

Применение эволюционной оптимизации в работе алгоритмов предупреждения столкновения воздушных судов в воздухе

© Н. В. Иванцевич^{1,2}, В. В. Худошин¹

¹АО «Навигатор», г. Санкт-Петербург, Россия

²БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д. Ф. Устинова, г. Санкт-Петербург, Россия

Реферат

В процессе опытной и серийной эксплуатации бортовых систем предупреждения столкновения воздушных судов был сформирован массив данных и передан для дальнейшего изучения ведущим специалистам в этой области. По результатам анализа набора данных международной группой экспертов были разработаны рекомендации по модернизации систем данного класса и выпущен соответствующий нормативный документ. В нём проанализированы недостатки функционала системы и их причины. В том числе рассмотрено несколько типов воздушных конфликтных ситуаций, в которых реализация существующих алгоритмов работы систем данного класса приведет к выдаче нежелательных рекомендаций экипажу. Было предложено несколько способов устранения выявленных недостатков. Один из них — модернизация алгоритма, которая позволит уточнить итоговую рекомендацию. Целью данной работы является исследование возможности повышения качества работы существующей (ранее модернизированной) схемы при помощи алгоритмов эволюционной оптимизации.

Предметом исследования является ранее модернизированный алгоритм, представляющий собой совокупность стандартной схемы работы и дополнительного алгоритма уточнения выработки рекомендации, который представляет собой классическую обученную нейронную сеть. Для обучения нейронной сети использовался набор данных достаточного объема, полученный при анализе одного из типов воздушной конфликтной ситуации. Дальнейший анализ результатов работы уже модернизированного алгоритма выявил возможность повышения качественных характеристик этого алгоритма. Наиболее подходящим способом повышения качества работы в данной ситуации стало применение метода эволюционных алгоритмов в процессе обучения нейронной сети с целью уточнения весов нейронных связей.

В результате проведенной работы были рассмотрены методы применения эволюционной оптимизации с целью эволюции весов связей нейронной сети, используемой для повышения качества определения рекомендации экипажу на совершение манёвра. Проведена классификация сценариев рассмотренного типа воздушной обстановки, обеспечивающих процесс обучения модернизированного алгоритма. С помощью созданных сценариев проведен сравнительный анализ работы алгоритма предупреждения столкновений, нейронной сети до оптимизации весов, и после неё. Зафиксировано повышение качества формируемых рекомендаций.

Ключевые слова: алгоритм, предупреждение столкновений, нейронная сеть, оптимизация, генетический алгоритм, воздушное судно.

Контакты для связи: Худошин Владимир Викторович (stex81@gmail.com).

Для цитирования: Иванцевич Н. В., Худошин В. В. Применение эволюционной оптимизации в работе алгоритмов предупреждения столкновения воздушных судов в воздухе // Труды ИПА РАН. 2022. Вып. 61. С. 53–58.
<https://doi.org/10.32876/AplAstron.61.53-58>

Application of Evolutionary Optimization in Aircraft Collision Avoidance Algorithms

N. V. Ivantsevich^{1,2}, V. V. Khudoshin¹

¹“Navigator” JSC, Saint-Petersburg, Russia

²BSTU “VOENMEH” im. D. F. Ustinova, Saint-Petersburg, Russia

Abstract

In the operational stage of an airborne collision avoidance system (CAS), there was generated a data base for further analysis by leading avionics experts. As a result of the analysis this international working group developed system improvement recommendations and issued a corresponding document containing the functional failure analysis. In particular, several types of air conflict situations were considered, where the algorithm would generate undesirable recommendations to the crew. One of the proposed problem solutions was algorithm modification, which would allow clarifying the generated recommendation. The purpose of the research was to study performance improvement possibilities of the existing algorithm by evolutionary optimization methods.

