



Sterowanie i eksploatacja niskobudżetowej platformy transportowej typu line follower w środowisku przemysłowym

mgr IGOR OSTROWSKI², inż. ŁUKASZ WOJAS¹, mgr inż. GRZEGORZ KUCHAREK¹,
prof. dr hab. inż. ANDRZEJ MASŁOWSKI^{2,3}

¹ General Motors Manufacturing Poland, Gliwice

² Instytut Maszyn Matematycznych, Warszawa

³ Politechnika Warszawska, Wydział Inżynierii Produkcji, Warszawa

W technologii montażu polegającej na łączeniu ze sobą dużej ilości elementów zadania transportowe należą do najbardziej czasochłonnych oraz najprostszych działań. Automatyzacja tych zadań nie wymaga dużych nakładów finansowych ani znaczących modyfikacji w funkcjonowaniu hali montażu. Zadania transportowe polegające na dostarczeniu wózka sekwencyjnego do stanowiska może realizować pojazd wyposażony w klasyczny sterownik PLC z zaimplementowanym powszechnie znanym algorytmem podążania wzdłuż linii (tzw. Line Follower). Stabilność takiego rozwiązania oraz jego prostota powodują niską awaryjność, a w przypadku jakiegokolwiek konieczności ingerencji dają możliwość rozwiązania problemu bez konieczności wzywania serwisu, jak w przypadku komercyjnych rozwiązań.

Algorytmy podążania za linią stanowią element obowiązkowego kształcenia inżynierów na kierunku „automatyka i robotyka” na większości polskich uczelni technicznych [1]. Wykorzystanie tych algorytmów w pojazdach komercyjnych jest powszechne jednak szczegółowy kod i strategia sterowania nie są zazwyczaj udostępniane użytkownikowi. Użytkownikowi nie wolno także, pod groźbą utraty gwarancji dokonywać żadnych modyfikacji w zakresie oprogramowania co może być uciążliwe w przypadku konieczności modyfikacji [2].

Skonstruowanie własnego pojazdu leży w możliwościach większości dużych zakładów produkcyjnych i jest rozwiązaniem poważnie ograniczającym koszty automatyzacji transportu wewnętrznego. Nie bez znaczenia jest fakt późniejszego usuwania usterek przez pracowników utrzymania ruchu bez konieczności wzywania zewnętrznego serwisu.

Budowa platformy transportowej

Dane techniczne i konstrukcyjne:

- maksymalna prędkość 52 m/min;
- maksymalny uciąg/obciążenie: 500 kg;
- płynna regulacja prędkości;
- czujnik zbliżeniowy 2 strefowy oraz zderzak;
- linia wodząca – czujnik kontrastu (różnicowanie czarny/biały);
- konfigurowalna konstrukcja;
- sterownik główny Siemens S7 1200;

- automatyczny pobór wózka sekwencyjnego (czujnik refleksyjny);
- minimalny czas pracy na jednym ładowaniu 8h;
- dodatkowe skrypty aktywowane RFID;

Konstrukcja:

- Lekkie profile aluminiowe 40×40;
- Lekkie profile aluminiowe 80×40;
- Aluminiowe blachy osłonowe;
- 2 koła skrętne 125 mm,
- 2 koła stałe 125 mm – nośność 350 kg/szt.;
- Koło napędowe poliuretanowe 200 mm – nośność 700 kg;
- Silnik skrętu oraz napędu 24 V;
- Akumulatory 2 szt.;
- Czujniki kontrastu 6 szt.;
- Czujnik refleksyjny 1 szt.;



