

Jacek **WIELICKI**

## SYSTEM STEROWANIA MOBILNYMI MASZYNAMI INŻYNIERYJNYMI

**Streszczenie.** Artykuł poświęcony jest systemowi sterowania w mobilnych maszynach inżynieryjnych, militarnych jak i podwójnego zastosowania. W artykule omówiona zostanie tematyka związana z układami diagnostycznymi, wykonawczymi, logicznymi oraz komunikacyjnymi. Opisany został sposób wykorzystania, uzyskanych parametrów i cech funkcjonalnych maszyny wraz z jej systemem sterowania.

**Słowa kluczowe:** sterowanie, interfejsy, komunikacja, diagnostyka, maszyny inżynieryjne.

### 1. WPROWADZENIE

System sterowania i sposób wymiany informacji wewnątrz sieci pojazdowej, opisany został na podstawie zaprojektowanego rozwiązania, zaimplementowanego na podwoziu wielofunkcyjnej maszyny inżynieryjnej (PB WMI)[1]. Opisywana maszyna inżynieryjna [1],[4] jest pojazdem kołowym o masie około 16 ton, poruszająca się na dwuosiowym zawieszeniu, przy obu osiach skrętnych. Napędzana jest silnikiem spalinowym o mocy ok. 350KM, sprzężonym z pełni automatyczna skrzynią biegów i ze skrzynią pośrednią, układ ten umożliwia napędzanie obu osi. Maszyna została wyposażona w wiele układów wyposażenia specjalnego, na poziomie rzadko spotykanym w rozwiązaniach rynku cywilnego. Budowa taka pozwala na dostosowanie się do wymagań aktualnie stawianym maszynom wojskowym i podwójnego zastosowania. Przyjęte założenia, dotyczące budowy systemu, obejmują komunikację i kontrole pracy wszystkich elementów wyposażenia pojazdu. Układ sterowania nadzoruje pracę powiązanych systemów, takich jak np. układ napędowy (łańcuch: silnik-automatyczna skrzynia biegów-przekładnia pośrednia), układów „wyspowych” (system przeciwpożarowy, układ EBS itp.), jak i bezpośrednio zarządza układami roboczymi/wykonawczymi pojazdu (narzędzie robocze, siłowniki układu zawieszenia itp.). Maszyna przedstawiona została na rys.1. Układ sterowania współpracuje ze wszystkimi podsystemami zastosowanymi na pojeździe. Dzięki takiemu rozwiązaniu maszyna PBWMI stała się odpowiednim obiektem dla badań i wdrażania rozwiązań z zakresu zdalnego sterowania, teleoperacji, struktury sieci komunikacyjnych, symulacji komputerowej i wielu innych.



**Rys.1. Widok podwozia bazowego maszyny inżynierskiej**

## **2. BUDOWA SYSTEMU**

Koncepcja układu sterowania maszyną zakłada zastosowanie otwartej, rozproszonej architektury, w celu umożliwienia szybkiej i efektywnej rozbudowy systemu o kolejne podsystemy bądź funkcjonalności. Aktualnie znaczna większość, rozbudowywanych przez producentów, podsystemów umożliwia ich integrację z nadrzędnym układem sterowania. W zależności od zaawansowania, czasu występowania na rynku, koncepcji zastosowania, krytyczności zadziałania podsystemy wyposażone są w różne interfejsy wymiany danych. W celu dostosowania elementów maszyny, nie wyposażonych w wbudowane układy diagnostyczne bądź sterujące, do współpracy z nadrzędnym sterownikiem, zastosowane zostały modułowe koncentratory sygnałów analogowych i cyfrowych. Pozwoliło to na zastosowanie szerokiego spektrum czujników i sensorów do pomiaru wartości fizycznych stanu maszyny, czynników atmosferycznych czy położenia pojazdu. Docelowo system sterowania powinien umożliwić nadzór nad wszystkimi, istotnymi z punktu widzenia sprawności pojazdu podsystemami. Opracowana koncepcja nie określa stopnia ingerencji układu sterowania w pracę „wyspowych” podsystemów pojazdu, ani ilości zespołów pojazdu integrowanych do centralnego układu nadrzędnego. Obszar zastosowania ww. struktury systemu sterowania maszyną określane będą na podstawie:

- wymagań stawianych maszynie;
- zakresu wymaganych funkcjonalności;
- sposobu i miejsca eksploatacji.

