

УДК 004.896

С.М. СЕЛЯКОВА

Державний університет інформатики і штучного інтелекту, Донецьк, Україна

РОЗВ'ЯЗАННЯ ЗАДАЧІ РОЗПОДІЛУ ЗБИРАЛЬНОЇ ТЕХНІКИ ПО ПОЛЯМ МЕТОДАМИ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ

У роботі розглядається розв'язання задачі розподілу збиральної техніки по полям і розв'язання допоміжних для неї задач: визначення експлуатаційної швидкості та значення поправкового коефіцієнта до норми витрати палива для зернозбиральних комбайнів методами еволюційного моделювання, штучних нейронних мереж і нечіткої логіки. Дані моделі та алгоритми, як предметні знання, увійшли у склад бази знань інтелектуальної системи управління збиральною кампанією. Показано, що застосування методів штучного інтелекту для підтримки прийняття рішень з управління технологічним процесом збиральної кампанії дозволяє враховувати такі його особливості, як нестаціонарність і стохастичність поведінки, невідтворюваність експериментів, неповнота та розмитість інформації про процес.

Ключові слова: збиральна кампанія, генетичний алгоритм, нечітка логіка, штучна нейронна мережа.

Вступ

У сучасних умовах переходу України до ринкової економіки аграрно-промисловий комплекс (АПК) країни знаходиться на якісно новому етапі розвитку. Метою даного етапу є виведення сільськогосподарства України на рівень найбільш розвинутих сільськогосподарських країн, надійне закріплення її місця у світовому розподілі виробництва аграрної продукції та його широкого асортименту.

Одним із найскладніших в управлінні та найбільш витратним етапом виробництва зернових культур є збиральна кампанія. Якщо збиральна кампанія проводиться з недоукомплектованим парком технічних засобів і низьким рівнем організації робіт, то строки збирання врожаю можуть набагато перевищити нормативні, що приводить до великих втрат зерна від осипання і погіршенню якості зібраного врожаю. Для того, щоб провести збирання врожаю в строк і якісно, сільськогосподарські підприємства використовують велику кількість технічних засобів, ефективно управління якими є достатньо складною та важкою в формалізації задачею. Це пов'язано з тим, що для прийняття ефективних рішень необхідно аналізувати значний обсяг інформації про властивості та характеристики технічних ресурсів, які задіяні у збиральній кампанії, і середовище їх функціонування. Тому, підвищення ефективності технологічного процесу збиральної кампанії є актуальною проблемою для сучасного сільськогосподарського підприємства.

Для розв'язання поставленої проблеми використовують економіко-математичні методи [1], методи теорії масового обслуговування [2], імітаційного

моделювання [3], а також логістику [4]. Але вказані методи дозволяють частково вирішити цю проблему, бо не можуть врахувати такі особливості технологічного процесу збиральної кампанії як нестаціонарність і стохастичність поведінки, невідтворюваність експериментів, неповнота та розмитість інформації про процес. Ці особливості збиральної кампанії говорять про необхідність застосування методів штучного інтелекту при управлінні нею.

Постановка задачі дослідження

Необхідно розподілити збиральні засоби по полям під час збиральної кампанії для того, щоб зерно з полів було зібрано з мінімальними витратами на використання зернозбиральних комбайнів і від втрат зерна від осипання та порчі.

Основні результати дослідження

Для розв'язання поставленої задачі синтезована штучна нейронна мережа для прогнозу експлуатаційної швидкості зернозбирального комбайну, розроблена процедура оцінювання коефіцієнта до норми витрати палива методом нечіткого виводу, а також розроблено еволюційний метод розподілу збиральної техніки по полям.

