

Результаты исследования: получены расчетные соотношения для оценки нагрузочных (максимальной обслуживаемой каналом множественного доступа нагрузки) и структурных (максимально допустимого количества корреспондентов в канале множественного доступа) параметров. Применение данного математического аппарата в составе специального программного обеспечения комплексов технических средств передачи данных позволит в реальном масштабе времени адаптировать системы обмена данными с динамической структурой к изменениям ее характеристики. Тем самым будут обеспечены более эффективное распределение ресурсов канала множественного доступа, снижение непроизводительных потерь ресурсов, и, как следствие, повышение пропускной способности системы обмена данными в целом.

Научная новизна: в статье сформирован подход к разработке модели канала множественного доступа, учитывающей энергетические соотношения сигналов корреспондентов, функционирующих в канале множественного доступа, полученные выражения позволяют оценить нагрузочные и структурные параметры каналов множественного доступа, в том числе через энергетические характеристики сигналов корреспондентов.

Введение

В условиях ускоряющегося развития и совершенствования систем обмена данными становится очевидным, что эффективное распределение их ресурсов и, следовательно, их характеристики становятся все более зависимыми от правильной и своевременной оценки ситуаций в сетях и системах [1–8]. Используемые в настоящее время алгоритмы множественного доступа, в которых не используются количественные оценки каналов множественного доступа (КМД) как результат применения прикладных расчетных задач, обладают недостаточной степенью адаптации к воздействию внешних и внутрисистемных

помех и не позволяют эффективно использовать энергетические и частотные ресурсы системы обмена данными (СОД).

Статья посвящена отысканию подходов к моделированию КМД на базе радиоканала, которая, при реализации ее в СПО КТСПД СОД в качестве аппарата решения расчетных задач по планированию сетей передачи данных, позволит повысить эффективность управления КМД и СОД в целом.

Постановка задачи

Для группы корреспондентов, являющихся источниками и потребителями информации, выделена группа рабочих частот (при этом

¹ Шарко Геннадий Васильевич, кандидат технических наук, доцент, преподаватель кафедры Военной академии связи имени Маршала Советского Союза С. М. Будённого, г. Санкт-Петербург, Россия. E-mail: shgorg@mail.ru

количество выделенных частот значительно меньше организуемых в группе радионаправлений). Каждая из выделенных частот используется парой корреспондентов только на время проведения сеанса связи, а затем освобождается. В силу особенностей пространственного размещения корреспондентов, их стохастического перемещения и случайного характера энергетических соотношений сигналов корреспондентов и поступающей от них нагрузки возможно одновременное использование выделенных частот несколькими парами корреспондентов (то есть возникновение конфликтов).

При допущении отсутствия внешних помех для радиосети внутрисистемные помехи, вызванные одновременным использованием одной и той же рабочей частоты двумя и более корреспондентами, приводят к проявлению некоторых специфических особенностей КМД.

Пусть корреспондент, находящийся в точке О (рис. 1), выбирает частоту, на которой уровень помех меньше заданного порогового значения: $U_n < U_{n0}$.

При этом вокруг данного корреспондента образуется ряд зон, обусловленных пространственно-энергетическими характеристиками КМД.

- Зона А (площадью S_{ok}) является зоной обнаружения чужой передачи и блокирования собственной (зоной обнаружения конфликта).
- Зона В (площадью S_{kp}) – это зона возникновения необнаруженного конфликта двух и более корреспондентов из-за большого расстояния между корреспондентами (что приводит к невозможности определения факта чужой передачи из-за конечного времени распространения сигнала).
- Зона С (площадью S_{k3}) – это зона возникновения необнаруженного конфликта из-за пониженных энергетических характеристик сигнала корреспондента, находящегося в точке О.
- Зона D (площадью S_{ce}) является зоной связи, в которой возможно повторное использование частоты, занятой корреспондентом в точке О, так как в данном случае $U_n < U_{n0}$ и данная частота при анализе состояния канала оценивается как незанятая (свободная).