## **3. IMPLEMENTACJA NA PB WMI**

Podstawowym założeniem dla układu sterowania pojazdem WMI było osiągnięcie takiego poziomu kontroli nad maszyną, aby można było przeprowadzić przy jej użyciu prace w trybie teleoperacji. Przystosowanie maszyny do teleoperacji jest jednym z najbardziej zaawansowanych przypadków aplikacji opisywanego systemu sterowania. Jest to rozwiązanie, w którym kontroli podlegają wszystkie podsystemy biorące udział w pracach wykorzystujących osprzęt maszyny. Układ sterowania maszyną został przedstawiony

w postaci blokowej na rys.2. Zaprojektowany system opiera się o dwa główne układy nadzorujące. Pierwszy (rys.2 poz.11) kontroluje prace podwozia maszyny, drugi (rys.2 poz.1) odpowiedzialny jest za obsługę interfejsu HMI użytkownika oraz nadzór nad narzędziem roboczym. W ramach projektu zastosowano swobodnie programowalne sterowniki, wyposażone w szeroko stosowane interfejsy komunikacyjne:

- LAN – Ethernet;
- CAN/CANopen – 4 porty [2],[3];
- RS232;
- USB.

Dzięki odpowiedniemu zarządzaniu informacjami wymienianymi przez te interfejsy komunikacyjne, główne sterowniki „kabiny” i „podwozia” stały się niejako bramami sieciowymi dla podsystemów pracujących w obrębie maszyny. Sterowniki oprócz wymiany informacji, odpowiadają za logowanie danych diagnostycznych oraz dokonują wstępnej obróbki odbieranych danych eksploatacyjnych. Poprzez standaryzację i unifikację przesyłanych ramek komunikacyjnych, ułatwiona została diagnostyka systemu, dodatkowo ograniczono niepotrzebnie rozgłaszane przez podzespoły pojazdu komunikaty. Rozwiązanie takie znalazło zastosowanie zarówno podczas prac serwisu (diagnostyka urządzenia), zdalnego sterowania (teleoperacja, zdalna diagnostyka), jak i podczas pracy z zewnętrznym systemem komputerowym (programowanie, implementacja nowych funkcjonalności, symulacja komputerowa). Zastosowanie obrotowej kabiny operatora, a także znaczne rozproszenie podsystemów podwozia, spowodowało konieczność ograniczenia ilości stosowanych przejść elektrycznych pomiędzy pulpitem operatora a resztą pojazdu. Całość komunikacji pomiędzy interfejsem HMI operatora a zespołami pojazdu realizowana jest za pośrednictwem głównych sterowników programowalnych. Wyjątek stanowią tylko sygnały wyłącznika bezpieczeństwa i światła zatrzymania. Sterowniki połączone są za pośrednictwem dwóch magistrali wymiany danych, ETHERNET'u i CAN. Podstawowym medium wymiany danych jest magistrala CAN, gwarantująca ciągłość i poprawność przesyłanych danych. W przypadku pracy w trybie bezzałogowym, bądź podczas uszkodzenia magistrali CAN, za wymianę danych odpowiada także magistrala ETHERNET.

