

УДК 004.827

С.А. Олизаренко, А.В. Перепелица, В.А. Капранов

Харьковский университет Воздушных Сил им. И. Кожедуба, Харьков

МЕТОД ФОРМАЛИЗАЦИИ ЗАДАЧИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ НАПРАВЛЕНИЙ УДАРОВ СРЕДСТВ ВОЗДУШНОГО НАПАДЕНИЯ ПРОТИВНИКА НА ОСНОВЕ АВТОМАТИЧЕСКОЙ НЕЧЕТКОЙ КЛАССИФИКАЦИИ

В статье представлен разработанный авторами в нечеткой постановке метод формализации задачи определения направлений ударов средств воздушного нападения противника в ходе ведения боевых действий на основе использования эвристического метода нечеткой кластеризации Кутюрье-Фьюлео. Приведен пример практического использования разработанного метода.

Ключевые слова: нечеткое множество типа 2, нечеткая функция принадлежности, занимаемая площадь неопределенности.

Введение

Постановка проблемы. Определение направлений ударов средств воздушного нападения (СВН) противника с началом и в ходе ведения боевых действий является одной из наиболее важных задач распознавания замысла противника. С математической точки зрения данную задачу можно представить как задачу разбиения заданного множества объектов предметной области (СВН противника) на классы (направления ударов), сформулированную следующим образом: необходимо сгруппировать элементы исследуемого множества в подмножества, называемые кластерами, так, чтобы подобные элементы относились к одному и тому же множеству, а неподобные – к различным подмножествам. Сформулированные подобным образом задачи решаются, как правило, с использованием методов кластерного анализа (или автоматической классификации, распознавания образов без учителя). Кластерный анализ – это способ группировки многомерных объектов, основанный на представлении результатов отдельных наблюдений точками подходящего геометрического пространства с последующим выделением групп как «сгустков» (cluster) этих точек. При этом в случае обычного кластерного анализа должно выполняться требование: нахождения однозначной кластеризации элементов исследуемой проблемной области. Однако при решении задачи определения направлений ударов СВН противника, большинство формируемых классов объектов (направлений ударов) размыты по своей природе в силу существующей неопределенности знаний о возможных действиях противника. Эта размытость в данном случае состоит в том, что переход от принадлежности к непринадлежности элементов к классам скорее постепенен, чем скачкообразен. Требование нахождения однозначной кластеризации элементов исследуемой проблемной области является достаточно грубым и жестким особенно при решении задач оценки замысла действий СВН противника. В связи с этим, в данном случае могут быть использо-

ваны методы нечеткой кластеризации, которые ослабляют это требование. При этом, в настоящее время отсутствуют методы, обеспечивающие непосредственно нахождение нечеткого покрытия множества СВН противника с целью определения направлений ударов противника на основе использования методов нечеткой кластеризации, что в свою очередь определяет актуальность разработки метода формализации задачи определения направлений ударов СВН противника в ходе боевых действий с использованием методов нечеткой автоматической классификации.

Анализ литературы. В настоящее время существует достаточно значительное количество литературы, в которой подробно освещены вопросы современного состояния нечеткой автоматической классификации, описаны наиболее известные нечеткие кластер-процедуры и представлены методики применения кластерного анализа в различных исследуемых областях [1, 5 – 7]. Однако вопросы непосредственного определения направления удара СВН противника с использованием методов нечеткой кластеризации в данной литературе не рассматриваются. В [2] рассмотрены вопросы определения направления удара СВН противника, но с применением только методов четкого кластерного анализа. Особый интерес, в качестве практического применения метода нечеткого кластерного анализа при распознавании замысла противника, представляет рассмотренная в [3] задача, в ходе которой определяется так называемая тенденция развития обстановки на основе получения данных о противнике и прогнозирования его последующих действий.

Целью статьи является представление разработанного авторами метода формализации задачи определения направлений ударов СВН противника в ходе боевых действий на основе использования методов нечеткой автоматической классификации, обеспечивающего нахождение нечеткого покрытия множества СВН противника, обнаруженных средствами РТВ.

Основная часть

Разработанный метод формализации задачи определения направлений ударов СВН противника в ходе боевых действий на основе нечеткой автоматической классификации включает следующие основные операции (этапы) (рис. 1):



Рис. 1. Структура метода формализации задачи определения направлений ударов СВН противника в ходе боевых действий на основе нечеткой автоматической классификации

1. Формирование выборки объектов для нечеткой кластеризации в виде множества СВН противника $O_t = \{o_i\}$, $i = 1..N$, где N – количество СВН противника, обнаруженных средствами РТВ на момент времени t .

