

графия / Н.А. Корневский, А.Н. Шуткин, С.А. Горбатенко, В.И. Серебровский. – Старый Оскол: ТНТ, 2016. – 472 с.

3. Прогнозирование возникновения и оценка степени тяжести панкреатитов на основе нечеткой логики принятия решений / А. Л. Локтионов, Н. А. Корневский, Л. П. Лазурина, И. Л. Гаврилов // Биомедицинская радиоэлектроника. – 2009. – № 5. – С. 16-22.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДОЛОГИИ СИНТЕЗА КОЛЛЕКТИВОВ ГИБРИДНЫХ НЕЧЕТКИХ МОДЕЛЕЙ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ОЦЕНКИ СОСТОЯНИЯ И УПРАВЛЕНИЯ МЕДИЦИНСКИМИ СИСТЕМАМИ

Шуткин А.Н.¹, Аксёнов В.В.¹, Корневская Е.Н.²

¹ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет»,
Курск, Россия

Кафедра биомедицинской инженерии

²Донецкий национальный технический университет, Донецк, Украина
Кафедра физического воспитания и спорта

Анализ работ в области оценки состояния и управления медицинскими системами показал, что этот тип объектов исследования и управления относится к классу плохоформализуемых систем для которых в часто не удается построить достаточно точных аналитических моделей, что в свою очередь снижает точность анализа их поведения и управления.

Одним из способов повышения качества управления сложными объектами в условиях плохой формализации с нечеткой и неполной структурой данных является использование теории нечеткой логики принятия решений [18, 22, 26, 30].

Однако, синтез нечетких решающих правил, не является тривиальной задачей. Одной из основных проблем является выбор типов решающих правил, адекватных структуре данных, характеризующих исследуемые состояния сложных систем. Кроме этого в нечеткой логике часто задействуются эксперты, внося определенную долю субъективности, что может снижать потенциально достижимое качество принимаемых решений [18, 22].

Для оценки эффективности использования методов теории нечеткой логики при решении медицинских задач было организовано изучение структуры данных, описывающих различные типы систем в экономике, социологии, биологии, медицине, экологии. Изучались: и взаимозависимость и информативность признаков, геометрическая структура данных, области пересечений исследуемых классов состояний и тд.

Для различных структур данных изучалась эффективность применения различных методов обработки данных, включая различные типы нечетких моделей [10, 11, 18, 22].

В ходе исследований было показано, что при отсутствии аналитических моделей при неполном описании объекта исследования и сложной структуре данных, при значительном пересечении объектов различных классов состояний хороших результатов удастся достичь при использовании нечеткой логики принятия решений, метода группового учета аргументов, диалоговых систем распознавания образов, теории измерения латентных переменных, статистической последовательной процедуры А. Вальда и др. [1, 4, 9, 10, 11, 13, 15, 16, 17, 18, 21, 22, 27, 28, 30]. Было установлено так же, что значительное число задач со сложной структурой целесообразно решать при использовании различных моделей для различных классов состояний и (или) различных блоков информативных признаков [9, 10, 11, 18, 22].

С учетом сказанного при оценке состояния сложных систем целесообразно использовать коллективы гетерогенных нечетких моделей. Для агрегации этих моделей необходимо разработать: механизмы разведочного анализа позволяющие оценивать структуру исследуемых классов состояний; рекомендации по выбору адекватных этой структуре нечетких моделей и механизмы агрегации этих моделей в более общие и финальные модели [9, 10, 11, 18, 22].

Специально для разведочного анализа ориентированного на синтез гибридных нечетких моделей на кафедре биомедицинской инженерии ЮЗГУ разработан специализированный пакет прикладных программ [10, 11, 26, 27, 28].

В ходе проведенных исследований для решения задач оценки и управления сложными медицинскими системами была разработана методология синтеза коллективов гибридных нечетких решающих правил как совокупность различных методов приводящих к решению поставленных задач.

Базовым элементом для большинства гибридных моделей является функция принадлежности $\mu_{\omega_r}(Z)$ к классу ω_r с базовыми переменными различных типов Z .

Методология как совокупность методов приводящих к синтезу коллективов гибридных нечетких решающих правил определяется следующей последовательностью действий.

