

А.А. КУДРЯВЦЕВ, П.А. БАКУЛОВ

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АЛГОРИТМА МАМДАНИ ДЛЯ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ НЕИСПРАВНОСТИ АВТОМОБИЛЯ НА ОСНОВЕ ПОЛЬЗОВАТЕЛЬСКИХ ОПИСАНИЙ СИМПТОМОВ НЕИСПРАВНОСТЕЙ

Описан подход к диагностированию неисправности автомобиля с использованием экспертной системы, реализованной в виде интернет-сервиса. Принцип работы экспертной системы основан на мат. аппарате нечетких множеств и теории свидетельств. Разработанный вариант хранения данных о симптомах и диагнозах соответствует принципам организации продукционных правил нечетких множеств. На последних шагах логического нечеткого вывода, предложенного Мамдани, используется математический аппарат теории свидетельств. Используя указанную логику экспертная система позволяет авто владельцу в интерактивном режиме ответить на уточняющие закрытые вопросы и получить перечень вероятных неисправностей с описанием степени тяжести.

Ключевые слова: нечеткая логика, автомобильная диагностика, теория свидетельств, нечеткие множества, экспертная система принятия решений.

Введение

В начале развития автомобильной промышленности автомобиль являл собой роскошь. Позднее мир познакомился с понятием «народный автомобиль». Несмотря на изменение трендов и восприятия автомобиля своими владельцами, легковые автомобили усложняются с выходом каждой следующей модели. При этом большинство частных пользователей автомобилей пользуются все меньшим процентом имеющихся функций (за исключением полностью автоматических) [1, 11].

По некоторым экспертным оценкам около 18% автомобилистов не могут точно назвать объем двигателя своего автомобиля [1]. Это косвенно говорит о том, что с усложнением автомобилей идет деградация знаний их владельцев о происходящих в их автомобилях процессах [3, 7]. Незнание основ и нюансов работы автомобиля приводит к тому, что авто владельцы стремятся на СТО по любому, порой незначительному, поводу. При этом СТО получает накладные расходы в виде общения мастера-консультанта и выделенные под автомобиль ресурсы: время и место, которые в итоге оказываются незагруженными (рис. 1).

Потеря информации в процессе формирования заявки на ремонт:



Рисунок 1 - Схема информационного взаимодействия при возникновении проблем с автомобилем

Противоположная (и тоже неоптимальная) ситуация из-за потери информации в момент возникновения первых симптомов неисправности — продолжение движения. Возникшая неисправность может быть категорически запрещена как с точки зрения безопасности водителя и пассажиров, так и с точки зрения быстрого износа дорогостоящих узлов и агрегатов в течение следующих 20-30 км пробега [1, 8, 11, 16].

Материал и методы

Авторами был проанализирован и обобщен теоретический аппарат построения экспертных систем [1, 3-7, 9, 10, 12], а также проблемы технической эксплуатации частных автомобилей [2, 8, 11, 13-15, 18], в том числе относительно вопросов к подходам к диагностированию неисправностей по их симптомам, которые фиксирует водитель в процессе эксплуатации автомобиля. Было сделано предположение о том, что процесс диагностирования некоторых неисправностей, признаки которых фиксирует водитель, могут

Алгоритм принятия решения о неисправности автомобиля в значительной степени повторяет подход, описанный Мамдани [17, 19, 20] (рис. 2).



Рисунок 2 - Шаги алгоритма Мамдани

При этом использование функций принадлежности как инструмента перехода от нечетких высказываний к численным значениям и прямым вычислениям итогового результата достаточно хорошо подошло в рамках предметной области диагностирования неисправностей автомобиля в режиме экспертной системы (рис. 3).



Рисунок 3 - Пример вида функции принадлежности

Все множество описаний пользовательских симптомов, известных и пока еще не известных, необходимо привести в формальный вид для обработки компьютерной программой. Теория нечетких множеств в комбинации теория свидетельств позволяет сделать это наиболее удобным и гибким способом, как будет показано ниже.

Теория/расчет

Ниже по тексту описаны последовательные шаги решения задачи определения множества вероятных диагнозов по результатам информационного общения пользователя с информационной системой в соответствии с алгоритмом Мамдани [19, 20].

