

Antoni Niederliński
Politechnika Śląska

HARMONOGRAMOWANIE PRODUKCJI A WIELOPOZIOMOWE WIELOWYMIAROWE DYSKRETNE
UKŁADY REGULACJI NADAŻNEJ

Streszczenie. Zwrócono uwagę na podobieństwo zagadnień harmonogramowania i zagadnień wielopoziomowej wielowymiarowej regulacji nadażnej obiektów dyskretnych. Przytoczono szereg prostych przykładów adekwatności wyników teorii regulacji i teorii wielopoziomowych układów sterowania dla zagadnień harmonogramowania.

1. Wstęp

Problematyka harmonogramowania i problematyka automatycznej regulacji oraz wielopoziomowych układów sterowania uważane są powszechnie za problematyki nie mające punktów stykowych. Celem artykułu jest zwrócenie uwagi na podstawowe powiązania istniejące pomiędzy tymi problematykami. Powiązania te wynikają z tożsamości struktury układów sterowania, w których realizuje się harmonogramowanie, oraz układów sterowania, w których realizuje się wielopoziomową wielowymiarową regulację nadażną obiektów dyskretnych.

2. Dekompozycja zadań dla celów harmonogramowania

Harmonogramowaniem produkcji nazywa się w dalszym ciągu przyporządkowanie każdemu zadaniu produkcyjnemu z określonego zbioru zadań, jednego terminu realizacji z określonego zbioru terminów realizacji oraz jednego miejsca realizacji z określonego zbioru miejsc realizacji. Harmonogramem produkcji nazywa się więc następujące dwie funkcje:

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{Zadanie} \\ \text{produkcyjne} \end{array} \right\} \longrightarrow \left\{ \begin{array}{l} \text{Termin} \\ \text{realizacji} \end{array} \right\} \quad (1)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{Zadanie} \\ \text{produkcyjne} \end{array} \right\} \longrightarrow \left\{ \begin{array}{l} \text{Miejsce} \\ \text{realizacji} \end{array} \right\} \quad (2)$$

Harmonogramowanie produkcji z reguły przeprowadza się w dyskretnych momentach czasu dla określonego przedziału czasu, zwanego horyzontem harmonogramowania. Dla dalszych rozważań istotne znaczenie posiada to, że złożoność spotykanych zadań produkcyjnych zmusza do ich dekompozycji na zadania prostsze. Najbardziej rozpowszechniona jest dekompozycja trójwarstwowa: zadanie produkcyjne główne zostaje dekomponowane na zadania składowe, które z kolei są dekomponowane na podzadania, a te ostatnie - na zadania elementarne. Dochoǳi się w ten sposób do trzech warstw harmonogramowania, scharakteryzowanych w Tab.1. Warstwy te różnią się funkcjami definiującymi harmonogram,

Charakterystyka warstw harmonogramowania

Warstwa harmonogramowania	Dekompozycja zadania	Funkcja definiująca harmonogram	Horyzont harmonogramowania	Model procesu
1	Zadanie główne = = { zadanie składowe 1, zadanie składowe 2,.. zadanie składowe n }	$\left\{ \begin{array}{l} \text{zadania} \\ \text{składowe} \end{array} \right\} \rightarrow \left\{ \begin{array}{l} \text{termin} \\ \text{realizacji} \end{array} \right\}$ $\left\{ \begin{array}{l} \text{zadania} \\ \text{składowe} \end{array} \right\} \rightarrow \left\{ \begin{array}{l} \text{oddział} \\ \text{produkcyjny} \end{array} \right\}$	duży	Opis procesu z dokładnością do oddziałów, dokładność i szczegółowość mała, zasięg duży
2	Zadanie składowe i = = { podzadanie i1, podzadanie i2,... podzadanie im , i=1,...n }	$\left\{ \begin{array}{l} \text{podzadanie} \end{array} \right\} \rightarrow \left\{ \begin{array}{l} \text{termin} \\ \text{realizacji} \end{array} \right\}$ $\left\{ \begin{array}{l} \text{podzadanie} \end{array} \right\} \rightarrow \left\{ \begin{array}{l} \text{grupa} \\ \text{maszyn} \end{array} \right\}$	średni	Opis oddziałów z dokładnością do grup maszyn, szczegółowość i dokładność większa, zasięg mniejszy
3	Podzadanie ij = { zadanie elementarne ij1, zadanie elementarne ij2,...zadanie elementarne ijp } , j=1,...m	$\left\{ \begin{array}{l} \text{zadanie} \\ \text{elementarne} \end{array} \right\} \rightarrow \left\{ \begin{array}{l} \text{termin} \\ \text{realizacji} \end{array} \right\}$ $\left\{ \begin{array}{l} \text{zadanie} \\ \text{elementarne} \end{array} \right\} \rightarrow \left\{ \begin{array}{l} \text{maszyna} \end{array} \right\}$	mały	Opis grup maszyn z dokładnością do maszyn, szczegółowość i dokładność największa, zasięg najmniejszy

