

Е.В. Головань¹, В.Н. Харченко²

¹Институт радиопизики и электроники им. А.Я. Усикова НАН Украины

12, ул. Акад. Проскуры, Харьков, 61085, Украина

E-mail: holovan.helen@gmail.com

²Государственное предприятие «Научно-исследовательский институт радиоэлектронной техники»

3а, ул. Динамовская, Харьков, 61023, Украина

Технология построения системы метеорной радиосвязи с кодовым разделением каналов

***Предмет и цель работы.** В работе представлена технология построения перспективной системы метеорной радиосвязи (СМР) с кодовым разделением каналов (КРК), которая позволяет повысить пропускную способность, помехозащищенность и скрытность функционирования системы.*

***Методы и методология работы.** Предлагаемая технология основывается на применении программно-определяемой радиосистемы (Software Defined Radio, SDR) и обеспечивает адаптацию к условиям функционирования СМР путем программного изменения параметров сигналов и протоколов их передачи. Она включает метод формирования большого ансамбля сигналов с прямым расширением спектра с улучшенными авто- и взаимокорреляционными свойствами, метод оптимального приема и цифровой согласованной фильтрации сигналов с большой базой. Для повышения помехозащищенности предложен метод режекции узкополосных помех в спектре сигнала, который реализуется программно, совместно с согласованной фильтрацией. Рассмотрены методы обнаружения и синхронизации, эффективно работающие в условиях негауссовских и нестационарных помех.*

***Результаты работы.** Программно реализован метод формирования большого ансамбля сигналов с прямым расширением спектра с улучшенными авто- и взаимокорреляционными свойствами, основанный на псевдослучайной перестановке элементов кодовых слов регистрового кода максимальной длины. Алгоритмы цифровой согласованной фильтрации сигналов с большой базой и режекции помех основаны на применении быстрого преобразования Фурье и реализованы с использованием программируемых логических интегральных схем (ПЛИС). Предложен программно реализуемый на ПЛИС метод обнаружения и синхронизации сигналов с большой базой.*

***Заключение.** Предложенные алгоритмы и методы их реализации позволяют повысить пропускную способность, помехозащищенность и скрытность функционирования системы метеорной радиосвязи с КРК. Ил. 3. Библиогр.: 20 назв.*

***Ключевые слова:** метеорная радиосвязь, кодовое разделение каналов, сигналы с прямым расширением спектра, SDR-технология, цифровая обработка сигналов, синхронизация, режекция узкополосных помех, адаптация по скорости и протоколам передачи информации.*

Особенности метеорной радиосвязи, ее достоинства и недостатки, а также область применения достаточно полно изложены многими авторами [1–5]. Практически во всех публикациях отмечается необходимость повышения пропускной способности метеорных радиоканалов, которая может быть обеспечена путем оптимизации топологии сети метеорной радиосвязи и протоколов передачи информации, использования специальных сигналов и мето-

дов адаптации скорости передачи к условиям функционирования систем метеорной радиосвязи (СМР).

В данной статье авторы представляют технологию построения перспективной СМР с кодовым разделением каналов (КРК), которая обеспечивает повышение пропускной способности, помехозащищенности и скрытности функционирования системы. Технические решения основываются на использовании программно-

определяемой радиосистемы (*Software Defined Radio, SDR*), поскольку любая правильно спроектированная современная система должна допускать последующую модернизацию на интервале жизненного цикла без изменения схемотехнических решений.

Цель работы – разработка технологии построения перспективной СМР с КРК, которая позволит увеличить пропускную способность, сократить время ожидания соединения, увеличить количество обслуживаемых системой абонентов (периферийных станций сети), обеспечить повышение помехозащищенности и скрытности функционирования системы.

Предлагаемая технология предусматривает:

- Использование ансамблей сигналов с улучшенными авто- и взаимокорреляционными свойствами для реализации СМР с КРК при передаче информации от базовой станции (БС) к абонентской станции (АС) и обратно.

- Применение сигналов и методов их обработки, позволяющих противостоять интерференционным замираниям, возникающим на интервале наблюдения при дефрагментации метеороида и диффузном расширении метеорного следа, а также воздействию сосредоточенных по спектру помех.

- Возможность дополнительной защиты от преднамеренных и непреднамеренных узкополосных помех, сокращение времени обнаружения подходящего для связи метеорного следа и оценку (прогнозирование) доступного интервала времени для передачи сообщения по его начальному участку, а также изменение энергетического потенциала нестационарного метеорного радиоканала (МРК) на этом интервале. Это позволит использовать адаптацию по скорости и длительности передаваемых пакетов и, соответственно, увеличить пропускную способность СМР. Альтернативой методу прогнозирования является управление скоростью передачи на основе оценки уровня принимаемого зондирующего сигнала и уровня помех в точке приема.

