

Нечітка модель прийняття рішень для сортування пошти

Ігор Гребеннік^{1†} та Олексій Коваленко^{1†}

¹ Харківський Національний Університет Радіоелектроніки, 14, просп. Науки., Харків, 61166, Україна

Анотація

У роботі представлено дослідження можливості реалізації заданої логіки сортування посилок, що обробляються автоматизованими сортувальними лініями. Пропонується використовувати нечітку модель прийняття рішень, що дозволяє класифікувати посилки за їх параметрами ваги та габаритів. Класифіковані посилки розподіляються із заданою логікою за дверями терміналів центрів сортування посилок, для яких визначено діапазони значень ваги та габаритів.

Ключові слова

Модель прийняття рішень, автоматизована сортувальна лінія, транспортування, нечітка логіка.

1. Вступ

Глобальний розвиток електронної комерції обумовлює постійно зростаючу складність логістики, зв'язаної з доставкою пошти. Одним зі шляхів підвищення ефективності обробки посилок є використання промислової автоматизації у вигляді автоматизованих сортувальних ліній (ASL – Automated Sorting Line) зі стрічковими конвеєрами-транспортерами [1]. Такими лініями оснащуються центри сортування посилок (PSC – Parcel Sorting Centres), які є складовими пунктами мереж доставки логістичних компаній США та Європи [2, 3].

Автоматизована сортувальна лінія (АСЛ) – це стаціонарна автоматизована комп'ютерна система, що здійснює переміщення та сортування посилок до дверей терміналів PSC у відповідності до адреси доставки, яка зберігається в QR-коді ярлика. ASL не вимагає контролю з боку людини, лише її обслуговування.

Недоліки ASL пов'язані з їхньою «вузькою» групою завдань – це завдання сортування та переміщення посилок для подальшого завантаження. Одним з недоліків застосування ASL є обмеження її моделі прийняття рішень, пов'язаних з невизначеністю умов сортування. Ця невизначеність обумовлена тим, що стандарти визначення категорій посилок у різних фірмах відрізняються. Інший недолік обумовлений тим, що сортування посилок проводиться без урахування їх ваги та габаритів. Це може призвести до неефективного використання об'єму кузова вантажівок при їх завантаженні, а також ризику пошкодження посилок, коли вони розміщуються одна на одній.

Для усунення зазначених недоліків модель прийняття рішень ASL потребує управління сортуванням посилок на принципах нечіткої логіки. Для цього потрібно розробити модель прийняття рішень ASL, яка вирішує завдання нечіткої класифікації та сортування посилок з урахуванням їх параметрів ваги та габаритів з метою компактного завантаження та збереження цілісності об'єктів поштових відправлень.

Information Systems and Technologies (IST-2024), November 26-28, 2024, Kharkiv, Ukraine

[†] These authors contributed equally.

✉ igor.grebennik@nure.ua (І. Гребеннік); oleksii.kovalenko3@nure.ua (О. Коваленко)

 0000-0003-3716-9638 (І. Гребеннік); 0009-0008-4779-6161 (О. Коваленко)



© 2024 Copyright for this paper by its authors. Use permitted under Creative Commons License Attribution 4.0 International (CC BY 4.0).

2. Постановка задачі

Розроблювана нечітка модель прийняття рішень повинна реалізувати задану логіку сортування посилок за дверима терміналів PSC. З метою збереження посилок логіка їх сортування має проводитися з урахуванням ваги та габаритів (ширини, висоти, глибини) і забезпечувати визначені варіанти компактного завантаження.

3. Визначення варіантів компактного завантаження та логіки сортування

Будемо вважати, що PSC, оснащений одним терміналом розвантаження вантажівок і двома терміналами завантаження посилок, які позначаються літерами "A" і "B". Кожен з них обладнується завантажувальними дверима "L1", "L2", ..., "LN". Розвантажені посилки подаються до ASL. Модель прийняття рішення ASL отримує адресу посилки за ярликом і визначає, на який термінал вона транспортується. Мета сортування – транспортувати посилку до однієї з завантажувальних дверей терміналу з певним номером.

Для завантаження визначені два варіанти:

- За першим варіантом реалізується послідовне завантаження вантажівок на дверях "LN", "LN-1", ..., "L1" відповідно до зменшення значень діапазонів ваги та габаритів посилок. Тим самим забезпечується можливість компактного завантаження кузова вантажівки та знижується ризик пошкодження посилок при їх розміщенні одна на одній.
- За другим варіантом реалізується одночасне завантаження N вантажівок на дверях "L1", "L2", ..., "LN". Це забезпечує їх компактне завантаження посилками одного діапазону ваги і теж знижує ризик їх пошкодження.

