

СИНТЕЗ АНТЕНН НА ОСНОВЕ ГЕНЕТИЧЕСКИХ АЛГОРИТМОВ

ЧАСТЬ 2*

Мы продолжаем рассказ о синтезе антенн на основе генетических алгоритмов. Эта часть статьи посвящена печатным генетическим антеннам и перспективам развития генетических алгоритмов. Отметим, что излагаемый подход может оказаться весьма актуальным в свете работ по созданию так называемых "нанорадиочипов" и разнообразных микросистем с каналом радиуправления.

ПЕЧАТНЫЕ ГЕНЕТИЧЕСКИЕ АНТЕННЫ

Недостатки ветвящихся древовидных антенн – не только сложность их оптимизации, но и трудности изготовления. Впрочем, технологические проблемы производства таких антенн легко можно решить с помощью фабберных технологий [13]. Более серьезное ограничение для данных конструкций – необходимость осторожного обращения с ними при эксплуатации. Данного недостатка лишены печатные генетические антенны, в которых оптимизации в рамках генетических алгоритмов подвергнута форма контурной линии. Простейший пример такого рода рассмотрен в работе [14] в отношении задачи синтеза двухчастотной антенны (рис.15). Следует отметить, что проект микрополосковых генетических антенн с двумя рабочими полосами частот описан в работе [15]. Однако в нем использовалась воздушная подложка, тогда как в работе [14] материал подложки – стеклотекстолит FR-4.

В своей версии генетического алгоритма авторы патента [14] использовали двумерное описание хромосомы в виде двоичной матрицы 32×32 , где металлические фрагменты были представлены единицами, а неметаллизированные области – нулями. Особенность генетического поиска заключалась в механизме двухточечной рекомбинации генома, вовлекающем три хромосомы. Его суть: произвольно выбираются три родительских хромосомы, каждая делится на три части. Полученные фрагменты смешиваются так, что формируется

триада хромосом следующего поколения (рис.16). Такая схема демонстрирует лучшую сходимость к оптимальному решению, чем одноточечный вариант (см. рис.2). Для достижения более технологичной формы печатного проводника к каждой получаемой при синтезе хромосоме применялось геометрическое фильтрование на основе двумерного медианного фильтра (рис.17).

Функция стоимости в работе [14] вычислялась как

$$L = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N [P_n + Q_n] \rightarrow \min,$$

где

$$P_n = \begin{cases} S_{11} + 10, & S_{11} \geq -10 \text{ дБ}, \\ 0, & S_{11} < -10 \text{ дБ}, \end{cases}$$

S_{11} – величина возвратных потерь (дБ) ($S_{11} = -10$ дБ эквивалентно $K_{СВН} = 2$), Q_n – полные электрические потери в металлическом сегменте (дБ), n – порядковый номер полосы частот, N – общее число рабочих частотных полос.

Поскольку программа NEC не пригодна для проектирования печатных антенн, электромагнитный анализ при расчете их характеристик был выполнен на основе интегрального уравнения электрического поля, ядром которого является периодическая функция Грина для слоистой среды. Оптимизированный проект достиг приемлемого импеданса на обеих заданных частотах (см. рис.15). Было показано, что изменением формы контура в двухполосной антенне можно добиться увеличения соотношения центральных частот между двумя полосами пропускания в пределах от 1,2 до 2.

*Начало см. Первая Миля, 2008, №6, с. 16–23.