1. Кодовое разделение каналов в сетях метеорной радиосвязи. При кодовом разделении каналов, которое предполагает использование сложных сигналов, для повышения абонентской емкости (обслуживания большого количества АС) необходимо иметь большие ансамбли

сигналов с хорошими авто- и взаимокорреляционными свойствами [6]. В настоящее время в качестве сигналов, обладающих необходимыми характеристиками, используются последовательности Уолша, линейные и нелинейные рекуррентные последовательности, производные ортогональные последовательности, последовательности Голда и Кассами, достаточно хорошо исследованные различными авторами. В то же время недостаточно разработаны методы синтеза больших ансамблей слабо коррелированных между собой дискретных сигналов. Большинство известных методов основано на использовании переборных процедур и не дает гарантированного результата синтеза сигналов с заданными ансамблевыми и корреляционными свойствами. Заслуживают внимания последовательности, образованные псевдослучайной перестановкой элементов кодовых слов регистра кода максимальной длины (например, M -последовательности) [7, 8]. Перестановочные преобразования, которые являются частным случаем аффинных преобразований, позволяют во много раз увеличить объем ансамбля сигналов, не меняя расстояние между сигналами в пространстве сигналов. Алгоритм формирования больших ансамблей эквидистантных сигналов с улучшенными взаимокорреляционными свойствами иллюстрируется структурной схемой, представленной на рис. 1 [7].

Генератор ортогональных эквидистантных сигналов формирует N циклических сдвигов M -последовательности, которые записываются в N регистров сдвига. Блок перестановок в соответствии с программой, которую генерирует источник ключей, выполняет согласованную перестановку элементов кода одновременно во всех регистрах. В соответствии с заданной перестановкой, обеспечивающей сильное перемешивание, формируется ансамбль из N слабо коррелированных между собой сигналов. Количество сигналов в ансамбле определяется числом элементов исходного кода. Различные перестановки обеспечивают формирование своего ансамбля сигналов, и таких ансамблей может быть очень большое количество ($\sim N!$). Однако следует отметить, что сигналы из разных ансамблей могут не обладать хорошими взаимокорреляционными свойствами, что предполагает необходимость правильного планирова-

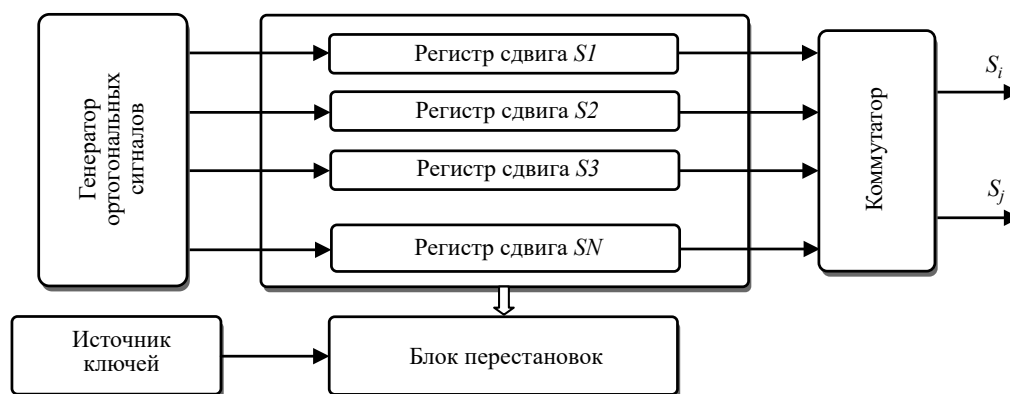


Рис. 1. Структурная схема алгоритма формирования больших ансамблей эквидистантных сигналов с улучшенными взаимокорреляционными свойствами

ния размещения АС и назначения им сигналов из ансамблей.

Из результатов сравнительного анализа ансамблевых и корреляционных свойств дискретных сигналов следует [9], что последовательности, образованные псевдослучайной перестановкой элементов кодовых слов регистрового кода максимальной длины, обладают улучшенными свойствами, а соответствующий метод синтеза является одним из наиболее перспективных с точки зрения дальнейшего развития и практического применения для решения проблемы построения эффективных систем и сетей радиосвязи с КРК.

