

## **Przyszłościowe współbieżne mikroprocesorowe inteligentne systemy mechatroniczne w sterowaniu i diagnostyce pojazdów szynowych (1)**

*W artykule przedstawiono przyszłościowe rozproszone współbieżne mikroprocesorowe inteligentne systemy mechatroniczne w sterowaniu i diagnostyce pojazdów szynowych. Systemy te będą podstawą do tworzenia różnych modeli i układów informatycznych i informacyjnych dla pojazdów szynowych. Artykuł składa się z kilku części. Pierwsza część artykułu (1) obejmuje ogólne wiadomości na temat problemów rozproszonych układów sterowania oraz stosowanych modeli sieci CAN. Zawiera informacje na temat stosowanych systemów sterowania przez firmy europejskie.*

*Artykuł powstał w wyniku realizacji projektu badawczego KBN 4T 12C 04929 pt. „Rozproszone współbieżne mikroprocesorowe inteligentne podsystemy mechatroniczne w sterowaniu i diagnostyce pojazdów szynowych”.*

### **1. Wprowadzenie**

Nowoczesne pojazdy szynowe wyposażane są w podzespoły na coraz wyższym poziomie technicznym, wykorzystujące nowe technologie elektroniczne i informatyczne. Współczesny wyspecjalizowany tabor szynowy będzie coraz częściej wymagał zastosowania układów sterujących z wykorzystaniem inteligentnych podsystemów mechatronicznych, co jest szczególnie przydatne do rozwiązywania problemów, gdzie zastosowanie metod konwencjonalnych byłoby bardzo trudne lub niemożliwe.

Dotychczasowe doświadczenia w zakresie sterowania pojazdami szynowymi oraz w zakresie elektroniki i technik informatycznych, stosowanych na tych pojazdach, wskazują na potrzebę podjęcia prac badawczych nad zastosowaniem rozproszonych współbieżnych (równoległych z pewnymi ograniczeniami) inteligentnych podsystemów mechatronicznych w sterowaniu i diagnostyce pojazdów szynowych.

Do realizacji przyszłościowego systemu istotne jest tworzenie nowych struktur sprzętu i oprogramowania poprzez:

- przesunięcie strefy cyfrowej (zanik klasycznego bloku analogowego i stopniowa eliminacja przetworników A/C) w kierunku sensorów pomiarowych, co polepsza własności pomiarowe
- zastosowanie najnowszych układów elektronicznych jako elementów sprzęgających, (uniwersalne interfejsy do przetworników)
- zastosowanie układów licznikowych, do których podłączone są bezpośrednio sensory pomiarowe
- wprowadzenie cyfrowo sterowanych układów wykonawczych, co poprawia dokładność i zwiększa niezawodność pracy.

Podsystemy mechatroniczne pojazdów szynowych będą tworzyć rozległe systemy oparte na modelach rozproszonej (zdecentralizowanej) sztucznej inteligencji DAI (Distributed Artificial Intelligen-

ce) i związanych z nimi - programach agentowych (autonomicznego lub aktywnego agenta - Autonomous or, Active Agent). Wysoka modularność środowisk agentowych sprawia, iż z punktu widzenia inżynierii oprogramowania mogą one stanowić specjalny przypadek systemów obiektowo zorientowanych, w których pojedyncze obiekty mają swoje własne wątki wykonania oraz swoje własne indywidualne zadania. Zastosowanie systemów wieloprocesorowych, pracujących równoległe w sieci połączeń wielokrotnie zwiększa możliwości obliczeniowe. Zdecentralizowana sztuczna inteligencja DAI jest dziedziną wiedzy, która składa się z dwóch poddziedzin:

- rozproszone rozwiązywanie problemów DSP (Distributed Solving Problem)
- systemy wieloagentowe MAS (Multiagent System).

DSP wykorzystuje się wtedy, gdy jeden duży problem dzieli się na mniejsze podproblemy i przydziela je poszczególnym węzłom rozproszonego systemu do rozwiązania.

