

© Кузнецов В.И., Кукушкин С.С.
Kuznetsov V., Kukushkin S.

СИНТЕЗ КВАЗИОПТИМАЛЬНЫХ ПСЕВДОСЛУЧАЙНЫХ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЕЙ С ПРИМЕНЕНИЕМ ГЕНЕТИЧЕСКИХ АЛГОРИТМОВ

SYNTHESIS OF QUASI-PSEUDO-RANDOM SEQUENCES USING GENETIC ALGORITHMS

Аннотация. В статье рассмотрены подходы повышения устойчивости процесса передачи информации в условиях помех. Предложен синтез составных шумоподобных сигналов на основе нескольких кодовых конструкций. Сформулированы основополагающие системные принципы синтеза сигналов, ориентированные на использование свойства симметрии при синтезе сложных составных шумоподобных сигналов. Предложен эвристический алгоритм поиска, используемый для решения задач оптимизации и моделирования путём случайного подбора, комбинирования и вариации искомым параметров последовательностей с минимальным уровнем боковых лепестков, что позволяет снять проблему недостаточности вычислительного ресурса, необходимого для решения задачи глобальной оптимизации при длинах кодов больше 70.

В статье представлены результаты исследований, полученные при выполнении плановых НИОКР, исполнителем которых является ОАО «ВИКОР».

Annotation. The article describes the approaches increase the sustainability of information transmission in noisy environments. Synthesis of compound proposed for noise-like signals based on several code constructions. Formulated the basic principles of system synthesis signals oriented use of the symmetry properties of the synthesis of complex composite noise-like signals. Proposed a heuristic search algorithm is used to solve optimization problems and modeling by random selection, combination and sequence variation of the desired parameters with minimal side lobes that allows you to remove the problem of insufficient computational resources needed to solve global optimization problems with lengths greater than 70 codes.

The paper presents research results obtained during the implementation of planned R & D executed by the JSC "Vikor".

Ключевые слова. Генетический алгоритм, измерение, модуль сравнения, образ-остаток, помехоустойчивое кодирование, синтез сигналов, теорема об остатках.

Key words. Genetic algorithm, measurement, comparing module, images residue, noiseless coding, synthesis signals, remainder theorem.

1. Введение

Новые информационные технологии представления данных предполагают, что в системах передачи информации необходимо иметь большой ансамбль сложных шумоподобных сигналов (СШПС). При этом наибольшая сложность заключается в синтезе расширяющих кодовых последовательностей, составляющих основу их построения [1, 2].

Широкополосные принципы передачи информации и множественный доступ к ней лежат в осно-

ве многих современных телекоммуникационных, информационно-измерительных и навигационных технологий.

Первоначально идеи использования широкополосных сигналов были связаны с радиолокацией и радионавигационными системами типа «Лоран-С», использующими широкополосные (фазоманипулированные) сигналы. Но настоящий прорыв в ее развитии начинается в 80-х – 90-х годах прошлого века в ходе создания спутниковых радионавигационных систем (СРНС) GPS (США) и

Кузнецов Валерий Иванович – доктор технических наук, старший научный сотрудник, ведущий научный сотрудник, ОАО «Военно-инженерная корпорация», тел.8 (495) 399-98-19;

Кукушкин Сергей Сергеевич – доктор технических наук, профессор, начальник отдела, ОАО «Военно-инженерная корпорация».

Kuznetsov Valery – doctor of engineering, the senior research associate, the leading researcher, JSC Military and Engineering Corporation, tel. (495) 399-98-19;

Kukushkin Sergey – doctor of engineering, the professor, the head of department, JSC Military and Engineering Corporation.

ГЛОНАСС (СССР/Россия). Сигналы с очень большим значением частотно-временного произведения, измеряемого тысячами ($WT > 1000$, где W – полоса сигнала; T – длительность сигнала), составили основу не только их функционирования, но и превратились в составную часть человеческой цивилизации.

