

UO‘K: 004.8; 519.95

NOANIQ MANTIQ VA NOANIQ PRODUKTSION QOIDALAR ASOSIDA INTELLEKTUAL EKSPERT TIZIMLARINI MODELLASHTIRISH

Maxmadiyev Baymamat Saitaxmadovich – iqtisod fanlari nomzodi, dotsent,
ORCID: 0009-0001-5724-4140, E-mail: maxmadiyevbaymamat@gmail.com

Qarshi davlat texnika universiteti, Qarshi sh., O‘zbekiston

***Annotatsiya.** Ushbu maqolada sun‘iy intellekt va intellektual ekspert tizimlarida muhim o‘rin tutadigan noaniq mantiq va noaniq produktsion qoidalar tushunchalari atroflicha tahlil qilinadi. Muallif tomonidan real hayotdagi murakkab va to‘liq emas ma‘lumotlarga asoslangan qaror qabul qilish jarayonlarida noaniq xulosalarni modellashtirishning ahamiyati asoslab berilgan.*

Tadqiqotda suv sathini avtomatik boshqarish tizimi misolida noaniq tegishlilik funktsiyalari shakllantirildi va ular asosida klapanni ochish burchagini aniqlovchi xulosa chiqarish algoritmi ishlab chiqildi. Bu orqali mutaxassis bilimlari formallashtirilib, kompyuterda amalga oshirilishi mumkin bo‘lgan intellektual boshqaruv modeli yaratildi.

Maqolada fazzifikatsiya, qoidalarga asoslangan xulosa chiqarish, agregatsiya va defazzifikatsiya kabi bosqichlar izchil yoritilib, ularning amaliy jihatlari grafik tahlillar orqali tasdiqlangan. Shu bilan birga, muallif tomonidan ekspertlar bilan intervyu, kuzatuv va eksperiment usullaridan foydalangan holda tegishlilik funktsiyalarini shakllantirish metodologiyasi taklif qilingan.

Tadqiqot natijalari noaniq modellar asosida inson bilimlarini samarali ifoda etish va dinamik boshqaruv tizimlarini yaratishda katta imkoniyatlar mavjudligini ko‘rsatdi. Mazkur yondashuvni tibbiyot, ta‘lim, iqtisodiyot va boshqa sohalaridagi noaniq va sub‘ektiv qaror qabul qilish jarayonlariga tatbiq etish tavsiya etiladi.

***Kalit so‘zlar:** noaniq mantiq, ekspert tizim, tegishlilik funktsiyasi, sun‘iy intellekt, produktsion qoidasi.*

УДК: 004.8; 519.95

МОДЕЛИРОВАНИЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ ЭКСПЕРТНЫХ СИСТЕМ НА ОСНОВЕ НЕЧЁТКОЙ ЛОГИКИ И НЕЧЁТКИХ ПРОДУКЦИОННЫХ ПРАВИЛ

Махмадиев Баймадат Саитахмадович – кандидат экономических наук, доцент

Каршинский государственный технический университет, г. Карши, Узбекистан

***Аннотация.** В данной статье подробно рассматриваются понятия нечеткой логики и нечетких продукционных правил, играющих важную роль в системах искусственного интеллекта и интеллектуальных экспертных системах. Автор обосновывает актуальность моделирования нечетких выводов при принятии решений на основе неполной, неопределенной и субъективной информации в реальных условиях.*

На примере автоматического управления уровнем воды сформированы функции принадлежности и разработан алгоритм вывода для определения угла открытия клапана. Тем самым знания специалиста формализованы в виде интеллектуальной модели управления, реализуемой на компьютере.

В статье подробно описаны этапы фаззификации, вывода на основе правил, агрегации и дефаззификации, а их практические аспекты подтверждены графическим анализом. Предложена методология формирования функций принадлежности на основе интервью со специалистами, наблюдений и экспериментов.

Результаты исследования показывают высокую эффективность применения нечетких моделей для формализации человеческих знаний и построения адаптивных управляющих систем. Подход рекомендуется для применения в медицине, образовании, экономике и других областях, где важны субъективные и нечеткие аспекты принятия решений.

Ключевые слова: нечеткая логика, экспертная система, функция принадлежности, искусственный интеллект, продукционное правило.