MAS natomiast koncentruje się przede wszystkim na poszczególnych modułach wykonujących podzadania. Każdy z nich jest przydzielany suwerennemu autonomicznemu programowi (agentowi). Naturalną cechą takich systemów jest rozproszenie, które może być:

- przestrzenne, np. zbieranie informacji od czujników znajdujących się w różnych miejscach pojazdu
- funkcjonalne, gdzie programy eksperckie mają za zadanie rozwiązać określone problemy w różnych środowiskach programowych.

Korzyści wynikające ze sterowania systemów rozproszonych są następujące:

- zwiększona moc obliczeniowa wynikająca ze stosowania przetwarzania równoległego
- zwiększona niezawodność, istnieje bowiem możliwość takiego zaprojektowania systemu, aby w

chwili awarii funkcje nie działającego elementu (węzła) systemu zostały przejęte przez inne działające węzły

- zwiększona adaptacyjność (rekonfigurowalność) dzięki możliwości modyfikacji programów i łatwemu podziałowi zasobów.

W pracy zostanie dokonana teoretyczna analiza (algorytmy działania) w celu rozeznania lokomotywy jako obiektu podlegającego sterowaniu i diagnostyce. Wykorzystując panele operatorskie i sterowniki mikroprocesorowe zbudowane zostaną modele obserwacji, sterowania i diagnostyki lokomotywy. Modele te zostaną zbadane laboratoryjnie i analizowane pod kątem prawidłowej współpracy w inteligentnych węzłach mechatronicznych. Prace zostaną zakończone zbudowaniem prototypowego układu pomiarowo-sterującego, który jest systemem rozproszonym, a którego celem jest możliwość uruchamiania i badania oprogramowania realizującego różne algorytmy układów hamulcowych.

## 2. Stosowane systemy sterowania przez firmy europejskie [1 i 4]

W znanych europejskich firmach, zajmujących się elektrycznym wyposażeniem pojazdów trakcyjnych, opracowano różne niezależne systemy sterowania. Najbardziej znane to:

- system MITRAC<sup>®</sup> firmy ADtranz, który jest rozwinięciem technologii GEATRAC, MICAS i TRACS; cechuje się bardzo elastyczną, rozłożoną architekturą; MITRAC zarządza sterowaniem kompletnego zestawu pociągu oraz poszczególnych pojazdów, łącznie z napędem; wszystkie moduły MITRAC'a są wyposażone w interfejsy MVB, łączące je z magistralą pojazdu MVB
- system AGATE<sup>™</sup> firmy Alstom charakteryzuje się architekturą rozłożoną; każdy większy podzespół pojazdu posiada własny 32-bitowy sterownik lokalny, który realizuje także zadania diagnostyczne
- system firmy Fiat Ferroviaria (sterowania i diagnostyki pokładowej) jest stosowany w pociągach Sm3, Sm4, ETR 460, ETR 470 i ETR 480; charakteryzuje się rozłożoną architekturą i całkowitą redundancją
- system sterowania pociągu ICE posiada architekturę rozłożoną, zapewniającą zsynchronizowane funkcjonowanie dwóch wagonów silnikowych i możliwie najlepsze działanie urządzeń pociągu (redundancja elementów).

Najnowsze systemy sterowania i diagnozowania krajowych pojazdów szynowych to:

- system sterowania i diagnostyki zmodernizowanej lokomotywy ET22; w 2004 r. Zakłady Naprawcze Lokomotyw Elektrycznych w Gliwicach na podstawie dokumentacji technicznej opracowanej przez IPS „TABOR” zmodernizowały lokomotywę 201E nr 315, która otrzymała nowe oznaczenie

ET22-2000. Koncepcja i algorytmy działania systemu sterowania i diagnostyki (SySiD) lokomotywy 201Em (ET22-2000) zostały opracowane w IPS „TABOR”, natomiast wykonanie i oprogramowanie powierzono firmie WASKO (obecnie ENTE) z Gliwic

- sterownik systemu hamowania e.z.t. 16WE; w 2006 r. PESA w Bydgoszczy wyprodukowała nowy elektryczny zespół trakcyjny 16WE (ED74-01), w którym zastosowano rozproszony sterownik sterowania pneumatyki i hamulców MPS-16WE-01, opracowany i wyprodukowany przez IPS „TABOR”
- system hamowania dla jednostki e.z.t. 15WE (oznaczenie kolejowe ED59) produkcji PESA Bydgoszcz, w którym zastosowano opracowany i wyprodukowany przez IPS „TABOR” sterownik pneumatyki i hamowania MPS-15WE.

