

УПРАВЛЕНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТЬЮ СОВМЕЩЕННЫХ КАНАЛОВ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ ЕДИНОЙ СИСТЕМЫ СВЯЗИ

Н. М. Боев, Ю. А. Лебедев

Сибирский федеральный университет
Россия, 660074, Красноярск, ул. Киренского, 28. E-mail: idi86@inbox.ru

Рассматриваются вопросы управления энергетической эффективностью отдельных каналов передачи данных при работе через единую систему связи. Одним из примеров использования подобных систем является передача телеметрической информации с борта летательного аппарата и передача данных полезной нагрузки через один связной модуль. Предлагается структура построения совмещенной системы связи, в которой имеется возможность управления распределением энергетической эффективности между отдельными каналами передачи данных как на этапе конструирования системы, так и в процессе работы системы связи.

Ключевые слова: цифровая связь, энергетическая эффективность, адаптивное изменение параметров системы связи, программно-определяемые системы связи.

ENERGY EFFICIENCY MANAGEMENT OF COMMUNICATION CHANNELS

N. M. Boev, Yu. A. Lebedev

Siberian Federal University
28 Kirenskiy street, Krasnoyarsk, 660074, Russia. E-mail: idi86@inbox.ru

The article considers questions of energy efficiency management of communication channels operating in a single communication system. The authors propose data transfer method in wireless networks that can be used for distribution of energy efficiency between communication channels of one communication system. The structures of transmitter and receiver are described. The authors describe a communication system of unmanned aerial vehicle where there is necessity to transmit low-speed telemetry data and to transmit high-speed payload data to ground control unit. The information of low-speed data source is modulated by QAM4 and information of high-speed data source is modulated by QAM16. Synthesized constellation is obtained by summation of QAM4 and QAM16. By adjusting the amplitude of QAM4 we can distribute energy efficiency between communication channels. The proposed method can be generalized for multichannel communication systems. Adaptive distribution of energy efficiency between communication channels allows to improve communication systems energy and spectral efficiency.

Keywords: digital communications, energy efficiency, adaptive alteration of communicational system parameters, software-defined radio.

При передаче данных от нескольких источников через единую систему связи в некоторых случаях возникает необходимость в управлении энергетической эффективностью каждого канала передачи данных. Например, при передаче телеметрических данных с борта летательного аппарата (ЛА), как правило, необходимо обеспечить заданную на уровне $10^{-5} \dots 10^{-6}$ вероятность символьной ошибки при максимально возможной дальности работы системы связи, т. е. при минимально возможных отношениях сигнал/шум [1], в то время как к передаче данных полезной нагрузки (ПН) в режиме реального времени с борта ЛА предъявляются менее жесткие требования. Например, при передаче информации с датчиков различных диапазонов длин волн (видеокамер, инфракрасных датчиков и др.), требования к вероятности символьной ошибки могут быть на уровне $10^{-3} \dots 10^{-4}$. В то же время скорость передачи телеметрических данных обычно не превышает 100 кбит/с, тогда как скорость передачи

данных ПН существенно выше. Реализация независимых систем передачи данных для каждого канала не всегда оправдана в силу повышения стоимости связного оборудования, а также увеличения его массы и габаритов. Кроме того, в некоторых случаях имеется необходимость в передаче данных от большого числа независимых источников информации и реализация отдельных систем связи для каждого канала становится невозможной. Возникает проблема создания единой многоканальной системы связи с возможностью перераспределения энергетической эффективности между отдельными каналами связи.

Для решения поставленной проблемы может быть предложено несколько подходов. Первый подход основан на создании суммирующего канального кодера с несколькими входами данных и одним выходом, при этом для каждого информационного входа задается разная степень кодирования, что и создает возможность перераспределения энергетического ресурса

са канала связи. Второй подход предлагается использовать модифицированные сигнальные созвездия системы связи, что также позволяет перераспределять энергетический ресурс. В основе третьего подхода лежит совместное использование первого и второго подходов. В данной статье авторами рассматривается второй подход.

