

Генетический алгоритм для оптимизации размещения антенн на летательном аппарате

С. Ф. Чермошенцев, Р. Р. Гайнутдинов, И. В. Суздальцев

Казанский национальный исследовательский технический университет (КНИТУ-КАИ) им. А.Н. Туполева

Abstract. The paper the application of a genetic algorithm for determining the optimal placement of antennas on an aircraft surface is considers. The main criterion for finding the optimal location of antennas is the minimization of the influence index between the radio transmitter and the radio receiver. A technique for calculating the influence index, based on a pair assessment of the between of each radio transmitter and radio receiver is proposed. Investigations of the effectiveness of the application of the genetic algorithm for the search for the optimal location of antennas on an aircraft are discussed.

Keywords: *genetic algorithm; placement problem; antenna, aerial vehicle; electromagnetic compatibility; influence index*

I. ВВЕДЕНИЕ

Основным критерием, определяющим качество, надежность и функциональную безопасность летательных аппаратов является электромагнитная совместимость [1, 2]. Проблема исследования и обеспечения электромагнитной совместимости летательных аппаратов в настоящее время усугубляется. Так широко применяются автоматические и интеллектуальные системы управления, что привело к повышению плотности компоновки бортового оборудования в замкнутых отсеках и антенных систем на поверхности фюзеляжа. Применение элементов фюзеляжа на основе композитов явно усложняет решение проблемы электромагнитной совместимости, что обусловлено низкой электрической проводимостью данного вида материалов, эффективностью экранирования, анизотропностью и т.д [3].

Центральной задачей при разработке летательного аппарата является обеспечение электромагнитной совместимости радиоэлектронных средств при влиянии через антенны. Так на ограниченной поверхности фюзеляжа необходимо разместить, большое количество антенн, радиоприемников и передатчиков. Данной проблемой длительное время занимаются специалисты разных стран [4, 5]. Большой вклад в решение данной задачи внесли и российские ученые [6]. Так разрабатываются новые методики расчета влияния радиопередатчиков на радиоприемники чрез антенные системы. Однако вопросы автоматизации и оптимизации размещения антенн не нашли должного отражения в научно технической литературе [7, 8].

Целью данной работы является оптимизация размещения антенных систем на поверхности фюзеляжа летательного аппарата на основе анализа индекса влияния.

II. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Задача оптимизации размещения заключается в определении оптимального месторасположения антенных систем на поверхности фюзеляжа летательного аппарата. Оптимальным считается такое месторасположение антенн, при котором обеспечивается электромагнитная совместимость радиоприемников и радиопередатчиков. Так при оптимизации размещения антенных систем должны выполняться следующие условия:

- антенны должны располагаться на поверхности фюзеляжа;
- электромагнитная совместимость радиоприемников и передатчиков должна обеспечиваться.

Размещаемые антенны представлены несимметричными вибраторами и намного меньше размеров фюзеляжа. Размещение антенных систем проводится в трехмерной системе координат на поверхности фюзеляжа летательного аппарата. При этом для некоторых антенн выбираются фиксированные установочные позиции.

Обеспечение электромагнитной совместимости радиоприемников и радиопередатчиков оценивается на основе «Индекса влияния». Так применяется парная оценка электромагнитной совместимости, когда последовательно оценивается влияния каждого радиопередатчика на радиоприемник.

Математически постановка задачи сводится к следующему, имеется множество размещаемых антенн:

$$Q=(q_1, q_2, \dots, q_n);$$

где n – число размещаемых антенных систем.

Множество установочных позиций:

$$T=(\{x_1, y_1, z_1\}, \{x_2, y_2, z_2\}, \dots, \{x_n, y_n, z_n\}.);$$

где x_n, y_n, z_n – координаты установочных позиций антенны в декартовой системе координат.

Необходимо найти такое отображение $Q \rightarrow T$ с учётом ограничения:

$$\begin{aligned} x_n &= A, \\ y_n &= A, \\ 0 \leq z_n &\leq B, \end{aligned}$$

где A и B – габаритные размеры фюзеляжа летательного аппарата, обладающего формой цилиндра, при этом A – радиус фюзеляжа по оси x и y соответственно; B – длина фюзеляжа по оси z .

Критерием оптимизации является минимальное значение индекса влияния между каждым радиопередатчиком и радиоприемником:

$$F = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n k_{ij} \rightarrow \min,$$

где k_{ij} – индекс влияния между i -м радиопередатчиком на j -ым радиоприемником.

Индекс влияния, определяется следующим образом:

$$k_{ij} = P_i^{pot} - P_i^{dop}, \quad i = 1..n_{rec}, \quad j = 1..n_{tr},$$

где P_i^{pot} – уровень сигнала помехи на входе i -го приемника; P_i^{dop} – допустимый уровень чувствительности i -го приемника; n_{rec} – количество радиоприемников; n_{tr} – количество передатчиков. При положительном значении индекса влияния k_{ij} делается заключение об электромагнитной несовместимости рассматриваемой пары «передатчик-приемник», что сигнализирует о необходимости их пространственной развязки. При отрицательном значении индекса влияния рассматриваемая пара считается совместимой. Индекс влияния радиопередатчика на радиоприёмник рассчитывается в соответствии с методикой, описанной в ГОСТ [9, 10].

