

Особенности применения нечеткой логики в системах удаленного мониторинга течения беременности

Ю. О. Боброва¹, Ю. А. Живолупова²

Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)

¹yul.bobrova@gmail.com, ²iulia.zhivolupova@gmail.com

Аннотация. Решение о состоянии плода и матери предлагается принимать с помощью аппарата нечеткой логики на основе интегрированной оценки совокупности физиологических показателей. Выбор методики обусловлен невозможностью решить данную проблему с помощью традиционных алгоритмов и решающих правил. Описанный в работе подход также найдет применение в системах удаленного мониторинга широкого спектра, работающих в режиме реального времени, и оперирующих как количественными, так и категориальными и качественными признаками.

Ключевые слова: система удаленного мониторинга; нечеткая логика; состояние плода; беременность; алгоритм анализа; телемедицина

I. ВВЕДЕНИЕ

Вопросы телемониторирования состояния здоровья определенных групп населения в режиме реального времени являются актуальными в последние десятилетия. Однако проблема организации удаленного медицинского наблюдения без потери качества регистрируемых сигналов, а также вопрос интерпретации полученных данных не были решены в полной мере.

В последние годы широкое распространение в системах управления получили методы и алгоритмы обработки, основанные на принципах нечеткой логики (Fuzzy logic).

В данной работе поставлена задача оценить возможности применения аппарата Fuzzy logic для определения характера текущего состояния здоровья беременной женщины при длительном мониторингировании диагностически значимых показателей с целью выявления угрожающих состояний. Выбор аппарата обусловлен низкой эффективностью используемых классических методов анализа разнокачественных групп параметров в условиях размытых границ понятий «норма/не норма».

Результаты, получаемые на выходе нечетких систем, более приближены к выводам врача-эксперта за счет наличия гибкой вариативности в пограничных случаях.

Именно поэтому при выборе метода получения интегральной оценки о состоянии здоровья беременной женщины и плода было принято решение об использовании Fuzzy logic.

II. ПРИМЕНЕНИЕ АЛГОРИТМА НЕЧЕТКОГО ВЫВОДА МАМДАНИ

Анализ часто применяемых в настоящий момент алгоритмов Fuzzy logic показал, что для решения поставленной задачи наиболее подходящим является алгоритм Мамдани. При относительной простоте реализации он позволяет получить результаты необходимого уровня достоверности.

Отличительной особенностью алгоритма Мамдани является возможность значительно сократить объем вычислений за счет деактивации правил с нулевой степенью принадлежности подусловий.

Алгоритм разделен на восемь основных этапов [1, 2, 3]:

- определение структуры системы нечеткого вывода;
- формирование базы правил системы нечеткого вывода;
- фаззификация входных переменных;
- вычисление значений степеней принадлежности подусловий правил нечетких продукций;
- агрегирование подусловий правил нечетких продукций;
- активизация подзаключений правил нечетких продукций;
- аккумуляирование заключений правил нечетких продукций;
- дефаззификация выходных переменных.

Рис. 1 иллюстрирует процесс формирования четких выводов на основе нечеткой структуры в соответствии с алгоритмом Мамдани.

Рассмотрим его подробнее в контексте поставленной задачи. Особенностью описания функционального состояния здоровья беременной является широкий набор показателей различной природы. Их можно разделить на группы, приведенные далее.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, № 16-07-00599 «Модели, методы и система интеллектуального телемедицинского мониторинга состояния здоровья человека и прогнозирования обострения заболеваний»



Рис. 1. Диаграмма процесса вычисления четкого вывода по алгоритму Мамдани

- Количественные (Сатурация крови кислородом, частота сердечных сокращений и дыхания матери)
- Качественные-ранговые (Уровень активности матери и плода, отечность)
- Качественные-номинальные (Прием лекарств)

Список признаков, приведенных в табл. 1, является незавершенным и может быть дополнен в соответствии с рекомендациями врача-эксперта. В нем указаны основные лингвистические переменные, которые могут быть использованы в качестве структуры нечеткого ввода. Определим структуру нечеткого вывода. Предлагается использование трех терм: «зеленый», «желтый» и «красный» для отображения уровня текущего состояния, как результата работы алгоритма. Более подробно этот вопрос рассмотрен в [4, 5].