UDC: 004.8; 519.95

MODELING INTELLIGENT EXPERT SYSTEMS BASED ON FUZZY LOGIC AND FUZZY PRODUCTION RULES

Makhmadiev, Baymamat Saitakhmadovich – Candidate of Economic Sciences,
Associate professor

Karshi State Technical University, Karshi city, Uzbekistan

Abstract. This article provides a detailed analysis of fuzzy logic and fuzzy production rules, which play a significant role in artificial intelligence and expert systems. The author justifies the relevance of modeling fuzzy inference for decision-making processes based on incomplete, uncertain, and subjective information in real-world scenarios.

Using the example of an automatic water level control system, membership functions were developed and an inference algorithm was designed to determine the valve opening angle. Through this, expert knowledge was formalized into an intelligent control model that can be implemented on a computer.

The article systematically covers the stages of fuzzification, rule-based inference, aggregation, and defuzzification, with practical aspects supported by graphical analysis. A methodology for generating membership functions through expert interviews, observation, and experimentation is proposed.

The results demonstrate that fuzzy models are highly effective in formalizing human reasoning and developing adaptive control systems. The approach is recommended for application in fields such as medicine, education, and economics, where decision-making often involves uncertainty and subjectivity.

Keywords: fuzzy logic, expert system, membership function, artificial intelligence, production rule.

Kirish

So‘nggi yillarda sun‘iy intellekt tizimlarining rivojlanishi bilan birga, ma‘lumotlar asosida qaror qabul qilish jarayonlarida noaniq mantiq va uning asosiy elementi – noaniq xulosalar keng qo‘llanilmoqda. Aniq xulosalarni nazariy jihatdan noaniq xulosalarning xususiy holati sifatida qarash mumkin, shu sababli an‘anaviy ekspert tizimlari ham noaniq tizimlar tarkibiga kiradi [1].

Noaniq mantiq nazariyasiga asoslangan noaniq produktsion qoidalar insonning tabiiy tilda bayon etilgan bilimlarini formal ko‘rinishga keltirishda muhim o‘rin tutadi. Masalan, “agar suv sathi yuqori bo‘lsa, u holda klapani ochish kerak” kabi qoidalar klassik mantiqiy tizimda emas, balki noaniq mantiq asosida yaxshiroq ifoda etiladi.

Shu bois, noaniq produktsion qoidalar sun‘iy intellekt, ekspert tizimlar, avtomatlashtirilgan boshqaruv, diagnostika, prognozlash kabi sohalarda keng qo‘llanilmoqda. Ushbu maqolada aynan shu qoidalarning nazariy asoslari, tegshlilik funktsiyalarini shakllantirish usullari va ularni amaliy tizimlarga tatbiq etish imkoniyatlari tahlil qilinadi. Bundan tashqari, noaniq qoidalarni shakllantirishda ekspert bilimlarining o‘rni, turli aniqlash usullari hamda grafik ifodalar ko‘rib chiqiladi.

Masalaning qo‘yilishi va tadqiqot usuli

Sun‘iy intellektual tizimlarda real holatlar asosida qaror qabul qilish jarayonida ma‘lumotlarning noaniq, to‘liq emas va sub‘ektiv bo‘lishi keng tarqalgan holatdir. Bu holatda klassik mantiqiy qoidalar yetarli emasligini ko‘rsatadi. Bunday murakkab tizimlarda inson bilim va intuitsiyasini hisobga olgan holda noaniq mantiqiy modellardan foydalanish maqsadga muvofiq hisoblanadi.

Tadqiqotning asosiy maqsadi - noaniq produktsion qoidalarni shakllantirish, ular uchun tegishlilik funktsiyalarini aniqlash va ularni xulosa chiqarish jarayonida samarali qo'llash imkoniyatlarini tahlil qilishdan iborat. Shu orqali noaniq qoidalarni amaliy ekspert tizimlarga integratsiya qilish asoslanadi.

Tadqiqot doirasida quyidagi vazifalar belgilab olindi:

- Real jarayonni noaniq tushunchalar orqali ifodalash;
- Aniq ma'lumotlar asosida tegishlilik funktsiyalarini shakllantirish;
- Noaniq produktsion qoidalarni ekspert bilimlari asosida tuzish;
- Xulosa chiqarish algoritmini modellashtirish va natijalarni tahlil qilish.

