

Badawczy system elastycznego inteligentnego wytwarzania

Jerzy Honczarenko
Artur Berliński
Mariusz Sosnowski
Waldemar Szumotalski

W Zakładzie Zautomatyzowanych Systemów Wytwarzania Politechniki Szczecińskiej jest budowany miniaturowy, badawczy system elastycznego inteligentnego wytwarzania. Celem budowy systemu jest umożliwienie doświadczalnej weryfikacji komputerowych symulacji nowych metod planowania i harmonogramowania wytwarzania.

W polskiej literaturze spotkać można wiele prac teoretycznych z tej dziedziny kończących się tylko symulacjami komputerowymi, które nie zawsze uwzględniają wszystkie czynniki występujące podczas rzeczywistego procesu produkcyjnego.

W artykule przedstawiono założenia techniczne i budowę systemu, zaproponowaną ideę doświadczalnej weryfikacji komputerowych metod planowania i harmonogramowania wytwarzania, architekturę podsystemu sterowania oraz wybrane układy sterujące zaprojektowane i zbudowane przez autorów projektu.

Planowanie i harmonogramowanie wytwarzania oraz sterowanie systemem będzie można wykonywać znanymi metodami opartymi na standardowym oprogramowaniu, a także narzędziami programowymi z obszaru sztucznej inteligencji, takimi jak: metoda agentów, logika rozmyta, sztuczne sieci neuronowe [2].

Budowa systemu elastycznego inteligentnego wytwarzania

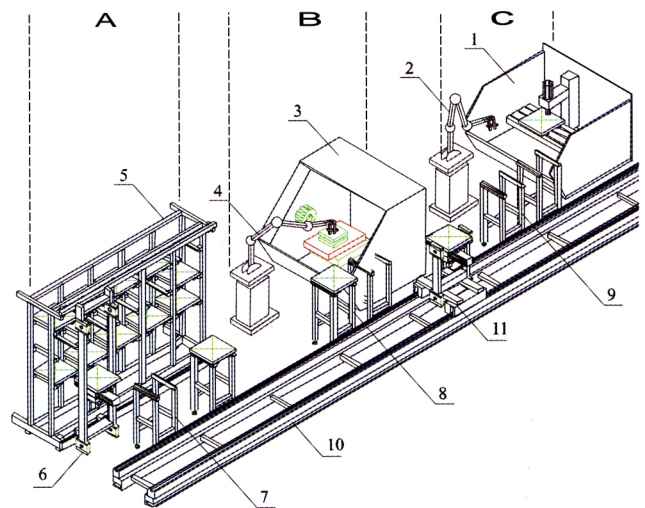
Konfigurację budowanego systemu opartego na profilach aluminiowych [5] pokazano na rys. 1. Wymiary systemu wynoszą 4x1,5 m, istnieje możliwość jego rozbudowy przez powiększenie liczby maszyn oraz powiększenie powierzchni magazynowej.

W systemie zastosowano podsystemy:

- 1) **magazynowo-transportowy:** magazyn regałowy wysokiego składowania (5) o wymiarach 1500x160x820 mm, stanowiska odkładcze (7), układarka regałowa (6), wózek transportu poziomego (11) poruszający się po torze jezdny (10). Ruch poziomy wózka po torze jezdny zapewnia przepływ przedmiotów pomiędzy wszystkimi stanowiskami odkładczymi. Wózek jest wyposażony w aktywne urządzenie załadowczo-rozładowcze, tzn. zdejmuje palety transportowe ze stanowiska odkładczego i nakłada je na stanowisko. Palety mają wymiary 160x160 mm i są nośnikami przedmiotów.
- 2) **technologiczny tokarski:** tokarka CNC-SLT-0400 firmy LIGHT MACHINE Corporation (3), robot

o strukturze przegubowej (4), stanowiska odkładcze (8).

- 3) **technologiczny frezarski:** frezarka CPM-2018 (1) firmy Iselautomation, robot o strukturze przegubowej (2), stanowiska odkładcze (9).