Для примера рассмотрим случай передачи данных через единую систему связи от двух источников информации: высокоскоростного и низкоскоростного. Для передачи данных низкоскоростного источника предлагается использование созвездия квадратурной амплитудной манипуляции второго порядка – КАМ4. В дальнейшем данное созвездие будем называть опорным. Для передачи данных высокоскоростного источника требуется использование созвездий квадратурной амплитудной манипуляции более высоких порядков, например КАМ16 (рис. 1).

Данные от источника низкоскоростной информации поступают на модулятор опорного созвездия КАМ4, данные от источника высокоскоростной информации поступают на второй модулятор, позиционность созвездия которого определяется исходя из необходимого соотношения скоростей передачи данных в каналах. Таким образом, при одинаковой символьной скорости передачи данных (бод) эффективная скорость (бит/с) будет зависеть от позиционности выбранного сигнального созвездия (см. таблицу). При необходимости спектр сигнала низкоскоростного источника информации может быть расширен, например кодами Баркера. Это позволит увеличить соотношение эффективных скоростей передачи информации на порядок.

Для передачи информации двух каналов данных через единую систему связи к сигналу опорного модулятора прибавляется сигнал второго модулятора. В результате сложения образуется новое созвездие порядка $m = n + l$, где n – порядок созвездия передачи данных высокоскоростного источника информации, $l = 2$ – порядок опорного созвездия. Точки опорного созвездия КАМ4 имеют координаты на комплексной плоскости $\pm K \pm i \cdot K$, где K – параметр, при помощи которого осуществляется перераспреде-

ление энергетического ресурса между каналами связи (на рис. 1 показано опорное созвездие КАМ4 при $K = 4$). Вид синтезированного созвездия зависит от параметра K (рис. 2). Известно, что энергетическая эффективность цифровых видов квадратурной амплитудной манипуляции определяется наименьшим евклидовым расстоянием между двумя точками нормированного созвездия [2]. С увеличением параметра K расстояние между точками опорного созвездия увеличивается, энергетическая эффективность растет. В то же время расстояние между точками созвездия передачи высокоскоростной информации уменьшается, что приводит к ухудшению энергетической эффективности.

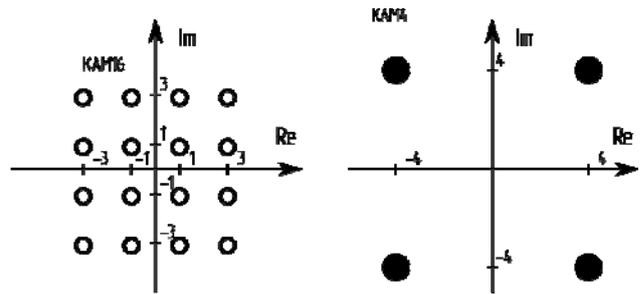


Рис. 1. Созвездие передачи данных высокоскоростного источника информации КАМ16 и опорное созвездие передачи данных низкоскоростного источника информации КАМ4

В предельном случае, когда $K \rightarrow \infty$, энергетическая эффективность опорного созвездия стремится к энергетической эффективности классического случая манипуляции КАМ4, а передача данных по высокоскоростному каналу становится невозможной. Параметр K может быть задан на этапе проектирования многоканальной системы передачи данных или может изменяться в процессе работы адаптивной программно-определяемой системы связи.

На рис. 3 показана структурная схема передающей части цифровой системы связи с управлением энергетической эффективностью каналов передачи информации.

