



С.В. Дианов
 Вологодский научный центр Российской академии наук
А.Н. Швецов
 Вологодский государственный университет
Д.С. Дианов
 Вологодский научный центр Российской академии наук

АЛГОРИТМ НЕЧЕТКОГО ВЫВОДА ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ МЕДИЦИНСКОЙ АКТИВНОСТИ НАСЕЛЕНИЯ ТЕРРИТОРИИ

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ (научный проект № 20-010-00852 А)

Статья посвящена вопросам моделирования медицинской активности населения территории. Представлен алгоритм ее определения исходя из демографических и социальных характеристик населения, основанный на нечетком выводе. Рассмотрены вопросы программной реализации алгоритма.

Нечеткий вывод, нейро-нечеткая сеть, агент-ориентированное моделирование, медицинская активность населения.

Рациональное распределение медицинских услуг имеет важное социально-экономическое значение. В современных условиях данную задачу невозможно решить без использования инструментария имитационного моделирования. При этом модель должна строиться на объективных предпосылках, реальных потребностях, мотивах и поведении граждан, что позволит использовать ее в практике управления и апробации альтернативных сценариев принятия решений и реализации региональной политики. Особенно органичным здесь видится использование агент-ориентированного подхода. В рамках процесса реализации агент-ориентированных моделей необходимо осуществить исследование и формализацию мотивов и поведенческих установок жителей территорий в их медицинской активности и выборе стратегий обращения в медицинские учреждения.

В основе большинства современных концепций описания поведения потребителей медицинских услуг лежит модель Рональда М. Андерсена [1]. Одним из ее важнейших компонентов является фактор потребности, определяющий выраженность потребности в медицинской помощи, измеряемой, как правило, с помощью профессиональной врачебной оценки состояния здоровья и переменных, характеризующих восприятие, осознание индивидом потребности в медицинской помощи. В число показателей, отражающих ощущения человека, обычно включаются: осознаваемый статус здоровья, оцениваемая индивидом способность к функционированию по ключевым видам деятельности, уровень беспокойства по поводу различных болезненных симптомов. Их роль в использовании медицинских услуг в значительной мере зависит от социально-статусных характеристик потребителя и общей системы его взглядов на здоровье. Анализ взаимосвязи характеристик, отражающих отношение к здоровью и болезни, дает возможность лучше понять, в каких ситуациях человек считает необходимым прибегнуть к медицинской помощи и непосредственно обращается в систему здравоохранения [2].

В вопросах сохранения здоровья каждый человек проявляет различную степень активности, что связано с влиянием разнообразных факторов. Особенную роль играют личностные факторы, к которым относятся пол, возраст, место проживания, образование, социальный статус и др. [3]. На основе комбинаций личностных факторов можно сформировать различные группы населения, имеющие в определенном смысле типовые поведенческие параметры, связанные с проявлением ими медицинской активности. Авторы предлагают использовать данный подход при определении степени медицинской активности агентов населения в агент-ориентированных моделях, обеспечивающих поддержку принятия решений по предоставлению медицинских услуг.

В реальной жизни достаточно сложно предугадать, какую степень активности в конкретном случае проявит человек. Поэтому при моделировании предлагается в качестве механизма ее определения использовать аппарат нечетких нейронных сетей [4]. Такая сеть может быть реализована как система нечеткого вывода типа Сугено нулевого порядка. Она имеет множество входных переменных P , соответствующих значениям параметров человека. Выход сети – переменная, определяющая активность человека с множеством значений $[0... 1]$, где значение, близкое к 1, определяет высокую степень активности.

Сеть состоит из пяти слоев. Слой 1 определяет нечеткие термы входных параметров. Выходы узлов этого слоя представляют собой значения функции принадлежности при конкретных значениях входов. Каждый узел слоя является адаптивным с функцией принадлежности $\mu_{A_i}(P_j)$, где A_i – нечеткий терм, применяемый для лингвистической оценки переменной P_j .

