

УДК 621.396

А.И. Тимочко

Харьковский университет Воздушных Сил имени Ивана Кожедуба, Харьков

МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОТРЕБНОГО НАРЯДА СРЕДСТВ ВОЗДЕЙСТВИЯ ДЛЯ УНИЧТОЖЕНИЯ ЗАДАННОГО ЧИСЛА ОБЪЕКТОВ НА ОСНОВЕ НЕЧЕТКОЙ НЕЙРОННОЙ СЕТИ

Современные боевые действия авиации характеризуются динамичностью и скоротечностью. Воздушная обстановка при этом часто является непредсказуемой, а решения принимаются в условиях неопределенности. Для поддержки принятия решений предлагаются новые инструменты прогнозирования. В статье рассматривается нечеткая нейронная сеть определения потребного наряда средств воздействия, при котором с заданной вероятностью гарантируется требуемая степень поражения наземных целей. С помощью предложенной модели при наличии динамики входных значений в определенном промежутке времени возможна реализация динамического управления ударной авиацией в ходе боевых действий.

Ключевые слова: нечеткая нейронная сеть, наземная цель, неопределенность, принятие решений, вероятность, степень поражения, авиация.

Введение

Постановка проблемы. Широкое развитие и практическое применение математических методов оценки эффективности боевых действий авиации позволяет получить количественные данные для принятия решения, организации, планирования и управления боевыми действиями. Очень важно в этой связи оценить эффективность применения авиационных средств поражения при действиях по наземным объектам.

В последнее время процесс принятия решений на применение средств поражения по наземным целям значительно усложнился по таким причинам:

- повышение боевых возможностей средств воздушного нападения;
- противодействие потенциальных объектов поражения;
- динамичное изменение обстановки;
- совершенствование тактических приемов, форм, способов и условий ведения применения средств поражения.

Соответственно первостепенное значение для своевременного принятия обоснованных решений на пункте управления приобретают совершенствование системы и методов управления ударной авиацией [1, 2].

Анализ последних исследований и публикаций. Очевидно, что принятие обоснованных решений на применение средств поражения по наземным целям, определяемое характером объектов воздействий, поставленной боевой задачей и имеющимися средствами поражения, происходит в условиях структурной неопределенности. Разрешение неопределенности обуславливает применение интеллектуальных систем поддержки принятия решений [3].

Одним из перспективных инструментов прогнозирования являются нечеткие нейронные сети. Они успешно проявляют себя при больших объемах неявных, взаимосвязанных входных данных и могут быть применены для определения потребного наряда средств воздействия при котором с заданной вероятностью P_T гарантируется требуемая степень поражения цели.

Цель статьи. Разработка метода расчета потребного наряда сил для поражения заданных наземных объектов авиацией на основе нечеткой нейронной сети.

Основной материал

Задача определения потребного наряда самолетов решается при таких условиях и допущениях:

- цель представляется кругом с радиусом $R_{ц}$;
- рассеивание бомб – круговое с вероятным отклонением E ;
- центр рассеивания совпадает с центром цели;
- тактическая норма поражения авиационной бомбы $f_{б}$;
- каждый самолет сбрасывает одну бомбу.

Введем понятие приведенная плотность попаданий. Под приведенной плотностью попаданий m_0 будем понимать потребное число попаданий в элемент площади цели, представляющий собой круг с радиусом, равным вероятному отклонению рассеивания бомб по дальности U_d , при котором обеспечивается требуемая степень поражения цели [2].

Степень поражения цели определяется тактической нормой поражения $f_{б}$, следовательно, приведенная плотность попаданий определяется как [3]:

$$m_0 = E_d \cdot E_d / f_{б} . \quad (1)$$

При круговом рассеивании бомб, когда $E_d = E$, формула (1) примет вид:

$$m_0 = E^2 / f_6. \quad (2)$$

Потребное число попаданий в цель, при котором имеет место заданный ущерб цели, равно частному от деления площади цели $S_{ц} = \pi R_{ц}^2$ на тактическую норму поражения бомбы [3]:

$$M = \pi R_{ц}^2 / f_6. \quad (3)$$

Для упрощения выражения (3) разделим числитель и знаменатель на E^2 :

$$M = \frac{\pi R_{ц}^2}{E^2} \cdot \frac{E^2}{f_6}. \quad (4)$$

Обозначим $R_{ц}/E = R_{цE}$. Тогда

$$M = \pi R_{цE}^2 \cdot m_0, \quad (5)$$

где $R_{цE}$ – относительный радиус цели.

