

Опыт программной реализации авторских вероятностных моделей на основе формулы Байеса

Г. И. Кожомбердиева¹, Д. П. Бураков², Г. А. Хамчиев³

Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I

¹kgi-liizht@yandex.ru, ²burakovdmitry8@gmail.com, ³gyqn@yandex.ru

Аннотация. В докладе подводятся итоги разработки программ, реализующих оригинальные подходы к групповому экспертному рейтинговому оцениванию и нечеткому логическому выводу. В основу программ положены вероятностные модели на основе формулы Байеса, ранее предложенные и опубликованные в работах авторов. Обсуждаются особенности программной реализации моделей на платформе Java, а также опыт и возможности использования созданных программ, например, в учебном процессе.

Ключевые слова: формула Байеса; байесовская вероятностная модель; групповое экспертное рейтинговое оценивание; нечеткий логический вывод; вероятностная логика; байесовская логико-вероятностная модель нечеткого вывода; язык программирования Java.

I. ВВЕДЕНИЕ

В работах [1–4] представлены нетрадиционные модели на основе формулы Байеса, объединенные общей ключевой идеей. Во всех моделях (оценивания качества решений, процессов или продуктов; группового экспертного рейтингового оценивания; нечеткого вывода) входные оценочные данные интерпретируются как свидетельства в пользу той или иной гипотезы из множества возможных, определяемых спецификой решаемых задач. Полученные свидетельства тем или иным способом трансформируются в набор байесовских условных вероятностей, вычисляемых в предположении истинности соответствующей гипотезы, а в качестве выходных данных используется апостериорное распределение вероятностей на множестве этих гипотез. Это распределение используется либо непосредственно как результат для принятия решения, либо как основа для вычисления итогового результата.

С целью апробации моделей [2–4] на практике авторами осуществлена их программная реализация. Разработаны программы с удобным графическим интерфейсом пользователя, позволяющие эффективно решать прикладные задачи, связанные с оцениванием и принятием решений. В качестве средства реализации выбран широко известный язык программирования Java, используемый для создания платформно-независимых приложений. Кроме того, для решения различных задач сообществом программистов Java разработаны и постоянно развиваются различные полезные библиотеки

классов и визуальных компонентов, например, библиотеки обработки коллекций, вычислительной математики и символьных вычислений, визуальные компоненты для вывода графиков. Некоторые из этих библиотек нашли применение в разработанных авторами программах.

II. ПРОГРАММА ДЛЯ ГРУППОВОГО ЭКСПЕРТНОГО РЕЙТИНГОВОГО ОЦЕНИВАНИЯ НА ОСНОВЕ БАЙЕСОВСКОЙ МОДЕЛИ

A. Общее описание программы

Программа, первая версия которой представлена в [3, 5], предназначена для осуществления группового экспертного рейтингового оценивания объектов любой природы на основе байесовской модели, описанной в [3]. Она оснащена улучшенным графическим интерфейсом пользователя, предоставляющим оператору возможность указать членов экспертной группы, перечень объектов, подлежащих рейтинговому оцениванию экспертами, компетентность экспертов и количество мест в итоговом рейтинге, как это показано на рис. 1.

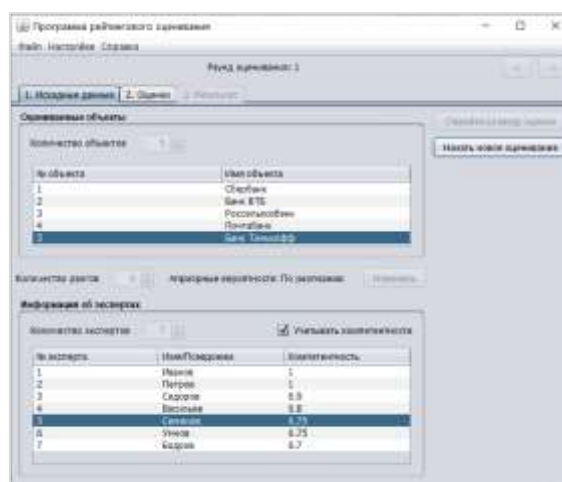


Рис. 1. Ввод исходных данных для оценивания

В процессе оценивания эксперты вводят ранги, присвоенные ими оцениваемым объектам, которые рассматриваются в качестве свидетельств в пользу соответствующих байесовских гипотез о ранге объекта. В случае неуверенности любой из экспертов может указать для любого оцениваемого объекта два смежных ранга, как

это показано на рис. 2. Эта возможность, безусловно, повышает комфортность условий работы команды экспертов и объективность формируемых рейтингов.

