

- дельте // Екологія довкілля та безпека життєдіяльності. – 2006. - № 1.- С. 29-34.
4. Анищенко Л.Я. Принципы и критерии экологической безопасности гидротехнического строительства // Проблеми охорони навколишнього природного середовища та екологічної безпеки: Зб. наук. пр. /УкрНДІЕП.- Х.: ВД "Райдер", 2007. С. 90-103.
5. Анищенко Л.Я. Моделирование, прогноз и комплексная оценка воздействия на окружающую среду как система управления экологической безопасностью протяженных гидротехнических сооружений // Проблеми охорони навколишнього природного середовища та екологічної безпеки: Зб. наук. пр. /УкрНДІЕП.- Х.: ВД "Райдер", 2008. С. 100-129.
6. Анищенко Л.Я. Оценка воздействия на окружающую среду протяженных линейных гидротехнических сооружений методами системного анализа // Екологія довкілля та безпека життєдіяльності. – 2004. - № 6.- С. 50-56.
7. Анищенко Л.Я. Комплексная оценка воздействия гидротехнического строительства на окружающую природную

среду с применением экспертно-аналитических процедур // Екологія довкілля та безпека життєдіяльності. – 2008. - № 1.- С. 43-49.

8. Анищенко Л.Я. Использование метода анализа иерархий для комплексной оценки воздействия протяженных гидротехнических сооружений // Тези дев'ятої науково-практичної конференції "Оцінка впливу об'єктів господарської діяльності на навколишнє середовище (ОВНС). Безпека навколишнього природного, соціального та техногенного середовища". 26 – 30 травня 2008 р., м. Ялта/ Х.: УкрНДІПНТБ.- 2008.- с. 43 – 48.
9. Саати Т., Кернс К. Аналитическое планирование. Организация систем. М.: Радио и связь, 1991. 224 с.
10. Саати Т. Принятие решений. Метод анализа иерархий. М.: Радио и связь, 1993. 320 с.
11. Саати Т. Принятие решений при зависимостях и обратных связях: Аналитические сети / Науч. ред.А.В. Андрейчиков, О.Н. Андрейчикова. М.: Изд-во ЛКИ, 2008. 360 с.

УДК 681.324

ОБЧИСЛЕННЯ ВИЗНАЧЕНОСТІ ПОДІЙ У ДЕРЕВАХ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ

О.М. Цимбал

Кандидат технічних наук, доцент
Кафедра технології та автоматизації виробництва
Харківський національний університет радіоелектроніки
пр. Леніна 14, Харків, 61166
Контактний тел.: 8(057) 702-14-86
e-mail: mcduclmer@ukr.net

Розглядається використання методів обрахунків у деревоподібних системах прийняття рішень на основі факторів упевненості та теорії нечітких множин. Пропонується реалізація обрахунків на деревах прийняття рішень за допомогою Пролог-програми, що застосовується у системі планування робота

1. Вступ

У системах підтримки і прийняття рішень процес пошуку рішень звично подавати за допомогою деревоподібних структур. Вузли такого дерева пов'язують одні факти (явища) опису інтелектуальної системи з іншими. При цьому на нижньому рівні дерева звичайно розташовують початкові дані, які за допомогою продукцій (конструкцій типу Якщо... Тоді) пов'язуються із вузла-

ми більш високих рівнів. Кожен вузол може характеризуватися певним коефіцієнтом визначеності (упевненості). Також рівнем упевненості можна характеризувати застосування продукцій різного типу – зв'язки між вузлами різних рівнів (рис.1). Обраховуючи інформацію про упевненість вузлів деревовидної схеми прийняття рішень можна обрахувати ступінь визначеності (упевненості) вузлів, що можуть складати мету (або декілька цілей) системи прийняття рішень.

