

# МЕТОД ПОВЫШЕНИЯ СКОРОСТИ ПЕРЕДАЧИ ИНФОРМАЦИИ В ПАРАЛЛЕЛЬНЫХ РАДИОКАНАЛАХ РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ

Крупенин А.В.<sup>1</sup>, Махов Д.С.<sup>2</sup>, Кузьменко А.С.<sup>3</sup>, Сирченко В.И.<sup>4</sup>

В настоящее время робототехнические комплексы специального назначения становятся неотъемлемой частью ведения военных конфликтов. Повышение скоротечности военных конфликтов вынуждает разработчиков непрерывно совершенствовать подсистемы сбора, обработки и передачи информации. Особенностью таких систем является многофункциональность, поступление информации от множества датчиков, использование высокоскоростной съемки с высокой разрешающей способностью. Это ведет к увеличению объема целевой информации, необходимой для передачи за минимальное время лицу, принимающему решение. Вместе с тем увеличение объема разнородной информации предъявляет жесткие требования к средствам криптографической защиты информации, функционирование которых обусловлено высокими качественными и количественными характеристиками радиоканалов робототехнических комплексов военного назначения, особенно в условиях информационно-технического воздействия противника. Невыполнение данных требований ставит под угрозу своевременность доведения информации и эффективность функционирования системы управления боем. В связи с этим повышение скорости передачи целевой информации с борта на наземный пункт обработки информации является актуальной задачей. Одним из методов повышения помехоустойчивости и скорости передачи информации является организация параллельных каналов передачи информации. При этом актуальной задачей является поиск оптимального перераспределения объема передаваемой информации в параллельных каналах с целью сокращения времени на ее передачу. В статье предложена математическая модель системы управления объемами информации и метод повышения скорости передачи информации на основе поиска оптимального соотношения объемов в параллельных радиоканалах передачи без помех. Получены математические выражения оптимального перераспределения объема передаваемой информации с учетом наложенных ограничений для двух параллельных каналов. Предложен метод решения задачи на основе определения псевдообратной матрицы. Приведены результаты численных исследований.

**Ключевые слова:** параллельные каналы передачи информации, математическая модель, метод Гревилля, информационно-техническое воздействие.

DOI: 10.21681/2311-3456-2019-6-102-112

## Введение

Применение робототехнических комплексов (РТК) становится неотъемлемой частью современных специальных операций. Необходимость использования существующих и вновь разрабатываемых РТК подтверждается высокой результативностью специальных операций с их использованием [1-6]. Возрастание динамики военных конфликтов вынуждает разработчиков РТК непрерывно совершенствовать отдельные подсистемы и комплексы в целом, в том числе их системы сбора, обработки и передачи информации [7, 8]. Особенностью таких систем является многофункциональность, поступление информации от множества датчиков, использование высокоскоростной съемки с высокой раз-

решающей способностью. Особую актуальность приобретают работы по унификации полезной нагрузки РТК, что позволяет одному РТК одновременно осуществлять сбор информации в различных частотных диапазонах.

Модернизация РТК в данных направлениях ведет к увеличению объема целевой информации на борту, необходимой для передачи за минимальное время лицу, принимающему решение (ЛПР), на управление боевыми действиями. Требование к своевременности доведения информации диктуется скоротечностью ведения боевых действий. Увеличение объема разнородной информации предъявляет жесткие требования к средствам криптографической защиты информации

- 1 Крупенин Александр Владимирович, Заслуженный военный специалист Российской Федерации, доктор технических наук, профессор, заместитель начальника училища по учебной и научной работе, Краснодарское высшее военное училище, г. Краснодар, Россия. E-mail: kvvu@mail.ru
- 2 Махов Денис Сергеевич, кандидат технических наук, докторант, Краснодарское высшее военное училище, г. Краснодар, Россия. E-mail: sinedvoham@mail.ru
- 3 Кузьменко Алексей Сергеевич, кандидат технических наук, начальник кафедры, Краснодарское высшее военное училище, г. Краснодар, Россия. E-mail: a\_ku@list.ru
- 4 Сирченко Василий Иванович, кандидат технических наук, сотрудник Восьмого управления Генерального штаба ВС РФ, г. Москва, E-mail: vass60@list.ru

(СКЗИ), которые во многом определяются качественными и количественными характеристиками радиоканалов РТК [9-15]. Невыполнение данных требований ставит под угрозу своевременность доведения информации до ЛПР и эффективность функционирования системы управления боем в целом.

Это заставляет искать новые способы оптимизации характеристик радиоканалов связи РТК и пути совершенствования подсистем управления их параметрами, такими как скорость передачи информации и пропускная способность каналов связи. Повышение скорости передачи целевой информации с борта РТК ВН на наземный пункт обработки информации (ПОИ) является актуальной задачей<sup>5</sup>.

Особую актуальность данная задача приобретает в условиях деструктивных воздействий противника на РТК [16, 17]. В случае информационно-технического воздействия противника целевая информация с борта РТК должна быть передана на наземные промежуточные пункты приема информации любого назначения за минимальное время, а затем по имеющимся защищенным проводным высокоскоростным каналам доставлена в ПОИ. Задача повышения скорости передачи информации по радиоканалу тесно связана с задачей обеспечения помехоустойчивости систем связи РТК, что обуславливает применения методов помехоустойчивого кодирования<sup>6</sup>, решающей обратной связи и методов организации параллельных каналов передачи<sup>7</sup> [18].

В отличие от случая распространения информации по проводным каналам связи, в которых организация помех или перехвата информации довольно затруднительна, радиоканал РТК является неконтролируемой зоной распространения информации, что выражается в многообразии возможностей противника по постановке помех и перехвату информации в радиоканале. Поэтому организация решающей обратной связи на фоне помех является слабозффективной мерой повышения помехоустойчивости. Увеличение времени, затрачиваемого на перезапрос информации, приводит к увеличению времени на принятие решения ЛПР. Другим подходом обеспечения помехоустойчивости является организация параллельных каналов передачи целевой информации с РТК в ПОИ физически реализуема за счет введения промежуточных пунктов приема, в качестве которых могут выступать наземные пункты управления, командные пункты, запасные пункты управления, отдельные боевые единицы. Это позволяет повысить скорость передачи информации за счет оптимального перераспределения информации по пространственно разнесенным каналам. Оптимальное распределение объема передаваемой целевой информации по параллельным каналам зависит от множества параметров радиоканала и является сложной задачей.