Определим требуемый наряд самолетов, при котором с заданной гарантийной вероятностью P_r обеспечивается требуемый ущерб цели, т.е. попадание в нее не менее M бомб. Если радиус цели более четырех вероятных отклонений, то практически все

бомбы будут попадать в цель. При этом требуемый наряд самолетов будет равен требуемому числу попаданий в цель M :

$$I = \pi R_{цE}^2 \cdot m_0. \quad (6)$$

Если радиус цели превышает тактическую норму поражения f_6 , но менее четырех вероятных отклонений, то для определения требуемого наряда сил используем выражение (6). Одним из подходов определения требуемого количества средств является применение нейронных сетей.

С помощью нечеткой нейронной сети можно моделировать процесс определения требуемого наряда самолетов для поражения наземных объектов авиационными средствами поражения. Нечеткая нейронная сеть использует лингвистические правила, т.е. входные и выходные параметры предлагается описать лингвистическими переменными.

Пусть существует вектор определяющих параметров $F = (f_k(t), k = \overline{1, K})$, которые определяют требуемый наряд самолетов $I = (I_l(t), l = \overline{1, L})$. Т.е. $F = (f_k(t), k = \overline{1, K}) \rightarrow I$, что можно представить иерархическим деревом логического вывода (рис. 1).

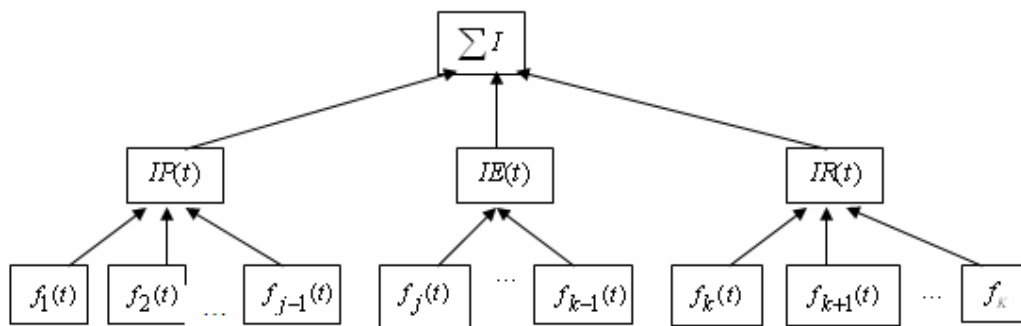


Рис. 1. Иерархическое дерево логического вывода

Элементы дерева логического определяются так:

- первый уровень (входные переменные) – частные параметры $(f_k(t), k = \overline{1, K})$;
- второй уровень – агрегированные группы показателей: $IP(t)$ – приведенная плотность попаданий в момент времени t ; $IE(t)$ – относительный радиус цели, $IR(t)$ – заданная вероятность P_r , при которой гарантируется требуемая степень поражения цели;
- третий уровень (выходная переменная) – требуемый наряд самолетов для поражения наземных объектов $\sum I$.

Для решения поставленной задачи применим гибридную нечеткую нейронную сеть ANFIS (Matlab). В ней сочетаются элементы нечеткой логики и нейронных сетей [4].

Зададим лингвистические значения и соответствующие им множества для входных переменных:

- приведенная плотность попаданий в момент времени t [низкая, средняя, высокая]: $IP(t) = (N_{IP}^-, N_{IP}, N_{IP}^+)$;
- относительный радиус цели [малый, средний, большой]: $IE(t) = (N_{IE}^-, N_{IE}, N_{IE}^+)$;
- заданная вероятность P_r , при которой гарантируется требуемая степень поражения цели: [малая, средняя, большая] $IR(t) = (N_{IR}^-, N_{IR}, N_{IR}^+)$;
- требуемый наряд самолетов для поражения наземных объектов I .

