

УДК 621.396.677.31

## АЛГОРИТМ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ФАЗИРОВАННЫХ АНТЕННЫХ РЕШЕТОК ДЛЯ СПУТНИКОВЫХ СИСТЕМ СВЯЗИ

Р. Ю. ЧИРИКОВ<sup>1</sup>, Р. РОССА<sup>2</sup>, В. Х. БАГМАНОВ<sup>3</sup>, А. Х. СУЛТАНОВ<sup>4</sup>

<sup>1,3,4</sup>tk@ugatu.ac.ru, <sup>2</sup>paolo.rocca@disi.unitn.it

<sup>1,3,4</sup> ФГБОУ ВПО «Уфимский государственный авиационный технический университет» (УГАТУ)  
<sup>2</sup> University of Trento (UNITN)

Поступила в редакцию 13.06.2013

**Аннотация.** Рассматривается проблема подавления интерференционных максимумов в диаграмме направленности фазированных антенных решеток, применяемых для спутниковых систем связи. Для подавления боковых лепестков применяется разбиение антенной решетки на подрешетки неправильной формы. В целях оптимизации структуры решетки был разработан и применен специальный алгоритм «снежный ком». В результате алгоритм составляет антенные решетки, оптимизированные для конкретной ширины полосы спектра. Представлены несколько примеров, которые сравниваются с текущими достижениями в данной области.

**Ключевые слова:** фазированные антенные решетки; диаграмма направленности; генетический алгоритм.

Фазированные антенные решетки (ФАР) находят свое применение во многих областях, таких как наземная и спутниковая радиосвязь и радиолокация [1]. Во многих случаях для соответствия высоким требованиям к излучательным свойствам необходимы сложные структуры антенных решеток с большими апертурами и большим количеством управляющих устройств (аттенуаторов, фазовращателей и линий задержки). Потребность в линиях задержки обусловлена неспособностью фазовращателей компенсировать сдвиг по фазе больше, чем на  $2\pi$ , который возникает с ростом размеров решетки. Это неизбежно ведет к увеличению массогабаритных показателей и стоимости классических решений, основанных на ФАР, делая их непригодными для ряда случаев. В данном контексте объединение отдельных элементов решетки в подрешетки и использование управляющих устройств на уровне подрешеток является одним из наиболее эффективных решений. Подрешетки и элементы внутри них могут располагаться в узлах равномерной и неравномерной сеток (неэквидистантные решетки). Форма подрешеток может быть прямоугольной или

неправильной. Таким образом, подходы к разбиению антенной решетки на подрешетки могут быть разделены на четыре кластера. Первый кластер представляет самый простой случай, когда прямоугольные подрешетки располагаются на равномерной сетке. Другими словами, ФАР разбивается на одинаковые прямоугольные группы из нескольких излучателей. Несмотря на то, что в данном случае поверхность антенной решетки заполнена максимально эффективно, соответствующая диаграмма направленности характеризуется интерференционными максимумами (ИМ) ввиду периодичности структуры [2]. Остальные три кластера подходов фокусируются на нарушении этой периодичности. Во втором кластере прямоугольные решетки располагаются на неравномерной сетке, что приводит к небольшим относительным сдвигам и/или вращениям. Такое решение остается простым с точки зрения производственного процесса, но достигаемое подавление боковых лепестков невелико [3]. Третий кластер представлен подрешетками неправильной формы, которые аperiodично заполняют апертуру ФАР [4, 5]. Здесь одновременно используются подрешетки более чем одной неправильной формы, которые располагаются аperiodично. Результаты, полу-

чаемые при таком подходе, являются значительными, благодаря высокой степени неупорядоченности структуры (а также учитывая произвольное расположение элементов внутри подрешетки) [6, 7]. Однако структуры ФАР получаются очень сложными, с большим количеством элементов, что приводит к удорожанию производства и увеличению массы антенн. Таким образом, четвертый кластер подходов – применение подрешеток неправильной формы, размещенных на равномерной сетке – был принят для подавления интерференционных максимумов в множителе решетки [2]. Такой подход обеспечивает хорошее подавление боковых лепестков, сохраняя реализуемую структуру с точки зрения массового производства. Имея одну неправильную форму подрешетки, можно сперва произвести их, а потом построить из них всю решетку, просто вращая форму. При этом применяемая в системах связи круговая поляризация не пострадает. Вопрос, который при этом возникает – как получить такую структуру, чтобы она отвечала конкретным требованиям. Другими словами, требуется оптимизировать структуру из подрешеток. Проблема заполнения решеток большого размера подрешетками неправильной формы сводится к отысканию расположения подрешеток с минимизацией числа дырок (т. е. незаполненных участков), которые снижают коэффициент усиления антенны, и избеганием периодичности в размещении подрешеток для уменьшения количества и уровня ИМ [8]. В данной работе предлагается инновационная стратегия, основанная и развивающая подход, предложенный в [2], по снижению количества линий задержки в широкополосных системах радиосвязи. В отличие от [2], где применялся трудоемкий перечислительный принцип, в работе внедрен специализированный подход, основанный на генетическом алгоритме (ГА) [9], для оптимизации структуры решетки. Для заданной формы подрешетки в виде полиоминно [2] заполнение апертуры происходит по методике круговой расстановки, разработанной для заполнения прямоугольных областей полиоминно неправильной формы [10]. Соответственно, нет необходимости кодировать позиции решеток в ГА, а только их ориентацию, таким образом снижая количество неизвестных и позволяя синтезировать большие антенные решетки [11]. Это дает возможность точнее контролировать процесс расстановки одновременно с существенной экономией памяти компьютера и работой с большими размерами решеток.