Основные направления повышения эффективности систем радиотехнических измерений связаны, прежде всего, с проблемой синтеза сложных псевдослучайных кодовых конструкций с заданными автокорреляционными и взаимно корреляционными функциями. При этом следует отметить, что различия между ними не являются принципиальными с точки зрения синтеза сложных ШПС. Их можно отнести к разряду понятийных. Так, например, корреляционную функцию, построенную, например, в радиолокационных станциях (РЛС) на основе излученного и принятого (отраженного) шумоподобного сигнала (ШПС) называют автокорреляционной (АКФ). Если же она получена на основе обработки в корреляционном приемнике (согласованном фильтре) принятого сигнала и его копии, которая хранится на приемной стороне, то тогда ее называют взаимно корреляционной функцией (ВКФ). Такой случай имеет место в спутниковых радионавигационных системах (СРНС) и в системах связи, использующих широкополосные сигналы.

Повышенное внимание к синтезу широкополосных сигналов (ШПС) при совершенствовании существующих систем передачи информации уделяется также с целью повышения скрытности передачи информации и обеспечения ее защищенности от различных негативных воздействий. При этом значительно расширены требования к специальным свойствам формируемых ШПС и системам их обработки.

При этом особую актуальность для повышения эффективности систем связи, использующих широкополосные сигналы, показателей точности и достоверности различных систем и комплексов радиотехнических измерений приобретает синтез составных СШПС, которые состоят из нескольких составных частей, каждая из которых также наделена определенными проблемно-ориентированными свойствами, обеспечивающими выполнение заданных требований с наилучшими показателями эффективности. Определению возможных путей разрешения многих из существующих противоречий развития систем связи и радиотехнических измерений, использующих СШПС, посвящена данная статья.

Известно, что стремление к увеличению показателей частотно-временного произведения $WT \gg 1$ сопровождается увеличением времени, которое необходимо

затратить на корреляционную обработку ШПС при его приеме. Поэтому особо актуальной ставится проблема синтеза составных СШПС, отличительная особенность которых заключается в следующем:

- при обработке составного СШПС его корреляционная и взаимно корреляционная функция должна удовлетворять свойствам минимаксной оптимизации, предполагающим одновременное обеспечение минимума боковых лепестков и максимума основного пика, что является основным условием повышения эффективности систем радиотехнических измерений и передачи информации интенсивными методами;

- его составные части также удовлетворяют критерию минимаксной оптимизации, а некоторые из них при равном числе символов составных частей СШПС обладают корреляционными инверсно-изоморфными свойствами, благодаря чему при суммировании обеспечивается наиболее эффективное подавление боковых лепестков.

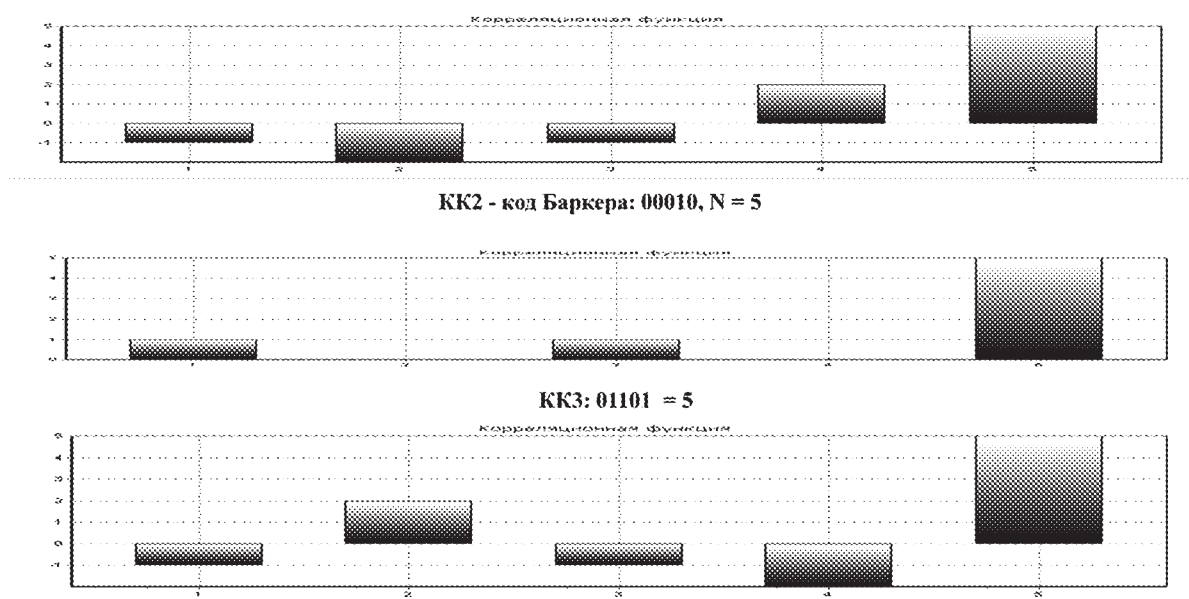
Известно фундаментальное множество работ, посвященных данной проблематике [1–5]. Их основу составляет теория конечных полей Галуа [1]. Но принципиально новые возможности для синтеза составных СШПС появились при использовании конструктивной теории конечных полей (КТКП) [5]. В данной статье показано, как может быть полезно использованы для повышения эффективности систем радиотехнических измерений и связи некоторые положения этой теории, в частности, основополагающие принципы симметрии FRA и ВКФ различных составных кодовых конструкций.

