

А.А. ЛИПАТОВ, В.Н. УШАКОВ, М.В. НИКИТИНА  
**МЕТОДЫ ВЫЯВЛЕНИЯ ОДНОРОДНЫХ И НЕОДНОРОДНЫХ  
ГРУПП ОБЪЕКТОВ НА ОСНОВЕ НЕОПРЕДЕЛЕННЫХ  
КАЧЕСТВЕННЫХ ДАННЫХ**

---

*Липатов А.А., Ушаков В.Н., Никитина М.В. Методы выявления однородных и неоднородных групп объектов на основе неопределенных качественных данных.*

**Аннотация.** В статье предложены критерии выявления групп объектов на основе неопределенных оценок значений их качественных признаков.

Решаются задачи выявления однородных и неоднородных групп объектов. В однородных группах значения одноименных качественных признаков всех объектов совпадают. В неоднородных группах значения таких признаков могут не совпадать, однако должны удовлетворять априорно заданным допустимым сочетаниям.

Для выявления групп объектов применяется теоретико-графовый подход. При этом неопределенные оценки признаков объектов представляются в виде множеств их возможных значений. При принятии решения о принадлежности пары объектов к одной группе используется трехзначная логика, что позволяет выявлять возможные и достоверные группы.

**Ключевые слова:** группирование, качественные данные, неопределенные данные, недоопределенные вычисления, многозначная логика, теория графов.

*Lipatov A. A., Ushakov V.N., Nikitina M.V. Methods of Detecting Homogeneous and Heterogeneous Groups of Objects based on Uncertain Qualitative Data.*

**Abstract.** In this paper, the criteria of detection of groups of objects are suggested. These criteria are based on uncertain estimates of objects qualitative attributes. The tasks of the homogeneous and heterogeneous detection of groups of objects are solved. In the homogeneous groups, the values of cognominal qualitative attributes are equal. In the heterogeneous groups, the values of such attributes may differ, but they have to match the a priori set valid combinations. The groups detection is based on the graph-theoretical approach. The decision about the pair of objects belonging to the same group is made by the ternary logic. That allows detecting possible and reliable object groups.

**Keywords:** grouping, qualitative data, uncertain data, subdefinite computations, multiple-valued logic, graph theory.

---

**1. Введение.** Задача выявления групп (группирования) взаимодействующих объектов встречается во многих предметных областях, в частности, в радиолокации, информационной безопасности и др. В человеко-машинных системах, операторы которых должны воспринимать и анализировать информацию о большом количестве объектов за ограниченное время, применяется обобщение отображаемой информации на основе группирования наблюдаемых объектов.

Группирование объектов особенно актуально в условиях, когда их взаимодействие может вызвать «эффект роя» [1-3].

Группируемые объекты описываются набором своих координат состояния (КС), которые могут быть как количественными (например,

координаты в пространстве, скорость и курс подвижных объектов), так и качественными (класс, тип, принадлежность какому-либо субъекту и др.).

Признаком принадлежности объектов к одной группе может быть их близость в пространстве КС. Понятие близости объектов формализуется в виде некоторых показателей, на основе которых формулируются критерии принадлежности объектов к одной группе.

Так, в пространстве количественных КС показателями близости объектов могут служить евклидово расстояние, квадрат евклидова расстояния, взвешенное евклидово расстояние между объектами и др. В [4] в качестве показателя близости предложено отношение  $r_{cp}/R_{cp}$ , где  $r_{cp}$  — среднее расстояние между объектами в группе, а  $R_{cp}$  — среднеерасстояние между группами, в [5] показателями близости служат модули разностей значений одноименных КС объектов.

Критерии принадлежности объектов к одной группе могут быть как экстремальными [4], так и пороговыми [5]. При этом в ряде практически значимых приложений для группирования могут использоваться априорно заданные пороговые значения [5].

В пространстве качественных КС (признаков) будем рассматривать два критерия принадлежности объектов к одной группе. Первый из них требует совпадения значений одноименных признаков объектов. Группы объектов, выделенные по этому критерию, будем называть *однородными*.

Второй критерий требует, чтобы значения одноименных качественных признаков всех объектов группы образовывали допустимые сочетания, заданные априорно. Такие группы объектов будем называть *неоднородными*.

Следует учитывать, что оценки КС многих реальных объектов характеризуются неопределенностью, обусловленной как ошибками их оценивания, так и неполнотой информации об объектах. В связи с этим актуальной является разработка методов группирования объектов на основе неопределенных количественных и качественных данных.

*Целью данной статьи* является разработка методов выявления однородных и неоднородных групп объектов на основе неопределенных значений их качественных признаков.

**2. Методы группирования объектов.** В настоящее время известны методы группирования объектов, предназначенные для использования в различных предметных областях [4-18]. С помощью этих методов решаются задачи обнаружения и сопровождения множественных объектов [6], сегментации совместно движущихся объектов [7], распознавания их групповых действий [8].