## МАТЕМАТИЧЕСКАЯ ФОРМУЛИРОВКА

В данной работе мы рассматриваем плоскую решетку размером  $M \times N$  элементов на плоскости  $x-y$  с межэлементными расстояниями  $dx$  и  $dy$  вдоль осей  $x$  и  $y$ . Апертура заполняется подрешетками, состоящими из  $q$  элементов, максимальное число подрешеток, которое можно использовать при заполнении  $Q = M \times N / q$ . Набор  $\underline{S}$  из  $Q$  или меньше полиоминно с определенными расположениями и ориентациями представляет собой конкретную структуру антенной решетки или, другими словами, одно из возможных решений. Оптимальное решение  $\underline{S}_{\text{opt}}$  в нашем случае такое, которое хорошо заполняет апертуру и имеет низкий уровень боковых лепестков в диаграмме направленности. В зависимости от размеров решетки количество возможных решений растет экспоненциально. Например, решетка размером  $30 \times 30$ , заполняемая подрешетками, состоящими из 3 элементов, имеет порядка  $2^{600}$  возможных вариантов заполнения. Итеративный подход опробации всех возможных решений непригоден. В данной работе предлагается алгоритм «снежный ком» (АСК) для поиска оптимального решения для заданного размера решетки, формы полиоминно и других условий.

### АЛГОРИТМ «СНЕЖНЫЙ КОМ»

Генетический алгоритм работает с хромосомами в процессе поиска оптимального решения, конечный результат также представлен хромосомой. *Хромосомой*  $\vec{x}$  называется вектор двоичных чисел. Оценка качества решения осуществляется вычислением его значения  $C$  целевой функции. Для того чтобы вычислить значение целевой функции, решение в виде хромосомы должно в первую очередь быть декодировано. В нашем случае каждое решение есть конкретная структура антенной решетки, заполненной заданной неправильной формой полиоминно. Таким образом, стоит задача трансформировать вектор двоичных чисел в структуру решетки. Метод декодирования и целевая функция (ЦФ) являются двумя главными составляющими алгоритма «снежный ком». Далее в статье описывается предложенный метод декодирования и соответствующая целевая функция.

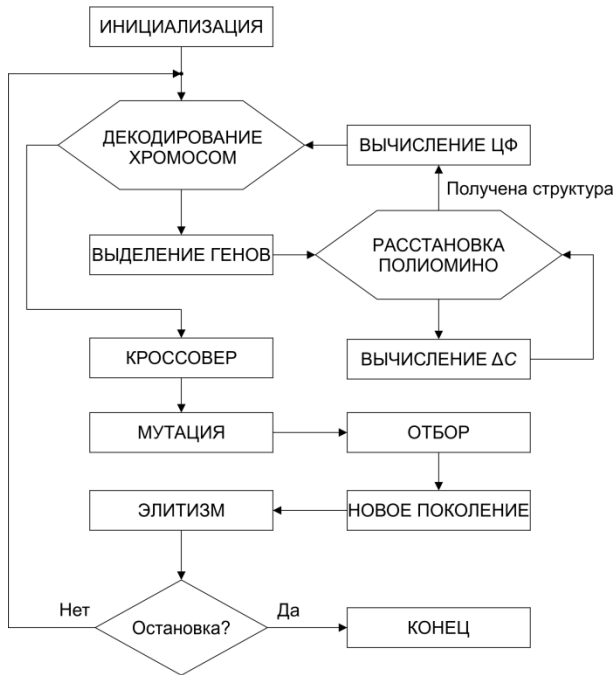


Рис. 1. Блок-схема алгоритма «снежный ком»