2. Формирование и означивание множества пе-

ременных (характеристик, признаков), по которым будут оцениваться СВН противника в выборке в виде кортежа $o_i = \langle P_m \rangle$, $m = 1..M$, где P_m – m -я переменная, M – количество переменных. Вопросы, связанные с оценкой достаточности и информативности переменных, используемых для оценивания объектов нечеткой кластеризации, выходят за рамки данного исследования.

3. Нормализация значений переменных с целью приведения переменных, измеренных в разных единицах измерения, к безразмерным величинам. Нормировка представляет собой переход к некоторому единообразному описанию для всех переменных (характеристик, признаков), к введению новой условной единицы измерения, допускающей формальное сопоставление объектов, в данном случае СВН противника [4]. Другой целью данного изменения является также минимизация влияния переменных, которые могут иметь большие размеры и много выбросов. Так, например, согласно формуле Евклидовой меры (Евклидоваго расстояния), переменная, имеющая большие значения, практически полностью доминирует над переменной с малыми значениями.

В качестве способа нормализации в разрабатываемом методе используется способ нормирования по максимальному значению переменной:

$$z_m^P = \frac{P_m}{P_m^{\max}}, \quad (1)$$

где z_m^P – нормированное значение P_m ; P_m^{\max} – наибольшее значение переменной P_m среди исследуемой совокупности СВН противника.

Данный способ нормирования позволяет на данном этапе привести значения переменных к диапазону от 0 до 1, что делает их вполне сравнимыми, а также позволяет в дальнейшем вычислять степени принадлежности так называемого нечеткого отношения несходства СВН противника (рассматривается детально ниже в рамках представления процедуры нечеткого кластерного анализа Кутюрье-Фьюлео (Couturier-Fioleau)) в интервале $[0, 1]$, что соответствует традиционному представлению интервала значений степеней принадлежности в теории нечетких множеств.

4. Вычисление значений меры различия или сходства между объектами, в данном случае СВН противника (определение однородности объектов). В общем случае понятие однородности объектов определяется заданием правила вычисления величины r_{ij} , характеризующей либо расстояние d_{ij} между объектами o_i и o_j из исследуемой совокупности O_t , либо степень близости (сходства) r_{ij} тех же объектов [5]. Так как, с одной стороны, переход от

d_{ij} к r_{ij} и обратно, как правило, является элементарным, а, с другой стороны, так как используемый разработанным в статье методом эвристический алгоритм нечеткой кластеризации (см. ниже п. 5) в качестве входных данных использует матрицу расстояний между объектами $d_{N \times N}$, то в дальнейшем будем рассматривать только расстояния между объектами в виде значений d_{ij} [5]. Существуют различные виды расстояний, но наиболее интуитивно понятным и часто используемым является классическое Евклидово расстояние, с которым связано следующая формула, представленная в контексте разрабатываемого метода формализации задачи определения направлений ударов СВН противника:

$$d_{ij} = d_E(o_i, o_j) = \sqrt{(z_i^{P_1} - z_j^{P_1})^2 + (z_i^{P_2} - z_j^{P_2})^2 + \dots + (z_i^{P_m} - z_j^{P_m})^2} \quad (2)$$

5. Применение процедуры нечеткого кластерного анализа Кутюрье-Фьюлео [6] для определения направлений ударов СВН противника в ходе боевых действий в виде создания групп (кластеров) сходных объектов – СВН противника. Непосредственное описание алгоритма Кутюрье-Фьюлео и обоснование его выбора и выбора метода нечеткой кластеризации в рамках разрабатываемого метода формализации задачи определения направлений ударов СВН противника приводятся ниже.

6. Представление результатов определения направлений ударов СВН противника в ходе боевых действий на основе нечеткой автоматической классификации осуществляется в соответствии с предложениями, рассмотренными в [4]. При этом, для должностного лица, в интересах которого выполнялась определение направлений ударов СВН противника, представляют интерес результаты в виде:

перечня полученных нечетких кластеров (направлений удара) $\{A_1^{Fk}\}$;

распределения объектов нечеткой кластеризации (СВН противника) по нечетким кластерам (по направлениям удара) с указанием степеней принадлежности каждого объекта (СВН противника) каждому нечеткому кластеру (направлению удара);

матрицы нечеткого покрытия (для более глубокого анализа результатов нечеткой кластеризации, например, с целью определения пересечений нечетких кластеров (направлений ударов));

графической визуализации результатов нечеткой кластеризации.

При этом необходимо отметить, что в общем случае эвристические методы нечеткой кластеризации, как правило, используются для предварительного анализа заданной совокупности объектов, а их

результаты являются входными данными для других методов анализа данных.