Иллюстрация, поясняющая используемые при синтезе составного СШПС основополагающие принципы симметрии в виде корреляционных инверсно-изоморфных свойств, приведена на рис. 1.

Из нее следует, что общая СШПС, составленная из трех ее частей, обладает лучшими автокорреляционными свойствами среди других последовательностей той же длины. И в то же время первая и третья составные части общей СШПС имеют инверсно-изоморфные картины при их корреляционной обработке, благодаря чему при суммировании результатов обработки составных частей боковые лепестки будут подавлены. В результате такого искусственного приема обеспечивается возможность получения сжатого в три раза (пятиразрядного) ШПС, у которого уровень боковых лепестков удовлетворяет требованиям, предъявляемым к идеальным кодам Баркера, а значение максимального пика увеличено в число раз, равное коэффициенту сжатия.

Этот пример является демонстрацией эффективного совместного использования нескольких различных

Составные части сигнала цикловой синхронизации КК1+ КК2 + КК3: 001110001001101



При суммировании корреляционных функций (КФ) составных частей получают общую идеальную КФ с подавленными боковыми лепестками: <-1, 0, -1, 0, 15>

Рис. 1. Иллюстрация особенностей формирования и совместной корреляционной обработки трех составных частей: 15-разрядного сигнала цикловой синхронизации 001110001001101

информационных технологий, в частности, сжатия и помехоустойчивой передачи информации с использованием ШПС.

Однако возможности аналитического синтеза подобных составных ШПС ограничены небольшой разрядностью (для приведенного примера $N = 15$). В то же время практическая потребность в сигналах такого рода становится особо значимой для больших значений N ($N > 1000$).

Возможность разрешения этого противоречия предполагает совместное использование методов аналитического синтеза и эвристических алгоритмов поиска, которые могли бы быть использованы для решения задач оптимизации, а также для моделирования путём случайного подбора, комбинирования и вариации искоемых параметров.

2. Эвристический алгоритм поиска, используемый для решения задач оптимизации и моделирования путём случайного подбора, комбинирования и вариации искоемых параметров

До настоящего времени принято считать [6, 7], что нет регулярного метода синтеза бинарных фазоманипулированных сигналов, оптимальных по минимаксному критерию, и нет ответа на вопрос о близости к оптимальным известным сигналов с большим числом позиций N .

Для построения последовательностей с мини-

мальным уровнем боковых лепестков (или MPS последовательностями от Minimum Peak Sidelobe) используется, как правило, метод полного перебора всех возможных кодов заданной длины. Вычислительный ресурс, необходимый для глобальной оптимизации, экспоненциально возрастает с увеличением длины кода и выходит за грань реальности при длинах больше 70.