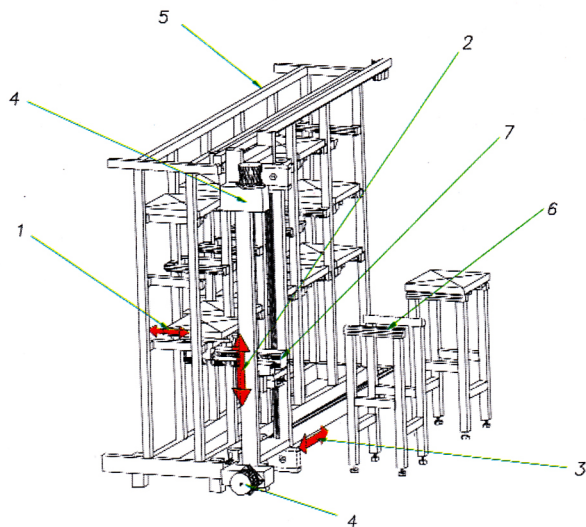


Rys. 1. Konfiguracja badawczego systemu inteligentnego elastycznego wytwarzania: 1) frezarka, 2) robot frezarki, 3) tokarka, 4) robot tokarki, 5) magazyn regałowy, 6) układarka, 7) stanowiska odkładcze układarki regałowej, 8) stanowiska odkładcze tokarki, 9) stanowiska odkładcze frezarki, 10) tor jezdny, 11) wózek transportowy

Przedmioty przeznaczone do obróbki są umieszczane ręcznie na paletach transportowych składowanych w magazynie regałowym (5) obsługiwanym przez układarkę (6). Magazyn regałowy ma pojemność $3 \times 5 = 15$ palet. Palety są oznaczone kodem kreskowym o wartości informującej o numerze palety. Operator po włożeniu palety do magazynu, wprowadza do komputera nadrzędnego informację o miejscu (półce) gdzie paleta została położona w magazynie oraz oznaczenie (np. numer) i liczbę znajdujących się na niej przedmiotów. Palety są transportowane do stanowisk technologicznych aktywnym wózkiem transportu poziomego.

Kinematyka ruchów układarki regałowej jest przedstawiona na rys. 2. Układarka pobiera palety z półek magazynu (5) i odkłada je na stanowiska odkładcze (6) znajdujące się pomiędzy magazynem a torem jezdny oraz w kierunku przeciwnym – przynosi palety na półki magazynu z drugiego stanowiska odkładczego.

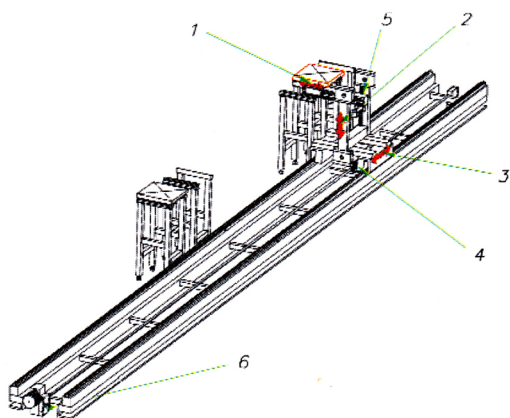
Prof. dr hab.inż. Jerzy Honczarenko, mgr inż. Artur Berliński, mgr inż. Mariusz Sosnowski, mgr inż. Waldemar Szumotalski są pracownikami Zakładu Zautomatyzowanych Systemów Wytwarzania Politechniki Szczecińskiej.



Rys. 2. Kinematyka ruchu i zasady pracy układarki regałowej wysokiego składowania: 1) ruch załadowczo-rozładowczy, 2) ruch transportowy pionowy, 3) ruch transportowy poziomy, 4) silnik krokowy wraz z przekładnią, 5) magazyn regałowy, 6) stanowiska odkładcze, 7) silnik prądu stałego wraz z przekładnią

W układarce zainstalowano napędy zespołów roboczych, w trzech prostopadłych do siebie osiach. Napęd ruchu poziomego i pionowego układarki realizują silniki krokowe (4), a ruchu załadowczo-rozładowczego – silnik prądu stałego (7). W napędach przesuwu poziomego i pionowego do zamiany ruchu obrotowego na prostoliniowy zastosowano pasowe przekładnie zębate, napędzane przez przekładnie ślimakowe, natomiast ruch załadowczo-rozładowczy odbywa się przez przekładnię zębatkową. W układarce znajduje się czytnik kodów paskowych, który skanuje kod umieszczony na każdej palecie. Kinematykę ruchu wózka szynowego przedstawia rys. 3.

