

УДК 615.471:616-071

И.Г. Перова, Е.В. Бодянский

*Харьковский национальный университет радиоэлектроники, Харьков*

## НЕЧЕТКАЯ КЛАССИФИКАЦИЯ ДАННЫХ МЕДИКО-БИОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ В УСЛОВИЯХ ДЕФИЦИТА ИНФОРМАЦИИ

*В статье рассмотрен подход, позволяющий подвергать процедуре нечеткой кластеризации-классификации выборки медицинских данных, сильно ограниченные по объему с помощью метода нечеткой пространственной экстраполяции. Предложенная процедура относится к направлению Medical Data Mining и представляет собой гибридную систему, позволяющую решать задачу диагностирования разного рода заболеваний в условиях ограниченной выборки, полного или частичного перекрытия классов, разной их плотности, разного численного наполнения и требующей для своего обучения малых объемов априорной информации.*

**Ключевые слова:** нечеткая кластеризация-классификация, дефицит информации, нечеткая пространственная экстраполяция.

### Введение

В настоящее время методы интеллектуального анализа данных (Data Mining) [1] получили широкое распространение для решения широкого класса задач в промышленности, финансах, банковской сфере, сельском хозяйстве. Не обошли стороной эти методы и медицинские приложения, где в силу специфики решаемых задач сформировалось направление, известное как Medical Data Mining [2]. Основной задачей, решаемой в рамках Medical Data Mining, являются задачи диагностирования, решаемые на основе парадигм как обучения, так и самообучения и с математической точки зрения сводящиеся либо к решению задач классификации (распознавания образов), либо кластеризации. Особенностью этого направления является невозможность использования традиционных методов Data Mining в чистом виде, что связано с целым рядом обстоятельств: прежде всего это ограниченность выборок, подлежащих классификации, существенное перекрытие классов, относящихся к разным заболеваниям, нелинейный характер разделяющих гиперповерхностей, наличие аномальных наблюдений – выбросов, искажающих исходную информацию, значительная роль субъективного человеческого фактора, не обеспечивающая получение точных данных. Все вышеперечисленные обстоятельства приводят к формированию невыпуклых и нечетких классов, при этом адекватным математическим аппаратом для работы с такими данными являются методы вычислительного интеллекта и, прежде всего, искусственные нейронные сети [3 – 5], системы нечеткого вывода [6] и гибридные системы, построенные на их основе – нейро-фаззи-системы [7, 8]. Здесь следует отметить, что все равно в этом классе задач данные системы не являются панацеей, поскольку для своего обучения требуют больших объемов информации, которыми зачастую врачи не располагают.

### Метод нечеткой пространственной экстраполяции для задач кластеризации-классификации

Аппаратом, решающим задачи классификации в условиях малых объемов выборок, является метод линейной пространственной экстраполяции [9], однако здесь надо отметить, что сам по себе этот метод является линейным, то есть разделяющая гиперплоскость является линейной, а также он является совершенно четким. В связи с этим представляется целесообразным на основе этого метода, а также методов вычислительного интеллекта провести синтез гибридной системы вычислительного интеллекта, позволяющей решать задачу диагностирования разного рода заболеваний в условиях ограниченной выборки, полного или частичного перекрытия классов, разной их плотности, разного численного наполнения и требующей для своего обучения малых объемов априорной информации. В связи с этим нами предлагается новый подход, который мы назвали нечеткая пространственная экстраполяция в задачах медицинской диагностики.

Исходной информацией для рассматриваемого подхода являются данные, представленные в виде таблицы «объект-свойство», при этом важно отметить, что часть данных является размеченной, а часть – нет. Как уже отмечалось, классифицировать размеченные данные на основе традиционных методов распознавания образов не представляется возможным в силу малых объемов обучающей выборки. В статье [10] предложен подход к нечеткой кластеризации-классификации на основе комбинированного метода самообучения-обучения самоорганизующейся карты (SOM-LVQ), однако этот подход опять таки требует достаточно больших объемов обучающей информации, хотя и может решать задачи диагностики в условиях перекрывающихся классов. Рассматриваемый подход применительно к задаче диагностики может быть реализован в виде следующих действий.

