

## РОЗРОБКА МОДЕЛІ СИСТЕМИ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ НА ЗАЛІЗНИЧНОМУ ТРАНСПОРТІ

Розглянуто питання можливості створення на залізничному транспорті адекватних систем підтримки прийняття рішень, в основу яких покладені основні принципи теорії нечітких множин і нечіткої логіки.

Рассмотрены вопросы возможности создания на железнодорожном транспорте адекватных систем поддержки принятия решений, в основу которых положены основные принципы теории нечетких множеств и нечеткой логики.

The article examines possibilities of creation on the railway transport of the adequate decision-making support system on the basis of the fundamentals of the fuzzy sets and fuzzy logic theories.

На цей час на залізничному транспорті існує обмежена кількість систем підтримки прийняття рішень оперативним персоналом стосовно процесів, що відбуваються як в масштабах всієї Укрзалізниці, так і в межах окремих її структурних підрозділів. Цей факт негативно впливає на кількісні і якісні показники роботи залізниць в силу обмеженості сфер застосування систем прийняття рішення. Згідно з концепцією реструктуризації та програмою інформатизації залізничного транспорту необхідним є подальше удосконалення і провадження таких систем.

У роботі [1] розглянута можливість надання оперативному персоналу залізничної станції можливості прогнозування подій на основі аналізу минулого періоду, у роботі [2] розглядається можливість ідентифікації вхідних ситуацій транспортних подій на станціях певної ділянки, в основу якої покладені лінгвістичні змінні. У зазначеній роботі ідентифікація вхідних ситуацій відбувається методом нечіткого включення, який передбачає побудову зваженого графу типових ситуацій, покладеного в основу діаграми Хассе. Такий підхід не повною мірою відображає задовольнення потреби у разі побудови системи підтримки прийняття рішення і являє собою перший крок до побудови повнофункціональної системи.

У роботі відтворено ще один етап побудови систем підтримки прийняття рішення, в основу якого покладені останні досягнення в галузі нечітких множин та нечіткої логіки.

Стандартна нечітка модель управління включає в себе три основних блоки системи управління: блок оцінки стану, блок прийняття рішення, блок надання керуючих впливів.

В основу функціонування блока прийняття рішення нечіткої моделі управління «ситуація-

дія» покладено принцип визначення по системі продукцій необхідних при даній вхідній ситуації керуючих рішень. Продукційна система ставить у відповідність кожній ситуації  $\tilde{S}_i$  з певного набору ситуацій  $S_S$ , що характеризує всі можливі стани об'єкту управління, деякі керуючі рішення  $R_i$ . Ситуації, які входять до набору  $S_S$  називають еталонними. На відміну від набору  $S = \{\tilde{s}_1, \tilde{s}_2, \dots, \tilde{s}_N\}$  типових ситуацій, набір  $S_S = \{\tilde{s}_1, \tilde{s}_2, \dots, \tilde{s}_n\}$  ( $n \leq N$ ) еталонних ситуацій не містить нечітко рівних за заданим порогом рівності ситуацій. Цей факт сприяє зменшенню розмірності продукційної системи і не знижує ефективність моделі.

Керуюче рішення, яке необхідно приймати при вхідній ситуації  $\tilde{s}_0$ , визначається ситуацією  $\tilde{s}_i \in S_S$ , в розумінні найбільш близької ситуації  $\tilde{s}_0$  причому множина  $S_S$  повно і ситуація  $\tilde{s}_i$  існує для будь-якої вхідної ситуації  $\tilde{s}_0$ . Міри близькості ситуації  $\tilde{s}_0$  з еталонними ситуаціями визначають за методом нечіткого включення ситуацій (1), нечіткої рівності ситуацій (3) і нечіткої узагальненості ситуацій (4) [3]

$$v(\tilde{s}_i, \tilde{s}_j) = \&_{y \in Y} v(\mu_{s_i}(y), \mu_{s_j}(y)), \quad (1)$$

де деякими ситуаціями є

$$\tilde{s}_i = \left\{ \left\langle \mu_{s_i}(y) / y \right\rangle \right\}, \quad \tilde{s}_j = \left\{ \left\langle \mu_{s_j}(y) / y \right\rangle \right\} \quad (y \in Y).$$

Величина  $v(\mu_{s_i}(y), \mu_{s_j}(y))$  визначається за формулою (2) і являє собою ступінь включення нечіткої множини  $\mu_{s_i}(y)$  в нечітку множину  $\mu_{s_j}(y)$ .

$$v(\tilde{s}_i, \tilde{s}_j) = \&_{y \in Y} v[\mu_{s_i}(y) \rightarrow \mu_{s_j}(y)] \quad (2)$$

$$\mu(\tilde{s}_i, \tilde{s}_j) = v(\tilde{s}_i, \tilde{s}_j) \& v(\tilde{s}_j, \tilde{s}_i) \quad (3)$$

$$k_{p-q}(\tilde{s}_i, \tilde{s}_j) = \&_{y \in Y \setminus Y_q} \mu[\mu_{s_i}(y), \mu_{s_j}(y)], \quad (4)$$

де  $k_{p-q}(\tilde{s}_i, \tilde{s}_j)$  – ступінь  $(p-q)$ -спільності. Причому  $(p-q)$ -спільністю зветься така схожість ситуацій, за якою нечіткі значення всіх ознак у ситуаціях нечітко рівні, окрім нечітких значень не більш, ніж  $q$  ознак.

