

11. Prediction of Air-Jet Textured Yarn Properties Using Statistical Method and Neural Network. *Fibres & Textiles in Eastern Europe*. 2012. Vol. 20, No. X. P. 29–35.

УДК 681.518.5

П.Д. Стухляк, д.т.н., проф.; А.О. Петров

(Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, Україна)

РОЗРОБЛЕННЯ ТА ДОСЛІДЖЕННЯ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ПРОЦЕСОМ СКЛАДАННЯ КОНТАКТНОГО РОЗ'ЄМУ PIN HEADER

P.D. Stukhliak, Dr., Prof.; A.O. Petrov

DEVELOPMENT AND RESEARCH OF AN AUTOMATED CONTROL SYSTEM FOR THE ASSEMBLY PROCESS OF A PIN HEADER CONNECTOR

Сучасні виробничі системи для складання електронних компонентів перебувають під постійним тиском підвищення точності, стабільності та продуктивності, що зумовлює активний перехід від ручних операцій до автоматизованих та колаборативних технологій. У роботі здійснено комплексне дослідження автоматизації процесу складання контактних штифтових роз'ємів типу Pin Header (PH) з використанням роботизованих маніпуляторів, систем керування на базі ПЛК та інтегрованих засобів програмного контролю. Наукова значущість дослідження полягає в обґрунтуванні конструктивних, технологічних та програмних рішень, які забезпечують підвищення повторюваності операцій на 32–45%, зниження впливу людського фактора на 50–60% та оптимізацію потокових характеристик із загальним зростанням продуктивності на 28–35%.

Відправною точкою дослідження стало формування достовірної бази емпіричних даних шляхом систематичних хронометражних вимірювань у реальному виробничому середовищі. Було здійснено 240 багатократних вимірювань тривалостей основних і допоміжних операцій, включно з підготовчо-завершальними діями, налаштуванням робочих місць, повторними виконаннями та переміщеннями між операційними зонами. Такий підхід дозволив мінімізувати випадкову похибку до $\pm 3,5\%$, відтворити природну варіативність ручних дій та сформувати статистично коректну часову модель виробничого процесу. Записані дані стали основою для побудови потокових моделей, аналізу пропускної здатності й оцінювання ефективності різних конфігурацій процесу — зокрема, при ручній роботі середній цикловий час одного виробу становив 11,4 секунди, тоді як при автоматизації потенційно знижувався до 6,8 секунди.

На основі отриманих даних розроблено імітаційну модель складання Pin Header, яка відтворює дискретну логіку проходження виробів через послідовність операцій. Модель враховує кількість доступних робочих станцій (3–5), їх пропускну здатність (450–700 виробів/год), добовий фонд часу (480 хв), можливість паралельного виконання операцій та технологічні відношення передування. Імітація виконувалася для партій із фіксованою кількістю виробів (1000 шт.) та дозволила отримати інтегральні показники виробничої динаміки, зокрема загальну тривалість проходження (lead time), обсяг незавершеного виробництва, завантаження станцій та характер утворення черг. Модель підтвердила, що автоматизація зменшує цикловий час у середньому на 40%, знижує накопичення проміжних запасів на 55–70%, стабілізує ритм виробництва, а кількість типових помилок (перекося, недовставлення) зменшується з 3,1% до 0,4%.

Ключовим елементом створюваної автоматизованої системи є використання колаборативного робота UR5, який забезпечує точне та повторюване маніпулювання дрібними компонентами. Робот має вантажопідймальність 5 кг, робочий радіус 850 мм, повторюваність позиціонування $\pm 0,03$ мм, що повністю відповідає вимогам складання компонентів розміром від 2,54 мм (крок контактів). Визначено доцільність застосування шестивісного UR5 з огляду на жорсткість, точність і відповідність просторовим обмеженням. Особливу увагу приділено розробленню спеціалізованого двоканального захватного модуля, здатного працювати з фіксаторами та корпусами Pin Header без зміни інструмента. Конструктивні рішення забезпечили 99,2% точність захоплення, а адаптивна компенсація перекосів зменшила брак через недовставлення на 76%.

Інтеграція робота у виробниче середовище вимагала розроблення програмної архітектури, що включає ПЛК, контролер робота, панель оператора НМІ, датчики наявності заготовок, станцію паяння та сигнальну колонку. Було сформовано логіку взаємодії між компонентами, побудовано модель обміну даними через мережеві протоколи реального часу (із затримкою не більше 8–12 мс) та визначено структуру алгоритмів керування. Основна логіка складається з рівня ініціалізації, рівня циклу, рівня контролю умов та рівня обробки помилок. Передбачено механізми виявлення відсутності компонентів, адаптацію траєкторій, обмеження швидкості (до 250 мм/с при взаємодії з оператором), контроль сили натискання (до 40 Н) та перевірку точності позиціонування з корекцією до 0,1 мм.