Прежде чем детально рассмотреть порядок выполнения алгоритма Кутюрье-Фьюлео проведем обоснование выбора нечеткой кластер-процедуры в рамках разрабатываемого метода формализации задачи определения направлений ударов СВН противника. Общая схема выбора нечеткой кластер-процедуры, предложенная в работе [1], предусматривает два этапа:

1) обоснование выбора одного из трех типов методов нечеткого подхода к кластеризации (эвристического, оптимизационного, иерархического);

2) выбор конкретного алгоритма нечеткой кластер-процедуры.

Исходя из рекомендаций, приведенных в работах [6, 7], в качестве методов нечеткого подхода к кластеризации предлагается использование эвристических методов. Это связано с тем, что, во-первых, существует содержательное представление об условиях объединения объектов (СВН противника) в нечеткие кластеры (направления ударов), во-вторых, число нечетких кластеров (направлений ударов СВН противника) считается заранее неизвестным. В качестве алгоритма эвристической нечеткой кластер-процедуры предлагается использование алгоритма Кутюрье-Фьюлео [6]. Это связано с тем, что в рамках эвристического направления нечеткого подхода, главным критерием выбора алгоритма является соответствие особенностей алгоритма содержательной постановке задачи, а именно данный алгоритм не предполагает жестких ограничений на объем исследуемой совокупности объектов (СВН противника) и допускает пересечение нечетких кластеров (т.е. обеспечивает не просто нечеткое разбиение, а нечеткое покрытие исследуемой совокупности объектов). При этом имеются предположения по результатам опыта боевых действий о минимальном числе объектов (СВН противника) в кластере (ударе).

Структурная схема алгоритма Кутюрье-Фьюлео приведена на рис. 2.

Рассмотрим данный алгоритм, который включает семь этап пунктов, более детально:

1. Формируется нечеткое отношение обычного несходства I объектов (СВН противника) из множества O_t в виде матрицы расстояний между объектами (матрицы нечеткого отношения)

$$d_{N \times N} = [d_{ij}] = [\mu_I(o_i, o_j)], \quad (3)$$

где $d_{ij} = d_E(o_i, o_j) = \mu_I(o_i, o_j)$ и d_{ij} вычисляется согласно выражения (3); μ_I – функция принадлежности нечеткого отношения I , которая формально определяется как отображение

$$\mu_I : O_t \times O_t \rightarrow [0, 1]. \quad (4)$$



Рис. 2. Структура алгоритма евристической нечеткой кластер-процедуры Кутюрье-Фьолео

2. Задается порог различия объектов (СВН противника) α , объединяемых в нечеткие кластеры (направления ударов), где в общем случае $\alpha \in (0,1]$. Порог различия представляет собой расстояния до центра или эталонной точки нечеткого кластера. В рамках решения задачи определения направлений ударов СВН противника в качестве порога различия, исходя из экспериментальных данных с учетом размеров территории Украины, предлагается выбирать значения в интервале $[0.1, 0.2]$. При этом, крайнее левое значение данного интервала в качестве порога различия СВН противника представляет собой случай наиболее жесткого ограничения (в дальнейшем будем считать, что данное крайнее левое значение интервала $[0.1, 0.2]$ является значением порога различия объектов по умолчанию).

3. Для заданного порога различия $\alpha \in [0.1, 0.2]$ строится четкое отношение несходства I_α , представляющее собой α -уровень нечеткого отношения обычного несходства I , в соответствии с условием

$$\mu_{I_\alpha}(o_i, o_j) = \begin{cases} 0, \mu_I(o_i, o_j) \leq \alpha; \\ 1, \mu_I(o_i, o_j) > \alpha, \end{cases} \quad (5)$$

где

$$I_\alpha = \{(o_i, o_j); o_i, o_j \in O_t, \mu_{I_\alpha}(o_i, o_j) = 1\}. \quad (6)$$

4. Вычисляются максимально внутренне устойчивые множества (stable set internally maximal) исходя из построенного четкого отношения несходства I_α согласно следующей процедуры:

- 1) вводится индекс $i := 1$;
- 2) создается пустое внутренне устойчивое множество $A_i = \emptyset$;
- 3) осуществляется проверка подобности каждого элемента множества $O_t = \{o_j\}, j = 1 \dots N$, элементу o_i и по результатам проверки формируется внутренне устойчивое множество A_i согласно правилу: «Если $(o_i, o_j) \notin I_\alpha$, то множество A_i замещается множеством $A_i \cup \{o_j\}$ » (непосредственно порядок перебора элементов множества O_t не рассматривается в силу своей тривиальности);
- 4) если $i < N$, то изменяется индекс $i := i + 1$ и осуществляется переход к пункту 2, иначе осуществляется переход к подпункту 5);

5) анализируется и преобразуется полученное множество внутренне устойчивых множеств $\{A_j\}, j = 1 \dots N$ (N – количество внутренне устойчивых множеств соответствующее множеству СВН противника), согласно правила: «Если некоторое множество $A_k \in \{A_j\}$ является подмножеством множества $A_l \in \{A_j\}$, т.е. $A_k \subseteq A_l$, то множество A_k исключается из рассмотрения». В результате выполнения правила получаем множество внутренне устойчивых множеств $\{A_j^0\}, j = 1 \dots M$ ($M \leq N$, M – количество оставшихся внутренне устойчивых множеств).