ФОРМИРОВАНИЕ БАЗЫ ПРАВИЛ

База правил - это множество правил, где каждому подзаключению сопоставлен определенный коэффициент уверенности в заключении. База правил может иметь следующий вид

RULE1: IF «Cnd₁» THEN «Concl₁» (C_{1,1}) AND «Concl₂» (C_{2,2});

RULE2: IF «Cnd₂» AND «Cnd₃» THEN «Concl₃» (C_{3,2,3});

...

RULEn: IF «Cnd_k» THEN «Concl_p» (C_{p,k}) AND «Concl_{p+1}» (C_{(p+1),k}),

где C_{n,k,s} - коэффициент уверенности в истинности получаемого подзаключения Concl_n при выполнении условий k,s.

Лингвистические переменные, присутствующие в условиях, в нашем случае являются пользовательскими симптомами проявляющейся неисправности автомобиля и дополнительными вопросами экспертной системы [11, 13, 14, 17, 21]. Лингвистические переменные, присутствующие в подзаключениях, являются диагнозами.

На основе разработанных сегодня подходов к формированию экспертных систем [7, 9, 10], был проведен опрос экспертов и обработан массив заказ-нарядов, позволивший сформировать статистическую выборку по отказам узлов и агрегатов. В системе сформированы продукционные правила, соответствующих симптому (а) и дополнительному вопросу (б), следующего вида:

а) «ЕСЛИ» «Вибрация на руле на скорости» И «Пробег автомобиля = k {при заданной функции принадлежности к диагнозу R_i}}»,

«ТО» «Принадлежность к диагнозу R_i {«Неравномерное налипание грязи на колесных дисках»} = n».

б) «ЕСЛИ» «Недавно производилась мойка автомобиля»,

«ТО» «Принадлежность к диагнозу R_i {«Неравномерное налипание грязи на колесных дисках»} = m».

ФАЗЗИФИКАЦИЯ ВХОДНЫХ ПЕРЕМЕННЫХ

В соответствии с классическим алгоритмом Мамдани этап фаззификации выполняет задачу приведения к нечеткости. На вход поступают сформированная база правил и массив входных данных $A = \{a_1, \dots, a_m\}$. В этом массиве содержатся значения всех входных переменных. Целью этого этапа является получение значений истинности для всех подусловий из базы правил.

В рамках решения задачи диагностирования неисправностей фаззификация происходит в несколько шагов. Первым шагом и одновременно первой входной переменной, задающей истинность для первого высказывания, является симптом, который идентифицировал автовладелец и который он нашел в базе знаний/правил. При этом дополнительной входной переменной, задающей истинность подусловия, является пробег автомобиля на текущий момент.

Следующим этапом в цикле экспертная система отправляет уточняющие вопросы, которые входят в правила вывода вероятных диагнозов и соответствуют указанному симптому. Когда система заканчивает задавать закрытые вопросы и получать на них ответы, алгоритм переходит к следующему шагу - агрегированию подусловий.

АГРЕГИРОВАНИЕ ПОДУСЛОВИЙ

Этап агрегирования подусловий является следующим в последовательности действий в алгоритме Мамдани. Целью этого этапа является определение степени истинности условий для каждого правила системы нечеткого вывода. Анализ предметной области позволил предположить использование ступенчатой функции принадлежности для подусловий в общем случае.

АКТИВИЗАЦИЯ ПОДЗАКЛЮЧЕНИЙ

На этом этапе происходит переход от подусловий к подзаключениям. Для каждого подзаключения находится степень его истинности. Классическая теория нечетких множеств говорит о «min-активации» при расчете итоговой функции принадлежности по каждому подзаключению, которое в нашем случае характеризует тот или иной диагноз.

Теория говорит о следующем расчёте меры доверия:

$$d_i = c_i * C_{ij}(x). \quad (1)$$

Каждому i -му подзаключению сопоставляется множество подусловий D_i с новой функцией принадлежности. Итоговая функция принадлежности для подзаключения рассчитывается:

$$\mu'_i(x) = \{d_i, \mu_i(x)\}, \quad (2)$$

где $\mu'_i(x)$ - «активизированная» функция принадлежности;

$\mu_i(x)$ - функция принадлежности терма;

d_i - степень истинности i -го подзаключения.