noryzontem harmonogramowania, modelem procesu dla celów harmonogramowania i charakterem kompensowanych zakłóceń.

3. Struktura funkcjonalna trójwarstwowego układu harmonogramowania

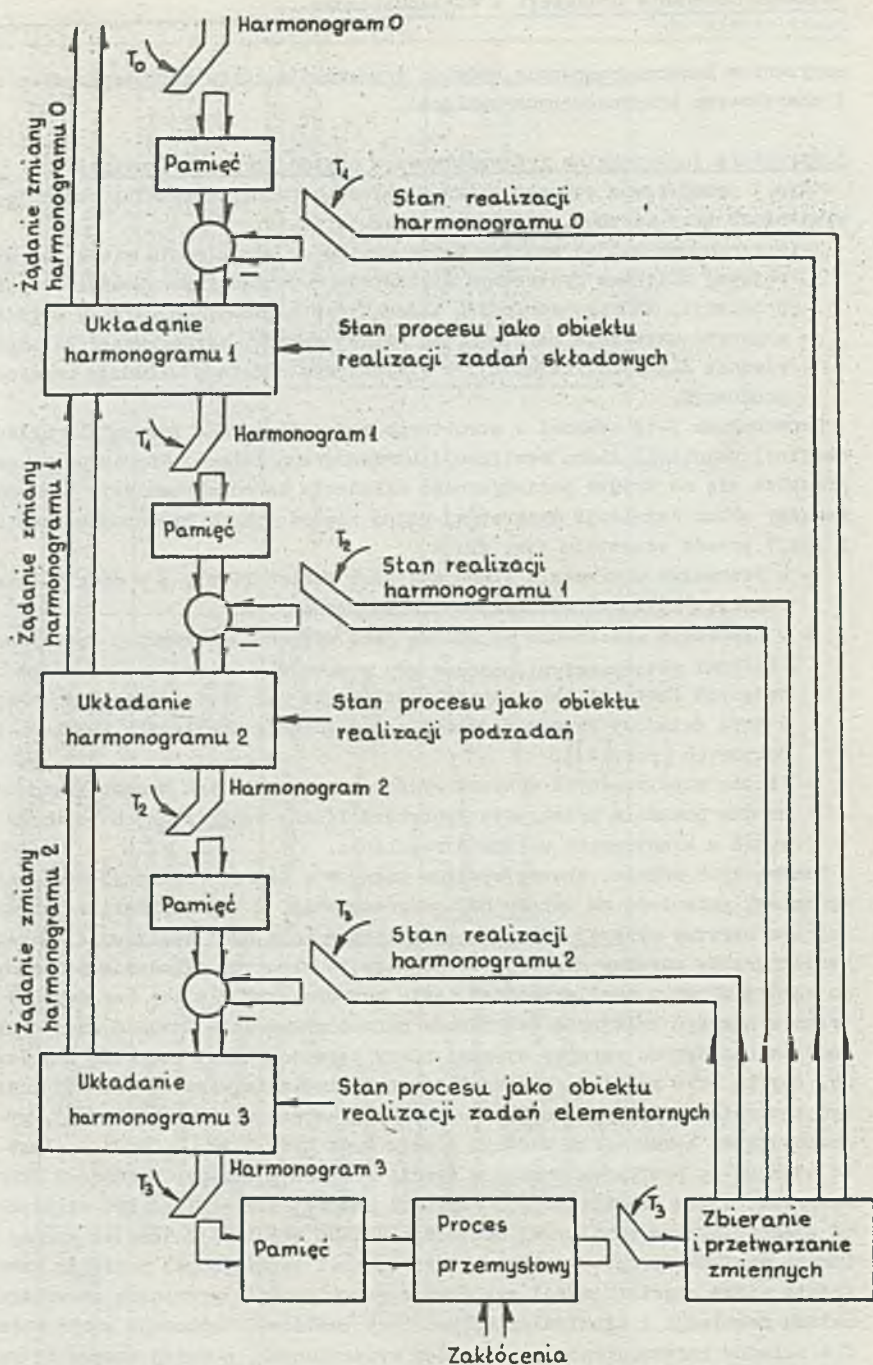
Rys.1 przedstawia schemat blokowy układu harmonogramowania, obejmującego wymienione trzy warstwy. Na uwagę zasługuje to, że:

- harmonogram każdej warstwy można uważać za odpowiednik wielkości sterującej obiektów w dyskretnym wielowymiarowym nadążnym układzie regulacji produkcji, którego "wartością zadaną" jest harmonogram warstwy wyższej,
- algorytm układania harmonogramu każdej warstwy można uważać za odpowiednik algorytmu regulacji w wymienionym nadążnym układzie regulacji produkcji.

Harmonogram i -ty stanowi w strukturze z rys.1 "wartość zadaną" dla układu nadążnej regulacji stanu realizacji harmonogramu i -tego. Regulację tę przeprowadza się na drodze periodycznego układania harmonogramu $i+1$. Klasyczny nadążny układ regulacji dyskretnej różni się od układu harmonogramowania z rys.1 przede wszystkim tym, że:

- w pierwszym wielkością sterującą jest wektor liczb, a w drugim - tabela funkcji (1) i (2) definiująca harmonogram,
- w pierwszym wielkością wyjściową jest wektor o elementach będących liczbami rzeczywistymi, podczas gdy w drugim - wektor o elementach będących liczbami całkowitymi. Różnica ta nie jest różnicą istotną, o czym świadczą szereg rozważań nad regulacją w układach kwantowo-impulsowych (por. [1]),
- liczba współrzędnych wektora wyjściowego w układach harmonogramowania bardzo poważnie przekracza spotykane liczby współrzędnych wektorów wyjść w klasycznych układach regulacji.

Pomimo tych różnic, szereg wyników znanych w teorii regulacji można natychmiast przenieść na układy harmonogramowania. I tak np. realizacja harmonogramu warstwy wyższej odbywa się na drodze kolejnych realizacji szeregu harmonogramów warstwy niższej, co oznacza, że algorytm układania harmonogramu każdej warstwy musi wyznaczać takie harmonogramy dla tej warstwy, by w trakcie szeregu kolejnych horyzontów harmonogramowania uczynić stan realizacji harmonogramu warstwy wyższej równy harmonogramowi zadanemu tej warstwy. Aby to było możliwe, horyzont harmonogramowania warstwy niższej musi być znacznie krótszy od horyzontu harmonogramowania warstwy wyższej, wypracowującej harmonogram zadany, a więc musi być $T_1 \gg T_2 \gg T_3$. Jest to szczególny przypadek znanej w teorii regulacji zasady, zgodnie z którą szerokość widma częstotliwości wartości zadanej nie powinna być większa od częstotliwości granicznej otwartego układu regulacji. Również szereg innych wyników, związanych np. z zależnościami istniejącymi pomiędzy szerokością widma częstotliwości zakłóceń, częstotliwością graniczną otwartego układu regulacji i tłumieniem wpływu tych zakłóceń, zachowuje swoją ważność dla układów harmonogramowania. Oprócz wymienionych, w dużej mierze oczywistych wniosków, na uwagę zasługuje stosowność szeregu innych narzędzi teorii wielowymiarowych układów sterowania, np. metod autonomizacji obiektów wielowymiarowych (por. [2], [3]) lub metod regulacji modalnej (por. [3], [4]) dla