В приведенных лингвистических переменных нечеткие переменные (N^-, N, N^+) имеют соответственно низкое, среднее и высокое значение.

Для решения задачи определения потребного наряда сил воздействия, при котором с заданной вероятностью гарантируется требуемая степень поражения цели, зададим лингвистические значения для I по алгоритму Сугено [4], т.е.:

$$\begin{aligned} N_1^- &= \text{LOW}(I) = A \cdot IP + B \cdot IE + C \cdot IR; \\ N_1 &= \text{MEDIUM}(I) = A \cdot IP + B \cdot IE + C \cdot IR; \quad (7) \\ N_1^+ &= \text{HEIGHT}(I) = A \cdot IP + B \cdot IE + C \cdot IR, \end{aligned}$$

где A, B, C – константы линейного уравнения.

В итоге нечеткое правило (modus ponens) – $MP^{(j)}$, $j = \overline{1, J}$ будет иметь следующий вид:

$$MP = \begin{cases} MP^{(1)}: \text{if } IP(t) \text{ is } N_{IP}^+ \text{ and } IE(t) \text{ is } N_{IE}^- \\ \text{and } IR(t) \text{ is } N_{IR}^- \text{ then } I \text{ is } N_1; \\ MP^{(2)}: \text{if } IP(t) \text{ is } N_{IP}^+ \text{ and } IE(t) \text{ is } N_{IE}^- \\ \text{and } IR(t) \text{ is } N_{IR}^- \text{ then } I \text{ is } N_1^-; \\ \dots \\ MP^{(2)}: \text{if } IP(t) \text{ is } N_{IP}^- \text{ and } IE(t) \text{ is } N_{IE}^- \\ \text{and } IR(t) \text{ is } N_{IR}^- \text{ then } I \text{ is } N_1^-. \end{cases} \quad (8)$$

Систему нечеткого вывода представим в виде нечеткой нейронной сети ANFIS, реализующей систему нечеткого вывода Сугено (рис. 2).

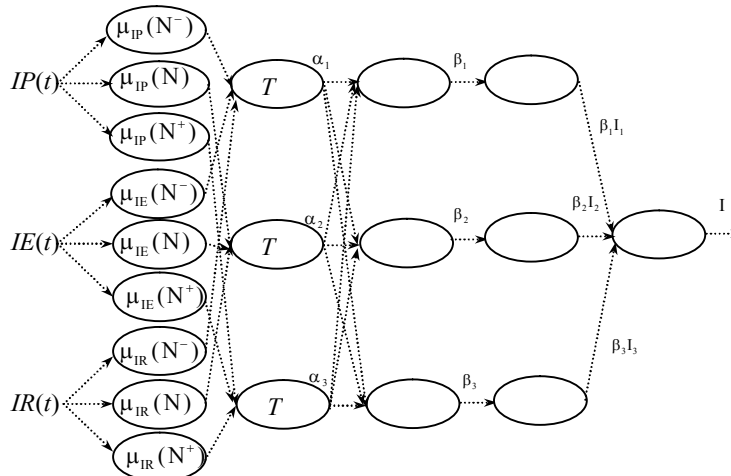


Рис. 2. Архитектура нечеткой нейронной сети ANFIS для определения потребного наряда средств воздействия

На рис. 2 обозначены:

I слой. Входы – это степени принадлежности входных значений нечетким переменным. II слой. Нейтроны, вычисляющие уровень истинности правила по операции T-нормы [5]:

$$\begin{aligned} \alpha_1 &= \min(\mu_{IP_1}(x_1); \mu_{IE_{12}}(x_2); \mu_{IR_{13}}(x_3)); \\ \alpha_2 &= \min(\mu_{IP_{21}}(x_1); \mu_{IE_{22}}(x_2); \mu_{IR_{23}}(x_3)); \quad (9) \\ \alpha_3 &= \min(\mu_{IP_{31}}(x_1); \mu_{IE_{32}}(x_2); \mu_{IR_{33}}(x_3)). \end{aligned}$$

III слой. Нейтроны, выполняющие нормализацию уровней истинности:

$$\begin{aligned} \beta_1 &= \frac{\alpha_1}{\alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3}; \quad \beta_2 = \frac{\alpha_2}{\alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3}; \\ \beta_3 &= \frac{\alpha_3}{\alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3}. \end{aligned} \quad (10)$$

IV слой. Перемножение нормализованных значений $\beta_1, \beta_2, \beta_3$ с соответствующими выходными правилами I_1, I_2, I_3 .