**Метод декодирования.** Применяемый метод декодирования похож на предложенный Гви и Лимом [10]. Основной новизной их метода является методика круговой расстановки. Они полагают, что любая заполненная структура может быть представлена набором ориентаций полиомино  $\vec{S} = \{\mu_1, \mu_2, \dots, \mu_Q\}$ , которые затем размещаются по определенному правилу. Мы используем то же предположение. На плоской прямоугольной сетке существуют четыре возможных ориентации полиомино. Полиомино также могут быть перевернуты. Таким образом, асимметричное полиомино может иметь  $N_\mu = 8$  ориентаций. Симметричное полиомино будет иметь четыре ориентации, повторяющиеся дважды. На кодирование  $N_\mu$  ориентаций выделяется  $L_g = \log_2 N_\mu = 3$  бита. Алгоритм размещения полиомино может быть описан в три шага. Соответствующая блок-схема представлена на рис. 1. Рассмотрим хромосому длины  $L = L_g \times Q$ :  $\vec{x} = 100, 001, 011, 111, 010, \dots$

• Шаг 1 – извлечение генов. Предполагается, что хромосома есть конкатенация ориентаций в двоичной нотации. Требуется извлечь части хромосомы (гены), отвечающие за каждое полиомино. Хромосома разбивается на блоки по  $L_g$  бит, которые затем переводятся в ориентации  $\mu_i$ . В результате получается вектор ориентаций по одной на каждое полиомино

$\mu = \{4, 1, 3, 7, 2, \dots\}$ . На рис. 2 показаны восемь ориентаций октомино L-формы.

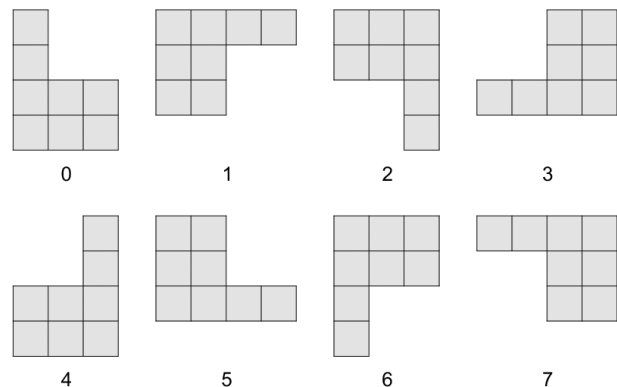


Рис. 2. Ориентации октомино L-формы

• Шаг 2 – установка первого полиомино. Первое полиомино ставится в центр апертуры. Координаты центра первого полиомино в случае решетки размером  $M \times N$  определяются как:

$$X_c = \left\lfloor \frac{M}{2} \right\rfloor;$$

$$Y_c = \left\lfloor \frac{N}{2} \right\rfloor.$$

• Шаг 3 – расстановка остальных полиомино. Остальные полиомино расставляются вплотную к первому и выбирается позиция в зависимости от прироста целевой функции (разницы значений целевой функции до расстановки очередного полиомино и после). Каждое полиомино проверяется на всех местах (точнее, центр полиомино размещается во всех возможных местах) в особом порядке (рис. 3). Этот порядок основан на правиле, согласно которому приоритет при заполнении отдается центральной части решетки. Если позиция подходящая, вычисляется прирост целевой функции. Подходящая позиция означает, что полиомино не пересекает границы решетки и не накладывается на уже размещенные полиомино.

Для лучшего заполнения приграничных областей вводятся поля шириной  $B = 2$  элемента вокруг решетки (рис. 3). Размеры решетки становятся  $M' = (M + 2B)$ ,  $N' = (N + 2B)$ . После заполнения все элементы, находящиеся за границей, удаляются. Полиомино располагается в позиции с наибольшим приростом целевой функции. Пример хромосомы  $\vec{x}$  превратится в структуру, изображенную на рис. 4.

**Целевая функция.** Для АСК мы используем целевую функцию похожую на ту, что предложена Гви и Лимом с одним отличием. Так как

полиомиино могут пересекать первоначальную границу решетки, нет необходимости учитывать число пограничных сторон элементов. Для решения  $\vec{x}$  целевая функция представляется в виде:

$$C(\vec{x}) = \psi_\alpha \frac{\alpha(\vec{x})}{\alpha_{\max}} + \psi_\omega \frac{\omega(\vec{x})}{\omega_{\max}},$$

где  $\alpha$  – число успешно размещенных полиомиино,  $\alpha_{\max}$  – максимальное число полиомиино, которое может поместиться в решетке,  $\omega$  – число общих сторон между полиомиино,  $\omega_{\max}$  – максимальное число общих сторон между полиомиино,  $\psi_\alpha, \psi_\omega$  – соответствующие весовые коэффициенты.

Значения весовых коэффициентов выбраны в соответствии с рекомендациями Гви и Лима:  $\psi_\alpha = 0,33, \psi_\omega = 0,67$ .