Целью статьи является разработка математической модели и метода повышения скорости передачи информации с борта РТК ВН на ПОИ на основе ее оптимального перераспределения по параллельным каналам.

### Постановка задачи

Пусть РТК ВН воздушного базирования, расположенному в точке  $A$  с координатами  $x_0, y_0, z_0$ , необходимо передать информацию объемом  $V_0$  на ПОИ, расположенный в точке  $B(x_b, y_b, z_b)$ . Пусть также имеется  $M$  наземных промежуточных пунктов приема информации в точках  $C_m(x_m, y_m, z_m)$ . Геометрия задачи представлена на рисунке 1.

Расстояние между РТК ВН и ПОИ может быть определено по известной формуле<sup>8</sup> [19]:

$$R_0 = \sqrt{(x_0 - x_b)^2 + (y_0 - y_b)^2 + (z_0 - z_b)^2}. \quad (1)$$

Дальности  $R_m$  определяются по формуле (1) путем замены соответствующих индексов при координатах точек  $C_m$ . Причем  $R_m \neq R_{M-m}$ .

Пусть на борту РТК установлена многоканальная многолучевая антенная решетка (МАР), параметры которой позволяют формировать количество  $M$  лучей характеристики направленности (ХН) равное количеству промежуточных пунктов приема информации [20]. Рассмотрим случай, когда отношение сигнал/помеха+шум (ОСПШ) в радиоканале  $AB$  дальностью  $R_0$  много меньше единицы  $Q_0 \ll 1$ .

Такая ситуация может иметь место при воздействии преднамеренных помех противника на радиоканал  $AB$ , либо при отсутствии между точками  $A$  и  $B$  прямой видимости (наличии препятствия). В таком случае возникает задача передачи информации объемом  $V_0$  за минимальное время  $t_0$  на  $M$  промежуточных пунктов приема информации с заданной вероятностью ошибки  $\rho_0 = \rho_m$ . При условии того, что имеется возможность с помощью МАР повысить качество радиоканалов  $AC_m$ , дальность которых равна  $R_m$  [20], возникает необходимость определить, какую долю от общего объема информации  $V_0$  по какому из радиоканалов  $AC_m$  передавать.

Поэтому повышение скорости передаваемой информации  $V_0$  будет реализовано за счет оптимального перераспределения объемов  $V_m$  по парциальным лучам  $AC_m$ , формируемых МАР, в зависимости от характеристик и параметров радиоканалов. В связи с этим под скоростью передачи информации в данной задаче будем понимать скорость относительно каждого парциального объема  $V_m$ . Уменьшение данного объема позволяет передать его по радиоканалу за меньшее время по сравнению с другим объемом, передаваемым за это же время, что не противоречит понятию повышения скорости. Номинальная же скорость передачи информации в ее классическом понимании считается заданной.

5 Максимов М.В. Защита от радиопомех / под. ред. М.В. Максимова. - М.: Советское радио, 1976. 496 с.

6 Помехозащищенность радиосистем со сложными сигналами / Г.И. Тузов, В.А. Сивов, В.И. Прытков и др. - М.: Радио и связь, 1985. - 264 с.

7 Андронов И.С. Финк Л.М. Передача дискретных сообщений по параллельным каналам. - М.: Советское радио, 1971. - 408 с.

8 Корн Г., Корн Т. Справочник по математике (для научных работников и инженеров). - М.: Наука, 1974. - 832 с.

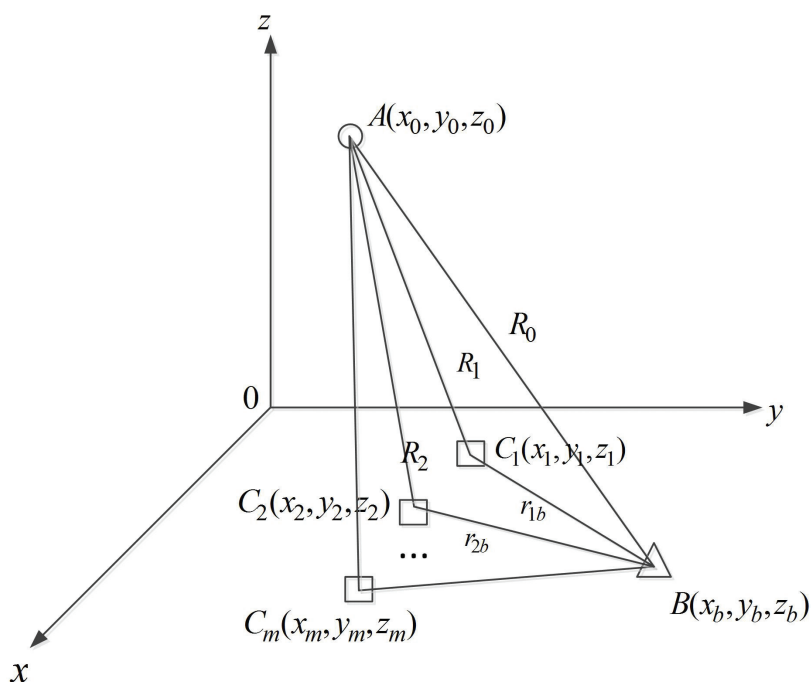


Рис.1. Пространственное расположение РТК, ПОИ и промежуточных пунктов приема информации