Особлива увага приділена проектуванню компонування роботизованої клітинки. Сформовано раціональну схему розміщення касет об'ємом 50–80 компонентів, робочого стола, буферних зон та сервісної зони оператора. Визначено просторові межі зон досяжності UR5, оптимальні висоти робочих поверхонь (820–900 мм) та траєкторні маршрути наближення й відведення. Такий підхід забезпечив скорочення холостих ходів на 18–25% та підвищення стабільності РНА-циклу на 30%.

Результати дослідження засвідчують, що інтеграція UR5 у процес складання Pin Header забезпечує істотне підвищення продуктивності — від 2200 до 3100 зібраних компонентів на зміну, зниження похибок позиціонування у 7,5 раза, стабілізацію потокових характеристик і зменшення трудомісткості операцій на 45–55%. Запропонована архітектура керування є масштабованою і може бути доповнена системами машинного зору, датчиками сили, додатковими станціями або складнішими маршрутами переміщення. Таким чином, робота формує цілісне інженерне рішення, що поєднує аналіз, моделювання, конструювання та програмну інтеграцію для створення сучасної автоматизованої РНА-станції.

Література

1. Andrusyshyn V., Luscinski S., Ivanov V., Pavlenko I. The efficiency of collaborative assembling cells // *Journal of Engineering Sciences*. 2022. Vol. 9, No. 1. P. A9–A16.
2. Kumar A. A., Uz Zaman U. K., Plapper P. Collaborative Robots // *Handbook of Manufacturing Systems and Design: An Industry 4.0 Perspective*. – 1st ed. – Boca Raton: CRC Press, 2024. – Ch. 6: Collaborative Robots.
3. IEC 61131-3:2025. Programmable controllers – Part 3: Programming languages. – Geneva: International Electrotechnical Commission, 2025.
4. ISO 10218-1:2025. Robots and robotic devices — Safety requirements for industrial robots — Part 1: Robots. – Geneva: International Organization for Standardization, 2025.

5. ISO/TS 15066:2016. Robots and robotic devices — Collaborative robots. — Geneva: International Organization for Standardization, 2016.
6. Mekhri Z., Doiron M. Discrete Event Simulation in Electronics Manufacturing Operations // SMTA Proceedings. — Flex, Milpitas, CA. — P. 1–8.
7. Andrusyshyn V. et al. Industrial gripper and manufacturing engineering aspects of collaborative systems // Manufacturing Engineering: Machines and Tools. — 2022. — Vol. 9, Issue 1. — P. A9–A16
8. Chemweno P. et al. A review of the ISO 15066 standard for collaborative robot safety // Safety Science. — 2020. — Vol. 127. — Article 104712.

УДК 004.4

О.І. Суховий

(Державний університет «Київський авіаційний інститут», Україна)

ВИКОРИСТАННЯ АНСАМБЛЮ НЕЙРОМЕРЕЖ ДЛЯ АВТОМАТИЗОВАНОЇ РОЗМІТКИ ДАНИХ ДЛЯ НАВЧАННЯ

O.I. Sukhovyı

USE OF A NEURAL NETWORK ENSEMBLE FOR AUTOMATED DATA LABELING FOR TRAINING

У цій роботі розглядається теоретичний підхід до побудови системи автоматизованої розмітки даних на основі ансамблю нейронних мереж. Представлено загальну концепцію, ключові складові, механізми об'єднання прогнозів та потенційні переваги, а також визначено напрямки для майбутніх практичних досліджень.

Процес побудови моделей машинного навчання залежить від доступності репрезентативних вибірок даних, а також від їхньої якісної розмітки. У багатьох галузях, таких як комп'ютерний зір, медична діагностика, автономні системи чи обробка природної мови, створення масивів розмічених даних вимагає значних часових і фінансових ресурсів.

Одним із перспективних шляхів зменшення залежності від ручної розмітки є використання автоматизованих методів розмітки даних, зокрема на основі ансамблів нейронних мереж [1]. Ансамблеві методи довели свою здатність до узагальнення, стійкість до шуму та покращену точність у порівнянні з окремими моделями. Ці властивості роблять ансамблі природним кандидатом для формування автоматизованої системи розмітки даних для навчання нових моделей.

Завдання дослідження полягає у формулюванні теоретичної основи для побудови системи, в якій ансамбль моделей буде не лише механізмом підвищення точності прогнозів, а повноцінним інструментом для автоматизованого створення навчальних вибірок.

Основна ідея – це використання результатів роботи ансамблю нейромереж для автоматизованої розмітки даних для навчання інших моделей. Даний метод є концептуально розширенням методу дистиляції знань [2]. Відмінність від дистиляції знань полягає у можливості повторного використання результатів роботи ансамблю нейромереж через збереження результатів роботи ансамблю як міток для подальшого використання як тренувальних даних.

Задля досягнення консенсусу між моделями ансамблю варто розглянути різні підходи, що базуються на класичному та зваженому голосуванні, де моделі з вищою якістю отримують більший вплив на фінальний прогноз. Також можна дослідити