2. Оптимальный прием сигналов с прямым расширением спектра в метеорном радиоканале. Увеличить пропускную способность, помехозащищенность и скрытность функционирования СМР позволяет использование сигналов с прямым расширением спектра (широкополосных шумоподобных сигналов, ШШС), а также методов их обработки, оптимальных в условиях воздействия негауссовских помех [10]. Показано [11], что использование ШШС с шириной спектра более 10 МГц в метеорном радиоканале ослабляет воздействие интерференционных замираний, которые возникают на интервале наблюдения при дефрагментации метеороида, диффузном расширении метеорного следа и его искривлении под воздействием ветра, а частотная избыточность сигнала обеспечивает возможность режекции узкополосных помех в его спектре [10].

При использовании ШШС с шириной спектра, соизмеримой с величиной, обратной интервалу эффективного рассеяния, метеорный

радиоканал следует относить к каналам с рассеянием сигналов по запаздыванию [12], для которых необходимо применять специальные алгоритмы обнаружения. Такой алгоритм, основанный на формировании достаточной статистики и решении неоднородного уравнения Фредгольма, описан в работе [13]. Он реализуется схемой, представленной на рис. 2, где $r(t)$ – входной сигнал с шумом, N_0 – спектральная плотность шума, СФ – согласованный фильтр, C_1 и C_2 – рассчитанные коэффициенты, а l – решение.

Заметим, что в случае нерассеивающего канала $S(\tau)$ вырождается в δ -функцию, выходной эффект нижней ветви схемы становится равным нулю, а верхняя ветвь трансформируется в широко известный оптимальный некогерентный приемник.

Для ШШС с шириной спектра более 10 МГц при скорости передачи информации $V_{\text{инф}} = 10$ кбит/с произведение ширины спектра на длительность сигнала (база сигнала) превышает 1000, что существенно усложняет согласованный фильтр. Это определяет необходимость использования современных технологий для его технической реализации.

3. Технология SDR для реализации систем метеорной связи с КРК. Для реализации таких систем необходимо решить следующие основные задачи:

- Выполнить согласованную фильтрацию сложных сигналов и режекцию узкополосных помех для большого количества форм используемых сигналов.
- Обеспечить малое время обнаружения и синхронизации принимаемых на длительности

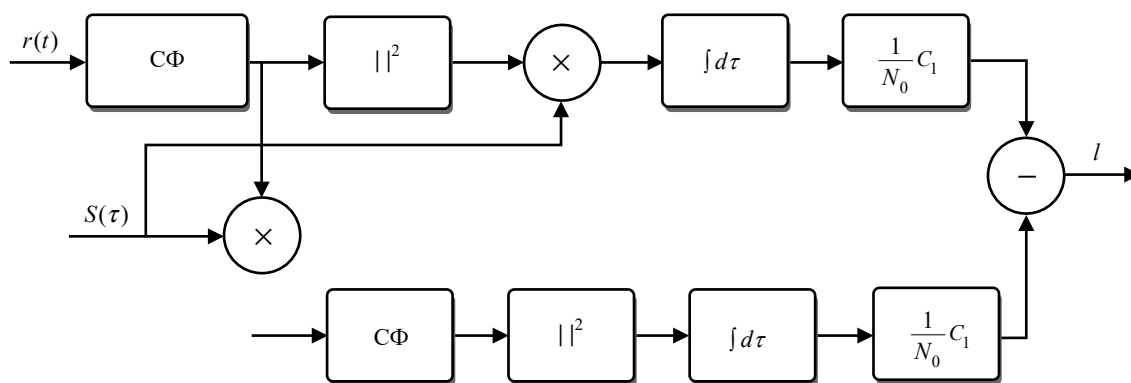


Рис. 2. Оптимальный обнаружитель для рассеянных по запаздыванию сигналов

существования метеорного следа сигналов различной интенсивности при воздействии нестационарных и негауссовских помех.

- Реализовать многостандартные протоколы передачи информации в сети, включающие адаптацию скорости передачи и длительности передаваемых пакетов к характеристикам метеорного канала связи, которые ориентированы на увеличение пропускной способности СМР и сокращение времени доставки сообщения заданной длины.

Решение указанных задач возможно при использовании *SDR*-технологии, которая предполагает возможность гибкого управления вычислительными ресурсами и обеспечивает многозадачный режим работы. Указанным условиям соответствуют программируемые логические интегральные схемы (ПЛИС) и многоядерные персональные компьютеры (ПК) общего применения, работающие в режиме реального времени. Программируемые логические интегральные схемы могут использоваться при реализации программно-аппаратного обеспечения АС, поскольку передача и прием выполняются в одноканальном режиме, а для работающих в многоканальном режиме управления и цифровой обработки сигналов БС необходимо применять достаточно мощные ПК.