Примеры методов группирования, ориентированных на использование точных оценок КС объектов, представлены в [4, 5, 9, 10].

Широкое применение для группирования объектов в условиях неопределенности нашли подходы нечеткой логики и нечеткой кластеризации [11-14]. Используются также генетические алгоритмы [15], нейронные сети [16], недоопределенные вычисления [17, 18] и другие подходы из области искусственного интеллекта.

При группировании объекты описываются набором их КС  $X = \{x_1, x_2, \dots, x_k, x_{k+1}, \dots, x_n\}$ , где  $X_{quant} = \{x_1, x_2, \dots, x_k\}$  – количественные КС, а  $X_{qual} = \{x_{k+1}, x_{k+2}, \dots, x_n\}$  — качественные признаки объекта.

Для каждой КС  $x_i$ ,  $i = \overline{1, n}$  известно множество  $A_i$  ее допустимых точных значений. Для числовых КС — это множества целых или действительных чисел, а для качественных признаков – множества символьных значений, соответствующих тем или иным возможным состояниям данного параметра объекта.

Если используются точные данные об объекте, то оценки КС  $x_i$ ,  $i = \overline{1, n}$  имеют значения в виде элементов множеств  $A_i$ .

Группирование объектов может быть основано на проверке пар объектов на принадлежность к одной группе [5]. Обозначим критерий принадлежности пары объектов  $p$  и  $q$  к одной группе  $Cg(p, q)$ . Для проверки его выполнения используется ряд частных критериев близости объектов в некоторых подпространствах пространства КС объектов.

Например, для каждой  $i$ -ой КС пары объектов  $i = \overline{1, n}$  задается критерий  $Cr_i(x_{pi}, x_{qi})$ , где  $x_{pi}$  и  $x_{qi}$  — значения этой координаты объектов  $p$  и  $q$  соответственно. Пара объектов  $p$  и  $q$  считается принадлежащей к одной группе, если для любого  $i = \overline{1, n}$  критерий  $Cr_i(x_{pi}, x_{qi})$  выполняется.

Для количественных КС  $Cr_i(x_{pi}, x_{qi})$  может иметь вид [5]:

$$\left| x_{pi} - x_{qi} \right| < \varepsilon_i, \quad i = \overline{1, k}, \quad (1)$$

где  $\varepsilon_i$  — априорно заданное максимально допустимое различие значений  $i$ -х КС.

Также для любого множества КС  $X' \subseteq X_{quant}$  может быть задан критерий  $Cr'(X'_p, X'_q)$  близости объектов  $p$  и  $q$  в пространстве ко-

ординат  $X'$ . Такой критерий может быть основан на евклидовом расстоянии между точками в этом пространстве, квадрате евклидова расстояния, взвешенном евклидовом расстоянии и др.

Для качественных признаков критерий принадлежности пары объектов  $p$  и  $q$  к *однородной* группе имеет вид:

$$x_{pi} = x_{qi}, \quad i = \overline{k+1, n}. \quad (2)$$

Критерий принадлежности пары объектов  $p$  и  $q$  к *неоднородной* группе формулируется следующим образом:

$$x_{pi} \in D_i, \quad x_{qi} \in D_i, \quad i = \overline{k+1, n}, \quad (3)$$

где  $D_i \subset A_i$  – допустимое сочетание значений  $i$ -го признака объектов в группе.

С использованием указанных критериев вывод о принадлежности пары объектов  $p$  и  $q$  к одной группе можно сделать в следующем случае: для любого  $l = \overline{1, k}$  выполняется критерий  $Cr_l(x_{pl}, x_{ql})$  либо  $Cr'(X'_p, X'_q)$ ,  $x_{pl} \in X'_p$ ,  $x_{ql} \in X'_q$ , и для любого  $l = \overline{k+1, n}$  выполняется критерий  $Cr_l(x_{pl}, x_{ql})$ .

Для выявления групп объектов на основе описанных выше критериев можно использовать методы теории графов [5]. Строится граф, вершины которого соответствуют объектам, а ребра обозначают принадлежность пары объектов к одной группе. Задача группирования объектов решается путем выделения связанных компонент графа с помощью алгоритма поиска в глубину [19].

**3. Методы группирования объектов с неопределенными координатами состояния.** Наиболее простым способом учета неопределенности оценок значений КС объектов является представление количественных КС в виде числовых интервалов, а качественных признаков в виде множеств их возможных значений, включающих в себя действительные, но неизвестные в данный момент значения этих КС.

В этом случае объект представляется набором своих КС  $\{^*x_1, ^*x_2, \dots, ^*x_k, ^*x_{k+1}, \dots, ^*x_n\}$ , где  $^*x_i, i = \overline{1, k}$  — его количественные координаты, а  $^*x_i, i = \overline{k+1, n}$  — качественные признаки.