The subject of the research was a previously modified algorithm, which was a combination of a standard working scheme and an additional algorithm, which refined the generated recommendation, based on a classic trained neural

network. A sufficient amount of data obtained from the analysis of an air conflict situation was used to train the neural network. A deeper analysis of the modified algorithm run results revealed a possibility to increase qualitative characteristics. A suitable quality improvement method in this case was the application of evolutionary algorithms for neural network training to refine the connection weights.

The carried out research helped to review the application methods of evolutionary optimization of the neural network connection weights, which allowed to improve the determination quality of recommended manoeuvring procedures to the crew. The considered air situation type scenarios, which provide the improved algorithm training, were classified. A comparative analysis run results of the basic collision avoidance algorithm and the neural network before and after weights optimization was performed. An increased quality of the generated recommendations was recorded.

Keywords: algorithm, collision avoidance, neural network, optimization, genetic algorithm, aircraft.

Contacts: Vladimir V. Khudoshin (cmex81@gmail.com).

For citation: Ivantsevich N. V., Khudoshin V. V. Application of evolutionary optimization in aircraft collision avoidance algorithms // Transactions of IAA RAS. 2022. Vol. 61. P. 53–58.

<https://doi.org/10.32876/AplAstron.61.53-58>

Введение

Бортовая система предупреждения столкновений в воздухе является оборудованием, обязательным к установке на борт воздушного судна (ВС) гражданской авиации. Опыт эксплуатации системы ведется с 70-х годов XX века, когда были произведены первые серийные установки оборудования на ВС. В течение десятилетий специалисты НИИ и промышленности проводили анализ и постоянную модернизацию системы, в том числе ее алгоритмической составляющей.

Несмотря на разработанные стандарты требований к новому поколению, в настоящее время большая часть оборудования такого типа является системой с логикой, соответствующей требованиям версии 7.1. Большой опыт эксплуатации систем данной версии позволил провести глубокий анализ как достоинств, так и недостатков в части работоспособности этого оборудования, что и привело к созданию рекомендаций для построения новых версий данной системы (RTCA, 2012).

Одним из приведенных недостатков, рассматриваемых далее в исследовании, является работа стандартного алгоритма предупреждения столкновений при полёте близко расположенных ВС в одном направлении на высотах более 20000 футов, которая может привести к выработке некорректной рекомендации экипажу по совершению манёвра для предупреждения столкновения, которое физически невозможно. В рекомендациях по устранению данного недостатка упоминается возможная модернизация уже существующих алгоритмов предупреждения столкновений, которая позволит улучшить качество определения рекомендации экипажу.

В результате проведенных работ (Худошин, 2020) был создан дополнительный алгоритм на основе обученной нейронной сети, уточняющий

сформированную рекомендацию, который позволил повысить качество формируемой рекомендации для описанного выше типа воздушной обстановки. Обучение нейронной сети проводилось на основе созданных наборов параметров движения ВС, участвующих в рассматриваемом воздушном конфликте. Объем использованных наборов данных позволил в первом приближении решить поставленную задачу, при этом обученная сеть на большем множестве имитационных сценариев воздушной обстановки рассмотренного типа показала снижение качества уточнения рекомендации. Одним из способов, который может позволить повысить качество работы нейронной сети, является применение алгоритмов эволюционной оптимизации (Thorsson, 2016).

Описание алгоритма

В качестве дальнейшей модернизации обученной нейронной сети рассматривается многослойный перцептрон с параметрами, приведенными в табл. 1, архитектурой, представленной на рис. 1, и функцией активации вида $\sigma(x) = \frac{1}{1+e^{-x}}$.

Одним из типов алгоритмов эволюционной оптимизации являются генетические алгоритмы, которые успешно применяются для обучения нейронных сетей (Саймон, 2020). Возможные варианты применения генетических алгоритмов для нейронных сетей представлены в табл. 2. Объединение использования генетических алгоритмов и нейронных сетей известно как COGANN и может быть вспомогательным или равноправным (Рутковская, 2006). Вспомогательное объединение двух методов означает, что они применяются последовательно один за другим, причем один из них служит для подготовки данных, используемых при реализации второго метода. При равноправном объединении оба метода применяются одновременно.