III. ГЕНЕТИЧЕСКИЙ АЛГОРИТМ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ

Для решения поставленной задачи в данной работе предлагается использовать генетический алгоритм [11] оптимизации, концептуальная схема которого представлена на рис. 1.

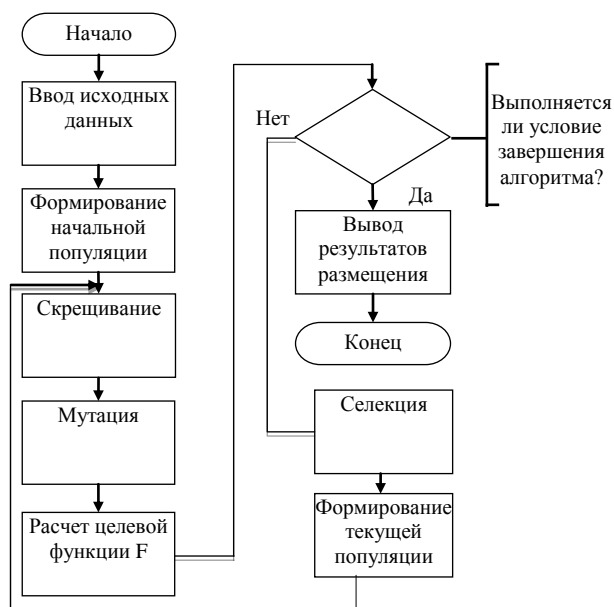


Рис. 1. Схема генетического алгоритма

Потенциальное решение задачи представляется в виде хромосомы. Локусы ($i = 1..n$; $j = 1..n$) хромосомы X соответствуют номерам размещаемых антенн, а аллели $X[i,j]$ – номерам установочных позиций на поверхности фюзеляжа.

На начальном этапе работы алгоритма происходит формирование начальной популяции особей (потенциальных решений задачи). Генам хромосом всех особей случайным образом присваиваются значения из диапазона допустимых ($1 \leq X[i,j] \leq m$, где m – количество установочных позиций). При этом, значения генов в пределах одной хромосомы особи не должны повторяться ($X[i] \neq X[j]$, $i, j = 1..n$, $i \neq j$).

Подбор родительских пар перед их скрещиванием осуществляется по принципу панмиксии (случайным образом). Для получения потомков (новых потенциальных решений), содержащих неповторяющиеся значения генов в хромосоме, применяется оператор одноточечного упорядоченного скрещивания. На последующем шаге алгоритма, выполняется оператор двухточечной мутации, реализующий обмен локусами двух, случайно выбранных, генов в хромосоме особей. Далее рассчитывается целевая функция для каждой хромосомы. Затем проверяется условие завершения алгоритма, которое соответствует минимальному значению целевой функции. Формирование следующего поколения особей происходит с использованием оператора селекции. Генетический алгоритм завершает работу, если на протяжении определенного числа последних поколений не происходит изменение значения целевой функции лучшей хромосомы в популяции.

Представленный алгоритм реализован в виде программы для ЭВМ.

IV. ИССЛЕДОВАНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ГЕНЕТИЧЕСКОГО АЛГОРИТМА

В рамках исследований эффективности алгоритма определялись зависимости скорости сходимости алгоритма и показателей качества получаемых решений от значений управляющих параметров генетического алгоритма (размерность популяции особей, вероятность скрещивания и мутации). На основе выявленных зависимостей было установлено, что наиболее эффективная работа генетического алгоритма достигается при следующих значениях управляемых параметров: размерность популяции должна быть равна не менее чем 100 особей при количестве размещаемых ЭС превышающем 5 единиц; вероятности скрещивания и мутации должны принимать значения в диапазоне от 0,7 до 1.

На рис. 2, в качестве примера, представлено размещение 5 антенн на поверхности фюзеляжа летательного аппарата, полученное с использованием разработанной программы, реализующий генетический алгоритм.

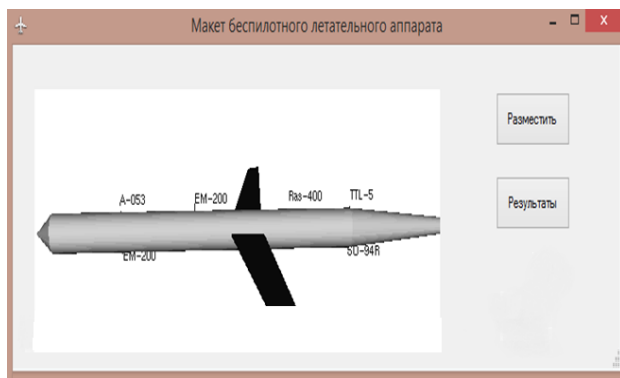


Рис. 2. Пример размещения антенн на поверхности фюзеляжа летательного аппарата

Разработанная программа также позволяет выводить текущие значения индекса влияния и после оптимизации, что делает её эффективным инструментом для разработчиков летательных аппаратов (рис. 3).