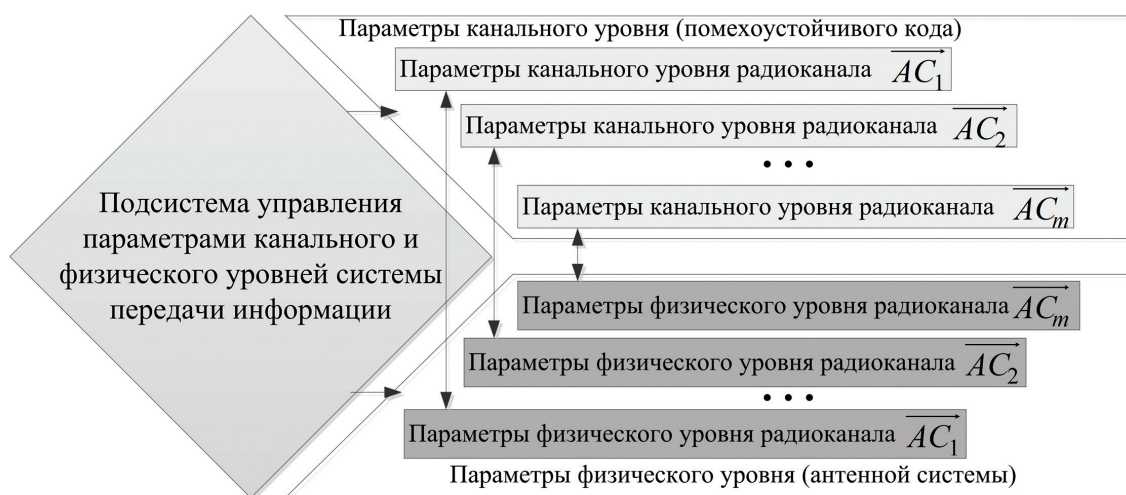


Рис. 2. Представление системы управления характеристиками параллельных радиоканалов робототехнических комплексов в рамках модели взаимодействия открытых систем

Для решения задачи необходимо оптимально распределить имеющийся на борту БЛА объем информации  $V_0$  на парциальные объемы  $V_m, m = \overline{1, M}$  для передачи ее по  $M$  каналам. Задача отличается от аналогичных задач организации параллельных каналов, описанных, например, в учебнике Андропова И.С. и Финка Л.М.<sup>9</sup>, тем, что РТК находится в движении, и параметры радиоканалов  $\overline{AC}_m$  представляют функ-

циональные зависимости от времени. Оптимальное перераспределение объемов информации возможно на основе управления информационными и энергетическими характеристиками радиоканалов. Синтез системы оптимального управления информационными и энергетическими характеристиками радиоканалов является самостоятельной задачей. Следует отметить, что управление характеристиками может осуществляться на канальном и физическом уровне модели взаимодействия открытых систем (рис. 2).

9 Андронов И.С. Финк Л.М. Передача дискретных сообщений по параллельным каналам. - М.: Советское радио, 1971. - 408 с.

### Ограничения на решение задачи

При решении задачи целесообразно ввести следующие ограничения: связь между промежуточными пунктами приема информации и ПОИ устанавливается по проводным защищенным каналам на расстоянии  $r_{mb}$ ; скорость передачи информации по каналам  $r_{mb}$  максимальна, воздействие преднамеренных помех не учитывается. Для радиоканалов установим, что в каждом канале используется фазовая модуляция, каналы без памяти, а частота несущего колебания одинакова для всех каналов. Будем полагать также, что средой распространения является свободное пространство, рефракция не учитывается, замирания в канале отсутствуют, распределение шума – гауссово, радиолиния идеальная, один символ содержит один бит информации, используется безызбыточное кодирование. Коэффициенты усиления антенн передатчика и приемника выбираются равными, а мощность передатчика распределена равномерно по всем каналам [21]. Несмотря на значительный объем ограничений, они необходимы для определения основных соотношений по оптимальному распределению объема передаваемой информации.

### Математическая модель и способ решения задачи

Сформулируем задачу в виде максимизации скорости передачи:

$$U_0(V_m) \rightarrow \max, \quad (2)$$

при условии, что вероятности битовой ошибки в каждом канале должны стремиться к нулю:

$$\rho_m = \frac{1}{2} \exp(-D_m) \rightarrow 0, \quad (3)$$

где:  $D = \frac{E_b}{N_0}$  – отношение энергии бита к спектральной

плотности мощности шума,  $E_b$  – энергия бита,  $N_0$  – спектральная плотность мощности шума.

Выражение для  $D$  на основании [20] можно записать в виде:

$$D_m = \frac{S_m W}{N_m U_m}, \quad (4)$$

где:  $S$  – мощность сигнала в точке приема,  $N$  – мощность шума в точке приема,  $W$  – ширина полосы частот,  $U$  – скорость передачи информации в каждом канале.

Раскрывая в выражении (4) отношение средней мощности сигнала к средней мощности шума и используя первое уравнение радиосвязи, получим выражение связи энергии бита с объемом передаваемой информации и параметрами радиоканала в промежуточных пунктах приема информации<sup>10</sup> [21]:

$$D_m(R, V_m) = \frac{P_t G_t G_r \lambda^2 t W}{16\pi^2 R_m^2 N V_m}, \quad (5)$$

где:  $\lambda$  – длина волны,  $P_t$  – мощность передатчика,  $G_t, G_r$  – коэффициенты усиления антенн передатчика и приемника соответственно.

Искомые объемы  $V_m$  являются долями общего объема  $V_0$  и могут быть найдены из выражения:

$$\begin{aligned} V_m &= a_m V_0, \\ \sum_m V_m &= V_0. \end{aligned} \quad (6)$$

Таким образом, переписав выражение (3) с учетом (5), (6) и ограничений, получим математическую модель оптимального перераспределения объема целевой информации в виде системы уравнений вида:

$$\begin{cases} V_1 + V_2 + \dots + V_m = V_0; \\ \frac{1}{2} \exp\left(-\frac{\gamma}{R_1^2 V_1}\right) = \rho_1; \\ \frac{1}{2} \exp\left(-\frac{\gamma}{R_2^2 V_2}\right) = \rho_2; \\ \dots \\ \frac{1}{2} \exp\left(-\frac{\gamma}{R_m^2 V_m}\right) = \rho_m, \end{cases} \quad (7)$$

где:  $\gamma = \frac{P_t G_t G_r \lambda^2 t}{16\pi^2 N_0}$  – коэффициент, одинаковый

по условиям задачи для  $m = \overline{1, M}$  каналов.

Решение системы уравнений (7) при количестве каналов  $M = 2$  может быть получено методом Крамера или методом исключения неизвестного.

Применительно к последнему методу общий объем информации  $V_0$  представим суммой объемов  $V_1$  и  $V_2$ . Из выражения для вероятности битовой ошибки получим систему уравнений для двух каналов:

$$\begin{cases} -\frac{\gamma}{R_1^2 V_1} = \ln(2\rho_1); \\ -\frac{\gamma}{R_2^2 V_2} = \ln(2\rho_2). \end{cases} \quad (8)$$

Так как  $\rho_1 = \rho_2$ , то и  $\ln(2\rho_1) = \ln(2\rho_2)$ .

