

Streszczenie rozprawy doktorskiej

Metody analizy efektywności i jakości procesów produkcji dyskretniej wykorzystujące wzorce technologiczne i wybrane mechanizmy eksploracji danych

Autor: mgr inż. Marek Drewniak

Promotor: dr hab. inż. Rafał Cupek, prof. Pol. Śl., Katedra Systemów Rozproszonych i Urządzeń Informatyki, Wydział Automatyki, Elektroniki i Informatyki, Politechnika Śląska

Celem pracy było przygotowanie zestawu metod opartych o wybrane techniki eksploracji danych, umożliwiających badanie efektywności i jakości pracy stanowisk produkcyjnych stosowanych w produkcji dyskretniej oraz powiązanie rezultatów analiz z technologią wykonania tych stanowisk. Badania nad metodami prowadzone były w rozszerzającej się dziedzinie prewencyjnego i predykcyjnego utrzymywania instalacji produkcyjnych oraz budowania wiedzy o procesach z wykorzystaniem technik analitycznych i informatycznych.

W ramach pracy autor skoncentrował się na trzech aspektach. Pierwszym zagadnieniem były badania nad powiązaniem danych procesowych dostarczanych przez kontrolery sterujące procesem produkcyjnym z danymi o technologii tak, aby budować wiedzę o procesie nie tylko poprzez wiedzę ekspercką, ale również dzięki wsparciu mechanizmów analitycznych, w szczególności opartych o eksplorację danych. Zastosowanie klasycznych modeli informacyjnych stosowanych w przemyśle jest niewystarczające dla potrzeb budowania dynamicznej wiedzy o procesie, w szczególności zmieniających się wariantach w produkcji krótkoseryjnej i wielowariantowej. Z tego powodu przeprowadzone zostały badania, których efektem jest zaproponowany model oparty o przestrzeń adresową OPC UA i język AutomationML, a który stanowi bazę do wykorzystania w kolejnych badanych przez autora aspektach. Wkładem autora w obszar badawczy, w którym realizowane były opisane zagadnienia jest opracowanie możliwego powiązania pomiędzy informatycznymi systemami do przetwarzania i analizy danych z wiedzą dziedzinową związaną z projektowaniem, budową i utrzymaniem stanowisk produkcyjnych. Rezultaty z prac opisane zostały w publikacjach: [2], gdzie opisane zostało koncepcyjne podejście do zastosowania modelu informacyjnego ISA-95 i komunikacji OPC UA do wiązania wiedzy o technologii wykonania stanowiska produkcyjnego z danymi o procesie; [3], w której dodatkowo zastosowany został język AML do zamodelowania rzeczywistej instalacji produkcyjnej i powiązania rezultatów z analiz danych produkcyjnych do wsparcia zarządzania jakością i efektywnością pracy instalacji; [9], gdzie zaprezentowano możliwość wykorzystania przestrzeni adresowej OPC UA jako narzędzia implementującego warstwę informacyjną modelu RAMI4.0 dla rozwiązań automatyki mobilnej, wspierającej produkcję elastyczną i adaptacyjną; [10] i [11] w których zaprezentowane zostały badania nad zastosowaniem komunikacji OPC UA do wymiany danych pomiędzy różnymi systemami automatyki, w tym mobilnej, stosowanej we współczesnej produkcji.

Drugim zagadnieniem było automatyczne wykrywanie wytwarzanych wariantów produkcyjnych poprzez determinację zdefiniowanych przez autora wzorców technologicznych. Wzorce te umożliwiły opisanie fragmentu prowadzonego procesu (cyklu produkcyjnego) w postaci zamkniętego zestawu cech związanych z wytwarzaniem pojedynczej sztuki produktu, takich jak całkowite zużycie energii zasilającej stację produkcyjną, całkowity czas pracy nad produktem czy całkowity czas aktywności poszczególnych urządzeń wykonawczych instalacji produkcyjnej. Detekcja wzorców przeprowadzona została w oparciu o opracowane przez autora metody determinacji znaczących stanów w trakcie pracy instalacji, detekcji cykli pracy stacji, klasteryzację metodą k-Means oraz o modyfikację klasycznego algorytmu k-Means opartego o hiperkule w wielowymiarowej przestrzeni cech,