Однако с увеличением длины кода можно строить коды с наилучшим известным значением корреляционного пик-фактора (PSL – Peak Sidelobe Level). Хотя эти коды могут оказаться не оптимальными, тем не менее, они оказываются близкими к оптимальным и могут быть полезными при поиске оптимальных MPS-последовательностей.

Проведенные исследования показали, что синтез таких квазиоптимальных последовательностей может быть выполнен с применением генетических алгоритмов [6].

Первые публикации, посвященные генетическим алгоритмам, были представлены в 1957, 1962 годах Н.А.Баричелли. Их направленность была связана с исследованием природного феномена наследственности. В 1966 году Л.Дж. Фогель, А.Дж. Оуэнс, М.Дж. Уолш предложили и исследовали эволюцию простых автоматов, предсказывающих символы в цифровых последовательностях. Автором современной теории генетических алгоритмов считается Д.Х. Холланд, исследовавший способность при-

родных систем к адаптации. В 1975 году Холланд опубликовал работу «Adaptation in Natural and Artificial Systems», в которой впервые ввёл термин «генетический алгоритм» и предложил схему классического генетического алгоритма. В дальнейшем понятие «генетические алгоритмы» получило широкое развитие и практическое применение при решении следующих задач:

- о наилучшем приближении;
- о рационале;
- транспортной;
- о распределении ресурсов и т.д.

В соответствии с определением [6] «генетический алгоритм (англ. genetic algorithm) – это эвристический алгоритм поиска, используемый для решения задач оптимизации и моделирования путём случайного подбора, комбинирования и вариации искомых параметров с использованием механизмов, аналогичных естественному отбору в природе. Он является разновидностью эволюционных вычислений, с помощью которых решаются оптимизационные задачи с использованием методов естественной эволюции, таких как наследование, мутации, отбор и кроссинговер. Отличительной особенностью генетического алгоритма является акцент на использование оператора «скрещивания», который производит операцию рекомбинации решений-кандидатов, роль которой аналогична роли «скрещивания в живой природе».

Генетические алгоритмы оперируют совокупностью особей, образующих популяцию, которые представляют собой совокупность индексируемых строк, кодирующих одно из решений задачи.

Основная идея генетического алгоритма заключается в улучшении в среднем приспособленности каждого нового поколения в сравнении с предыдущим. С этой целью вводятся функции приспособленности, являющиеся, по сути, критериями качества решаемой задачи, с помощью которых среди всех особей популяции выделяют:

- наиболее приспособленные (наилучшие в популяции решения), которые получают возможность скрещиваться и давать потомство;
- наименее приспособленные (наихудшие в популяции решения), которые удаляются из популяции и их потомственность прерывается.

В качестве основных начальных условий приняты следующие ограничения классического генетического алгоритма:

- начальная популяция формируется случайным образом;
- размер популяции (количество особей N) фиксируется и не изменяется в течение работы всего алгоритма;

- каждая особь генерируется как случайная L-битная строка (L – длина кодировки особи);
- длина кодировки для всех особей одинакова.

При этом для формирования начальных условий, которые способствовали бы упрощению поиска наиболее подходящих кодовых конструкций, используют результаты и теоретические положения математического синтеза СШПС, в частности, принцип симметрии в виде корреляционных инверсно-изоморфных свойств ее составных частей (рис. 1).

В приложении к синтезу квазиоптимальных MPS-последовательностей алгоритм генетического поиска сводится к следующему:

- созданию начальной популяции, заключающейся в задании необходимого количества последовательностей требуемой длины (при этом последовательности формируются либо на основе разработанных математических положений синтеза, либо случайным образом, либо путём мутации заданной исходной последовательности);
- отбору из имеющейся популяции ограниченного количества последовательностей, наилучших с позиции заданного критерия качества, представляющего собой:
 - минимум суммы квадратов положительных боковых лепестков;
 - минимум максимального бокового лепестка;
 - минимум суммы положительных боковых лепестков.

Также может использоваться любая комбинация из перечисленных выше критериев.