Wózek jest przemieszczany wzdłuż całego toru za pomocą silnika krokowego (6), który przez przekładnię ślimakową napędza pas zębaty zamieniający ruch obrotowy na prostoliniowy. Napęd ruchu załadowczo-rozładowczego jest realizowany od silnika prądu stałego (5)



Rys. 3. Kinematyka ruchu i zasada pracy wózka transportu poziomego: 1) ruch załadowczo-rozładowczy, 2) ruch transportowy pionowy, 3) ruch transportowy poziomy, 4), 6) silnik krokowy wraz z przekładnią, 5) silnik prądu stałego wraz z przekładnią

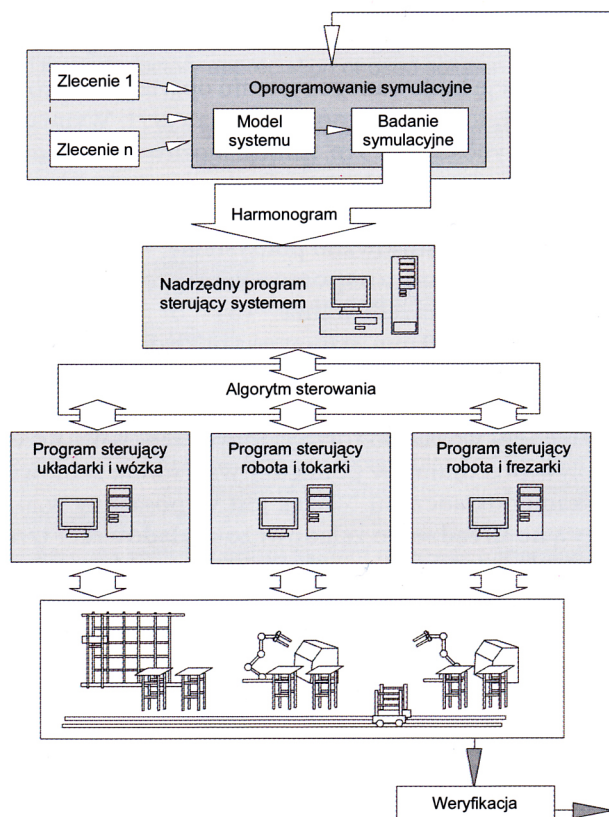
przez przekładnie ślimakowe i zębatkowe. Oba te napędy są rozwiązane podobnie jak dla ruchu poziomego i załadowczo-rozładowczego układarki.

W tokarskim podsystemie technologicznym, tokarka o wymiarach 584x406x470 mm, jest sterowana poprzez kartę zainstalowaną w komputerze, dostarczoną przez producenta. Dokładność pozycjonowania wynosi 0,0127 mm, a zakres prędkości wrzeciona zawiera się w przedziale od 200 do 2500 obr/min. Tokarka wyposażona jest ponadto w automatycznie sterowany uchwyt tokarski oraz osłonę bezpieczeństwa. Podobnie sterowana jest frezarka o wymiarach 515x580x615 mm. Tokarkę i frezarkę obsługują roboty o strukturze przegubowej, o pięciu stopniach swobody, których elementami wykonawczymi są serwonapędy firmy Hitec. Sterowanie robotów odbywa się poprzez moduł firmy Robix RCS-6 amerykańskiej firmy Advanced Design Inc [6].

Idea doświadczalnej weryfikacji harmonogramów produkcji

Koncepcję doświadczalnej weryfikacji planowania i harmonogramowania wytwarzania przedstawiono na rys. 4.