umożliwiająca automatyczne wyznaczanie liczby klastrów, a docelowo liczbę wzorców technologicznych. Wkładem badawczym autora w dziedzinę klasteryzacji danych jest opracowanie nowej techniki dynamicznego wyznaczania liczby podziałów analizowanego zbioru na k grup, z kolei dziedzina analizy danych produkcyjnych rozszerzona została o podejście umożliwiające badanie uniwersalnego stanowiska produkcyjnego w produkcji dyskretnej poprzez analizowanie typowo stosowanych parametrów pracy instalacji. Rezultaty z prac opisane zostały w publikacjach: [1], w której opisane zostało podejście do analizy danych produkcyjnych w oparciu o wzorce produkcyjne oraz metody budowania tych wzorców poprzez selekcję i wyznaczanie wartości odpowiednich cech; [4], w której przedstawiona została metoda selekcji cech mających znaczący udział w zużyciu energii zasilających stanowisko produkcyjne w poszczególnych cyklach pracy; [5], gdzie opisane zostały badania nad agregacją danych przemysłowych napływających strumieniowo, a które stanowią wsad dla metod analizy i wykrywania różnych stanów pracy instalacji produkcyjnych; [6], w której zaprezentowano podejście do analizy danych produkcyjnych o aktywności urządzeń wykonawczych i zużyciu energii poprzez klasteryzację, mającą na celu wyłonienie i identyfikację różnych stanów pracy instalacji przemysłowej oraz [7] i [8], w których opisane zostały metody budowania oraz automatycznego wykrywania nowych wzorców technologicznych z wykorzystaniem zmodyfikowanej metody k -Means opartej o hiperkule w wielowymiarowej przestrzeni cech.

Trzecim zagadnieniem była klasyfikacja wystąpień poszczególnych cykli produkcyjnych z wykorzystaniem wyznaczonych wzorców technologicznych dla potrzeb wykrywania anomalii w pracy instalacji. Zastosowanie wzorców jako modeli referencyjnych, poprzez mechanizmy statystyczne, umożliwiło ocenę jakości i efektywności pracy instalacji oraz zapewniło znaczące zredukowanie ilości danych poddawanych analizie, zapewniając w ten sposób aplikowalność na poziomie kontrolerów procesu działających w reżimie czasu rzeczywistego, np. sterowników PLC. Wkładem badawczym autora w dziedzinę analizy danych produkcyjnych z wykorzystaniem technik eksploracji danych jest opracowanie metody oceny jakości i efektywności pracy uniwersalnego stanowiska produkcyjnego w oparciu o typowo stosowane parametry pracy instalacji, a która możliwa jest do zastosowania w systemach operacyjnych czasu rzeczywistego. Rezultaty z prac opisane zostały w publikacjach: [1], w której opisane zostały mechanizmy wykrywania anomalii w pracy instalacji przemysłowej poprzez analizę wzorców i metody analizy tych anomalii dla potrzeb identyfikacji błędów technologicznych w pracy urządzeń wykonawczych oraz [7] i [8], w których wykorzystano technikę zmodyfikowanego algorytmu k -Means opartego o dynamiczne wyznaczanie liczby podziału na k grup z wykorzystaniem hiperkul w przestrzeni wielowymiarowej cech dla potrzeb wykrywania nieprawidłowości w pracy instalacji produkcyjnej.