Для большинства подусловий функция принадлежности вырождена. Соответственно, получаем $d_i = \mu_i(x)$ и $\mu'_i(x) = \mu_i(x)$.

АККУМУЛЯЦИЯ ЗАКЛЮЧЕНИЙ

Целью этапа аккумуляции заключений является получение значений достоверности для каждого диагноза, относящегося к симптому, зафиксированному пользователем.

Правила нечеткого вывода формально описывают это следующим образом: i -ой выходной переменной сопоставляется объединение множеств $E_i = \cup D_j$, где j - номера подзакключений в которых участвует i -ая выходная переменная ($i = 1..s$). Объединением двух нечетких множеств является нечеткое множество со следующей функцией принадлежности: $\mu'_i(x) = \max\{\mu_1(x), \mu_2(x)\}$, где $\mu_1(x), \mu_2(x)$ - функции принадлежности объединяемых множеств.

На текущем этапе использование математического аппарата нечеткой логики было модифицировано исходя из ниже следующих соображений.

1) При утвердительных ответах на закрытые пользовательские вопросы достоверность принятия решения о конкретном диагнозе должна хоть незначительно, но увеличиваться.

2) При отрицательном ответе на уточняющий вопрос в некоторых случаях достоверность данного диагноза должна быть близкой к нулю.

Таким образом, возникает необходимость на этапе «Акумуляция заключений» перейти к мат. аппарату теории свидетельств.

Основными соотношениями теории свидетельств являются (3), (4):

$$КУ[h: e] = МД[h: e] - МНД[h: e], \quad (3)$$

где $КУ[h: e]$ - уверенность в гипотезе h с учётом свидетельства e ;

$МД[h: e]$ - мера доверия к гипотезе h при заданном свидетельстве e ;

$МНД[h: e]$ - мера недоверия h при свидетельстве e .

$$МД[h: e_1, e_2] = МД[h: e_1] + МД[h: e_2](1 - МД[h: e_1]), \quad (4)$$

где запятая между e_1 и e_2 означает, что e_2 следует за e_1 .

В результате использования такого подхода база правил вывода получила следующую структуру для хранения информации, - модель данных «единица диагностирования» (5):

$$\text{DiagnElem}\{H, E, CM, ACM\}, \quad (5)$$

где $H = \{df_m\}$ - множество гипотез о возникновении неисправности df_i ;

$E = \{symp_j, ctx_k, ctxScl_s, distT_b, dist_v, mrk_n, mdl_c, dev_h\}$ - множество свидетельств;

$symp_i$ - элемент из множества симптомов, фиксируемых водителем в процессе эксплуатации автомобиля;

ctx_k - элемент множества контекстов диагностирования;

$ctxScl_s$ - элемент множества шкалы контекста;

$distT_b \in DistT$ - элемент множества «диапазона пробега» $DistT$, состоящего из двух элементов $DistT = \{DistFrom, DistUpTo\}$.

$DistFrom$ - пробег «начиная с», $DistUpTo$ - пробег «до».

dev_h - элемент множества дополнительного оборудования, устанавливаемого на автомобиль;

$dist_k$ - значение пробега указанного элемента множества $DistT$, для которого определена 95% вероятность возникновения соотв. неисправности;

mrk_n - элемент множества марок, по которым содержатся знания в экспертной системе;

mdl_c - элемент множества моделей;

CM_i - множество мер доверия;

ACM_p - множество мер недоверия.

Пример формирования описания симптома на основе спроектированной структуры: «Симптом» = «Следы масла»; «контекст» = «в подкапотном пространстве»; «шкала контекста» = «-» - не задана. Другой вариант: «Симптом» = «Вибрация на руле»; «контекст» = «на скорости»; «шкала контекста» = от «60» до «-».

Представленная структура позволяет, в частности, формировать лексически корректные вопросы пользователю, при этом гарантированно ограничиваясь набором заданных в системе правил вывода.

ДЕФАЗЗИФИКАЦИЯ ВЫХОДНЫХ ПЕРЕМЕННЫХ

Цель дефаззификации получить количественное значение (crisp value) для каждой из выходных лингвистических переменных. В нашем случае нечеткая логика используется для поиска по нечеткому критерию, то есть дефаззификация в принципе не нужна.