W oprogramowaniu symulacyjnym (np. eM-Plant) utworzony jest model systemu. Na podstawie otrzymywanych zleceń prowadzone są badania symulacyjne, których wynikiem jest harmonogram pracy systemu. Harmonogram zostaje przesłany do komputera pierwszego poziomu, gdzie na jego podstawie zostaje wygenerowany algorytm sterowania systemem.



Rys. 4. Idea doświadczalnej weryfikacji planów i harmonogramów produkcji przez budowany system wytwarzania

Harmonogram wygenerowany może być dwoma sposobami: off-line lub online. W pierwszym przypadku harmonogramy generowane są w komputerze znajdującym się na zewnątrz systemu wytwarzania i przesyłane za pomocą Internetu. W drugim przypadku harmonogramy są tworzone bezpośrednio w komputerze nadrzędnym, zatem mogą być tworzone i korygowane dynamicznie w miarę napływu zleceń z zewnątrz, przy wykorzystaniu metod sztucznej inteligencji.

Stosując tradycyjne sterowanie rozproszone [3] lub metodę agentów [1, 2], algorytm sterowania jest przesyłany i realizowany przez poszczególne podsystemy, a efektem będą wyprodukowane przedmioty i wszystkie dane charakteryzujące

proces wytwarzania, tzn. przebieg realizacji harmonogramu (np. czasy pracy/przestojów maszyn i urządzeń transportowych). Po badaniach weryfikacyjnych mających na celu uzyskanie zgodności wyników symulacji komputerowych prowadzonych dla szczegółowych danych systemu z wynikami doświadczalnymi, będzie można uznać, iż opracowany model systemu jest prawidłowy i przystąpić do badań nowych metod planowania i harmonogramowania wytwarzania.

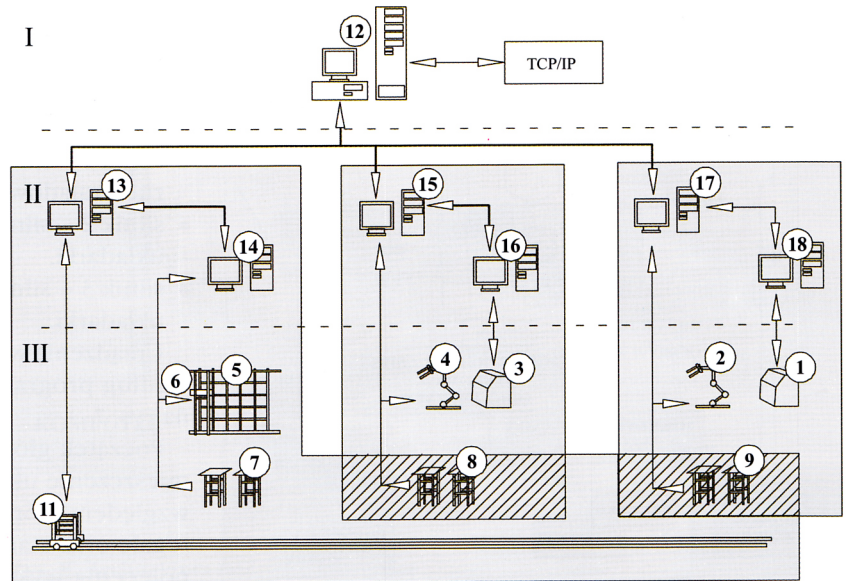
Dla nowych metod planowania i harmonogramowania, po zrealizowaniu procesu w systemie, dokonywane jest porównanie wyników z wynikami symulacji komputerowej. W przypadku zgodności będzie można uznać, że metody są poprawne. Oznacza to także że będzie można je zastosować w praktyce przemysłowej. Natomiast w przypadku stwierdzenia niezgodności wygenerowanego harmonogramu z rzeczywistymi wynikami jego realizacji, zajdzie konieczność poprawienia przyjętych założeń symulacji lub zastosowanych metod planowania i harmonogramowania wytwarzania.

Struktura układu sterowania

Strukturę układu sterowania zastosowaną w budowanym badawczym systemie inteligentnego elastycznego wytwarzania przedstawiono na rys. 5. Jest to struktura o trójpoziomowej hierarchii funkcjonalnej.