Функцию принадлежности можно сформировать исходя из следующих соображений. Имеются две категории населения, достаточно стабильно проявляющие высокую и низкую степень активности. Имеется также часть населения региона, которая может не иметь четкого отношения к проявлению медицинской

активности. Можно предполагать, что они с определенной степенью вероятности могут в каждом конкретном случае вести себя либо активно, либо пассивно (нечеткий терм для определения возможности проявления активности состоит из набора {«Актив-

вен», «Может быть активен»}). Набор функций принадлежности, основанных на представленных выше рассуждениях, составленный исходя из набора выделенных личностных параметров, представлен в таблице 1.

Таблица 1

Функции принадлежности для параметров групп населения

Параметр	Значение параметра	Функция принадлежности	
		Активен	Может быть активен
Пол	мужской	$\mu_{A_{p1}}(P_j)$	$\mu_{A_{p2}}(P_j)$
	женский	$\mu_{A_{p3}}(P_j)$	$\mu_{A_{p4}}(P_j)$
Возраст (лет)	до 30	$\mu_{A_{v1}}(P_j)$	$\mu_{A_{v2}}(P_j)$
	от 31 до 50	$\mu_{A_{v3}}(P_j)$	$\mu_{A_{v4}}(P_j)$
	от 51	$\mu_{A_{v5}}(P_j)$	$\mu_{A_{v6}}(P_j)$
Место проживания	город	$\mu_{A_{m1}}(P_j)$	$\mu_{A_{m2}}(P_j)$
	село	$\mu_{A_{m3}}(P_j)$	$\mu_{A_{m4}}(P_j)$
Образование	неполное среднее, среднее	$\mu_{A_{o1}}(P_j)$	$\mu_{A_{o2}}(P_j)$
	среднее специальное, среднее техническое, незаконченное высшее	$\mu_{A_{o3}}(P_j)$	$\mu_{A_{o4}}(P_j)$
	высшее, послевузовское	$\mu_{A_{o5}}(P_j)$	$\mu_{A_{o6}}(P_j)$
Социальный статус	учащиеся	$\mu_{A_{s1}}(P_j)$	$\mu_{A_{s2}}(P_j)$
	работающие	$\mu_{A_{s3}}(P_j)$	$\mu_{A_{s4}}(P_j)$
	занятые домашним хозяйством	$\mu_{A_{s5}}(P_j)$	$\mu_{A_{s6}}(P_j)$
	пенсионеры	$\mu_{A_{s7}}(P_j)$	$\mu_{A_{s8}}(P_j)$
	прочие	$\mu_{A_{s9}}(P_j)$	$\mu_{A_{s10}}(P_j)$

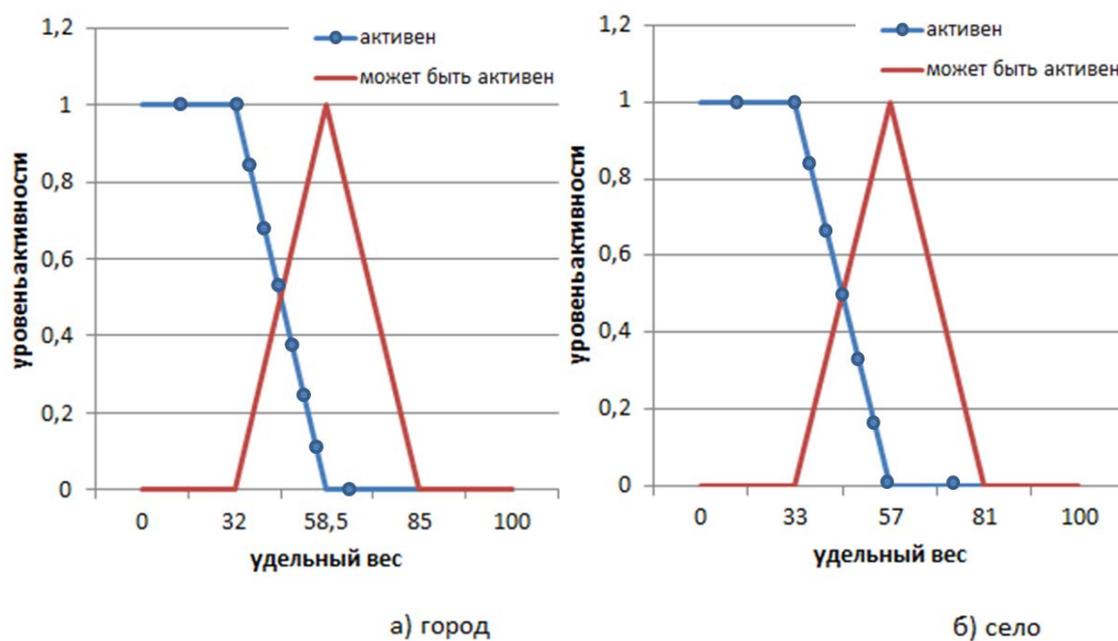


Рис. 1. Графики функции принадлежности параметра «Место проживания»