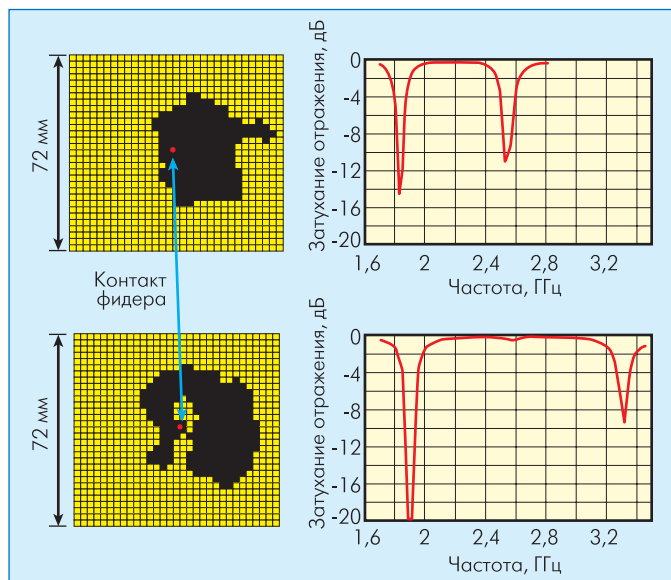


Рис. 15 Варианты печатных генетических антенн и их частотные характеристики [14]

В патенте [16] рассматривается вариант поиска формы печатного излучателя, обеспечивающий расширение полосы пропускания на одной из частот. В нем проанализированы свойства четырехполосной антенны (0,9; 1,6; 1,8 и 2,45 ГГц), синтезированной по описанной выше технологии. При этом отмечена возможность сокращения поперечных размеров печатной антенны до $\lambda/8$, что меньше габаритов F-образной планарной антенны PIFA [2]. Также в патенте [16] заявлена многополосная генетическая печатная антенна (рис.18) для частот 2,4; 5,2; 5,7 и 8,5 ГГц, при анализе которой в процессе оптимизации использовался коммерческий программный пакет QFDTD (Quick Finite Difference Time Domain).

Еще один тип печатной антенны – широкополосной антенны Bow-tie (рис.19 а) – предложен в работе [17]. В ней при поиске оптимального контура в качестве генов хромосомы использовали длину проекции сегмента контурной линии на горизонтальную ось OX (задавалась 6-разрядным числом с шагом 0,1 мм) и Y-координату точки очередного излома (начало следующего сегмента), представленную 8-разрядным числом с шагом 0,15 мм (рис.19 б). Число точек излома по контуру антенны – 12, соответственно общая длина хромосомы составила 168 бит. Параметры антенны контролировались одновременно на 35 частотах в пределах искомой полосы пропускания с помощью пакета FEKO. Синтезированная антенна обеспечивает нормированную полосу пропускания 110% с величиной возвратных потерь менее -10 дБ в диапазоне 3,1–10,6 ГГц.

ГЕНЕТИЧЕСКАЯ ОПТИМИЗАЦИЯ ИЗВЕСТНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Помимо проводных и печатных ЭМА, алгоритмы генетической оптимизации применимы также для синтеза оптимальных конструкций других электрически малых антенн. С помощью

генетических алгоритмов можно синтезировать контурные линии щелей в щелевых антеннах, обечеек раскрыва рупорных излучателей, горизонтальных пластин в антеннах PIFA [2] или прорезей в них, металлизации граней разрезных диэлектрических резонаторных антенн (ДРА). Обобщая данную методику на трехмерный случай и представив хромосомы в виде трехмерных матриц, можно формировать и всю конструкцию диэлектрических резонаторов ДРА. При их синтезе применимы мультихромосомные комбинации в виде набора двумерной и трехмерной матриц, позволяющие синтезировать разрезные ДРА с оптимальной металлизацией граней.