Выбрав частоту, на которой уровень помех меньше установленного порогового значения, корреспондент, находящийся в точке О,

устанавливает связь с другим корреспондентом, находящимся в пределах зоны с радиусом R_0 , формируя при этом зону А.

В данной зоне с радиусом R_{ok} уровень мешающего сигнала от корреспондента в точке О превышает U_{n0} для всех корреспондентов в данной зоне, что приводит к невозможности занятия анализируемой частоты другим корреспондентом из-за занятия ее корреспондентом из точки О. Таким образом, граница этой зоны определяется уровнем сигнала передатчика корреспондента в точке О, который является помехой для других корреспондентов данной радиосети, пытающихся использовать эту же частоту. Вместе с тем незначительное взаимное удаление корреспондентов позволяет четко идентифицировать передачу пакета корреспондентом «своей» радиосети и блокировать собственную передачу в момент обнаружения занятия КМД (что устраняет возможность возникновения конфликта и тем самым повышает пропускную способность КМД).

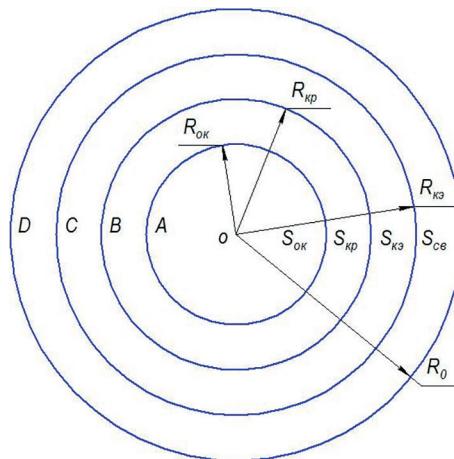


Рис. 1. Образование пространственно-энергетических зон в КМД

Это обеспечивается реализацией алгоритма случайного множественного доступа с контролем занятости канала (МДКЗ) с использованием анализатора занятости канала [9]. В качестве признака занятости канала в данном случае используется наличие в нем сигналов, структура которых соответствует кодовым комбинациям используемого помехоустойчивого кода. При обнаружении в канале заданного количества следующих подряд кодовых комбинаций с необнаруженными ошибками вырабатывается сигнал о занятости канала и вводится временная блокировка,

в течение которой запрещается передача сообщений в канал. Выход из состояния блокировки происходит через определенный интервал времени, отсчитываемый с момента формирования последнего сигнала о занятости канала. В зоне *B* с радиусом R_{kp} с увеличением взаимного удаления корреспондентов вероятность возникновения конфликта возрастает, но энергетические характеристики сигнала корреспондента, находящегося в точке *O*, еще заставляют некоторых корреспондентов сети оценивать данную частоту как занятую.

В зоне *C* с радиусом R_{k3} при $U_c / U_n < n_{\text{доп}}$ возможны конфликты из-за взаимных помех, создаваемых другими корреспондентами радиосети, которые оценивают данную частоту как свободную и пытаются использовать ее для установления связи.

Необходимо получить расчетные соотношения для основных нагрузочных и структурных параметров КМД с учетом энергетических характеристик сигналов корреспондентов КМД.

Решение поставленной задачи

При известных плотностях распределения уровня полезного сигнала и помех $V(U_c)$ и $V(U_n)$ в точке приема при $n_{\text{доп}} = 1$ вероятность возникновения конфликта в зоне *C* можно выразить следующим образом [10]:

$$P_k^c = P\left[\frac{U_c}{U_n} < n_{\text{доп}}\right] = \int_{U_{c_{\text{min}}}^c}^{U_{c_{\text{max}}}^c} V(U_c) \cdot P(U_n > U_c) dU_c = \int_{U_{c_{\text{min}}}^c}^{U_{c_{\text{max}}}^c} V(U_c) \left[\int_{U_{n_0}}^{U_n} V(U_n) dU_n \right] dU_c, \quad (1)$$

где $U_{c_{\text{max}}}$ и $U_{c_{\text{min}}}$ – максимальный и минимальный уровни сигнала на входе радиоприемника корреспондента в точке *O*.