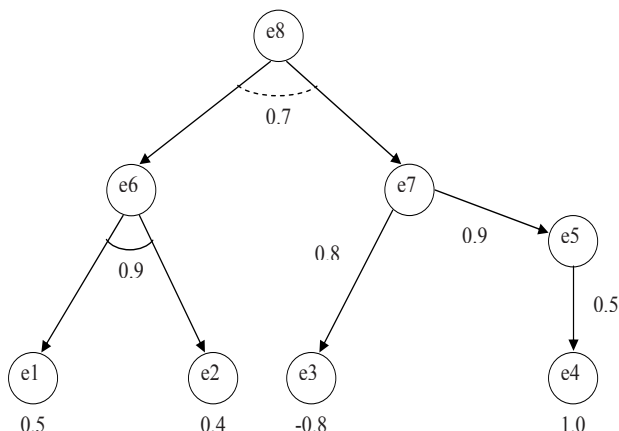


Рисунок 1. Приклад дерева розрахунків

Обчислення коефіцієнтів визначеності складає важливу частину розрахунків, пов'язаних із прийняттям рішень у інтелектуальних, в тому числі роботизованих системах. Досить докладну інформацію про проведення розрахунків на деревах прийняття рішень можна знайти в [1]. У описі розрахунків робиться посилання на відому експертну систему MYCIN, то ж можна спостерігати застосування способу обчислень і від попередніх робіт.

2. Обчислення на деревах прийняття рішень

Дерева прийняття рішень можуть описувати

Для обрахунків на дереві прийняття рішень вводиться низка правил, що враховують характер вузлів та ступінь їхньої підтримки фактів, розташованих вище у ієрархії дерева пошуку рішень. Різні варіанти поєднання вузлів зображено на рис.2.

Як видно з рис. 2, кожен вузол дерева має текстову мітку і визначається коефіцієнтом визначеності k , заданим у діапазоні $[-1, 1]$. Такий коефіцієнт для прикінцевих (термінальних) вузлів визначається заданим значенням, а для вузлів всередині дерева визначається коефіцієнтами вузлів, що під'єднуються до даного вузла у ієрархії дерева. З'єднання вузлів забезпечується

дугами, що також характеризуються коефіцієнтами визначеності.

Як видно з рисунку, у дереві можуть розглядатися з'єднання вузлів декількох типів, зокрема:

- просте з'єднання: один нижній вузол підтримує верхній, причому коефіцієнт верхнього вузла обчислюється як добуток коефіцієнта визначеності вузла нижчого рівня на коефіцієнт визначеності дуги зв'язку;

$$k_e = k_a \cdot k_{rule}$$

- складене незалежне з'єднання, у якому декілька вузлів підтримують вузол верхнього рівня, причому коефіцієнт верхнього вузла обчислюється у залежності від значення кожного з коефіцієнтів підлеглих вузлів із урахуванням коефіцієнтів приписаних до кожної з дуг за трьома формулами;

$$k_e = (k_{left} \cdot k_a) + (k_{right} \cdot k_b) - (k_{left} \cdot k_a \cdot k_{right} \cdot k_b)$$

$$\text{якщо } k_{left} \cdot k_a > 0, k_{right} \cdot k_b > 0; \quad (1)$$

$$k_e = (k_{left} \cdot k_a) + (k_{right} \cdot k_b) - (k_{left} \cdot k_a \cdot k_{right} \cdot k_b)$$

$$\text{якщо } k_{left} \cdot k_a < 0, k_{right} \cdot k_b < 0; \quad (2)$$

$$k_e = \frac{(k_{left} \cdot k_a) + (k_{right} \cdot k_b)}{1 - \min(\text{abs}(k_{left} \cdot k_a), \text{abs}(k_{right} \cdot k_b))}$$

$$\text{якщо } k_{left} \cdot k_a \cdot k_{right} \cdot k_b < 0. \quad (3)$$

- з'єднання вузлів кон'юнкцією, причому при обчисленні коефіцієнта визначеності вузла враховується коефіцієнт визначеності застосування кон'юнктивного з'єднання і обирається мінімальне значення серед коефіцієнтів визначеності під'єднаних вузлів;

$$k_e = \min(k_a, k_b) \cdot k_{rule}; \quad (4)$$

- з'єднання вузлів диз'юнкцією, причому при обчисленні коефіцієнта визначеності вузла враховується коефіцієнт визначеності застосування диз'юнктивного з'єднання і обирається максимальне значення серед коефіцієнтів визначеності під'єднаних вузлів;