В результате итеративного взаимодействия с пользователем экспертная система получает множество диагнозов, для которых вычислена итоговая мера доверия. В системе определена минимальная степень равенства, значения ниже которой нас не интересуют - это 50%. Для оставшихся элементов степень равенства будет релевантностью, по убыванию которой система сортирует результаты и выводит их на экран пользователю.

Результаты и обсуждения

При формировании экспертной системы диагностирования неисправностей легковых автомобилей в расчет брались только те симптомы, которые может формулировать автовладелец. Самым важным в представленных результатах является то, что помимо непосредственно диагноза, система формирует дополнительное описание к каждой вероятной неисправности. Ради получения информации, заложенной в описании, пользователь обращается к разработанной системе, одновременно с этим экономя время мастеров-консультантов.

Основной смысл, заложенный в описании, делится на несколько категорий: 1) дать пользователю понять степень прогресса неисправности в случае продолжения движения; 2) дать пользователю понять насколько опасно продолжение движения для водителя и пассажира; 3) дать рекомендации по устранению данной неисправности — в «полевых» условиях и/или в специализированном сервисе.

Выводы

Использование аппарата нечеткой логики при определении множества вероятных диагнозов автомобиля хорошо подходит для формального описания предметной области экспертной системы. Однако разработанные правила получения итоговой вероятности для множества неисправностей (этап аккумуляции заключений) не вполне пригодны из-за слишком грубых для нашего случая минимаксных и максиминных формальных методов расчета степени принадлежности симптомов к тому или тому диагнозу. Использование на последнем шаге формальных методов теории свидетельств позволило построить более гибкий процесс взаимодействия пользователя с экспертной системой и получить более точные результаты диагностики автомобиля в рамках интерактивного взаимодействия с экспертной системой, минуя мастеров-консультантов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бакулов, П.А. Исследование подходов к формированию лексически корректных вопросов в системе автоматического диагностирования неисправности автомобиля [Текст] / П.А. Бакулов // Транспортное дело России. - 2015. - №5. - С. 171-173.
2. Гребенников, А.С. Концепция индивидуального управления техническим состоянием автомобилей в процессе эксплуатации [Текст] / А.С. Гребенников, С.А. Гребенников, Ш.К. Гусенов, А.А. Кузьмичев, А.С. Обельцев // Техническое регулирование в транспортном строительстве. - 2018. - № 1 (27). - С. 103-108.
3. Джексон, П. Введение в экспертные системы [Текст] / П. Джексон. - М.: Диалектика. - 3-е издание, 2001. - 645 с.
4. Интеллектуальные информационные технологии [Текст]: учебное пособие / А.И. Башмаков, И.А. Башмаков. - М.: МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2005. - 304 с.
5. Корнилов, Ю.Н. Технология обработки парных сравнений при проведении экспертной оценки [Текст] / Ю.Н. Корнилов // Записки Горного института. Современные проблемы освоения территорий. - 2013. - Т. 204. - С. 171-174.
6. Коробов, В.Б. Сравнительный анализ методов определения весовых коэффициентов «влияющих факторов» [Текст] / В.Б. Коробов // Социология. - 2005. - №20. - С. 12-20.
7. Кофман, А. Введение теории нечетких множеств: управление предприятием [Текст] / А. Кофман, Хил Алуха Х. - Минск: Высшая школа, 1992. - 223 с.
8. Ломакин, Д.О. Комплексная оценка уровня качества услуг предприятий автосервиса [Текст]: дис. ... канд. техн. наук: 05.22.10: защищена 18.02.10: утв. 21.07.10 / Ломакин Денис Олегович. - Орел, 2010. - 134 с.
9. Методы обработки экспертной информации [Текст]: учебно-метод. пособие ГУАП / А.Н. Павлов, Б.В. Соколов. - СПб, 2005. - 42 с.
10. Осуга, С. Обработка знаний [Текст] / С. Осуга. - М.: Мир. - Пер. с япон., 1989. - 321 с.
11. Пархоменко, И.А. Техническое обслуживание автомобилей японского производства [Текст] / И.А. Пархоменко. - Новосибирск, 1996. - 196 с.
12. Сафонов, В.О. Экспертные системы - интеллектуальные помощники специалистов [Текст] / В.О. Сафонов. - СПб: Санкт-Петербургская организация общества «Знания» России, 1992. - 245 с.
13. Спичкин, Г.В. Диагностирование технического состояния автомобилей [Текст] / Г.В. Спичкин. - М.: Высшая школа, 2007. - 254 с.
14. Техническая эксплуатация автомобилей [Текст]: учебник для вузов / под ред. Е.С. Кузнецова. - М.: Транспорт, 2007. - 413 с.
15. Kala, R. On-road intelligent vehicles. Motion planning for intelligent transportation systems [Текст] / R. Kala. - Butterworth-Heinemann, 2016. - 536 p.
16. Practical applications of soft computing in engineering [Текст] / Fuzzy logic systems institute (FLSI): Soft computing series. - Volume 4. - 2001. - 440 p.
17. Sugeno, T. Fuzzy interval optimal control problem [Текст] / Toshiro Sugeno, Edvaldo Assunção, Geraldo Nunes Silva et al // Fuzzy sets and systems. - Volume 385. - 2020. - P. 169-181.
18. Xu, Wang. Vehicle noise and vibration refinement [Текст] / Xu Wang. - Woodhead Publishing, 2010. - 448 p.
19. Zadeh, L.A. Fuzzy sets and their applications to cognitive and decision processes [Текст] / L.A. Zadeh, King-sun fu kokichi tanaka. - Academic Press, 1975. - 506 p.
20. Zadeh, L.A. Fuzzy sets, fuzzy logic, and fuzzy systems [Текст] / L.A. Zadeh. - Advances in fuzzy systems - world scientific: applications and theory. - Volume 6, 1996. - 840 p.