Обнаружение сигналов с большой базой может быть выполнено с применением многоканального коррелятора или программируемого цифрового согласованного фильтра (ПЦСФ). Известно, что обработке сигналов с базой, превышающей 100, свертка в частотной области с использованием быстрого прямого и обратного преобразования Фурье (БПФ и ОБПФ) имеет преимущество по количеству необходимых вы-

числительных операций [14]. Свертка выполняется в соответствии с алгоритмом «БПФ – перемножение – ОБПФ». Для настройки ПЦСФ на заданную форму сигнала из используемого алфавита достаточно выполнить загрузку комплексного сопряженного спектра соответствующего сигнала. Кроме того, свертка в частотной области естественным образом обеспечивает возможность дополнительной защиты от воздействия узкополосных помех (УП), попадающих в полосу приема.

На рис. 3 показана структурная схема ПЦСФ с дополнительно введенным оконным фильтром и блоком режекции узкополосных помех (БРУП). Оконный фильтр необходим для уменьшения эффекта «растекания» спектра УП после выполнения БПФ [15], а принцип работы БРУП основан на обнулении комплексных спектральных коэффициентов БПФ, квадрат модуля которых превышает установленный порог.

Одной из наиболее сложных задач, возникающих при проектировании систем связи с ШШС, является задача синхронизации. Она включает фазу поиска интервала сильной корреляции, фазу контроля правильности принятия решения о наличии синхронизации и фазу удержания.

При воздействии комплекса помех с быстро изменяющимися характеристиками существующие методы синхронизации ШШС оказываются либо неработоспособными, либо время вхождения в синхронизм будет значительным, вплоть до нескольких секунд. Это неприемлемо для МРК, поскольку время существования ионизированного следа не превышает нескольких секунд, а изменение максимального

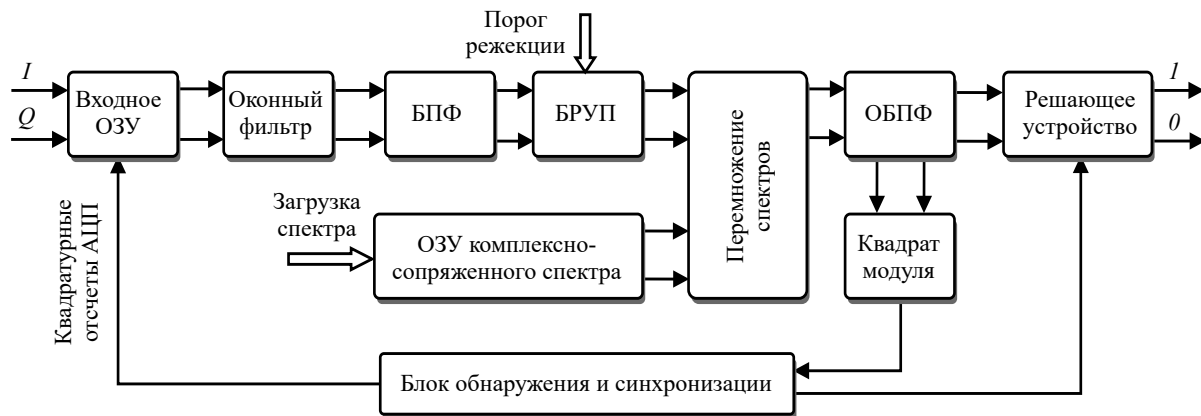


Рис. 3. Структурная схема ПССФ

значения интенсивности рассеянного сигнала в широких пределах делает проблематичным использование алгоритмов обнаружения, основанных на использовании адаптивных порогов [16]. Очевидно, что чем меньше время, выделяемое на синхронизацию, тем эффективнее ее работа. Метод беспороговой синхронизации [17] заключается в обнаружении факта m -кратного повторения подряд адреса подтакта, в котором наблюдается максимальное значение свертки сложного сигнала (критерий « m подряд»), либо повторения адреса подтакта с максимальным значением свертки не менее k раз на n последовательных интервалах (тактах) наблюдения (критерий « k из n »). Данный алгоритм может быть представлен как синтезируемая, параметризуемая и структурированная VHDL-модель, ориентированная на использование ПЛИС различных фирм-производителей, таких как ALTERA, XILINX и др. [18]. На подобную систему был получен патент [19], однако для МРК предложенный метод синхронизации может быть улучшен за счет использования комбинации пороговых и беспороговых методов. Сущность предложения заключается в том, что текущее значение порога устанавливается на уровне, достаточном для приема информации с заданной достоверностью (уровень шума измеряется на интервалах отсутствия сигнала), а решение принимается при m -кратном повторении подряд адреса подтакта с максимальным значением свертки (или выполнении критерия « k из n ») и превышении заданного порогового уровня. Это позволяет при установленной вероятности ложной тревоги уменьшить значение m (или n), а значит, сократить

время, выделяемое на синхронизацию (например, если дважды повторяется адрес подтакта с максимальным значением свертки и при втором наблюдении свертки фиксируется превышение порога).