Пусть имеется выборка наблюдений  $x(k) = (x_1(k), x_2(k), \dots, x_i(k), \dots, x_N(k))^T \in R^n$ , здесь  $n$  – объем выборки в таблице «объект-свойство». Пусть в данной выборке имеется  $N_A + N_B + \dots + N_L + \dots + N_M$  размеченных (с установленным диагнозом) и  $Q = (N - (N_A + N_B + \dots + N_L + \dots + N_M))$  неразмеченных данных, при этом к диагнозу-классу  $A$  относится  $N_A$  наблюдений, к диагнозу-классу  $B$  –  $N_B$  наблюдений и т.д., то есть

$$N_A + N_B + \dots + N_L + \dots + N_M < N, \quad \hat{k} = 1, 2, \dots, \sum_{L=A}^M N_L.$$

Количество неразмеченных данных равно  $Q = N - \sum_{L=A}^M N_L$ , то есть наблюдения  $x(\tilde{k})$ ,

$$\tilde{k} = \sum_{L=A}^M N_L + 1, \dots, N \quad (\text{или } \tilde{k} = 1, \dots, Q)$$

с тем или иным уровнем принадлежности должны быть отнесены к соответствующим классам-диагнозам  $A, B, \dots, L, M$ .

На первом этапе проводится расчет  $Q$  расстояний, заданных в Манхэттенской метрике:

$$d(\tilde{k}, \hat{k}) = \sum_{i=1}^n |x_i(\tilde{k}) - x_i(\hat{k})|,$$

после чего рассчитываются уровни принадлежности к конкретным классам:

$$\mu_L(x(\tilde{k})) = \frac{d^{-1}(\tilde{k}, \tilde{k} \in L, \hat{k})}{\sum_{L=A}^M \sum_{\hat{k}=1}^{N_L} d^{-1}(\tilde{k}, \hat{k})}, \quad L = A, B, \dots, M.$$

На следующем шаге рассчитываются медианы уровней принадлежности для каждого класса  $\bar{\mu}_L(x(\tilde{k}))$ , после чего можно рассчитать уточненные уровни принадлежности:

$$\bar{\mu}_L^*(x(\tilde{k})) = \frac{\bar{\mu}_L(x(\tilde{k}))}{\sum_{L=A}^M \bar{\mu}_L(x(\tilde{k}))},$$

отвечающие условиям единичного разбиения.

В итоге для неразмеченной части данных мы получаем принадлежности к  $M$  возможным диагнозам.

Данная процедура позволяет компенсировать внутрикластерный разброс и разное количество наблюдений в разных классах, использование их в качестве расстояний Манхэттенской метрики позволяет ослаблять влияние от помех и выбросов, то есть придает процедуре робастные свойства [11]. Основными достоинствами предлагаемого подхода являются простота численной реализации и возможность обработки информации в условиях, когда количество доступных наблюдений соизмеримо с размерностью анализируемых векторов признаков.

## Использование метода нечеткой пространственной экстраполяции в условиях дефицита информации

Работа предложенного метода нечеткой пространственной экстраполяции данных была апробирована на данных репозитория Калифорнийского университета (UCI Machine Learning Repository) Breast Cancer Wisconsin (Original) [12], которая представляет собой размеченную выборку данных, состоящую из 699 пациентов, каждый из которых характеризуется 10 признаками. В данных содержится 2 класса, характеризующих тип опухоли: доброкачественная или злокачественная. После удаления данных с пропусками и признака класса была получена выборка из 683 пациентов, которые характеризуются 9 признаками, из которой была сформирована обучающая выборка, состоящая из 40 пациентов: 20 относящиеся к 1 классу и 20, относящихся к 2 классу. Далее вся оставшаяся выборка в онлайн-режиме была обработана с помощью предложенного метода нечеткой пространственной экстраполяции. В результате была получена классификация всей выборки данных с нечеткой степенью принадлежности к классам. Ошибка классификации составила 3,85%.

Следующим шагом была попытка сравнить работу разработанного метода нечеткой пространственной экстраполяции с нечеткой кластеризацией-классификацией на основе комбинированного метода самообучения-обучения самоорганизующейся карты (SOM-LVQ) [10]. Следует отметить, что метод LVQ показывает примерно такую же точность при обработке предложенной выборки, однако с вычислительной точки зрения предложенный метод нечеткой классификации намного проще и он способен работать на обучающих выборках, состоящих из минимального количества пациентов (по одному из каждого класса). При этом для качественного обучения SOM-LVQ необходимо количество выборок обучающего массива как минимум соизмеримое с количеством признаков их характеризующих.