Кудрявцев Александр Александрович
ООО «Прагматика»

Адрес: 115533, Россия, г. Москва,
проспект Андропова, д. 22, оф. 21
Кад. техн. наук, руководитель проектов
E-mail: a.kudryavtsev@pragmatica.me

Бакулов Петр Андреевич
ООО «Прагматика»

Адрес: 115533, Россия, г. Москва,
проспект Андропова, д. 22, оф. 21
Генеральный директор
E-mail: ceo@pragmatica.me

A.A. KUDRYAVTSEV, P.A. BAKULOV

ALGORITHM MAMDANI AT DIAGNOSING VEHICLE MALFUNCTION WITH THE HEPL OF USER DEFINED SYMPTOMS

The article describes the approach for the automated diagnosing vehicle's malfunction with the help of the expert system with the interaction over the Internet. The diagnosis algorithms utilize the Mamdani algorithm on fuzzy sets and a theory of evidences. The diagnostic data is stored in the database in the format close to production rules of fuzzy sets. Last steps in the algorithm is using the evidence theory rules. Developed user web-interface lets the user display final probable diagnosis with the recommendations.

Keywords: fuzzy logic, vehicle diagnostic, evidence theory, fuzzy sets, decision-making expert system.

BIBLIOGRAPHY

1. Bakulov, P.A. Issledovanie podkhodov k formirovaniyu leksicheskikh korrektnykh voprosov v sisteme avtomaticheskogo diagnostirovaniya neispravnosti avtomobilya [Tekst] / P.A. Bakulov // Transportnoe delo Rossii. - 2015. - №5. - S. 171-173.
2. Grebennikov, A.S. Kontseptsiya individual'nogo upravleniya tekhnicheskimi sostoyaniem avtomobiley v protsesse ekspluatatsii [Tekst] / A.S. Grebennikov, S.A. Grebennikov, S.H.K. Gusenov, A.A. Kuz'michev, A.S. Obel'tsev // Tekhnicheskoe regulirovanie v transportnom stroitel'stve. - 2018. - № 1 (27). - S. 103-108.
3. Dzhekson, P. Vvedenie v ekspertnye sistemy [Tekst] / P. Dzhekson. - M.: Dialektika, 2001. - 645 s.
4. Intellektual'nye informatsionnye tekhnologii [Tekst]: uchebnoe posobie / A.I. Bashmakov, I.A. Bashmakov. - M.: MGTU im. N. E. Baumana, 2005. - 304 s.
5. Kornilov, Yu.N. Tekhnologiya obrabotki parnykh sravneniy pri provedenii ekspertnoy otsenki [Tekst] / Yu.N. Kornilov // Zapiski Gornogo instituta. Sovremennye problemy osvoeniya territoriy. - 2013. - T. 204. - S. 171-174.
6. Korobov, V.B. Sravnitel'nyy analiz metodov opredeleniya vesovykh koeffitsientov «vliyayushchikh faktorov» [Tekst] / V.B. Korobov // Sotsiologiya. - 2005. - №20. - S. 12-20.
