

# СИНТЕЗ НА СЛУЧАЙНИ ДВОИЧНИ СИГНАЛИ ЧРЕЗ АЛГОРИТЪМ ЗА ГЕНЕТИЧНА ОПТИМИЗАЦИЯ

Доц. д-р Борко Ганев Боянов

Гл. ас. Емил Тодоров Тодоров

Технически Университет - Варна, България

Random and pseudo-random binary sequences are useful signals in communications and control systems. If an ensemble of binary sequences is needed for a specific system, both auto-correlation functions' side lobes and cross-correlation are of great importance. Several types of pseudo-random binary sequences are widely used, but their drawback is their deterministic nature. In this paper, a method of synthesis of an ensemble of random binary sequences by genetic algorithm optimization (GAO) is presented. Classified as guided random optimization technique, GAO is a searching process, which simulates a population evolution process, observed in nature. The problems of the structure of the GAO procedure and computational-effective fitness evaluation are considered. Modified fitness evaluation, leading to almost perfect ones/zeros balance of the sequences is discussed. The performance of synthesized ensemble is compared with that of maximum-length pseudo-random binary sequences. The proposed method of random binary sequences' synthesis can be used as viable alternative to the known methods, offering the advantage of randomness.

## 1. ВЪВЕДЕНИЕ

За реализирането на ефективни радиосистеми за комуникации и управление е необходимо използването на сигнали с добри корелационни функции, които позволяват различаването на сигналите на фона на шум. При използването на ансамбъл от сигнали в една система от значение са както автокорелационните функции (АКФ), така и взаимнокорелационните функции (ВКФ) на сигналите, участващи в ансамбъла. При това е необходимо АКФ да има тесен централен лист и ниски странични листи, а ВКФ да имат малки стойности. Съществуват различни ансамбли от двоични псевдослучайни сигнали, които се използват широко, но някои от тях като М-последователностите имат добри АКФ, но високи стойности на ВКФ [1]. Създаването на един сигнал или на ансамбъл от сигнали е задача, изискваща голям обем изчисления. Например в [2] са дадени единични последователности с дължина 69 и 88 символа, които имат малки странични листи на АКФ. За откриването на тези последователности е използвано специално създадена компютърна система. Това е обяснимо, като се отчита, че броят на възможните последователности с дължина 88 е  $3 \cdot 10^{26}$ . Авторите са успели да изследват много малка част от възможните последователности. Задачата допълнително се усложнява, когато трябва да се създаде ансамбъл от последователности.

В настоящата работа се предлага използването на нов метод за синтез на ансамбъл от сигнали, базиран на генетичен алгоритъм за оптимизация (ГАО),

който позволява създаването на ансамбъл от сигнали с голяма дължина и голям брой на сигналите в ансамбъла. Обемът на изчисленията е намален рязко и позволява използването на персонален компютър.

## II. ОБЩИ СВЕДЕНИЯ ЗА ОПТИМИЗАЦИЯ С ИЗПОЛЗУВАНЕ НА ГЕНЕТИЧЕН АЛГОРИТЪМ

Генетичните алгоритми за оптимизация симулират процесите на развитие, които се наблюдават в природата. Генетичният алгоритъм обикновено се състои от няколко етапа: оценка на пригодността, генетична селекция, генетични операции и формиране на нова популация, които се повтарят циклично. Популацията се състои от определен брой индивиди, всеки представен чрез своя хромозом, кодиращ всички черти на индивида. Приложено към физически проблеми, кодирането се състои в представянето съвкупността на параметрите в двоичен вид и записването им в един стринг. По-долу се разглеждат накратко основните етапи и операции при генетичната оптимизация съгласно [3] и [4].

### 2.1. Оценка на пригодността.

Оценката на пригодността на всеки индивид от популацията се извършва като се използва съответния хромозом, от който чрез обратно преобразуване се получават параметрите на физическия обект. Тези параметри се използват за изчисляване на определено качество на физическия обект, което е от значение за оптимизацията. Количествената характеристика, получена при изчислението дава пригодността на индивида.

### 2.2. Генетична селекция.

Една от основните идеи на оптимизацията чрез генетичен алгоритъм е, че във следващата популация с по-голяма вероятност следва да се включат индивиди, получени от индивиди от предната популация, които имат по-висока пригодност. За да се реализира това е необходимо от дадена популация да се селектират индивиди с висока пригодност (родители), от които да се получат нови индивиди (поколение). Съществуват различни критерии за селекция на родители. При детерминистичните критерии се избират определен брой индивиди с най-голяма пригодност. При стохастичните изборът се базира освен на пригодността и на случайност.

### 2.3. Генетични операции.

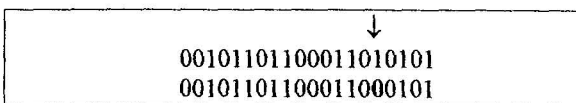
Генетичните операции се използват за да се създаде поколение от родителите. Основните генетични операции са генетично кръстосване и мутация. Генетичното кръстосване на двойка родители е илюстрирано чрез съответните хромозоми на фиг. 1.



Фиг. 1.