Przyjęta budowa systemu sterowania maszyny WMI dzięki swojej otwartej budowie umożliwia integrację praktycznie wszystkich typów narzędzi roboczych. W demonstracyjnym egzemplarzu (wersja spycharko-ładowarki) układ narzędzia roboczego sterowany jest za pośrednictwem dedykowanej jednostki obliczeniowej. Manipulatory oraz urządzenia wykonawcze, odpowiedzialne za pracę narzędzia roboczego podłączone są bezpośrednio do sterownika „roboczego”. Upraszcza to algorytm sterowania narzędziem oraz znacznie zwiększa bezpieczeństwo i szybkość pracy układu (reakcji na działania operatora). Sterownik „roboczy” odpowiada głównie za zarządzanie podłączonym do niego narzędziem, jedyną dodatkową funkcją jest komunikacja z nadrzędnym sterownikiem kabiny za pośrednictwem magistrali CAN. Analogiczne rozwiązanie zastosowane jest dla podsystemów podwozia. Aby umożliwić pracę maszyny w trybie teleoperacji, drogą elektroniczną sterowane są wszystkie systemy jezdne pojazdu. Sterowniki silnika, skrzyni biegów i układu EBS, połączone są ze sobą dedykowaną magistralą CAN (protokół J1939). Wszystkie dostępne z poziomu ramek CAN zmienne tych sterowników mogą być definiowane przez „roboczy” sterownik podwozia. Jest to jednostka logiczna, przeznaczona do kontrolowania podsystemów podwozia. Podłączona jest bezpośrednio do sterownika głównego za pośrednictwem magistrali CAN. Parametry układów napędowych, których nastawy nie mogą być definiowane z poziomu protokołu J1939, kontrolowane są za pośrednictwem wyjść/wejść

(analogowych, dwustanowych) sterownika „roboczego” podwozia. Opisany powyżej sposób budowy systemu, odnosi się do wszystkich krytycznych funkcji i elementów składowych pojazdu. Są one kontrolowane bezpośrednio ze sterowników z pominięciem zbędnych pętli sprzężenia zwrotnego czy użycia dodatkowych magistrali komunikacyjnych.

W celu minimalizacji ilości zastosowanego okablowania oraz ograniczenia ilości wymaganych układów wejść/wyjść sterownika roboczego (zarówno w kabinie, jak i podwoziu), do nadzorowania pracy niekrytycznych, z punktu widzenia bezpieczeństwa operatora i maszyny, podsystemów stosowane są koncentratory sygnałów. W przypadku gdy układy wykonawcze bądź sterujące, niekrytycznych podzespołów wyposażone są w interfejsy komunikacyjne, podłączone są bezpośrednio do sterownika głównego. Koncentratory sygnałów (rys.2 poz.3 i 10) zwane także interfejsami sieciowymi, umożliwiają konwersję sygnałów analogowych, dwustanowych, a nawet niektórych interfejsów komunikacyjnych (np. RS422, CAN), do wybranego innego standardu. W projekcie Wielozadaniowej Maszyny Inżynierskiej wykorzystane zostały koncentratory sieciowe z interfejsem CAN. Za pośrednictwem magistrali łączącej interfejsy sieciowe ze sterownikami głównymi, przekazywane są informacje z podsystemów pojazdu, takich jak:

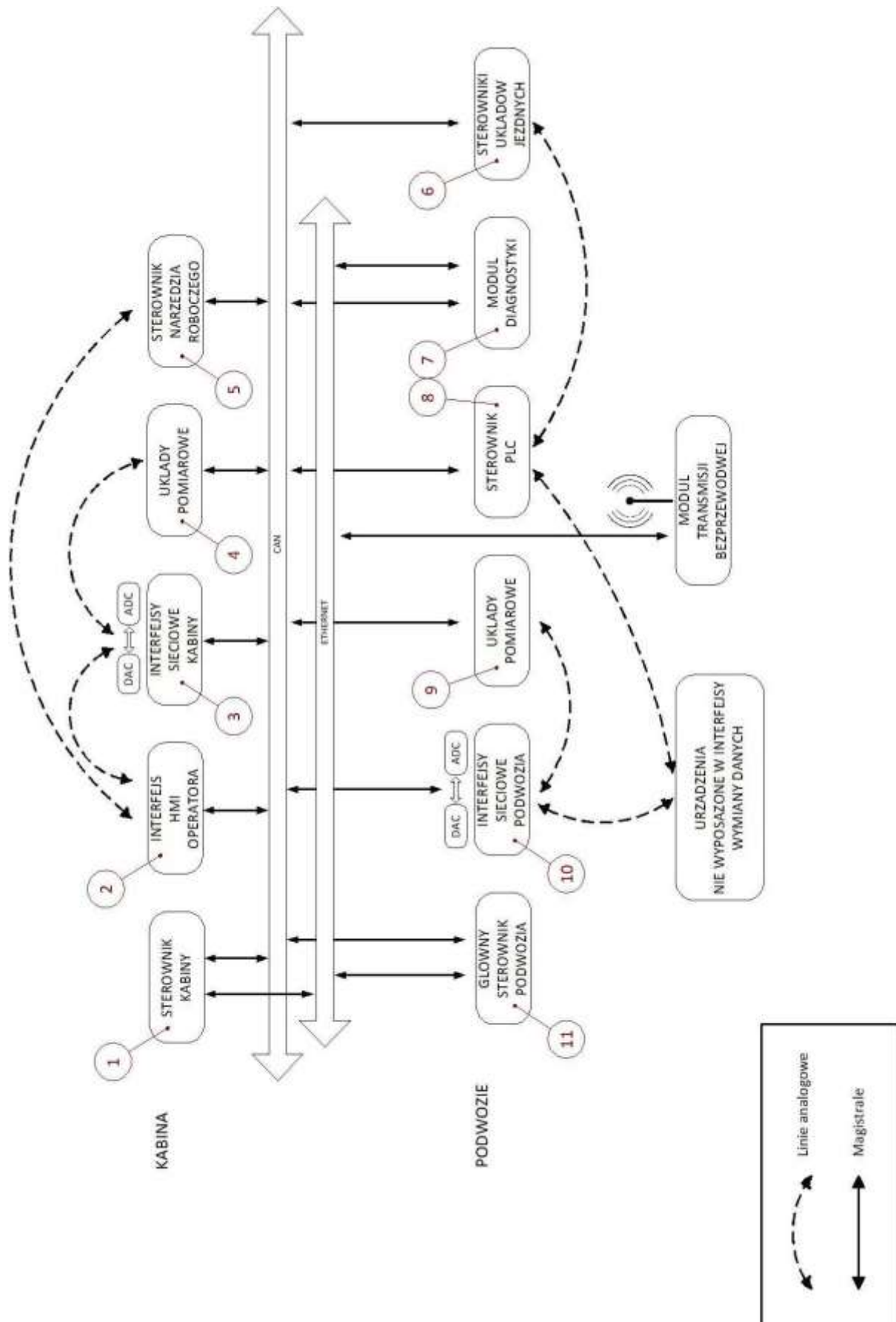
- elementy pulpitu operatora (panele przycisków, kontrolki);
- oświetlenie pojazdu;
- czujniki przemieszczeń i położenia;
- układu chłodzenia.

Największym podsystemem kontrolowanym przez układ sterowania za pośrednictwem interfejsów sieciowych, jest układ zasilania pojazdu. Zastosowanie aktywnego systemu zarządzania energią, zmagazynowaną w akumulatorach jak i wytwarzaną przez alternator, pozwala na wydłużenie czasu pracy maszyny w trybie „cichym”, a także zwiększa żywotność wszystkich układów. Rozwiązanie to pozwala na sekwencyjne załączanie odbiorników, zasilanie tylko wykorzystywanych w danym trybie pracy odbiorników, a także wykrywanie uszkodzeń i niesprawności w pracy układu zasilania.