Таблица 1

Параметры нейронной сети

Обозначение	Наименование	Единицы измерения
Входной вектор		
Z_1	Высота собственного ВС	футы
Z'_1	Вертикальная скорость собственного ВС	футы/мин
R	Расстояние между ВС	м. мили
R'	Скорость изменения расстояния между ВС	узлы
Z_2	Высота другого ВС	футы
Z'_2	Вертикальная скорость другого ВС	футы/мин
b	Пеленг на другое ВС	град
m	Тип базовой рекомендации	[0, 1, 2]
Выходной вектор		
r_1	Рекомендация без изменений	[0 .. 1]
r_2	Понижение угрозы	[0 .. 1]
r_3	Уточнение о пересечении	[0 .. 1]

менно. Для дальнейшей модернизации рассмотренной обученной сети применяется эволюционное обучение сети (табл. 2).

Для эволюционного обучения нейронной сети с применением генетического алгоритма была применена последовательность действий, приведенная на рис. 2, что позволило модернизировать рассмотренную нейронную сеть посредством даль-

нейшей настройки весов связей. При этом использовался стандартный набор действий. На этапе декодирования хромосом признаки были приведены к единому базису, а их значения представлены действительными числами из интервала [0 .. 1]. Разбиение данного интервала на 256 участков сделало возможным сопоставить очередное значение признака определенному номеру участка, что

Таблица 2

Применение генетических алгоритмов для нейронных сетей

Вид объединения	Характеристика	Использование
Независимое	Генетические алгоритмы и нейронные сети независимо применяются для решения одной и той же задачи	Однонаправленные нейронные сети, сети Кохонена с самоорганизацией и генетические алгоритмы в задачах классификации
Вспомогательное	Нейронные сети для обеспечения генетических алгоритмов	Формирование исходной популяции для генетического алгоритма
	Генетические алгоритмы для обеспечения нейронных сетей	Анализ нейронных сетей
		Подбор параметров либо преобразование пространства параметров
Равноправное	Генетические алгоритмы для обучения нейронных сетей	Эволюционное обучение сети (эволюция весов связей)
	Генетические алгоритмы для выбора топологии нейронной сети	Эволюционный подбор топологии сети (эволюция сетевой архитектуры)
	Системы, объединяющие адаптивные стратегии генетических алгоритмов и нейронных сетей	Нейронные сети для решения оптимизационных задач с применением генетического алгоритма для подбора весов сети
		Реализация генетического алгоритма с помощью нейронной сети
	Применение нейронной сети для реализации оператора скрещивания в генетическом алгоритме	