Tadqiqot usuli sifatida noaniq mantiq nazariyasi asosidagi amaliy modellashtirish usuli tanlandi. Tegishlilik funktsiyalari savol-javob va kuzatuv usullari orqali aniqlandi. Tajriba qismida "suv sathini boshqarish" kabi real muammo modellashtirildi va noaniq qoidalar yordamida "klapani avtomat boshqarish" algoritmi ishlab chiqildi. Bu jarayonda noaniq qoidalarning samaradorligi grafik tahlil orqali baholandi.

Noaniq xulosalarning nazariy asoslari.

Noaniq xulosalar (*fuzzy inference*) noaniq mantiqiy tizimlarning asosiy tarkibiy qismi hisoblanadi va real hayotdagi noaniqlik, sub'ektivlik va tushunarsizlikni modellashtirishda muhim ahamiyat kasb etadi. Bunday xulosalar, Zade (Zadeh, 1975) tomonidan taklif etilgan "lingvistik o'zgaruvchilar" va "tegishlilik funktsiyalari" tushunchalari asosida shakllanadi [2].

Noaniq xulosalarni amalga oshirish jarayonida quyidagi bosqichlar muhim ahamiyatga ega:

-Fazzifikatsiya (Fuzzification) bosqichida aniq ma'lumotlar noaniq shaklga aylantiriladi. Ya'ni, kiruvchi ma'lumotlarni tegishli lingvistik toifalarga ajratish uchun ularning tegishlilik darajalari aniqlanadi [3]. Masalan, "*suv sathi = 1.8 m*" ma'lumoti "*yuqori*" degan noaniq toifaga 0.7 darajada tegishli bo'lishi mumkin.

-Qoidalarga asoslangan xulosa chiqarish (Rule-based Inference) bosqichida noaniq produktsion qoidalar to'plami asosida, kirish ma'lumotlarining tegishlilik darajalariga mos ravishda chiqish xulosalari shakllantiriladi. Bunday qoidalar quyidagi ko'rinishida bo'ladi:

"AGAR ... UNDA ...".

- Agregatsiya va kompozitsiya bosqichida barcha qoidalardan kelib chiqqan xulosalar noaniq jihatdan birlashtiriladi.

- Defazzifikatsiya (Defuzzification) bosqichi noaniq xulosalarni aniq qiymatga aylantirish bosqichidir.

Noaniq xulosalarning afzalliklari:

- Odam bilimlari va ifoda usullariga yaqin;
- To'liq va aniq bo'lmagan ma'lumotlar asosida qaror qabul qilish imkoniyati;
- Moslashuvchan va dinamik modellar tuzish imkonini beradi.

Bu usullar noaniq to'plamlar nazariyasi, Bu jihatdan L. Zade, D. Dyubua, H. Pralata, B. Kosko, J. Klir va boshqa olimlarning ishlariga asoslangan. Ularning ilmiy ishlari noaniq mantiq va intellektual boshqaruv tizimlarining rivojlanishiga poydevor bo'lgan [4].

Aniq sun'iy intellektidagi xulosalar noaniq xulosalarning xususiy holati bo'lgani uchun, aniq metodologiyaga asoslangan ekspert tizimlarini noaniq ekspert tizimlarining bir ko'rinishi deb qarash mumkin. Ammo noaniq ekspert tizimlarida ham, tadqiqot jarayonida aniq xulosalarni, masalan, freymlar yoki boshqa usullar yordamida qo'llash bilan birga, ularni noaniq xulosalar darajasigacha kengaytirish imkoniyatlari ham ko'rib chiqiladi.

Amalda keng foydalanilayotgan tizimlarning deyarli barchasi, hozirgi kunda, qoidalarga asoslangan tizimlar - ya'ni noaniq produktsion qoidalarga, yoki noaniq munosabatlardan foydalanuvchi relyatsion tizimlarga taalluqlidir [10].