Выражая  $\ln(2\rho_2)$  через  $V_2$ , получим выражение:

10 Скляр Б. Цифровая связь. Теоретические основы и практическое применение, изд. 2-е, испр.: пер. с англ. - М.: Издательский дом «Вильямс», 2003. 1104 с.

$$V_1 = -\frac{\gamma}{R_1^2 \cdot \ln(2\rho_2)} = -\frac{\gamma}{R_1^2 \cdot \left(-\frac{\gamma}{R_2^2 \cdot V_2}\right)}$$

или

$$V_1 = \frac{R_2^2 \cdot V_2}{R_1^2}.$$

Учитывая первое уравнение системы (7) получим итоговые выражения для оптимального соотношения  $V_1$  и  $V_2$  в зависимости от общего объема информации:

$$V_1 = \frac{V_0 \cdot R_1^2}{R_1^2 + R_2^2}, \quad (9)$$

$$V_2 = \frac{V_0 \cdot R_2^2}{R_1^2 + R_2^2}. \quad (10)$$

Выражения (9) и (10) справедливы для решения задачи с учетом ограничений, однако они определяют взаимосвязь объема информации и расстояния. Снятие ограничений и введение неопределенности за счет учета преднамеренного помехового воздействия противника в канале усложнит (8) и позволит уточнить модель, но это выходит за рамки данной работы. Вместе с тем представляет интерес решение системы (7) для числа каналов  $M > 2$ . При увеличении размерности задачи метод исключения неизвестного становится громоздким, а метод Крамера усложняется вычислением большого числа определителей системы. Для  $M > 2$  каналов применим матричный метод решения систем уравнений.

Перепишем систему (7) в следующем виде:

$$\mathbf{F} \times \mathbf{X} = \mathbf{S}. \quad (11)$$

Матрица-вектор  $\mathbf{X}$  будет представлять неизвестные объемы информации в каждом канале.

Матрицу  $\mathbf{F}$  сформируем в следующем виде:

$$\mathbf{F} = \begin{pmatrix} V_0 & V_0 & \dots & V_0 \\ -\frac{\gamma}{R_1^2 V_1} & 0 & \dots & 0 \\ 0 & -\frac{\gamma}{R_2^2 V_2} & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & \dots & -\frac{\gamma}{R_m^2 V_m} \end{pmatrix}. \quad (12)$$

Так как матрица (12) не квадратная, то для нее не существует обратной матрицы. Поэтому для поиска

решения воспользуемся методом Гревилля для нахождения псевдообратной матрицы  $\mathbf{F}^+$  – наилучшего приближенного решения по методу наименьших квадратов. Матрица свободных членов  $\mathbf{S}$  будет иметь вид:

$$\mathbf{S} = \begin{pmatrix} V_0 \\ 0 \\ 0 \\ \dots \\ 0 \end{pmatrix} \quad (13)$$

Решение (11) будем искать в виде:

$$\mathbf{X} = \mathbf{F}^+ \times \mathbf{S}. \quad (14)$$

На основании того, что вектор столбец в правой части (11) является линейной комбинацией элементов левой части, то (12) можно также представить в виде линейной комбинации:

$$\mathbf{F} = \mathbf{L} \times \mathbf{Q}, \quad (15)$$

где:  $\mathbf{L} = \{L_{nj}\}$  – матрица  $n$  линейно независимых столбцов матрицы  $\mathbf{F}$ ,  $\mathbf{Q} = \{q_{jm}\}$  – матрица коэффициентов линейного разложения.

Тогда псевдообратная матрица  $\mathbf{F}^+$  может быть найдена в виде:

$$\mathbf{F}^+ = \mathbf{L}^T \times (\mathbf{L} \times \mathbf{L}^T)^{-1} \times (\mathbf{B} \times \mathbf{B}^T)^{-1} \times \mathbf{B}^T. \quad (16)$$

### Результаты численной оценки

Проведем расчет решения системы (8) для двух каналов передачи информации. Пусть необходимо передать объем информации  $V_0$ , содержащейся в  $N = 1000$  бит, по двум каналам с дальностями

$R_1 = 2000$  м и  $R_2 = 2870$  м при обеспечении одинаковой

вероятности битовой ошибки в точках приема  $M_1$  и  $M_2$ . Подстановка  $R_1, R_2$  в формулы (9) и (10) дает значения объемов информации  $V_1^* = 666.55$  бит и

$V_2^* = 333.44$  бит соответственно. Проведем моделирование, изменяя объем информации в первом канале

в диапазоне  $n_1 = \overline{1, N}$ . Тогда количество информации

во втором канале будет изменяться в диапазоне  $n_2 = \overline{N - n_1, 1}$ .

На рисунке 3 представлены результаты расчета зависимости отношения энергии бита к спектральной плотности мощности шума в первом и втором каналах от увеличения объема передаваемой информации в первом канале. Кривая 1 показывает убывание логарифма отношения энергии бита к спектральной плотности мощности шума при увеличении объема передаваемых данных в первом канале. Кривая 2 (пунктирная) показывает возрастание этого же отношения во втором

канале (с большей дальностью). Характер кривой 2 показывает уменьшение передаваемой информации во втором канале. Отсутствие симметрии характеризуется различными значениями дальностей  $R_1$  и  $R_2$  в выражениях (9) или (10).

На рисунке 4 приведена зависимость отношения двух отношений энергии бита к спектральной плотности мощности шума при увеличении объема передаваемых данных в первом канале. Характер кривой рисунка 4 позволяет определить оптимальное соотношение объемов по единичному значению кривой.