Каждая количественная КС  $^*x_i, i = \overline{1, k}$ , может быть представлена интервалом с нижней границей  $x_{iН} = \hat{x} - \Delta x_i$  и верхней границей

$x_{iB} = \hat{x} + \Delta x_i$ , где  $\hat{x}_i = x_i + \xi_i$  — текущая оценка  $i$ -й КС объекта (число),  $x_i$  — ее истинное значение,  $\xi_i$  — ошибка ее измерения,  $\Delta x_i = 3\sigma_i$ ,  $\sigma_i$  — среднеквадратичное отклонение величины  $\xi_i$ .

Для качественных признаков  $x_i^*$ ,  $i = \overline{k+1, n}$  известны конечные множества их возможных значений  $A_i$ , а текущие оценки их значений представлены множествами  $B_i \subseteq A_i$ . При  $|B_i| = 1$  значение  $x_i^*$  известно точно, а случай, когда  $|B_i| = |A_i|$  соответствует полной неопределенности значения  $x_i^*$ .

Учитывая, что в условиях неопределенности исходных данных заключение о принадлежности объекта к той или иной группе также может быть неоднозначным, целесообразно ввести два типа групп: *возможные* и *достоверные*. Представлять такие группы можно с помощью недоопределенных множеств (Н-множеств) [20].

Н-множество  $S$  представляется тремя компонентами:

$$S = S^+, S^-, M,$$

где  $S^+$  — множество элементов, которые точно принадлежат  $S$ ,  $S^-$  — множество элементов, которые точно не принадлежат  $S$ ,  $M$  — мощность Н-множества  $S$ . Мощность  $M$  Н-множества  $S$  представляет собой множество целых чисел (как правило, интервал), удовлетворяющих следующим условиям:

$$\forall m \in M \quad m \geq \text{card}(S^+), m \leq \text{card}(U) - \text{card}(S^-),$$

где  $\text{card}(Y)$  — мощность множества  $Y$ ,  $U$  — множество всех потенциальных элементов Н-множества  $S$ . Мощность множества  $M$  служит индикатором определенности задания соответствующего Н-множества. Чем она меньше, тем точнее определено Н-множество. При  $\text{card}(M) = 1$   $S$  представляет собой обычное множество, все элементы которого точно известны, и может отображать достоверную группу объектов. Если  $\text{card}(M) > 1$ , то  $S$  — это Н-множество, и с его помощью представляется возможная группа объектов.

Для обработки КС и групп объектов, представленных таким образом, можно использовать методы недоопределенных вычислений [21].

Выявление возможных и достоверных групп осуществляется на основе логических условий, выраженных с помощью недоопределенного расширения булевой алгебры, построенного по правилам, предложенным в [21]. Такое недоопределенное расширение имеет логические значения  $\{0\}$ ,  $\{1\}$ ,  $\{0,1\}$ , которые интерпретируются как Ложь, Истина и Неопределенность соответственно. С содержательной точки зрения Неопределенность представляет возможное выполнение проверяемого условия.

На основе этого подхода ранее были разработаны способы группирования объектов с учетом их неопределенных количественных КС [17, 18]. В данной работе предлагается способ, который позволяет проводить группирование с использованием как количественных, так и качественных КС.

Как и при использовании точных оценок КС объектов, для каждой КС  ${}^*x_i$ ,  $i = \overline{1, n}$  может быть задано условие, необходимое, но не достаточное для отнесения пары объектов  $p$  и  $q$  к одной группе. Однако, учитывая неопределенность оценок КС  ${}^*x_i$ , о таком условии можно сказать, что оно либо выполняется, либо не выполняется, либо возможно выполняется. Чтобы отличать такое условие от приведенных выше критериев вида  $Cr_i(x_{pi}, x_{qi})$ , будем обозначать его  ${}^*Cr_i({}^*x_{pi}, {}^*x_{qi})$ .

Тогда критерий принадлежности пары объектов  $p$  и  $q$  к одной группе  ${}^*Cg(p, q)$  можно сформулировать следующим образом.

Если существует  $i \in \{1, 2, \dots, n\}$ , для которого  ${}^*Cr_i({}^*x_{pi}, {}^*x_{qi})$  не выполняется, то объекты  $p$  и  $q$  *не принадлежат* к одной группе.

Если не существует  $i \in \{1, 2, \dots, n\}$ , для которого  ${}^*Cr_i({}^*x_{pi}, {}^*x_{qi})$  не выполняется, но существует  $i \in \{1, 2, \dots, n\}$ , для которого  ${}^*Cr_i({}^*x_{pi}, {}^*x_{qi})$  возможно выполняется, то объекты  $p$  и  $q$  *возможно принадлежат* к одной группе.