С точки зрения существующего подхода сформированная на основе рассмотренных положений, правил и критериев промежуточная популяция представляет собой набор последовательностей (особей), получивших право размножаться. Наиболее приспособленные, т.е. в наибольшей степени удовлетворяющие заданному критерию качества, последовательности (особи) могут быть записаны туда несколько раз, наименее приспособленные с большой вероятностью туда вообще не попадут. Затем используют операцию скрещивания пар последовательностей (особей) промежуточной популяции путем кроссинговера, что приводит к формированию нового поколения. Далее последовательности (особи) промежуточной популяции случайным образом разбиваются на пары, потом с некоторой вероятностью скрещиваются, в результате чего получаются два потомка, которые записываются в новое поколение, или не скрещиваются, тогда в новое поколение записывается сама пара. При скрещивании применяется одноточечный оператор кроссинговера, когда для родительских строк случайным образом

выбирается точка раздела, а потомки получаются путём обмена отсечёнными частями.

Затем рассматривается порождение новой популяции заданного количества последовательностей путём мутации нового поколения, при котором к полученному в результате отбора и скрещивания новому поколению применяется оператор мутации, в результате чего каждый бит каждой особи популяции с некоторой малой вероятностью инвертируется.

Итоговым решением задачи может служить наиболее приспособленная последовательность или группа последовательностей нового поколения. При этом любая из полученных последовательностей может быть использована в качестве генетического прототипа для порождения новой исходной популяции для продолжения поиска.

Более подробно теоретические аспекты, составляющие основу применения генетических алгоритмов эволюционного поиска, приведены в технической литературе [7–11].

Формально поиск наилучших комбинаций можно задать в виде рекуррентной последовательности, порождаемой эволюционным алгоритмом в следующем виде:

$$AL[P_{k-1}(l, N_{k-1}), \gamma_M, N] \Rightarrow P_k(l, N), \quad (1)$$

где $P_k(l, N)$ – множество экземпляров псевдослучайных последовательностей (ПСП), каждая из которых представлена l -разрядным двоичным кодом;

k – номер (эволюционный) популяции (номер поколения);

γ_M – коэффициент, характеризующий интенсивность мутационного процесса ($\gamma_M < 1$);

N – размер популяции, т.е. количество экземпляров ПСП в популяции.

Эволюционный алгоритм AL может быть представлен в виде циклической последовательности вложенных частных алгоритмов, реализующих:

- расчёт корреляционной функции ПСП $x_i \Leftrightarrow p_i \in P_k(l, N), i \in [1, N]$ – алгоритм AL_0 ;
- убывающую частичную упорядоченность (в соответствии с заданным критерием качества) экземпляров ПСП $p_i \in P_k(l, N), i \in [1, N]$ – алгоритм AL_j ;
- формирование родительских пар и кроссинговер – алгоритм AL_2 ;
- наследственную мутацию – алгоритм AL_3 ;
- циклическое формирование популяции потомков – алгоритм AL_4 .

Для перечисленных частных алгоритмов можно записать соотношение, характеризующее последовательность их применения, в виде

$$\gamma_M, N] \Rightarrow P_k(l, N). \quad (2)$$

При этом необходимо учитывать, что длина эволюционной последовательности определяется количе-

$$AL: AL_4(AL_3[AL_2(AL_1[AL_0(P_{k-1}(l, N_{k-1}))])]),$$

ством циклов рекуррентного по отношению к формируемой (эволюционирующей) популяции применения эволюционного алгоритма AL , т.е.

$$\begin{aligned} &AL^k[P_0(l, N_0), \gamma_M, N] = \\ &= AL(AL^{k-1}[P_0(l, N_0), \gamma_M, N], \gamma_M, N) = \dots \\ &\dots = AL^{k-1}(AL[P_0(l, N_0), \gamma_M, N], \gamma_M, N) \Rightarrow P_k(l, N), \end{aligned} \quad (3)$$

где k – задаёт количество эволюционных циклов (порождаемых поколений) ПСП.