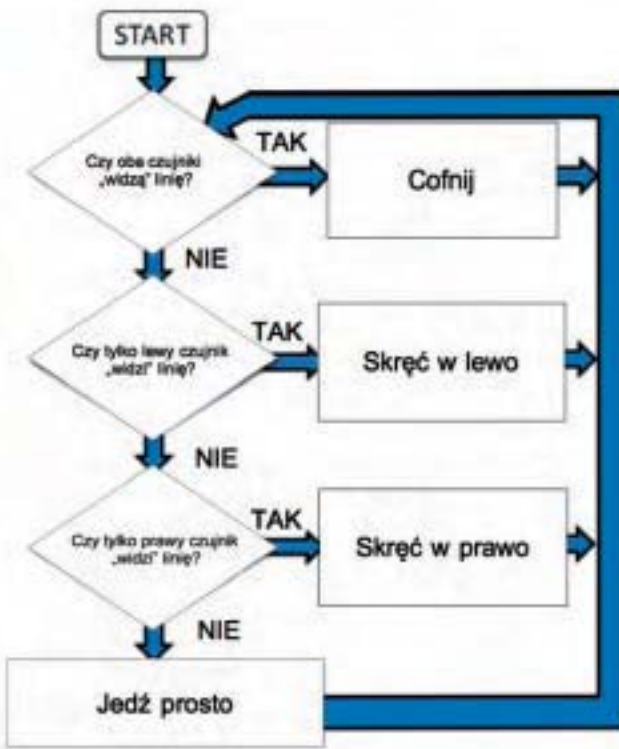
Rys. 1. Widok zbudowanej platformy
Fig. 1. Builted vehicle view



- Siłownik elektryczny liniowy;
- Wieża sygnałowa oraz przyciski.

Algorytm jazdy

Klasyczny algorytm line follower używany w najprostszych konstrukcjach tego typu można przedstawić grafem zobrazowanym na rys. 2.



Rys. 2. Podstawowy algorytm line follower
Fig. 2. Basic line follower algorithm

Jednak zastosowanie takiego rozwiązania jest nieefektywne. Algorytm ten został wzbogacony poprzez dodanie dodatkowych czujników umożliwiających „rozmycie” wartości binarnych dotyczących skrętu, a także prędkości platformy na trzy poziomy. Do algorytmu dodane zostały również warunkowe zatrzymania w przypadku wykrycia znaczników RFID lub wykrycia obiektu na trasie przez umieszczony na froncie czujnik zbliżeniowy. Po zastosowaniu zmian realizowany jest następujący algorytm jazdy. Przekaznik po kilku sekundach od doprowadzenia zasilania do sterownika aktywuje zasilanie silników skrętu oraz napędu. Sześć czujników kontrastu podzielonych na grupy (1–2, 3–4, 5–6) odpowiada za obrót silnika skrętu zgodnie z odczytem (jedynek logicznych oznaczających pojawienie się czarnego koloru pod czujnikiem) rys. 3. Logiczna jedynka na czujnikach 3–4 oznacza jazdę na wprost, 1–2 w prawo, 5–6 w lewo.



Rys. 3. rozmieszczenie sensorów
Fig. 3. sensors displacement

Odczyty z grup czujników zmniejszają również prędkość napędu w następującym schemacie: 1–6 bardzo wolno, 2–5 wolno, odczyt z czujników 3–4 ustala maksymalną, dopuszczalną prędkość. Odczyt ze skrajnych czujników (1 i 6) jest priorytetowy w strategii sterowania prędkością oraz ruchem silnika skrętu.