## 3. Problemy rozproszonego układu sterowania

### 3.1. Definicje i określenia

W pełni rozproszonym systemem jest taki, w którym sterowanie, sprzęt i dane informatyczne są rozproszone. Węzłem systemu komputerowego jest zazwyczaj sterownik (PLC) lub ich grupa. Cały system staje się natychmiast rozproszonym systemem w sensie informatycznym, gdyż następuje rozproszenie zarówno procesów jak i zasobów sterowania.

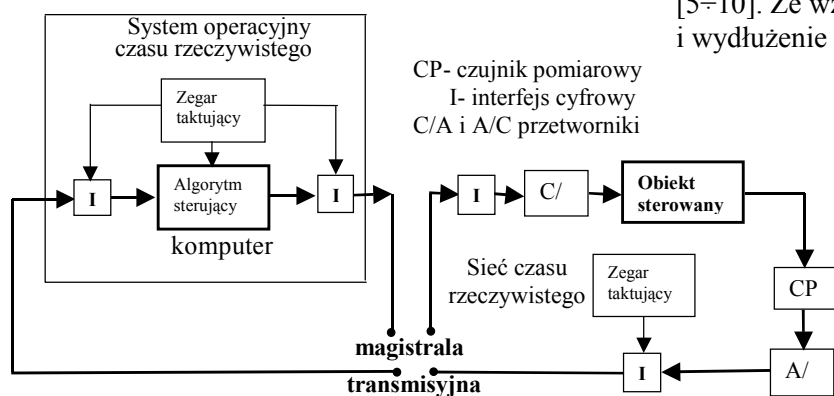
Rozproszona struktura układu sterowania może mieć różny charakter:

- rozproszone zadania sterownicze ze względu na fizyczne oddalenie obiektów systemu
- rozproszone zadania sterownicze ze względu na ograniczoną moc obliczeniową pojedynczych sterowników
- podział zadań ze względu na przejrzystość tworzonego oprogramowania oraz szybkość jego powstawania
- podział zadań ze względu na wymaganą szybkość pracy.

Wzajemne połączenie elementów struktury rozproszonej może być różne w zależności od charakteru łączonych struktur:

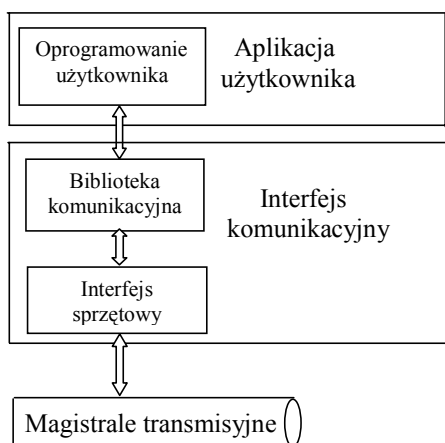
- dla fizycznie oddalonych obiektów systemu oraz obiektów typu Master (jednostka nadrzędna) najlepsza jest sieć CAN (Controller Area Network – standard szeregowej transmisji danych) dla przesyłu danych lub połączenie PWM (Pulse with modulation – modulacja szerokości impulsu) dla zespołów zadajników
- pozostałe elementy struktury mogą znajdować się blisko siebie, stąd odpowiednia byłaby sieć I<sup>2</sup>C (Inter Integrated Circuit bus – szeregowa dwukierunkowa magistrala służąca do przesyłania danych między wewnętrznymi modułami urządzenia - układami scalonymi).