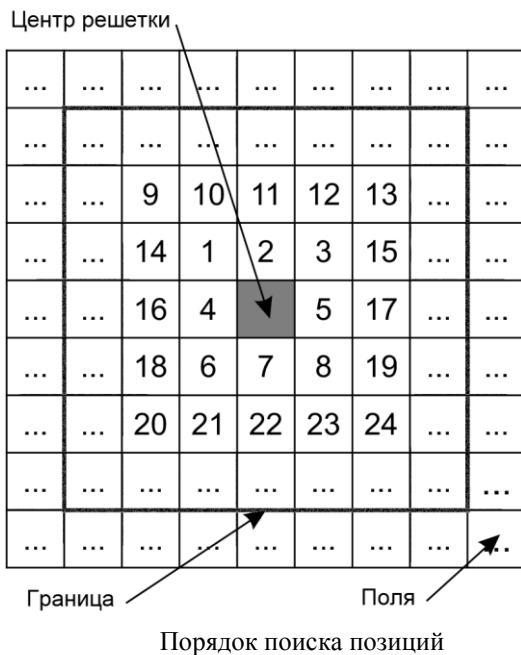


Рис. 3.

В случае прямой оптимизации уровня боковых лепестков (УБЛ) применяется модифицированная версия:

$$C(\vec{x}) = \psi_\alpha \frac{\alpha(\vec{x})}{\alpha_{\max}} + \psi_\omega \frac{\omega(\vec{x})}{\omega_{\max}} + \psi_{SLL} SLL_n(\vec{x}). \quad (1)$$

В (1)  $SLL_n(\vec{x})$  представляет нормированное значение УБЛ для решения  $\vec{x}$  в соответствии с ожидаемыми максимальным и минимальным значениями:

$$SLL_n(\vec{x}) = \frac{|SLL(\vec{x})| + SLL_{\max}}{SLL_{\max} - SLL_{\min}};$$

$$SLL_n(\vec{x}) \in [0, 1].$$

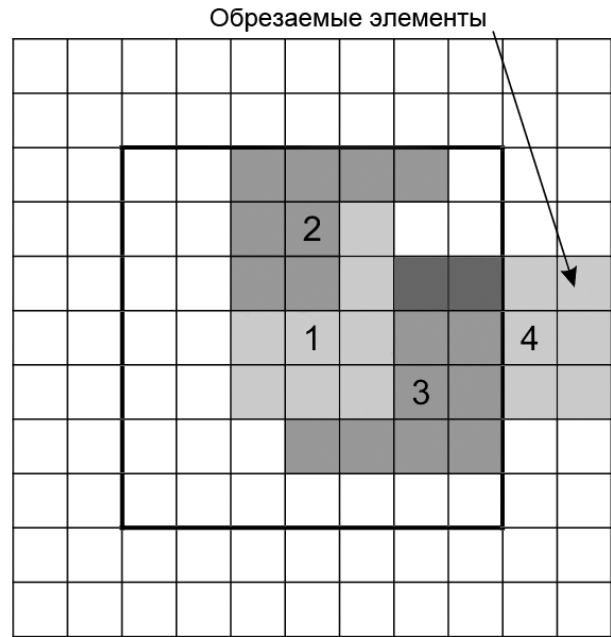


Рис. 4. Пример расстановки полиомиино

$SLL_n(\vec{x})$  получается в результате симуляции. Минимальный и максимальный УБЛ определены как  $SLL_{\min} = -30$  дБ,  $SLL_{\max} = -15$  дБ.  $SLL_{\min}$ , собственно, представляет желанный УБЛ, в то время как  $SLL_{\max}$  – худшее ожидаемое значение. Данный диапазон должен быть достаточно широким, чтобы  $SLL_n$  находилось между 0 и 1. Однако, чем уже будет диапазон, тем чувствительнее будет целевая функция. Весовые коэффициенты в (1) равны  $\psi_\alpha = 0,17, \psi_\omega = 0,33, \psi_{SLL} = 0,5$ .  $\psi_\alpha$  и  $\psi_\omega$  пропорционально уменьшены, чтобы отдать приоритет оптимизации УБЛ.

В данной работе рассматривается архитектура антенной решетки, схематично изображенная на рис. 5.