Вид плотности распределения уровня сигнала $V(U_c)$ и внутрисистемных помех $V(U_n)$ в каждой точке приема зависит от характера размещения корреспондентов в зоне с радиусом R_0 .

При равновероятных удалениях между корреспондентами плотность вероятности взаимных удалений между ними имеет вид:

$$f(r) = \frac{1}{R_0}. \quad (2)$$

Следовательно, как показано в [10],

$$V(U_c) = \frac{U_{c_{\text{max}}} \cdot U_{c_{\text{min}}}}{U_{c_{\text{max}}} - U_{c_{\text{min}}}} U_c^{-2} \frac{U_{c_{\text{min}}}}{U_c^2}; \quad (3)$$

$$V(U_n) = \frac{U_{n_{\text{max}}} \cdot U_{n_{\text{min}}}}{U_{n_{\text{max}}} - U_{n_{\text{min}}}} U_n^{-2} \frac{U_{n_{\text{min}}}}{U_n^2}. \quad (4)$$

При этом

$$P_k^c = U_{n_{\text{min}}} \left(\frac{1}{2U_{c_{\text{min}}}} + \frac{U_{c_{\text{min}}}}{2U_{n_0}^2} - \frac{1}{U_{n_0}} \right). \quad (5)$$

Считая при заданном распределении уровней $U_{c_{\text{min}}} = U_{n_{\text{min}}}$, получаем

$$P_k^c = \frac{1}{2} \left(1 - \frac{U_{c_{\text{min}}}}{U_{n_0}} \right)^2. \quad (6)$$

Для случая $n_{\text{доп}} \neq 1$ справедливы выражения:

$$P_k^c = 1 - \frac{1}{n_{\text{доп}}} \left[1 - \frac{1}{2} \left(1 - \frac{U_{c_{\text{min}}}}{U_{n_0}} \right)^2 \right], \quad n_{\text{доп}} > 1, \quad (7)$$

$$P_k^c = \frac{1}{2n_{\text{доп}}} \left(1 - \frac{n_{\text{доп}} \cdot U_{c_{\text{min}}}}{U_{n_0}} \right)^2, \quad n_{\text{доп}} < 1. \quad (8)$$

Очевидно, что при $n_{\text{доп}} = 1$ выражения (7), (8) приводятся к виду (6).

Принимая $U_{c_{\text{min}}} / U_{n_0} = \delta$, получаем

$$P_k = \frac{1}{2} (1 - \delta)^2. \quad (9)$$

Очевидно также, что при распределении ресурсов КМД наиболее вероятным конфликт будет в том случае, если конфликтующий корреспондент будет находиться на границе зон *B* и *C* или внутри зоны *C*.

Возможно отыскание некоторых параметров КМД для такого наихудшего случая, если решить приведенные ниже уравнения относительно максимально обслуживаемой КМД нагрузки Λ и максимально допустимого количества корреспондентов в КМД N :

$$\frac{1}{2} (1 - \delta)^2 = 1 - \exp[-(\Delta t_{\text{оп}} + a)(\Lambda - \lambda)], \quad (10)$$

$$\exp[-(\Delta t_{\text{оп}} + a)(\Lambda - \lambda)] = \frac{1}{1 - \frac{1}{2} (1 - \delta)^2},$$

где a – максимальное время распространения сигнала в радиоканале; $\Delta t_{\text{оп}}$ – интервал времени, необходимый для однозначного определения конкурирующей передачи в радиоканале; λ – нагрузка, создаваемая в радиоканале одним корреспондентом.