7. Kofman, A. Vvedenie teorii nechetkikh mnozhestv: upravlenie predpriyatiem [Tekst] / A. Kofman, Hil Alukha X. - Minsk: Vysshaya shkola, 1992. - 223 s.
8. Lomakin, D.O. Kompleksnaya otsenka urovnya kachestva uslug predpriyatiy avtoservisa [Tekst]: dis. ... kand. tekhn. nauk: 05.22.10: zashchishchena 18.02.10: utv. 21.07.10 / Lomakin Denis Olegovich. - Orel, 2010. - 134 s.
9. Metody obrabotki ekspertnoy informatsii [Tekst]: uchebno-metod. posobie GUAP / A.N. Pavlov, B.V. Sokolov. - SPb, 2005. - 42 s.
10. Osuga, S. Obrabotka znaniy [Tekst] / S. Osuga. - M.: Mir. - Per. s yapon., 1989. - 321 s.
11. Parkhomenko, I.A. Tekhnicheskoe obsluzhivanie avtomobiley yaponskogo proizvodstva [Tekst] / I.A. Parkhomenko. - Novosibirsk, 1996. - 196 s.
12. Safonov, V.O. Ekspertnye sistemy - intellektual'nye pomoshchniki spetsialistov [Test] / V.O. Safonov. - SPb: Sankt-Peterburgskaya organizatsiya obshchestva «Znaniya» Rossii, 1992. - 245 s.
13. Spichkin, G.V. Diagnostirovanie tekhnicheskogo sostoyaniya avtomobiley [Tekst] / G.V. Spichkin. - M.: Vysshaya shkola, 2007. - 254 s.
14. Tekhnicheskaya ekspluatatsiya avtomobiley [Tekst]: uchebnyk dlya vuzov / pod red. E.S. Kuznetsova. - M.: Transport, 2007. - 413 s.
15. Kala, R. On-road intelligent vehicles. Motion planning for intelligent transportation systems [Tekst] / R. Kala. - Butterworth-Heinemann, 2016. - 536 p.
16. Practical applications of soft computing in engineering [Tekst] / Fuzzy logic systems institute (FLSI): Soft computing series. - Volume 4. - 2001. - 440 p.
17. Sugeno, T. Fuzzy interval optimal control problem [Tekst] / Toshiro Sugeno, Edvaldo Assunob, Geraldo Nunes Silva et al // Fuzzy sets and systems. - Volume 385. - 2020. - P. 169-181.
18. Xu, Wang. Vehicle noise and vibration refinement [Tekst] / Xu Wang. - Woodhead Publishing, 2010. - 448 p.
19. Zadeh, L.A. Fuzzy sets and their applications to cognitive and decision processes [Tekst] / L.A. Zadeh, Kingsun fu kokichi tanaka. - Academic Press, 1975. - 506 p.
20. Zadeh, L.A. Fuzzy sets, fuzzy logic, and fuzzy systems [Tekst] / L.A. Zadeh. - Advances in fuzzy systems - world scientific: applications and theory. - Volume 6, 1996. - 840 p.

Kudryavtsev Alexander Alexandrovich

LLC «Pragmatics»

Address: 115533, Moscow, Andropova avenue, 22, office №21

Candidate of technical sciences

E-mail: a.kudryavtsev@pragmatica.me

Bakulov Petr Andreevich

LLC «Pragmatics»

Address: 115533, Moscow, Andropova avenue, 22, office №21

E-mail: ceo@pragmatica.me