Соотношение эффективных скоростей передачи информации

Опорное созвездие передачи данных низкоскоростного источника информации	Порядок опорного созвездия передачи данных низкоскоростного источника информации	Созвездие передачи данных высокоскоростного источника информации	Порядок созвездия передачи данных высокоскоростной информации	Порядок сформированного созвездия	Соотношение эффективных скоростей передачи информации
КАМ4	2	КАМ4	2	4	1
		КАМ8	3	5	1,5
		КАМ16	4	6	2
		КАМ32	5	7	2,5
		КАМ64	6	8	3
		КАМ128	7	9	3,5
		КАМ256	8	10	4

Данные от низкоскоростного источника информации поступают на модулятор опорного созвездия КАМ4, при помощи которого также осуществляется управление распределением энергетической эффективности между каналами. Данные от высокоскоростного источника информации поступают на второй модулятор (модулятор КАМ16). Комплексные сигналы с выходов модуляторов суммируются и нормируются для дальнейшей цифровой обработки сигнала. Ограничение спектра сигнала осуществляется при помощи формирующих фильтров, после чего сигнал переносится

квадратурным преобразователем частоты с нулевой промежуточной частоты на несущую частоту.

Структурная схема приемной части системы связи показана на рис. 4. Входной сигнал переносится на нулевую промежуточную частоту при помощи квадратурного преобразователя частоты, затем осуществляется согласованная фильтрация (в целях упрощения структурной схемы элементы синхронизации приемной части системы связи по несущему колебанию и символической частоте, а также блок решения фазовой неоднозначности на рис. 4 не показаны).