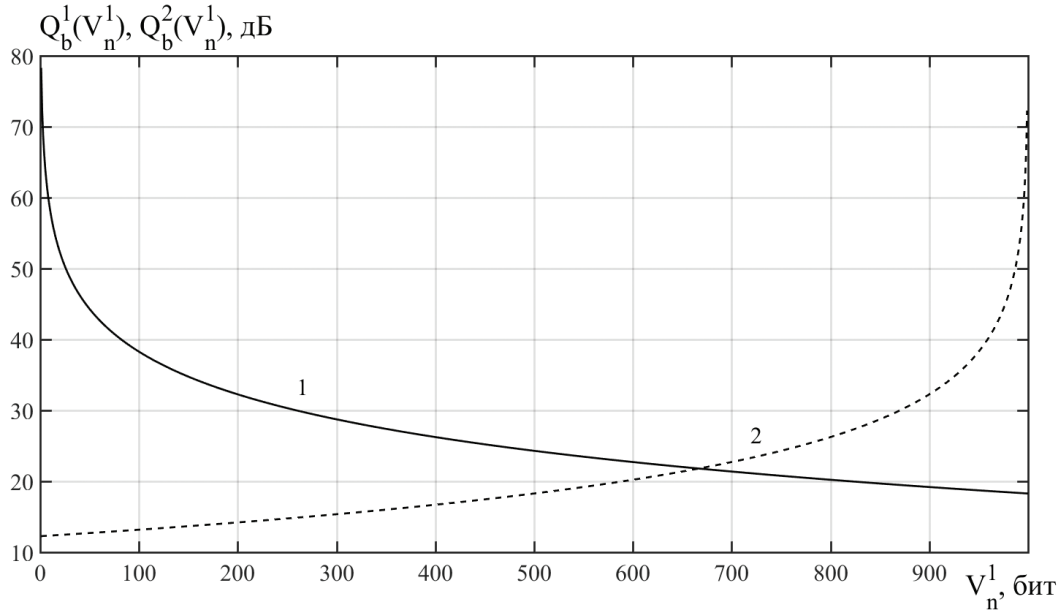


Рис. 3. Зависимости отношения энергии бита к спектральной плотности мощности шума в первом и втором каналах от увеличения объема передаваемой информации в первом канале

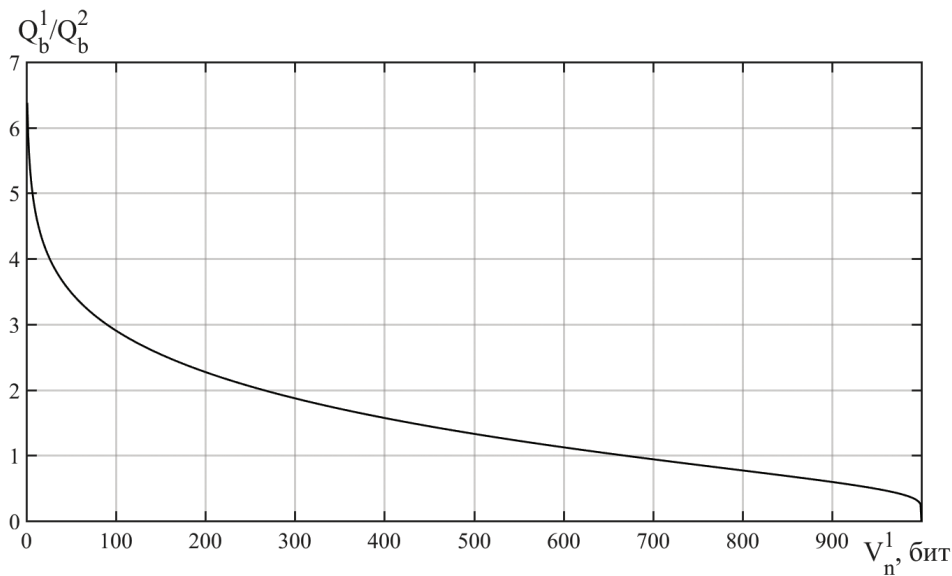


Рис. 4. Зависимость отношения логарифмов отношений энергии бита к спектральной плотности мощности шума двух каналов при увеличении объема передаваемых данных в первом канале

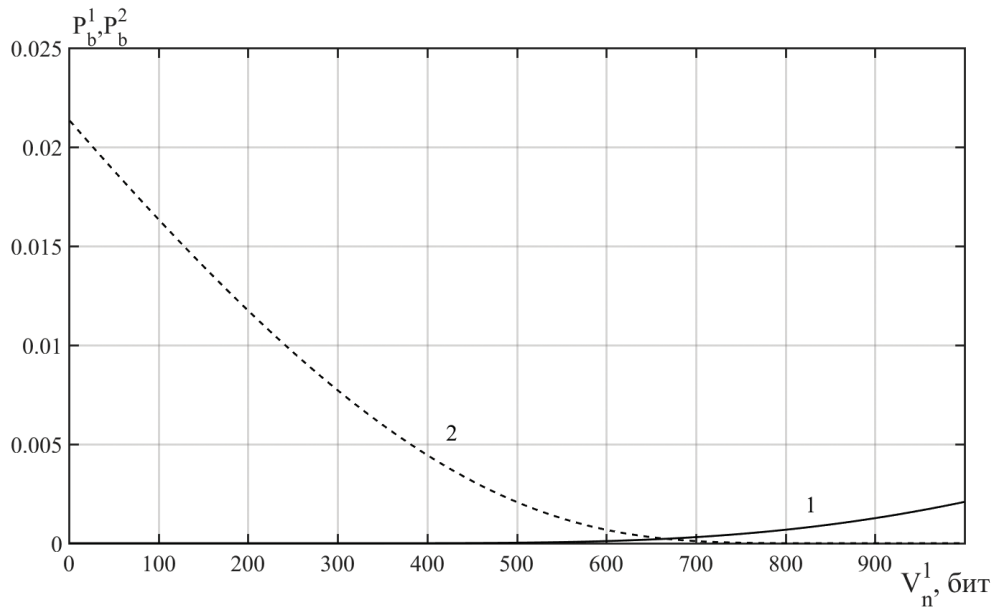


Рис. 5. Зависимости вероятности битовой ошибки от объема передаваемых данных в первом канале

На рисунке 5 представлены зависимости вероятности битовой ошибки в каждом канале при увеличении объема передаваемых данных в первом канале.

Кривая 1 рисунка 5 демонстрирует увеличение вероятности битовой ошибки в первом канале при увеличении объема информации в первом канале, так как код является примитивным. Кривая 2 показывает уменьшение вероятности битовой ошибки во втором канале, обусловленное уменьшением объема информации во втором канале.

Из графиков видно, что равные значения вероятности битовой ошибки для обоих каналов (точка пересечения кривых) указывают на оптимальное соотношение объемов информации, передаваемой по двум каналам. Для случая формирования  $M > 2$  каналов передачи информации результаты решения задачи оптимального перераспределения объемов передаваемой информации представлены в таблице 1.

Моделирование проводилось для информации объемом  $V_0$ , содержащейся в  $N = 1000$  бит (рис. 6). Были сформированы три канала, для которых была решена система уравнений (11) в виде (16).

