

## WYKORZYSTANIE SIECI CAN Z PROTOKOŁEM DeviceNet ORAZ CANopen W DIAGNOSTYCE CIĄGNIKÓW KOŁOWYCH

Ryszard ARENDT<sup>1</sup>, Ryszard MICHALSKI<sup>2</sup>

1. Politechnika Gdańska, ul. G. Narutowicza 11/12, 80-233 Gdańsk  
tel: 58 347 2157 fax: 58 347 2487 e-mail: r.arendt@ely.pg.gda.pl
2. Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie, ul. Oczapowskiego 11, 10-719 Olsztyn  
tel: 089 523 3726 fax: 089 523 3463 e-mail: ryszard.michalski@uwm.edu.pl

**Streszczenie:** Układy sterowania i kontroli stosowane w pojazdach lądowych, powietrznych i wodnych są aktualnie budowane w oparciu o technologię sieciową CAN. Przyjęły się dwa protokoły przesyłania danych siecią CAN: DeviceNet – rozpowszechniony w Stanach Zjednoczonych oraz CANopen – popularny w Unii Europejskiej. Układy sieciowe CAN mają wysoką niezawodność i ze względu na niewielką liczbę połączeń kablowych są wygodne do zastosowań przy budowie rozproszonych systemów akwizycji danych. W referacie przedstawiono strukturę i podstawowe charakterystyczne cechy rozproszonego układu z siecią CAN oraz problemy związane z oprogramowaniem i komunikacją. Zaprezentowane zostało, między innymi przykładowe użycie systemu sieciowego opartego o urządzenia CAN8424 firmy ICPDAS, do diagnostyki ciągników kołowych.

**Słowa kluczowe:** ciągnik kołowy, urządzenie diagnostyczne, akwizycja danych.

### 1. SIECI CAN

#### 1.1. Rys historyczny

W roku 1983 firma „Robert Bosch GmbH” rozpoczęła projekt budowy standardu sieci do zastosowań w przemyśle motoryzacyjnym. W 1986 roku następuje prezentacja magistrali szeregowej CAN (Control Area Network). Opracowano interfejsy oraz protokoły w standardzie ISO 11898 umożliwiające transmisję danych z prędkością 1 Mb/s oraz ISO 11519 umożliwiającą wolniejszą transmisję do 125 kb/s. W sieci została wykorzystana szeregowo transmisja danych typu producent-konsument.

W przemyśle motoryzacyjnym zastosowano cztery typy sieci CAN [1]:

- klasa A – komunikacja nie wymagająca dużych prędkości transmisji danych <10 kb/s, obejmująca między innymi: światła, kierunkowskazy, siłowniki siedzeń i lusterek, centralny zamek;
- klasa B – komunikacja o nieco większych prędkościach transmisji 40 kb/s, stosowana np. przy układach klimatyzacji;
- klasa C – stosowana w układach sterowania w czasie rzeczywistym, z szybkością przesyłu danych 250 kb/s ÷ 1 Mb/s, która obejmuje sterowanie silnika, skrzyni biegów, układ ABS, ESP i inne;

- klasa D – stosowana przy przesyłaniu dużej ilości danych z prędkością 100 kb/s ÷ 10 Mb/s.

Standard CAN stosowany w firmie „Robert Bosch GmbH” jest w zasadzie niedostępny dla zwykłego użytkownika i uzyskał wiele zastosowań aplikacyjnych w przemyśle motoryzacyjnym.

Ze względu na wysoką niezawodność transmisji danych i dużą odporność na uszkodzenia, w latach 90 minionego stulecia zaczęto wprowadzać standard CAN do zastosowań przemysłowych. Opracowano protokoły:

- CANopen (CAN In Automation 1995),
- DeviceNet (Allan-Bradley/Rockwell Automation 1993),
- CanKingdom (EAN international, master”king”),
- CAL (Can Application Layer),
- TTCAN (Time-Triggered CAN),
- inne.

