

Синтез фазоманипулированных сигналов с пониженным уровнем бокового лепестка в рабочей области ПАКФ с помощью поиска с исключениями*

В.Н. Михайлов

Аннотация

В докладе рассматривается возможность применения алгоритма поиска с исключениями (tabu search) для синтеза сигналов с пониженным уровнем бокового лепестка в заданной зоне периодической автокорреляционной функции. Представлены результаты синтеза. Определены проблемы, возникающие при использовании алгоритма, и намечены пути их решения.

The design of phase-coded signals with a reduced sidelobe level in a PACF specified zone by tabu search

V.N. Mikhaylov

Abstract

In report the possibility of tabu search application for the signals design with a reduced sidelobe level in a specified zone of the periodic autocorrelation function is considered. This design results are presented. Problems of using tabu search algorithm are defined and their way of solution are shown.

Среднеквадратический уровень бокового лепестка периодической АКФ фазоманипулированного сигнала в широком диапазоне задержек имеет теоретический нижний предел, равный $\frac{1}{\sqrt{n}}$, где N – длительность сигнала [1]. Однако, задача минимизации бокового лепестка часто ставится только для определенного набора задержек τ , так называемой рабочей зоны: $-\tau_{\max} < \tau < \tau_{\max}$ [2]. Известно, что такая задача имеет решение, лучшее, чем $\frac{1}{\sqrt{n}}$ [1], тем не менее аналитически оно еще не получено.

В отсутствие аналитического метода для решения поставленной задачи можно использовать различные эвристические алгоритмы, направленные на локальную оптимизацию кодовой сигнальной последовательности. Для синтеза сигнальных последовательностей в литературе обычно используются методы, основанные на генетических алгоритмах [3,4,5] или поиске с исключениями [3,6]. Однако, известные из литературы результаты, не охватывают последовательности, превышающие несколько десятков символов. Это ставит вопрос о возможности использования эвристических алгоритмов для синтеза сигнальных последовательностей больших длительностей ($N \geq 2^{10}$).

В статье будет рассмотрен поиск с запретами и возможности его применения для синтеза сигнальных последовательностей с заданными свойствами.

Поиск с исключениями был предложен Ф. Гловером. Он основан на методе локального спуска, но дополнен механизмом, позволяющим покидать найденный локальный оптимум. Этим механизмом является список запретов $Tabu(i_k)$. Он строится

* Работа выполнена при поддержке Министерства образования и науки РФ в рамках ФЦП "Научные и научно-педагогические кадры инновационной России на 2009–2013 годы" (гос. контракт № П1114 от 26.08.2009).

по нескольким предшествующим решениям $i_k, i_{k-1}, \dots, i_{k-l}$ и запрещает часть окрестности текущего решения $N(i_k)$. На каждом шаге алгоритма очередная точка i_{k+1} является оптимальным решением подзадачи

$$f_A(i_{k+1}) = \min \{f_A \in N(i_k) \setminus Tabu_l(i_k)\}$$

Константа $l \geq 0$ задает длину списка запретов.

Поиск с исключениями работает по следующему алгоритму:

1. Выбирается начальное решение i_0 , $f_A^* := f_A(i_0)$, $Tabu_l(i_0) := \emptyset$, $k := 0$;
2. Проверка выполнения критерия останова, если не выполнен, то
3. Формируется окрестность $N(i_k)$;
4. Находится i_{k+1} , такой, что $f_A(i_{k+1}) = \min \{f_A \in N(i_k) \setminus Tabu_l(i_k)\}$, $k := k + 1$;
5. Обновляется список исключений $Tabu_l(i_k)$
6. Переход к п.2.

В качестве критерия останова может использоваться требуемая точность по отношению к заданной нижней или верхней оценке глобального оптимума, остановка по общему числу шагов либо числу шагов, в ходе которых не меняется значение функции оптимизации [7,8].

Для использования поиска с исключениями необходимо задать функцию оптимизации. Произведем оптимизацию по среднеквадратическому уровню бокового лепестка в зоне оптимизации $m \in [-M; M \setminus 0]$, $M = \frac{\tau_{\max}}{\Delta\tau}$, $\Delta\tau$ – длительность импульса.