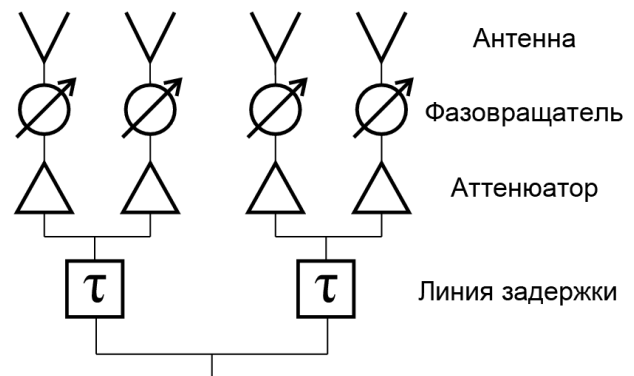


Рис. 5. Архитектура элементов решетки

Линии задержки вынесены на уровень подрешеток, в то время как усилители и фазовращатели остаются на уровне отдельных излуча-

телей. Соответственно, множитель решетки может быть выражен, как:

$$AF(\Theta, \varphi) = \sum_{m=1}^Q e^{jk(b_{xm}u_0 + b_{ym}v_0)} \sum_{n=1}^q I_{mn} e^{jk(d_x \rho_{xm}^{lm} u_0 + d_y \rho_{ym}^{lm} v_0)},$$

где  $b_{xm}, b_{ym}$  – координаты центра  $m$ -й подрешетки на плоскости  $x$ - $y$ ,  $u_0 = \sin\Theta \cos\varphi$ ,  $v_0 = \sin\Theta \sin\varphi$ ,  $I_{mn}$  – ток возбуждения элемента внутри подрешетки,  $\rho_{xm}^{lm}$  и  $\rho_{ym}^{lm}$  – смещения  $n$ -го элемента внутри  $m$ -й подрешетки относительно центра.

### ЧИСЛЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

В этой части представлены результаты, которые были получены реализацией АСК. Сравняются решетки, полученные при помощи АСК и алгоритма Гви–Лима (АГЛ) как с оптимизацией УБЛ, так и без нее. В конце продемонстрированы преимущества данного подхода по сравнению с современными достижениями в области.

**Сравнение АГЛ и АСК.** Для оценки качества работы АСК и выявления его преимуществ по сравнению с АГЛ мы реализовали оба алгоритма и протестировали их на различных параметрах. Полученные решетки имеют размер  $M = N = 32$  элемента с межэлементным расстоянием  $dx = dy = 0,5\lambda$ , с направлением сканирования  $u_0 = v_0 = 0,5$  и оптимизированы для ширины полосы частот  $r = f/f_0 = 1,3$  (1,86:1). Длина

волны  $\lambda$  относится к верхней частоте  $\lambda = 1/f_{\max}$ .

Параметры ГА для АГЛ:  $p_c = 0,9$ ,  $p_m = 0,3$ ,  $p_{bm} = 0,01$ ; для АСК:  $p_c = 0,65$ ,  $p_m = 0,2$ ,  $p_{bm} = 0,005$ . Эти параметры были получены в процессе калибровки. Для обоих алгоритмов размер популяции  $P = 8$  и число итераций  $K = 50$ .

Первая пара экспериментов использует троино L-формы с  $q = 3$  элементами. Малый размер подрешеток и их простая форма позволяют эффективно покрыть апертуру ФАР, обеспечивая, также, высокую неоднородность. Основные данные эксперимента собраны в табл. 1. Эти структуры обеспечивают значительное подавление боковых лепестков даже без прямой оптимизации.

В следующем эксперименте мы добавили оптимизацию УБЛ для полосы  $r = 1,3$ . Из соответствующих выходных данных (табл. 2) видно, что применение прямой оптимизации УБЛ привело к дополнительному подавлению боковых

лепестков и достигло уровня  $-29,1$  дБ в случае АСК.

Следующие два эксперимента работают с октомино L-формы ( $q = 8$ ). Большой размер и специфичная «L» форма производят больше дырок, особенно в случае алгоритма Гви–Лима. В данном случае оптимизация не применялась. Основные выходные данные сведены в табл. 3. Уровень боковых лепестков вырос по сравнению с экспериментами с троино из-за размера подрешеток.

Таблица 1

Данные первого эксперимента

Параметр	АГЛ	АСК
Число полиомино	324	362
Значение ЦФ	0,91	0,81
Число дырок	52	0
Заполненность решетки, %	95	100
УБЛ (при $r = 1,3$ ), дБ	-26,32	-26,88
Время работы, с	3	11

Таблица 2

Данные второго эксперимента

Параметр	АГЛ	АСК
Число полиомино	323	362
Значение ЦФ	0,84	0,87
Число дырок	55	1
Заполненность решетки, %	94,6	99,9
УБЛ (при $r = 1,3$ ), дБ	-27,11	-29,1
Время работы, с	70	240

Таблица 3

Данные третьего эксперимента

Параметр	АГЛ	АСК
Число полиомино	113	147
Значение ЦФ	0,86	0,84
Число дырок	120	12
Заполненность решетки, %	88,3	98,8
УБЛ (при $r = 1,3$ ), дБ	-21,18	-20,33
Время работы, с	4	15

Мы заполнили апертуру октомино L-формы с оптимизацией УБЛ. Оптимизация производилась для полосы  $r = 1,3$ . Данные представлены в табл. 4. Оптимизация УБЛ значительно не повлияла на структуру АГЛ (подавление на 1 дБ) но улучшила результат АСК на 5 дБ до уровня  $-25,29$  дБ. Следует заметить, что все эксперименты доказывают, что АСК способен более эффективно заполнять апертуру, что косвенно увеличивает направленность решетки.