5. Из множества внутренне устойчивых множеств $\{A_j^0\}$ выделяется множество нечетких кластеров (направлений ударов) $C = \{A_l^c\}, l = 1 \dots K$, $K \leq M$, K – количество нечетких кластеров (на-

правлений ударов). Внутренне устойчивое множество A_j^o представляет собой кластер A_l^c , если A_j^o удовлетворяет следующим двум условиям:

– условию представительства, в соответствии с которым любое максимально внутренне устойчивое множество с небольшим числом элементов не рассматривается; максимально внутренне устойчивое множество A_j^o является кластером, если

$$\text{card}(A_j^o) \geq u, \quad (7)$$

где u – порог, определяющий минимально допустимое количество элементов в нечетком кластере. Если условие (7) не выполняется, максимально внутренне устойчивое множество исключается из рассмотрения. Исходя из опыта боевых действий, в качестве минимального количества СВН противника в ударе предлагается использовать значение, представляющее собой 10% от количества СВН противника, обнаруженных средствами РТВ на момент времени t ;

– условию разделимости, в соответствии с которым для любых двух максимально внутренне устойчивых множеств количество элементов в области их пересечения не должно превышать пороговое значение ω . Если условие не выполняется, то два максимально внутренних устойчивых множества объединяются и полученное множество проверяется на приведенные выше условия. Исходя из опыта боевых действий, в качестве максимального количества СВН противника в области пересечения любых двух ударов предлагается использовать значение, представляющее собой 50% от количества СВН противника в каждом из рассматриваемых ударов.

Таким образом, множество нечетких кластеров $C = \{A_l^c\}$ должно удовлетворять следующему критерию

$$C = \left\{ \begin{array}{l} A_l^c : \forall A_l^c \in \{A_j^o\}, l=1..K, \text{card}(A_l^c) \geq u; \\ \forall A_l^c, A_f^c \in \{A_j^o\}, f=1..K, l \neq f, \text{card}(A_l^c \cap A_f^c) \leq \omega \end{array} \right\}. \quad (8)$$

6. Для каждого кластера $A_l^c \in C$, в общем случае произвольным образом, определяется точка $\tau_l, l=1..K$, являющаяся его центром. С целью автоматизации выполнения данной процедуры кластеризации в качестве такой точки выбирается объект (СВН противника) $\tau_l = o_i, o_i \in A_l^c$ имеющий минимальное значение индекса объекта i .

7. Строится матрица $C_{K \times N}$ нечеткого покрытия $C = \{A_l^c\}, l=1..K$ множества СВН противника

$O_t = \{o_i\}, i=1..N$. Элементами матрицы $C_{K \times N}$ являются степени принадлежности $\mu_{li}(o_i)$ объекта

(СВН противника) o_i нечеткому кластеру $A_l^c \in C$ с центром τ_l , вычисляемые в соответствии со следующим выражением

$$\mu_{li}(o_i) = 1 - \frac{\mu_l(o_i, \tau_l)}{\max \mu_l(o_i, o_j)}, \quad (9)$$

$$i, j = 1..N, l = 1..K.$$

Рассмотрим применение разработанного метода формализации задачи определения направлений ударов СВН противника в ходе боевых действий на основе нечеткой автоматической классификации на конкретном примере.

В качестве примера и для наглядности последующего представления результатов кластеризации (визуализации в трехмерной плоскости) при описании СВН противника в рамках данной статьи ограничимся использованием трех переменных, а именно: $P_1 = Q_i$ – курс полета i -го СВН противника, $P_2 = X_i$ и $P_3 = Y_i$ – текущие координаты i -го СВН противника.