Тогда, учитывая симметричность автокорреляционной функции, функция оптимизации:

$$F_A = \sum_{m=1}^M \frac{|R(m)|^2}{M} \Rightarrow \min,$$

где $R(m) = \sum_{i=1}^L s(i) \cdot s(i-m)$, L – длительность сигнала.

На рисунках 1 и 2 показаны примеры ПАКФ найденных сигналов для длин $N=2^{10}$ (рис 1) и $N=2^{11}$ (рис 2), зона оптимизации $M=32$.

Как видно из приведенных результатов, использование поиска с исключениями позволяет находить фазовые последовательности с существенно пониженным уровнем бокового лепестка в заданной области периодической АКФ. Однако этот метод синтеза имеет существенный недостаток – низкое быстродействие. Время вычислений возрастает пропорционально степени длительности сигнала. Для примера, расчет 150 итераций для сигнала длительностью $L=2^{10}$ занимает около 12 минут. Это практически делает невозможным синтез более длинных сигналов или синтез по более сложным критериям, таким, как низкий уровень бокового лепестка в рабочей зоне функции неопределенности.

Теперь рассмотрим способы повышения быстродействия алгоритма. Вопросы оптимизации вычисления АКФ оставим за пределами статьи, отметим только, что в зависимости от длительности сигнала и зоны оптимизации, выигрыш во времени может достигать нескольких десятков раз (для небольшой зоны оптимизации). Тем не менее, для синтеза сигналов большой длительности этого недостаточно. Существует несколько путей снижения времени расчетов.