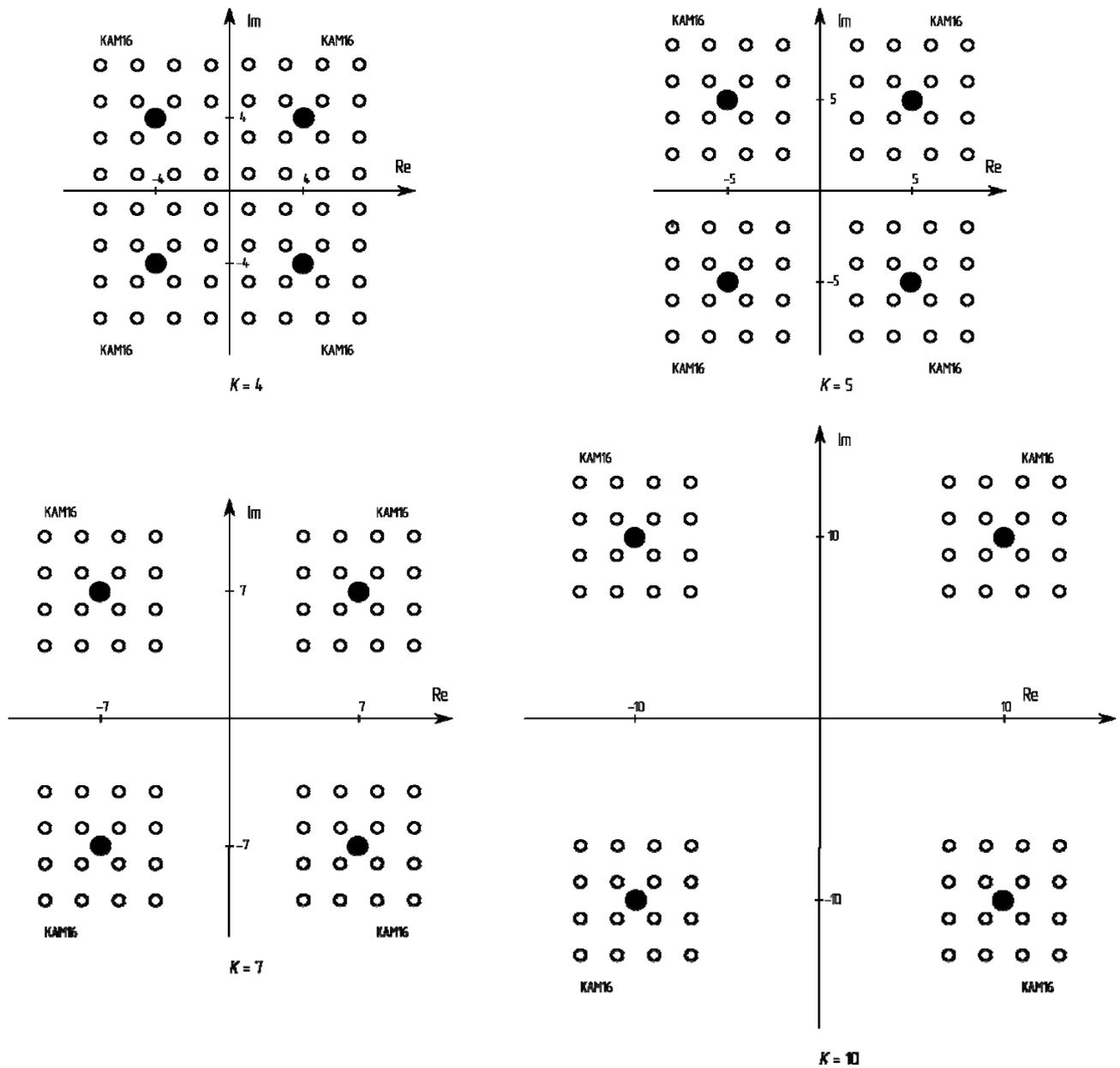


Рис. 2. Вид синтезированного созвездия при различных значениях параметра K : $K = 4, 5, 7, 10$

После фильтрации составляющие комплексного сигнала поступают на демодулятор КАМ4, реализуемый в виде двух компараторов и таблицы соответствий (истинности). С выхода демодулятора КАМ4 данные поступают получателю низкоскоростной ин-

формации и на вход регенератора опорного созвездия КАМ4. Регенерация опорного созвездия необходима для осуществления демодуляции сигнала высокоскоростного канала связи.