Rys.1. Schemat blokowy trójwarstwowego układu harmonogramowania

zagadnień harmonogramowania. Należy podkreślić, że problematyka harmonogramowania, jako sterowania ze sprzężeniem zwrotnym, jest praktycznie w literaturze nietknięta. Przedmiotem większości rozważań na temat harmonogramowania są wyłącznie algorytmy harmonogramowania, stanowiące - jak wynika z rys.1 - tylko fragment pętli sprzężenia zwrotnego istniejącego w każdym rzeczywistym układzie harmonogramowania.

Problematyka powiązań istniejących pomiędzy układami harmonogramowania a wielopoziomowymi hierarchicznymi układami sterowania jest przedmiotem bardzo niewielu publikacji, np. [5], gdzie autorzy starają się wykorzystać pewne zalety struktur wielopoziomowych dla opracowania heurystycznych metod harmonogramowania, radzących sobie z szeregiem praktycznie spotykanych ograniczeń. Obecnie tylko niektóre z cennych właściwości struktur wielopoziomowych są świadomie wykorzystywane w układach harmonogramowania. Należy tu wymienić:

- Powiązanie różnych warstw harmonogramowania z różnymi zakłóceniami oddziaływanymi na proces przemysłowy (por. [6]). Zakłóceniami tymi są zmiany struktury procesu (awarie, remonty), zakłócenia zaopatrzenia, zmiany zapotrzebowania, zmiany ilości i kwalifikacji personelu. Ze względu na czas trwania zakłócenia można podzielić na długotrwałe, średniotrwałe i krótkotrwałe. Zgodnie z [6] każda z warstw harmonogramowania powinna mieć możliwość dopasowania swojego harmonogramu do odpowiadających jej zakłóceń, bez konieczności zmiany harmonogramu warstwy wyższej, a mianowicie:

- w warstwie najwyższej harmonogram 1 jest dopasowywany do zakłóceń długotrwałych,
- w warstwie środkowej harmonogram 2 jest dopasowywany do zakłóceń średniotrwałych,
- w warstwie najniższej harmonogram jest dopasowywany do zakłóceń krótkotrwałych.

W przypadku niemożliwości dopasowywania harmonogramu do zakłóceń, zostaje to sygnalizowane warstwie wyższej, która powinna zmienić swój harmonogram.

- Układanie harmonogramu każdej warstwy odbywa się przy wykorzystaniu modeli procesu o różnym stopniu szczegółowości oraz przy wykorzystaniu różnych współrzędnych stanu procesu:
 - model dla harmonogramu warstwy 1 jest bardzo mało szczegółowy i opisuje proces z dokładnością do oddziań. Stan procesu, jako obiektu realizacji zadań składowych, obejmuje m.in. takie zmienne, jak zdolności produkcyjne poszczególnych oddziań i zasoby w magazynach głównych,
 - model dla harmonogramu warstwy 2 jest bardziej szczegółowy, ale posiada mniejszy zakres. Opisuje on oddziały z dokładnością do grup maszyn. Stan procesu, jako obiektu realizacji podzadań, obejmuje m.in. dane o zdolności produkcyjnej grup maszyn i stany magazynów oddziałowych,
 - model dla harmonogramu warstwy 3 jest najbardziej szczegółowy, lecz posiada najmniejszy zakres. Opisuje on grupy maszyn z dokładnością do maszyn. Stan procesu, jako obiektu realizacji

zadań elementarnych, obejmuje m.in. dane o zdolności produkcyjnej maszyn i dane o obsłudze maszyn.