V слой. Вычисление выходных значений [6].

В качестве примера определим потребный наряд ударных самолетов, при котором обеспечивается поражение объекта с гарантированной вероятностью 0,8. Размеры наземной цели, по которой действуют самолеты – $R_{ц} = 140$ м. Бомбовая нагрузка

4 ФАБ-250 кг. Рассеивание при бомбометании круговое. Вероятное отклонение 100 м. Tактическая норма поражения бомбы 5950 м^2 .

Tактическая норма поражения бомбового залпа самолета определяется как

$$f_6 = 4 \times 5 \cdot 950 = 23 \cdot 800 \text{ м}^2.$$

Приведенная плотность попаданий равна:

$$m_0 = \frac{E^2}{f_6} = \frac{100^2}{23 \cdot 800} = 0,42. \quad (11)$$

Tогда относительный радиус цели составляет:

$$R_{цE} = \frac{R_{ц}}{E} = \frac{140}{100} = 1,4. \quad (12)$$

Определим потребный наряд самолетов, при котором обеспечивается заданная степень поражения цели, на основании данных табл. 1 [2].

Осуществим прогнозирование с помощью гибридной нечеткой нейронной сети ANFIS. Пределы значений параметров равны: $I \in [1; 29]$; $IP \in [0,05; 1,00]$; $IE \in [0,1; 29]$; $IR \in [0,7; 0,9]$.

Зададим терм-множества переменных следующей вербально-числовой шкалой (табл. 2).

С помощью программы Matlab зададим нечеткую базу знаний Сугено и проведем нечеткий логический вывод (рис. 3, 4).

Таблица 1

Определение потребного наряда самолетов

Приведенная плотность попаданий, $IP(t)$	Относительный радиус цели, $IE(t)$	Заданная вероятность P_r , $IR(t)$	Потребный наряд самолетов для поражения наземных объектов, $\sum I$
0,05	1,0	0,8	1
0,1	1,1	0,8	2
0,15	1,2	0,8	3
0,15	1,3	0,8	3
0,25	1,3	0,8	6
0,3	1,4	0,8	6
0,45	1,5	0,8	9
0,40	1,3	0,8	8

Таблица 2

Вербально-числовая шкала терм-множеств

Обозначение	Лингвистическая оценка	Числовое значение
приведенная плотность попаданий в момент времени t : $IP(t) = (N_{IP}^-, N_{IP}, N_{IP}^+)$	Низкая	[0,05; 0,22]
	Средняя	[0,1; 0,4]
	Высокая	[0,3; 1,0]
относительный радиус цели $IE(t) = (N_{IE}^-, N_{IE}, N_{IE}^+)$	Малый	[1,0; 1,2]
	Средний	[1,05; 1,47]
	Большой	[1,28; 1,5]
заданная вероятность P_r , при которой гарантируется требуемая степень поражения цели: $IR(t) = (N_{IR}^-, N_{IR}, N_{IR}^+)$	Низкая	[0,8; 0,86]
	Средняя	[0,83; 0,92]
	Большая	[0,88; 0,95]

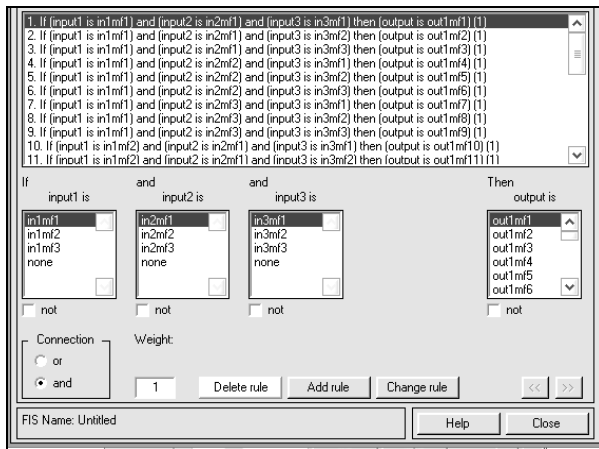


Рис. 3. База нечетких правил в Rule Editor

Согласно рис. 4, если приведенная плотность попаданий высокая $IP(t) = N_{IP}^+ = 0,42$, относительный радиус цели средний $IE(t) = N_{IE}^+ = 1,4$ и заданная вероятность P_r , при которой гарантируется требуемая степень поражения цели, низкая $IR(t) = N_{IR}^- = 0,8$, то потребный наряд самолетов 9 единиц.