Таблица 4  
Данные четвертого эксперимента

Параметр	АГЛ	АСК
Число полимино	105	146
Значение ЦФ	0,6	0,74
Число дырок	184	23
Заполненность решетки, %	82	97,8
УБЛ (при $r = 1,3$ ), дБ	-22,25	-25,29
Время работы, с	90	400

Рис. 6 сравнивает уровень боковых лепестков решеток, полученных при помощи АГЛ и АСК с оптимизацией УБЛ для полос ( $r = 1,3$  и  $r = 1,82$ ) и симуляцией на каждой из них. Алгоритм снежного кома демонстрирует лучшее подавление боковых лепестков, благодаря большому количеству излучателей в решетке. Видно, что почти всегда АСК дает лучшие результаты, чем АГЛ.

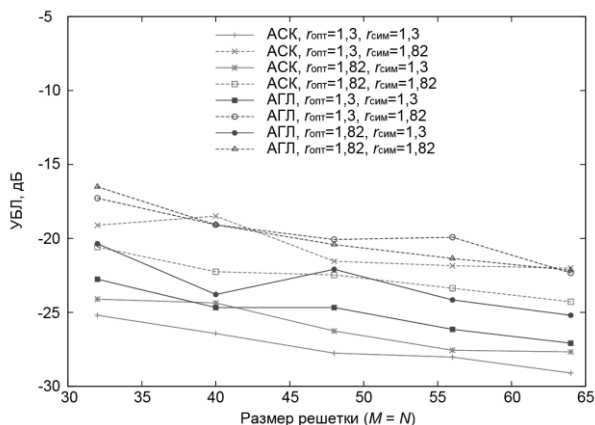


Рис. 6. Сравнение УБЛ у АСК и АГЛ

**Сравнение с современными достижениями в науке.** После сравнения АСК и АГЛ интересно сравнить излучательные характеристики полученных решеток с имеющимися в литературе [2]. Мы провели симуляции для квадратных решеток разного размера для того, чтобы сравнить УБЛ и направленность для двух полос частот. Использовались следующие параметры: размер решетки  $M = N = \{32, 40, 48, 56, 64\}$ , межэлементное расстояние  $dx = dy = 0,5\lambda$ , направление луча  $u_0 = v_0 = 0,5$ , полоса оптимизации  $r = \{1,3, 1,82\}$ , распределение амплитуд по Тэйлору с перепадом 40 дБ. Параметры ГА те же, какие были получены в процессе калибровки: вероятность кроссовера  $p_c = 0,65$ , вероятность мутации  $p_m = 0,2$ , вероятность мутации бита  $p_{bm} = 0,005$ .

Рис. 7 показывает зависимость УБЛ и направленности от размеров решетки с оптимизацией на  $r = 1,3$ , а рис. 8 отражает ту же зависимость для решеток, оптимизированных для  $r = 1,82$ .

Как можно видеть, решетки, полученные с помощью АСК с оптимизацией УБЛ на  $r = 1,3$  демонстрируют лучшее подавление боковых лепестков на 4 дБ для решеток размером от 32 до 48 элементов и на 3 дБ для размеров 56 и 64 элемента на каждой стороне для оптимизированной полосы частот. Те же решетки на полосе  $r = 1,82$  также демонстрируют лучшее подавление УБЛ, чем [2], хотя разница меньше. Что касается направленности, она практически такая же и лишь на 1 дБ меньше у решетки  $56 \times 56$  на полосе  $r = 1,82$ . Когда решетки оптимизировались для  $r = 1,82$ , улучшения в УБЛ были 4 дБ во всех случаях и 5 дБ в случае  $40 \times 40$  для оптимизированной полосы частот. На  $r = 1,3$  подавление УБЛ опять лучше, чем у [2] на 2–2,5 дБ. Потери в направленности в 1 дБ проявляются у решетки  $48 \times 48$  на  $r = 1,82$ .