Вляво са дадени двойка родителски хромозоми. Стрелката показва точката на генетично кръстосване. Влясно са дадени хромозомите на поколението, които се получават като частта преди точката на кръстосване на първия родителски хромозом се копира в първия хромозом на поколението, а частта на първия родителски хромозом след точката на кръстосване се копира във втория хромозом на поколението. Обратно е копирането на частите на втория родителски хромозом.

Мутацията е генетична операция, която се състои в изменението на един или няколко бита в даден хромозом. Мутациите се реализират в съответствие с предварително избрана вероятност. Позициите на мутациите се избират случайно. Мутации могат да се осъществяват както върху поколението, така и върху други индивиди, участващи в новата популация. Илюстрация на мутация на един символ е дадена на фиг. 2.



Фиг. 2.

#### 2.4. Формиране на нова популация.

В новата популация се включва поколението, част от индивидите от предната популация, които са с висока пригодност, неподложени на мутация и индивиди от предната популация, преминали мутация. За намаляване на вероятността за захващане към локален екстремум е целесъобразно включването на определен брой случайни имигранти.

След формирането на новата популация започва новият цикъл на генетичния процес. Процедурата на генетично оптимизиране приключва, ако е достигнато определено ниво на пригодност или генетичният алгоритъм е преминал зададен брой цикли.

### III. ПРИЛОЖЕНИЕ НА ГЕНЕТИЧНИЯ АЛГОРИТЪМ ЗА ОПТИМИЗАЦИЯ ЗА СИНТЕЗ НА АНСАМБЪЛ ОТ ДВОИЧНИ ПОСЛЕДОВАТЕЛНОСТИ

По-долу са дадени специфичните особености на приложението ГАО към задачата за синтез на ансамбъл от двоични последователности.

#### 3.1. Кодиране на хромозомите.

Кодирането на хромозомите е тривиално, доколкото последователностите са двоични и всеки символ от хромозома съответства на символ от двоичната последователност. Ако трябва да се синтезира ансамбъл от  $M$  последователности с дължина  $N$  символа, хромозомът има дължина  $L = M \cdot N$  бита. В началната популация се включват  $N_0$  хромозома, генерирани случайно.

### 3.2. Оценка на пригодността.

Оценката се извършва като от хромозома се формира матрица от двоичните последователности. За всяка последователност се изчислява АКФ като се използва израза:

$$(1) \quad C_{xx}(m) = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-|m|-1} x(n) \cdot x(n+m).$$

За всяка двойка последователности се изчислява ВКФ чрез израза:

$$(2) \quad C_{xy}(m) = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-|m|-1} x(n) \cdot y(n+m).$$

Пригодността *cost* се определя количествено от максималната абсолютна стойност на  $C_{xx}$  и  $C_{yy}$ , като се изключи максимума на АКФ

$$(3) \quad cost = \max(\text{abs}(C_{xx}, C_{yy})).$$

С най-висока пригодност са хромозомите с най-ниска стойност на *cost*.

3.3. Подбор на родители, генетични операции и формиране на нова популация.

Тези процедури съответствуват на указанияте в 2.2, 2.3 и 2.4 като в новата популация се включват без мутации Nb най-добри индивиди, на основата на които е получено поколението. Запазването на тези индивиди гарантира получаването на популация с не по-лошо качество и е известно като "елитарна стратегия" за избор. Включват се и Ni случайни имигранти, като останалите N0-2-Nb-Ni хромозоми се подлагат на Nm мутации с вероятност pm.

3.4. Подобрване на качествата на ансамбъла.

Стойностите на АКФ и ВКФ са най-важните, но не единствени показатели за качеството на ансамбъла. Друг показател е балансът на нулите и единиците. При дължина на последователността N, броят на възможните последователности с еднакъв брой единици и нули е

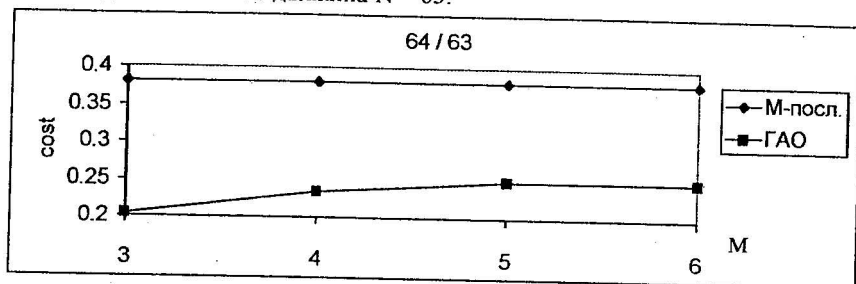
$$(4) \quad N01 = \frac{N!}{((N/2)!)^2}.$$

Относителният брой на балансираните последователности спрямо общия брой на възможните е висок, което определя и голяма вероятност за получаване на балансирана последователност при генетичните операции и при включването на случайните имигранти. Ето защо не е целесъобразно включването на баланса като елемент на количествената оценка на пригодността в началния стадий на оптимизацията. Това се прави в крайния стадий, след като е достигнато достатъчно ниско ниво на АКФ и ВКФ.