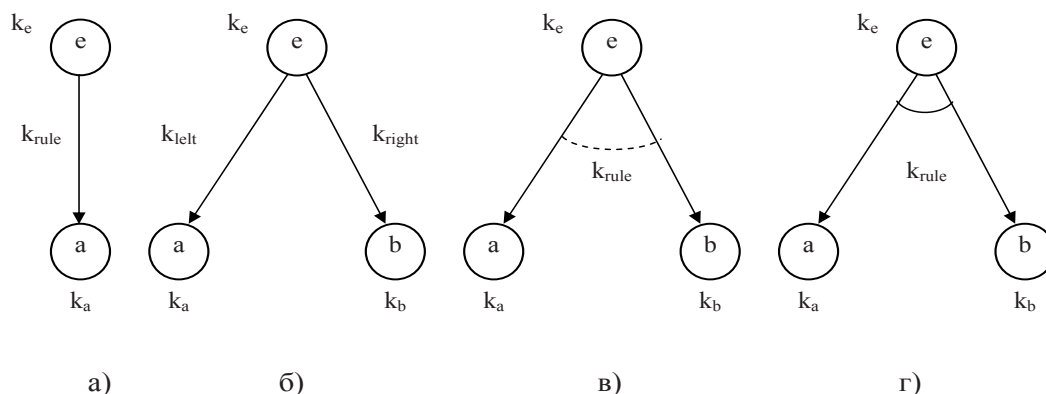


Рисунок 2. Різновиди поєднання вузлів у деревах розрахунків

(а – просте правило, б – правило з 2-ма незалежними посилання, в – правило АБО з 2-ма посиланнями, г – правило І з 2-ма посиланнями)

$$k_e = \max(k_a, k_b) \cdot k_{rule}; \quad (5)$$

Описані варіанти з'єднання стосуються пар вузлів, однак будь-яка вузлів сукупність більшого розміру може розбита на пари і обрахована застосуванням правил обчислень для кожної з пар.

Покажемо, яким чином проводиться обрахунок коефіцієнтів визначеності на дереві, зображеному на рисунку 1.

1) Обрахунок коефіцієнта визначеності вузла e_6 відбувається за правилом кон'юнкції:

$$ct(e_6) = \min(ct(e_1), ct(e_2)) \cdot rule^6 = \min(0.5, 0.4) \cdot 0.9 = 0.36;$$

2) Обрахунок вузла e_5 ведеться за правилом простої імплікації:

$$ct(e_5) = ct(e_4) \cdot rule^5 = 1.0 \cdot 0.5 = 0.5;$$

3) Обрахунок для вузла e_7 проводиться за правилом для незалежних посилень із різними знаками:

$$ct(e_7) = \frac{ct(e_3) \cdot rule_{left}^7 + ct(e_5) \cdot rule_{right}^7}{1 - \min(abs(ct(e_3) \cdot rule_{left}^7), abs(ct(e_5) \cdot rule_{right}^7))} = \frac{-0.64 + 0.45}{1 - \min(0.64, 0.45)} = \frac{-0.19}{0.55} = -0.345$$

4) нарешті, обрахунок для вузла e_8 проводиться за правилом диз'юнкції:

$$ct(e_8) = \max(ct(e_6), ct(e_7)) \cdot rule^8 = \max(0.36, -0.345) \cdot 0.7 = 0.252$$

Інколи, за необхідністю, у розрахунках враховують можливість обернення правил (зв'язок вузлів для правила, що обертається, позначається rev) або неможливість обернення (neg). Зазначимо, що правило Якщо А, Тоді В є таким, що обертається, коли воно залишається істинним у випадку одночасного заперечення умовної і заключної частин, тобто правило Якщо не-А, Тоді не-В теж є істинним.

3. Фактор упевненості і нечіткі множини

У [1] одночасно із описом механізму розрахунків вказується, що такий метод не має значного теоретичного підґрунтя і заснований виключно на емпірично-практичному підході до розв'язання задач експертних систем та систем підтримки і прийняття рішень. При цьому, коефіцієнт визначеності якої-небудь події тлумачиться як ймовірність істинності похідного факту і розглядається подібним до умовної ймовірності заключення, що отримана за умови істинності початкового факту.

