

УДК 004.021

АЛГОРИТМ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ В РЕЧЕВОЙ СИСТЕМЕ БЕЗОПАСНОСТИ НА ОСНОВЕ НЕЧЕТКОЙ ЛОГИКИ

Д.В. Пекарь, В.С. Садов

Белорусский государственный университет, Минск

DECISION MAKING ALGORITHM IN THE SAFETY SYSTEM BASED ON THE FUZZY LOGIC

D.V. Pekar, V.S. Sadov

Belarusian State University, Minsk

В настоящее время происходит стремительный рост количества передаваемой информации. Обработка значительных объемов голосовой информации невозможна без вовлечения в процесс анализа различных автоматических речевых систем с возможностью принятия решения на основе результатов анализа речевого сигнала и языковой компоненты сообщения. В настоящей работе предлагается алгоритм принятия решений с использованием методов нечеткой логики, достоинствами которого являются такие качества как гибкость, легкость составления нечетких правил на естественном языке, вычислительная эффективность, схожесть с процессом принятия решения у человека.

Ключевые слова: принятие решений, нечеткая логика, обработка речи.

At the present time the volume of handled data is rapidly growing. A large volume of voice data processing is impossible without usage of automatic speech systems with the ability to make decision based on speech signal analysis and lingual component processing. In this paper fuzzy logic based decision making algorithm is proposed. Described algorithm has a lot of advantages such as ability to be configured to meet certain requirements, easiness of creating a set of fuzzy rules, computational effectiveness and similar decision making process as in human beings.

Keywords: decision making, fuzzy logic, speech processing.

Введение

Уровень потенциальной опасности, вообще говоря, является абстрактным понятием, и оно не может быть применено в своем первоначальном виде для машинной обработки или автоматического принятия решений. Таким образом, формализация и придание количественной оценки уровню потенциальной опасности являются ключевыми вопросами при разработке экспертных и анализирующих речевых систем.

В данной работе за уровень потенциальной опасности принята степень соответствия информационного содержания и характеристик речевого сигнала некоторым заданным значениям, которые априорно принимаются в качестве индикатора или предпосылки появления потенциальной опасности, угрозы или деструктивного поведения говорящего человека. Под информационным содержанием сообщения понимается смысловая составляющая фраз, выраженная естественным языком, а также значение параметров речевого сигнала, отражающих эмоциональную окраску речевого сигнала и несущих невербальную информацию о внутреннем эмоциональном состоянии говорящего.

Поскольку не существует объективной возможности задания или строгого определения количественной меры степени потенциальной опасности исходя из анализа речевого фрагмента, то оправданно использование ее словесных

определений типа «малая опасность», «средняя опасность», «высокая опасность» для отражения качественной стороны этой характеристики. Для решения подобного рода задач успешно применяются методы принятий решений на основе нечеткой логики. Можно отметить следующие прикладные сферы, в которых целесообразно использование нечеткой логики:

- сложные процессы, для которых нет простой математической модели;
- обработка словесно сформулированных экспертных знаний.

В решаемой задаче сложность процесса принятия решения выражается тем, что необходимо анализировать разнородную информацию, которая является результатом обработки физических параметров речевого сигнала и языковой составляющей сообщения. Дополнительной особенностью рассматриваемого вопроса является то, что при анализе поведения человека эксперты-психоаналитики обычно оперируют качественными оценками, например: «повышенное эмоциональное возбуждение, ведущее к возможному проявлению агрессии». Таким образом, методы принятий решений на основе нечеткой логики, благодаря наличию лингвистических переменных (рассмотрены ниже) и «мягких» условий, позволяют использовать результаты специализированных исследований, характеризующих качественную сторону поведения человека.

1 Принятие решений на основе нечеткой логики

Необходимо отметить, что существует сложность в принятии окончательного решения человеком в случаях, когда нет четкого разграничения между свойствами или значениями атрибутов различных классов решений. Примером может служить выбор одежды по погоде – теплой или холодной. Что является теплой погодой, а что можно считать холодной? Какое значение температуры окружающего воздуха позволяет объективно разграничить два класса решений?