Для забезпечення визначених варіантів завантаження модель прийняття рішень має реалізувати задану логіку сортування, що визначається такими умовами:

- Для завантажувальних дверей терміналів визначаються діапазони значень ваги та габаритів посилок, які збільшуються відповідно до нумерації завантажувальних дверей "L1", "L2", ..., "LN".
- Завдання моделі прийняття рішень ASL провести нечітку класифікацію посилок за їх вагою та габаритами та визначити номер завантажувальних дверей, на яку вони повинні транспортуватися.

4. Розробка нечіткої моделі прийняття рішень ASL

Нечітка модель прийняття рішень має п'ять входів та один вихід. Вхідними чіткими параметрами є: e^* – вага h^* – висота, w^* – ширина, d^* – глибина посилки. Вихідним чітким параметром моделі є номер завантажувальної двері u^* , що визначається результатом нечіткої класифікації. Визначимо нечіткі лінгвістичні змінні $\{E, H, W, D\}$ у загальному вигляді. Нечітка лінгвістична змінна X задається у вигляді кортежу

$$X = \langle I_X, R(X), U \rangle = \{ \langle x_1, U, X_1 \rangle, \langle x_2, U, X_2 \rangle, \dots, \langle x_N, U, X_N \rangle \}, \quad (1)$$

де в якості X розглядається нечітка лінгвістична змінна з $\{H, W, G, V\}$; I_X – найменування X ; x^* – вхідний параметр з $\{h^*, w^*, g^*, v^*\}$; U – область визначення (універсум) всіх нечітких змінних, значення яких набуває X ; $R(X) = \{R_{xi}\}$, $i=1, 2, \dots, N$ – терм-множина X ; кортежі $\langle x_i, U, X_i \rangle$ – нечіткі змінні, значення яких приймає X . Кортеж нечіткої змінної можна подати у вигляді

$$\langle x_i, U, X_i \rangle = \langle R_{xi}, \{x_i \mid \min x_i < x_i < \max x_i\}, X_i \in U, x_i = (x^*, \mu_{X_i}(x^*)) \rangle, \quad (2)$$

де X_i - нечітка множина; $\min x_i, \max x_i$ – граничні значення нечіткої множини X_i ; $\mu_{x_i}(x^*)$ – функція приналежності чіткої змінної x^* до нечіткої множини X_i ; R_{x_i} - терм з індексом "i".

Для кожної завантажувальної двері з індексом $n=1,2,...,N$ задаються діапазони значень ваги, висоти, ширини і глибини у вигляді нечітких множин $\{E_q, H_j, W_m, D_s\}$ з термами $\{R_{Ejq}=\{R_{Hj}\}=\{R_{Wm}\}=\{R_{Ds}\}=\{"1","2", ..., "N"\}$ і пов'язаних з ними індексами $q, j, m, s=1,2,...,N$ нечітких множин.

Для нечіткої класифікації використовується алгоритм Такагі-Сугено-Канга [3]. З урахуванням того, що нечітка база правил є сингтонною, визначимо чіткі числові значення вихідної лінгвістичної змінної Y набором

$$Y = \{I_Y, R(Y), U\} = \{< y_1, U, 1 >, < y_2, U, 2 >, ..., < y_N, U, N >\}, \quad (3)$$

де: I_Y – найменування Y ; $R_{Yi}=\{"1","2", ..., "N"\}$ – терм-множина Y ; $< y_i, U, i >$ – кортежі чітких змінних, значення яких відповідають номерам дверей $\{y_1, y_2, ..., y_N\} = \{1, 2, ..., N\}$.

Представимо базу правил системи нечіткого виведення моделі у вигляді K правил із чотирма умовами для кожної:

$$\left\{ [Rule\ k] : IF(e^* \in E_q) \text{ and } IF(h^* \in H_n) \text{ and } IF(w^* \in W_m) \text{ and } IF(d^* \in D_s) \rightarrow Y = y_k, \right. \quad (4)$$

де $k = 1, 2, ..., K$ – індекс правила. Для нечітких множин індекси в правилах вибираються незалежно від індексу k . Під операцією визначення приналежності чіткої змінної x^* до множини X_i в умовах правил (4) розуміється знаходження значення функції приналежності $\mu_{x_i}(x^*)$. Для нечітких множин операція AND відповідає операції знаходження перетину або мінімізації. Перепишемо правила (4) в іншому вигляді

$$[Rule\ k] : \min(\mu_{E_q}(e^*), \mu_{H_j}(h^*), \mu_{W_m}(w^*), \mu_{D_s}(d^*)) \rightarrow Y = y_k \quad (5)$$

або

$$[Rule\ k] : \mu_{Y_k}(y_k) \rightarrow Y = y_k, \quad (6)$$

де $\mu_{Y_k}(y_k) = \min(\mu_{E_q}(e^*), \mu_{H_j}(h^*), \mu_{W_m}(w^*), \mu_{D_s}(d^*))$ – узагальнене позначення результату активізації k -го правила. Для розрахунку чіткого значення y^* використовується вираз для розрахунку центру тяжіння для сингтонних множин.

