

УДК 512 (075.8)

МНОГОЭТАПНЫЙ ПОИСК ПСЕВДОСЛУЧАЙНЫХ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЕЙ

¹И.И. АСТРОВСКИЙ, ²А.И. МИТЮХИН

¹Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
П. Бровка, 6, Минск, 220013, Беларусь

²Институт информационных технологий Белорусского государственного университета
информатики и радиоэлектроники, Козлова, 28, Минск, 220037, Беларусь

Проводится анализ методов поиска сигналов на основе псевдослучайных последовательностей (низкоскоростных кодов, корректирующих многократные ошибки).

Ключевые слова: многократные ошибки, низкоскоростной код, псевдослучайная последовательность.

Расцвет творческой научной деятельности Лосева В.В. пришелся на годы стремительного прорыва СССР в космос. В те годы наряду с решением насущных проблем космонавтики необходимо было срочно решать сложнейшие вопросы улучшения тактико-технических характеристик устройств радиолокации, радионавигации и связи [1]. Стало очевидным, что решения могут быть найдены путем внедрения цифровых методов обработки сигналов, что позволит реализовать быстродействующие системы обработки сигналов. Причем не простых, а с использованием сложных сигналов с большой базой (низкоскоростных кодов).

Применение сложных сигналов обеспечивает построение скрытных, трудноуязвимых радиолокационных систем с разнесенными передатчиками и приемниками, создание помехоустойчивых разностно-дальномерных навигационных систем, в том числе систем космической связи, навигации и исследования небесных тел радиолокационными методами [1].

Выбор сигналов играет важную роль. Для обеспечения скрытности они должны обладать свойствами шумоподобности и в то же время обеспечивать надежную работу при малых отношениях сигнал/помеха. Формирование и обработка сигналов должны иметь простые схемные решения и не требовать больших объемов памяти и времени на обработку. Сигналы должны обладать хорошими авто- и взаимно-корреляционными свойствами и в то же время специальными свойствами, позволяющими ускорить их обработку. Необходимо было найти методы и быстрые алгоритмы как формирования, так и обработки, включая поиск и синхронизацию в частотно-временном пространстве при приеме этих сигналов в условиях малых отношений сигнал / помеха.

Использование известных методов простого перебора (последовательный поиск, метод слепого поиска), осуществляемых примерно за $N/2$ попыток, является неприемлемым при больших длинах последовательностей, состоящих из N дискретов. Проведенные исследования показали, что время поиска можно сократить вплоть до значений, близких к $\log_2 N$ попыток, что обеспечивает существенный выигрыш [2, 3].

Применение так называемых «пилот-сигналов», позволяющих обеспечить синхронный прием, по многим причинам, в том числе по проблемам скрытности, не всегда является приемлемым. Решение выдвинулось в применении многоэтапных методов поиска с добавлением к передаваемому сигналу синхронизирующих псевдослучайных последовательностей, не коррелирующих с передаваемыми сигналами сообщений [4].

Заманчивым оказался поиск с использованием гребенчатых функций зависимости выходного сигнала от временного сдвига принимаемой и опорной последовательностей. В простейшем случае опорный сигнал может быть образован аддитивной смесью сдвинутых

во времени нескольких синхронизирующих сигналов, которыми могут быть любые псевдослучайные сигналы, в том числе и коды максимальной длины. Таким образом, пространство неопределенности делится на число частей, пропорциональных числу суммируемых сигналов, и находится одна из точек гребенчатой функции. На следующем этапе опорный сигнал образуется путем исключения из суммы определенных сдвигов опорного сигнала, например, четных. Гребенчатая функция прореживается и вновь ищется очередная точка. Если все пространство неопределенности каждый раз делится пополам, получается классический дихотомический поиск [1, 2, 5].

Существенным недостатком такого метода поиска является большая вычислительная сложность обработки, поскольку опорный сигнал является многоуровневым. Исследования показали, что опорные сигналы можно упростить путем их бинарного квантования. Выходные функции при этом также имеют гребенчатый вид. Надежность такой обработки несколько снижается, но, как правило, остается приемлемой.

Практические запросы, в частности, требование скрытности работы радиосистем, ставят задачу применения разнообразных по форме сигналов. Поэтому наличие даже достаточно эффективных методов поиска для отдельных видов сигналов не решает проблемы поиска в целом. В [6] предложен способ синтеза последовательностей, быстро входящих в синхронизм, основанный на двоичных решениях. В этом методе синтезируемая последовательность образуется как сумма взаимно ортогональных подпоследовательностей, периоды повторения которых удваиваются. Благодаря этому, оказывается возможным организовать быстрый многоэтапный (дихотомический) поиск. Идея этого способа была положена в основу оригинального способа, предложенного Лосевым В.В. [3] – ускоренного поиска *M*-последовательностей.