Каждая из функций принадлежности определяется исходя из предполагаемых пропорций населения территории (в процентном отношении) по степени активности (активен, может быть активен, не активен). Пример графического отображения функции принадлежности представлен на рисунке 1. График а) данного рисунка можно трактовать следующим образом: 32 % городского населения склонны проявлять высокую медицинскую активность, 15 % – низкую,

а оставшиеся 53 % могут проявлять как высокую, так и низкую степень активности.

Слой 2 определяет послылки нечетких правил. Данный слой – неадаптивный. Выполняет произведение входов. Выходными данными этого слоя являются степени истинности посылок правил (активности и возможной активности):

$$w_1 = \mu_{A_{pa}}(P_j) * \mu_{A_{va}}(P_j) * \mu_{A_{ma}}(P_j) * \mu_{A_{oa}}(P_j) * \mu_{A_{sa}}(P_j),$$

$$w_2 = \mu_{A_{pn}}(P_j) * \mu_{A_{vn}}(P_j) * \mu_{A_{mn}}(P_j) * \mu_{A_{on}}(P_j) * \mu_{A_{sn}}(P_j).$$

Каждый узел неадаптивного слоя 3 рассчитывает относительную степень выполнения нечеткого правила:

$$w_1^* = \frac{w_1}{w_1 + w_2}, \quad w_2^* = \frac{w_2}{w_1 + w_2}.$$

Адаптивные узлы слоя 4 рассчитывают вклад каждого нечеткого правила в выход сети по формулам:

$$A_1^C = w_1^* \cdot v_{k1}, \quad A_2^C = w_2^* \cdot v_{k2}.$$

Четкие числа v_{k1} , v_{k2} задают заключения каждого правила. Единственный узел слоя 5 суммирует вклады всех правил:

$$A^C = A_1^C + A_2^C.$$

Общий алгоритм вычисления медицинской активности агента в агент-ориентированной модели без учета текущего состояния, связанного со стадией заболевания, состоит из следующих этапов:

1. Исходя из общих параметров населения территории с определенной частотой генерируются агенты с конкретными значениями параметров (пол, возраст, место проживания, образование, социальный статус).

2. Выбирается функция принадлежности в зависимости от значений параметров рассматриваемого агента.

3. Определяется значение функции принадлежности. В качестве параметра при этом используется сгенерированное случайным образом число в диапазоне от 0 до 100.

4. Рассчитываются степени истинности посылок правил активности и возможной активности.

5. Вычисляется степень выполнения нечетких правил.

6. Рассчитываются вклады каждого нечеткого правила в выход сети.

7. Суммируются вклады всех правил.

Для корректной работы сеть требует обучения, при котором настраиваются параметры адаптивных слоев (первого и четвертого). При этом следует учитывать, что способом формирования параметров является изучение ситуации, построенное на статистических данных, т.е. на информации, претендующей

на научность, точность и достоверность. Этот подход лежит в основе выработки управленческих решений в сфере здравоохранения [5]. Однако далеко не всегда имеется возможность получения реальной картины состояния здоровья населения региона вследствие чрезвычайной динамичности этой субстанции и технических возможностей современной медицины. В этом случае могут быть использованы результаты репрезентативных опросов населения. Так, при апробации представленного алгоритма в целях первоначального определения параметров функций принадлежности, авторами были использованы результаты опроса населения Вологодской области «Изучение здоровья населения и определяющих его факторов», проведенного Вологодским научным центром в 2020 году. В опросе участвовали 1500 человек из всех районов области. Медицинская активность рассматривалась через призму двух взаимно противоположных ответов на вопросы:

- Что Вы обычно делаете, когда чувствуете заметное ухудшение самочувствия? (Вариант «Терплю, не обращаюсь к врачам и не пытаюсь лечиться самостоятельно – пройдет само».) – Пассивные.