Если для любого  $i \in \{1, 2, \dots, n\}$  условие  ${}^*Cr_i({}^*x_{pi}, {}^*x_{qi})$  выполняется, то  $p$  и  $q$  *достоверно принадлежат* к одной группе.

Влияние частных критериев  ${}^*Cr_i({}^*x_{pi}, {}^*x_{qi})$  на результат проверки обобщенного критерия  ${}^*Cg(p, q)$  представлено в таблице 1.

Таблица 1. Правила проверки пары объектов на принадлежность к одной группе

| Критерий                   | Выполнение           |                      |             |
|----------------------------|----------------------|----------------------|-------------|
|                            | Не выполняется       | Возможно выполняется | Выполняется |
| ${}^*Cg(p, q)$             | Не выполняется       | Возможно выполняется | Выполняется |
| ${}^*Cr_1(x_{p1}, x_{q1})$ | Выполняется          | Выполняется          | Выполняется |
| ${}^*Cr_2(x_{p2}, x_{q2})$ | Возможно выполняется | Выполняется          | Выполняется |
| ...                        | ...                  | ...                  | ...         |
| ${}^*Cr_i(x_{pi}, x_{qi})$ | Не выполняется       | Возможно выполняется | Выполняется |
| ...                        | ...                  | ...                  | ...         |
| ${}^*Cr_n(x_{pn}, x_{qn})$ | Выполняется          | Выполняется          | Выполняется |

Варианты критерия  ${}^*Cr_i(x_{pi}, x_{qi})$  для неопределенных количественных КС предложены в [17, 18]. Один из них представляет собой недоопределенное расширение критерия (1) и сформулирован следующим образом [18].

Если  $|\hat{x}_{pi} - \hat{x}_{qi}| > \varepsilon_i + \Delta x_{pi} + \Delta x_{qi}$ , то  ${}^*Cr_i(x_{pi}, x_{qi})$  не выполняется.

Если  $|\hat{x}_{pi} - \hat{x}_{qi}| \leq \varepsilon_i + \Delta x_{pi} + \Delta x_{qi}$  и  $|\hat{x}_{pi} - \hat{x}_{qi}| > \varepsilon_i - \Delta x_{pi} - \Delta x_{qi}$ , то  ${}^*Cr_i(x_{pi}, x_{qi})$  возможно выполняется.

Если  $|\hat{x}_{pi} - \hat{x}_{qi}| \leq \varepsilon_i - \Delta x_{pi} - \Delta x_{qi}$ , то  ${}^*Cr_i(x_{pi}, x_{qi})$  достоверно выполняется.

Частный критерий принадлежности пары объектов  $p$  и  $q$  к однородной группе по качественному признаку  $x_i, i = k+1, n$  формулируется следующим образом.

Если  $B_{pi} \cap B_{qi} = \emptyset$ , то  ${}^*Cr_i(x_{pi}, x_{qi})$  не выполняется.

Если  $|B_{pi}| > 1$  и (или)  $|B_{qi}| > 1$  и  $B_{pi} \cap B_{qi} \neq \emptyset$ , то  ${}^*Cr_i(x_{pi}, x_{qi})$  возможно выполняется.

Если  $|B_{pi}| = |B_{qi}| = 1$  и  $B_{pi} = B_{qi}$ , то  ${}^*Cr_i(x_{pi}, x_{qi})$  достоверно выполняется.

Примеры проверки критерия принадлежности пары объектов к однородной группе  ${}^*Cr_i(x_{pi}, x_{qi})$  для качественных признаков приведены на рисунке 1.

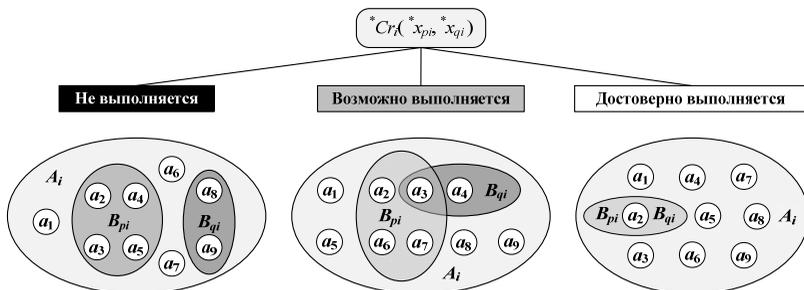


Рис. 1. Проверка критерия принадлежности объектов  $p$  и  $q$  к однородной группе по  $i$ -му качественному признаку

Частный критерий принадлежности пары объектов  $p$  и  $q$  к *неоднородной* группе по качественному признаку  ${}^*x_i$ ,  $i = k+1, n$  при допустимом сочетании значений данного признака в группе  $D_i \subset A_i$  формулируется следующим образом.