Далее

$$[(\Delta t_{\text{оп}} + a)(\Lambda - \lambda)] = \ln \frac{1}{1 - \frac{1}{2} (1 - \delta)^2}.$$

Отсюда

$$\Lambda = \lambda + \frac{\ln \frac{1}{1 - \frac{1}{2} (1 - \delta)^2}}{\Delta t_{\text{оп}} + a}, \quad (11)$$

$$N = 1 + \frac{\ln \frac{1}{1 - \frac{1}{2} (1 - \delta)^2}}{\lambda (\Delta t_{\text{оп}} + a)}. \quad (12)$$

Заключение

Полученные в ходе исследований выражения (11), (12) в дальнейшем могут быть использованы при разработке модели КМД на базе радиоканала, которая, при реализации

ее в СПО КТСПД СОД в качестве аппарата решения прикладных расчетных задач по планированию сетей передачи данных, позволит повысить эффективность управления КМД и СОД в целом.

Литература

1. Кучеряый А. Е., Парамонов А. И., Маколкина М. А., Мутханна А. С. А., Выборнова А. И., Дунайцев Р. А. и др. Трехмерные многослойные гетерогенные сверхплотные сети // Информационные технологии и телекоммуникации. 2022. Т. 10. № 3. С. 1–12.
2. Бакулин М. Г., Бен Режеб Т. Б. К., Крейнделин В. Б., Миронов Ю. Б., Панкратов Д. Ю, Смирнов А. Э. Многостанционный доступ в системах связи пятого и последующих поколений // Электросвязь. 2022. № 5. С. 16–21.
3. Богатырев В. А., Богатырев С. В., Богатырев А. В. Оценка готовности компьютерной системы к своевременному обслуживанию запросов при его совмещении с информационным восстановлением памяти после отказов // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. 2023. Т. 23. № 3. С. 608–617.
4. Росляков А. В. Сети фиксированной связи пятого поколения. М.: ООО «ИКЦ «Колос-с», 2024. 232 с.
5. Захаров М. В., Киричек Р. В. Методы построения сверхплотной сети e-health с использованием граничных вычислений // 75-я Научно-техническая конференция Санкт-Петербургского НТО РЭС им. А. С. Попова, посвященная Дню радио: сб. докладов. СПб.: СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2020. С. 145–147.
6. Росляков А. В., Герасимов А. В. Детерминированные сети связи и их стандартизация. // Стандарты и качество. 2024. № 7. С. 42–47.
7. Гезалов Э. Б. Модель неоднородной локальной сети связи с протоколом синхронного временного доступа с учетом надежности ее элементов // Т-Comm: Телекоммуникации и Транспорт. 2021. Т. 15. № 3. С. 25–29.
8. Верзун Н. А., Воробьев А. И., Пойманова Е. Д. Моделирование процесса передачи информации с разграничением прав доступа пользователей // Известия высших учебных заведений. Приборостроение. 2014. Т. 57. № 9. С. 33–37.
9. Верзун Н. А., Колбанёв М. О., Советов Б. Я. Корпоративный алгоритм множественного доступа в киберпространстве. Труды учебных заведений связи. 2025;11(3):97–107.
10. Доровских А. В., Сикарев А. А. Сети связи с подвижными объектами. – К.: Техника, 1989. – 158 с.

FORMATION OF APPROACHES TO THE DEVELOPMENT OF A MODEL OF A MULTIPLE ACCESS CHANNEL USED AS PART OF A DATA EXCHANGE SYSTEM WITH A DYNAMIC STRUCTURE

Sharko G. V.²

Keywords: *external interference, intra-system interference, undetectable conflict, signal-to-noise ratio, channel occupancy control, maximum serviced load, maximum allowable number of correspondents in a multiple access channel.*

Abstract

The aim of the work is to obtain calculated expressions for estimating the boundary values of load and structural parameters of multiple access channels for the purpose of their practical application in the deployment and operation of data exchange systems with a dynamic structure.