Формальные правила, реализуемые частными алгоритмами, сводятся к следующим.

Алгоритм AL_0 – расчёт автокорреляционной функции псевдослучайной последовательности

Расчёт автокорреляционной функции псевдослучайной последовательности (ПСП) $p_i \in P_k(l, N), i \in [1, N]$ выполняется в соответствии со следующими правилами:

$$\begin{aligned} \forall i \in [1, N], \forall j \in [1, N]: &x[i+j-1] = \\ &= x[i+j-1] + 1 - 2 \cdot |p[i] - p[N-j+1]|. \end{aligned} \quad (4)$$

Алгоритм AL_j – частичное упорядочение экземпляров ПСП в порядке убывания показателя эффективности

Алгоритм реализует частичное упорядочение экземпляров ПСП $p_i \in P_k(l, N)$ текущей популяции в соответствии с рассчитываемыми показателями качества экземпляров ПСП. В качестве таких показателей качества $E_i = E(x_i), x_i \Leftrightarrow p_i \in P_k(l, N), i \in [1, N]$ могут быть использованы, например, следующие:

- квадратичный

$$E_{1,i} = x_i^2[l] - \sum_{j=1}^{l-1} x_i^2[j] \wedge (x_i[j] > 0)$$

или его модификация, учитывающая отклонения значений $x_i[j]$ от нулевого уровня

$$E_{1,i} = x_i^2[l] - \sum_{j=1}^{l-1} x_i^2[j] \wedge (x_i[j] \neq 0);$$

- линейный

$$E_{2,i} = x_i[l] - \sum_{j=1}^{l-1} x_i[j] \wedge (x_i[j] > 0)$$

или его модификация, учитывающая отклонения значе-

ний $x_i[j]$ от нулевого уровня

$$E_{2,i} = x_i[l] - \sum_{j=1}^{l-1} |x_i[j]| \wedge (x_i[j] \neq 0);$$

- максимум бокового лепестка

$$E_{3,i} = \max_{j=1, l-1} \{x_i[j] \wedge (x_i[j] > 0)\}$$

или его модификация, учитывающая отклонения значений $x_i[j]$ от нулевого уровня

$$E_{3,i} = \max_{j=1, l-1} \{|x_i[j]| \wedge (x_i[j] \neq 0)\}.$$

Собственно частичное упорядочение производится по правилу

$$\begin{aligned} E(x_i) > E(x_j) &\rightarrow p_i > p_j; \quad x_i \Leftrightarrow p_i \in P_k(l, N); \\ x_j \Leftrightarrow p_j \in P_k(l, N); \quad p_i, p_j \in P_k(l, N); \\ i \in 1, N-1; \quad j \in 2, N. \end{aligned} \quad (5)$$

Алгоритм AL₂ – формирование родительских пар и кроссинговер

Для каждой пары частично упорядоченных экземпляров $p_i, p_{i+1} \in P_k(l, M)$, $P_k(l, M) \subset P_k(l, N)$, $M < N$ последовательно выполняются следующие действия:

- генерируется равномерно распределённое случайное число $\xi \in [0, 1]$, определяющее границу деления ПСП

$$n = [\xi \cdot l];$$

- формируются маски выбора частей ПСП

$$m_1 = 2^n - 1; \quad m_2 = 2^l - m_1 - 1;$$

- выполняется скрещивание пар (см. рис.2)

$$\tilde{p}_i = m_1 \wedge p_i \vee m_2 \wedge p_{i+1}; \quad \tilde{p}_{i+1} = m_1 \wedge p_{i+1} \vee m_2 \wedge p_i. \quad (6)$$

Алгоритм AL₃ – наследственная мутация

Для каждого порождённого путём скрещивания экземпляра $\tilde{p}_i \in \tilde{P}_k(l, M)$ последовательно выполняются следующие действия:

- генерируется равномерно распределённое случайное число $\eta \in [0, 1]$, определяющее, будет ли текущий экземпляр \tilde{p}_i подвергнут мутации;
- при $\eta > \gamma_M$ текущий экземпляр \tilde{p}_i подвергается мутации, что влечёт выполнение следующих действий:
 - генерируется равномерно распределённое случайное число $\zeta \in [0, 1]$;
 - определяется номер мутируемого разряда $j_M = [\zeta \cdot l + 0,5]$;
 - для разряда с вычисленным номером значение меняется на противоположное $\tilde{p}_j[j_M] = -\tilde{p}_j[j_M]$.