Если  $B_{pi} \cap D_i = \emptyset$  и (или)  $B_{qi} \cap D_i = \emptyset$ , то  ${}^*Cr_i({}^*x_{pi}, {}^*x_{qi})$  *не выполняется*.

Если  $B_{pi} \cap D_i \neq \emptyset$  и  $B_{qi} \cap D_i \neq \emptyset$  и  $B_{pi} \not\subset D_i$  и (или)  $B_{qi} \not\subset D_i$ , то  ${}^*Cr_i({}^*x_{pi}, {}^*x_{qi})$  *возможно выполняется*.

Если  $B_{pi} \subseteq D_i$  и  $B_{qi} \subseteq D_i$ , то  ${}^*Cr_i({}^*x_{pi}, {}^*x_{qi})$  *достоверно выполняется*.

Пример проверки данного критерия для  $i$ -го качественного признака представлен на рисунке 2.

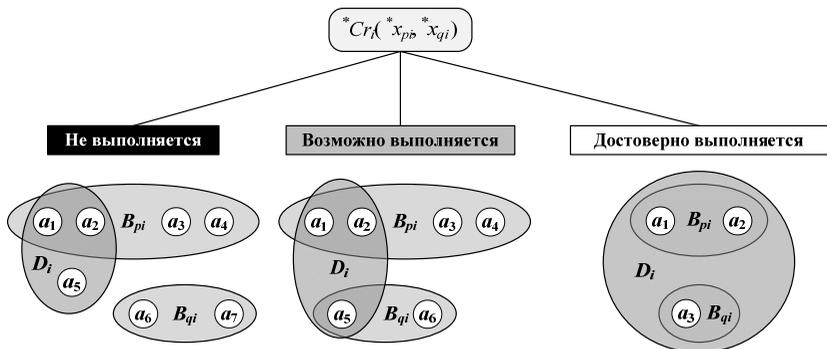


Рис. 2. Проверка критерия принадлежности объектов  $p$  и  $q$  к неоднородной группе по  $i$ -му качественному признаку

Для выявления групп объектов строится граф, вершины которого соответствуют объектам, а ребра, в отличие от графа, предложенного в [5], могут быть двух типов и обозначают достоверную или возможную принадлежность пары объектов к одной группе [17]. В таком графе возможной группе соответствует связная компонента, в которой есть не менее одной пары вершин, любой путь между которыми включает в себя хотя бы одно возможное ребро. Достоверной группе соответствует связная компонента графа, в которой между любой парой вершин существует не менее одного пути, состоящего только из достоверных ребер.

Выявление связных компонент графа выполняется в два этапа с помощью алгоритма, предложенного в [17]. На первом этапе с использованием известного алгоритма поиска в глубину [19] выделяются достоверные группы объектов. Затем путем попарного сравнения вершин из различных достоверных групп выделяются возможные группы объектов.

**4. Заключение.** В данной работе рассмотрены способы группирования объектов без учета и с учетом неопределенности оценок их количественных и качественных КС.

Предложены критерии определения принадлежности пары объектов к одной возможной или достоверной группе на основе неопределенных количественных и качественных данных об объектах. Эти критерии, с учетом возможных ограничений на сочетания значений одноименных качественных признаков объектов в группе, позволяют выявлять однородные и неоднородные группы объектов.

С использованием предложенных критериев выявление групп объектов осуществляется на основе их представления в виде графа, вершины которого соответствуют объектам, а ребра обозначают достоверную или возможную принадлежность пары объектов к одной группе. Группам объектов соответствуют связные компоненты данного графа, которые выделяются с помощью модифицированного алгоритма поиска в глубину.

## Литература

1. *Канащенко А.И., Меркулов В.И., Самарин О.Ф.* Облик перспективных бортовых радиолокационных систем // Возможности и ограничения. М.: ИПРЖР. 2002.
2. *Li X., Yao X.* Cooperatively coevolving particle swarms for large scale optimization // IEEE Trans. Evol. Comput. 2012. vol. 16. no. 2. pp. 210–224.
3. *Верба В.С., Меркулов В.И.* Теоретические и прикладные проблемы разработки систем радиоуправления нового поколения // Радиотехника. 2013. № 1. С. 64–68.
4. *Горощенко Л.Б.* Методы координированного наведения и атаки несколькими истребителями группы самолетов противника // Полет. 2000. № 6. С. 32–36.
5. *Кирсанов А.П., Сорвенков О.С., Сузанский Д.Н.* Методы обработки радиолокационной информации при сопровождении компактных групп воздушных объектов // Радиотехника. 1996. № 10. С. 102–108.