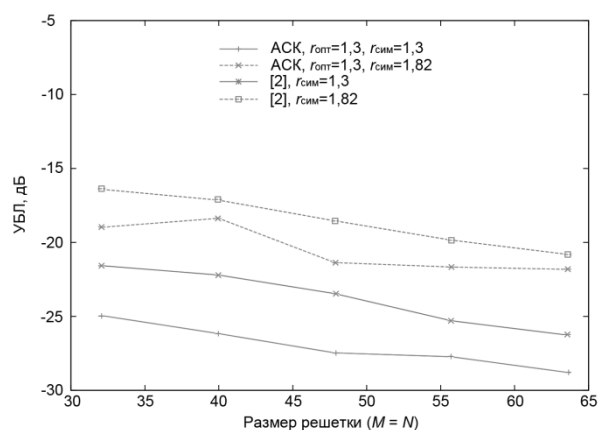


Рис. 7. УБЛ решеток, оптимизированных для  $r = 1,3$  в сравнении с [2]

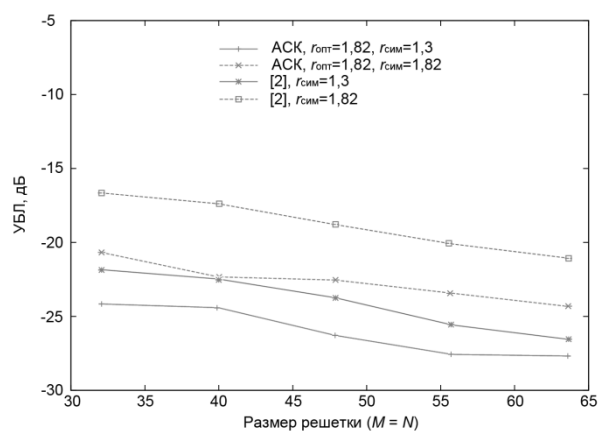


Рис. 8. УБЛ решеток, оптимизированных для  $r = 1,82$  в сравнении с [2]

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной работе представлен новый подход к проблеме подавления боковых лепестков. Подрешетки неправильной формы применяются как фундаментальный метод для нарушения периодичности структуры ФАР. Проблема отыскания оптимальной структуры решается применением генетического алгоритма. ГА совместно со специальной методикой размещения подрешеток и целевой функцией с прямой оптимизацией уровня боковых лепестков представляют новый алгоритм для оптимизации структур антенных решеток, составленных из подрешеток неправильной формы, который получил название алгоритм снежного кома. Стратегия заполнения АСК похожа на алгоритм, предложенный Гви и Лимом. Основное отличие заключается в заполнении решетки, начиная с центра, а не с углов. Это улучшает заполнение апертуры, что ведет к увеличению коэффициента направленного действия решетки. Результаты, полученные при реализации описанного алгоритма, показывают его эффективность в заполнении апертуры подрешетками разных форм. Прямая оптимизация УБЛ доказала способность подавлять нежелательное излучение до 5 дБ по сравнению с уровнем без оптимизации.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Mailloux R. J. *Phased Array Antenna Handbook*, 2nd ed. Norwood, MA: Artech House, 2005. 496 p.
2. Mailloux R. J., et al. Irregular polyomino-shaped subarrays for space-based active arrays // *International Journal on Antennas and Propagation*. 2009. 9 p.
3. Krivosheev Y. V., Shishlov A. V. Grating lobe suppression in phased arrays composed of identical or similar subarrays // 2010 IEEE International Symposium on Phased Array Systems and Technology (ARRAY). 2010. P. 724–730.
4. Spence T. G., Werner D. H. Design of broadband planar arrays based on the optimization of aperiodic tilings // *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*. 2008. P. 76–86.
5. Viganó M. C., et al. Sunflower Array Antenna with Adjustable Density Taper // *International Journal on Antennas and Propagation*. 2009. 10 p.
6. Morabito A. F., et al. Direct radiating arrays for satellite communications via aperiodic tilings // *Progress in Electromagnetics Research*. 2009. P. 107–124.
7. Piero V., et al. Radiation properties of planar antenna arrays based on certain categories of aperiodic tilings // *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*. 2005. P. 635–644.
8. Haupt R. L. *Antenna Arrays: A Computational Approach*. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons, 2010. 534 p.
9. Chirikov R., Rocca P. Genetic algorithm for advanced clustering in phased array design // *Proceedings of 13th International Workshop on Computer Science and Information Technology (CSIT'2011)*. 2011. P. 32–34.

10. Gwee B. H., Lim M. H. Polynominoes tiling by a genetic algorithm // *Computational Optimization and Applications Journal*. 1996. P. 273–291.

11. Rocca P., Chirikov R., Mailloux R. J. Polyomino Subarraying Through Genetic Algorithms // 2012 IEEE International Symposium on Antennas and Propagation. 2012. 2 p.

## ОБ АВТОРАХ

**Чириков Роман Юрьевич**, асп. каф. телекоммуникац. систем. Дипл. инж. по многоканал. телекоммуникац. системам (УГАТУ, 2010). Иссл. в обл. беспроводных сист. связи.

**Rocca Paolo**, доц. каф. инфотехники и информатики. Магистр телекоммуникаций (Тренто, 2005). PhD по телекоммуникациям (Тренто, 2008). Иссл. в обл. электромагнетизма.