Różnice stopnia szczegółowości modeli dla poszczególnych warstw harmonogramowania pozostają - zgodnie z teorią układów wielopoziomowych - w ścisłym związku z różnicami pomiędzy horyzontami harmonogramowania. Wynika to stąd, że harmonogramowanie jest swego rodzaju predykcją: na podstawie znajomości modelu procesu przewiduje się dla określonego horyzontu czasowego określony przebieg produkcji. Stąd - podobnie jak dla każdej predykcji - dokładność harmonogramowania maleje ze wzrostem horyzontu harmonogramowania, gdyż w trakcie realizacji harmonogramu na proces wpływają liczne zakłócenia. Dlatego też posługiwanie się zbyt dokładnymi i szczegółowymi modelami przy wyznaczaniu harmonogramów o dużych horyzontach harmonogramowania daje tylko niewielką poprawę dokładności harmonogramowania, a z reguły bardzo poważnie zwiększa trudności obliczeniowe. Stąd rozpowszechnione jest wyznaczanie, w oparciu o proste modele, harmonogramów o dużych horyzontach, które z kolei są podstawą układania bardziej dokładnych harmonogramów, o krótszych horyzontach, wykorzystujących modele bardziej dokładne i szczegółowe.

4. Wnioski końcowe

Układy harmonogramowania stwarzają możliwości wykorzystania szeregu pojęć, metod i wyników teorii regulacji i teorii wielopoziomowych układów sterowania. Możliwości te zostały do tej pory w bardzo niewielkim stopniu wykorzystane.

LITERATURA

- [1] Kurman J.K.: Teoria regulacji. Podstawy, analiza, projektowanie. WNT, Warszawa 1975
- [2] Niederliński A.: Układy wielowymiarowe automatyki. WNT, Warszawa 1974
- [3] Kaczorek T.: Teoria sterowania, t.1. PWN, Warszawa 1977
- [4] Wonham W.M.: Linear Multivariable Control: A Geometric Approach. Lecture Notes in Economics and Mathematical Systems, vol. 101, New York, Springer Verlag, 1974
- [5] Erschler J., Fontan G., Roubellat F.: Multilevel Control Structure and Decision Aid in Production Management, w opracowaniu M.C. Singh, A. Titli: Control and Management of Integrated Industrial Complexes, Pergamon Press, London 1978
- [6] Schoeffler J.D.: On-line multilevel systems, w opracowaniu pod red. D.A. Wismera "Optimization Methods for Large-Scale Systems", McGraw-Hill, N.York 1971
- [7] Findeisen W.: Wielopoziomowe układy sterowania. PWN, Warszawa 1974.
- [8] Mesarovic M.D., Macko D., Takahara Y.: Theory of Hierarchical, Multilevel Systems. Academic Press, N.York 1970

МНОГОУРОВЕННЫЕ МНОГОМЕРНЫЕ ДИСКРЕТНЫЕ СХЕМЫ СЛЕДЯЩЕГО УПРАВЛЕНИЯ
ПРИ СОСТАВЛЕНИИ ГРАФИКОВ ПРОИЗВОДСТВА

Р е з ю м е

Обращено внимание на сходства проблем составления графиков и проблем многоуровневого многомерного следящего управления дискретных объектов. Показано ряд простых примеров соответствия результатов теории управления и теории многоуровневых схем управления для проблем составления графиков.

PRODUCTION SCHEDULING AND MULTIVARIABLE, MULTILEVEL DISCRETE PROCESS CONTROL

S u m m a r y

An attention has been given to the certain similarities existing between the production scheduling systems and the multivariable multilevel discrete process control systems. Some examples of the adequacy of the results achieved in order to the multivariable control theory and the multilevel system theory have been presented. Areas of the future research works have been pointed out.