Pierwszy poziom (I) pełni funkcję nadrzędną. Jego zadaniem jest, za pomocą komputera (12) jako jednostki centralnej, sterowanie globalne systemem, nadzorowanie jego pracy, ustalanie algorytmu sterowania, ustalanie kolejności zadań zleconych do realizacji oraz rozpatrywanie ich pod względem przyjętych priorytetów.

Drugi poziom (II) podsystemu sterowania stanowią komputery wraz z oprogramowaniem odpowiedzialnym za sterowanie poszczególnych podsystemów. W podsystemie magazynowo-transportowym komputer (13) steruje aktywnym wózkiem transportu pozi-



Rys. 5. Architektura podsystemu sterowania budowanego systemu wytwarzania

owego (11), a komputer (14) steruje układarką regalową (6), przy czym komputer sterujący wózka pełni rolę nadrzędną w stosunku do komputera układarki. W podsystemie technologicznym tokarskim komputer (15) steruje robotem (4), a komputer (16) steruje tokarką (3), komputer robota pełni rolę nadrzędną w stosunku do komputera tokarki. Podobnie w podsystemie technologicznym frezarskim nadrzędny komputer (17) steruje robotem (2), a komputer (18) frezarką (1). Komputery uzyskują dane z pierwszego poziomu sterowania i przekazują informacje do odpowiednich urządzeń wykonawczych znajdujących się w trzecim poziomie funkcjonalnym.

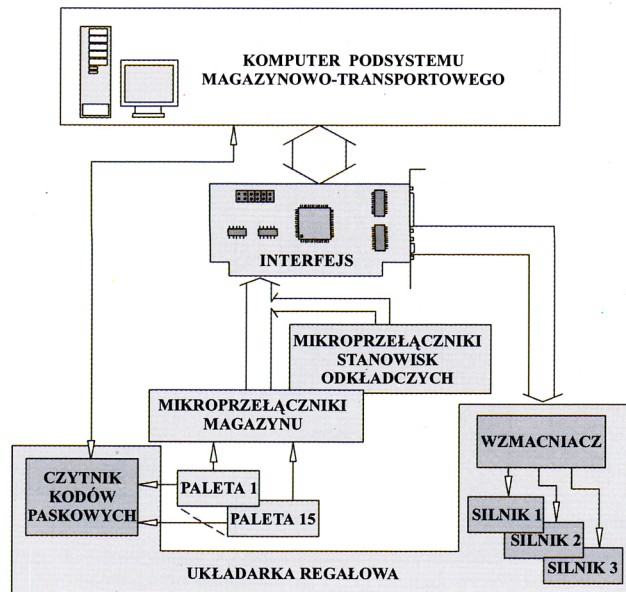
Trzeci poziom (III) funkcjonalny stanowią urządzenia wykonawcze podsystemów technologicznych (1, 3), manipulacyjnych (2, 4), magazynowo-transportowego (5, 6) oraz układy sensoryczne wskazujące stan rzeczywisty. Do lokalizacji palet transportowych i urządzeń aktywnych użyto mikroprzełączników. Palety transportowe są identyfikowane przez czytnik kodu paskowego umiejscowiony na układarce regalowej.

Urządzeniami wykonawczymi z trzeciego poziomu funkcjonalnego sterują komputery drugiego poziomu, wykorzystujące porty równoległe i szeregowy. Wymiana informacji jest możliwa dzięki zastosowaniu adapterów, znajdujących się pomiędzy II a III poziomem struktury sterowania [3].

Sterowanie podsystemu magazynowo-transportowego

Schemat sterowania podsystemem magazynowo-transportowym pokazano na rys. 6.