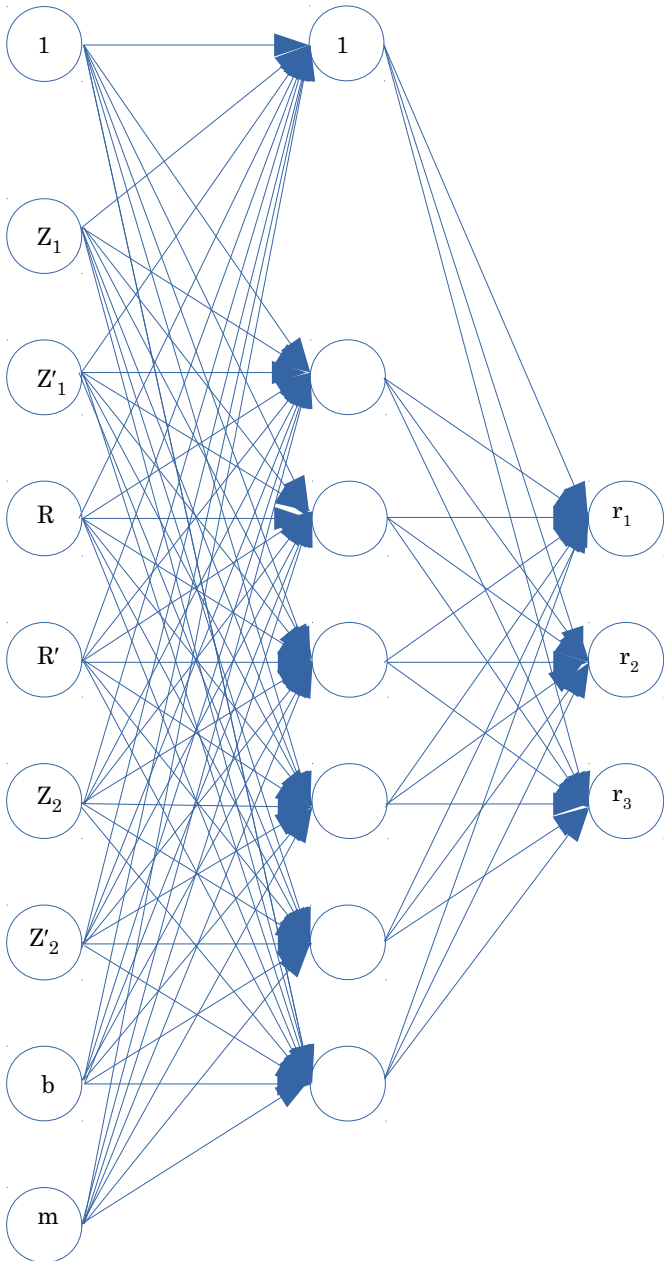


Рис. 1. Многослойный перцептрон



Рис. 2. Описание генетического алгоритма

Группировка сценариев воздушной обстановки

Группа сценариев	Параметры					
	Высота, футы	Граница по горизонтали, морские мили	Граница по вертикали, футы	Скорость горизонтальная, узлы	Скорость вертикальная, футы/мин	Пеленг, град
А	> 42000	≥ 1.3	$-1000 < b < 1000$	< 50	< 1500	< 10
Б	> 42000	< 0.9	$-1000 < b < 1000$	< 50	< 1500	< 10
В	> 42000	$0.9 < a < 1.3$	$-1000 < b < 1000$	< 50	< 1500	< 10
Г	> 42000	$0.9 < a < 1.3$	$-1000 < b < 1000$	< 50	$1500 < v < 2500$	< 10
Д	> 42000	$0.9 < a < 1.3$	$-1000 < b < 1000$	< 50	≥ 2500	< 10

позволило привести к удобному для работы представлению хромосомы. Для оценки приспособленности хромосомы в популяции была использована степенная функция. Селекция проводилась при помощи турнирного отбора. Применение генетических операторов (рис. 2) предполагало последовательное выполнение скрещивания (кроссовер), мутации и инверсии.

С целью обеспечения дальнейшего сравнительного анализа базового и модернизированных алгоритмов предупреждения столкновений был сформирован тестовый набор сценариев воздушной обстановки рассмотренного типа. Совокупность сценариев была разбита на подгруппы, параметры которых приведены в табл. 3.

Группировка сценариев проводилась по типу взаимного расположения ВС, с учётом границ в горизонтальной и вертикальной плоскостях защищенного объема вокруг собственного ВС. Границы защищенного объема определены в нормативной технической документации и зависят от высоты, на которой происходит воздушный конфликт.

Результаты моделирования

В результате моделирования работы созданных алгоритмов во время имитации воздушных ситуаций при помощи проигрывания сгруппированных сценариев, обеспечивающих необходимую проверку работоспособности в имитационной среде, были получены следующие данные, представленные в виде диаграмм на рис. 3а и 3б.