#### 1.2. Charakterystyka sieci CAN

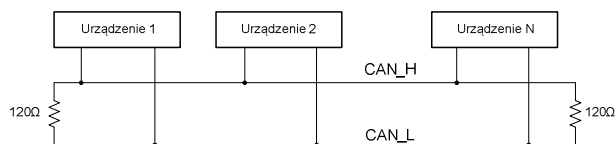
Według modelu OSI (Open System Interconnection) standard CAN wykorzystuje warstwę fizyczną, warstwę łącza danych oraz warstwę aplikacji. W normach ISO 11898 zostały sprecyzowane jedynie dwie najniższe warstwy. Warstwa aplikacji zyskuje wciąż nowe rozwiązania protokołów i z tego względu mamy różne rozwiązania sieci oparte o standard CAN.

Warstwa fizyczna opisuje parametry łącza i sprzętu oraz przesyłane sygnały elektryczne przyporządkowane jednostkom informacji – bitom. W systemach motoryzacyjnych przyjęto następujące rozwiązania [2]:

- High Speed CAN – magistrala (HS-CAN) została zdefiniowana przez ISO 11898-2, w której wykorzystano dwa przewody; mało odporna na zwarcia i uszkodzenia;
- Low Speed CAN – magistrala (FT-CAN „Fault Tolerant”) zdefiniowana przez ISO 11898-3 w 2006 roku, wykorzystuje również dwa przewody, ale jest bardziej odporna na uszkodzenia, działa poprawnie również po przerwaniu lub zwarciu do masy jednego z przewodów;
- SW-CAN – magistrala (Single Wire CAN) zdefiniowana przez SAE J2411, w której stosuje się pojedynczy przewód i masę pojazdu.

Typowe rozwiązanie magistrali CAN sieci dwuprzewodowej prezentuje rysunek 1.

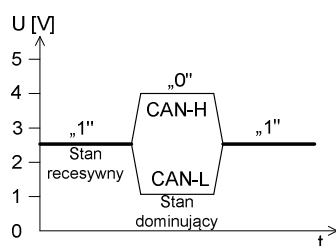
Przy prędkościach transmisji danych 1Mb/s należy uwzględnić zjawiska falowe przepływu sygnałów (możliwość pojawienia się sygnałów odbitych przy zmianie rezystancji łącza) i stosuje się rezystory 120 Ω na początku i końcu magistrali.



Rys. 1. Organizacja dwuprzewodowej magistrali CAN

System kodowania bitów przez sygnały elektryczne magistrali CAN High Speed przedstawiono na rysunku 2. W sieci wyróżniamy dwa stany logiczne: dominujący – reprezentuje niski poziom logiczny LL czyli „0” logiczne, recesywny – reprezentuje wysoki stan logiczny HL – „1” logiczną.

Przy stanie recesywnym na obu kablach magistrali występuje napięcie 2,5 V ( $2 \div 3$  V), a więc różnica napięć wynosi 0 V i nie płynie prąd przez rezystory końcowe. Dla stanu dominującego napięcie w przewodzie H wynosi 3,5 V ( $2,75 \div 4,5$  V) natomiast w przewodzie L 1,5 V ( $0,5 \div 2,25$  V) – występuje różnica potencjałów 2 V.



Rys. 2. Ilustracja kodowania bitów przez sygnały elektryczne magistrali CAN High Speed

Dla odmiennych warstw fizycznych sieci CAN przyjęto inne poziomy napięć w przewodach magistrali i rodzaje kodowania stanu recesywnego i dominującego. Dla sieci Low Speed CAN nie stosuje się rezystorów końcowych magistrali. Przy niskich prędkościach transmisji własności falowe nie mają takiego znaczenia.

Warstwa łącza danych definiuje standard ramki danych. Standard CAN przewiduje przesyłanie do 8-bajtowych „paczek” danych wyposażonych w dodatkowe informacje, zawierające identyfikator urządzenia, bity kontroli poprawności przesłanej informacji i inne. Według specyfikacji firmy Bosch w wersji CAN 2.0A przyjęto standardowy CAN (standard CAN) z 11-bitowym identyfikatorem i w wersji CAN 2.0B rozszerzony CAN (extender CAN) z 29-bitowym identyfikatorem.

## 2. DIAGNOSTYKA POJAZDÓW

### 2.1. Wprowadzenie

Wymagania ekologiczne wpłynęły na obowiązkowe wyposażenie samochodów i innych pojazdów w urządzenia monitorujące proces spalania. Przyjęte regulacje prawne zobowiązały producentów pojazdów, do wyposażenia samochodów w rozbudowane systemy diagnostyki pokładowej, nazwane w zależności od regionu wprowadzenia: OBD II (USA), EOBD (Wspólnota Europejska), JOBD (Japonia). System OBD

(On Board Diagnostics) definiuje zestaw procedur diagnostycznych pozwalających możliwie wcześnie wykrywać usterki mogące mieć wpływ na emisję toksycznych związków w spalinach [3].