Таким образом, описание i -го СВН противника в рамках данной статьи представляется в виде кортежа

$$o_i = \langle Q_i, X_i, Y_i \rangle. \quad (10)$$

Пусть на некоторый момент времени t средствами РТВ обнаружено восемь СВН противника

$$O_t = \{o_1, o_2, o_3, o_4, o_5, o_6, o_7, o_8\}$$

со следующими характеристиками (см. этапы 1, 2 разработанного метода формализации задачи определения направлений ударов СВН противника в ходе боевых действий на основе нечеткой автоматической классификации (далее – разработанного метода)):

- 1) $o_1 = \langle Q_1, X_1, Y_1 \rangle, Q_1 = 47^\circ, X_1 = 45,031^\circ, Y_1 = 30,424^\circ$;
- 2) $o_2 = \langle Q_2, X_2, Y_2 \rangle, Q_2 = 53^\circ, X_2 = 45,038^\circ, Y_2 = 30,754^\circ$;
- 3) $o_3 = \langle Q_3, X_3, Y_3 \rangle, Q_3 = 45^\circ, X_3 = 45,288^\circ, Y_3 = 30,565^\circ$;
- 4) $o_4 = \langle Q_4, X_4, Y_4 \rangle, Q_4 = 228^\circ, X_4 = 47,339^\circ, Y_4 = 31,702^\circ$;
- 5) $o_5 = \langle Q_5, X_5, Y_5 \rangle, Q_5 = 229^\circ, X_5 = 47,322^\circ, Y_5 = 31,571^\circ$;
- 6) $o_6 = \langle Q_6, X_6, Y_6 \rangle, Q_6 = 229^\circ, X_6 = 47,367^\circ, Y_6 = 31,476^\circ$;
- 7) $o_7 = \langle Q_7, X_7, Y_7 \rangle, Q_7 = 154^\circ, X_7 = 47,316^\circ, Y_7 = 30,15^\circ$;
- 8) $o_8 = \langle Q_8, X_8, Y_8 \rangle, Q_8 = 155^\circ, X_8 = 47,316^\circ, Y_8 = 30,353^\circ$.

Характеристики СВН противника в данном примере подобраны таким образом, чтобы можно было интуитивно на предварительном этапе выделить три направления удара, представляющих три четких множества СВН противника (рис. 3).

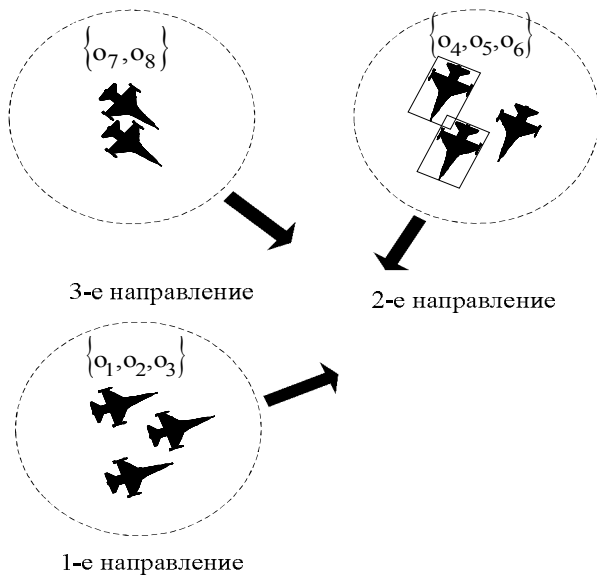


Рис. 3. Схематичное представление обнаруженных средствами РТВ на момент времени t СВН противника $O_t = \{o_1, o_2, o_3, o_4, o_5, o_6, o_7, o_8\}$ и их интуитивная четкая классификация по трем направлениям удара

В результате выполнения нормализации получают следующие нормированные характеристики СВН противника (см. этап 3 разработанного метода):

1) $o_1 = \langle z_1^Q, z_1^X, z_1^Y \rangle, z_1^Q = 0,205, z_1^X = 0,951, z_1^Y = 0,96;$

- 2) $o_2 = \langle z_2^Q, z_2^X, z_2^Y \rangle, z_2^Q = 0,231, z_2^X = 0,951, z_2^Y = 0,97;$
 3) $o_3 = \langle z_3^Q, z_3^X, z_3^Y \rangle, z_3^Q = 0,197, z_3^X = 0,956, z_3^Y = 0,964;$
 4) $o_4 = \langle z_4^Q, z_4^X, z_4^Y \rangle, z_4^Q = 0,996, z_4^X = 0,999, z_4^Y = 1;$
 5) $o_5 = \langle z_5^Q, z_5^X, z_5^Y \rangle, z_5^Q = 1, z_5^X = 0,999, z_5^Y = 0,996;$
 6) $o_6 = \langle z_6^Q, z_6^X, z_6^Y \rangle, z_6^Q = 1, z_6^X = 1, z_6^Y = 0,993;$
 7) $o_7 = \langle z_7^Q, z_7^X, z_7^Y \rangle, z_7^Q = 0,672, z_7^X = 0,999, z_7^Y = 0,951;$
 8) $o_8 = \langle z_8^Q, z_8^X, z_8^Y \rangle, z_8^Q = 0,677, z_8^X = 0,999, z_8^Y = 0,957.$

Приведение переменных исследуемых объектов в данном примере к единой системе измерений позволяет визуализировать пространственное положение СВН противника в трехмерной плоскости, где в качестве значений осей выступают нормализованные данные о курсе полета и координатах (широте и долготе) положения СВН противника. На рис. 4 показаны также результаты нормирования и визуализации в среде MatLab данных об СВН противника, полученные с использованием четырех наиболее часто используемых способов нормирования, рассмотренных в [4]. Используемый в разработанном методе способ нормирования по максимальному значению переменной соответствует 4-му способу на рис. 4.