6. Kryś S., Jankowski S. Extended hierarchical temporal memory for visual object tracking // *Photonics Applications in Astronomy, Communications, Industry, and High-Energy Physics Experiments 2011*. International Society for Optics and Photonics. 2011. vol. 8008. pp. 80081C–80081C-9.
7. Wu S., San Wong H. Joint segmentation of collectively moving objects using a bag-of-words model and level set evolution // *Pattern Recognition*. 2012. vol. 45. no. 9. pp. 3389–3401.
8. Lan T. et al. Discriminative latent models for recognizing contextual group activities // *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*. 2012. vol. 34. no. 8. pp. 1549–1562.
9. Лучков Н.В., Пчелин Н.А. Группирование объектов на основе радиолокационных наблюдений. // *Автоматизация процессов управления*. 2014. № 2(36). С. 16–19.
10. Вахненко В.А., Матвеев П.А., Цишук А.А. Группирование воздушных целей // *Успехи современной радиоэлектроники*. 2014. № 3. С. 11–13.
11. Pedrycz W., Bargiela A. An Optimization of Allocation of Information Granularity in the Interpretation of Data Structures: Toward Granular Fuzzy Clustering // *IEEE Trans. Syst. Man. And Cybern. B*. 2012. vol. 42. no. 3. pp. 582–590.
12. Mei J.P., Chen L. A fuzzy approach for multitype relational data clustering // *IEEE transactions on Fuzzy systems*. 2012. vol. 20. no. 2. pp. 358–371.
13. Chen D. et al. A novel algorithm for finding reducts with fuzzy rough sets // *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*. 2012. vol. 20. no. 2. pp. 385–389.
14. Abdallah A.C.B., Frigui H., Gader P. Adaptive local fusion with fuzzy integrals // *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*. 2012. vol. 20. no. 5. pp. 849–864.
15. Lewis R., Pullin E. Revisiting the Restricted Growth Function Genetic Algorithm for Grouping Problems // *Evol. Comput.* 2011. vol. 19. no. 4. pp. 693–704.
16. Karasulu B., Balli S. Image Segmentation Using Fuzzy Logic, Neural Networks and Genetic Algorithms: Survey and Trends // *Mach. Graph. and Vision*. 2010. vol. 19. no. 4. pp. 367–409.
17. Лунатов А.А. Метод и алгоритм формирования групп наблюдаемых воздушных объектов с неточными координатами состояния // *Радиотехника*. 2011. №8. С. 80–83.
18. Верба В.С., Лунатов А.А., Федисов А.Н. Выявление групп воздушных объектов с учетом неопределенности их координат состояния // *Успехи современной радиоэлектроники*. 2014. №1. С. 24–29.
19. Ахо А., Хопкрофт Дж., Ульман Дж. Построение и анализ вычислительных алгоритмов: пер. с англ. // М.: Мир. 1979. 536 с.
20. Нариньяни А.С. Недоопределенные множества – новый тип данных для представления знаний // Новосибирск. 1980. 28 с.
21. Нариньяни А.С. Недоопределенность в системе представления и обработки знаний // *Изв. АН СССР. Техн. кибернетика*. 1986. № 5. С. 3–28.

## References

1. Kanaschenkov, A.I., Merkulov, V.I., Samarin, O.F. *Oblik perspektivnyh bortovyyh radiolokacionnyh sistem. Vozможности i ogranichenija*. [Image of advanced airborne radar systems. The possibilities and limitations]. Moscow: IPRZHR. 2002. (In Russ.).
2. Li X., Yao X. Cooperatively coevolving particle swarms for large scale optimization. *IEEE Trans. Evol. Comput.* 2012. vol. 16. no. 2. pp. 210–224.
3. Verba V.S., Merkulov V.I. [Theoretical and applied problems of developing a new generation of radio systems]. *Radiotekhnika – Radiotechnics*. 2013. vol. 1. pp. 64–68. (In Russ.).
4. Goroshchenko L.B. [Methods of coordinated attacks targeting several groups of enemy aircraft fighters]. *Polyet – Fly*. 2000. vol. 6. pp. 32–36. (In Russ.).