Для решения подобного рода задач может быть применен математический аппарат принятий решений на основе нечеткой логики, который вместе с теорией нечетких множеств составляют раздел математики, представляющий собой обобщение классической логики и теории множеств. Понятие нечеткой логики было впервые введено Л. Заде [1]. Согласно классической теории множеств непустое подмножество A из универсального множества U однозначно определяется характеристическим функционалом I_A следующего вида:

$$I_A(u) = \begin{cases} 1, & \text{если } u \in U; \\ 0, & \text{если } u \notin U. \end{cases} \quad (1.1)$$

Нововведением в существующие классические представления было то, что для описания множества применяется не функционал вида (1.1), а характеристическая функция, отражающая степень принадлежности элемента к тому или иному множеству. Эта функция может принимать любые значения в интервале $[0;1]$, включая фиксированные значения 0 или 1, характеризующие принадлежность или ее отсутствие.

Основным положением в разработанной теории является понятие нечеткого множества. Под данным термином понимается строгая формализация нечеткой информации при построении математической модели, основой которой является утверждение о том, что составляющие данное множество элементы обладают общим свойством, которое выражено в той или иной степени α , следовательно, и принадлежат к тому или иному множеству с различной мерой. При использовании приведенных понятий теряют смысл выражения типа «к какому множеству или классу относится данный элемент» и в то же время приобретают смысл выражения типа «в какой мере или степени данный элемент принадлежит к тому или иному множеству, классу». В таком случае определение нечеткого множества может быть сформулировано следующим образом: нечетким множеством \hat{A} на универсальном множестве U является множество пар вида:

$$\hat{A} = \{u, MF(u) | u \in U\},$$

где значение функции принадлежности $MF(u)$ отражает степень принадлежности элемента

$u \in U$ к нечеткому множеству \hat{A} . Функция принадлежности может иметь треугольную, трапециевидную, кусочно-линейную, сигмоидную форму или вид распределения Гаусса. Поскольку функция $MF(u)$ показывает меру принадлежности элемента к тому или иному множеству, то ее область значений находится в диапазоне $[0;1]$. Универсальное множество U может быть как дискретным, так и непрерывным.

Одним из основополагающих понятий теории нечеткой логики является термин лингвистическая переменная. Согласно Л. Заде, лингвистической переменной называется такая переменная, значениями которой являются слова или выражения естественного языка. Такие переменные не могут иметь точного количественного значения или строгой формализации. Примером лингвистической переменной могут служить выражения типа «температура воздуха», а также и «уровень потенциальной опасности», «эмоциональная окраска речи». Лингвистическая переменная может принимать набор допустимых значений – термов, которые образуют терм-множество данной лингвистической переменной. В рассматриваемом алгоритме термами для лингвистической переменной «эмоциональная окраска речи» являются выражения «негативная эмоциональная окраска», «нейтральная эмоциональная окраска», «позитивная эмоциональная окраска». На рисунке 1.1 представлен пример функций принадлежности для описания эмоциональной окраски речи.

Характеристический коэффициент эмоции численно характеризует эмоциональную окраску речевого фрагмента и вычисляется согласно следующему выражению:

$$K_{emotion} = \frac{\sum_i^N I_i \cdot S_i \cdot P_i}{N \cdot \sum_i^N P_i} = \frac{\sum_i I_i \cdot S_i \cdot P_i}{N},$$

где N – число возможных эмоций; P_i – вероятность того, что анализируемый фрагмент принадлежит i -ой эмоции; I_i – вес i -ой эмоции, отражающий ассоциированный с ней уровень потенциальной опасности; S_i – полярность i -ой эмоции, принимающая значения 1 или -1 , поскольку, согласно современной трактовке эмоций, положительный и отрицательный типы эмоций принимаются как противоположные, и человек, в отдельный взятый момент, может находиться либо в радостном, либо в грустном эмоциональном состоянии [2]. На рисунке 1.1 представлены три различные функции принадлежности, описывающие различные значения лингвистической переменной «эмоциональная окраска речи». Приведенный пример хорошо иллюстрирует реальную ситуацию, а именно:

отсутствие объективной возможности разграничить различные типы эмоциональной окраски на основе неких количественных параметров речевого сигнала. Подобным образом задается описание лингвистической переменной «смысловая близость сообщения», отражающей смысловую близость речевого сообщения к некоторому заданному целевому контексту (рисунок 1.2).