В частности, на борту космического аппарата Mars Odyssey, а также зонда Phoenix Mars Lander ("Феникс"), который совершил успешную посадку на Марсе 25 мая 2008 года, использовалась четырехзаходная спиральная УВЧ-антенна с габаритами примерно $10 \times 10 \times 25$ см. В работе [18] изложены результаты генетического синтеза функционально аналогичной антенны спиральной конструкции. Ее размеры составили $6 \times 6 \times 16$ см, что по объему примерно в четыре раза меньше реальной антенны. При этом удалось повысить коэффициент усиления ЭМА на границах рабочего диапазона частот (400–438 МГц) на 93 и 48%, соответственно. В процессе оптимизации варьировались высота антенны, диаметр ее основания, число витков провода, его толщина и другие параметры. Функция стоимости определялась как:

$$F = -G_L + \sum_{i=1}^N C \cdot V_i, \quad C = \begin{cases} 0,1 & (V_i \leq 3), \\ 1 & (V_i > 3), \end{cases}$$

где G_L – наименьший из коэффициентов усиления антенны во всем диапазоне частот для заданных угловых координат, V_i – КСВН для i -й частоты.

Известны примеры успешного использования генетических алгоритмов для оптимизации конструкции антенны Уда-Яги (при выборе размера и шага между вибраторами) и фазированных антенных решеток (выбор положения антенных

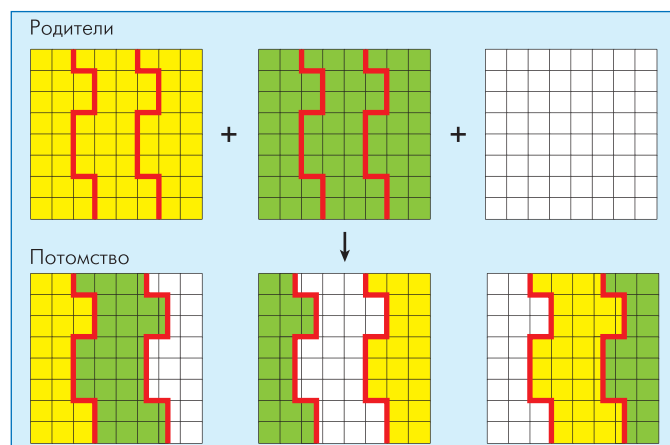


Рис. 16 Механизм двухточечной рекомбинации тройки двумерных хромосом

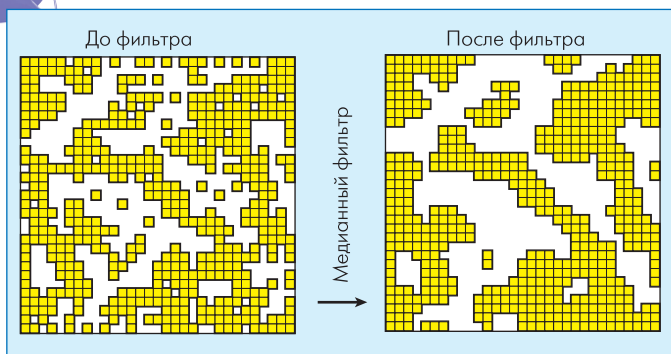


Рис. 17 Результат медианной фильтрации двумерной хромосомы [14]

элементов). Но поскольку в таких примерах генетический алгоритм применяется для оптимизации уже заданной конструктивной схемы, синтезированные антенные решения не следует относить к классу генетических антенн.

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ГЕНЕТИЧЕСКИХ АЛГОРИТМОВ

Главный недостаток известных реализаций генетических алгоритмов заключается в их упрощенном механизме, базирующемся на предположении о спонтанности мутаций и рекомбинаций генома. Неслучайно вероятность мутации и перекombинации генов – обязательный элемент исходных данных для современных алгоритмов генетической оптимизации.