1. Синтез штучної нейронної мережі для прогнозу експлуатаційної швидкості зернозбирального комбайна

Однією із основних характеристик збиральної кампанії є експлуатаційна швидкість зернозбираль-

ного комбайна, яка залежить від характеристик збиральної техніки та характеристик поля, на якому він працює. На основі середньої експлуатаційної швидкості можна спрогнозувати інтенсивність обмолоту зерна комбайнами, що представляє собою важливий параметр моделі розподілу збиральної техніки по полям. Регресійний багатофакторний аналіз технологічного процесу збиральної кампанії показав, що найбільш вагомими факторами, що впливають на експлуатаційну швидкість зернозбирального комбайна, є марка комбайну, ширина захвату жатки, врожайність зерна, коефіцієнт соломистості та масштаб полеглості хлібної маси на полі.

Для визначення експлуатаційної швидкості зернозбирального комбайна запропоновано використувати методи теорії штучних нейронних мереж, які на відміну від інших методів прогнозування, дозволяють отримувати більш адекватні реальності рішення. Це пов'язано з тим, що штучна нейронна мережа може удосконалювати точність свого прогнозу по мірі накопичування нею досвіду.

Для розв'язання цієї задачі був обраний трьохшаровий перцептрон, який навчався методом зворотнього розповсюдження похибки. Зокрема, перший шар мережі містить сорок нейронів, другий – двадцять, а третій - один нейрон. У якості функції активації у перших двох шарах вибрано гіперболічний тангенс і лінійну функцію у третьому шарі. Структуру штучної нейронної мережі наведено на рис. 1.

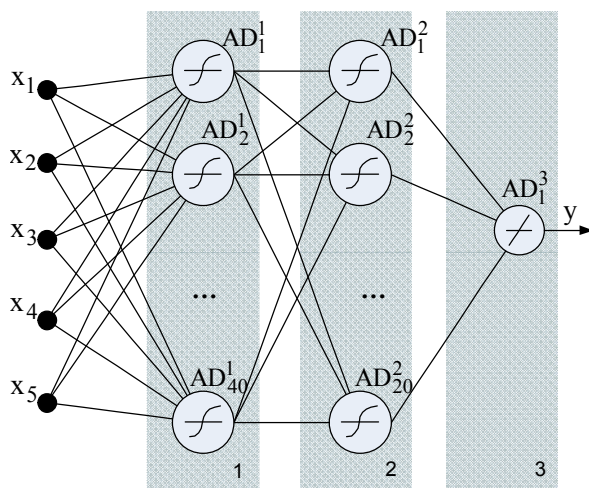


Рис. 1. Структура штучної нейронної мережі прогнозу швидкості зернозбирального комбайну

Вхідними змінними нейронної мережі є наступні показники: x_1 - марка комбайна; x_2 - ширина захвату жатки, м; x_3 - врожайність зерна, ц/га; x_4 - коефіцієнт соломистості; x_5 - масштаб полеглості хлібної маси, %. Експлуатаційну швидкість комбайну позначено через y , (км/год), а нейрони шарів

мережі через AD_n^s , де s – номер шару мережі, n – номер нейрону.

Штучна нейронна мережа була реалізована у середовищі MATLAB. Навчання нейронної мережі проводилося для комбайнів марок Дон-1500 і JohnDeere-9510 на вибірці із 105-ти спостережень, перевірна вибірка складалася із 30-ти, а тестова вибірка із 15-ти спостережень.

Перевагою використання штучної нейронної мережі для визначення експлуатаційної швидкості комбайна є те, що її легко адаптувати до інших марок комбайнів і до нових умов їх експлуатації.

2. Оцінювання значення поправкового коефіцієнта до норми витрати палива методом нечіткого виводу

Задача прогнозу витрати палива для зернозбиральних комбайнів є однією із актуальних на етапі планування збиральних робіт. Її актуальність обумовлена тим, що за нормами витрати палива, які установлюються для нових машин і не враховують підвищення терміну їх служби та умов експлуатації, значення запланованих витрат значно відрізняються від фактичних. До найбільш вагомих факторів, які впливають на витрати палива, відносять такі [5]: термін експлуатації комбайна, врожайність поля та довжина гону поля. Значення даних факторів можуть бути неповні та розмиті, тому для розв'язання задачі визначення поправкового коефіцієнту до норми витрати палива раціонально застосовувати методи нечіткої логіки, зокрема нечіткий вивід. Внаслідок того, що інформація, яка необхідна для побудови бази нечітких правил, є кількісною, а не лінгвістичною, то базу нечітких правил сформуємо з використанням універсального методу побудови бази нечітких правил на основі чисельних даних [6, 7].