Bu ikki xil tizimning ishlashini nazariy jihatdan umumiy noaniq xulosa chiqarish kompozitsion qoidalari orqali tushuntirish mumkin. Quyidagi misol orqali noaniq xulosa qanday amalga oshirilishini ko'rib chiqamiz. Faraz qilaylik, mutaxassisda shunday bilim mavjud: agar suv sathi

ko'tarilsa, chiqarish klapanini ochish lozim. Bu bilim "AGAR... UNDA ..." ko'rinishidagi noaniq produktsion qoida sifatida quyidagicha ifodalanishi mumkin:

AGAR *suv sathi yuqori bo'lsa*, UNDA *klapani ochish kerak*. (1)

Ushbu iborada suv sathining metrdagi aniq miqdori yoki klapan qanday burchakkacha ochilishi haqida ma'lumot yo'q. Biroq mutaxassis bu ma'lumotlarga ega. Masalan, agar undan: «*Yuqori suv sathi – bu necha metr?*» deb so'rasak, javob quyidagicha bo'lishi mumkin: «*Taxminan 2 metr*». Buni noaniq to'plam orqali quyidagicha ifoda etish mumkin:

"YUQORI" noaniq to'plamni tegishlilik funktsiyasi orqali quyidagicha ifodalab olamiz, umumiy holda, masalan $A = \mu_A(s_1)/s_1 + \mu_A(s_2)/s_2 + \dots + \mu_A(s_n)/s_n = \sum \mu_A(s_i)/s_i$. Bu yerda $\mu_A(s)$ - tegishlilik funktsiyasi bo'lib, quyidagicha aniqlanadi

$$\mu_A(s) = \begin{cases} 1, & \text{agar } s \in A \text{ bo'lsa,} \\ 0, & \text{agar } s \notin A \text{ bo'lsa.} \end{cases}$$

Agar $\mu_A(s_1) = 0.1$; $\mu_A(s_2) = 0.3$; $\mu_A(s_3) = 0.7$; $\mu_A(s_4) = 0.8$; $\mu_A(s_5) = 0.9$; $\mu_A(s_6) = 1.0$; $\mu_A(s_7) = 1.0$; $\mu_A(s_8) = 1.0$; shuningdek, $s_1 = 1.5m$; $s_2 = 1.6m$; $s_3 = 1.7m$; $s_4 = 1.8m$; $s_5 = 1.9m$; $s_6 = 2.0m$; $s_7 = 2.0m$; $s_8 = 2.0m$ bo'lsa, ushbu ekspert qiymatlarni formulada o'rniga qo'yib quyidagi noaniq to'plamni hosil qilamiz

$$YUQORI = 0.1/1.5m + 0.3/1.6m + 0.7/1.7m + 0.8/1.8m + 0.9/1.9m + 1.0/2.0m + 1.0/2.1m + 1.0/2.2m \quad (2)$$

Bu ifoda mutaxassis fikrini quyidagi qat'iy ta'rifga nisbatan aniqroq aks ettiradi: «*1.9 metrgacha suv sathi hali yuqori emas, 2.0 metrdan boshlab — yuqori*».

Xuddi shunday, klapan burchagini 90° - to'liq ochiq holat deb hisoblasak, quyidagi tegishlilik funktsiyasi bilan ifoda qilish mumkin:

$$OCHISH = 0.1/30^\circ + 0.2/40^\circ + 0.3/50^\circ + 0.5/60^\circ + 0.8/70^\circ + 1.0/80^\circ + 1.0/90^\circ \quad (3)$$

Bunday tizimni yaratayotgan inson produktsion qoida (1) asosida aniq tegishlilik funktsiyalari (2) va (3) ni yaratadi.

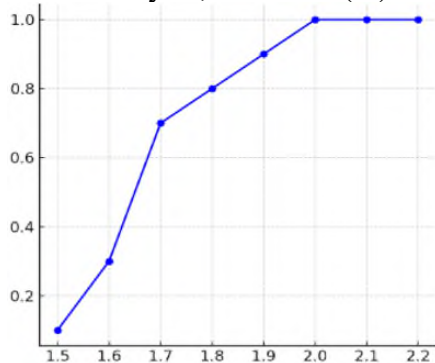
Bunday ekspert tizimni yaratishda ishlab chiquvchi odatda quyidagi bosqichlardan o'tadi:

1. Mutaxassis bilan intervyu o'tkazish orqali asosiy qiymatlarni aniqlaydi.
2. Real sharoitda mutaxassis harakatini kuzatib, vaziyatni modellashtirish tiradi.
3. Modellashtirilgan vaziyatlar orqali eksperiment o'tkazib, tegishlilik funktsiyalarini optimallashtiradi [5].