Dzięki zastosowaniu ww. systemu sterowania na pojeździe PBWMI, pojazd przystosowany został do wykonywania prac w trybie teleoperacji. Możliwe jest zdalne załączanie pojazdu, dostęp do danych diagnostycznych, uruchomienie niektórych podzespołów włączając główne narzędzie robocze. Spoza kabiny pojazdu operator jest w stanie przemieścić maszynę, sprawdzić poprawność działania wszystkich podsystemów, przełączyć tryb pracy. Sprawować można kontrolę nad następującymi zespołami pojazdu:

- układ napędowy;
- układ zawieszenia;
- układ energetyczny;
- zespół wysięgnika roboczego
- układ hamulcowy.

Nie wymienione układy pojazdu podczas zdalnego sterowania działają w trybie półautonomicznym; wykonują żądane operacje zgodnie z algorytmem, podczas gdy cały czas kontrolowane są wszystkie parametry pracy pojazdu. W przypadku wystąpienia stanu niebezpiecznego, pojazd przechodzi w tryb awaryjny i wszystkie jego funkcjonalności przestają być dostępne w trybie zdalnego sterowania.



Rys. 2. Schemat blokowy układu sterowania maszyny inżynieryjnej WMI

#### 4. PODSUMOWANIE

Poziom skomplikowania układu, z punktu widzenia sterowania i struktury sieci wymiany danych, zależy od wykorzystanych podzespołów. Producenci podsystemów, nawet tych dedykowanych do zastosowań mobilnych, ciągle stosują wiele interfejsów komunikacyjnych. Wiele urządzeń wykorzystywanych na pojeździe często nie jest przystosowana do współpracy z elektronicznymi układami zewnętrznej kontroli. Maksymalną funkcjonalność systemu, przy równoczesnym obniżeniu kosztów, uzyskać można tylko poprzez dobór odpowiednich elementów wykonawczych systemu sterowania, jak i samego wyposażenia pojazdu. Już na etapie koncepcji konieczne jest określenie docelowego obszaru zastosowania maszyny i dążenie do zgodności wykorzystywanych elementów z postawionymi założeniami. Opisana powyżej budowa systemu sterowania wykorzystana może być także do przebudowy już istniejących maszyn. Pamiętać jednak należy, iż osiągnięcie odpowiedniego poziomu funkcjonalności systemu wiązać się będzie ze znacznie zwiększonymi kosztami. Opisane rozwiązanie można implementować w strukturę istniejącego układu sterowania maszyną, bez konieczności poważnych zmian jego budowy. Największe korzyści płynące z stosowania systemu uzyskać można w przypadku implementacji opisywanego sposobu kontroli dla większości podsystemów pojazdu. Stosowanie takiej koncepcji budowy systemu sterowania umożliwia wykorzystanie pojazdu w znacznie szerszym obszarze działań. Maszynę przystosować można do:

- zabudowy modułowego systemu diagnostycznego,
- pracy w trybie zdalnego sterowania, zdalnej diagnostyki, teleoperacji,
- wykorzystania jako symulator zintegrowany.

#### 5. LITERATURA

- [1] Projekt rozwojowy nr O R00 0099 09, „Podwozie bazowe wielofunkcyjnej maszyny inżynierskiej WMI”
- [2] Specyfikacja SAE J1939 - Serial Control and Communications Heavy Duty Vehicle Network - Top Level, rev.B, 2012
- [3] EN 50325-4 CANopen application layer and communication profile 4.0, CiA301, 1999
- [4] Wocka P.: „Wielofunkcyjna maszyna inżynierska PINIA”, SPG (31) nr 3, 2012, s.67.

### CONTROL SYSTEMS FOR MOBILE APPLICATION

**Abstract.** This article refers to high level control systems, that are dedicated to mobile engineering platform, used for military and double used application. Description tackle problems connected with diagnostic, executing, logic, control and communication systems. Article describe also features that could be obtained by using that control system.

**Key words:** control, interfaces, communication, diagnostic, engineering machines.

*W artykule wykorzystano wyniki projektu rozwojowego pt. „Podwozie bazowe wielofunkcyjnej maszyny inżynierskiej WMI” finansowanego przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego.*