

УДК 656.025:510.223

ДОЦЕНКО Ю.В., к.т.н., доцент,
Донецький інститут залізничного транспорту

ПОБУДОВА СИСТЕМИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ ПРИ ПРОСУВАННІ ПОЇЗДОПОТОКІВ

У статті розроблена система прийняття рішень при просуванні поїздопотоків на основі ситуаційної моделі визначення категорії поїздів за допомогою нечіткої логіки.

Ключові слова: система прийняття рішень, категорії поїздів, типові ситуації, пропуск поїздів, нечітка рівність

Вступ

В роботі [1] автором приділено увагу формуванню вихідних даних моделі стабілізації обороту вагона, які розглядаються як основа для розробки адаптивної системи прийняття рішень. В подальших роботах [2,3] було запропоновано процес визначення та сформовано ситуаційну модель визначення категорії поїздів на основі нечіткої логіки, основними параметрами якої є кількість вагонів певної категорії в поїзді та терміни відхилення обігу вагонів від нормативного. Як кінцевим результатом попередніх розробок та досліджень, постає завдання розробити систему підтримки прийняття рішень, яка дозволить аналізувати вхідні ситуації і варіанти рішень щодо просування поїздопотоків на полігонах дирекції із залізничних перевезень (ДН) або залізниці.

Постановка задачі дослідження

Основною функцією ситуації управління є формування у відповідності з деяким набором правил і наданням в необхідній формі керуючих впливів на виконавчий механізм, в якості якого в даному випадку передбачено поїзного диспетчера. Після того, як було визначено всі набори типових ситуації для чотирьох станів, необхідно обрати процедуру ідентифікації вхідних ситуацій. В даному випадку відповідно до специфіки технології просування вантажних поїздів та підвищення рівня точності ідентифікацію вхідних ситуацій доцільно проводити на основі використання методу «визначення нечіткої рівності ситуацій» [4].

Основна частина

На основі застосування вищезазначеного методу можливо стверджувати – якщо множина типових ситуацій S містить ситуації \tilde{s}_i, \tilde{s}_j ($i, j \in k = \{1, 2, \dots, N\}$, $i \neq j$), як що $\tilde{s}_i \subset \tilde{s}_j$ та $\tilde{s}_j \subset \tilde{s}_i$, то ситуації \tilde{s}_i і \tilde{s}_j необхідно сприймати як одну ситуацію $\tilde{s}_{i,j} = \tilde{s}_i \cup \tilde{s}_j$. Фактично існування двох взаємних включень ситуацій \tilde{s}_i і \tilde{s}_j означає, що при даному порозі включення t_{inc} ситуації \tilde{s}_i і \tilde{s}_j можливо вважати приблизно однаковими. Така подібність ситуацій називається нечіткою рівністю, при цьому ступінь нечіткої рівності $\mu(\tilde{s}_i, \tilde{s}_j)$ ситуацій \tilde{s}_i та \tilde{s}_j визначається наступним чином:

$$\mu(\tilde{s}_i, \tilde{s}_j) = \nu(\tilde{s}_i, \tilde{s}_j) \& \nu(\tilde{s}_j, \tilde{s}_i), \quad (1)$$

Приймаємо, що ситуації \tilde{s}_i та \tilde{s}_j нечітко рівні $\tilde{s}_i \approx \tilde{s}_j$, якщо $\mu(\tilde{s}_i, \tilde{s}_j) \geq t$, де $t \in [0, 7; 1]$, t – поріг нечіткої рівності ситуацій.

Логічно припустити, що $\tilde{s}_i \approx \tilde{s}_j$ при умові, якщо значення відповідних ознак в ситуаціях \tilde{s}_i та \tilde{s}_j нечітко рівні, тобто:

$$(\forall x \in X)(\mu_{\tilde{s}_i}(x) \approx \mu_{\tilde{s}_j}(x)), \quad (2)$$

з цього випливає

$$\mu(\tilde{s}_i, \tilde{s}_j) = \&_{x \in X} \mu(\mu_{\tilde{s}_i}(x), \mu_{\tilde{s}_j}(x)). \quad (3)$$