Agar yuqoridagi usulga ko'ra tegishlilik funktsiyalari aniqlansa, ularni EHM da bilimlar bazasi sifatida saqlash mumkin. Masalan, (2) va (3) ni bir o'lchamli massiv sifatida, u yerda indekslarni to'liq massiv elementlariga mos keladigan shaklda saqlash mumkin. Umumiylikni yo'qotmagan holda, (1) turdagi noaniq produktsion qoidalari bilimlar bazasida jamlanadi deb hisoblaymiz [6, 7].

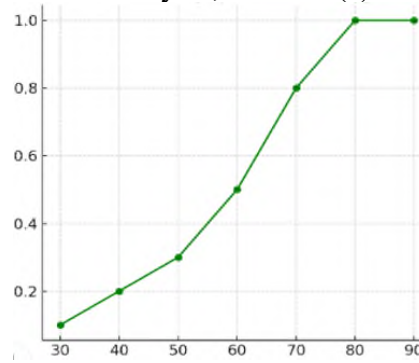
Quyida noqatiy tushunchalarning grafik ifodalari taqdim etilgan:

YUQORI suv sathi uchun tegishlilik funktsiyasi, Suv sathi (m)



1-rasm

Klapani **OCHISH** uchun tegishlilik funktsiyasi, Burchak($^\circ$)



2-rasm

1-rasm. Yuqori suv sathi uchun tegishlilik funktsiyasi – bu grafik ekspert tomonidan belgilangan "YUQORI" tushunchasining metrik ko'rinishidagi aniqlanishini ifodalaydi.

2-rasm. Klapani ochish burchagi uchun tegishlilik funktsiyasi – klapan qanchalik ochilishini belgilaydigan noqatiy funktsiyani tasvirlaydi.

Tadqiqot natijalari va ularning muhokamasi

Olib borilgan tadqiqotlar noaniq produktsion qoidalarning real tizimlarda samarali ishlashini tasdiqladi. “*Suv sathi – klapan ochilishi*” misolida noaniq tushunchalar asosida tegishlilik funktsiyalari tuzildi va ular asosida xulosa chiqarish algoritmi ishlab chiqildi. Mazkur modelda har bir kirish signali (*suv sathi*) uchun tegishli chiqish signali (*klapan burchagi*) noaniq mantiqiy xulosa mexanizmi orqali aniqlandi.

Natijalardan ko‘rinishicha, noaniq model klassik qaror qabul qilish tizimlariga nisbatan bir necha ustunliklarga ega:

Moslashuvchanlik: noaniq model suv sathining ancha noaniq intervallarida ham yetarlicha aniq va uzluksiz boshqaruvni ta’minlaydi.

Intuitiv tushunish: qoidalar tabiiy tilda ifoda yetilgani sababli, ularni inson uchun tushunish va tahrirlash oson bo‘ladi.

Ekspert bilimlariga moslik: model inson bilim va tajribasini inobatga olgan holda tuzilganligi bois, ko‘p hollarda texnik parametrlarning empirik tarzda optimallashtirishga erishildi.

Grafik tahlil: tegishlilik funktsiyalari asosida tuzilgan grafiklar (1-rasm va 2-rasm) real jarayonlarning noaniq ifodasiga muvofiq ravishda qisqa va uzluksiz shaklda o‘zgarayotganligini ko‘rsatdi. Bu esa xulosa chiqarishda yuqori darajada sezgirlikni ta’minlaydi.

Grafik tahlillar shuni ko‘rsatdiki, suv sathi $1.5\text{ m} - 2.2\text{ m}$ oralig‘ida oshishi bilan klapan ochilish burchagi ham izchil ravishda ortgan. Bu noaniq qoidalarning to‘g‘ri shakllantirilganini va ular orqali tizimda aniq boshqaruv amalga oshirilishini ko‘rsatadi.