После ввода оценок формируются байесовские апостериорные распределения вероятностей на множестве гипотез о ранге каждого объекта и определяется итоговое распределение объектов по местам в рейтинге. При этом может учитываться различный уровень компетентности экспертов, выполняющих оценивание.

Эксперт	Сбербанк	Банк ВТБ	Россельхозбанк	Почтабанк	Банк Тинькофф
Иванов	1	2-3	4	2-3	4
Петров	2	1	4	3	4
Сидоров	3	1-2	4	1-2	4
Васильев	4	3	4	2	1
Семнов	2	3-4	3-4	1	4
Уменов	1	2	3	4	4
Бодяев	1	3-4	2	3-4	3-4

Рис. 2. Оценивание объектов

Поддерживается возможность проведения многораундового оценивания, отсутствовавшая в первой версии программы. Режим многораундового оценивания предполагает использование апостериорных вероятностей предыдущего раунда в качестве априорных вероятностей при вычислениях в текущем раунде. Такой вариант рейтингового оценивания может быть использован при наличии нескольких групп экспертов, нескольких различных критериев оценивания объектов, либо при выявлении коллизий. На рис. 3 показан пример ранжирования объектов на основе введенных экспертных оценок с учетом компетентностей экспертов, выполнявших оценивание.

Ранг	Сбербанк	Банк ВТБ	Россельхозбанк	Почтабанк	Банк Тинькофф
1	0.42	0.21	0.19	0.19	0.12
2	0.30	0.29	0.15	0.32	0.09
3	0.15	0.35	0.23	0.32	0.11
4	0.14	0.16	0.67	0.17	0.27

Рейтинг объектов

- Ранг 1: Сбербанк
- Ранг 2: Почтабанк
- Ранг 3: Банк ВТБ
- Ранг 4: Банк Тинькофф, Россельхозбанк

Рис. 3. Ранжирование объектов

Для обеспечения эффективной работы программа предусматривает сохранение настроек оценивания в файле и считывание их из файла, а также экспорт результатов оценивания в текстовый файл отчета.

В. Особенности программной реализации байесовской модели группового экспертного рейтингового оценивания

Представленная в [3] модель группового экспертного рейтингового оценивания, основанная на применении формулы Байеса, проста и эффективна в реализации, как это показано уже в [5]. Входные данные и результаты вычислений хранятся в обычных двумерных массивах чисел с плавающей запятой, а единообразное использование формулы, основанной на формуле Байеса, для вычисления апостериорных вероятностей позволяет выполнять ранжирование как с учетом, так и без учета уровней компетентности экспертов.

Программа написана с использованием JDK 1.8. Поскольку байесовская модель [3] отличается простым формальным описанием, вся вычислительная логика программы может быть сосредоточена в одном классе, содержащем методы обработки данных и получения результата рейтингового оценивания [5]. Объект класса получает исходные данные от оконных форм, обрабатывает их, используя методы, основанные на описании модели, и предоставляет специальный метод для получения рейтинга объектов. Полученные результаты отображаются средствами стандартных визуальных компонентов библиотеки Swing.

С. Апробация программы

Рассмотренная программа внедрена в учебный процесс в ПГУПС в качестве программного инструмента для выполнения лабораторной работы по групповому рейтинговому оцениванию в рамках курса «Системы поддержки принятия решений». В процессе использования программы студенты не только выполняли ранжирование выбранного ими набора объектов, выступая в качестве экспертов, но и сравнивали результаты ранжирования с ожидаемым ими порядком объектов. Полученные результаты подтвердили, что в большинстве случаев итоговое ранжирование совпадало с ожидаемым порядком объектов. В дальнейшем программа может быть использована для решения прикладных задач экспертного рейтингового оценивания, например, при проведении экспертизы качества некоторых видов продукции на основе органолептических характеристик.