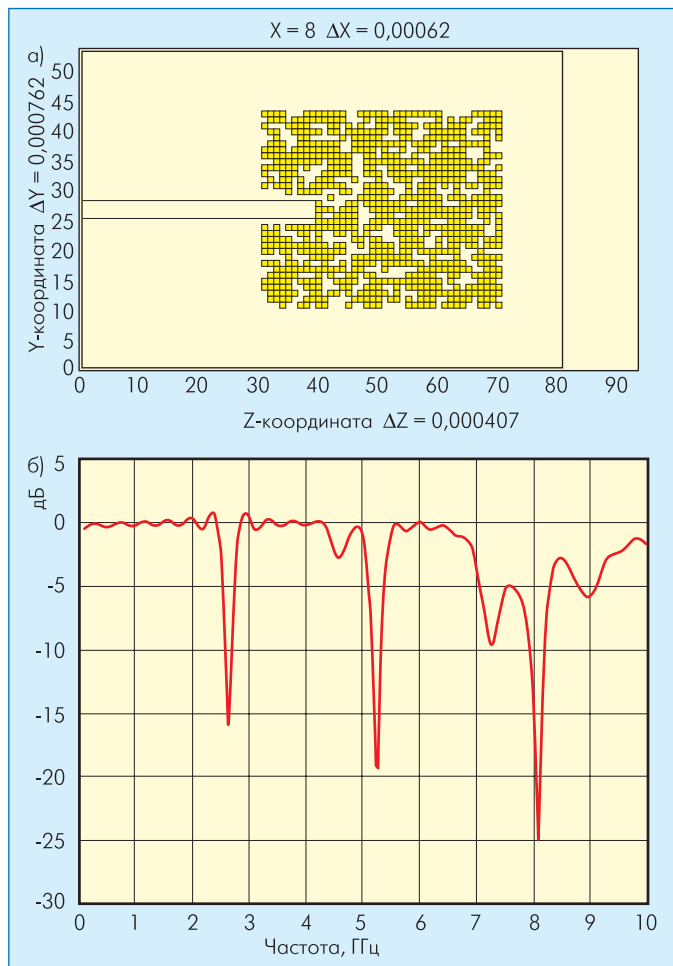


Рис. 18 Многополосная печатная генетическая антенна [16] и ее частотная характеристика

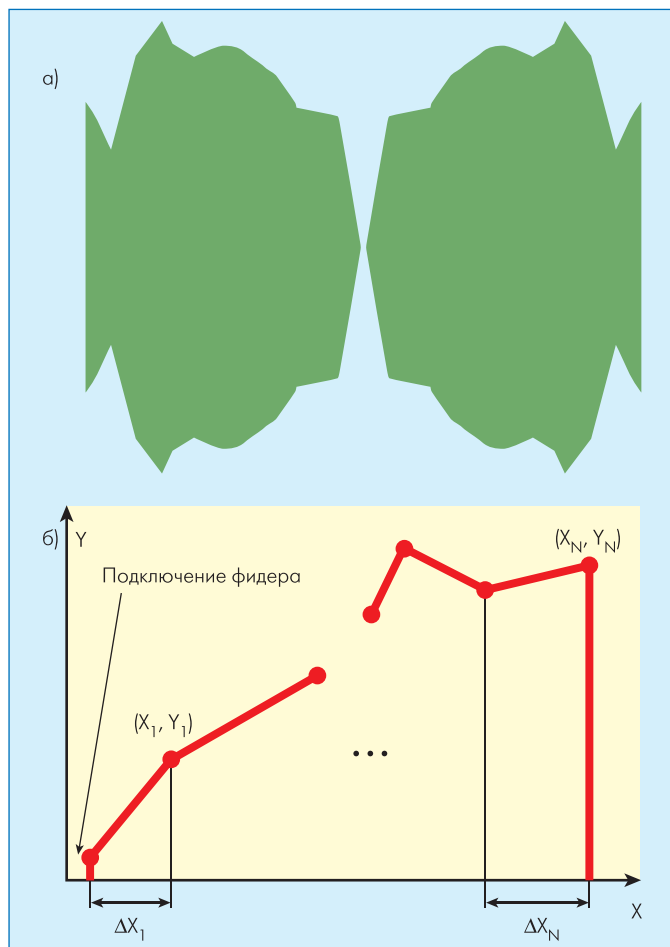


Рис. 19 Генетическая Bow-the-антенна (а) и принцип описания ее контурной линии (б)

Однако, как отмечено в работе [19], новые научные факты о природе иммуногенеза позволяют привести существенный детерминизм в процедуру генетического поиска. Например, придав собственную активность геному в процессе его изменчивости. При этом необходимо математически скопировать процесс синтеза антител в ответ на вторжение в организм антигена. Если при этом и происходит случайный поиск, то он занимает в живых организмах ничтожно малое время по сравнению с остальными, еще неизвестными механизмами, позволяющими синтезировать необходимый геном иммунных клеток всего за десятки их поколений.