- Что Вы лично предпринимаете для сохранения и укрепления своего здоровья? (Вариант «Обращаюсь к врачу при первых признаках болезни, регулярно прохожу медицинский осмотр».) – Активные.

Пример полученных результатов по параметру «Пол» представлен в таблице 2.

Была осуществлена программная реализация представленного алгоритма в среде Microsoft Access и проведен ряд вычислительных экспериментов. В качестве исходных данных использовалась непосредственно база данных опроса. Это позволило иметь возможность сравнивать результаты моделирования с результатами опроса. Пример результатов одного из экспериментов представлен на рисунке 2. Здесь самый левый столбец – активность по результатам опроса, а самый правый – активность по результатам моделирования.

Таблица 2

Результаты расчета параметров функций принадлежности по параметру «Пол»

Параметр	Значение параметра	Всего	Активные		Пассивные		Неопределившиеся	
			Кол-во	%	Кол-во	%	Кол-во	%
Пол	мужской	670	176	26	169	25	325	49
	женский	830	311	37	72	9	447	54

v805 Активный	Возраст	Пол	Образование	Профессиональная сфера	Место проживания	SetActive
0	33	2	5	3	1	0
0	35	2	5	4	1	0
1	24	2	5	4	1	0
1	43	2	5	3	1	1
1	18	2	3	4	1	0
1	20	1	3	5	1	0
1	39	2	3	4	1	1
1	25	1	3	1	1	1
1	19	2	3	12	1	0
0	52	2	5	3	1	0

Рис. 2. Фрагмент базы данных с результатами вычислительного эксперимента по определению медицинской активности населения

Представленные в данной работе алгоритмы моделирования медицинской активности населения, основанные на использовании нечеткого вывода, являются новым научным результатом. Они могут быть востребованы властными структурами в процессах обеспечения поддержки принятия решений по развитию медицинской инфраструктуры территории, а также выработке мер по стимулированию медицинской активности населения территории.

Литература

1. Andersen, R. M. Behavioral Model of Families: Use of Health Services / R. M. Andersen. – Text : electronic // Research Series. – Chicago: Center for Health Administration Studies, University of Chicago, 1968, № 25. – URL: <http://vestnik.mednet.ru/content/view/21/30> (accessed: 14.10.2021).
2. Русина, Н. Л. Доступ к услугам здравоохранения: методологические подходы и методы измерения /

Н. Л. Русина, Л. В. Панова // Журнал социологии и социальной антропологии. – 2002. – Т. V, № 4. – С. 147–163.

3. Решетников, А. В. Экономика здравоохранения / А. В. Решетников. – Москва : ГЭОТАР-Медиа, 2015. – 192 с.

4. Madan, M. Gupta Fuzzy neural networks: theory and applications / M. Madan. – Text : electronic // Proc. SPIE 2353, Intelligent Robots and Computer Vision XIII: Algorithms and Computer Vision, 1994. – URL: doi.org/10.1117/12.188903 (accessed: 14.10.2021).

5. Современное состояние и пути развития отечественной медицинской статистики / Ю. В. Михайлова, С. А. Леонов, И. М. Сон [и др.]. – Текст : электронный // Социальные аспекты здоровья населения. – 2007. – № 1. – URL: <http://vestnik.mednet.ru/content/view/21/30> (дата обращения: 14.10.2021).

S.V. Dianov

Vologda Scientific Center of the Russian Academy of Sciences

A.N. Shvetsov

Vologda State University

D.S. Dianov

Vologda Scientific Center of the Russian Academy of Sciences

ALGORITHM OF FUZZY INFERENCE FOR MODELING MEDICAL ACTIVITY OF POPULATION OF THE TERRITORY

The article is devoted to the issues of modeling the medical activity of the population of the territory. An algorithm for its determination based on the demographic and social characteristics of the population based on a fuzzy inference is presented. The issues of software implementation of the algorithm are considered.

Fuzzy inference, neuro-fuzzy network, agent-based modeling, medical activity of the population.