У [2] виведення на основі фактора упевненості набуває назви Стенфордської теорії фактора упевненості. Знову таки вказується, що міра упевненості (або коефіцієнт визначеності) описує оцінку людиною причинної ймовірнісної міри. Значення, що отримують розрахунки на деревах виведення не є чітко обґрунтованими, як у теорії ймовірностей. Але теорія фактора упевненості забезпечує компроміс, який дозволяє об'єднувати свідчення по мірі розв'язання задачі за допомогою евристичних методів.

Ще одним шляхом обчислення на деревах виведення, відмінним від підходу теорії ймовірностей, є теорія нечітких множин. Вона ґрунтується на існуванні коефіцієнтів достовірності, які характеризують належність елемента до певної множини. Треба сказати, що навколо цієї теорії і дотепер точаться суперечки дослідників, в основному з точки зору порівняння нечітких множин та ймовірнісного підходу.

Для нечітких множин вводяться операції об'єднання, перетину та доповнення [3].

Якщо $\tilde{A}$ і $\tilde{B}$ - нечіткі множини, над ними вводяться такі операції [3]:

$$\tilde{A} \cup \tilde{B} = \{ \langle \mu_{\tilde{A} \cup \tilde{B}}(x) / x \rangle \}, \text{ де } (\forall x \in X) \mu_{\tilde{A} \cup \tilde{B}}(x) = \max\{\mu_{\tilde{A}}(x), \mu_{\tilde{B}}(x)\} - \text{об'єднання, (6)}$$

$$\tilde{A} \cap \tilde{B} = \{ \langle \mu_{\tilde{A} \cap \tilde{B}}(x) / x \rangle \}, \text{ де } (\forall x \in X) \mu_{\tilde{A} \cap \tilde{B}}(x) = \min\{\mu_{\tilde{A}}(x), \mu_{\tilde{B}}(x)\} - \text{перетин, (7)}$$

$$\neg \tilde{A} = \{ \langle \mu_{\neg \tilde{A}}(x) / x \rangle \}, \text{ де } (\forall x \in X) (\mu_{\neg \tilde{A}}(x) = 1 - \mu_{\tilde{A}}(x)) - \text{доповнення. (8)}$$

Неважко побачити аналогію з формулами (4) і (5) для комбінацій вузлів на дереві прийняття

рішень за допомогою логічних зв'язків АБО та І (рисунки 2в і 2г). Таким чином, на такому рівні теорії нечітких множин і фактора упевненості повністю збігаються.

Інший випадок – комбінювання незалежних вузлів на дереві прийняття рішень (формули (1) - (3) і рисунок 2б). Тут, здається, підхід теорії множин не знаходить відповідності.

У роботі [4] вводяться поняття чітких t -, нечітких π -, та ймовірнісних v -квантів алгоритмічних знань. Вони відповідають класичній та некласичній логіці, теорії ймовірностей.

Якщо порівнювати з класичною математичною логікою у викладі Кліні [5], то поняття t -кванту відповідає поняттю атома логічної теорії. Зі свого боку, можна запропонувати і таке тлумачення: поняття нечіткого π -кванту – поставити у відповідність терміну «нечіткий атом», а поняття v -квант – терміну «ймовірнісний атом». Введення понять нечіткого і ймовірнісного атомів для логіки має фізичні паралелі: стан фізичного атома задається за допомогою ймовірності.

Крім того, автор [4] пропонує поширити підхід теорії фактору упевненості (у частині розгляду посилянь, що здійснюють незалежну підтримку виведення) на нечіткі системи і підводить під нього теоретичну основу. Таким чином, формули (1 - 3) описаного на початку статті підходу, використаному у ЕС MYCIN, знаходять додаткове підтвердження.

4. Реалізація обрахунків на деревах і мова. Пролог

Обрахунки на деревах прийняття рішень звичайно можна реалізувати будь-якою відомою мовою програмування. Питання вибору мови залежить головним чином від стислості запису, ефективності методів обробки даних та можливості застосування результатів програмування у системах більш високого рангу, на-

приклад системі прийняття рішень інтелектуального робота. Раніше [6] автором розглядалася побудова системи планування дій робота, реалізована мовою Пролог, тому і обрахунки коефіцієнтів визначеності на дереві прийняття рішень реалізовані тією ж мовою логічного програмування.