Для визначення процедури ідентифікації вхідних ситуацій необхідно визначити ступінь включення вхідної ситуації до сформованого набору типових ситуацій, що представлено у вигляді фрагменту бази знань [3]. З цією метою з набору ситуацій $S = \{\tilde{s}_1, \tilde{s}_2, \dots, \tilde{s}_N\}$ сформуємо нечітке відношення:

$$\tilde{\phi} = (S, \tilde{F}), \quad (4)$$

де

$$\tilde{F} = \left\{ \left\langle \mu_F \langle \tilde{s}_i, \tilde{s}_j \rangle / \langle \tilde{s}_i, \tilde{s}_j \rangle \right\rangle \right\}. \quad (5)$$

В даному випадку для одержання об'єктивних даних доцільно використовувати обраний метод, за умови, що ідентифікація ситуацій буде здійснюватися не тільки шляхом знаходження нечіткої рівності, а також визначення нечіткої еквівалентності. З цією метою необхідно довести, що відношення нечіткої рівності $\tilde{\phi} = (S, \tilde{F}) \in$ відношення нечіткої еквівалентності. З метою зменшення типових ситуацій, необхідно набір сформованих ситуацій щодо технології пропуску поїздів по дільницях перевірити на еквівалентність. Це, в свою чергу, потребує виконання умови:

$$\alpha(\tilde{\phi})_{ref} \& \alpha(\tilde{\phi})_{sym} \& \alpha(\tilde{\phi})_{tr} \geq t, \quad (6)$$

Доведемо, що $\alpha(\tilde{\phi})_{sym} \geq t$. Відповідно [4], одержано:

$$\alpha(\tilde{\phi})_{sym} = \&_{\substack{\tilde{s}_i, \tilde{s}_j \in S \\ \tilde{s}_i \neq \tilde{s}_j}} (\mu_F \langle s_i, s_j \rangle \rightarrow \mu_F \langle s_j, s_i \rangle), \quad (7)$$

Після розкриття імплікації одержано:

$$\alpha(\tilde{\phi}) = \&_{\substack{\tilde{s}_i, \tilde{s}_j \in S \\ \tilde{s}_i \neq \tilde{s}_j}} (\neg \mu_F \langle s_i, s_j \rangle \vee \mu_F \langle s_j, s_i \rangle), \quad (8)$$

Враховуючи вид відношення $\tilde{\phi}$, можливо записати:

$$\alpha(\tilde{\phi})_{sym} = \&_{\substack{\tilde{s}_i, \tilde{s}_j \in S \\ \tilde{s}_i \neq \tilde{s}_j}} (\neg \mu_F(s_i, s_j) \vee \mu_F(s_j, s_i)), \quad (9)$$

Для умови адаптування процедури прийняття рішення до процедури визначення нечіткої рівності та еквівалентності в умовах автоматизованої технології пропуску поїздів по дільницях необхідно довести, що $(\forall \tilde{s}_i, \tilde{s}_j \in S)(\tilde{s}_i \neq \tilde{s}_j)(\neg \mu_F(s_i, s_j) \vee \mu_F(s_j, s_i) \geq t)$. Для того, щоб довести наведену нерівність, необхідно обрати довільну пару ситуацій $\tilde{s}_i, \tilde{s}_j \in S, \tilde{s}_i \neq \tilde{s}_j$. В [4] показано, що

$$\neg \mu_F(s_i, s_j) \vee \mu_F(s_j, s_i) \geq t. \quad (10)$$

Враховуючи, що

$$\mu(s_i, s_j) = v(s_i, s_j) \& v(s_j, s_i), \quad (11)$$

та

$$\mu(s_j, s_i) = v(s_j, s_i) \& v(s_i, s_j), \quad (12)$$

згідно [4] одержано

$$\mu(s_i, s_j) = \mu(s_j, s_i). \quad (13)$$

Якщо позначити $\mu(s_i, s_j) = a$, то буде одержано нерівність

$$\neg a \vee a \geq t. \quad (14)$$

Нерівність (14) має сенс тому, що всі ситуації із множини S визначені «добре». Справедливість останньої нерівності доводить справедливість вихідної нерівності. Це означає, що [4]