Процедура фаззификации подразумевает описание функций принадлежности для каждой из терм лингвистической переменной. Этот этап представляет собой наибольшую сложность, т.к. основан на экспертном мнении и выбор четких границ для терм можем быть определён неоднозначно. Помимо этого при формировании базы правил имеет место быть проблема разрастания количества правил нечетких продукций, связанная с высокой размерностью пространства признаков.

Для демонстрации принципа работы данного метода остановимся на четырёх лингвистических переменных: частота сердечных сокращений матери (HRm) и плода (HRf), уровень активности матери (ma) и срок беременности (week). Сформируем следующую базу правил:

If (HRm is Normal) and (HRf is ExLow) and (week is not Before5week) and (ma is Low) then (State is Yellow)

If (HRm is Normal) and (HRf is Low) and (week is not Before5week) then (State is Yellow)

If (HRm is High) and (HRf is ExHigh) and (ma is Low) then (State is Red)

If (HRf is ExLow) and (week is not Before5week) then (State is Red)

If (HRf is Low) and (week is not Before5week) then (State is Red)

Для примера рассмотрим ситуацию, когда на четкий вход системы поступают следующие значения параметров:

- HRm=60
- HRf=80
- week=13
- ma=2

В соответствии с алгоритмом Мамдани следующим этапом является расчет функции принадлежности подусловий. На рис. 2 наглядно представлены описываемые этапы.

В случае, если функция принадлежности отлична от нуля, зона, ограниченная соответствующей термой, затемнена (A). Полученный результат агрегируется в рамках правил нечетких продукций и проходит процесс активизации в том случае, если все функции принадлежности правила отличны от нуля (B).

Результаты активизированных правил аккумулируются, формируя нечеткий ответ (C). Уточним, что в качестве Т-нормы выбран принцип минимума, S-нормы – принцип максимума. На этом этапе нечеткий ответ в явном виде отражает мультивариабильность возможных значений вывода, что соответствует особенности принятия решения врача-эксперта из множества имеющихся вариантов заключения. Для получения четкого ответа применяется процедура дефаззификации по принципу взвешенного центра тяжести [1].

ТАБЛИЦА I

ДИАГНОСТИЧЕСКИ ЗНАЧИМЫЕ ПРИЗНАКИ И СООТВЕТСТВУЮЩИЕ ИМ ЛИНГВИСТИЧЕСКИЕ ПЕРЕМЕННЫЕ

Имя	Используемое сокращение	Диапазон значений	Термы
<i>Количественные</i>			
Сатурация крови кислородом	spo	0-100	Extremely Low Low Normal
Артериальное систолическое давление	prs	0-270	Extremely Low Low Normal High Extremely High
Артериальное диастолическое давление	prd	0-150	Extremely Low Low Normal High Extremely High
Частота сердечных сокращений матери	HRm	0-250	Extremely Low Low Normal High Extremely High
Частота сердечных сокращений плода	HRf	0-300	Extremely Low Low Normal High Extremely High
Температура матери	t	35-42	Low Normal High Extremely High
Частота дыхания матери	br	0-100	Low Normal High
Вес	w	40-250	Low Normal High
Срок беременности	week	0-40	Before5week Week6/7 Week7/14 After14Week
<i>Качественные-ранговые</i>			
Уровень активности матери	ma	[0 1 2 3 4 5]	Low High
Уровень активности плода	fa	[0 1 2 3 4 5]	Low Middle High
Аппетит	ap	[0 1 2 3 4 5], где 0 нет, 5 - повышенный	Low High
Отечность	pf	[0 1 2 3 4 5]	Low High
Потливость	sw	[0 1 2 3 4 5]	Low High
<i>Качественные - номинальные</i>			
Прием лекарств	dr	[да, нет]	Yes
Текстура выделений	str	[кремообразные, творожистые, тянущиеся в виде нитей, вязкие эластичные, густые неэластичные]	Normal Disturbing
Цвет выделений	clr	[прозрачные, светло-молочные, беловатые, желтоватые, желтые, темно-желтые, зеленоватые, коричневые, кровавые]	Normal Disturbing

Это необходимо для формирования итогового ответа системы, который может быть интерпретирован также с точки зрения «уверенности» в принадлежности результата соответствующей терме вывода. Таким образом, система

должна быть чувствительна к уровню «уверенности» в результате для формирования соответствующего ответа.