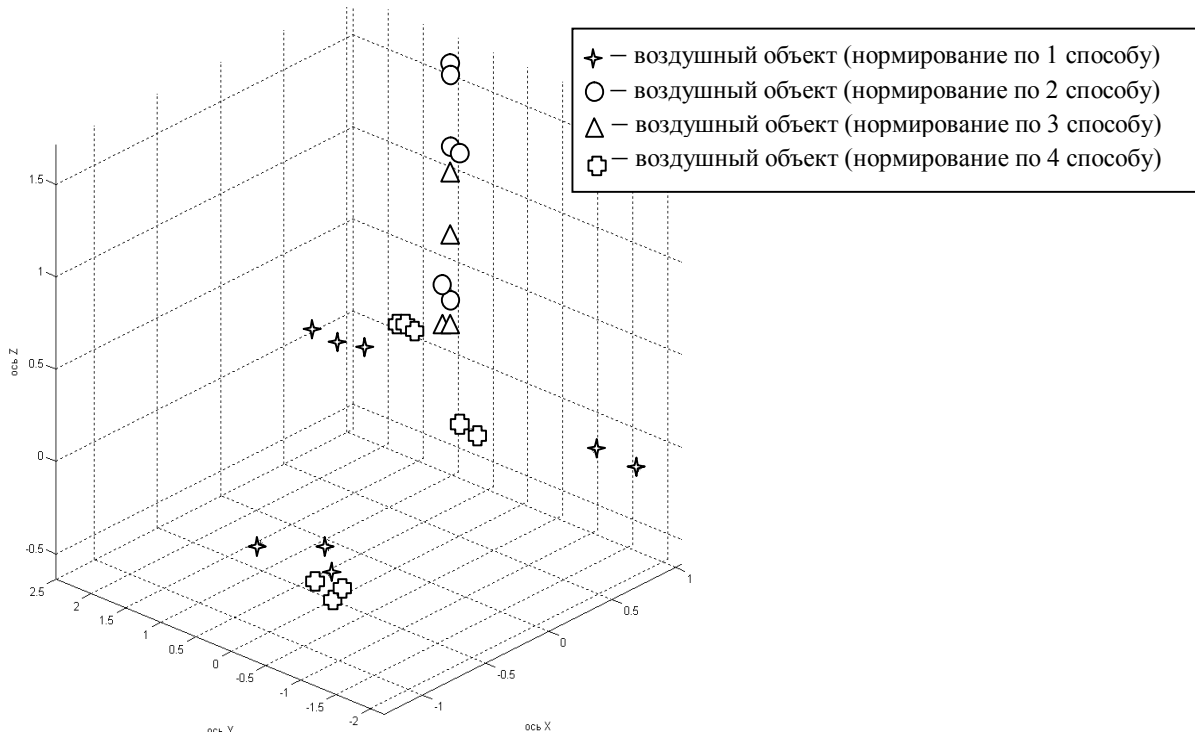


Рис. 4. Визуализация пространственного положения СВН противника в трехмерной плоскости по данным о курсе полета и координатах, нормализованных с использованием 4-х подходов к нормализации

Согласно выражения (2) определяются элементы матрицы расстояний между объектами (средства воздушного нападения противника) в виде выражения (3):

$$d_{N \times N} = \begin{bmatrix} 0 & 0,028 & 0,011 & 0,793 & 0,797 & 0,797 & 0,47 & 4,474 \\ 0,028 & 0 & 0,036 & 0,766 & 0,771 & 0,77 & 0,444 & 0,448 \\ 0,011 & 0,036 & 0 & 0,801 & 0,805 & 0,805 & 0,478 & 0,482 \\ 0,793 & 0,766 & 0,801 & 0 & 6,023 \times 10^{-3} & 8,381 \times 10^{-3} & 0,327 & 0,322 \\ 0,797 & 0,771 & 0,805 & 6,023 \times 10^{-3} & 0 & 3,144 \times 10^{-3} & 0,331 & 0,325 \\ 0,797 & 0,77 & 0,805 & 8,381 \times 10^{-3} & 3,144 \times 10^{-3} & 0 & 0,33 & 0,325 \\ 0,47 & 0,444 & 0,478 & 0,327 & 0,331 & 0,33 & 0 & 7,751 \times 10^{-3} \\ 0,474 & 0,448 & 0,482 & 0,322 & 0,325 & 0,325 & 7,751 \times 10^{-3} & 0 \end{bmatrix}$$