1. В условиях применимости последовательной процедуры Вальда [4] уверенность в классификации UK_r^B в классе ω_r определяется функцией принадлежности к ω_r для которой базовая переменная, является диагностическим коэффициентом (ДК), то есть [10, 18, 22]:

$$UK_r^B = \mu_{\omega_r}(ДК) \quad (1)$$

2. При использовании двумерных классификационных пространств алгоритмы синтеза которых описаны в работах [9, 10, 11] Уверенность в ω_r , UK_r^{DK} определяется соотношением: [10, 18, 22].

$$UK_r^{DK} = \mu_{\omega_r}(D_r), \quad (2)$$

где D_r – расстояние от объекта исследования до двумерных разделяющих границ в пространстве $\Phi=Y_1 \times Y_2$;

$$Y_1 = \phi_1(A, X) \text{ и } Y_2 = \phi_2(B, X);$$

ϕ_1 и ϕ_2 – функции отображения многомерных объектов в двумерное пространство Φ ; A и B – вектора настраиваемых параметров;

$X = \{x_1, \dots, x_n\}$ – вектора объектов многомерного пространства информативных признаков [9, 10, 11].

3. При наличии линейных или нелинейных разделяющих поверхностей, или эталонных структур уверенность в принимаемых решениях определяется в соответствии с выражением [10, 18, 22]:

$$UK_r^P = \mu_{\omega_r}(D_{rk}) \quad (3)$$

где D_k – расстояние от объекта исследований до разделяющей поверхности и (или) эталона.

4. При наличии функций принадлежности в смысле логики Л.Заде, используются функции принадлежности $\mu_{\omega_r}(x_i)$ и (или) $\mu_{\omega_r}(Y_j)$ к исследуемым классам состояний ω_r с базовыми переменными, определяемыми по шкалам информативных признаков x_i и (или) комплексных показателей Y_j , вычисляемых по информативным показателям $Y_j = f_j\{x_1, x_2, \dots\}$, где f_j – функциональная зависимость, «связывающая» все или часть информативных признаков с Y_j .

Наиболее популярными формулами агрегации при использовании функций принадлежности являются выражения вида [9, 10, 15, 18, 19, 22]:

$$UK_r^H = \min_i [\mu_{\omega_r}(x_i)] \quad (4)$$

$$UK_r^H = \max_i [\mu_{\omega_r}(x_i)] \quad (5)$$

$$UK_r^H = \max_j \min_i [\mu_{\omega_{rj}}(x_i)] \quad (6)$$

Рекомендации по синтезу нечетких решающих правил этого типа описаны в работах [18, 22].

В работах [18, 22] показано, как используя выражения (4), (5) и (6) аппроксимировать нечеткие классы состояний любой структурной сложности и расчетом уверенности в классификации.

$$UGR_r = \max_k (\mu_{\omega_{rk}}) \quad (7)$$

5. Если находится система признаков, подтверждающих и (или) опровергающих гипотезы ω_r , целесообразно использовать нечеткие модификации моделей Е. Шортлифа [18, 22]:

$$YK_r^{III}(q+1) = YK_r^{III}(q) + KY_r(Z_p)[1 - YK_r^{III}(q)] \quad (8)$$

где $KY_r(Z_p)$ – уверенность в гипотезе ω_r от свидетельства (признака, интегрального показателя) Z_p .

Уверенность $KY_r(Z_p)$ может определяться через функции принадлежности к классу ω_r с базовой переменной x_i [10, 18, 21, 22].

6. Если принять решение об использовании методов структурно-параметрической идентификации, то удобно использовать алгоритмы МГУА [13]:

Уверенность в классификации при использовании нечеткого МГУА определяется выражением:

$$YK_r^M = \frac{1}{L_k} \sum_{k=1}^{L_k} \mu_{kr}(D_{kr}), \quad (9)$$

где L_k – количество уравнений (10) в классе ω_r ; $\mu_{kr}(D_{kr})$ к классу ω_r с базовой переменной D_{kr} , определяемой как расстояние от точки - функции принадлежности $\mu_{kr}(D_{kr})$ к классу ω_r с базовой переменной D_{kr} , определяемой как расстояние от точки многомерного пространства до модели с номером k класса ω_r [13, 18, 22].

7. При использовании теории измерения латентных переменных [1, 18, 22, 29] уверенность в классификации определяется выражением:

$$YK_r^P = \mu_{\omega_r}(L), \quad (10)$$

где L – числовая характеристика латентной переменной определяемой интерактивным пакетом RUMM 2020.

В общем виде агрегация правил (1), ..., (10) может осуществляться с использованием известных методов теории распознавания образов, где показатели, получаемые по формулам (1) – (10), используются как пространство информативных признаков.

В работах [9 10, 15, 16, 18, 19, 22] описываются оригинальные авторские варианты синтеза частных гибридных нечетких моделей в финальные решающие правила.