Зависимость 1 рисунка 6 означает скорость передачи информации в радиоканале  $\overline{AB}$  дальностью  $R_0$ , зависимости 2-4 – радиоканалы  $\overline{AC}_m$ . Зависимость 5 означает суммарную скорость передачи по трем каналам. Выигрыш в скорости передачи информации с учетом ограничений будет определяться сравнением максимального объема переданных данных из трех каналов и исходного максимального объема при вычислении скорости по формуле  $U = V / t$ . Так как  $t_0 = t_m$ , а модуляции и условия каналов одинаковы, то выигрыш будет определяться как  $\sigma = V_0 / \max(V_m)$ , то есть  $\sigma = 1.87$  раза для трех каналов.

Таблица 1

Результаты оптимального распределения объемов передаваемой информации в зависимости от дальности радиоканала

Номер канала	Дальность канала $R$ , м	Объем информации в канале $V$ , бит
1	2000	537.453
2	2827	134.498
3	2498	328.048

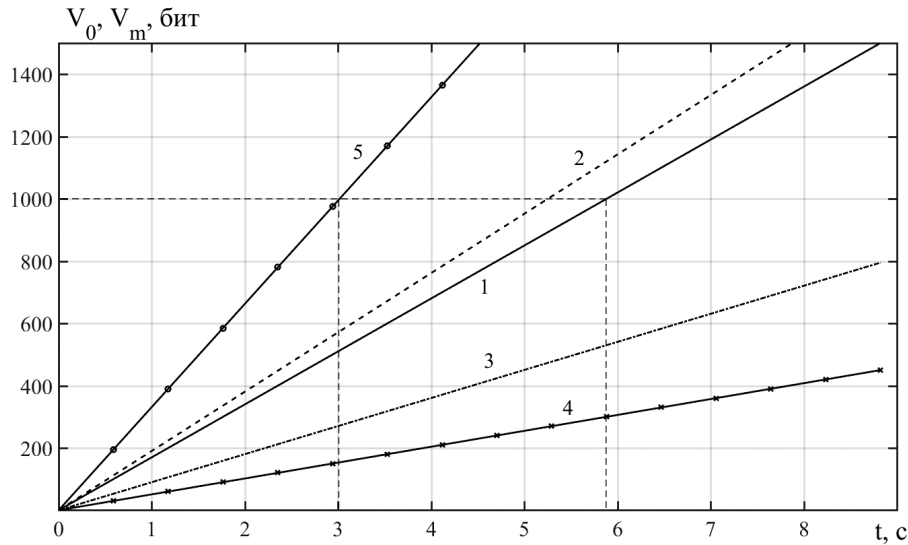


Рис. 6. Сравнение скорости передачи информации в исходном радиоканале и параллельных радиоканалах РТК ВН

### Заключение

Анализ результатов расчетов на основе использования предложенной математической модели параллельных радиоканалов показывает, что с увеличением длины канала объем передаваемой информации в каждом канале уменьшается для обеспечения требования к минимизации времени передачи данных. Это позволяет сделать вывод об адекватности предложенной модели параллельных каналов, так как относительная скорость передачи информации по параллельным каналам с учетом наложенных ограничений будет определяться длительностью передачи максимального из объемов. При этом выигрыш в передаче информации равного объема по трем параллельным каналам с неравными дальностями будет равен эквивалентному отношению общего объема информации к максимальной доле из распределенного объема. Для трех каналов эта величина с учетом ограничений на задачу равна  $\sigma = 1.87$ .

Общая скорость передачи информации с РТК может быть повышена за счет реализации параллельных каналов передачи информации с требуемыми характеристиками. В случае использования параллельных каналов задача оптимального перераспределения объема информации на борту с точки зрения минимизации времени (увеличения скорости) передачи ее по параллельным каналам может быть решена путем построения математической модели распределительной системы. В статье приведена математическая модель распределения в виде системы уравнений, связывающая объем

информации с характеристиками параллельных каналов. Предложен метод решения на основе получения псевдообратной матрицы, а также получены выражения для оптимального перераспределения объемов информации с учетом ограничений для двух параллельных каналов передачи информации, что позволит расширить существующий математический аппарат параллельных радиоканалов, описанный, например, в [22].

Результаты, представленные в данной статье, предлагается рассмотреть в качестве основания для проведения дальнейших исследований в данном направлении. Планируется рассмотреть вопросы оптимизации параметров помехоустойчивых кодов при изменении параметров параллельных радиоканалов при движении РТК, усложнить математическую модель параллельных каналов путем снятия ограничений на решение задачи, разработать метод оптимального перераспределения мощностей в параллельных радиоканалах РТК, а также установить взаимосвязь между параметрами кода и параметрами формирования лучей характеристики направленности многоканальной многолучевой антенной решетки. Разработка математических моделей и методов оптимального адаптивного управления параметрами помехоустойчивых кодов и параметрами антенной решетки позволит определять квазиоптимальные соотношения между параметрами физического и канального уровней системы передачи информации по параллельным каналам РТК.