Малое время обнаружения сигнала позволяет на основании нескольких полученных и сохраненных значений свертки ШПС оценить интенсивность отраженного сигнала и прогнозировать тип следа [20]. Это, в свою очередь, обеспечивает возможность установить в заголовке передаваемого кадра начальную скорость передачи информации и на основе оценок интенсивности зондирующего сигнала изменять ее, передавая соответствующие маркеры. Технология SDR позволяет оптимизировать скорость передачи информации, изменяя количество элементов (базы) используемых сигналов и программируя соответствующим образом ПССФ. При этом длительность элемента не изменяется, а значит, остаются неизменными параметры высокочастотных трактов передатчика и приемника. Детальное описание протокола обмена информацией между АС и БС выходит за рамки данной статьи и будет представлено в дальнейших публикациях.

Многоканальную обработку сигналов и кодовое разделение каналов на БС можно обеспечить не в реальном времени, а записывая сигнал в ОЗУ после обнаружения факта передачи с последующей демодуляцией принятого сообщения. Это позволит существенно снизить аппаратные затраты.

Выводы. Кодовое разделение каналов в СМР позволяет увеличить количество обслуживаемых системой абонентов, обеспечивает

повышение пропускной способности, помехозащищенности и скрытности функционирования системы. Его реализация предполагает использование больших ансамблей сложных широкополосных сигналов с хорошими авто- и взаимокорреляционными свойствами, применение дополнительной защиты от преднамеренных и непреднамеренных узкополосных помех и адаптацию по скорости передачи и длительности информационных пакетов.

Предлагаемая технология построения перспективной сети метеорной радиосвязи основывается на применении программно-определяемой радиосистемы и включает техническое решение следующих задач:

- Формирование сложных широкополосных сигналов с заданными свойствами, образованных псевдослучайной перестановкой элементов кодовых слов регистрового кода максимальной длины.
- Согласованную фильтрацию для большого количества форм используемых сигналов с большой базой, основанную на программной реализации алгоритма «БПФ – перемножение – ОБПФ».

- Режекцию узкополосных помех и оптимальный прием рассеянных по запаздыванию сигналов, которые реализуются программно, совместно с согласованной фильтрацией сигналов.

- Быстрое обнаружение и синхронизацию принимаемых сигналов различной интенсивности на начальном участке существования метеорного следа в условиях воздействия нестационарных и негауссовских помех.

- Адаптацию к условиям функционирования путем оценки уровня принимаемого зондирующего сигнала БС и соответствующей программной перестройки согласованного фильтра, а также длины передаваемого информационного пакета.