Interfejs wysyła z komputera podsystemu magazynowo-transportowego polecenia, które są kierowane do odpowiednich urządzeń wykonawczych, bądź pobiera informacje z magazynu oraz stanowisk odkładczych. Zebrane informacje przetwarza komputer podsystemu, który oprócz łączności z interfejsem jest odpowie-



Rys. 6. Schemat blokowy magazynu regałowego, układarki oraz stanowisk odkładczych

działny za komunikację z komputerem nadrzędnym systemu oraz z komputerami innych podsystemów. Do interfejsu podłączone są urządzenia peryferyjne i wykonawcze:

- mikroprzełączniki magazynu sygnalizujące obecność palet umieszczonych na półkach regału,
- mikroprzełączniki na stanowiskach odkładczych, wykrywające obecność palet,
- silnik 1 – silnik prądu stałego, którego zadaniem jest ruch załadowczo-rozładowczy palet,
- silnik 2 – silnik krokowy, przemieszczanie pionowe układarki,
- silnik 3 – silnik krokowy, przemieszczanie poziome układarki.

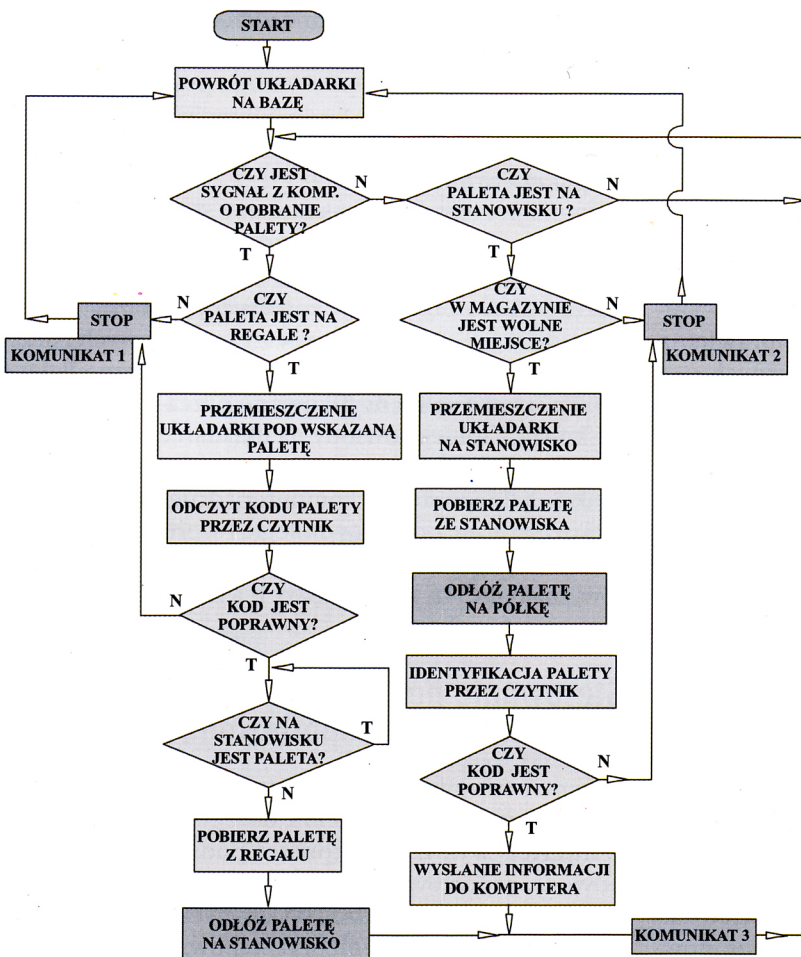
Urządzenia wykonawcze i peryferyjne są sterowane według programu, którego algorytm przedstawiono na rys. 7.

Początek głównego programu sterowania to przemieszczenie układarki regałowej na pozycję bazową, względem której są określone współrzędne półek na regale oraz stanowisk odkładczych. W zależności od polecenia wysłanego przez komputer podsystemu, układarka transportuje paletę z magazynu na stanowisko odkładcze lub przemieszcza ją ze stanowiska w kierunku regału. W przypadku polecenia pobrania palety z magazynu, czytnik kodów paskowych skanuje kod palety i przesyła go do komputera podsystemowego w celu sprawdzenia. W przypadku błędnej palety lub jej nieobecności w magazynie, następuje przerwanie procedury pobrania oraz powrót układarki na pozycję bazową. Program sterujący układarką wyświetla komunikat 2 o konieczności wyjęcia palety z magazynu. W trakcie sterowania podsystemem, program kontroluje obecność palet na stanowiskach odkładczych. W przypadku gdy na stanowisku znajduje się paleta dostarczona wózkiem transportowym, jest odkładana na przypisaną jej półkę magazynu regałowego. Proces produkcyjny przedmiotu kończy się komunikatem 3, który informuje operatora o konieczności wyjęcia palety z gotowymi przedmiotami z magazynu.