Rozwinięciem idei układu sterowania cyfrowego jest system sterowania rozproszonego (rys. 1) [2]. W systemie tym czujnik pomiarowy (CP) oraz przetworniki A/C i C/A są umieszczone bezpośrednio przy obiekcie sterowanym i połączone ze sterownikiem (komputerem) magistralą cyfrowej transmisji danych. Transmisję tę umożliwiają interfejsy cyfrowe (I), których zadaniem jest dostosowanie danych pomiarowych do przyjętego protokołu transmisji, a następnie konwersja do standardu układów wejściowych sterownika cyfrowego (komputera). Charakterystyczną cechą modelu systemu rozproszonego są opóźnienia transmisji, oraz „współzawodnictwa” różnych węzłów sieci w dostępie do mediów komunikacyjnych. Opóźnienia występujące w rozproszonych układach sterowania mogą mieć wpływ destabilizujący na sieć lub istotnie pogarszać jej własności dynamiczne.



Rys. 1. Rozproszony układ sterowania

Aplikacje użytkownika, biblioteka komunikacyjna i interfejs sprzętowy zazwyczaj posiadają indywidualne cechy, które utrudniają współpracę w sieci. Z tego względu konieczna stała się standaryzacja, upraszczająca integrację węzłów sieci. Na rys.2 przedstawiono warstwowy model sieci, który ułatwia współpracę i komunikację pomiędzy poszczególnymi węzłami sieci.



Rys. 2. Warstwowy model sieci

### 3.2. Rodzaje modeli komunikacyjnych

Podstawowo sieci klasyfikuje się ze względu na topologię oraz na ich zasięg. Ze względu na topologię sieci dzieli się na: magistralową, pierścieniową, osiową, gwiazdową i nieregularną.

Ze względu na ich zasięg sieci dzieli się na [3]:

- lokalne (LAN – Lokal Area Network), o zasięgu kilku kilometrów
- metropolitalne (MAN – Metropolitan Area Network), o zasięgu od kilkunastu do kilkudziesięciu kilometrów, obejmujące np. zespół miejski lub aglomeracje
- rozległe (WAN – Wide Area Network), obejmujące swym zasięgiem region, kraj lub cały świat.

W automatyce zastosowanie znajduje szczególny rodzaj sieci lokalnych, LAN, zwany sieciami miejscowymi, polowymi lub przemysłowymi. Ogólny model sieci jest opracowany przez ISO i opisany w [5÷10]. Ze względu na wysoki koszt takiego interfejsu i wydłużenie czasu transmisji, protokoły komunikacyjne przemysłowych sieci komputerowych są zazwyczaj stosunkowo proste i zgodne ze standardem zdefiniowanym przez ISO,

opisującym strukturę komunikacji sieciowej. Pominięcie implementacji pewnych warstw między innymi ułatwia realizację uzależnień czasowych wynikających z warunków pracy w czasie rzeczywistym.

Najbardziej popularne standardy lokalnych sieci przemysłowych stosowanych w pojazdach szynowych to:

- Profibus DP – magistrala klasy Devicebus (sieci sterowników) o ograniczonej liczbie funkcji, obsługujący czujniki i urządzenia wykonawcze
- CAN – szybka magistrala klasy Sensors/Devicebus (sieci czujników/sieci sterowników) o ograniczonej liczbie funkcji.

Dla zastosowań w pojazdach szynowych istotne są dwie podklasy sieci:

- sieci czujników (ang. sensorbus), gdzie transmisja danych odbywa się na poziomie bitów
- sieci sterowników (ang. devicebus), gdzie dane są przesyłane w postaci bajtowej.