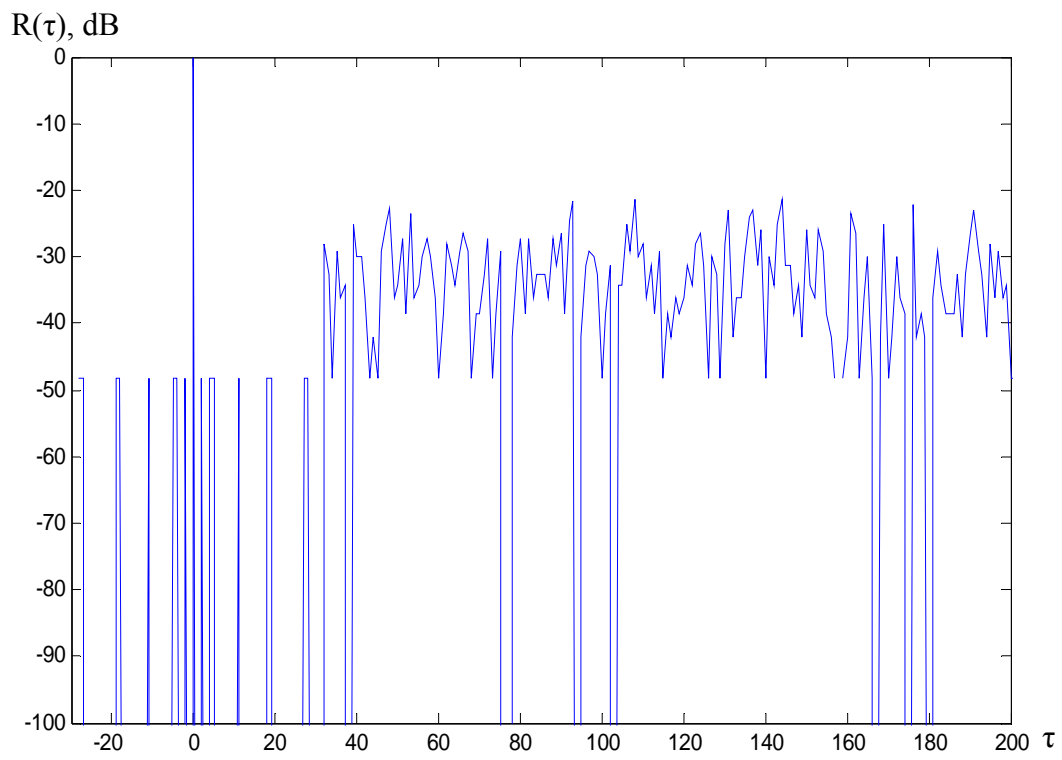


Рис. 1



Рис. 2

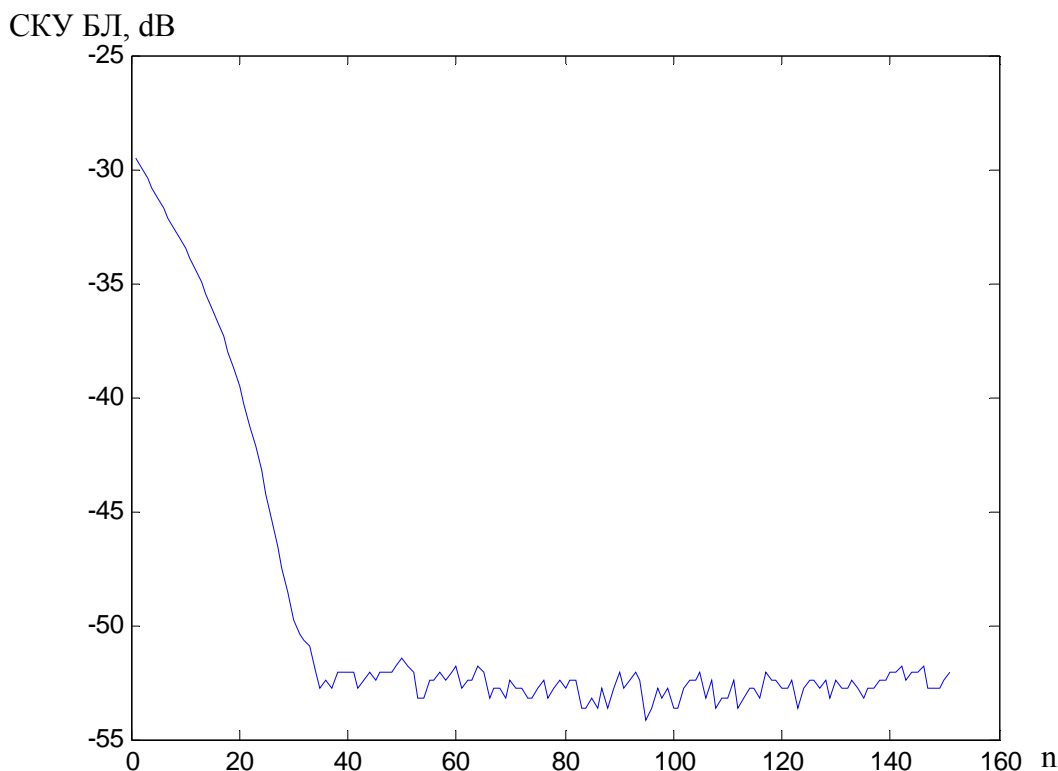


Рис. 3

Для дальнейших исследований обратимся к графику зависимости значения функции оптимизации f_A (рис.3). Видно, что большую часть затраченного времени алгоритм работает фактически в режиме градиентного спуска. С целью ускорения процесса синтеза, этот участок можно заменить более быстрым алгоритмом локального поиска. Различные варианты комбинации поиска с исключениями с алгоритмами локального поиска приведены, например, в [8,9]. Наиболее интересными являются комбинации алгоритмов поиска с исключениями с генетическими алгоритмами, предложенными Холландом [10]. Обратимся к их комбинациям, подробно рассмотренным в [9]:

1. Добавленный местный поиск (AppendedLocalSearch), в котором поиск с исключениями использует лучшие значения, полученные с помощью генетических алгоритмов. Недостатком этого подхода является то, что наилучший способ определения отношения количества итераций генетических алгоритмов и поиска с исключениями может быть определен только экспериментально. Эффективность этого подхода зависит от того, насколько близко к оптимуму находится значение, полученное с помощью генетического алгоритма.

2. Внедренный локальный поиск (EmbeddedLocalSearch), при котором генетический алгоритм выполнялся определенное число итераций, после чего проводилась одна итерация поиска с исключениями. Затем опять выполнялся поиск на основе генетического алгоритма. Эта последовательность выполнялась до достижения требуемого значения оценочной функции.

3. Динамический локальный поиск (DynamicLocalSearch). Этот метод основан на добавленном местном поиске, но в нем используется предварительная оценка различности исходных хромосом. Генетическое разнообразие было определено как среднее количество генетических различий на ген в популяции. Преимущество

динамического локального поиска заключалось в том, что за исключением простого усеченного значения, никакого другого ввода от пользователя не требовалось (кроме обычных установок параметров ГА).