Задается по умолчанию порог различия объектов (СВН противника) $\alpha = 0,1$. Для заданного порога различия строится четкое отношение несходства I_α в соответствии с условием (5):

$$I_\alpha = \left\{ \begin{array}{l} (o_1, o_4), (o_1, o_5), (o_1, o_6), (o_1, o_7), (o_1, o_8), (o_2, o_4), (o_2, o_5), (o_2, o_6), (o_2, o_7), (o_2, o_8), \\ (o_3, o_4), (o_3, o_5), (o_3, o_6), (o_3, o_7), (o_3, o_8), (o_4, o_1), (o_4, o_2), (o_4, o_3), (o_4, o_7), (o_4, o_8), \\ (o_5, o_1), (o_5, o_2), (o_5, o_3), (o_5, o_7), (o_5, o_8), (o_6, o_1), (o_6, o_2), (o_6, o_3), (o_6, o_7), (o_6, o_8), \\ (o_7, o_1), (o_7, o_2), (o_7, o_3), (o_7, o_4), (o_7, o_5), (o_7, o_6), \\ (o_8, o_1), (o_8, o_2), (o_8, o_3), (o_8, o_4), (o_8, o_5), (o_8, o_6) \end{array} \right\}$$

Вычисляются следующие максимально внутренне устойчивые множества исходя из построенного четкого отношения несходства

$$I_\alpha : A_1 = A_2 = A_3 = A_1^o = \{ o_1, o_2, o_3 \};$$

$$A_4 = A_5 = A_6 = A_2^o = \{ o_4, o_5, o_6 \};$$

$$A_7 = A_8 = A_3^o = \{ o_7, o_8 \}.$$

Из множества внутренне устойчивых множеств $\{A_1^o, A_2^o, A_3^o\}$ по критерию (8) (соблюдаются оба условия выделения кластеров) выделяется множество нечетких кластеров (направлений ударов)

$$C = \{A_1^k, A_2^k, A_3^k\},$$

$$C_{K \times N} = \begin{bmatrix} 1 & 0,9649 & 0,9862 & 0,005 & 0 & 0 & 0,41 & 0,405 \\ 0,0099 & 0,0436 & 0 & 1 & 0,9924 & 0,9895 & 0,5917 & 0,598 \\ 0,0167 & 0,0711 & 0 & 0,3158 & 0,3075 & 0,3096 & 1 & 0,9837 \end{bmatrix}$$

Таким образом, в результате выполнения разрабатываемого в статье метода формализации задачи определения направлений ударов СВН противника в ходе боевых действий на основе нечеткой автомати-

где $A_1^k = \{o_1, o_2, o_3\}$; $A_2^k = \{o_4, o_5, o_6\}$;

$$A_3^k = \{o_7, o_8\}.$$

Определяются центры полученных кластеров:

для кластера A_1^k его центром является точка $\tau_1 = o_1$.

для кластера A_2^k его центром является точка $\tau_2 = o_4$.

для кластера A_3^k его центром является точка $\tau_3 = o_7$.

В соответствии с выражением (9) строится матрица $C_{K \times N}$ нечеткого покрытия

$C = \{A_1^k, A_2^k, A_3^k\}$ множества СВН противника

$$O_t = \{o_1, o_2, o_3, o_4, o_5, o_6, o_7, o_8\}:$$

ческой классификации получаем следующие нечеткие кластеры, представляющие определенные направления ударов СВН противника на момент времени t :

$$A_1^{Fk} = \left\{ \frac{1}{o_1}, \frac{0,9649}{o_2}, \frac{0,9862}{o_3}, \frac{0,005}{o_4}, \frac{0}{o_5}, \frac{0}{o_6}, \frac{0,41}{o_7}, \frac{0,405}{o_8} \right\},$$

$$A_2^{Fk} = \left\{ \frac{0,0099}{o_1}, \frac{0,0436}{o_2}, \frac{0}{o_3}, \frac{1}{o_4}, \frac{0,9924}{o_5}, \frac{0,9895}{o_6}, \frac{0,5917}{o_7}, \frac{0,598}{o_8} \right\},$$

$$A_3^{Fk} = \left\{ \frac{0,0167}{o_1}, \frac{0,0711}{o_2}, \frac{0}{o_3}, \frac{0,3158}{o_4}, \frac{0,3075}{o_5}, \frac{0,3096}{o_6}, \frac{1}{o_7}, \frac{0,9837}{o_8} \right\}.$$

Выводы

В общем случае, методы нечеткой кластеризации позволяют ослабить требование нахождения однозначной кластеризации элементов исследуемой проблемной области, которое является достаточно грубым и жестким, особенно при решении задач распознавания замысла действий средств воздушно-го нападения противника.