² Gennady V. Sharko, Ph.D. of Technical Sciences, Associate Professor, Lecturer of the Department of the Military Academy of Communications, St. Petersburg, Russia.
E-mail: shgorg@mail.ru

Research methods: probability theory, methods for assessing the noise immunity of signal reception.

Results of the study: Calculated ratios have been obtained for estimating the load (the maximum load served by the multi-access channel) and structural (the maximum permissible number of correspondents in the multi-access channel) parameters. The use of this mathematical apparatus as part of special software of the complexes of technical means of data transmission will make it possible to adapt data exchange systems with dynamic structure to changes in its characteristics. Thus, a more efficient distribution of resources of the multiple access channel will be ensured, a reduction in unproductive resource losses, and, as a result, an increase in the bandwidth of the data exchange system as a whole.

Научная новизна: в статье сформирован подход к разработке модели канала множественного доступа, учитывающей энергетические соотношения сигналов корреспондентов, функционирующих в канале множественного доступа, полученные выражения позволяют оценить нагрузочные и структурные параметры каналов множественного доступа, в том числе через энергетические характеристики сигналов корреспондентов.

References

1. Kucherjavyj A. E., Paramonov A. I., Makolkina M. A., Muthanna A. S. A., Vybornova A. I., Dunajcev R. A. i dr. Trehmernye mnogoslojnye geterogennye sverhplotnye seti // Informacionnye tehnologii i telekommunikaci. 2022. T. 10. № 3. S. 1–12.
2. Bakulin M. G., Ben Rezheb T. B. K., Krejndelin V. B., Mironov Ju. B., Pankratov D. Ju, Smirnov A. Je. Mnogostacionnyj dostup v sistemah svjazi pyatogo i posledujushhih pokolenij // Jelektrosvjaz'. 2022. № 5. S. 16–21.
3. Bogatyrev V. A., Bogatyrev S. V., Bogatyrev A. V. Ocenna gotovnosti komp'juternoj sistemy k svoevremennomu obsluzhivaniju zaprosov pri ego sovmeshhenii s informacionnym vosstanovleniem pamjati posle otkazov // Nauchno-tehnicheskij vestnik informacionnyh tehnologij, mehaniki i optiki. 2023. T. 23. № 3. S. 608–617.
4. Rosljakov A. V. Seti fiksirovannoj svjazi pyatogo pokolenija. M.: OOO «IKC «Kolos-s», 2024. 232 s.
5. Zaharov M. V., Kirichek R. V. Metody postroenija sverhplotnoj seti e-health s ispol'zovaniem granichnyh vychislenij // 75-ja Nauchno-tehnicheskaja konferencija Sankt-Peterburgskogo NTO RJeS im. A. S. Popova, posvjashchennaja Dnju radio: sb. dokladov. SPb.: SPbGJeTU «LJeTI», 2020. S. 145–147.
6. Rosljakov A. V., Gerasimov A. V. Determinirovannye seti svjazi i ih standartizacija. // Standarty i kachestvo. 2024. № 7. S. 42–47.
7. Gezalov Je. B. Model' neodnorodnoj lokal'noj seti svjazi s protokolom sinhronnogo vremennogo dostupa s uchetom nadezhnosti ee jelementov // T-Comm: Telekommunikacii i Transport. 2021. T. 15. № 3. C. 25–29.
8. Verzun N. A., Vorob'jov A. I., Pojmanova E. D. Modelirovanie processa peredachi informacii s razgranicheniem prav dostupa pol'zovatelej // Izvestija vysshih uchebnyh zavedenij. Priborostroenie. 2014. T. 57. № 9. S. 33–37.
9. Verzun N. A., Kolbanjov M. O., Sovetov B. Ja. Korporativnyj algoritm mnozhestvennogo dostupa v kiberprostranstve. Trudy uchebnyh zavedenij svjazi. 2025;11(3):97–107.
10. Dorovskih A. V., Sikarev A. A. Seti svjazi s podvizhnymi ob'ektami. – K.: Tjehnika, 1989. – 158 s.