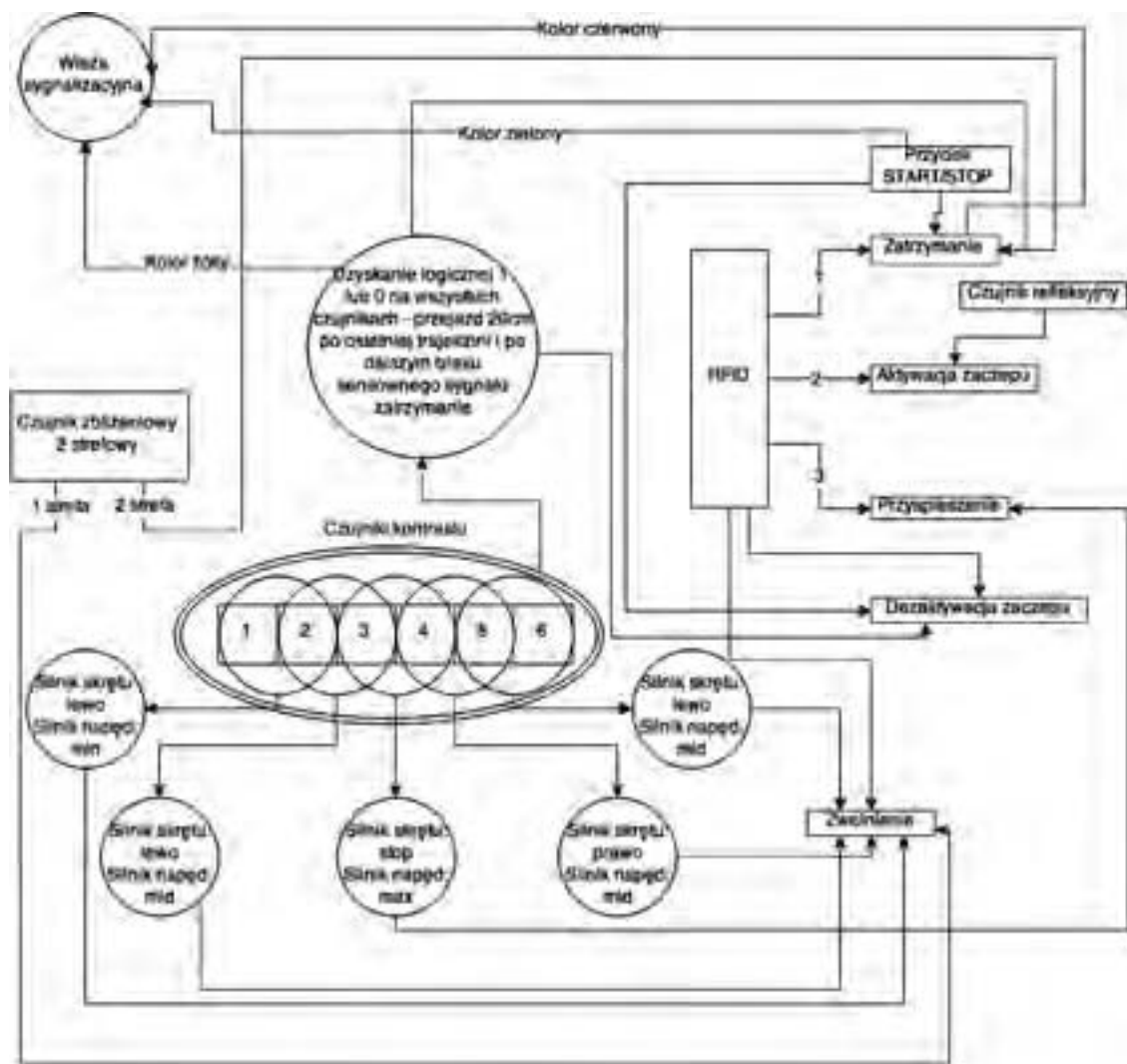
Algorytm sterowania

Wózek po wykryciu linii pod którymkolwiek z czujników wykonuje ruch zgodny ze strategią sterowania. Wózek po utraceniu linii z pola odczytu czujników przejeżdża jeszcze 20 centymetrów i zatrzymuje się sygnalizując błąd linii sygnałem dźwiękowym oraz odpowiednim kolorem na wieży sygnalizacyjnej. Strategia sterowania uwzględnia odpowiednie skrypty powiązane z zaprogramowanymi tokenami RFID. Tokeny umożliwiają zatrzymanie platformy w określonym miejscu (oczekiwanie na wózek sekwencyjny), wymuszenie zwiększenia lub zmniejszenia prędkości, aktywacja automatycznego dokowania wózka, uwolnienie wózka. Przycisk start został oprogramowany jako przycisk dwustanowy i umożliwia natychmiastowe zatrzymanie lub uruchomienie wózka. Przycisk bezpieczeństwa „stop” odcina zasilanie w całym układzie. Po ponownym uruchomieniu wózek przechodzi w tryb gotowości i czeka na aktywację przyciskiem „start” (ustalone wcześniej zadania zostają anulowane). Czujnik zbliżeniowy działa w dwóch strefach, po wykryciu obiektu w pierwszej strefie zmniejsza prędkość wózka, a po wykryciu obiektu w drugiej strefie zatrzymuje wózek całkowicie. Po usunięciu obiektu w polu widzenia czujnika, po kilku sekundach wózek powraca do ruchu z uwzględnieniem ustalonych wcześniej zadań i priorytetów. Algorytm ten zobrazowany jest na rysunku 4.