Алгоритм AL₄ – циклическое формирование популяции потомков

Для текущей популяции $\tilde{P}_k(l, M)$ определяется коэффициент размножения

$$\alpha = N/M \quad (7)$$

и выполняется циклическое порождение новой популяции

$$P_{k+1}[l, N] = [\alpha] \cdot AL_3(\tilde{P}_k[l, M]) \cup AL_3(\tilde{P}_k[l, \{\alpha\} \cdot M]), \quad (8)$$

где $N = [\alpha] \cdot M + \{\alpha\} \cdot M = ([\alpha] + \{\alpha\}) \cdot M = \alpha \cdot M$ согласно равенству (7).

Представленные выше частные алгоритмы образуют необходимый набор алгоритмов, упорядоченное применение которых в соответствии с соотношениями (2) и (3) обеспечивает эволюционный поиск наилучших кодовых комбинаций, соответствующих заданному критерию качества.

В дополнение можно отметить, что существует возможность модификации алгоритма AL₁ таким образом, что расчёт показателя качества будет ориентирован на поиск кодовых комбинаций, наилучшим образом приближающихся к требуемым формам автокорреляционных функций, что, безусловно, ещё в большей степени увеличивает преимущества алгоритма эволюционного поиска.

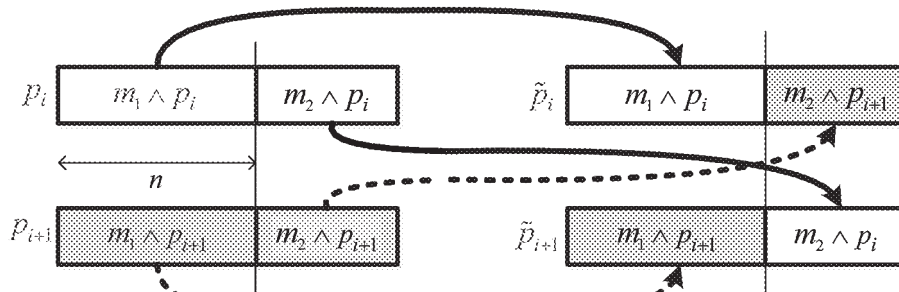


Рис. 2. Пояснение к кроссинговеру

Заключение

Проведенные исследования показывают, что фундаментальные исследования, которые были получены в других областях научных знаний, могут быть успешно использованы для решения актуальных задач, связанных с радиотехническими измерениями и передачей информации. В целом это способствует интеграции различных наук и формированию нового научного представления по проблемам, которые имеют непосредственное отношение к синтезу составных сложных проблемно-ориентированных шумоподобных сигналов с заданными корреляционными свойствами. При этом области применения новых знаний непрерывно расширяются, появляются новые методы и информационные технологии. Один из полученных новых научных результатов, появлению которого способствовали как нетрадиционная математическая конструктивная теория конечных полей, так и исследования, выполненные в части доработки генетических алгоритмов синтеза под проблемы радиотехнических измерений и передачи информации может непосредственно быть использован для совершенствования системы синхронизации, которая используется в радиотелеметрических системах.