III. ПРОГРАММА ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ НЕЧЕТКОГО ВЫВОДА НА ОСНОВЕ БАЙЕСОВСКОЙ ЛОГИКО-ВЕРОЯТНОСТНОЙ МОДЕЛИ

Программа разработана для практической демонстрации применимости процедуры нечеткого логического вывода, основанной на байесовской логико-вероятностной модели, предложенной в [2] и наиболее полно изложенной в [4], для решения прикладных задач. Суть процедуры нечеткого вывода, базирующегося на байесовской логико-вероятностной модели, заключается в следующем. Множества значений каждой выходной лингвистической переменной (ЛП) отождествляется с множеством соответствующих байесовских гипотез, а измеренные или оцененные «четкие» входные значения трактуются как свидетельства в пользу этих байесовских гипотез. Значения функций принадлежности (ФП)

соответствующих термов входных ЛП используются как аргументы функций вероятностной логики (ФВЛ), получаемых преобразованием набора заданных нечетких продукций. Вычисленные таким образом значения используются как условные вероятности, определяющие степени соответствия свидетельств предположениям об истинности соответствующих байесовских гипотез. Далее они используются для определения апостериорного распределения вероятностей на множестве гипотез, соответствующих значениям выходной ЛП. Это распределение вероятностей применяется для дефаззификации значения выходной ЛП.

А. Общее описание программы

Программа, прототип которой предложен в [6], оснащена графическим оконным интерфейсом. Обеспечивая удобство освоения программы заинтересованными пользователями, авторы сознательно использовали принцип организации вкладок главного окна, повторяющий организацию визуальных компонентов дополнения Fuzzy Logic Toolbox, разработанного для математической системы общего назначения Matlab [8, 9].

На вкладке «Переменные» задаются входные и выходные ЛП, включая их терм-множества и ФП термов. Пример такой настройки приведен на рис. 4.

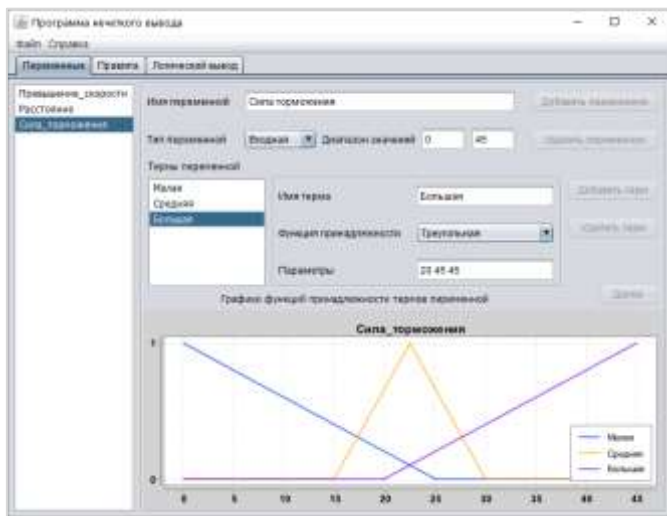


Рис. 4. Настройка лингвистических переменных

В качестве функций принадлежности могут быть использованы как стандартные ФП, применяемые для описания числовых нечетких множеств [7, 8] (треугольные, Гаусса и т. д.), так и кусочно-линейные функции произвольной формы, задаваемые списком точек. Форма и местоположение (смещение) ФП на шкале переменной регулируются числовыми параметрами аналогично тому, как это реализовано в Matlab Fuzzy Logic Toolbox [8].

На вкладке «Правила» перечисляются и редактируются нечеткие продукции. Здесь снова за образец взята реализация работы с правилами в Matlab Fuzzy Logic Toolbox [8]. Для каждого правила задается: посылка в виде логического выражения, связывающего значения входных ЛП; заключение в виде указания, какое значение

принимает выходная ЛП; вес правила. Пример настройки правил приведен на рис. 5.