## Выводы

Разработанный подход позволяет подвергать обработке медицинские данные, состоящие из ограниченного объема информации. Предложенный метод нечеткой пространственной экстраполяции позволяет работать с обучающими выборками, состоящими из 1 человека, что является актуальной проблемой для задач медицинской диагностики.

## Список литературы

1. Han J. *Data Mining: Concepts and Techniques* / J. Han, M. Kamber. – Amsterdam: Morgan Kaufman Publ. – 2006. – 743 p.
2. Jose Valente de Oliveira, Witold Pedrycz *Advances in Fuzzy Clustering and its Applications*. – John Wiley & Sons Ltd, 2007. – 454 p.

3. Bishop C.M. *Neural Networks for Pattern Recognition* / C.M. Bishop. – Oxford: Clarendon Press, 1995. – 482 p.
4. Haykin S. *Neural Networks. A Comprehensive Foundation* / S. Haykin. – Upper Saddle River, N.J.: Prentice Hall, Inc., 1999. – 842 p.
5. Rutkowski L. *Computational Intelligence. Methods and Techniques* / L. Rutkowski. – Berlin-Heidelberg: Springer-Verlag, 2008. – 514 p.
6. Bezdek J.C. *Fuzzy Models and Algorithms for Pattern Recognition and Image Processing* / J.C. Bezdek, J. Keller, R. Krishnapuram, N.R. Pal. – Springer 2005. – 776 p.
7. Du K.-L. *Neural Networks and Statistical Learning* / K.-L. Du, M.N.S. Swami. – London: Springer-Verlag, 2014. – 824 p.
8. Jang, J.-S. R. ANFIS: Adaptive-network-based fuzzy inference systems / J.-S. R. Jang // *IEEE Trans. Syst., Man, and Cybern.* – 1993. – 23. – N3. – P. 665-685.
9. Растрюгин Л.А. *Экстраполяционные методы проектирования и уюления* / Л.А. Растрюгин, Ю.П. Пономарев. – М.: Машиностроение, 1986. – 120 с.
10. Bodyanskiy Ye. *Self-organizing map and its learning in the fuzzy clustering-classification tasks* / Ye. Bodyanskiy, P. Mulesa, O. Slipchenko, O. Vynokurova // *Вісник Національного університету «Львівська політехніка». Комп'ютерні науки та інформаційні технології.* – 2014. – №800. – С. 83-92.
11. Мудров В.И. *Метод наименьших модулей* / В.И. Мудров, В.Л. Кушко. – М.: Знание, 1971. – 64 с.
12. William H. Wolberg *UCI Repository of machine learning databases.* – URL: <https://archive.ics.uci.edu/ml/datasets/Breast+Cancer+Wiscconsin+Original>. CA: University of California, Department of Information and Computer Science, 1992.

Поступила в редколлегию 21.07.2015

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. Е.А. Винокурова, Харьковский национальный университет радиоэлектроники, Харьков.

## НЕЧІТКА КЛАСИФІКАЦІЯ ДАНИХ МЕДИКО-БІОЛОГІЧНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ЗА УМОВ ДЕФІЦИТУ ІНФОРМАЦІЇ

І.Г. Перова, Є.В. Бодянський

У статті розглянуто підхід, що дозволяє піддавати процедурі нечіткої кластеризації-класифікації вибірки медичних даних, сильно обмежені за обсягом з допомогою методу нечіткої просторової екстраполяції. Запропонована процедура відноситься до напрямку *Medical Data Mining* і являє собою гібридну систему, що дозволяє вирішувати задачу діагностування різного роду захворювань в умовах обмеженої вибірки, повного або часткового перекриття класів, різної їх щільності, різного чисельного наповнення і вимагає для свого навчання малих обсягів апріорної інформації.

**Ключові слова:** нечітка кластеризація-класифікація, дефіцит інформації, нечітка просторова екстраполяція.

## FUZZY CLASSIFICATION OF DATA FOR BIOMEDICAL RESEARCH IN THE SCARCE INFORMATION

I.G. Perova, Ye.V. Bodyanskiy

In this paper the approach of fuzzy clustering-classification of medical data sample, limited in its dimensionality using the method of fuzzy spatial extrapolation is considered. The proposed procedure refers to the direction of *Medical Data Mining*, and is a hybrid system that can solve the task of diagnosing various diseases in a limited sample, complete or partial overlapping of classes, their different densities, different numerical filling and requires for its training of small volumes of a priori information.

**Keywords:** fuzzy clustering, classification, deficit of information, fuzzy spatial extrapolation.