На рис. 3а и 3б для наглядности в разном представлении приведены зафиксированные результаты работы, где синим цветом показана работа стандартного алгоритма (Стандарт), жёлтым цветом — усовершенствованного алгоритма при помощи обученной нейронной сети (НС), оранжевым цветом — модернизированной нейронной сети с применением генетического алгоритма (НС + ГА) для эволюции весов связей. Сравнение работы рассмотренных алгоритмов проводилось на пяти выделенных группах сценариев, с указанием процентного совпадения зафиксированной сформированной рекомендации с ожидаемой.

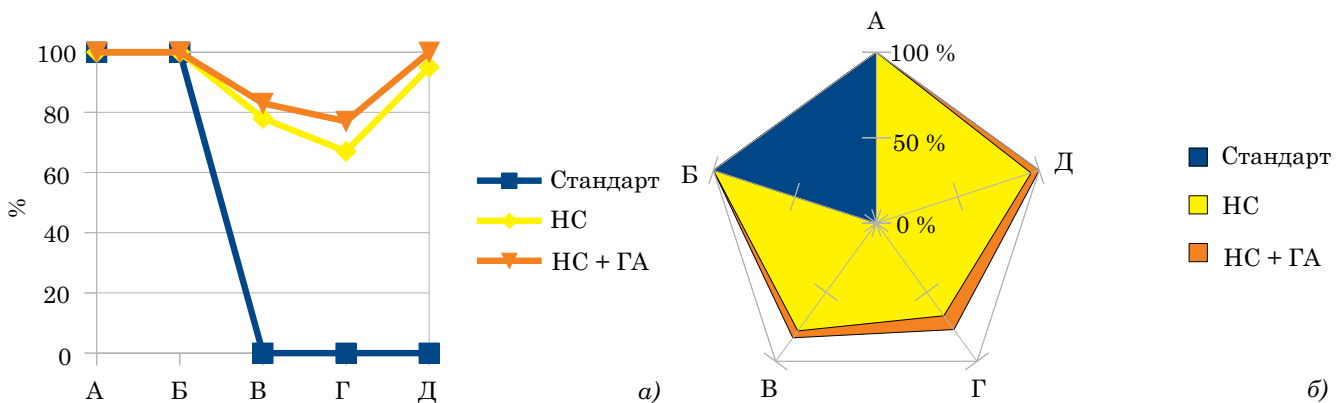


Рис. 3. Результаты сравнительного анализа работы алгоритмов

Заключение

В результате исследования был продолжен анализ работы базового и модернизированного алгоритмов предупреждения столкновения на примере определенного типа воздушной обстановки. Была проведена классификация возможных сценариев воздушной ситуации рассмотренного типа и их группировка для дальнейшего применения при анализе работы алгоритмов. Проанализированы методы использования эволюционной оптимизации с применением выбранного метода для модернизации обученной нейронной сети. Проведено сравнение работы обученной и модернизированной нейронных сетей с работой базовых алгоритмов предупреждения столкновений по критерию качества составленных рекомендаций экипажу воздушного судна. Зафиксировано повышение качества уточнения рекомендаций во время проверки работы модернизированных алгоритмов предупреждения столкновений. Это позво-

лит создать программную реализацию модернизированного алгоритма для внедрения в серийно производимые изделия.

Литература

Худошин В. В. Исследование работы алгоритмов предупреждения столкновений при полёте двух воздушных судов в одном направлении с медленным горизонтальным сближением. РИ-2020. Материалы конференции. Ч. 1. СПб.: СПОИСУ, 2020. С. 361–362.

Саймон Д. Алгоритмы эволюционной оптимизации. М.: ДМК Пресс, 2020. 1002 с.

Рутковская Д. Нейронные сети, генетические алгоритмы и нечёткие системы. М.: Горячая линия – Телеком, 2006. 452 с.

RTCA DO-337. Recommendations for Future Collision Avoidance Systems. Washington.: RTCA, 2012. 44 p.

Thorsson J. L., Steintert O. Neural networks for collision avoidance. preliminary investigations of training neural networks using deep Q-learning and genetic algorithms for active safety functions. Gothenburg: Chalmers University of Technology, 2016. 60 p.