Основой для проведения семантического анализа языковой компоненты речевого сообщения является контекстный граф, узлы которого представляют собой множества слов семантически связанных с априорно заданными понятиями, задающими некий интересующий целевой контекст. Связи между отдельными узлами подобного графа отражают реальные семантические связи между понятиями.

Процесс семантического анализа заключается в поиске общих понятий из семантического графа и исследуемого речевого сообщения с определением их положения в иерархии и смысловых связей с исходными априорно заданными понятиями. Логично положить, что слова с разных уровней контекстного графа, а также понятия, связанные разными семантическими связями, имеют различную близость к исходному смыслу, а следовательно, они должны иметь и разные веса. Таким образом, каждый отдельно взятый узел контекстного графа имеет свой собственный вес.

Для придания разрабатываемому алгоритму дополнительной гибкости предусмотрена возможность задания различных весовых коэффициентов различным частям речи при прочих равных условиях. Таким образом, в качестве результирующего коэффициента смысловой близости, характеризующего найденные семантические признаки, принимается средний вес, вычисленный по всем признакам согласно выражению:

$$\bar{w} = \frac{\sum_{i=1}^{N_{SemFeature}} w_i}{N_{SemFeature}},$$

где $N_{SemFeature}$ – число найденных семантических признаков, w_i – вес i -ого семантического признака с учетом его положения в контекстном графе и части речи, к которой принадлежит слово.

Функции принадлежности для описания лингвистической переменной «уровень потенциально опасной ситуации», отражающие вероятность наступления некой целевой ситуации, изображены на рисунке 1.3.

Важно отметить, что вид функций принадлежности, а также мощность терм-множества для любой лингвистической переменной может задаваться произвольно, исходя из конкретных решаемых задач и условий.

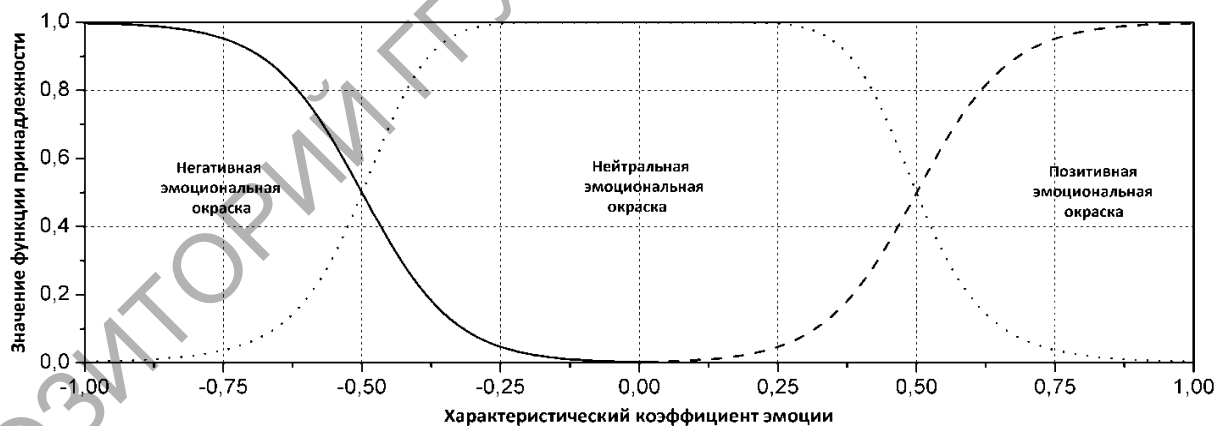


Рисунок 1.1 – Функции принадлежности лингвистической переменной «эмоциональная окраска речи»