Координаты антенно-фидерных устройств

	x	y	z
SO-94R	0	-0.4	3.25
A-053	0	0.4	10.4
EM-200	0	0.4	8.125
Ras-400	0	0.4	5.2
TTL-5	0	0.4	3.25
EM-200	0	-0.4	10.4

Индексы взаимовлияний между антеннами

	SO-94R	A-053	EM-200	Ras-400	TTL-5
SO-94R	0	-34.26558	-34.20626	-7.450993	-8.051331
A-053	-34.26558	0	-15.47099	-3.294788	-15.07565
EM-200	-34.20626	-15.47099	0	-17.29724	-30.74902
Ras-400	-7.450993	-3.294788	-17.29724	0	-23.79022
TTL-5	-8.051331	-15.07565	-30.74902	-23.79022	0
EM-200	-37.41748	-6.393162	-34.97732	-42.75302	-54.47151

Рис. 3. Пример окна программы с результатами анализа индекса влияния

V. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, основными результатами данной работы являются:

1. Сформулирована содержательная и математическая постановка оптимизационной задачи размещения антенн на поверхности фюзеляжа летательного аппарата.
2. Разработаны критерии и ограничения электромагнитной совместимости для задачи размещения антенн на поверхности фюзеляжа летательного аппарата.

3. Разработан и реализован в виде программы для ЭВМ, генетический алгоритм размещения антенн на поверхности фюзеляжа летательного аппарата, с учетом критерия характеризующем индекс влияния между радиопередатчиками и радиоприемниками.
4. Проведены исследования эффективности генетического алгоритма для оптимальной настройки его управляемых параметров.
5. Приведен пример функционирования программы по размещению антенных систем на поверхности фюзеляжа летательного аппарата, реализующей генетический алгоритм.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] R.R. Gainutdinov, S.F. Chermoshentsev Methodology to ensure the intrasystem electromagnetic compatibility of UAV avionics // Russian Aeronautics (Iz VUZ), 2016, Volume 59, Issue 4, pp 613–618.
- [2] S.V. Averin, V.Yu. Kirillov et al. Ensuring the electromagnetic compatibility of onboard cables for unmanned aerial vehicles // Russian Aeronautics (Iz VUZ), 2017, Volume 60, Issue 3, pp 442–446
- [3] R.R. Gainutdinov, S.F. Chermoshentsev Electromagnetic Stability of an Unmanned Aerial Vehicle at the Indirect Effect of a Lightning Discharge // Proceedings of the 2017 International Multi-Conference on Engineering, Computer and Information Sciences (SIBIRCON), 18-22 Sep 2017, Novosibirsk Akademgorodok, Russia, P. 406-410.
- [4] R.J. Katulsh The EMC antenna aspect of radio systems planning // Proceedings of the 1999 International Symposium on Electromagnetic Compatibility, 17-21 May 1999, Tokyo, Japan, P. 604-607.
- [5] D. Weston. Comparison of Techniques for Prediction and Measurement of Antenna to Antenna Coupling on an Aircraft // Proceedings of the EMC Europe, 2011, York, England, P. 346-350.
- [6] Петровский В.И., Петровский В.В. Электромагнитная совместимость радиотехнических средств летательных аппаратов. Казань: «Изд-во Казан. гос. техн. ун-та», 2007. 247 с.
- [7] R.R. Gainutdinov, S.F. Chermoshentsev Emission of electromagnetic disturbances from coupling paths of avionics unmanned aerial vehicles // Proceedings of the 2017 International Siberian Conference on Control and Communications (SIBCON), 29-30 June 2017, Astana, Kazakhstan. P. 1-5.
- [8] R.R. Gainutdinov, S.F. Chermoshentsev Electromagnetic Stability of an Unmanned Aerial Vehicle at the Indirect Effect of a Lightning Discharge // Proceedings of the 2017 International Multi-Conference on Engineering, Computer and Information Sciences (SIBIRCON), 18-22 Sep 2017 Novosibirsk Akademgorodok, Russia, P. 406-410.
- [9] ГОСТ Р 55898-2013 Технические средства радиосвязи. Взаимные радиопомехи в локальной группировке, методы расчета. М. Стандартинформ, 2013. 18 с.
- [10] R.R. Gainutdinov, S.F. Chermoshentsev Simulation of Electromagnetic Disturbance in On-board Equipment Coupling Paths of UAVs at Electromagnetic Influences from Radio Transmitters Antennas // Proceedings of the 2017 International Multi-Conference on Engineering, Computer and Information Sciences (SIBIRCON), 18-22 Sep 2017 Novosibirsk Akademgorodok, Russia, P. 411-414.
- [11] Suzdaltsev I.V., Chermoshentsev S.F., Bogula N.Yu. Genetic Algorithm for Onboard Equipment Placement Inside the Unmanned Aerial Vehicle Fuselage // Proceedings of 2016 XIX IEEE International Conference on Soft Computing and Measurements (SCM), May 25-27, 2016. St. Petersburg, 2016. P. 262-264.