Розглянемо основні етапи побудови бази нечітких правил.

1) **Розділення простору вхідних і вихідних даних на області.** На основі статистичних даних, що наведені у джерелі [5], сформована множина навчальних даних, яка складається із векторів:

$$\overline{X}^{\xi} = (x_1(\xi), x_2(\xi), x_3(\xi), z(\xi)), \xi = \overline{1, 230}, \quad (1)$$

де ξ – номер навчального вектора; $x_1(\xi)$ - врожайність поля, ц/га; $x_2(\xi)$ – довжина гону поля, м; $x_3(\xi)$ – термін експлуатації комбайна, років; $z(\xi)$ – значення коефіцієнта до норми витрати палива. Разом з цим, зафіксовані мінімальні та максимальні значення вхідних і вихідних змінних: $x_1(\xi) \in [10, 50]$, $x_2(\xi) \in [100, 1500]$, $x_3(\xi) \in [0, 25]$, $z(\xi) \in [0, 95, 2]$. Кожну із цих областей визначення

розділено на три відрізки, і на кожному із них задані функції приналежності. Функції приналежності для усіх змінних подано у вигляді трикутних функцій.

2) **Синтез нечітких правил на основі навчальних даних.** Для формування нечіткого правила, необхідно визначити максимальний ступінь приналежності кожного компоненту навчального вектору до сформованих відрізків. Якщо один із компонентів навчального вектору має найбільший ступінь приналежності до певної нечіткої множини, що задана на одному із відрізків, то ця нечітка множина включається у правило. Нечіткі правила наведемо у наступному загальному вигляді:

$$R^\xi : \text{IF}((x_1(\xi) = U_\alpha^\xi) \text{AND} (x_2(\xi) = B_\zeta^\xi) \text{AND} (x_3(\xi) = C_\mu^\xi)) \text{TTHEN} (z^\xi = K_\gamma^\xi), \quad \alpha, \zeta, \mu, \gamma = \overline{1,3}, \quad (2)$$

де ξ – номер правила, U_α – нечітка множина, яка характеризує врожайність поля, B_ζ – нечітка множина, яка характеризує довжину гону поля, C_μ – нечітка множина, яка характеризує термін експлуатації комбайна, K_γ – нечітка множина, яка характеризує значення коефіцієнту до норми витрати палива.

3) **Визначення ступеня істинності для кожного правила.** Метою даного етапу є розв'язання проблеми суперечливих правил, і, як наслідок, зменшення кількості правил. На цьому етапі обробляються правила, які мають однакові умови та різні виводи. Розв'язання цієї проблеми здійснюється у завданні кожному правилу певного ступеня істинності з наступним вибором із суперечливих правил того правила, в якому ступінь істинності буде найбільшим. Для правила R^ξ ступінь істинності SR визначається за формулою:

$$SP(R^\xi) = \mu_{U_\alpha^\xi}(x_1) \cdot \mu_{B_\zeta^\xi}(x_2) \cdot \mu_{C_\mu^\xi}(x_3) \cdot \mu_{K_\gamma^\xi}(z), \quad (3)$$

де $\mu_{U_\alpha^\xi}(x_1)$ – значення функції приналежності елемента $x_1(\xi)$ до нечіткої множини U_α , $\mu_{B_\zeta^\xi}(x_2)$ – значення функції приналежності елемента $x_2(\xi)$ до нечіткої множини B_ζ , $\mu_{C_\mu^\xi}(x_3)$ – значення функції приналежності елемента $x_3(\xi)$ до нечіткої множини C_μ , $\mu_{K_\gamma^\xi}(z)$ – значення функції приналежності елемента $z(\xi)$ до нечіткої множини K_γ .