$$\alpha(\tilde{\phi})_{sym} \geq t. \quad (15)$$

На основі доведеного множини визначених S типових ситуацій щодо технології пропуску поїздів по дільницях [3] можна розбити на класи нечіткої еквівалентності, причому в один клас будуть входити нечітко рівні між собою ситуації (наприклад для стану «Підхід поїзда до станції» в один клас будуть входити ситуації $\tilde{s}_1, \tilde{s}_2, \tilde{s}_3, \tilde{s}_4, \tilde{s}_5$). Отже, в межах достовірності, яка обмежується порогом t , всі ситуації одного класу еквівалентності \tilde{A}_i можна вважати однією ситуацією, яку одержано нечітким об'єднанням ситуацій, що належать до класу \tilde{A}_i . Одержана ситуація може бути використана при ідентифікації вхідної ситуації \tilde{s}_0 шляхом порівняння її з ситуаціями із S на нечітку рівність. Але під час оперативної роботи є можливим виникнення «погано» визначених ситуацій. Тобто при визначенні вхідної ситуації про стан поїзда неможливо буде ідентифікувати її серед набору типових ситуацій і, як наслідок, не можливо одержати керуюче рішення стосовно подальших дій.

У зв'язку із зазначеним вище доцільно розглянути визначення ступеня нечіткої рівності ситуацій в умовах «погано» визначених ситуацій. Згідно до цього розглянемо дві ситуації $\tilde{s}_i = \left\{ \left\langle \mu_{s_i}(x) / x \right\rangle \right\}, \tilde{s}_j = \left\{ \left\langle \mu_{s_j}(x) / x \right\rangle \right\} (x \in X)$ при заданому порозі нечіткої рівності t .

Ступінь нечіткої рівності $\mu(\tilde{s}_i, \tilde{s}_j)$ ситуацій \tilde{s}_i і \tilde{s}_j визначається виразом:

$$\mu(\tilde{s}_i, \tilde{s}_j) = \&_{x_l \in X} \mu(\mu_{s_i}(x_l), \mu_{s_j}(x_l)), \quad (16)$$

який в інтерпретації дій ДНЦ при технології пропуску поїздів по дільницях має наступний вигляд:

$$\mu(\mu_{s_i}(x_l), \mu_{s_j}(x_l)) = \&_{T_k^l \in T_l} (C(\mu_{\mu_{s_i}(x_l)}(T_k^l), \mu_{\mu_{s_j}(x_l)}(T_k^l))), \quad (17)$$

де індекс k змінюється від 1 до 3 (перша, друга, третя категорія поїздів);
індекс l змінюється від 1 до 3 (вага поїзду, категорія поїзду, довжина поїзду).

Цей вираз надає можливість навести в розгорнутому вигляді процедуру пошуку рівності та еквівалентності вхідних та типових ситуацій:

$$C(\mu_{\mu_{s_i}(x_l)}(T_k^l), \mu_{\mu_{s_j}(x_l)}(T_k^l)) = \begin{cases} \mu_{\mu_{s_i}(x_l)}(T_k^l) \leftrightarrow \mu_{\mu_{s_j}(x_l)}(T_k^l), \text{ якщо} \\ \mu_{\mu_{s_i}(x_l)}(T_k^l) \notin (1-t, t) \text{ та} \\ \mu_{\mu_{s_j}(x_l)}(T_k^l) \notin (1-t, t); \\ 1, \text{ якщо } \mu_{\mu_{s_i}(x_l)}(T_k^l) \in (1-t, t) \text{ або} \\ \mu_{\mu_{s_j}(x_l)}(T_k^l) \in (1-t, t) \end{cases}, \quad (18)$$

Розглянемо процедуру пошуку нечіткої рівності ситуацій для стану «Підхід поїзда до станції» в умовах заданої типової ситуації \tilde{s}_1 .