Для генерирования и обучения нечеткой системы типа Сугено можно использовать ANFIS редактор программы Matlab [6, 7]. Нечеткая нейронная сеть определения потребного наряда средств воздействия состоит из 3 входных переменных: $IP(t)$,

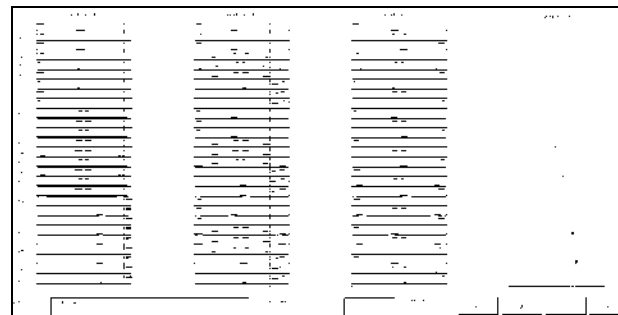


Рис. 4. Визуализация нечеткого вывода Сугено

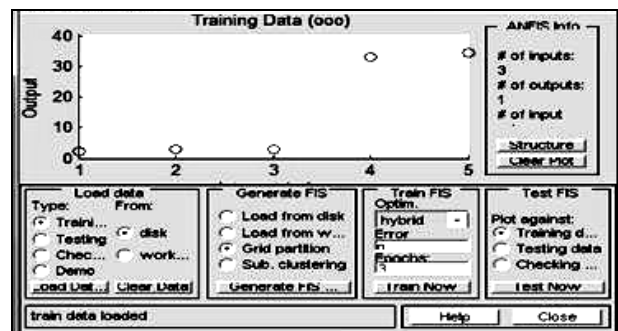


Рис. 5. Редактор ANFIS после загрузки обучающих данных

$IE(t)$, $IR(t)$, выходной переменной $\sum I$, и реализуется по следующим образом.

Шаг 1. Загрузка данных обучения в редакторе ANFIS (Matlab / anfisedit / Load Data) (рис. 5).

Шаг 2. Генерирование структуры системы нечеткого вывода FIS (Generate FIS).

Шаг 3. Визуализация структуры (Structure) (рис. 6).

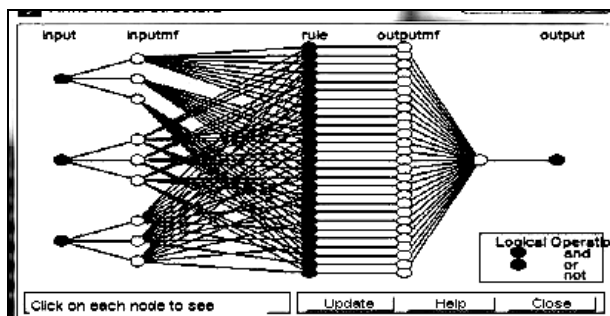


Рис. 6. Структура сгенерированной системы нечеткого вывода

Шаг 4. Обучение сети (Train now) (рис. 7).

На основе построенной модели можно оценить влияние ряда факторов и условий на определение потребного наряда средств поражения, при котором с заданной вероятностью гарантируется требуемая степень поражения цели.