## IV. РЕЗУЛТАТИ ОТ ГЕНЕТИЧНИЯ СИНТЕЗ

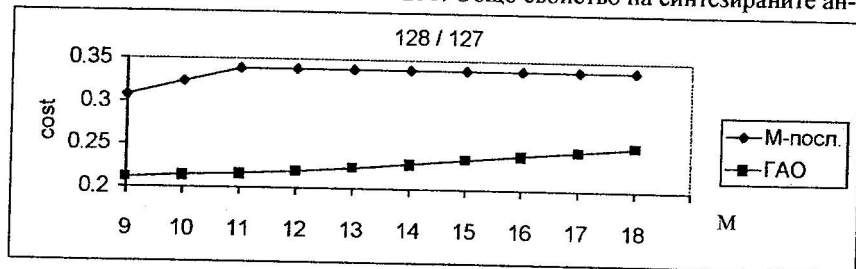
По-долу са дадени резултатите от синтеза на ансамбли от двоични последователности с дължина 64, 128 и 256 символа. Изследвано е влиянието на обе-

ма на ансамбъла върху АКФ и ВКФ, а също така и върху баланса на нулите и единиците. Параметрите, характеризиращи генетичния алгоритъм са: обем на популацията - 50, брой на най-добрите индивиди - 20, брой на случайните емигранти - 10, брой на мутациите в един хромозом - 2, вероятност за мутации  $pm = 0.995$ , брой на итерациите - 100 до 200. На фиг. 3 е показана зависимостта на *cost*, определена съгласно (3), от обема на ансамбъла *M* при дължина на последователността  $N = 64$ . За сравнение е дадена линията на *cost* за ансамбъл от *M*-последователности с дължина  $N = 63$ .

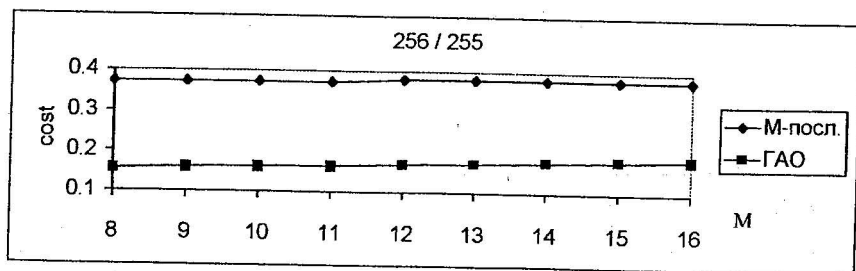


Фиг. 3.

На фиг. 4 и фиг. 5 са дадени аналогичните зависимости при дължина на последователностите  $N = 128$  и  $N = 256$ . Общо свойство на синтезираните ан-



Фиг. 4.



Фиг. 5.

самбли от двоични последователности е, че максималното ниво на ВКФ и страничните листи на АКФ е значително по-ниско от това на М-последователностите. Балансът на нулите и единиците на синтезираните ансамбли е илюстриран в таблица 1. В редовете max са дадени стойностите на максималния дебаланс, взет по абсолютна стойност, а в редовете std - средноквадратичното отклонение на дебаланса на нулите и единиците. Известно е, че М-последователностите са балансирани, като броят на единиците е по-голям с единица от броя на нулите. В това отношение синтезираните ансамбли отстъпват.

Таблица 1.

| N   | M→  | 3 | 4    | 5    | 6    | 8    | 9 | 12   | 15   | 16  | 18  |
|-----|-----|---|------|------|------|------|---|------|------|-----|-----|
| 64  | max | 2 | 2    | 2    | 4    |      |   |      |      |     |     |
|     | std | 0 | 1.91 | 1.09 | 1.03 |      |   |      |      |     |     |
| 128 | max |   |      |      |      |      | 6 | 8    | 8    |     | 10  |
|     | std |   |      |      |      |      | 4 | 4.98 | 5.43 |     | 5.3 |
| 256 | max |   |      |      |      | 6    |   | 8    |      | 10  |     |
|     | std |   |      |      |      | 5.23 |   | 5.68 |      | 3.6 |     |

## V. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предложеният метод позволява синтезирането на последователности с произволна дължина, ограничена от паметта на компютъра. Алгоритъмът позволява създаването на ансамбли с корелационни свойства, по-добри от тези на М-последователностите. Важно предимство на алгоритъма е изчислителната ефективност в сравнение с методите за пълна комбинаторна проверка.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Р. К. Диксон, "Широкополосные системы", М.: "Связь", 1979.
2. A. M. Kerdock, R. Mayer and D. Bass, "Longest Binary Pulse Compression Codes with Given Peak Sidelobe Levels", *Proceedings of the IEEE*, vol. 74, 1986.
3. K. S. Tang, K. F. Man, S. Kwong and Q. He, "Genetic algorithms and their Applications", *IEEE Signal processing magazine*, vol. 13, No. 6, pp. 22-37, Nov. 1996.
4. Foundations of Genetic Algorithms 2, Edited by L. Darel Whitley, *Morgan Kaufmann Publishers, San Mateo, CA*, 1993.