На первом этапе совершенствования генетических алгоритмов особое внимание следует уделить, как минимум, их распараллеливанию, ориентируясь на многоядерную процессорную архитектуру. При этом каждое из ядер процессора должно вести поиск своего варианта оптимальной хромосомы, кооперируя этот процесс с остальными ядерными кластерами. Тем самым исключается перебор одних и тех же комбинаций генов. В частности, генетический поиск в одной группе ядер может быть направлен на минимизацию функции стоимости, а в другом ядерном кластере – на ее максимизацию. По аналогии с иммунной системой, такой двунаправленный синтез пары независимых хромосом можно сравнить с одновременным получением как антигена, характеризующего самый нежелательный исход (максимально неприемлемый

набор параметров антенны), так и антителя, отвечающего за искомый оптимальный результат. В этом случае критерий оптимальности состоит в максимизации разности значений функции стоимости, полученных на каждом шаге двумя разнонаправленными ветвями синтеза.

Совершенствование должно коснуться и более точного учета в генетических алгоритмах природного механизма "соматического гипермутационеза" [19]. Он заключается в том, что после грубого подбора необходимых фрагментов генома адаптивно включается более детальная мутация его составляющих, например, с точностью до отдельных разрядов дискретной хромосомы.

Другое важное условие развития теории генетических антенн – тесная интеграция процедур генетического поиска с пакетами моделирования антенных устройств. Это позволит значительно сократить время на расчет функций стоимости, охватив анализом как можно больше альтернативных решений за отведенный интервал времени.

Итак, можно заключить, что генетические механизмы синтеза антенных конструкций пришли в теорию антенн всерьез и надолго. Неизбежное длительное развитие данного направления запрограммировано совершенствованием наших знаний о природе генетической эволюции.

ЛИТЕРАТУРА

13. **Слюсар В.И.** Фрактальные антенны. В кн.: Вишневецкий В.М., Ляхов А.И., Портной С.Л., Шахнович И.В. "Широкополосные беспроводные сети передачи информации". – М.: Техносфера, 2005, с. 529–542.
14. US Patent Application № 20040001021 A1. Приоритет от 16 декабря 2002.
15. **J. M. Johnson and Y. Rahmat-Samii.** Genetic Algorithms and Method of Moments (GA/MOM) for the Design of Integrated Antennas. – IEEE Trans. Antennas Propagat., vol. 47, Oct. 1999, pp. 1606–1614.
16. US Patent № 6965345. Приоритет от 22 апреля 2004.
17. **Vasylenko D.O., Dubrovka F.F., Edenhofer P.** Contour Optimization of a Planar Broadband Dipole Using Genetic Algorithms. – Proceedings of the 6-th International Conference on Antenna Theory and Techniques, 17–21 September, 2007, Sevastopol, Ukraine, p. 247–249.
18. **J.D. Lohn, W.F. Kraus, D.S. Linden, J. Lohn, W. Kraus, D. Linden.** Evolutionary Optimization of a Quadrifilar Helical Antenna. – Proc. of the IEEE AP-S International Symposium and USNC/URSI National Radio Science Meeting, vol 3, June 2002, pp. 814–817. <http://ic.arc.nasa.gov/publications/pdf/0367.pdf>.
19. **Чайковский Ю.В.** Что же движет эволюцию? – Наука и жизнь, 2007, №9, с. 50–57.