Wymiana informacji między komputerem podsystemowym, w którym zainstalowane jest oprogramowanie pełniące funkcję sterującą, a sterowanymi urządzeniami odbywa się za pomocą zaprojektowanego interfejsu, co przedstawia rys. 8.

Interfejs jest 8-bitową kartą peryferyjną umieszczoną w slotcie ISA komputera. Na karcie znajduje się programowalny układ 8255A firmy Intel, który poprzez układy cyfrowe wysyła informację na wyjście karty, bądź zbiera informację z wejść.

Transmisja sygnałów sterujących do elementów wykonawczych, którymi są silniki, odbywa się poprzez dodatkowy wzmacniacz. Sygnały te są grupowane i kierowane do odpowiedniego silnika.



Rys. 7. Algorytm sterowania układarką regałową

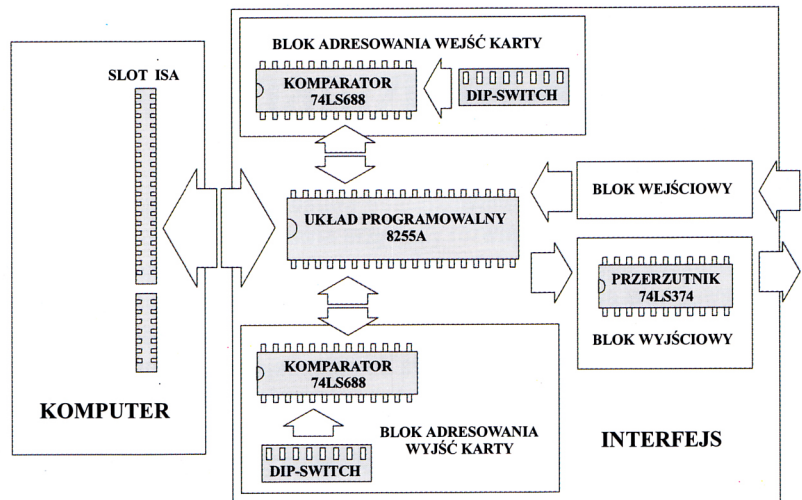
Dzięki programowemu adresowaniu portów układu 8255A, możliwy jest odczyt z 24 mikroprzełączników. Kontroler został wyposażony w elementy przełączające Dip-switch oraz logiczne komparatory 74HC688, które umożliwiają elastyczną zmianę adresu obsługi danego przerwania.

Jak już wspomniano, urządzeniami wykonawczymi układarki regałowej są dwa dwufazowe silniki krokowe typu hybrydowego oraz silnik prądu stałego, zasilane ze wzmacniacza. Wzmacniacz wyposażony jest w wejście cyfrowe, które współpracuje z kartą komunikacyjną oraz wyjścia, które sterują bezpośrednio silnikami. Do sterowania silnikami krokowymi zastosowano układ cyfrowy CMOS 4028, który zamienia sygnał BCD na kod „1 z dziesięciu”. Elementami mocy są tranzystory MOSFET oraz źródło prądowe o dużym współczynniku sprawności. Natomiast do sterowania silnika prądu stałego zastosowano wzmacniacz różnicowy z dobudowanym obwodem przeciwzwarciowym. Silniki są sterowane według schematu blokowego przedstawionego na rys. 9. W celu uniknięcia niedokładności, sterowanie silników krokowych odbywa się tzw. pracą półkrokową [4].