Известно, что во всех системах цифровой передачи информации сигналы синхронизации (СС) представляют собой кодовые конструкции, которые должны быть надежно защищены в условиях действия помех различного происхождения. Они определяют порядок объединения информационных сообщений при формировании цифровых групповых сигналов, информационных предложений и фраз, пакетов данных, кадров передачи информации при временном ее уплотнении. На особенности их построения ориентированы алгоритмы, предназначенные для обеспечения синхронной работы передающего и приемного устройств. Поэтому к помехоустойчивости их передачи и приема предъявляются высокие требования. В соответствии с теорией передачи информации показатели помехоустойчивости СС должны быть, как минимум, в три раза более высокими по сравнению с аналогичными показателями сообщений. Однако требование дополнительного повышения помехоустойчивости СС приводит к необходимости сокращения информационных параметров и сообщений. Разрешение данного противоречия не

может быть обеспечено в рамках традиционного подхода. Нужны дополнительные резервы, которые могут быть получены за счет синтеза сложных сигналов с требуемыми проблемно-ориентированными свойствами.

Существуют два основных метода разрешения отмеченного противоречия.

Первый, активно развивающийся в последнее время, связан с тем, чтобы повышения устойчивости выделения СС обеспечить за счет обработки, которая осуществляется при приеме цифровых сигналов. Это фильтрация боковых лепестков и использование различных алгоритмов компенсации помех. Если в соответствии с существующим образным описанием противоречий рассматривать искажение полезного сигнала помехами, как болезнь, то традиционные методы направлены на ее лечение после того, как полезный сигнал искажен.

Второе направление, основы которого изложены в статье, предполагает создание сигналов, которые в наибольшей степени противодействуют разрушениям кодовых структур и информационных сообщений. Иначе говоря, они должны обладать некоторым искусственным иммунитетом по отношению к помехам.

Реализация второго направления может быть основана на синтезе кодов, которые оказываются близкими к оптимальным и могут быть полезными при поиске оптимальных MPS-последовательностей. Синтез таких квазиоптимальных последовательностей может быть выполнен с применением генетических алгоритмов, что позволяет снять проблему недостаточности вычислительного ресурса, необходимого для решения задачи глобальной оптимизации при длинах кодов больше 70.

Также при использовании составных СШПС поновому может быть решена и проблема обработки ПСП большой длины. Новая технология основана на том, что при приеме составных СШПС обработка производится отдельно для каждой ее части. В результате этого появляются новые резервы для глубокого распараллеливания процессов корреляционного приема ШПС большой длины. Новое решение получает и проблема разрешения неоднозначности радиотехнических измерений из-за возможности существенного увеличения длины составных СШПС, так как появляется возможность использования глубокой распараллеленной их обработки при приеме.

Литература

1. Свердлик М.Б. *Оптимальные дискретные сигналы*. – М.: Сов. радио, 1975, 200 с.
2. Варакин Л.Е. *Теория сложных сигналов*. – М.: «Советское радио», 1970. – 376 с.
3. Гантмахер В.Е., Быстров Н.Е., Чеботарев Д.В. *Шумоподобные сигналы. Анализ, синтез, обработка*. – Спб.: Наука и техника, 2005, 400 с.

4. Скляр Б. Цифровая связь. Теоретические основы и практическое применение / Пер. с англ., – М.: «Вильямс», 2003. – 456с.
5. Измерительная техника, №2, 1993.
6. http://ru.wikipedia.org/wiki/Генетический_алгоритм.
7. Емельянов В. В., Курейчик В. В., Курейчик В. М. Теория и практика эволюционного моделирования. – М: Физматлит, 2003. – С. 432.
8. Курейчик В. М., Лебедев Б. К., Лебедев О. К. Поисковая адаптация: теория и практика. – М: Физматлит, 2006. – С. 272.
9. Гладков Л. А., Курейчик В. В., Курейчик В. М. Генетические алгоритмы: Учебное пособие. – 2-е изд. – М: Физматлит, 2006. – С. 320.
10. Рутковская Д., Пилиньский М., Рутковский Л. Нейронные сети, генетические алгоритмы и нечеткие системы – 2-е изд. – М: Горячая линия-Телеком, 2008. – С. 452.
11. Вороновский Г.К., Махотило К.В., Петрашев С.Н., Сергеев С.А., Генетические алгоритмы, искусственные нейронные сети и проблемы виртуальной реальности, Харьков, ОСНОВА, 1997. – 112с.

Материал поступил в редакцию 21. 09. 2014 г.