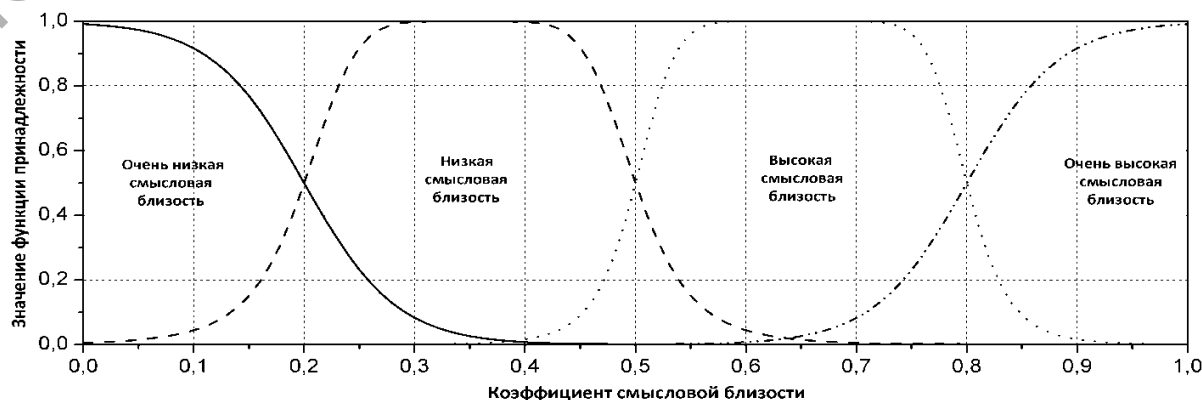


Рисунок 1.2 – Функции принадлежности лингвистической переменной «смысловая близость сообщения»

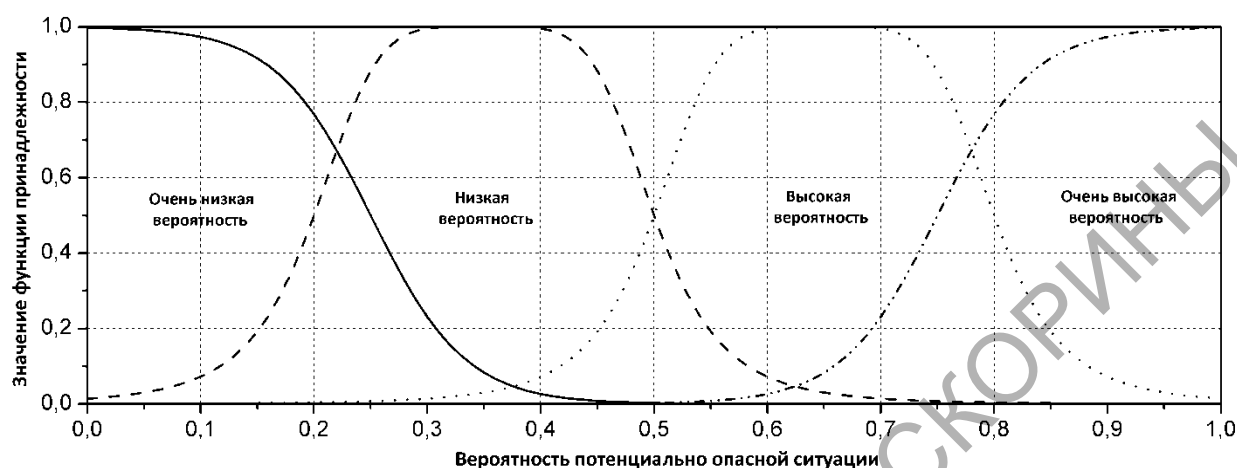


Рисунок 1.3 – Функции принадлежности лингвистической переменной «уровень потенциально опасной ситуации»

Таблица 1.1 – Множество нечетких правил

Значение термы для лингвистической переменной «эмоциональная окраска речи»	Логическая операция	Значение термы для лингвистической переменной «смысловая близость сообщения»	Значение термы для лингвистической переменной «уровень потенциальной опасности»
негативная эмоциональная окраска	И	очень высокая смысловая близость	очень высокая вероятность
негативная эмоциональная окраска	И	высокая смысловая близость	очень высокая вероятность
негативная эмоциональная окраска	И	низкая смысловая близость	высокая вероятность
нейтральная эмоциональная окраска	И	очень высокая смысловая близость	очень высокая вероятность
нейтральная эмоциональная окраска	И	высокая смысловая близость	высокая вероятность
нейтральная эмоциональная окраска	И	низкая смысловая близость	низкая вероятность
позитивная эмоциональная окраска	ИЛИ	очень низкая смысловая близость	очень низкая вероятность

Первым шагом алгоритма принятия решений на основе нечеткой логики является процесс фазификации входных значений, то есть представление четкого значения в нечетком виде путем вычисления для каждой функции принадлежности значения соответствующей лингвистической переменной. Полученные значения отражают степень принадлежности входных данных к той или иной терме лингвистической переменной.