### Литература

1. Басан Е.С., Басан А.С., Макаревич О.Б., Бабенко Л.К. Исследование влияния активных сетевых атак на группу мобильных роботов // Вопросы кибербезопасности. 2019. № 1 (29). С. 35-44.
2. Безденежных С.И., Брайткрайц С.Г., Репников Д.А., Флегонтов В.И., Черевко А.Г.Р. Эволюционно-технологический подход в управлении требованиями к робототехническим комплексам военного назначения // Вестник СибГУТИ. 2019. № 2. С. 87-93.
3. Боев Н.М. Анализ командно-телеметрической радиолинии связи с беспилотными летательными аппаратами // Вестник Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. СибГУ, 2012. - С. 86-91.
4. Леонов А.В., Тюлькин М.В., Трущенко В.В. Критерии оценки целесообразности и эффективности использования робототехнических комплексов военного назначения // Вооружение и экономика. 2019. № 1 (47). С. 23-29.
5. Макаренко С.И. Робототехнические комплексы военного назначения – современное состояние и перспективы развития // Системы управления, связи и безопасности № 2. 2016. - С. 73-132.
6. Рудианов Н.А., Хрущёв В.С. Концептуальные вопросы построения и применения автономных робототехнических комплексов военного назначения // Военная мысль. 2019. № 6. С. 55-61.
7. Кузнецов Ю.В., Винокуров А.В., Бардаев Э.А. Теоретические основы обеспечения информационной безопасности робототехнических комплексов // Военная мысль. 2018. № 12. С. 71-78.
8. Самойленко Д.В., Еремеев М.А., Финько О.А. Повышение информационной живучести группы робототехнических комплексов методами модулярной арифметики // Научные технологии в космических исследованиях земли. Т. 10, № 2, 2018. - С. 62-77.
9. Самойленко Д.В., Еремеев М.А., Финько О.А. Распределённая обработка и защита информации в группировке комплексов с беспилотными летательными аппаратами // Теория и техника радиосвязи. № 4, 2017. - С. 93-100.
10. Самойленко Д.В., Финько О.А. Имитоустойчивая передача данных в защищенных системах однонаправленной связи на основе полиномиальных классов вычетов // Нелинейный мир, 2013, № 9. - С. 647-658.
11. Самойленко Д.В., Финько О.А. Криптографическая система в полиномиальных классах вычетов для каналов с шумом и имитирующим злоумышленником // Теория и техника радиосвязи, 2010, № 4. - С. 39-44.
12. Самойленко Д.В., Финько О.А. Помехоустойчивая передача данных в радиоканалах робототехнических комплексов на основе полиномиальных классов вычетов // Научные технологии в космических исследованиях земли. - Т. 8, № 3, 2016. - С. 49-55.
13. Finko O.A., Dichenko S.A., Samoilenko D.V. Method of secured transmission of encrypted information over communication channels. RU Patent No. 2620730 (2017)
14. Samoilenko D., Eremeev M., Finko O., Dichenko S. (2019) Protection of Information from Imitation on the Basis of Crypt-Code Structures. In: Pejaš J., El Fray I., Hyla T., Kasprzyk J. (eds) Advances in Soft and Hard Computing. ACS 2018. Advances in Intelligent Systems and Computing, vol 889. Springer, Cham. pp. 317-331.
15. Samoilenko D.V., Eremeev M.A., Finko O.A. A method of providing the integrity of information in the group of robotic engineering complexes based on crypt-code constructions", Automatic Control and Computer Sciences, 51:8 (2017), pp. 965-971.
16. Боев Н.М. Способы повышения энергетической и спектральной эффективности цифровых систем связи беспилотных летательных аппаратов // Радиофизика, радиотехника, связь. Труды МФТИ. 2014. Том 6, № 2. - С. 162-166.
17. Польшинкин А.В., Ле Х.Т. Исследование характеристик радиоканала связи с беспилотными летательными аппаратами // Известия ТулГУ. Технические науки. 2013. вып. 7. ч. 2. С. - 98-106.
18. Дворников С.В. Методика оценки имитоустойчивости каналов управления роботизированных устройств // Радиопромышленность, 2016. № 2. - С. 64-69.
19. Волков Р.В., Дворников С.В., Саяпин В.Н., Симонов А.Н. Основы построения и функционирования разностно-дальномерных систем координатометрии источников радиоизлучений / Под редакцией Р. В. Волкова. - СПб.: ВАС, 2013. - 116 с.
20. Мануилов Б.Д., Башлы П.Н., Климухин Д.В., Мануилов М.Б., Безуглов Ю.Д. Многофункциональные антенные системы / под ред. проф. Б.Д. Мануилова. Ростов-на-Дону, РВИ РВ, 2008. - 443 с.
21. Янцен А.С., Носов В.И. Оценка помехоустойчивости и пропускной способности технологии ММО с учетом корреляции сигналов в антеннах // Вестник Сиб.ГУТИ. № 2, 2016. - С. 63-77.
22. Бакулин М.Г., Варукина Л.А., Крейнделин В.Б. Технология ММО: принципы и алгоритмы. М.: Горячая линия – Телеком, 2014. - 244 с.

# METHOD FOR INCREASING DATA TRANSMISSION RATE IN PARALLEL RADIO CHANNELS OF SPECIAL-PURPOSE ROBOTIC SYSTEMS

Krupenin A.V.<sup>11</sup>, Makhov D.S.<sup>12</sup>, Kuzmenko A.S.<sup>13</sup>, Sirchenko V.I.<sup>14</sup>

At present special-purpose robotic complexes become an integral part involved in military conflicts. Increasing brevity of military conflicts forces developers to constantly improve information acquisition, processing, and transmission subsystems. Such systems are peculiar for their multitasking functionality, acquisition of information from numerous sensors, use of high-speed fine resolution photography. This leads to an increased volume of target information which has to be transmitted over the minimum space of time to the decision-maker. At the same time, the increased volume of heterogeneous information sets forth strict requirements for cryptographic information protection tools which are enabled by high qualitative and quantitative characteristics of radio channels used in military robotic systems, especially in conditions of the information and technical impact produced by the opponent. Non-compliance with the requirements endangers the timeliness of information presentation and the efficiency of battle management system operation. In this connection, the urgent task is to increase the rate of target information transmission from the aircraft to the ground point of information processing. Organization of parallel data transmission channel is one of the methods used to improve resistance to interference and data transmission rate. At the same time, the crucial task is to define the optimal redistribution of transmitted data volume in parallel channels in order to reduce the time required for data transmission. The article describes the mathematical model of data volume management system and the method for increasing data transmission rate based on selection of the optimal volume ratio in parallel transmission radio channels without interference. Mathematical expressions have been obtained for the optimal redistribution of the transmitted data volume considering the existing limitations for two parallel channels. A method has been suggested for problem solving based on the pseudoinverse matrix definition. Results of numerical research are described.

**Keywords:** parallel channels of communication, mathematical model, Grevill's method, information and technical influence, information transfer speed.