Управление энергетической эффективностью каналов передачи данных

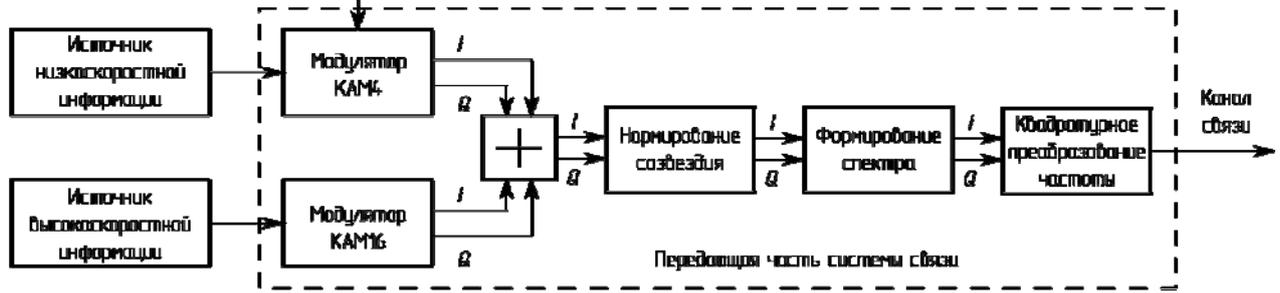


Рис. 3. Структурная схема передающей части системы связи

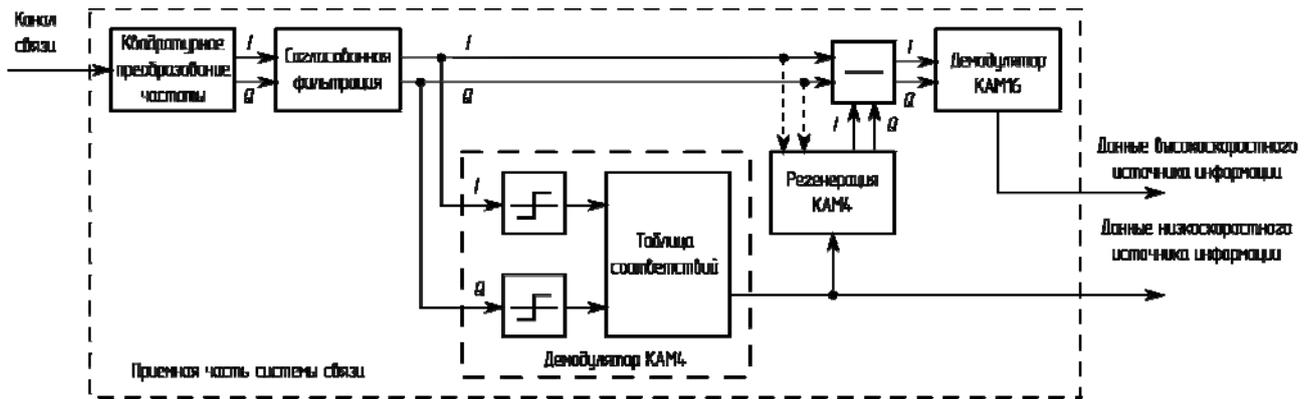


Рис. 4. Структурная схема приемной части системы связи

В случае если параметр K не изменяется в процессе работы или заранее известен, регенерация созвездия осуществляется на основе данных демодулятора КАМ4. В случае если параметр K адаптивно изменяется в процессе работы и передача его значения по имеющимся каналам связи невозможна, необходимо осуществлять оценку значения этого параметра, используя комплексный сигнал с выхода согласованного фильтра. Разность между принимаемым сигналом и регенерированным сигналом КАМ4 поступает на де-

модулятор сигнала высокоскоростной передачи информации КАМ16, данные с которого передаются получателю.

Модели передатчика и приемника системы связи, а также модель канала связи были реализованы в программном пакете графического блочного имитационного моделирования Simulink MATLAB. На рис. 5 показаны зависимости вероятности символьной ошибки от отношения сигнал/шум в канале передачи данных системы связи для различных значений параметра K .

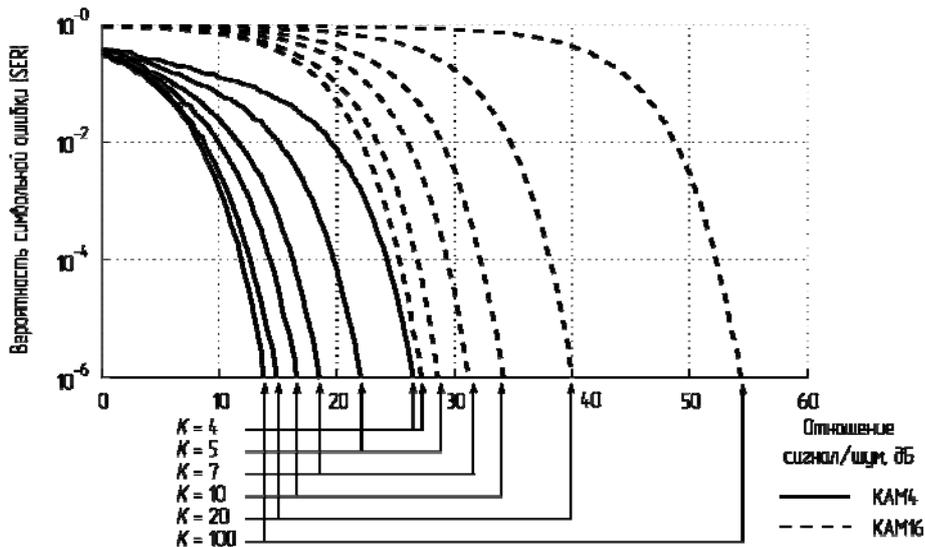


Рис. 5. Результаты моделирования системы связи в Simulink при различных значениях параметра K