В статье [9] показано, что наилучшие результаты получаются при использовании динамического локального поиска. С интересующей нас точки быстрого действия, он тоже выглядит наиболее оптимальным, т.к. в нем отсутствует ограничение на минимальное количество итераций при использовании генетического алгоритма. Преимущества использования генетического алгоритма для предварительного локального поиска обусловлены высокой вариабельностью его настроек и возможностью быстрого поиска окрестности локального оптимума [11].

Еще одна возможность снижения времени синтеза сигнала с пониженным уровнем бокового лепестка в заданной области кроется в постановке задачи этого синтеза. Если сформулировать задачу не как поиск наилучшего значения уровня бокового лепестка, а как поиск требуемого значения, количество затраченных итераций и, соответственно, время расчета может быть существенно снижено. Однако этот подход требует априорную информацию о возможных значениях уровня бокового лепестка.

Рассмотренные способы позволяют в несколько раз снизить время, требуемое для синтеза фазоманипулированных сигналов с пониженным уровнем бокового лепестка в рабочей области ПАКФ. Тем не менее, синтез таких сигналов с длительностями более $N > 2^{10}$ требует значительных временных затрат (несколько часов). Однако этот метод позволяет получать сигналы с достаточно низким, а в некоторых случаях – нулевым боковым лепестком в зоне оптимизации. Следует отметить, что способы увеличения быстрого действия рассмотренного алгоритма еще не исчерпаны.

Список литературы

1. Винокуров В.И., Гантмахер В.Е. Дискретно-кодированные последовательности. – Ростов на Дону: Издательство Ростовского университета, 1990 – 288 с.
2. Морская радиолокация. Под редакцией проф. В.И. Винокурова. Судостроение. 1986. С. – 256.
3. Ivana Ljubic, J. Kratica, V. Filipovic and D. Tosic. Genetic algorithm for designing a spread-spectrum radar polyphase code, In 5th Online World Conference on Soft Computing Methods in Industrial Applications, WSC5, pages 191-197, Internet, 2000.
4. Christopher T. Capraro, Ivan Bradaric, Gerard T. Capraro and Tsu Kong Lue. Using genetic algorithms for radar waveform selection, 2008 IEEE Radar Conference, pages 1250-1255.
5. Михайлов В.Н. Особенности формирования зондирующих сигналов с многоуровневой фазовой манипуляцией с помощью генетических алгоритмов // Труды 65-й научно-технической конференции посвященной дню радио.–СПб., 2010 – С.51-52.
6. M.L. Dukic, Z.S. Dobrosavljevic. A method of a spread-spectrum radar polyphase code design, IEEE Journal on Selected Areas in Communication, vol.5 pp. 743-749, 1990.
7. Е. Н. Гончаров, Ю. А. Кочетов. Вероятностный поиск с запретами для дискретных задач безусловной оптимизации. дискретный анализ и исследование операций июль—декабрь 2002. Серия 2. Том 9, № 2, 13-30.
8. Local search techniques: focus on tabu search. Edited by Wassim Jaziri. www.in-teh.org, 2008, P. 294.

9. Restricted evaluation genetic algorithms with tabu search for optimising boolean functions as multi-level AND-EXOR networks, Julian. F. Miller and Peter Thomson. Evolutionary Computing Lecture Notes in Computer Science, 1996, Volume 1143/1996, P. –85-101.
10. J. H. Holland. Adaptation in natural and artificial systems. University of Michigan Press, Ann Arbor, 1975.
11. Гладков Л.А., Курейчик В.В., Курейчик В.М., Генетические алгоритмы / под. ред. В.М. Курейчика. – 2-е изд., испр. и доп. – М.:ФИЗМАТЛИТ, 2006.– 320 с.



Михайлов Вячеслав Николаевич. Родился в 1977 г. Окончил Санкт-Петербургский Государственный Электротехнический Университет «ЛЭТИ» в 2000 г. Ассистент кафедры РС Санкт-Петербургского государственного электротехнического университета «ЛЭТИ».

Сфера научных интересов: многодиапазонные многопозиционные радиолокационные комплексы, радиолокационные зондирующие сигналы, эвристические алгоритмы поиска. Автор 8 работ.
E-mail: VNMihaylov@yandex.ru