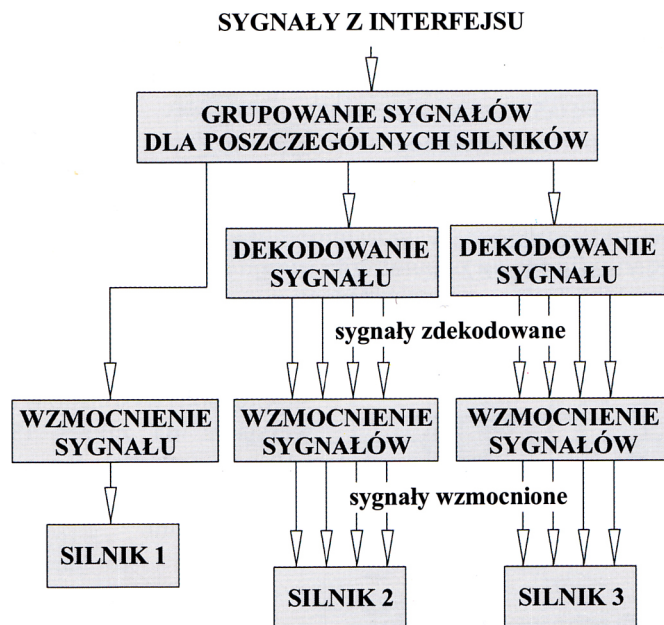
Podsumowanie

Budowany miniaturowy system wytwarzania od strony konfiguracji, sterowania i organizacji pracy będzie odpowiadał rzeczywistym systemom stosowanym w przemyśle. Prezentowany system pozwoli zatem na prowadzenie doświadczalnej weryfikacji metod i symulacji komputerowych w zakresie planowania i harmonogramowania procesów wytwarzania oraz sterowania nimi. Działanie systemu możliwe będzie na podstawie harmonogramów generowanych za pomocą standardowego oprogramowania oraz na podstawie harmonogramów tworzonych on-line przy wykorzystaniu metod sztucznej inteligencji. Zastosowanie metod sztucznej inteligencji da możliwości dynamicznej zmiany harmonogramów i algorytmów sterowania w miarę napływu nowych zleceń produkcyjnych.

Praca wykonana w ramach projektu badawczego nr 8T07D 00420 „Badawczy system elastycznego inteligentnego wytwarzania” finansowanego przez KBN.



Rys. 8. Architektura interfejsu komunikacyjnego



Rys. 9. Schemat blokowy wzmacniacza silników

Bibliografia

1. Biemans F. P. M., Visser C. A.: Reference Model for Manufacturing Planning and Control Systems. *Jurnal of Manufacturing Systems*, Nr 1/1989, Vol. 8.
2. Bose R.: Intelligent agents framework for Developing Knowledge-Based Decision Support Systems for Collaborative Organizational Processes. *Expert Systems with Applications*, Nr 3/1996, Vol. 11.
3. Honczarenko J.: Elastyczna automatyzacja wytwarzania. Obrabiarki i systemy obróbkowe. WNT, Warszawa 2000.
4. Kosmol J.: Serwonapędy obrabiarek sterowanych numerycznie. WNT, Warszawa 1998.
5. Materiały na serwerze firmy ITEM <http://www.item-international.com>
6. Materiały na serwerze firmy ROBIX <http://www.robix.com>

Streszczenia artykułów naukowych

Badawczy system elastycznego inteligentnego wytwarzania, Jerzy Honczarenko, Artur Berliński, Mariusz Sosnowski, Waldemar Szumotałski – s. 5

Omówiono system budowany w Zakładzie Zautomatyzowanych Systemów Wytwórczych Politechniki Szczecińskiej. Celem systemu jest prowadzenie doświadczalnej weryfikacji komputerowych symulacji planowania i harmonogramowania produkcji.

Intelligent flexible manufacturing resarch system, Jerzy Honczarenko, Artur Berliński, Mariusz Sosnowski, Waldemar Szumotałski – p. 5

System which was built in the Department of Automatic Production Systems of Technical University of Szczecin is described. The aim of the building system was experimental verification of computers simulation planing and scheduling production.