4) **Створення бази нечітких правил.** Базу нечітких правил наведено у вигляді трьохвимірної матриці, у комірках якої знаходяться нечіткі множини K_1, K_2, K_3 . Виміри матриці відповідають значенням x_1, x_2, x_3 , наприклад, на вісі x_1 задані нечіткі мно-

жини U_1, U_2, U_3 . До бази нечітких правил було включено 27 правил.

Визначення кількісного значення вихідної змінної \bar{z}' для даних вхідних сигналів (x'_1, x'_2, x'_3) проводиться за допомогою дефазифікації за середнім центром за формулою:

$$\bar{z}' = \frac{\sum_{r=1}^{27} \tau^{(r)} \bar{z}^{(r)}}{\sum_{r=1}^{27} \tau^{(r)}}, \quad (4)$$

де $\tau^{(r)}$ – ступінь активності r -го правила, яка визначається за правилом

$$\tau^{(r)} = \mu_{U_\alpha^r}(x'_1) \cdot \mu_{B_\zeta^r}(x'_2) \cdot \mu_{C_\mu^r}(x'_3). \quad (5)$$

Таким чином, розглянутий метод дозволив на основі статистичних даних про вплив строків та технологічних умов експлуатації зернозбиральних комбайнів на значення коефіцієнту до норми витрати палива для зернозбиральних комбайнів побудувати нечітку систему. Використання нечіткої системи дало можливість отримати адекватний результат на основі чисельних даних, які можуть містити в собі неточну або суперечливу інформацію.

3. Еволюційний метод розподілу збиральної техніки по полям

На основі даних про експлуатаційну швидкість та витрати палива для зернозбиральних комбайнів можна визначити такі характеристики технологічного процесу збиральної кампанії як інтенсивність збирання зерна комбайнами та експлуатаційні витрати. Ці характеристики разом з показниками вартості оренди комбайнів, врожайності полів, розміру полів, вартості зерна є початковими даними задачі розподілу збиральної техніки по полям.

Для розв'язання даної задачі розроблено еволюційний метод розподілу збиральної техніки по полям як модифікацію класичного генетичного алгоритму. При цьому, за хромосоми популяції вибраний позмінний план розподілу збиральних засобів по полям $Y^\zeta \in Y$, де Y – сукупність планів (популяція хромосом), ζ – номер плану (номер хромосоми). З метою врахування особливостей даної предметної області була синтезована «об'ємна хромосома», тобто хромосома була представлена у вигляді трьохвимірної матриці розмірністю $D \times K \times I$, при цьому, три виміри матриці відповідають номерам змін, полів і комбайнів відповідно (рис. 2).

Кожна «об'ємна хромосома» складається із упорядкованого набору генів $\alpha_{kd}^i = \{0,1\}$, кожний із яких показує закріплення i -го комбайну за k -м полем в d -ту зміну збирання.

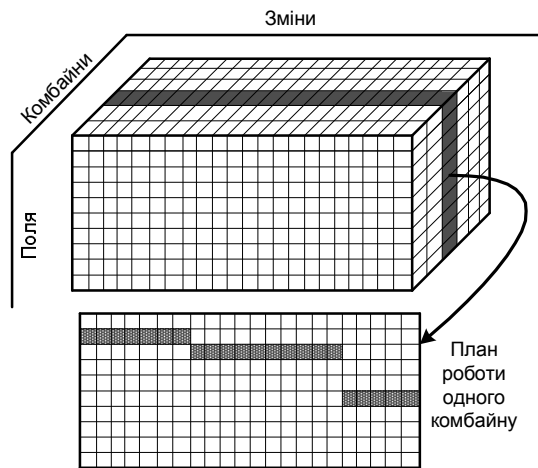


Рис. 2. Зображення «об'ємної хромосоми»

Розглянемо основні етапи роботи генетичного алгоритму:

1. *Формування початкової популяції хромосом.* Генерація початкової популяції відбувається випадково, при цьому, ймовірність поставлення власного комбайну підприємства для роботи в певну зміну складає 0,9, а для орендованого комбайну – 0,1. Початкова популяція містить у собі 1000 хромосом.