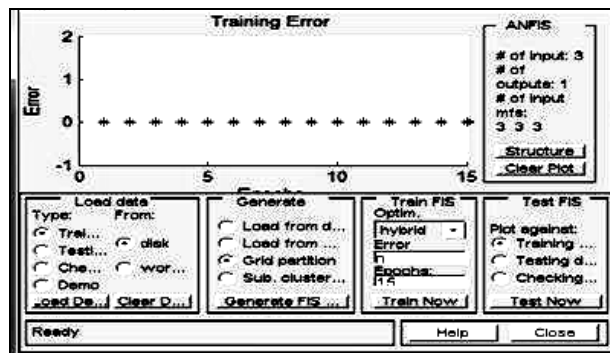


Рис. 7. Зависимость количества циклов и ошибок при обучении сети

Выводы

Таким образом, рассмотрена нечеткая нейронная сеть определения потребного наряда средств поражения в ходе ведения боевых действий для уничтожения цели с заданной вероятностью. Полученные результаты позволяют утверждать о возможности ее практического применения для прогноза результата выполнения поставленной боевой задачи по уничтожению наземных целей.

Список литературы

1. *Авиация ПВО России и научно-технический прогресс: боевые комплексы и системы вчера, сегодня, завтра: Монография* / В.К. Бабич, Л.Е. Баханов, Г.П. Герасимов и др.; под ред. Е.А. Федосова. – М.: Дрофа, 2005. – 815 с.
2. Харук А. И. *Боевая авиация XXI века: Военная энциклопедия XXI / А.И. Харук.* – М., 2011. – 304 с.
3. Тимофеев В.Д. *Самолетовождение и бомбометание: учебник* / В.Д. Тимофеев. – М.: Воениздат, 1979. – 479 с.
4. Ротштейн А.П. *Интеллектуальные технологии идентификации. [Электронный ресурс]: – Режим доступа к ресурсу: <http://matlab.exponenta.ru/fuzzylogic/book5/index.php>].*
5. Штовба Д.С. *Проектирование нечетких систем средствами MATLAB / С.Д. Штовба.* – М., 2007.
6. Борисов В.В. *Нечеткие модели и сети / В.В. Борисов, В.В. Круглов, А.С. Федулов.* – М., 2007.
7. Рутковская Д. *Нейронные сети, генетические алгоритмы и нечеткие системы: Пер. с польск. И.Д. Рудинского / Д. Рутковская, М. Пилиньский, Л. Рутковский.* – М., 2006.

Поступила в редколлегию 30.10.2013

Рецензент: д-р воен. наук, проф. Г.А. Дробаха, Харьковский университет Воздушных Сил им. И. Кожедуба, Харьков.

МЕТОД ВИЗНАЧЕННЯ ПОТРІБНОГО НАРЯДУ ЗАСОБІВ ВПЛИВУ ДЛЯ ЗНИЩЕННЯ ЗАДАНОГО ЧИСЛА ОБ'ЄКТІВ НА ОСНОВІ НЕЧІТКОЇ НЕЙРОННОЇ МЕРЕЖІ

О.І. Тимочко

Сучасні бойові дії авіації характеризуються динамічністю і швидкоплинністю. Повітряна обстановка при цьому часто є непередбачуваною, а рішення приймаються в умовах невизначеності. Для підтримки прийняття рішень пропонуються нові інструменти прогнозування. У статті розглядається нечітка нейронна мережа визначення потрібного наряду засобів впливу, при якій із заданою ймовірністю гарантується необхідний ступінь ураження наземних цілей. За допомогою запропонованої моделі за наявності динаміки вхідних значень у певному проміжку часу можлива реалізація динамічного управління ударною авіацією в ході бойових дій.

Ключові слова: нечітка нейронна мережа, наземна ціль, невизначеність, прийняття рішень, ймовірність, ступінь ураження, авіація.

METHOD OF DETERMINATION OF THE NECESSARY NUMBER OF TOOLS OF INFLUENCE FOR ELIMINATION OF THE SET NUMBER OF OBJECTS ON BASIS OF FUZZY NEURON NETWORK

O.I. Tymochko

The modern battle actions of aviation are characterized dynamic and rapidly quality. An air situation often is unforeseeable, and decisions are making in the conditions of vagueness. So the new instruments of prognostication are offered are for support of making a decision. The fuzzy neuron network of determination of the necessary number of tools of influence at which with the set probability the required degree of defeat of surface targets is guaranteed is examined in the article. By the offered model at presence of dynamics of entrance values in the certain interval of time realization of run-time management is possible a shock aviation during battle actions.

Keywords: fuzzy neuron network, surface targets, vagueness, making a decision, probability, degree of defeat, aviation.