### 4. Stosowane modele sieci CAN

W realizowanym projekcie badawczym zastosowano sieć CAN, którą szczegółowo opisano w [5÷10]. Sieć CAN powstała w latach 80-tych XX wieku w firmie Bosch i była dalej rozwijana we współpracy głównie z firmami Intel i Philips. Pierwszym zastosowaniem była komunikacja między sterownikami różnych

funkcji samochodu i dziś pozostaje najpowszechniejszym rozwiązaniem w tym obszarze. CAN protokół wydajnej komunikacji szeregowej jest to szybka magistrala klasy Sensors/Devicebus o ograniczonej liczbie funkcji, nie wymagająca implementacji wszystkich warstw modelu ISO/OSI (OSI - Open System Interconnection) zaprojektowana dla systemów automatyki w pojazdach, obecnie coraz powszechniej stosowana również w przemyśle. CAN jest magistralą systemową umożliwiającą wzajemną komunikację pomiędzy modułami elektronicznymi. CAN w sieci przemysłowej to standard wykorzystywany w najniższej warstwie, czyli do połączenia urządzeń wykonawczych, czujników, itd. Ponieważ jest siecią multimaster (składającą się z wielu jednostek Master), dlatego możliwa jest sytuacja, że każdy moduł może mieć dostęp do szyny i jeżeli wysyła dane o odpowiednio wysokim priorytecie, zajmuje szynę na czas transmisji jednego telegramu. Modułami łączonymi za pomocą tej sieci mogą być zarówno proste układy wejścia - wyjścia, układy mikroprocesorowe, a także komputery. Właśnie dzięki możliwości podłączenia układów o dużej mocy obliczeniowej, tworzy się system realizujący funkcję inteligencji rozproszonej. W systemie CAN nie wykorzystuje się adresowania poszczególnych węzłów, przez co nie ma potrzeby informowania systemu o zmianie konfiguracji. Takie rozwiązanie ma swoje zalety:

- Elastyczność systemu; dodanie węzła do sieci CAN nie wymaga żadnych zmian w oprogramowaniu, sprzęcie, a także w warstwie aplikacyjnej
- Przepływ wiadomości; każda wiadomość ma swój identyfikator; nie wskazuje on na miejsce docelowe wiadomości, ale opisuje znaczenie danych zawartych w informacji; węzły w sieci odbierają wszystkie wysłane wiadomości i jeśli identyfikator wiadomości zostaje "zaakceptowany" przez węzeł (filtracja), to dane zawarte w telegramie podlegają dalszemu przetwarzaniu

- Wielodostęp (ang. multicast); w konsekwencji filtracji wiadomości, każdy węzeł może odebrać i jednocześnie wykonać odpowiednie działania na tej samej paczce informacji
- Zgodność danych; sieć CAN gwarantuje, że każda wiadomość jest jednocześnie akceptowana przez wszystkie węzły lub zostaje odrzucona; w ten sposób zgodność danych w systemie jest kontrolowana albo przez wielodostęp albo przez obsługę błędów.

Układ węzłów sieci CAN pokazano na rys. 3:

Typowy węzeł sieci CAN zawiera:

- mikroprocesor przetwarzający dane
- sterownik CAN realizujący zadania drugiej warstwy modelu OSI (podwarstwa LLC sterowania łączem logicznym oraz podwarstwa kontroli dostępu do medium MAC)
- nadajnik / odbiornik stanowiący interfejs z warstwą fizyczną sieci; układ nadajnika / odbiornika w sieci CAN może synchronicznie zapisywać jak i odczytywać dane z magistrali
- rezystory dopasowujące  $R=120\Omega$

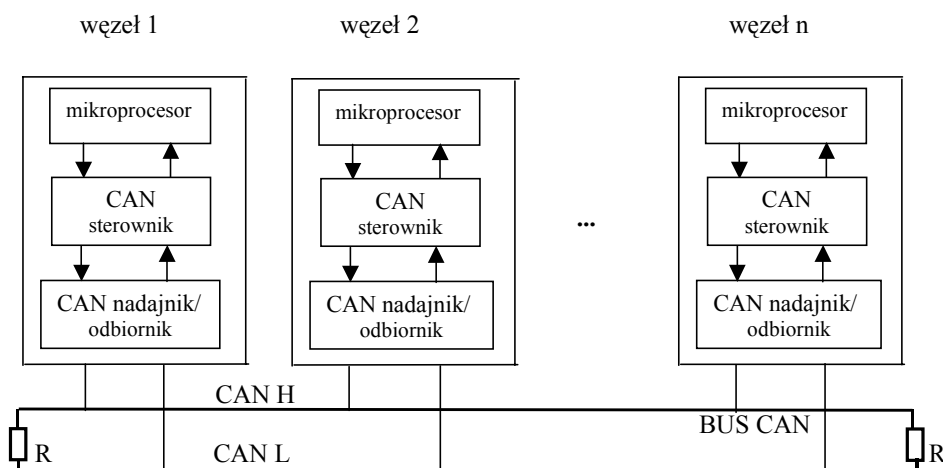
Cechami charakterystycznymi systemu CAN są:

#### a) Dostęp do magistrali - arbitraż

Istnieje wiele opracowanych metod dostępu do sieci, jednakże w sieci CAN zastosowano metodę typu CSMA (Carrier Sense Multiple Access), która zapewnia równouprawnienie wszystkim użytkownikom i uniezależnia sieć od awarii któregoś z węzłów.

#### b) Bezpieczeństwo

Dla osiągnięcia największego bezpieczeństwa transferu danych, we wszystkich węzłach sieci CAN zaimplementowano odpowiednie sposoby detekcji błędów, sygnalizacji i samokorekcji.



Rys. 3 Węzły sieci CAN

**c) Sygnalizacja błędów i "odzyskiwanie czasu"**

Uszkodzona wiadomość jest zaznaczana przez jeden z węzłów wraz z jednoczesnym zasygnalizowaniem błędu. Możliwe jest także "odzyskanie czasu" po wykryciu błędu. Polega to na tym, iż w momencie pojawienia się błędu na szynie, w trakcie nadawania wiadomości, możliwe jest zakończenie wysyłania wiadomości.

**d) Ograniczenie uszkodzeń**

Węzły sieci CAN są zdolne odróżnić krótkotrwałe zakłócenia od trwałych uszkodzeń.

W przypadku wadliwego działania węzła, zostaje on wyłączony aż do momentu, w którym zakłócenie minie.

**e) Nieograniczona ilość modułów**

W systemie CAN ilość modułów jest teoretycznie nieograniczona. Wynika to z tego, że w sieci tej nie ma adresacji modułów, a każda wysyłana informacja może być odebrana przez wszystkie moduły (ang. broadcast).

**LITERATURA**

- [1] Durzyński Z.: *Sterowanie i diagnozowanie nowoczesnych pojazdów szynowych. Zeszyty naukowe Politechniki Poznańskiej, Maszyny Robocze i Pojazdy Nr.42,1995.*
- [2] Grega W.: *Metody i algorytmy sterowania cyfrowego w układach scentralizowanych i rozproszonych. Wydawnictwo AGH, 2004.*
- [3] Sacha K.: *Sieci miejscowe PROFIBUS. Wydawca ZNI „MIKOM”, Warszawa, maj 1998.*
- [4] *Opracowanie nr OR-9066 „Przegląd najnowszych systemów sterowania i diagnozowania pojazdów szynowych”, Poznań, czerwiec 2006. Praca niepublikowana. Archiwum IPS „TABOR”.*
- [5] *International Standards Organization, Basic Reference Model for Open Systems Interconnection, ISO 7498,1983.*
- [6] *CAN Specification 2.0, Part A. CAN in Automation, Am Weichselgarten 26, D-91058 Erlangen, 1999, www.can-cia.org.*
- [7] *CAN Specification 2.0, Part B. CAN in Automation, Am Weichselgarten 26, D-91058 Erlangen, 1999, www.can-cia.org.*
- [8] *CAN Implementation. CAN in Automation, Am Weichselgarten 26, D-91058 Erlangen, 2000, www.can-cia.org.*
- [9] *ISO 11898, Road vehicles – Controller area network (CAN) – Part 1: Data link layer and physical signalling, 1999.*
- [10] *ISO 11898, Road vehicles – Controller area network (CAN) – Part 2: High-speed medium access unit, 1999.*