Розглянемо особливість функціонування нечіткої моделі управління у разі різних мір близькості.

Поставимо умову, щоб в моделі нечіткого управління залізничними транспортними подіями множина еталонних ситуацій  $S_S$  в силу того, що вона будується заздалегідь, перед початком функціонування системи управління, не містила погано визначених ситуацій, незалежно від того, яким чином  $S_S$  буде використовуватися. У цьому випадку можливі такі варіанти:

1. На вхід нечіткої моделі управління надходять тільки добре визначені відносно порога рівності ситуації  $\tilde{s}_0$ . У цьому випадку відношення нечіткої рівності на множині

$$S_1 = S_S \cup S_0, \quad (5)$$

де  $S_0$  – множина вхідних ситуацій транспортних подій на залізничній станції або в межах всієї Укрзалізниці, є відношення нечіткої еквівалентності.

Множина  $S_S$  не містить нечітко рівних ситуацій, тому кількість класів еквівалентності нечіткої розбивки множини  $S_1$  співпадає з кількістю еталонних ситуацій. Кожна еталонна ситуація  $\tilde{s}_l \in S_S$  є представником класу еквівалентності  $\tilde{A}_l$ , відповідного цій ситуації. Класу  $\tilde{A}_l$  окрім  $\tilde{s}_l$  належать всі нечітко рівні  $\tilde{s}_l$  вхідні ситуації з множини  $S_0$ . Отже, кожна вхідна ситуація стосовно транспортних подій  $\tilde{s}_0$  нечітко рівна тільки одній еталонній ситуації  $\tilde{s}_l \in S_S$ , яка визначається послідовним зрівнянням  $\tilde{s}_0$  з кожною ситуацією  $\tilde{s}_l \in S_S$  ( $l \in I = \{1, 2, \dots, n\}$ ). Ситуація  $\tilde{s}_l$  така, що  $\mu(\tilde{s}_0, \tilde{s}_l) \geq t$  приймається рівною ситуації  $\tilde{s}_l$  [3].

2. На вхід нечіткої моделі управління можуть надходити погано визначені ситуації опе-

ративних або прогнозних транспортних подій  $\tilde{s}_0$ . У цьому випадку відношення нечіткої рівності на множині  $S_1$  є відношення нечіткої толерантності. Число класів сполученого з ним нечіткого покриття, як і в першому випадку дорівнює  $n$ , кожна ситуація  $\tilde{s}_l \in S_S$  відповідає класу  $\tilde{A}_l$  покриття множини  $S_1$ . Однак класи покриття можуть мати нечітко порожні перехрещення, які складаються з погано визначених вхідних ситуацій множини  $S_0$ . Даний факт свідчить про те, що погано визначена вхідна ситуація  $\tilde{s}_0$  може дорівнювати декільком еталонним ситуаціям. У даному випадку можливі два варіанти рішення:

– точніше визначити вхідну ситуацію, а саме, уточнити погано визначені ознаки. Тим самим перейти до першого варіанта;

– визначити підмножину  $S_S^0$  еталонних ситуацій, нечітко рівних  $\tilde{s}_0$ . Прийняти найбільш близькою  $\tilde{s}_0$  ситуацію  $\tilde{s}_i$ , яка має максимальний степінь рівності з  $\tilde{s}_0$ , тобто

$$\mu(\tilde{s}_0, \tilde{s}_i) = \max_{\tilde{s}_i \in S_S^0} \mu(\tilde{s}_0, \tilde{s}_i), \quad (6)$$

якщо таких ситуацій декілька, то рішення стосовно транспортної події приймається залежно від умов управління.

У роботі [4] показано, що відношення нечіткого включення  $\tilde{\delta} = (S_1, \tilde{F})$  при добрій визначеності ситуацій з множини  $S_1$  є на цій множині відношенням нечіткого нестрогого порядку цей факт дозволяє організувати ієрархію ситуацій множини  $S_1$ , розташувавши на верхньому рівні нечітко максимальний елемент максимальної ідеальної підмножини, сполучених з відношенням  $\tilde{\delta}$ . Таким чином, ситуація  $\tilde{s}_1$  має найвищий стан у діаграмі Хассе

$$\begin{aligned} \tilde{s}_1 = \{ \langle \langle 1/\text{поїзд} \rangle, \langle 0/\text{група вагонів} \rangle / \\ / \langle \langle \text{Повноост} \rangle \rangle \langle \langle 1/\text{поїзд} \rangle, \\ \langle 0/\text{група вагонів} \rangle / \langle \langle \text{Повноваг} \rangle \rangle \\ \langle \langle 0/\text{вчасно} \rangle, \langle 1/\text{прострочено} \rangle / \\ / \langle \langle \text{Термін доставки} \rangle \rangle \} \end{aligned}$$