Uzyskane przez autora rezultaty wykraczają poza stan wiedzy zawarty w literaturze i stanowią rozszerzenie dotychczas stosowanych podejść do analizy kompleksowych instalacji produkcyjnych z wykorzystaniem technik eksploracji danych poprzez następujące czynniki: znaczące zredukowanie ilości danych poddawanych analizie i umożliwienie wykorzystania metod podczas bieżącej pracy instalacji produkcyjnych, analizę i wnioskowanie na temat jakości i efektywności pracy instalacji bez znajomości *a priori* wiedzy na temat technologii jej wykonania, powiązanie rezultatów analiz z bazami technologii opisującymi zasoby w postaci zewnętrznych repozytoriów z danymi projektowymi i systemami zarządzania wiedzą oraz wsparcie analizy całych instalacji produkcyjnych, a nie tylko pojedynczych urządzeń wykonawczych, cechujących się standardowymi parametrami opisującymi ich pracę, takimi jak energie, czasy i statusy aktywności urządzeń wykonawczych.

Rezultaty z badań i możliwości ich zastosowania przedstawione zostały w tekstach publikowanych w czasopismach i na konferencjach naukowych:

- 1 *Determination of the machine energy consumption profiles in the mass-customised manufacturing*, Cupek, R., Ziebinski, A., Zonenberg, D., & Drewniak, M, 2018, International Journal of Computer Integrated Manufacturing, 31(6), 537-561.
- 2 *“Digital Twins” for highly customized electronic devices—Case study on a rework operation*, Cupek, R., Drewniak, M., Ziebinski, A., & Fojcik, M., 2019, IEEE Access, 7, 164127-164143..
- 3 *Knowledge integration via the fusion of the data models used in automotive production systems*, Cupek, R., Ziebinski, A., Drewniak, M., & Fojcik, M., 2019, Enterprise Information Systems, 13(7-8), 1094-1119.
- 4 *Online energy efficiency assessment in serial production—statistical and data mining approaches*, Cupek, R., Drewniak, M., & Zonenberg, D., 2014, June, 2014 IEEE 23rd International Symposium on Industrial Electronics (ISIE) (pp. 189-194). IEEE.
- 5 *Data Preprocessing, Aggregation and Clustering for Agile Manufacturing Based on Automated Guided Vehicles*, Cupek, R., Drewniak, M., & Steclik, T., 2021, June, International Conference on Computational Science (pp. 458-470). Springer, Cham.
- 6 *Data mining techniques for energy efficiency analysis of discrete production lines*, Cupek, R., Duda, J., Zonenberg, D., Chłopaś, Ł., Dziędziel, G., & Drewniak, M., 2017, September, International Conference on Computational Collective Intelligence (pp. 292-301). Springer, Cham.
- 7 *Improving KPI based performance analysis in discrete, multi-variant production*, Cupek, R., Ziębiński, A., Drewniak, M., & Fojcik, M., 2018, March, Asian Conference on Intelligent Information and Database Systems (pp. 661-673). Springer, Cham.
- 8 *Estimation of the Number of Energy Consumption Profiles in the Case of Discreet Multi-variant Production*, Cupek, R., Ziębiński, A., Drewniak, M., & Fojcik, M., 2018, March, Asian Conference on Intelligent Information and Database Systems (pp. 674-684). Springer, Cham.
- 9 *Information models for a new generation of manufacturing systems—a case study of automated guided vehicle*, Cupek, R., Drewniak, M., & Ziebinski, A., 2019, October, 2019 IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics (SMC) (pp. 858-864). IEEE.
- 10 *Application of OPC UA Protocol for the Internet of Vehicles*, Cupek, R., Ziębiński, A., Drewniak, M., & Fojcik, M., 2017, September, In International Conference on Computational Collective Intelligence (pp. 272-281). Springer, Cham.
- 11 *An OPC UA server as a gateway that shares CAN network data and engineering knowledge*, Cupek, R., Ziebinski, A., & Drewniak, M., 2017, March, 2017 IEEE International Conference on Industrial Technology (ICIT) (pp. 1424-1429). IEEE.