На вкладке «Логический вывод» осуществляется ввод входных значений и вывод результата нечеткого логического вывода в виде дефаззифицированного значения выходной ЛП.

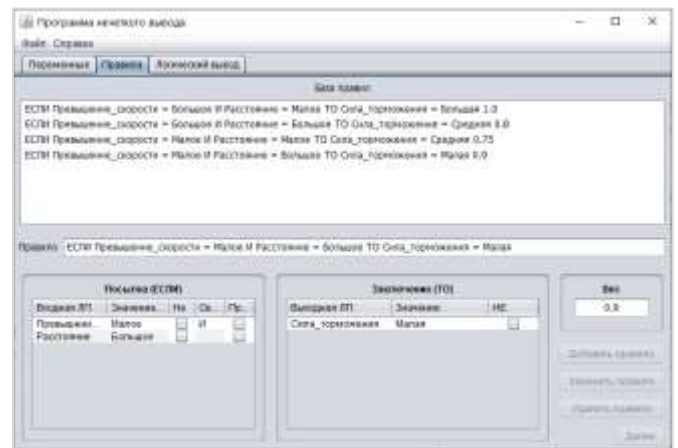


Рис. 5. Настройка правил

С целью поддержки внедрения программы в учебный процесс в ПГУПС (в курсы «Нечеткая логика и нейронные сети», «Интеллектуальные системы и информационная безопасность») в нее встроена функция загрузки демонстрационных примеров систем нечеткого вывода, в том числе описанных в [2, 7, 8].

В. Особенности программной реализации байесовской логико-вероятностной модели нечеткого вывода

Программа написана с использованием JDK 1.8. и средств библиотеки стандартных визуальных компонентов Swing. Дополнительно были использованы библиотека символьных вычислений MVEL, средства библиотеки Apache Commons Lang и графический компонент xChart, обеспечивающий вывод на экран графиков функций принадлежности.

Внутренняя логика работы программы реализуется пакетом связанных классов, представляющих основные сущности модели: лингвистическая переменная, терм, нечеткая продукция, ее посылка и заключение, а также функция принадлежности. Структура разработанных классов обладает степенью универсальности, достаточной для ее дополнения, например, новыми типами ФП. Для решения задачи дефаззификации выходного значения в программу встроены методы численного интегрирования.

Характерной особенностью метода нечеткого вывода, базирующегося на байесовской логико-вероятностной модели, является необходимость (в общем случае) редукции множества продукций путем объединения всех продукций с одинаковым заключением [2, 4] в процессе вывода заключений. Посылка объединенной продукции представляет собой дизъюнкцию посылки объединяемых продукций, которая записывается в дизъюнктивной совершенной нормальной форме (ДСНФ). ДСНФ является ортогональной ДНФ, упрощающей построение и вычисление эквивалентной ей ФВЛ.

Для повышения эффективности формирования ДСНФ посылки объединенной продукции с последующим переходом к ФВЛ на этапе агрегации потребовалось встроить в программу механизмы символьных вычислений, обеспечиваемые библиотекой MVEL.

При отсутствии необходимости редукции множества продукций ФВЛ посылки каждого правила имеет простой вид суммы или произведения слагаемых, что позволяет вычислять ее с минимальными затратами вычислительных ресурсов.

Следует отметить, кроме того, что этап дефаззификации требует численного интегрирования ФП термов выходной ЛП. Однако модель [2, 4] может быть эффективно реализована программно, так как сложные арифметические операции производятся только на этапе определения задачи нечеткого вывода. Нахождение характерных значений термов, например, достаточно выполнить только один раз, не вычисляя их каждый раз при дефаззификации.