Porównanie konstrukcji własnej z rozwiązaniami komercyjnymi

Ceny komercyjnie dostępnych pojazdów AGV, sterowanych taśmą magnetyczną lub optycznych wahają się w okolicach 8000 EUR brutto, dodatkowym kosztem jest zawsze implementacja, której koszt w przypadku platformy w GMMP wynosił około 7000 EUR brutto. Całkowity koszt brutto wdrożenia AGV w tym konkretnym przypadku wynosił więc 15000 EUR brutto. Koszt zakupu części oraz wytworzenia we własnym zakresie nie przekroczył 4000 EUR brutto, wyliczone wartości zawierają niewielkie przeszacowanie wynikające z awarii w fazie konstruktorskiej i konieczności zakupu nowych części. (Uszkodzony sterownik silnika skrętu, uszkodzony motoreduktor silnika napędu. Uszkodzenia wynikały z wad konstrukcyjnych, które usunięto), tym samym wytworzenie następujących egzemplarzy pociąga za sobą niższe koszty. Również prace na oprogramowaniu oraz pracochłonne testy nie muszą być powtarzane dla kolejnych egzemplarzy.

Porównanie walorów eksploatacyjnych może opierać się na ilości zatrzymań (usterek) mających wpływ na proces produkcyjny. Awarii takich nie było w trakcie eksploatacji pojazdu własnej konstrukcji. Ilość zatrzymań bez wpływu na proces produkcyjny nie jest odnotowywana. Usuwanie usterek w pojeździe własnej konstrukcji jest znacząco prostsze i zajmuje mniej czasu. Powodem tego są następujące różnice:



Rys. 4. Użyty algorytm. Fig. 4. Implemented algorithm

konstrukcja własna	produkt komercyjny
łatwa i szybka kalibracja czujników kontrastu w porównaniu do wózków komercyjnych bazujących na sensorach wizyjnych	potrzebny serwis producenta
otwarta konstrukcja umożliwiająca wymianę elementów łożyskujących oraz przekładni	konstrukcja zamknięta, konieczność wymiany całych podzespołów lub serwis producenta
możliwość dowolnej zmiany trasy i duża tolerancja błędów dot. promienia skrętu i kątów nachylenia	parametry ściśle określone w dokumentacji technicznej ruchowej.
możliwość implementacji połączenia bezprzewodowego do komunikacji kilku AGV w trasach kolizyjnych (przejazdy, skrzyżowania)	brak możliwości rozbudowy – zamknięta konstrukcja, zamknięte oprogramowanie

Podsumowanie

Opracowanie własnego pojazdu, spełniającego wymagania konkretnego zakładu produkcyjnego jest uzasadnione ekonomicznie. Wartością dodaną, której nie można z góry ocenić jest spadek awaryjności wynikający z pełnej wiedzy na temat konstrukcji. Własna konstrukcja stwarza możliwości przeszkolenia pracowników działu utrzymania ruchu tak, aby nadzór nad eksploatacją oraz usuwanie usterek odbywało się całkowicie wewnątrznymi siłami zakładu. Pełna dostępność części oraz otwarta konstrukcja i oprogramowanie dają możliwość ewoluowania projektu i unowocześniania transportu wewnętrznego bez ponoszenia dużych nakładów na wymianę istniejących rozwiązań.

Literatura

- [1] Jerzy Honczarenko: Roboty przemysłowe. Budowa i zastosowanie, Warszawa, 2004, WNT.
- [2] „BETRIEBSANLEITUNG SPURTRUCK” 2013 ANT-System GmbH, Pfullingen.