2. *Оцінювання пристосованості хромосом.* Оцінювання пристосованості хромосом проводиться на основі значення фітнес-функції алгоритму, яка складається з експлуатаційних витрат, витрат на оренду комбайнів і витрат від втрат зерна. Формально фітнес-функція представляється у вигляді:

$$FF(Y^G) = GC(Y^G) + GP(Y^G) + FC(Y^G) + NK(Y^G) \rightarrow \min, \quad (6)$$

де $GC(Y^G)$ – витрати на експлуатацію комбайнів, грн.; $GP(Y^G)$ – витрати від втрати зерна, грн.; $FC(Y^G)$ – витрати на переїзд комбайнів між полями, грн.; $NK(Y^G)$ – витрати на оренду комбайнів, грн.

3. *Селекція хромосом.* Селекція хромосом відбувається на основі турнірного методу селекції з використанням елітарної стратегії.

4. *Застосування генетичних операторів.* Нові хромосоми створюються за допомогою операторів кросоверу та мутації. Кросовер (перехресне схрещування) відбувається між хромосомами шляхом обміну своїми генами. Синтезовано два різновиди кросоверу, схеми застосування яких представлені на рис. 3. Перший спосіб схрещення здійснюється шляхом поділу хромосоми в одній точці за виміром «зміни» або «комбайни». Другий спосіб схрещення поділяє хромосому в одній точці. Кожний спосіб кросоверу застосовується з ймовірністю 0.5.

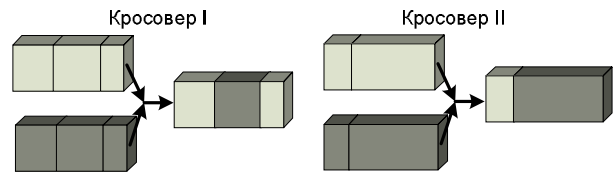


Рис. 3. Схема застосування оператора кросоверу

Мутація проводиться у генах хромосом випадково з процентом мутації 5%. При мутації вибирається випадковий ген хромосоми (комбайн) у випадкову зміну. Застосовується два типи мутації: перший тип мутації виникає з ймовірністю 1/3 і полягає у тому, що у випадковій хромосомі одиничний ген замінюється нульовим, тобто відмінється закріплення комбайну за полем в певну зміну збирання; другий тип мутації виникає з ймовірністю 2/3 при цьому, нульовий ген змінюється на одиничний, тобто відбувається закріплення комбайну за полем. Графічне зображення застосування оператора мутації наведено на рис. 4.

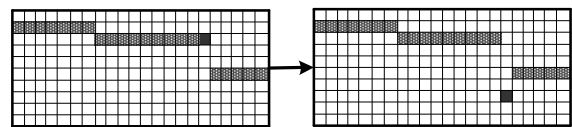


Рис. 4. Схема застосування оператора мутації

5. *Умовою завершення роботи алгоритму* є відсутність покращення значення фітнес-функції на протязі більш ніж 25 поколінь або досягнення 200 поколінь.

Модифікація класичного генетичного алгоритму за рахунок використання «об'ємної хромосоми» дала можливість врахувати обмеження задачі розподілу збиральної техніки по полям та відобразити їх в операторах кросоверу та мутації. У наслідок чого, наведений еволюційний метод дозволяє отримати ефективний календарний план роботи для зернозбиральних комбайнів під час збиральної кампанії, формування якого ґрунтується на засадах мінімізації витрат на використання власної та орендованої техніки підприємства та витрат від втрат зерна.

Висновки

Розв'язання задач прогнозу швидкості для зернозбиральних комбайнів, оцінювання коефіцієнту до норми витрати палива та розподілу збиральної техніки по полям методами штучного інтелекту дозволяє отримати ефективні рішення з врахуванням особливостей даної предметної області. Розглянуті моделі та алгоритми, як знання, включені у склад бази знань гібридної інтелектуальної системи управління збиральною кампанією, що призначена для підтримки прийняття рішень з управління зби-

рально-транспортними роботами в умовах сучасного сільськогосподарського підприємства.