Наличие базовых переменных с определенными на них функциями принадлежности позволяет задачи нечеткого управления социальными, экономическими и медицинскими системами решать с использованием хорошо зарекомендовавших себя алгоритмов Мамдани-Сугэно, и др. Хорошо зарекомендовал себя вариант, когда на нечетких переменных строятся функции принадлежности, каждая из которых соответствует «своей» схеме управления. В этом варианте предпочтительнее выбирать схему управления по максимальной величине функции принадлежности.

Список использованных источников

1. Бойцов, А.В. Применение теории измерения латентных переменных для формирования пространства информативных признаков в задачах оценки функционального состояния человека [Текст] / А.В. Бойцов, Л.П. Лазурина, С.Н. Корневская, А.Н. Шуткин // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. – 2014. - №6(57). – С. 52-58.
2. Бойцов, А.В. Оценка риска заболеваемости студентов на основе комбинированных нечетких моделей / [Текст] А.В. Бойцов, Л.В. Стародубцева, В.Н. Гадалов // Системный анализ и управление в биомедицинских системах – 2012. – Т.11 -№1. – С. 188-195.
3. Гадалов, В.Н. Математические модели рефлекторных систем организма человека и их использование для прогнозирования и диагностики заболеваний [Текст] / В.Н. Гадалов, Н.А. Корневский, В.И. Снопков // Системный анализ и управление в биомедицинских системах, 2012. – Т11.- № 2. - С. 515-521.
4. Генкин, Я.Я. Новая информационная технология анализа медицинских данных. – СПб: Политехника, 1999. – 191 с.
5. Емельянов, С.Г. Прогнозирование степени тяжести развития ишемического процесса в сердце, головном мозге и нижних конечностях на основе нечетких моделей / С.Г. Емельянов, Н.А. Корневский, А.В. Быков// Биомедицинская радиоэлектроника.- 2016.-№9. - С.4-9.
6. Емельянов С.Г. Оценка рисков и эффективности маркетинга предприятия на основе методов нечеткой логики принятия решений [текст]: учебное пособие / С.Г. Емельянов, С.С. Серегин, Ю.В. Вертакова, Н.А. Корневский; Юго-Зап.гос. университет, Курск, 2010. 56с.
7. Конева, Л.В. Оценка уровня психоэмоционального напряжения и утомления по показателям, характеризующим состояние внимания человека [Текст] / Л.В. Конева, С.Н. Корневская, С.В. Дегтярев // Системный анализ и управление в биомедицинских системах, 2012. – Т11.- № 4. - С. 993-1000.
8. Корневская, С.Н. Аппаратно-программный комплекс для психофизиологических исследований на базе платформы ANDROID с AFE-интерфейсом / С.Н. Корневская, Е.С. Шкатова, М.А. Магеровский, А.Н. Шуткин // Медицинская техника. 2016. - №5. – С. 24-27.
9. Корневский, Н.А. Проектирование систем принятия решений на нечетких сетевых моделях в задачах медицинской диагностики и прогнозирования/ Н.А. Корневский //Телекоммуникации. - 2006. - №6. - С.25-31.
10. Корневский, Н.А. Использование нечеткой логики принятия решений для медицинских экспертных систем. [Текст] / Н.А. Корневский // Медицинская техника, 2015, №1 (289) С. 33-35.

11. Корневский, Н.А. Принципы и методы построения интерактивных систем диагностики и управления состоянием здоровья человека на основе полифункциональных моделей: автореферат на соискание ученой степени доктора технических наук / Санкт Петербург, 1993. – 32 с.

12. Корневский, Н.А. Комплексная оценка уровня психоэмоционального напряжения / Н.А. Корневский, О.И. Филатова, М.И. Лукашов, Р.А. Крупчатников // Биомедицинская радиоэлектроника.- 2009.-№5. - С.4-9.

13. Корневский, Н.А. Метод синтеза нечетких решающих правил на основе моделей системных взаимосвязей для решения задач прогнозирования и диагностики заболеваний [Текст] / Н.А. Корневский, М.В. Артеменко, В.Н. Провоторов, Л.А. Новикова // Системный анализ и управление в биомедицинских системах, 2014. – Т13.- № 4. - С. 881-886.

14. Корневский, Н.А. Энергоинформационные модели рефлексодиагностики/ [Текст] Н.А. Корневский, Л.П. Лазурина // ОМЦП. – Курск, 2000. – 177 с.

15. Корневский, Н.А. Синтез коллективов гибридных нечетких моделей оценки состояния сложных систем [Текст] / Н.А. Корневский, К.В. Разумова // Научно-технические технологии.- 2014.Т.15. - №12. – С. 31-40.