Следующим шагом алгоритма является процесс составления нечетких правил, которые позволяют найти результирующее нечеткое значение. В таблице 1.1 приведены правила, которые использовались при построении рассматриваемого алгоритма.

При анализе приведенных нечетких правил можно заметить, что они отображают процесс принятия решения человеком, когда исходным является некое множество параметров и возможных

решений. Дополнительным преимуществом такого рода правил является то, что они выражены на естественном человеческом языке, с помощью которого можно легко отразить качественные значения этих параметров, а также производить их анализ. Правила могут модифицироваться и составляться исходя из конкретной решаемой задачи.

Для оценки значения принадлежности каждого из правил используются специальные математические операции для работы с нечеткой логикой. Логическое И при составлении нечетких правил эквивалентно пересечению соответствующих нечетких множеств, а результирующее значение принадлежности равно минимальному значению функций принадлежности для каждого множества:

$$MF_{A \cap B}(u) = \min[MF_A(u), MF_B(u)].$$

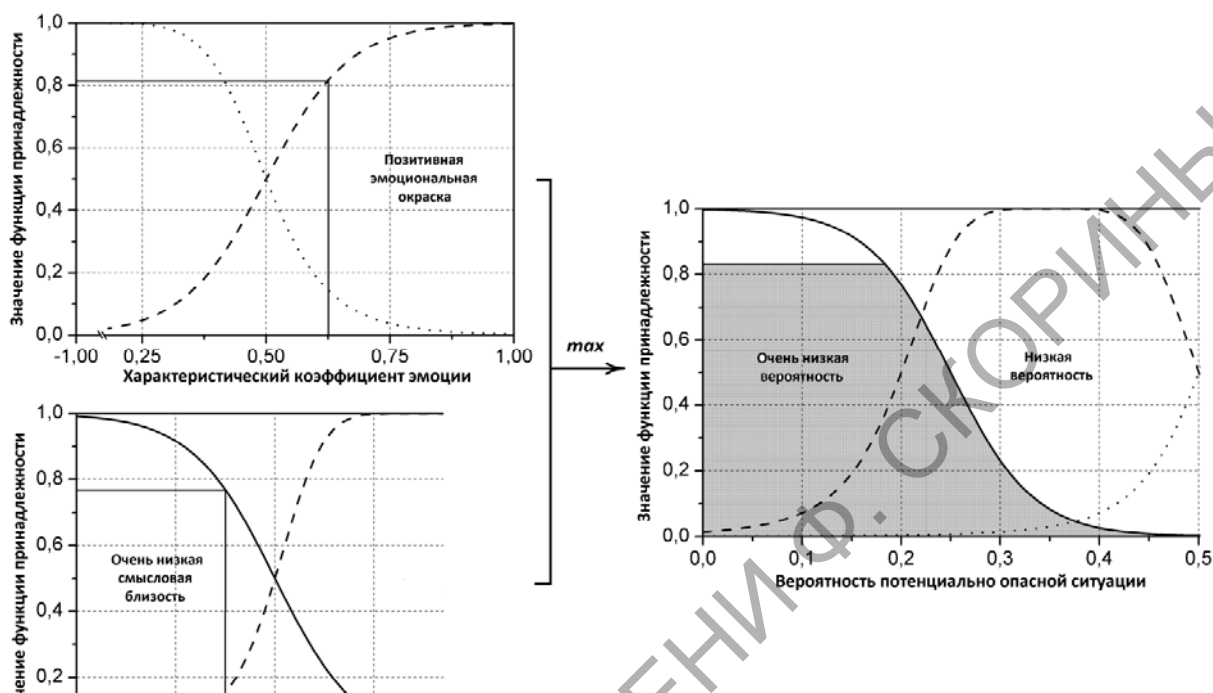


Рисунок 1.4 – Иллюстрация процесса ограничения нечеткого множества финальной лингвистической переменной