Tadqiqot natijalari noaniq qoidalarning modellashtirish jarayonidagi samaradorligini, ayniqsa, noaniq va sub’ektiv ma’lumotlar asosida qaror qabul qilishda yuqori foydali ekanini isbotlaydi. Ushbu yondashuv boshqa sohalarda, jumladan, tibbiyotda tashxis qo‘yish, iqtisodiy prognozlar, harbiy sohada boshqarish, ta’limda baholash tizimlari kabi sohalarda ham tatbiq etilishi mumkin[8,9].

Xulosa va tavsiyalar

Olib borilgan tadqiqot natijalari noaniq produktsion qoidalarning murakkab, noaniq ma’lumotlarga asoslangan tizimlarda samarali qo‘llanilishini tasdiqladi. Tadqiqot doirasida noaniq tegishlilik funktsiyalari orqali suv sathini aniqlash va klapan boshqaruv burchagini belgilovchi model ishlab chiqildi va amaliyotda qo‘llash imkoniyatlari baholandi.

Quyidagi xulosalarni keltirish mumkin:

- noaniq mantiqiy qoidalar inson tafakkuriga yaqin bo‘lgan tushunchalarni modellashtirish imkonini beradi, bu esa ekspert bilimlarini formal ifoda etishga zamin yaratadi.

- noaniq qoidalar asosidagi boshqaruv tizimlari uzluksiz, dinamik va intuitiv qaror qabul qilish imkoniyatiga ega.

- aniqlanmagan va sub’ektiv ma’lumotlar sharoitida noaniq produktsion qoidalar asosida tuzilgan modellar ma’lum darajada optimallashtirish boshqaruvni ta’minlaydi.

Quyidagi tavsiyalarni berish mumkin:

1. Noaniq produktsion qoidalarni turli (energetika, ekologiya, tibbiyot, ta’lim, harbiy va b.) sohalarda tatbiq etish mumkin, ayniqsa inson ishtirokini talab qiluvchi jarayonlarda.

2. Model samaradorligini yanada oshirish uchun noaniq qoidalarni neyron tarmoqlar yoki genetik algoritmlar bilan integratsiya qilish maqsadga muvofiq hisoblanadi.

3. Ta’lim sohasida noaniq baholash tizimlarini joriy etish professor-o‘quvchilarning faoliyatini xolisroq va tenglashtirilgan baholashga xizmat qiladi.

4. Boshqaruv tizimlarida noaniq xulosa chiqarish algoritmini avtomatlashtirish orqali inson ishtirokini kamaytirish imkonini yaratiladi.

Adabiyotlar

- [1] Мамедов И.И., Алиев Р.А. Нечеткая логика и её приложения. — Баку: Эльм, 2003. - 240 с.
- [2] Zadeh L.A. The concept of a linguistic variable and its application to approximate reasoning. Part I, II, III. — Information Sciences, 1975. — Vol. 8–9. — P. 199–249; 301–357; 43–80.
- [3] Ross T.J. Fuzzy Logic with Engineering Applications. — 3rd ed. — Wiley, 2010. — 606 p.
- [4] Туртку А. Нечеткие экспертные системы: теория и практика. — Математическое моделирование, 2019. — №3. — С. 75–84.
- [5] Алиев Р.А., Алиева Н.А. Математические основы нечеткой логики. - Баку: Эльм, 2007.- 336 с.
- [6] Асои К. и др. Прикладные нечёткие системы. — М.: Мир, 1993. — 368 с.
- [7] Юсупбеков Н.Р. ва бошқалар. Бошқаришнинг интеллектуал тизимлари ва қарор қабул қилиш. — Тошкент: 2015. — 572 б.
- [8] Клир Ж., Юань Б. Ноқатъий тўпламлар ва ноқатъий мантик; назария ва қўлланма. - Тошкент: Фан, 2022. — 448 б.
- [9] Коско Б. Ноқатъий фикрлаш: Ноаниқ мантик илми. — Тошкент: Илм Зиё, 2021. - 352 б.
- [10] Дюбуа Д., Прад А. Теория и приложения нечётких множеств и систем. — М.: Мир, 1986. - 432 с.