**Багманов Валерий Хусаинович**, проф. каф. телекоммуникац. систем. Дипл. физик (МГУ, 1975). Д-р техн. наук по системн. анализу, управлению и обработке информации (УГАТУ, 2007). Иссл. в обл. мат. моделирования и обработки сигналов.

**Султанов Альберт Ханович**, проф., зав. той же каф. Дипл. инж. по многоканальн. электросвязи (Новосибирск. электротехн. ин-т, 1973). Д-р техн. наук по упр. в техн. системах (УГАТУ, 1996). Иссл. в обл. телекоммуникац. систем, аэрокосмическ. систем, оптоэлектроники.

## METADATA

**Title:** Phased antenna design algorithm for satellite communications.

**Authors:** R. Y. Chirikov<sup>1</sup>, P. Rocca<sup>2</sup>, V. Kh. Bagmanov<sup>1</sup>, A. Kh. Sultanov<sup>1</sup>

**Affiliation:**

<sup>1</sup> Ufa State Aviation Technical University (UGATU), Russia.

<sup>2</sup> University of Trento (UNITN), Italy.

**Email:** <sup>1</sup>tk@ugatu.ac.ru, <sup>2</sup>paolo.rocca@disi.unitn.it

**Language:** Russian.

**Source:** Vestnik UGATU (scientific journal of Ufa State Aviation Technical University), vol. 17, no. 4 (57), pp. 159-166, 2013. ISSN 2225-2789 (Online), ISSN 1992-6502 (Print).

**Abstract:** In this work the problem of grating lobes suppression in radiation pattern of phased antenna arrays used for satellite communications is considered. For the suppression of the sidelobe level, irregular subarraying of the array is applied. For the optimization of the array structure an algorithm called "snowball" has been developed and implemented. As a result, the algorithm builds antenna arrays optimized for particular bandwidth. Several examples are shown in the work and compared to the state of the art.

**Key words:** phased antenna arrays; radiation pattern; genetic algorithm.

## References (English transliteration):

1. R. J. Mailloux, *Phased Array Antenna Handbook*, 2nd ed. Norwood, MA: Artech House, 2005.
2. R. J. Mailloux et al., "Irregular polyomino-shaped subarrays for space-based active arrays," in *Proc. Int. J. Antennas and Propagation*, 2009.
3. Y. V. Krivosheev and A. V. Shishlov, "Grating lobe suppression in phased arrays composed of identical or similar

- subarrays," *2010 IEEE Int. Symp. Phased Array Systems and Technology (ARRAY)*, pp. 724-730, 2010.
4. T. G. Spence, D. H. Werner, "Design of broadband planar arrays based on the optimization of aperiodic tilings," *IEEE Trans. Antennas and Propagation*, pp. 76-86, 2008.
  5. M. C. Viganó *et al.*, "Sunflower array antenna with adjustable density taper," *Int. J. Antennas and Propagation*, 2009.
  6. A. F. Morabito *et al.*, "Direct radiating arrays for satellite communications via aperiodic tilings," *Progress in Electromagnetics Research*, pp. 107-124, 2009.
  7. Pierro V. *et al.*, "Radiation properties of planar antenna arrays based on certain categories of aperiodic tilings," *IEEE Trans. Antennas and Propagation*, pp. 635-644, 2005.
  8. R. L. Haupt, *Antenna Arrays: A Computational Approach*. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons, 2010.
  9. R. Chirikov and P. Rocca, "Genetic algorithm for advanced clustering in phased array design," in *Proc. 13th Int. Workshop on Computer Science and Information Technology (CSIT'2011)*, pp. 32-34, 2011.
  10. B. H. Gwee and M. H. Lim, "Polynominoes tiling by a genetic algorithm," *Computational Optimization and Applications Journal*, pp. 273-291, 1996.
  11. P. Rocca, R. Chirikov, and R. J. Mailloux, "Polyomino subarraying through genetic algorithms," in *Proc. 2012 IEEE Int. Symp. Antennas and Propagation*, 2012.

**About authors:**

**Chirikov, Roman Yurievich**, Postgrad. (PhD) Student, Dept. of Telecommunication Systems. Dipl. Engineer (UGATU, 2010).

**Rocca, Paolo**, Assistant Prof., Dept. of Information Tech. and Comp. Science. Master of Science (UNITN, 2005). Dr. of Philosophy (UNITN, 2008).

**Bagmanov, Valeriy Khusainovich**, Prof., Dept. of Telecommunication Systems. Dipl. Physicist (Moscow State Univ., 1975). Dr. of Tech. Sci. (UGATU, 2007).

**Sultanov, Albert Khanovich**, Prof., Dept. of Telecommunication Systems. Dipl. Engineer (Novosibirsk Electrotech. Inst., 1973). Dr. of Tech. Sci. (UGATU, 1996).