Построению и последующей модернизации SMP новой генерации будет способствовать применение SDR-технологий, позволяющих внедрять новые методы обработки сигналов и протоколы передачи информации, осуществлять унификацию и последующую модернизацию практически всех элементов системы без существенного изменения параметров высокочастотных трактов передатчика и приемника.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Мак-Кинли Д. Методы метеорной радиоастрономии. Пер. с англ. под ред. Л.А. Катасева. М.: Мир, 1964. 383 с.
2. Антипов И.Е., Коваль Ю.А., Обельченко В.В. *Развитие теории и совершенствование радиометеорных систем связи и синхронизации*. Харьков: Коллегиум, 2006. 308 с.
3. Кашцев Б.Л., Бондарь Б.Г. *Метеорная связь*. Учеб. пособие. Киев: УМКВО, 1989. 73 с.
4. Freeman R. Meteor Burst Communication. Ch. 13. *Radio System Design for Telecommunication*. 3rd ed. Wiley-IEEE Press: 2007. P. 657–689.
5. Харченко В.М., Харченко О.В. Когнітивні радіосистеми спеціального призначення. *VI Наук.-техн. конф. ВІТІ «Пріоритетні напрямки розвитку телекомунікаційних систем та мереж спеціального призначення» (25–26 жовтня 2012, Київ): доп. та тези доп.* Київ: ВІТІ НТУУ „КПІ”, 2012. С. 40–44.
6. Скляр Б. Цифровая связь: теоретические основы и практическое применение. Пер. с англ. под ред. А.В. Назаренко. М.: Вильямс, 2016. 1099 с.
7. Кузнецов О.О., Коваленко А.М., Харченко О.В., Носик О.М. Формування великих ансамблів дискретних сигналів з поліпшеними кореляційними властивостями. *Системи озброєння і військова техніка*. 2007. № 1(9). С. 94–98.
8. Спосіб формування шумоподібних сигналів: пат. 75328, Україна: МПК: G09C 1/00 / О.О. Кузнецов, В.М. Харченко, О.М. Носик, О.В. Коломійцев, А.М. Носик, О.В. Харченко. № u 201206395; заявл. 28.05.2012; опубл. 26.11.2012, Бюл. № 22. 5 с.
9. Стасев Ю.В., Кузнецов А.А., Носик А.М., Качур Л.Н. Формирование больших ансамблей дискретных сигналов с использованием избыточных кодов. *Збірник наукових праць Харківського університету Повітряних сил*. 2008. Вип. 2(17). С. 102–110.
10. Тузов Г.И., Сивов В.А., Прытков В.И., Урядников Ю.Ф., Дергачев Ю.А., Сулиманов А.А. *Помехозащищенность радиосистем со сложными сигналами*. Под ред. Г.И. Тузова. Москва: Радио и связь, 1985. 264 с.
11. Харченко Е.В. *Модель метеорного радиоканала, основанная на решении дифракционной задачи рассеяния сигнала на ионизированном следе*: дис. ... канд. физ.-мат. наук. Харьков: Ин-т радиоп физики и электроники им. А.Я. Усикова НАН Украины, 2013. 164 с.
12. ITU-R Recommendations P.843-1: Communication by meteor-burst propagation [pdf]. Available at: https://www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/p/R-REC-P.843-1-199708-I!!PDF-E.pdf
13. Харченко В.Н. Синтез оптимального приемника при замираниях и рассеянии сигналов по запаздыванию. *Радиотехника*. 1988. № 6. С. 13–16.

14. Лайонс Р. *Цифровая обработка сигналов*. 2-е изд. Пер. с англ. под ред. А.А. Бритова. Москва: ООО «Бином-Пресс», 2006. 656 с.
15. Хэррис Ф.Дж. Использование окон при гармоническом анализе методом дискретного преобразования Фурье. *Тр. Ин-та инж. электротехн. радиоэлектрон. (ТИИЭР)*. 1978. Т. 66. № 1. С. 60–96.
16. Способ поиска широкополосного сигнала и устройство для его реализации: пат. 2159508 Российская Федерация: МКИ: Н 04 В 1/10 / А.В. Гармонов, А.Г. Филатов, А.Ю. Савинков. № 99109519/09; заявл. 07.05.1999; опубл. 20.11.2000. Бюл. № 32.
17. Харченко В.Н., Лаврут А.А., Лаврут Т.В. Метод построения системы синхронизации сложных составных сигналов. *Радиоэлектронные и компьютерные системы*. 2006. № 5(17). С. 193–197.
18. Kharchenko H.V., Tkalich I.O., Vdovychenko Y.I. Two-Criterial DSSS Synchronization Method Efficiency Research. *Proc. 7th IEEE East-West Design and Test Symposium (EWDTS'09)*. (Moscow, Russia, 18–21 Sept. 2009). Moscow: IEEE EWDTS, 2009. P. 165–174.
19. Спосіб пошуку широкопозмоугового сигналу: пат. 91862 Україна: МПК: H04B 1/10, H04L 7/00 / О.В. Головань, Є.І. Вдовиченко, О.С. Коновальчик, В.Р. Хачатуров, В.М. Харченко. № а 201214785; заявл. 24.12.2012; опубл. 25.07.2014. Бюл. № 14. 11 с.
20. Melville S.W., Larsen J.D., Letschert R.Y., Goddard W.O. The classification of meteor trail reflections by a rule-based system. *Trans. SAIEE*. 1989. Vol. 80, Iss. 1. P. 104–116.