$$y^* = \left(\sum_{k=1}^K y_k \cdot \mu_{Y_k}(y_k) \right) / \left(\sum_{k=1}^K \mu_{Y_k}(y_k) \right). \quad (6)$$

Логіка сортування посилок реалізується завданням індексу k консеквенту y_k в правилах (4) та (5) залежно від умов приналежності параметрів $\{e^*, h^*, w^*, d^*\}$ до нечітких множин $\{E_q, H_j, W_m, D_s\}$ з індексами q, j, m, s . Алгоритм завдання консеквенту складається з двох критеріїв. За першим критерієм контролюється вага. Для цього визначається індекс q за умовою $e^* \in E_q$. Якщо в інших умовах не більше одного індексу з $\{j, m, s\}$, які перевищують q , то індекс консеквенту y_k визначається як " $k=q$ " і посилка транспортується до завантажувальних дверей з номером " q ". Другий критерій застосовується для сумісного контролю ваги та габаритів. Якщо в умовах два і більше індексів з $\{j, m, s\}$ перевищують індекс q , то індекс консеквенту " $k=q+1$ ", і посилка транспортується до завантажувальних дверей з номером " $q+1$ ".

Для тестування розробленої моделі використовувалось програмне забезпечення середовища Matlab. Розроблено модель з чотирма входами (рис. 1), які відповідають чітким значенням параметрів $\{e^*, h^*, w^*, d^*\}$ і одним виходом – чітким значенням номерів дверей терміналів. Тестування проводилося для терміналів із трьома

завантажувальними дверями. Значення діапазонів нечітких множин, заданих для моделювання, подані в табл. 1.

Таблиця 2
Діапазони значень нечітких множин

Лінгвістичні змінні	Нечіткі множини	Діапазони значень
E	E_1, E_2, E_3	$E_1 \in [0,30], E_2 \in [15,45], E_3 \in [35,60]$ кг
H	H_1, H_2, H_3	$H_1 \in [0,80], H_2 \in [40,120], H_3 \in [80,160]$ см
W	W_1, W_2, W_3	$W_1 \in [0,80], W_2 \in [40,120], W_3 \in [80,160]$ см
D	D_1, D_2, D_3	$D_1 \in [0,80], D_2 \in [40,120], D_3 \in [80,160]$ см

Результати моделювання представлені у вигляді графіків функції відгуку моделі для двох варіантів. Для першого варіанта на рис. 2 представлена функція відгуку, що визначає номер завантажувальних дверей (y^*) для двох вхідних параметрів висоти (h^*) та ваги (e^*), а на другого – для параметрів ваги (e^*) та ширини (w^*).

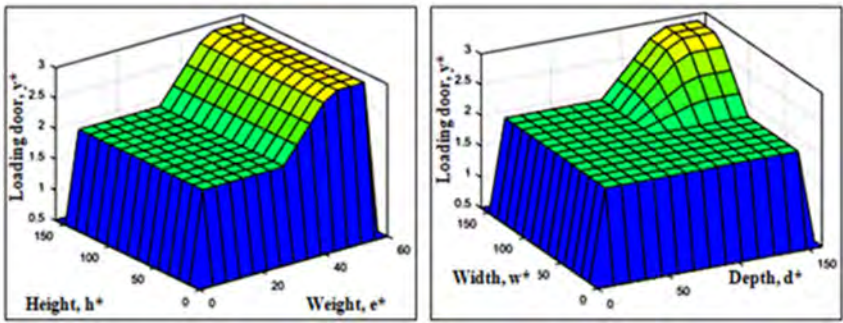


Рисунок 1. Функції відгуку нечіткої моделі

Аналіз отриманих функцій відгуку нечіткої системи виведення моделі дозволяє зробити висновок, що усі критерії сортування реалізовані, а розроблена нечітка модель прийняття рішень ASL повністю відповідає поставленій задачі.

5. Висновки

Розроблена нечітка модель прийняття рішень ASL повністю відповідає поставленій задачі, реалізує нечітку класифікації та сортування посилок за завантажувальними дверями терміналів. Реалізоване сортування забезпечує два варіанти компактного завантаження посилок.

Література

[1] ICONVEY® Sortation Conveyor, 2024. URL: www.iconveytech.com/products/sortation-conveyor/.
 [2] D.L. McWilliams, P.M. Stanfield, C.D. Geiger, "The parcel hub scheduling problem: A simulation-based solution approach." Computers & Industrial Engineering, 49(3): 393–412, 2005.
 [3] Гребеннік І.В., Коваленко О.А. "Нечітка модель прийняття рішень для автоматичної сортувальної лінії пошти." АСУ і прилади автоматики, 180: 16–26, 2024.