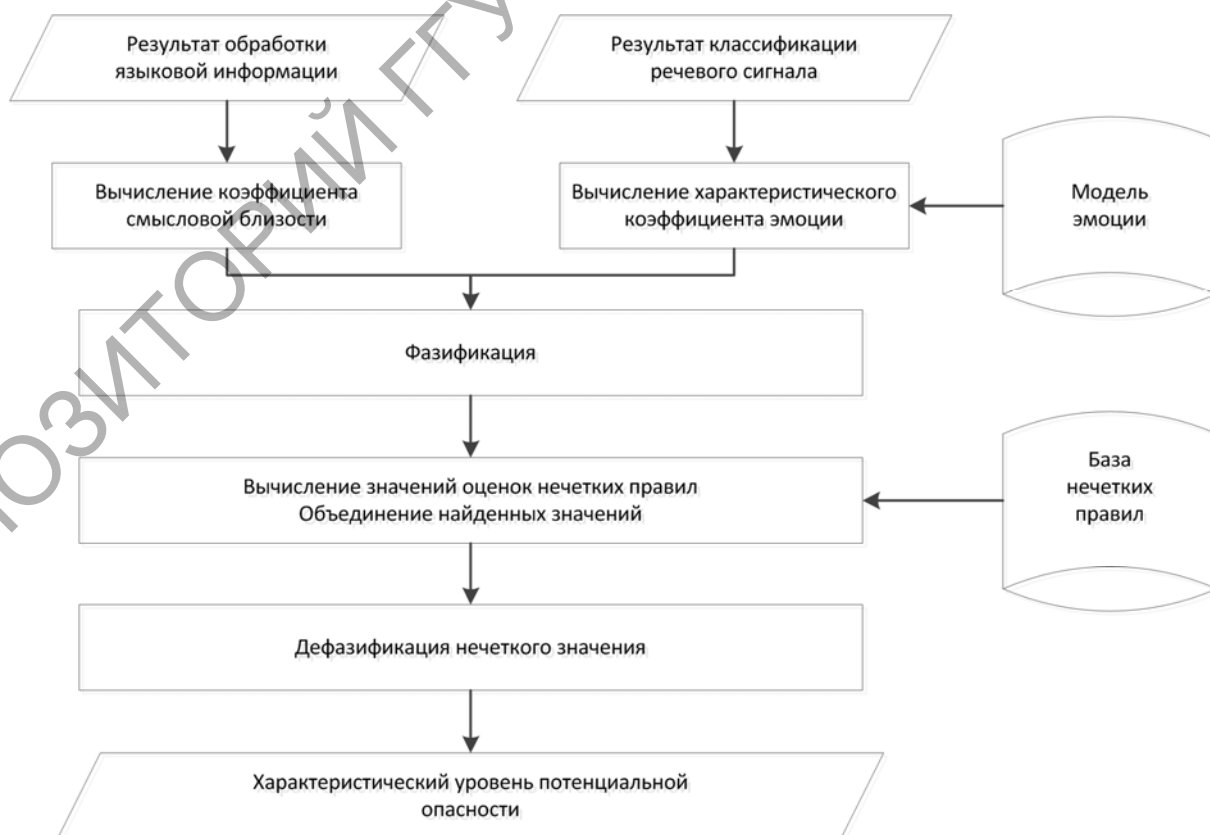


Рисунок 1.5 – Структурная схема алгоритма принятия решений на основе нечеткой логики