Стаття надійшла 20.11.2020

REFERENCES

1. McKinley, D., 1964. *Methods of meteor radio astronomy*. Translated from English and ed. by L.A. Katasev. Moscow: Mir Publ. (in Russian)
2. Antipov, I.E., Koval', Y.A., Obelchenko, V.V., 2006. *Development of the theory and radio meteor systems of communication and synchronization improvement*. Kharkov: Collegium Publ. (in Russian).
3. Kashcheev, B.L., Bondar', B.G., 1989. *Meteor communication*. Textbook. Kiev: UMK Publ. (in Russian).
4. Freeman, R., 2007. Meteor Burst Communication. In: *Radio System Design for Telecommunication*. 3rd ed. Wiley-IEEE Press. Ch. 13, pp. 657–689.
5. Kharchenko, V., Kharchenko, O., 2012. Cognitive special purpose radio systems. In: *VI Sci. and Technic. Conf. VIII "Priority Directions for the Development of Telecommunication Systems and Special Purpose Networks"*. Kyiv, Ukraine, 25–26 Oct. Kyiv: VITI NTUU "KPI", pp. 40–44 (in Ukrainian).
6. Sklar, B., 2016. *Digital Communications: Fundamentals and Applications*. Translated from English and ed. by A.V. Nazarenko. Moscow: Williams Publ. (in Russian).
7. Kuznetsov, O.O., Kovalenko, A.M., Kharchenko, O.V. and Nosyk, O.M., 2007. Large ensembles of discrete signals with the improved correlation properties forming. *Systems of Arms and Military Equipment*, 1(9), pp. 94–98 (in Ukrainian).
8. Kuznetsov, O.O., Kharchenko, V.M., Nosyk, O.M., Kolomiitsev, O.V., Nosyk, A.M., Kharchenko, O.V., 2012. *The method of noise signals formation*. Ukraine. Pat. 75328 (in Ukrainian).
9. Stasev, Y.V., Kuznetsov, A.A., Nosik, A.M., Kachur L.N., 2008. Forming of large bands of discrete signals with the use of surplus codes. *Scientific Works of Kharkiv National Air Force University*, 2(17), pp. 102–110 (in Russian).
10. Tuzov, G.I. ed., Sivov, V.A., Prytkov, V.I., Uryadnikov, Yu.F., Dergachev, Yu.A., Sulimanov, A.A., 1985. *Interference immunity of radio systems with complex signals*. Moscow: Radio i svyaz' Publ. (in Russian).
11. Kharchenko, H.V., 2013. *The model of meteor radio channel based on the solution of the diffraction problem of scattering on ionized trail*: PhD thesis ed., Kharkiv: O.Ya. Usikov Institute for Radiophysics and Electronics of NASU (in Russian).
12. ITU-R Recommendations P.843-1: Communication by meteor-burst propagation [pdf]. Available at: https://www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/p/R-REC-P.843-1-199708-I!!PDF-E.pdf
13. Kharchenko, V.N., 1988. Synthesis of an optimal receiver during fading and scattering of signals by delay. *Radioengineering*, 6, pp. 13–16 (in Russian).
14. Lyons, R., 2006. *Digital Signal Processing*. 2nd ed. Translated from English and ed. by A.A. Britov. Moscow: LLC Binom-Press (in Russian).
15. Harris, F.J., 1978. On the use of Windows for harmonic analysis with the discrete Fourier transform. *Proc. IEEE*, 66(1), pp. 51–83. DOI: 10.1109/PROC.1978.10837.
16. Garmonov, A.B., Filatov, A.G., Savinkov, A.Yu., 2000. *A method of searching for a broadband signal and device for its implementation*. Russian Federation. Pat. 2159508 (in Russian).
17. Kharchenko, V.N., Lavrut, A.A., Lavrut, T.V., 2006. A method of constructing a synchronization system for complex composite signals. *Radioelectronic and computer systems*, 5(17), pp. 193–197 (in Russian).
18. Kharchenko, H.V., Tkalich, I.O., Vdovychenko, Y.I., 2009. Two-Criterial DSSS Synchronization Method Efficiency Research. In: *Proc. 7th IEEE East-West Design and Test Symposium (EWDTS'09)*. Moscow, Russia, 18–21 Sept. 2009. Moscow: IEEE EWDTS.
19. Golovan', O.V., Vdovichenko, Ye.I., Konoval'chik, O.S., Hachaturov, V.R., Harchenko, V.M., 2014. *The method of finding a broadband signal*. Ukraine. Pat. 91862 (in Ukrainian).
20. Melville, S.W., Larsen, J.D., Letschert, R.Y., Goddard, W.O., 1989. The classification of meteor trail reflections by a rule-based system. *Trans. SAIEE*, 80(1), pp. 104–116.