## References

1. Basan E.S., Basan A.S., Makarevich O.B., Babenko L.K. Issledovanie vliyaniya aktivnykh setevykh atak na gruppu mobil'nykh robotov. Voprosy kiberbezopasnosti [Cybersecurity issues]. 2019. N 1 (29). P. 35-44. DOI: 10.21681/2311-3456-2019-1-35-44.
2. Bezdeneznykh S.I., Brajtkrajc S.G., Repnikov D.A., Flegontov V.I., Cherevko A.G.R. Evolyucionno-tehnologicheskij podhod v upravlenii trebovaniyami k robototekhnicheskim kompleksam voennogo naznacheniya. Vestnik SibGUTI. 2019. N 2. S. 87-93.
3. Boev N.M. Analiz komandno-telemetricheskoy radiolinii svyazi s bespilotnymi letatel'nymi apparatami. Vestnik Sibirskogo gosudarstvennogo aerokosmicheskogo universiteta imeni akademika M. F. Reshetneva. SibGU, 2012. S. 86-91.
4. Leonov A.V., Tyul'kin M.V., Trushchenkov V.V. Kriterii ocenki celesoobraznosti i effektivnosti ispol'zovaniya robototekhnicheskikh kompleksov voennogo naznacheniya. Vooruzhenie i ekonomika. 2019. N 1 (47). S. 23-29.
5. Makarenko S.I. Robototekhnicheskie komplekсы voennogo naznacheniya – sovremennoe sostoyanie i perspektivy razvitiya. Sistemy upravleniya, svyazi i bezopasnosti № 2. 2016. S. 73-132.
6. Rudianov N.A., Hrushchyov V.S. Konceptual'nye voprosy postroeniya i primeneniya avtonomnykh robototekhnicheskikh kompleksov voennogo naznacheniya. Voennaya mysl'. 2019. N 6. S. 55-61.
7. Kuznecov YU.V., Vinokurov A.V., Bardaev E.A. Teoreticheskie osnovy obespecheniya informacionnoj bezopasnosti robototekhnicheskikh kompleksov. Voennaya mysl'. 2018. N 12. S. 71-78.
8. Samojlenko D.V., Ereemeev M.A., Fin'ko O.A. Povyshenie informacionnoj zhivuchesti gruppy robototekhnicheskikh kompleksov metodami modulyarnoy arifmetiki. Naukoemkie tekhnologii v kosmicheskikh issledovaniyakh zemli. T. 10, № 2, 2018. S. 62-77.
9. Samojlenko D.V., Ereemeev M.A., Fin'ko O.A. Raspredelyonnaya obrabotka i zashchita informacii v gruppirovke kompleksov s bespilotnymi letatel'nymi apparatami. Teoriya i tekhnika radiosvyazi. N 4, 2017. S. 93-100.
10. Samojlenko D.V., Fin'ko O.A. Imitoustojchivaya peredacha dannykh v zashchishchennykh sistemah odnonapravlennoj svyazi na osnove polinomial'nykh klassov vychetov. Nelinejnyj mir, 2013, № 9. C. 647-658.
11. Samojlenko D.V., Fin'ko O.A. Kriptograficheskaya sistema v polinomial'nykh klassah vychetov dlya kanalov s shumom i imitiruyushchim

11 Aleksandr Krupenin, Dr.Sc., Professor, Krasnodar Higher Military School, Krasnodar, Russia. E-mail: kvvu.mil.ru

12 Denis Makhov, Ph.D., Krasnodar Higher Military School, Krasnodar, Russia. E-mail: sinedvoham@mail.ru

13 Alexey Kuzmenko, Ph.D., Krasnodar Higher Military School, Krasnodar, Russia. E-mail: a\_ku@list.ru

14 Vasily Sirchenko, Ph.D., General Staff of Russian Armed Forces, Moscow, Russia. E-mail: vass60@list.ru

## **Метод повышения скорости передачи информации в параллельных ...**

- zloumyshlennikom. Teoriya i tekhnika radiosvyazi, 2010, № 4. С. 39-44.
12. Samojlenko D.V., Fin'ko O.A. Pomekhoustojchivaya peredacha dannyh v radiokanalakh robototekhnicheskikh kompleksov na osnove polinomial'nyh klassov vychetov. Naukoemkie tekhnologii v kosmicheskikh issledovaniyah zemli. T. 8, № 3, 2016. S. 49-55.
  13. Finko O.A., Dichenko S.A., Samoilenko D.V. Method of secured transmission of encrypted information over communication channels. RU Patent No. 2620730 (2017)
  14. Samoilenko D., Ereemeev M., Finko O., Dichenko S. (2019) Protection of Information from Imitation on the Basis of Crypt-Code Structures. In: Pejaš J., El Fray I., Hyla T., Kacprzyk J. (eds) Advances in Soft and Hard Computing. ACS 2018. Advances in Intelligent Systems and Computing, vol 889. Springer, Cham. pp. 317-331.
  15. Samoilenko D.V., Ereemeev M.A., Finko O.A. A method of providing the integrity of information in the group of robotic engineering complexes based on crypt-code constructions", Automatic Control and Computer Sciences, 51:8 (2017), pp. 965-971.
  16. Boev N.M. Sposoby povysheniya energeticheskoy i spektral'noj effektivnosti cifrovyyh sistem svyazi bespilotnyh letatel'nyh apparatov. Radiofizika, radiotekhnika, svyaz'. Trudy MFTI. 2014. Tom 6, № 2. S. 162-166.
  17. Polynkin A.V., Le H.T. Issledovanie harakteristik radiokanala svyazi s bespilotnymi letatel'nymi apparatami. Izvestiya TulGU. Tekhnicheskie nauki. 2013. vyp. 7. ch. 2. S. 98-106.
  18. Dvornikov S.V. Metodika ocenki imitoustojchivosti kanalov upravleniya robotizirovannyh ustrojstv. Radiopromyshlennost', 2016. N 2. S. 64-69.
  19. Volkov R.V., Dvornikov S.V., Sayapin V.N., Simonov A.N. Osnovy postroeniya i funkcionirovaniya raznostno-dal'nomernyyh sistem koordinatometrii istochnikov radioizluchenij / Pod redakciej R. V. Volkova. SPb.: VAS, 2013. 116 s.
  20. Manuilov B.D., Bashly P.N., Klimuhin D.V., Manuilov M.B., Bezuglov YU.D. Mnogofunkcional'nye antennye sistemy / pod red. prof. B.D. Manuilova. Rostov-na-Donu, RVI RV, 2008. 443 s.
  21. YAncen A.S., Nosov V.I. Ocenka pomekhoustojchivosti i propusknoy sposobnosti tekhnologii MIMO s uchetom korrelyacii signalov v antennah. Vestnik Sib.GUTI. N 2, 2016. S. 63-77.
  22. Bakulin M.G., Varukina L.A., Krejndelin V.B. Tekhnologiya MIMO: principy i algoritmy. M.: Goryachaya liniya – Telekom, 2014. 244 s.