16. Корневский, Н.А. Прогнозирование и диагностика заболеваний, вызываемых вредными производственными и экологическими факторами на основе гетерогенных моделей/ [Текст] Н.А. Корневский, Н.А. Серебровский, В.И. Коптева, Н.А. Говорухина // Т.Н. – Курск: Изд-во Курск. гос. с.-х. ак, 2012. - 231 с.

17. Корневский, Н.А. Комплекс для исследования особенностей внимания и памяти/ Н.А. Корневский, Д.Е. Скопин, Р.Т. Аль-Касасбех, А.А. Кузьмин // Медицинская техника, 2010, №1. - С. 36-40.

18. Корневский, Н.А. Оценка и управление состоянием здоровья обучающихся на основе гибридных интеллектуальных технологий: монография [Текст] / Н.А. Корневский, А.Н. Шуткин, С.А. Горбатенко, В.И. Серебровский.- Старый Оскол: ТНТ, 2016.-472с.

19. Серегин, С.П. Математические модели прогнозирования и профилактики рецидивов инфарктов миокарда в реабилитационном периоде: монография / [Текст] С.П. Серегин, О.Н. Воробьева, С.Н. Корневская [и др.] // Юго-Зап. гос. ун-т. – Курск, 2015. – 166 с.

20. Харьков, С.В. Оценка защитных механизмов организма и их роль в задачах прогнозирования и медицинской диагностики [Текст] С.В. Харьков, С.Д. Долженков, С.Н. Корневская, А.Г. Коцарь // Системный анализ и управление в биомедицинских системах, 2012. – Т11. - №1. – С. 44-49.

21. Шуткин, А.Н. Проектирование баз знаний медицинских экспертных систем с использованием коллективов нечетких правил. [Текст] А.Н. Шуткин, В.В. Федянин, С.Н. Корневская // Информационные проекты в

медицине и педагогике. Материалы международной научно-практической конференции, 2014.– С. 61-64.

22. Шуткин А.Н. Методология синтеза нечетких гибридных решающих правил для решения задач прогнозирования и ранней диагностики заболеваний, провоцируемых образовательным процессом [Текст] / А.Н. Шуткин// *Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии*. 2015.- №6(314). - С. 122-129.

23. Al-Kasasbeh, R.T., Ionescou, F., Korenevskiy, N.A. and Alshamasin, M. (2012) 'Prediction and prenosological diagnostics of heart diseases based on energy characteristics of acupuncture points and fuzzy logic', *Computer Methods in Biomechanics and Biomedical Engineering*, Vol. 15, No. 7, pp.681–689.

24. Al-Kasasbeh, R.T. Prediction of the gastric ulcer based on the change of the electrical resistance of the acupuncture points and fuzzy logic decision making, *Computer Methods in Biomechanics and Biomedical Engineering*, Vol. 16, No. 3, pp.302–313.

25. Korenevskiy, N.A. Fuzzy determination of the human's level of psycho-emotional [Text] / N.A. Korenevskiy, R.T.Al-Kasasbeh, F.Ionescou, M.Alshamasin, E.Alkasasbeh, A.P. Smith // *IFMBE Proceedings*. – 2013. – V.40. – IFMBE. – P.213-216.

26. Korenevskiy, N. A. Application of Fuzzy Logic for Decision- Making in Medical Expert Systems [text]/ N. A. Korenevskiy // *Biomedical Engineering*, May 2015, Volume 49, Issue 1, pp 46-49.

27. Korenevskiy, N. A. Generation of fuzzy network models taught on basic of data structure for medical expert systems [Текст] / N. A. Korenevsky, S.A. Gorbatenko, R.A. Krupchatnikov, M. I. Lukashov // *Biomedical Engineering Journal*, Vol. 42, No.2, pp.67-72.

28. Korenevskiy, N. A. Design of network-based fuzzy knowledge bases for medical decision-making support systems [Текст] / N. A. Korenevsky, S.A. Gorbatenko, R.A. Krupchatnikov, M. I. Lukashov // *Biomedical Engineering*. - 2009. - V.43.-no.4. - P. 187-190.

29. Rasch G. Probabilistic models for some intelligence anent tests (Expand edition, with foreword and afterword by Benjamin D. Wright). – Chicago: University of Chicago Press, 1980.-199 p.

30. Zadeh L.A *Advances in Fuzzy Mathematics and Engineering Fuzzy Sets and Fuzzy information-Granulation Theory*. – Beijing. Beijing Normal University Press, 2005.