Received 20.11.2020

O.V. Holovan¹, V.M. Kharchenko²

¹O.Ya. Usikov IRE NASU

12, Acad. Proskura St., Kharkiv, 61085, Ukraine

²State enterprise «Scientific research institute of radio electronic techniques»

3a, Dynamivska St., Kharkiv, 61023, Ukraine

CONSTRUCTING TECHNOLOGY OF A METEOR-BURST COMMUNICATION SYSTEM WITH CODE DIVISION MULTIPLEXING

Subject and purpose. The paper presents a technology of constructing a promising meteor-burst communication system (MBCS) with code division multiplexing. It increases the bandwidth and improves the noise immunity and covert operation of the system.

Methods and methodology. The proposed technology is based on software-defined radio (SDR) and provides MBCS adaptation to the environment conditions by means of software parameter control of the signals and their transfer protocols. It includes a technique of forming a large ensemble of signals with a direct sequence spread spectrum and improved auto- and cross-correlation properties, involves the optimal reception and matched digital filtering of large-base signals. In order to improve the noise immunity, the narrow-band interference rejection in the signal spectrum is proposed and is jointly software installed with the matched filtering. The detection and synchronization techniques effectively working in the non-Gaussian and non-stationary interference conditions gained consideration.

Results. A method of forming a large ensemble of direct sequence spread spectrum signals with improved auto- and cross-correlation properties has been software implemented using a pseudorandom permutation of codeword elements of a maximum-length register code. Designed with the use of fast Fourier transforms, algorithms of digital matched filtering and interference rejection as applied to large-base signals have been implemented via field-programmable gate arrays (FPGA). A method of detection and synchronization of large-base signals has been proposed and software implemented on the FPGA basis.

Conclusion. The proposed algorithms and their implementation methods make it possible to increase the bandwidth, improve noise immunity and enhance covert operation of the meteor-burst communication system with code division multiplexing.

Key words: meteor-burst communication, code division multiplexing, direct sequence spread spectrum signals, SDR-technology, digital signal processing, synchronization, rejection of narrow-band interference, adaptation to speed and data transfer protocols.

O.B. Головань¹, В.М. Харченко²

¹Інститут радіофізики та електроніки ім. О.Я. Усикова НАН України

12, вул. Акад. Проскури, Харків, 61085, Україна

²Державне підприємство «Науково-дослідний інститут радіоелектронної техніки»

3а, вул. Динамівська, Харків, 61023, Україна

ТЕХНОЛОГІЯ ПОБУДОВИ СИСТЕМИ МЕТЕОРНОГО РАДІОЗВ'ЯЗУ З КОДОВИМ РОЗДІЛЕННЯМ КАНАЛІВ

Предмет і мета роботи. У роботі представлено технологію побудови перспективної системи метеорного радіозв'язку (СМР) з кодовим розділенням каналів (КПК), яка дозволяє підвищити пропускну здатність, завадостійкість і прихованість функціонування системи.

Методи і методологія роботи. Пропонована технологія ґрунтується на застосуванні програмно-визначеної радіо-системи (*Software Defined Radio, SDR*) і забезпечує адаптацію до умов функціонування СМР шляхом програмної зміни параметрів сигналів і протоколів їх передачі. Вона включає метод формування великого ансамблю сигналів з прямим розширенням спектра з поліпшеними авто- і взаємкореляційними властивостями, метод оптимального приймання та цифрової узгодженої фільтрації сигналів з великою базою. Для підвищення завадостійкості запропоновано метод режекції вузькосмугових завад у спектрі сигналу, який реалізується програмно, спільно з узгодженою фільтрацією. Розглянуто методи виявлення і синхронізації, які ефективно працюють в умовах негауссівських і нестационарних завад.

Результати роботи. Програмно реалізований метод формування великого ансамблю сигналів з прямим розширенням спектра з поліпшеними авто- і взаємкореляційними властивостями, заснований на псевдовипадковій перестановці елементів кодових слів реєстрового коду максимальної довжини. Алгоритми цифрової узгодженої фільтрації сигналів з великою базою і режекції завад засновані на застосуванні швидкого перетворення Фур'є і реалізовані з використанням програмованих логічних інтегральних схем (ПЛІС). Запропоновано програмно реалізований на ПЛІС метод виявлення і синхронізації сигналів з великою базою.

Висновок. Запропоновані алгоритми та методи їх реалізації дозволяють підвищити пропускну здатність, завадостійкість і прихованість функціонування системи метеорного радіозв'язку з КПК.

Ключові слова: метеорний радіозв'язок, кодове розділення каналів, сигнали з прямим розширенням спектра, SDR-технологія, цифрове оброблення сигналів, синхронізація, режекція вузькосмугових завад, адаптація за швидкістю і протоколами передачі інформації.