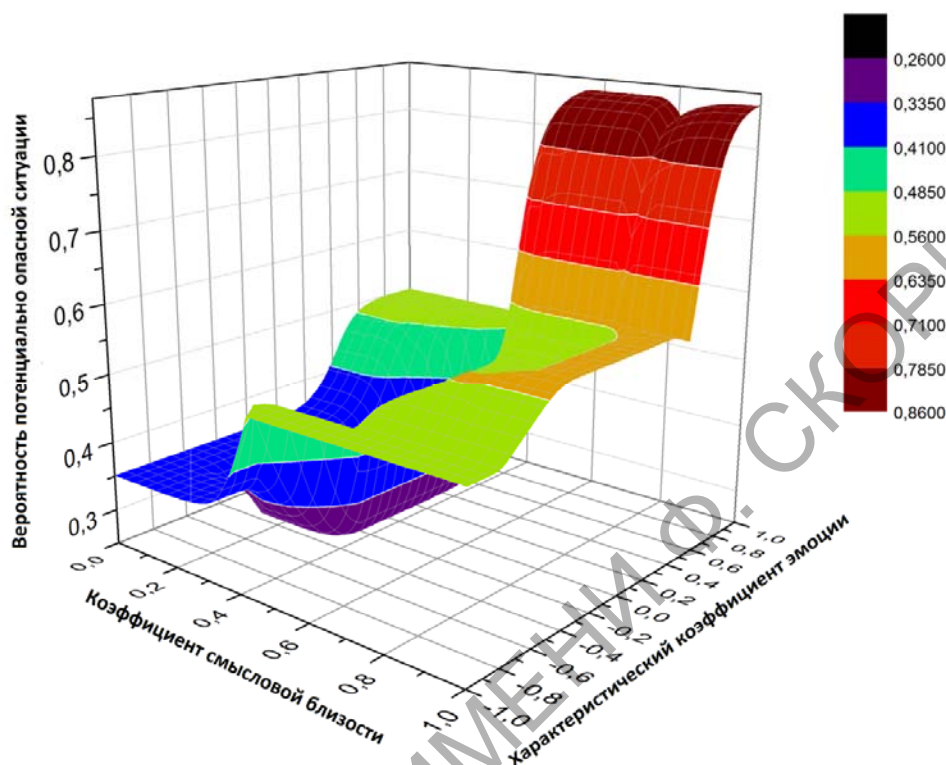


Рисунок 2.1 – Поверхность решений

Логическое *ИЛИ* соответствует объединению нечетких множеств, а результирующее значение принадлежности равно максимальному значению функций принадлежности для каждого множества:

$$MF_{A \cup B}(u) = \max[MF_A(u), MF_B(u)].$$

Важно отметить, что все правила выполняются последовательно, для получения значения оценки принадлежности каждого правила, которое используется для ограничения соответствующего нечеткого множества финальной лингвистической переменной «уровень потенциальной опасности».

Графической иллюстрацией такой операции для последнего нечеткого правила является рисунок 1.4.

Процесс ограничения нечеткого множества для целевой лингвистической переменной осуществляется для каждого правила с последующим объединением всех найденных решений.

Заключительным шагом процесса принятия решения на основе нечеткой логики является дефазификация найденного нечеткого множества, то есть преобразование нечеткого значения в четкое. Существуют различные методы дефазификации, однако наибольшее применение получил метод на основе вычисления центра тяжести, с использованием следующего выражения:

$$a = \frac{\sum_{i=1}^K u_i \cdot MF(u_i)}{\sum_{i=1}^K MF(u_i)},$$

где K – число элементов в дискретном нечетком множестве. Таким образом, на выходе предложенного алгоритма на основе нечеткой логики имеется дискретное значение, отражающее количественную меру вероятности наступления потенциально опасной ситуации. На рисунке 1.5 представлена структурная схема рассмотренного выше алгоритма.

2 Результаты испытания алгоритма принятия решений

Как можно видеть из выше изложенного, предложенный алгоритм обладает высокой гибкостью и способностью быть адаптированным к конкретным решаемым задачам и условиям, а следовательно, вычисленный уровень потенциальной опасности будет зависеть от текущих настроек алгоритма.

Для оценки результатов работы алгоритма на основе нечеткой логики можно использовать поверхность решений – множество решений при всех допустимых значениях входных параметров. Отдельно взятая точка подобной поверхности соответствует значению уровня потенциальной опасности при фиксированных значениях входных параметров.

На рисунке 2.1 представлена поверхность решений для рассмотренных параметров алгоритма.

Заключение

В представленной работе предложен алгоритм принятий решений на основе использования математического аппарата нечеткой логики. Также был предложен подход к формализации понятия уровня потенциальной опасности, эмоции и смысловой близости речевого сообщения с целевым контекстом. Конкурентным преимуществом предложенного алгоритма является его гибкость и схожесть с процессом принятия решения человеком, отсутствие predetermined пороговых значений и наличие «мягких» условий, небольшие вычислительные затраты.

ЛИТЕРАТУРА

1. Zadeh, L.A. Fuzzy Sets / L.A. Zadeh // Information and Control. – 1965. – № 8. – P. 338–353.
2. Ильин, Е.П. Эмоции и чувства / Е.П. Ильин. – СПб. : Питер, 2001. – 752 с.
3. Open Source Fuzzy Logic library and FCL language implementation [Electronic source] / Open Source Fuzzy Logic library and FCL language implementation. – Mode of access : <http://jfuzzylogic.sourceforge.net/html/index.html>. – Date of access : 21.08.2012.

Поступила в редакцию 22.01.13.