5. Kirsanov, A.P., Sorvenkov, O.S., Suzansky, D.N. [Methods of processing radar information when accompanied by compact groups of air objects]. *Radiotekhnika – Radiotechnics*. 1996. vol. 10. pp. 102–108. (In Russ.).
6. Kryś S., Jankowski S. Extended hierarchical temporal memory for visual object tracking. *Photonics Applications in Astronomy, Communications, Industry, and High-Energy Physics Experiments 2011*. International Society for Optics and Photonics. 2011. vol. 8008. pp. 80081C–80081C-9.
7. Wu S., San Wong H. Joint segmentation of collectively moving objects using a bag-of-words model and level set evolution. *Pattern Recognition*. 2012. vol. 45. no. 9. pp. 3389–3401.
8. Lan T. et al. Discriminative latent models for recognizing contextual group activities. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*. 2012. vol. 34. no. 8. pp. 1549–1562.
9. Luchkoff N.V., Pchelin N.A. [Grouping objects from radar observation]. *Avtomatika i processi upravleniya – Automatics and control processes*. 2014. vol. 2(36). pp. 16–19. (In Russ.).
10. Vakhnenko V.A., Matveev P.A., Tsishuk A.A. [Grouping of air targets]. *Uspehi sovremennoy radioelektroniki– The successes of modern radio electronics*. 2014. vol. 3. pp. 11–13. (In Russ.).
11. Pedrycz W., Bargiela A. An Optimization of Allocation of Information Granularity in the Interpretation of Data Structures: Toward Granular Fuzzy Clustering. *IEEE Trans. Syst. Man. And Cybern. B*. 2012. vol. 42. no. 3. pp. 582–590.
12. Mei J.P., Chen L. A fuzzy approach for multitype relational data clustering // *IEEE transactions on Fuzzy systems*. 2012. vol. 20. no. 2. pp. 358–371.
13. Chen D. et al. A novel algorithm for finding reducts with fuzzy rough sets // *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*. 2012. vol. 20. no. 2. pp. 385–389.
14. Abdallah A.C.B., Frigui H., Gader P. Adaptive local fusion with fuzzy integrals // *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*. 2012. vol. 20. no. 5. pp. 849–864.
15. Lewis R., Pullin E. Revisiting the Restricted Growth Function Genetic Algorithm for Grouping Problems. *Evol. Comput.* 2011. vol. 19. no. 4. pp. 693–704.
16. Karasulu B., Balli S. Image Segmentation Using Fuzzy Logic, Neural Networks and Genetic Algorithms: Survey and Trends // *Mach. Graph. and Vision*. 2010. vol. 19. no. 4. pp. 367–409.
17. Lipatov A.A. [The method and algorithm of forming groups of observed air objects with inaccurate coordinates state]. *Radiotekhnika – Radiotechnics*. 2011. vol. 8. pp. 80–83. (In Russ.).
18. Verba V.S., Lipatov A.A., Fedisov A.N. [Identify groups of air objects, taking into account the uncertainty of the state of origin]. *Uspehi sovremennoy radioelektroniki – The successes of modern radio electronics*. 2014. vol. 1. pp. 24–29. (In Russ.).
19. Aho A., Hopcroft J., Ullman J. *Postroenie i analiz vychislitel'nyh algoritmov: per. s angl.* [The Design and Analysis of Computer Algorithms: Translation from English]. Moscow: Mir. 1979. 536 p. (In Russ.).
20. Narin'yani A.S. *Nedopredelennye mnozhestva – novyj tip dannyh dlja predstavlenija znaniy* [Underdetermined sets - a new data type for representing knowledge]. Novosibirsk. 1980. 28 p. (In Russ.).
21. Narin'yani A.S. [Subdefiniteness in the knowledge representation and processing system]. *Izvestia AN SSSR. Tehnicheskya Kibernetika – Proceedings of the USSR Academy of Sciences. Technical Cybernetics*. 1986. vol. 5. pp. 3–28 (In Russ.).

**Липатов Алексей Андреевич** — к-т техн. наук, начальник лаборатории, АО "Концерн "Вега". Область научных интересов: искусственный интеллект, поддержка принятия решений, программирование в ограничениях. Число научных публикаций — 40. alexey.lipatov75@mail.ru; Кутузовский проспект, 34, Москва, 121170; р.т.: +7(499)753-40-04(92-42).

**Lipatov Alexey Andreevich** — Ph.D., head of laboratory, Joint-Stock Company «Radio Engineering Corporation «Vega». Research interests: artificial intelligence, decision support, constraint programming, cognitive computer graphic. The number of publications — 40. alexey.lipatov75@mail.ru; 34, Kutuzov avenue, Moscow, 121170, Russia; office phone: +7(499)753-40-04(92-42).

**Ушаков Валерий Николаевич** — к-т техн. наук, ведущий научный сотрудник АО "Концерн "Вега", референт отдела автоматизации и электроники Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Всероссийский институт научной и технической информации Российской академии наук (ВИНИТИ РАН). Область научных интересов: автоматика и радиоэлектроника, радиолокационные системы, робототехнические комплексы авиационного базирования, алгоритмы и программные средства, методы управления и обработки информации. Число научных публикаций — 25. vanick@bk.ru, http://www.vega.su; Кутузовский проспект, 34, Москва, 121170; р.т.: +7(499)753-40-04.

**Ushakov Valery Nikolaevich** — Ph.D., leading researcher, Joint-Stock Company «Radio Engineering Corporation «Vega», referent, Russian Institute for Scientific and Technical Information of Russian academy of science (VINITI RAS). Research interests: automation and radionics, radar systems, air-based robotic systems, algorithms and software, control and information processing. The number of publications — 25. vanick@bk.ru, http://www.vega.su; 34, Kutuzov avenue, Moscow, 121170, Russia; office phone: +7(499)753-40-04.