З практичної точки зору, підхід теорії фактору упевненості легко реалізувати Пролог-програмою, до складу якої входять:

- база даних (відповідає дереву на рисунку 1):

terminal_node(e1,0.5).	imp(a,e1,e2,e6,0.9).
terminal_node(e2,0.4).	imp(s,e4,e5,0.5).
terminal_node(e3,-0.8).	imp(i,e3,e5,e7,0.8,0.9).
terminal_node(e4,1.0).	imp(o,e6,e7,e8,0.7).
terminal_node(e5,-0.3).	

(у позначеннях імплікацій imp введено позначення s – простий (simple) зв'язок, а – правило I (and), o – правило АБО (or), i – незалежна (independent) підтримка виведення).

- предикати обрахунку коефіцієнтів визначеності:

```
test_node(E,K):- terminal_node(E,K).
test_node(E,K):- imp(s,X,E,Ki),test_node(X,K1),K=Ki*K1.
test_node(E,K):- imp(i,X1,X2,E,Ki1,Ki2),
test_node(X1,K1),test_node(X2,K2),
imp_rule(K1,Ki1,K2,Ki2,K).
test_node(E,K):- imp(a,X1,X2,E,Ki), test_node(X1,K1),
test_node(X2,K2), min(K1,K2,K3), K=Ki*K3.
test_node(E,K):- imp(o,X1,X2,E,Ki), test_node(X1,K1),
test_node(X2,K2), max(K1,K2,K3), K=Ki*K3.
imp_rule(K1,Ki1,K2,Ki2,K):- K1>0,K2>0,
K=K1*Ki1+K2*Ki2-K1*Ki1+K2*Ki2.
imp_rule(K1,Ki1,K2,Ki2,K):- K1<0,K2<0,
K=K1*Ki1+K2*Ki2+K1*Ki1+K2*Ki2.
imp_rule(K1,Ki1,K2,Ki2,K):- K1*K2<0, K11=abs(K1*Ki1),
K22=abs(K2*Ki2), min(K11,K22,K0),
K=(K1*Ki1+K2*Ki2)/(1-K0).
```

- формулювання мети обрахунків, що для вузла e8 записується:

test_node(e8,K), де K міститиме результат обрахунку на дереві виведення.

5. Висновки та перспективи досліджень

У запропонованій статті стисло розглянуто метод обрахунку коефіцієнтів визначеності (упевненості), реалізований на деревах прийняття рішень. Метод ґрунтується на теорії фактору упевненості і підтримується теорією нечітких множин. Він дає цілком конкретні результати, тому практична цінність результатів статті полягає у їх використанні під час розробки систем підтримки прийняття рішень систем керування роботами, зокрема для побудови адаптивного інтелектуального вирішувача.

З точки зору подальших досліджень, слід, однак, вказати на відсутність досконалого математичного опису взаємодії метода і з методами класичної математичної логіки, теорією нечітких множин. Зокрема недоліком є відсутність закінченої теорії нечіткої логіки, у якій би досліджувався опис нечітких елементарних об'єктів (атомів) і характер відносин між ними на рівні нечітких предикатів, що можуть бути поставлені в основу розробки систем прийняття рішень, а з інструментальної точки зору – в основу розробки нових мов програмування. Відкритим у цьому сенсі залишається питання розробки імовірнісної логіки та імовірнісних систем виведення.

Література

1. Марселлус Д. Программирование экспертных систем на Турбо-Прологе. – М.: Финансы и статистика, 1994. – 256 с.
2. Люгер Дж.Ф. Искусственный интеллект: стратегии и методы решения сложных проблем. – М.: Изд. дом «Вильямс», 2003. – 894 с.
3. Малышев Н.Г., Берштейн Л.С., Боженов А.В. Нечеткие модели для экспертных систем в САПР. – М.: энергоиздат, 1991. – 136 с.
4. Сироджа И.Б. Квантовые модели и методы искусственного интеллекта для принятия решений и управления. – К.: Наукова думка, 2002. – 428 с.
5. Клини С. Математическая логика. – М.: Мир, 1973. – 480 с.
6. Цимбал О.М., Цехмістро Р.І. Системи планування рішень інтелектуальних роботів: стан та перспективи. Східно-європейський журнал передових технологій, Харків, 2004, 4 (10), С. 60-63.