Как видно из рис. 5, при параметре $K = 4$ зависимости для каналов связи сходятся при низких вероятностях символьной ошибки и соответствуют зависимости для классического варианта КАМ64. Увеличение параметра K до 5 приводит к резкому перераспределению энергетической эффективности между каналами связи. При значениях параметра K более 20 график зависимости энергетической эффективности для низкоскоростного источника информации изменяется мало и приближается к зависимости для классического варианта КАМ4. При этом график энергетической зависимости для высокоскоростного канала значительно смещается вправо и демодуляция сигнала становится невозможной.

Таким образом, предложенный метод передачи информации от нескольких источников по одному широкополосному общему каналу связи позволяет

эффективно перераспределять энергетический ресурс системы связи между каналами. Адаптивное управление амплитудой опорного созвездия позволяет повысить эффективность системы связи при изменяющихся условиях распространения сигнала в канале связи.

Результаты получены при поддержке Министерства образования Российской Федерации.

Библиографические ссылки

1. Боев Н. М. Анализ командно-телеметрической радиолинии связи с беспилотными летательными аппаратами. Вестник СибГАУ. 2012. № 2 (42). С. 86–91.
2. Скляр Б. Цифровая связь. Теоретические основы и практическое применение. М.: Вильямс, 2003.

© Боев Н. М., Лебедев Ю. А., 2013

УДК 536.24

РАСЧЕТ СОБСТВЕННЫХ ЧИСЕЛ В ЗАДАЧЕ НЕСТАЦИОНАРНОЙ ТЕПЛОПЕРЕДАЧИ ЧЕРЕЗ ЦИЛИНДРИЧЕСКУЮ СТЕНКУ ПРИ СМЕШАННЫХ ГРАНИЧНЫХ УСЛОВИЯХ

Ю. В. Видин, Д. И. Иванов

Сибирский федеральный университет
660074, Красноярск, ул. Киренского, 26. E-mail: idi86@inbox.ru

С использованием аналитических зависимостей разработан аналитический приближенный метод расчета собственных чисел в задаче нестационарной теплопередачи через цилиндрическую стенку при смешанных граничных условиях на внутренней и внешней поверхностях полого цилиндрического тела. Показано, что высокая точность расчета может быть достигнута с помощью доступных математических преобразований, т. е. без обращения к сложным специальным функциям Бесселя.

Ключевые слова: теплопередача, нестационарный процесс, собственные числа, цилиндрическая стенка, температурное поле, аналитический метод.

CALCULATION OF EIGENVALUES IN THE PROBLEM OF UNSTEADY HEAT TRANSFER THROUGH A CYLINDRICAL WALL WITH MIXED BOUNDARY CONDITIONS

Yu. V. Vidin, D. I. Ivanov

Siberian Federal University
26 Kirenskiy street, Krasnoyarsk, 660074, Russia. E-mail: idi86@inbox.ru

With the use of analytical dependencies, the authors developed an analytical approximate method for calculation of eigenvalues in the problem of non-stationary heat transfer through a cylindrical wall with mixed boundary conditions on the inner and outer surfaces of the hollow cylindrical body. The authors prove that the high accuracy of the calculation can be achieved with the use of the available mathematical transformations, in other words, without resort to complex special Bessel functions.

Keywords: heat transfer, non-stationary process, eigenvalues, cylindrical wall, temperature field, analytical method.

Известно, что аналитические методы дают полную, всеобъемлющую картину моделируемого процесса или явления в отличие от численных методов, которые требуют огромной вариативной проработки искомой задачи каждый раз при новом наборе исходных данных.

В этом плане следует отметить, что получение точных аналитических решений линейных и нелинейных задач теплопроводности для однослойных и многослойных конструкций с переменными в пределах каждого слоя физическими свойствами среды, а также с переменными по координатам и во времени граничными