**Никитина Маргарита Валерьевна** — инженер, АО "Концерн "Вега". Область научных интересов: биоинформатика, искусственный интеллект, поддержка принятия решений, программирование в ограничениях. margarita307@gmail.com; Кутузовский проспект, 34, Москва, 121170; р.т.: +7(499)753-40-04.

**Nikitina Margarita Valerievna** — engineer, Joint-Stock Company «Radio Engineering Corporation «Vega». Research interests: bioinformatics, artificial intelligence, decision support, constraint programming. margarita307@gmail.com; 34, Kutuzov avenue, Moscow, 121170, Russia; office phone: +7(499)753-40-04.

**Поддержка исследований.** Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 15-08-04000-а).

**Acknowledgements.** This research is supported by RFBR (grant 15-08-04000-a).

## РЕФЕРАТ

*Липатов А.А., Ушаков В.Н., Никитина М.В.* **Методы выявления однородных и неоднородных групп объектов на основе неопределенных качественных данных.**

В данной статье рассматривается задача группирования объектов, описываемых вектором их количественных и качественных координат состояния (КС). Оценки значений КС объектов могут быть неопределенными вследствие ошибок измерения (оценивания) или неполноты информации об объектах и представляют собой множества. Совокупность объектов, составляющих группу, должна определяться критерием, учитывающим как количественные, так и качественные КС.

Ранее были предложены способы выявления групп объектов на основе неопределенных значений их количественных КС.

На основе качественных КС могут выявляться однородные группы, в которых значения всех одноименных качественных КС всех объектов совпадают, и неоднородные группы, в которых значения одноименных качественных КС могут не совпадать, однако должны удовлетворять априорно заданным допустимым сочетаниям значений данных КС.

Целью данной статьи является разработка способа выявления однородных и неоднородных групп объектов на основе неопределенных значений их количественных и качественных КС.

Предлагаемый способ основан на проверке принадлежности пар объектов к одной группе в соответствии с критерием, который выражается через частные критерии близости значений одноименных КС объектов. Все указанные критерии могут, с учетом неопределенности оценок КС, не выполняться, возможно выполняться либо достоверно выполняться. Это позволяет выявлять возможные и достоверные группы объектов.

Ранее были предложены частные критерии близости значений одноименных количественных КС, а также качественных КС для однородных групп. В данной статье предлагается критерий близости значений качественных КС для неоднородных групп, отличающийся тем, что значения данных КС сравниваются не друг с другом, а с априорно заданными множествами-образцами, представляющими допустимые сочетания значений в группе.

Путем проверки пар объектов на принадлежность к группе строится граф их взаимодействия, в котором, с помощью модифицированного алгоритма поиска в глубину, выделяются связанные компоненты, представляющие возможные и достоверные группы объектов.

## SUMMARY

### *Lipatov A.A., Ushakov V.N., Nikitina M.V.* **Methods of Detecting Homogeneous and Heterogeneous Groups of Objects based on Uncertain Qualitative Data.**

In this paper, the problem of grouping objects described by the vector of their quantitative and qualitative state coordinates (SC) is considered. Estimates of objects' SC values can be uncertain due to the errors of measurements or incomplete information about the objects. SC estimates are represented as sets. The set of objects that make up the group should be determined according to the criterion that takes into account both quantitative and qualitative SC.

Methods enabling to detect groups of objects based on their uncertain quantitative SC were proposed previously.

Based on the qualitative SC homogeneous groups may be detected. In these groups the values of all cognominal qualitative SC of the objects are equal. In heterogeneous groups the values of cognominal qualitative SC may differ, but have to match the a priori set valid combinations of the corresponding SC.

The aim of this paper is to provide a method of detecting homogeneous and heterogeneous groups of objects based on the uncertain values of their quantitative and qualitative SC.

The proposed method is based on the verification of pairs of objects belonging to the same group according to the criterion expressed through individual criteria of proximity of the cognominal objects' SC values. These criteria may either be not fulfilled, or possibly fulfilled, or reliably fulfilled.

The criteria of object groups detection based on the uncertain quantitative SC and homogeneous groups detection based on the uncertain qualitative SC were suggested previously. In this paper, the criterion of detection of heterogeneous object groups is proposed. According to this criterion, the objects' SC uncertain values are compared with the a priori set sample sets representing the allowable combinations of the values in the group.

Verification of object pairs belonging to the same group enables one to construct a graph. In this graph the nodes correspond to the objects and the edges indicate the object pairs' group affiliation. Possible and reliable object groups are represented as connected components of this graph. These groups are detected by a modified depth-first search algorithm.