

ПРИМЕНЕНИЕ ДЕТЕРМИНИРОВАННОГО ШУМА В СИСТЕМЕ РАДИОСВЯЗИ С ЦИФРОВОЙ МОДУЛЯЦИЕЙ

Кокин Дмитрий Сергеевич

Аспирант

Пономарев Олег Геннадьевич

Кандидат физ.-мат. наук, доцент

Национальный исследовательский Томский государственный университет

Томск, Россия

APPLICATION OF DETERMINATED NOISE IN A RADIO COMMUNICATION SYSTEM WITH DIGITAL MODULATION

Kokin Dmitry Sergeevich

Postgraduate student

Ponomarev Oleg Gennadievich

Candidate of Science in Physics and Mathematics, assistant professor

National Research Tomsk State University

Tomsk, Russia

Аннотация: В статье описывается система связи с цифровой псевдослучайной модуляцией. Система является одним из вариантов систем радиосвязи с расширенным спектром. В качестве расширяющей последовательности у данной системы связи используется детерминированный шум. Помехоустойчивость рассматриваемой системы связи может изменяться путем масштабирования коэффициента расширения – длины модуляционного символа. За счет увеличения коэффициента расширения достигается не только повышение помехоустойчивости системы, но и возможность разделения абонентов, одновременно работающих в общей полосе частот. Установлено, что у систем связи с цифровой псевдослучайной модуляцией длина модуляционного символа (значение коэффициента расширения) и количество разделяемых абонентов связаны квадратичной зависимостью.

Abstract: The article describes a communication system with digital pseudo-random modulation. The system is one of the variants of spread spectrum radio communication systems. This communication system uses deterministic noise as the spreading sequence. The noise immunity of the considered communication system can be changed by scaling the spreading factor - the length of the modulation symbol. By increasing the spreading factor, not only an increase in the noise immunity of the system is achieved, but also the possibility of separating subscribers simultaneously operating in a common frequency band. It has been established that for communication systems with digital pseudo-random modulation, the length of the modulation symbol (the value of the spreading factor) and the number of subscribers to be separated are related by a quadratic dependence.

Ключевые слова: цифровая модуляция, сигналы с расширенным спектром, корреляционный прием.

Keywords: digital modulation, spread spectrum signals, correlation reception.

Возможность расширения спектра передаваемого сообщения известна еще с середины прошлого столетия. Здесь существует два основных метода. Первый – метод скачкообразной перестройки частоты, второй – метод прямого расширения (DSSS, от англ. Direct Sequence Spread Spectrum), который нашел широкое практическое применение в цифровых системах радиосвязи. В данной работе рассматривается один из вариантов системы связи, у которой принцип работы во многом схож с принципом работы систем связи с прямым расширением спектра (DSSS). Однако, если в DSSS системах для расширения спектра используется псевдослучайный меандровый сигнал, то в данной системе с этой целью используются случайные нормально распределенные δ -коррелированные последовательности дискретных отсчетов с нулевым средним и дисперсией σ^2 , генерируемые по алгоритму Мерсена [1].

На тему решения проблем, возникающих при детектировании сигнала с цифровой псевдослучайной модуляцией, авторами опубликован ряд статей (основные результаты изложены в [2-3]). Проведено численное моделирование зависимости между длиной модуляционного символа и числом абонентов в системе связи с цифровой псевдослучайной модуляцией [4].

Для синхронизации генераторов детерминированного шума в передающем и приемном устройствах одновременно (параллельно) с информационным сообщением передается некоторое сообщение (синхронизирующее сообщение), биты которого заранее известны в приемной и передающей частях системы. В передающей части биты синхронизирующего сообщения путем двоичной фазовой манипуляции отсчетов детерминированного шума (последовательности дискретных псевдослучайных отсчетов) передаются по синфазному каналу. По квадратурному каналу передаются немодулированные отсчеты того же детерминированного шума, задержанные относительно синфазного канала на несколько дискретных интервалов времени. Такой оригинальный способ формирования синхронизирующего сигнала позволяет приемной части системы определить временные и фазовые задержки в канале и обеспечить возможность выполнения корреляционного приема.

При разработке системы связи с цифровой псевдослучайной модуляцией сигналов преследовалась идея разделения большого числа абонентов (создание некоторого аналога кодового разделения абонентов). Численными экспериментами установлено, что у полученной системы связи длина модуляционного символа и количество разделяемых абонентов связаны следующей зависимостью: $T = 16A^2$, где T – длина символа в системе, а A – количество разделяемых абонентов.

С теоретической точки зрения в системе связи с цифровой псевдослучайной модуляцией можно обеспечить связь между бесконечно большим количеством абонентов. Однако на практике максимальное количество абонентов ограничено вычислительными ресурсами, требуемыми для вычисления операции свертки. К примеру, в системе связи нового поколения 5GNR максимальная размерность дискретного преобразования Фурье равна 4096. Если ориентироваться на аналогичную вычислительную сложность обработки сигналов в приёмном тракте, то рассматриваемая система связи может обеспечить связью до 16 абонентов, одновременно работающих на одной частоте.

Хотя характеристики рассматриваемой системы еще не до конца изучены, полученные результаты численного моделирования, а так же ряда практических испытаний, позволяют сделать вывод о работоспособности разработанной системы связи с цифровой псевдослучайной модуляцией. Возможность гибкого управления помехоустойчивостью сигнала с цифровой псевдослучайной модуляцией может способствовать использованию этих сигналов в различных сферах. Благодаря высокой энергетической совместимости такие сигналы можно передавать одновременно с существующими радиосигналами (например, сигналами системы связи 5GNR), без их взаимного влияния друг на друга.

Библиографический список:

1. Matsumoto M. Mersenne twister: A 623-dimensionally equidistributed uniform pseudorandom number generator / M. Matsumoto, T. Nishimura // ACM Trans. on Modeling and Computer Simulations. – 2017. – Vol. 8. – P. 3–30.
2. Kokin, D. S. Time and phase synchronization in communication system with a digital pseudo-random modulation / D. S. Kokin, O. G. Ponomarev // Journal of Physics: Conference Series, Krasnoyarsk, Russian Federation, 25 сентября – 04 2020 года. – Krasnoyarsk, Russian Federation: Institute of Physics and IOP Publishing Limited, 2020. – P. 22018. – DOI 10.1088/1742-6596/1679/2/022018.
3. Кокин, Д. С. Временная и фазовая синхронизации в системе связи с псевдослучайной цифровой модуляцией / Д. С. Кокин, О. Г. Пономарев // Актуальные проблемы радиофизики (АПР 2019) : VIII Международная научно-практическая конференция, Томск, 01–04 октября 2019 года. – Томск: Издательский дом ТГУ, 2019. – С. 113-117.
4. Кокин, Д. С. Оценка соотношения между длиной коррелятора и числом абонентов в системе связи с цифровой псевдослучайной модуляцией / Д. С. Кокин, О. Г. Пономарев // Доклады Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники. – 2021. – Т. 24. – № 3. – С. 38-43. – DOI 10.21293/1818-0442-2021-24-3-38-43.