З припущення повноти множини  $S_S$  виходить, що на верхньому рівні ієрархії знаходяться ситуації з множини  $S_S$ . Нижче по рівнях

ієрархії розташовуються елементи максимальних ідеальних підмножин, які містять елементи верхнього рівня відповідної підмножини. Розглядаючи сукупність підмножин будується з ситуацій множин  $S_S$  і  $S_0$ , причому «місце» кожної ситуації  $\tilde{s}_0 \in S_0$  визначається такою процедурою:  $\tilde{s}_0$  «нижче» кожної ситуації  $\tilde{s}_i \in S_S$  такої, що  $\tilde{s}_0 \subsetneq \tilde{s}_i$  і «вище» кожної ситуації  $\tilde{s}_j \in S_S$  якщо  $\tilde{s}_j \subsetneq \tilde{s}_0$ .

Одержавши інструмент ідентифікації вхідних ситуацій одержана можливість до безпосереднього переходу до ідентифікації станів об'єкта управління. У форматі даного питання розглянемо організацію і функціонування блоку оцінювання станів об'єкта управління. У даній роботі блок системи управління призначений для ідентифікації оперативної транспортної ситуації на залізничній станції, якою відбивається сформований к моменту оцінювання стан об'єкта. Функціонування блоку оцінювання ситуації базується на моделюванні дій людини, яка приймає рішення (ЛПР) (черговий по станції, товарний касир, поїзний диспетчер, черговий по дирекції залізничних перевезень...), для чого використовується отримана від ЛПР інформація. Тому вказаний блок включиться до моделі управління, яка імітує поведінку ЛПР під час управління об'єктом.

Припустимо, що та інформація, як подається на вхід блока оцінювання стану може бути трьох типів: нечітка, чітка і нечітко множинна. Тип інформації визначається типом датчиків системи управління. Умовно виділимо три основних типи датчиків:

- «нечіткі датчики» (черговий по станції, поїзний диспетчер тощо, які подають на вхід блока оцінки стану словесну інформацію про стан об'єкта управління);

- «чіткі датчики» (деякі датчики, які подають на вхід блока оцінювання стану конкретну числову інформацію, наприклад, ЕОМ надає данні про вагу поїзда, кількість вагонів в складі поїзда...);

- «аналогові датчики» (датчики, які подають на вхід блока оцінювання стану безперервні функції належності, які перетворюються в вектори ступенів належності [2]).

Розглянемо задачу ідентифікації станів об'єкта управління (формування поїзда) в умовах «нечітких датчиків». Припустимо, що поїзний диспетчер для відображення станів об'єкта управління користується тими ж ознаками, нечіткими значеннями яких описані значення ознак в останніх [2]. Фактично на вхід блока

оцінювання станів подається нечітка вхідна ситуація  $\tilde{s}_0$ , можливо, неповністю визначена, з приводу того, що поїзний диспетчер за різними причинами може не вказувати ступеня належності деяких термів нечіткими значеннями відповідних ознак. Ступені належності термів можуть задаватися поїзним диспетчером або безпосередньо, числами з відрізка  $[0, 1]$ , або за допомогою слів, які відображають ступень відповідності термів параметрам стана формування поїзда.

Генерація відповідних дій, які видаються на виконавчі механізми системи управління, покладено на блок надання керуючих дій (БНКД). Функціонування БНКД базується на моделюванні дій ЛПР. Тому БНКД, також як і блок оцінювання станів, включається в модель управління, яка імітує поведінку ЛПР під час управління об'єктом (формування поїзда). Необхідна для роботи блока інформація одержується опитуванням експертів, приклади стосовно цього питання розглянуті в роботі [2].

Впровадження систем підтримки прийняття рішення на залізничному транспорті покликані в першу чергу полегшити роботу працівників пов'язаних з необхідністю аналізу великого масиву оперативних даних шляхом широкомасштабної автоматизації, яка дозволить враховувати чинники, впливаючі на перевізний процес. Функціонування таких систем створює платформу для покращення основних показників роботи, таких як: оборот вагона, простої вагонів під накопиченням, простої вагонів під однією вантажною операцією...

## БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Бутько Т. В. Планування перевезень вантажу на основі раціональної організації вагонопотоків на залізниці із застосуванням теорії нечітких множин / Т. В. Бутько, О. В. Лаврухін // Східно-Європейський журнал передових технологій 2004. – Спецвипуск 7 [1]. – С. 16–19.
2. Бутько Т. В. Модель поїздоутворення на основі ситуаційної системи прийняття рішення / Т. В. Бутько, О. В. Лаврухін // Східно-Європейський журнал передових технологій 2004. – 3 [9]. – С. 30–33.
3. Мелехов А. Н. Ситуационные советующие системы с нечеткой логикой / А. Н. Мелехов, Л. С. Бернштейн, С. Я. Коровин. – М.: Наука. Гл. ред. Физ.-мат. лит. 1990.
4. Данько М. І. Прогнозування розподілу вагонопотоків на основі теорії нечітких множин / М. І. Данько, О. В. Лаврухін // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – Харків, 2004. – Вип. 2. – С. 80–83.

Надійшла до редколегії 27.09.2005.