Ослабление требования осуществляется за счет введения в рассмотрение нечетких кластеров (направлений ударов СВН противника) и соответствующих им функций принадлежности, принимающих значения из интервала $[0,1]$.

При этом, собственно задача определения направлений ударов СВН противника в ходе боевых действий в рамках разработанного метода сводится к нахождению степеней принадлежности СВН противника искомым направлениям ударов, представленным в виде нечетких кластеров. Полученные нечеткие кластеры, в свою очередь, определяют нечеткое покрытие исходного множества СВН противника.

Таким образом, разработанный и представленный в рамках данной статьи метод формализации задачи определения направлений ударов средств воздушного нападения противника в ходе боевых действий на основе нечеткой автоматической классификации обеспечивает нахождение нечеткого покрытия множества СВН противника, обнаруженных средствами РТВ.

Список литературы

1. Леоненков А.В. «Нечеткое моделирование в среде MATLAB и fuzzyTECH» / А.В. Леоненков. – СПб.: БХВ-Петербург, 2005. – 736 с.: ил.
2. Метод определения направления удара средств воздушного нападения в границах оперативного направления / М.А. Павленко, О.В. Сисков, О.В. Перепелица, В.Н. Руденко // *Моделивання та інформаційні технології*. – К.: НАНУ, ІПМЕ ім. Г.Є. Пухова. – 2005. – Вип. № 33 – С. 112-121.
3. Герасимов Б.М. Нечеткие множества в задачах проектирования, управления и обработки информации / Б.М. Герасимов, Г.Г. Грабовский, Н.А. Рюмин. – К.: Техніка, 2002. – 140 с.
4. Мандель И.Д. Кластерный анализ / И.Д. Мандель. – М.: Финансы и статистика. 1988. – 176 с.: ил.
5. Прикладная статистика: классификация и снижение размерности: справ. изд. / С.А. Айвазян, В.М. Бушитабер, И.С. Енюков, Л.Д. Мешалкин; под ред. С.А. Айвазяна. – М.: Финансы и статистика, 1989. – 607 с.: ил.
6. Вятчинин Д.А. Нечеткие методы автоматической классификации: Монография / Д.А. Вятчинин – Мн.: УП «Технопринт», 2004 – 219 с.
7. Вятчинин Д.А. Общая схема выбора типа метода и алгоритма нечеткого подхода в кластерном анализе // *Новые информационные технологии: мат-лы V Междунар. конф. НИТ'2002 (Минск, 20 – 31 октября 2002 г.)*. Т.1. / под ред. А.Н. Морозевича, Н.Н. Говядиновой, А.М. Зеневич, Л.С. Черепицы. – Минск: БГЭУ, 200. – С. 102-107.

Поступила в редколлегию 27.10.2011

Рецензент: д-р техн. наук, проф. Б.А. Демидов, Харьковский университет Воздушных Сил им. И. Кожедуба, Харьков.

МЕТОД ФОРМАЛІЗАЦІЇ ЗАДАЧІ ВИЗНАЧЕННЯ НАПРЯМКІВ УДАРІВ ЗАСОБІВ ПОВІТРЯНОГО НАПАДУ ПРОТИВНИКА НА ОСНОВІ АВТОМАТИЧНОЇ НЕЧІТКОЇ КЛАСИФІКАЦІЇ

С.А. Олізаренко, О.В. Перепелиця, В.О. Капранов

В статті представлено розроблений авторами в нечіткій постановці метод формалізації задачі визначення напрямків ударів засобів повітряного нападу противника у ході ведення бойових дій на основі використання евристичного методу нечіткої кластеризації Кутюр'є-Фьолео. Наведено приклад практичного використання розробленого методу.

Ключові слова: автоматична класифікація, нечіткий кластерний аналіз, нечітка множина, нечітке покриття.

THE FORMALIZATION METHOD OF THE PROBLEM OF DIRECTION MEASUREMENT OF BLOWS OF MEANS OF AN AIR ATTACK OF THE OPPONENT ON THE BASIS OF AUTOMATIC FUZZY CLASSIFICATION

S.A. Olizarenko, A.V. Perepelitca, V.A. Kapranov

In article the formalization method of the problem of direction measurement of blows of means of an air attack is offer with use of the method of a heuristic fuzzy Couturier-Fioleau clustering.

Keywords: automated clustering, fuzzy cluster analysis, fuzzy set, fuzzy cover.