Например, при получении вывода функция принадлежности к терме состояния «красный» равно 0.7 система неотложно связывается с наблюдающим врачом,

т.к. состояние с высокой долей уверенности является угрожающим. В случае уровня 0.3 реакция, возможно, может быть ограничена соответствующими

рекомендациями для нормализации состояния, заложенными в системе.

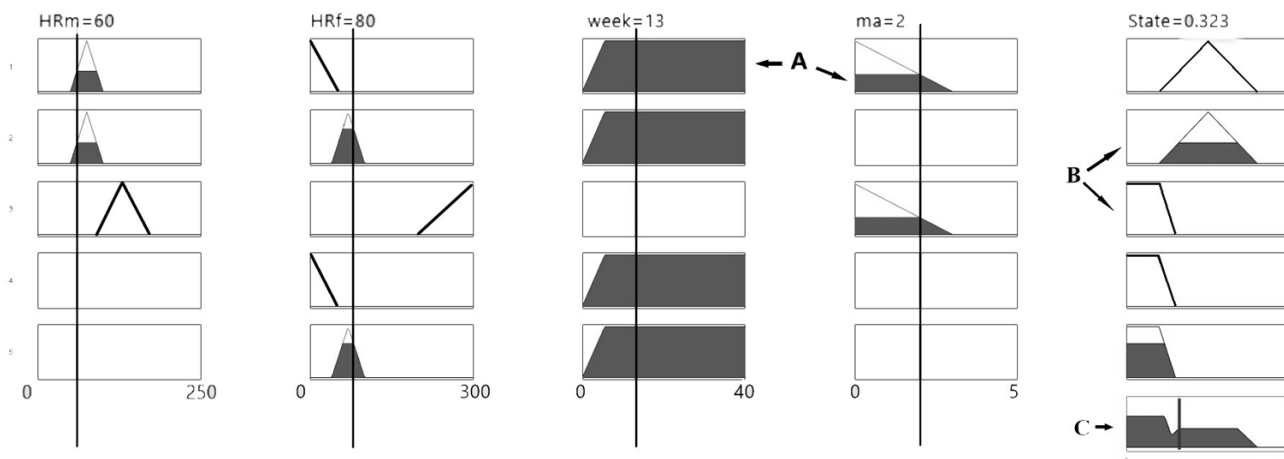


Рис. 2. Диаграмма процесса вычисления четкого вывода по алгоритму Мамдани

Отдельного рассмотрения требует вопрос выбора функций принадлежности, однако стоит отметить широкие возможности индивидуальной настройки параметров каждой термы под конкретную женщину, что также является преимуществом данного подхода и не требует перенастройки всего алгоритма формирования ответа в целом.

III. ВЫВОДЫ

Рассмотренный пример демонстрирует возможность применения алгоритма Мамдани для формирования итогового заключения о состоянии беременной женщины в системе длительного удаленного мониторинга. Описанный принцип найдет свое применение в других системах телемедицинского наблюдения. Однако, возникающие сложности, связанные с формированием набора нечетких входов, их высокой размерностью, а также описанием

правил нечетких продукций, делают затруднительной разработку таких систем.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Калниболотский Ю.М., Короткий Е.В. Креативные методы нечеткого моделирования // Электроника и связь. Тематический выпуск «Электроника и нанотехнологии». 2009. ч. 2. С. 297-302.
- [2] Егупов Н.Д. Методы робастного, нейро-нечеткого и адаптивного управления: Учеб. для вузов / 2 изд. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2002. 743 с.
- [3] Усков А.А. Принципы построения систем управления с нечеткой логикой // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. 2004. № 6. С. 7-13.
- [4] Zhivolupova Y.A., Bobrova Y.O. The concept of the fetal remote monitoring system development //Control in Technical Systems (CTS), 2017 IEEE II International Conference on IEEE, 2017. P. 360-362.
- [5] Bobrova Y. O., Zhivolupova Y. A. Automatic detection of abnormal fetal states by means of a personal monitoring system //Soft Computing and Measurements (SCM), 2017 XX IEEE International Conference on IEEE, 2017. P. 782-784.