Знайдемо ступінь нечіткої нерівності ситуацій \tilde{s}_1 та вхідної ситуації \tilde{s}_0 .

$$\begin{aligned} \tilde{s}_1 &= \{ \langle \langle 1 / \text{"підв."}, \langle 0,5 / \text{"норм."}, \langle 0,1 / \text{"низька"} \rangle / \text{"вага поїзда"} \rangle, \\ &\langle \langle 1 / \text{"третя"} \rangle, \langle 0,5 / \text{"друга"} \rangle, \langle 0,1 / \text{"перша"} \rangle / \text{"категорія поїзда"} \rangle, \\ &\langle \langle 1 / \text{"підв."}, \langle 0,5 / \text{"норм."}, \langle 0,1 / \text{"низька"} \rangle / \text{"довжина поїзда"} \rangle \} \\ \tilde{s}_0 &= \{ \langle \langle 0,8 / \text{"підв."}, \langle 0,7 / \text{"норм."}, \langle 0,2 / \text{"низька"} \rangle / \text{"вага поїзда"} \rangle, \\ &\langle \langle 1 / \text{"третя"} \rangle, \langle 0,4 / \text{"друга"} \rangle, \langle 0,2 / \text{"перша"} \rangle / \text{"категорія поїзда"} \rangle, \\ &\langle \langle 0,9 / \text{"підв."}, \langle 0,5 / \text{"норм."}, \langle 0,3 / \text{"низька"} \rangle / \text{"довжина поїзда"} \rangle \} \end{aligned}$$

Для зручності розрахунків перейдемо до позначень:

$$X = \{x_1, x_2, x_3\} = \{ \text{вага поїзда, категорія поїзда, довжина поїзда} \},$$

$$T_1 = \{T_1^1, T_2^1, T_3^1\} = \{ \text{підв., норм., низька} \}, T_2 = \{T_1^2, T_2^2, T_3^2\} = \{ \text{третя, друга, перша} \},$$

$$T_3 = \{T_1^3, T_2^3, T_3^3\} = \{ \text{підв., норм., низька} \},$$

таким чином одержано:

$$\begin{aligned}\tilde{s}_1 = & \left\{ \left\langle \langle 1/T_1^1 \rangle, \langle 0,5/T_2^1 \rangle, \langle 0,3/T_3^1 \rangle / x_1 \right\rangle, \right. \\ & \left. \left\langle \langle 1/T_1^2 \rangle, \langle 0,5/T_2^2 \rangle, \langle 0,3/T_3^2 \rangle / x_2 \right\rangle, \right. \\ & \left. \left\langle \langle 1/T_1^3 \rangle, \langle 0,5/T_2^3 \rangle, \langle 0,3/T_3^3 \rangle / x_3 \right\rangle \right\}.\end{aligned}$$

Для пошуку нечіткої рівності ситуацій необхідно задати поріг нечіткої рівності t , який повинен бути достатньо високим для забезпечення адекватної оцінки експлуатаційної роботи. Згідно до цього в даних умовах доцільно, щоб поріг нечіткої рівності t був не меншим 0,7, тобто $t = 0,7$.

Знайдемо ступінь нечіткої нерівності ситуацій \tilde{s}_1 і \tilde{s}_0 .

$$\mu(\tilde{s}_1, \tilde{s}_0) = \mu(\mu_{s_1}(x_1), \mu_{s_0}(x_1)) \& \mu(\mu_{s_1}(x_2), \mu_{s_0}(x_2)) \& \mu(\mu_{s_1}(x_3), \mu_{s_0}(x_3)), \quad (19)$$

Відповідно до цього оцінка ступеню нечіткої рівності є наступною:

– ступінь нечіткої рівності для ознаки – вага поїзда

$$\begin{aligned}\mu(\mu_{s_1}(x_1), \mu_{s_0}(x_1)) = & C(\mu_{\mu_{s_1}(x_1)}(T_1^1), \mu_{\mu_{s_0}(x_1)}(T_1^1)) \& C(\mu_{\mu_{s_1}(x_1)}(T_2^1), \mu_{\mu_{s_0}(x_1)}(T_2^1)) \& \\ & \& C(\mu_{\mu_{s_1}(x_1)}(T_3^1), \mu_{\mu_{s_0}(x_1)}(T_3^1)) = (1 \leftrightarrow 0,8) \& (1) \& (1) = 0,8\end{aligned}$$