Заслуживающей внимания оказалась и идея построения троичных последовательностей для передачи информации и синхронизации, предложенная Лосевым В.В. [2, 7]. В этом методе используется смесь последовательностей быстрого поиска, предложенных Стифлером [8] и последовательностей максимальной длины, поскольку они компенсируют недостатки и дополняют достоинства друг друга. Последовательности Стиффлера, обладая хорошими синхронизирующими свойствами, не предназначены для передачи информации. Последовательности максимальной длины при инверсной манипуляции обладают высокой помехоустойчивостью, близкой к потенциальной, однако не являются оптимальными для синхронизации при ограничениях на сложность аппаратуры поиска.

Нельзя не отметить, что наряду с Лосевым В.В. проблемами поиска сложных сигналов занимались и другие исследователи. Так, целый ряд полезных результатов был получен Ключевым Л.Л. и его учениками, которые одновременно сотрудничали и с Лосевым В.В. Наиболее важные результаты были получены при исследовании синхронизирующих свойств двоичных последовательностей Велти [9]. Основными достоинствами этих последовательностей являются большой ансамбль, хорошие корреляционные свойства, простота генерирования и специфический алгоритм построения, позволяющий организовывать быстрые методы ускоренного поиска этих последовательностей.

Особого внимания заслуживает многоэтапный поиск с использованием вычислителя суммы модулей, описанный в работах [10]. В этом методе входной сигнал коррелируется с подпоследовательностями (отрезками) ожидаемого сигнала, полученные значения взаимокорреляционных функций складываются по модулю в течение длительности ожидаемого сигнала. От этапа к этапу длительность подпоследовательностей удваивается. В результате полученные функции суммы модулей имеют гребенчатый вид, расстояния между максимумами которых удваиваются от этапа к этапу, что позволяет организовать дихотомический поиск. Алгоритм поиска пригоден для любой последовательности ансамбля. Поэтому помимо синхронизирующих свойств последовательности Велти способны передавать и низкоскоростную информацию.

Помимо разработки ускоренных методов поиска сигналов были получены оценки среднего времени поиска и его дисперсии [4], разработаны программы моделирования и произведены расчеты на ЭВМ. Полученные результаты были весьма интересными в 70–80 гг. 20-го века и не теряют своей актуальности и по сей день.

MULTISTAGE SEARCH OF PSEUDO-SILENT SEQUENCES

I.I. ASTROVSKY, A.I. MITYUKHIN

Abstract

An analysis of methods for searching signals on the basis of pseudo-random sequences (low-speed codes correcting multiple errors) is carried out.

Keywords: multiple errors, low-speed code, pseudo-random sequence.

Список литературы

1. Поиск, обнаружение и измерение параметров сигналов в радионавигационных системах / Под ред. Ю.М. Казаринова. М.: Сов. радио, 1975.
2. *Лосев В.В., Бродская Е.Б., Коржик В.И.* // Поиск и декодирование сложных дискретных сигналов. М.: Радио и связь, 1988.
3. *Астровский И.И., Лосев В.В.* Об одном подходе к сокращению времени вхождения в синхронизм // Радиотехника и электроника». 1975. Вып. 4. С. 24–28.
4. *Астровский И.И., Клюев Л.Л.* Расчет статистических характеристик времени слепого сканирующего поиска с использованием теории марковских процессов // Изв. АН БССР, сер. физ.-техн. наук. 1975. № 4. С. 111–112.
5. *Астровский И.И., Клюев Л.Л.* Устройство синхронизации псевдошумовых сигналов по задержке / Авторское свидетельство № 520716.
6. *Стиффлер Дж.Дж.* Теория синхронной связи. М.: Связь, 1975.
7. *Астровский И.И., Лосев В.В.* Троичные последовательности для передачи информации и синхронизации // Изв. АН БССР, сер. физ.-техн. наук. 1975. № 1. С. 117.
8. *Stiffler J.J.* Rapid Acquisition Sequences // IEEE Trans on Inform Theory. 1968. Vol. IT-14, № 2. P. 221–225.
9. *Велти.* Четверичные коды для импульсного радиолокатора // Зарубежная радиоэлектроника. 1961. № 4. С. 3–19.
10. *Клюев Л.Л., Астровский И.И.* Синхронизация приемных устройств по задержке при приеме Д-последовательности // Радиотехника и электроника. 1975. Т. 20, № 1. С. 178–181.