ТАБЛИЦА I СРАВНЕНИЕ МОДЕЛЕЙ НЕЧЕТКОГО ВЫВОДА

Параметр сравнения	Традиционные модели нечеткого вывода			Байесовская логико-вероятностная модель нечеткого вывода
	Мамдани	Сугено	Цукамото	
Число выходных ЛП	Одна и более	Одна	Одна	Одна и более
Используются ФП термов выходной ЛП	Да	Нет	Только монотонные	Да
Фаззификация	Используются одинаковые методы			
Агрегация	Min-конъюнкция, алгебраическое произведение, граничное произведение и т. д. [8, 9]			Объединение правил с одинаковыми заключениями, получение ДСНФ, переход к ФВЛ [2]
Активация	По правилу min-активации [8, 9]			Вычисление значения ФВЛ [2]
Аккумуляция	Max-дизъюнкция	Не требуется		Вычисление распределения вероятностей на множестве термов выходной ЛП [2]
Дефаззификация	Метод центра тяжести или центра площади [8, 9]	Разновидность метода центра тяжести для одноточечных множеств [8, 9]		Вычисление математического ожидания характерного значения термина выходной ЛП [4]

В таблице приведены результаты сравнения возможностей байесовской логико-вероятностной модели нечеткого вывода с традиционными моделями Мамдани, Сугено и Цукамото [7–9].

Из таблицы следует, что байесовская модель не содержит в себе ограничений, присущих моделям Сугено и Цукамото, и по своим возможностям близка к модели Мамдани, что дополнительно подтверждено сопоставлением результатов нечеткого логического вывода, полученных с использованием этой модели с результатами работы алгоритма Мамдани [4, 6].

IV. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В докладе рассмотрены программные реализации авторских моделей группового экспертного рейтингового оценивания и нечеткого логического вывода, в основу которых положена формула Байеса. Представлены особенности программной реализации моделей на языке Java, отмечены их преимущества. Разработанные программы внедрены либо находятся на стадии внедрения в учебный процесс в Петербургском государственном университете путей сообщения в рамках курсов, читаемых на кафедре «Информатика и информационная безопасность».

В настоящее время, с целью расширения возможностей дальнейшего использования созданных программ для решения прикладных задач в области экспертного рейтингового оценивания и нечеткого логического вывода, авторами ведется работа по их регистрации в Реестре программ для ЭВМ Роспатента.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Кожомбердиева Г. И., Бураков Д. П. Байесовский подход к решению задач оценивания качества // Мягкие измерения и вычисления. 2018. № 5. С. 15–26.
- [2] Кожомбердиева Г. И. Байесовская логико-вероятностная модель нечеткого вывода // Международная конференция по мягким вычислениям и измерениям. 2019. Т. 1. С. 35–38.
- [3] Кожомбердиева Г. И., Бураков Д. П., Хамчиев Г. А. Реализация группового экспертного рейтингового оценивания на основе формулы Байеса // Мягкие измерения и вычисления. 2019. № 11 (24). С. 4–16.
- [4] Кожомбердиева Г. И., Бураков Д. П. Байесовская логико-вероятностная модель нечеткого вывода: этапы вывода заключений и дефаззификации // Нечеткие системы и мягкие вычисления. 2019. Т. 14. № 2. С. 92–110.
- [5] Хамчиев Г. А., Кожомбердиева Г. И. Байесовский подход к решению задачи рейтингового оценивания и его программная реализация // Транспорт: проблемы, идеи, перспективы: сб. трудов LXXIX Всероссийской науч.-техн. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых, Санкт-Петербург, 15–22 апреля 2019 г. СПб.: ФГБОУ ВО ПГУПС. 2019. С. 319–323.
- [6] Хамчиев Г. А., Кожомбердиева Г. И. Программная реализация байесовской логико-вероятностной модели нечеткого вывода // Транспорт: проблемы, идеи, перспективы: сб. трудов LXXX Всероссийской науч.-техн. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых, Санкт-Петербург, 20–27 апреля 2020 г. СПб.: ФГБОУ ВО ПГУПС. 2020. С. 371–374.
- [7] Бураков Д. П. Логические основы интеллектуальных систем. Ч. 1: учеб. пособие. СПб.: ФГБОУ ВО ПГУПС, 2018. 56 с.
- [8] Леоненков А. В. Нечеткое моделирование в среде MATLAB и fuzzyTECH. СПб.: БХВ-Петербург, 2005. 736 с.
- [9] Mamdani and Sugeno Fuzzy Inference Systems [Электронный ресурс]. URL: <https://www.mathworks.com/help/fuzzy/types-of-fuzzy-inference-systems.html> (дата обращения: 21.03.2021).