– ступінь нечіткої рівності для ознаки – категорія поїзду

$$\begin{aligned}\mu(\mu_{s_1}(x_2), \mu_{s_0}(x_2)) = & C(\mu_{\mu_{s_1}(x_2)}(T_1^2), \mu_{\mu_{s_0}(x_2)}(T_1^2)) \& C(\mu_{\mu_{s_1}(x_2)}(T_2^2), \mu_{\mu_{s_0}(x_2)}(T_2^2)) \& \\ & \& C(\mu_{\mu_{s_1}(x_2)}(T_3^2), \mu_{\mu_{s_0}(x_2)}(T_3^2)) = (1 \leftrightarrow 1) \& (1) \& (1) = 1\end{aligned}$$

– ступінь нечіткої рівності для ознаки – довжина поїзду

$$\begin{aligned}\mu(\mu_{s_1}(x_3), \mu_{s_0}(x_3)) = & C(\mu_{\mu_{s_1}(x_3)}(T_1^3), \mu_{\mu_{s_0}(x_3)}(T_1^3)) \& C(\mu_{\mu_{s_1}(x_3)}(T_2^3), \mu_{\mu_{s_0}(x_3)}(T_2^3)) \& \\ & \& C(\mu_{\mu_{s_1}(x_3)}(T_3^3), \mu_{\mu_{s_0}(x_3)}(T_3^3)) = (1 \leftrightarrow 0,9) \& (1) \& (1) = 0,9\end{aligned}$$

Таким чином, згідно (19) можна одержати ступінь нечіткої рівності ситуацій \tilde{s}_1 і \tilde{s}_0 .

$$\mu(\tilde{s}_1, \tilde{s}_0) = 0,8 \& 1 \& 0,9 = 0,8$$

Одержаний результат свідчить про нечітку рівність ситуацій \tilde{s}_1 і \tilde{s}_0 оскільки одержаний результат вище, ніж поріг нечіткої рівності $t = 0,7$.

В даному випадку керуюче рішення у лінгвістичній формі буде відповідати \tilde{s}_1 = «Прийняти поїзд третьої категорії, підвищеної ваги та довжини».

Висновки

На основі сформованої ситуаційної моделі, реалізована система підтримки прийняття рішень на основі нечіткої логіки, яка дозволяє в оперативному режимі визначати найбільш раціональні варіанти пропуску поїздів різних категорій по полігонах Укрзалізниці з метою зменшення обігу вагона, як взагалі, так і по категоріях. Таким чином буде одержана можливість безпосереднього впливу на оперативну поїзну ситуацію на різних рівнях управління з максимальною

швидкістю, яка буде забезпечена використанням автоматизованих робочих місць оперативно-управлінського персоналу.

Список літератури

1. Доценко Ю.В. Формування вихідних даних моделі стабілізації обігу вагонів / О.В. Лаврухін, Ю.В. Доценко // Зб.наук.праць / ДонІЗТ УкрДАЗТ, 2012. – Вип.32. – С.19–24.
2. Доценко Ю.В. Формалізація процесу визначення категорії поїздів на основі нечіткої логіки / О.В. Лаврухін, Ю.В. Доценко // Зб.наук.праць / ДонІЗТ УкрДАЗТ, 2013. – Вип.33. – С.52–57.
3. Доценко Ю.В. Формування ситуаційної моделі при визначенні категорії поїздів на основі нечіткої логіки / О.В. Лаврухін, Ю.В. Доценко, Л.Й. Віховська // Вісник Донецької академії автомобільного транспорту. – 2013. №1. – С.38–45.
4. Мелехов А.Н. Ситуационные советующие системы с нечёткой логикой [Текст] / А.Н. Мелехов, Л.С. Бернштейн, С.Я. Коровин – М. Наука. Гл. ред. Физ.-мат.-лит. – 1990. – 272 с.

Доценко Ю.В. Построение системы принятия решения при следовании поездопотоков

Аннотация. В статье разработана система принятия решений при следовании поездопотоков на основе ситуационной модели определения категории поездов при помощи нечеткой логики.

Ключевые слова: система принятия решений, категории поездов, типовые ситуации, пропуск поездов, нечеткое равенство

Dotsenko Y.V. Building a system of decision-making when promoting of threads trains

Abstract. In the article developed a system for decision-making when promoting of threads trains on the basis of the situational model of determining the categories of trains using fuzzy logic.

Keywords: decision-making system, the category of trains, typical situations, a pass trains, fuzzy equality

Стаття надійшла до редакції 10.09.2013 р.