Література

1. Чепурин Г.Е. *Инженерно-технологическое обеспечение процесса уборки зерновых в экстремальных условиях* / Г.Е. Чепурин. - Новосибирск: Изд-во СО РАСХН, 2000. - 227 с.

2. Ризик добового робочого фонду часу зернозбирального комбайна / Я. Панюра, О. Сидорчук, А. Тригуба, В. Боярчук, Л. Сидорчук // *Техніка АПК*. - 2006. - № 4. - С. 12-14.

3. Ціп С. Імітаційна модель роботи зернозбирального комбайна впродовж сезону / С. Ціп, О. Сидорчук, В. Тимочко // *Вісник Львів. ДАУ: Агроінженерні дослідження*. - 2001. - №5. - С. 17-26.

4. *Перебийніс О.В. Розвиток автомобілебудування та перспективи транспортної логістики в АПК* / О.В. Перебийніс, О.В. Перебийніс // *Ринок послуг комплексних транспортних систем та прикладні проблеми логістики*. - К. - 2004. - С. 154-158.

5. *Зубахин А.М. Влияние урожайности и срока службы на показатели работы комбайнов* / А.М. Зубахин, С.А. Камша // *Вестник Алтайского государственного аграрного университета*. - 2006. - № 1 (21). - С. 51-56.

6. Wang L.X. *Generating fuzzy rules by learning from examples* / L.X. Wang, J.M. Mendel // *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, November/December*. - 1992. - vol. 22, nr. 6. - P. 1414-1427.

7. Wang L.X. *Adaptive fuzzy systems and control - design and stability analysis* / L.X. Wang // *Englewood Cliffs*. - Prentice Hall. - 1994. - P. 124-137.

Поступила в редакцію 15.01.2010

Рецензент: д-р. техн. наук, зав. відділом комп'ютерних технологій О.О. Глухов, Український державний науково-дослідний і проектно-конструкторський інститут гірничої геології, геомеханіки і маркшейдерської справи НАН України, Донецьк.

РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ УБОРОЧНОЙ ТЕХНИКИ ПО ПОЛЯМ МЕТОДАМИ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА

С.М. Селякова

В работе рассматривается решение задачи распределения уборочной техники по полям и решение дополнительных для неё задач: определения эксплуатационной скорости и значения поправочного коэффициента к норме расхода топлива для зерноуборочных комбайнов методами эволюционного моделирования, искусственных нейронных сетей и нечёткой логики. Данные модели и алгоритмы, в качестве предметных знаний, вошли в состав базы знаний интеллектуальной системы управления уборочной кампанией. Показано, что применение методов искусственного интеллекта для поддержки принятия решений по управлению технологическим процессом уборочной кампании позволяет учитывать такие его особенности, как нестационарность и стохастичность поведения, невозпроизводимость экспериментов, неполнота и размытость информации о процессе.

Ключевые слова: уборочная кампания, генетический алгоритм, нечёткая логика, искусственная нейронная сеть.

THE DECISION OF PROBLEM OF DEPLOYMENT OF HARVESTERS ON FIELDS BY METHODS OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE

S.M. Selyakova

In the article are considered the decision of the problem of deployment of harvesters on the fields and the decision of auxiliary problems: the forecast of speed and coefficient of fuel expense for harvesters by methods of the evolutionary modeling, the artificial neural networks and the fuzzy logic. The developed models and algorithms is a part of the knowledge base of an intellectual control system of harvesting as subject knowledge. It is shown that application of artificial intelligence methods for decision support on management of the technological process of harvesting allows to consider its such features as unstationary and stochastic behaviour, as well as unrepeating experiments, incompleteness and unclear information on process.

Key words: harvesting, genetic algorithm, the fuzzy logic, an artificial neural network.

Селякова Світлана Михайлівна – аспірант кафедри системного аналізу і моделювання Державного університету інформатики і штучного інтелекту, Донецьк, Україна, e-mail: ginus@i.ua.