Stosowane systemy diagnostyki pokładowej zaimplementowane są na komputerach sterujących proces wtrysku paliwa. Diagnostyka w tym przypadku jest jedynie dodatkowym procesem absorbującym wolne moce obliczeniowe komputera, z wykorzystaniem czujników użytych do sterowania procesu spalania paliwa. Można stwierdzić, że diagnostyka pojazdów w większości przypadków ograniczona jest jedynie do kontroli działania systemu elektroniki (łatwy pomiar sygnałów), pomijając możliwe mechaniczne przyczyny niewłaściwej pracy pojazdu [4].

Prowadzone prace w ramach projektu badawczego ograniczone były do zagadnień diagnostyki uszkodzeń ciągnika kołowego. Tworzony system diagnostyczny ciągnika kołowego ukierunkowany został na monitorowanie i diagnozowanie, sprowadzone do kontroli stanu technicznego i lokalizacji elementów uszkodzonych ciągnika w trakcie eksploatacji. Założono możliwość wykrywania i lokalizowania uszkodzeń podzielonych na klasy związane z następującymi skutkami [5]:

- funkcjonalnymi ( $u_f$ ) powodującymi ograniczenie efektywności pracy (mocy, momentu, siły uciążu, prędkości roboczej, zużycia paliwa);
- emisyjnymi ( $u_e$ ) wywołującymi wzrost emisji związków toksycznych i zużycia paliwa, spowodowane niezdatnością elementów układu zasilania, układu spalania silnika i zespołów przekazania napędu;
- zagrażającymi bezpieczeństwu ruchu ( $u_s$ ) ciągnika, występującymi w takich układach jak: hamulcowy, zawieszenia, kierowniczy lub oświetlenia;
- pogarszającymi dynamikę ( $u_d$ ), mającymi wpływ na parametry takie jak: zmniejszenie przyspieszenia, opóźnienie reakcji na zmianę ruchu, nierównomierność lub znaczny spadek mocy, momentu siły napędowej itp.

Utworzenie systemu diagnostycznego wiąże się z przyjęciem szeregu założeń projektowych i konstrukcyjnych. Przy opracowaniu systemu diagnostycznego ciągnika kołowego przyjęto:

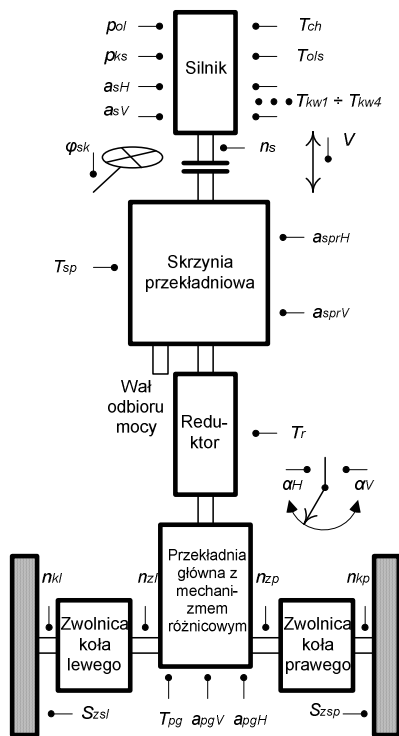
- zbiór parametrów ciągnika dostępny poprzez system akwizycji danych z zainstalowanych na ciągniku czujników pomiarowych;
- rozproszoną strukturę akwizycji danych z użyciem sieci CAN – w celach badawczych założono zastosowanie urządzenia z modułami pracującymi z protokołem DeviceNet oraz drugiego urządzenia z modułami pracującymi z protokołem CAN-open;
- wykorzystanie komputera pokładowego z programem diagnostycznym, którego algorytmy na podstawie zarejestrowanych symptomów wyznaczają klasę uszkodzenia i uszkodzony element.

### 2.2. Wybór mierzonych parametrów ciągnika kołowego

Przy pomiarach ciągnika kołowego (rys. 3) przyjęto kontrolę następujących parametrów:

- $T_{ch}$ ,  $T_{ols}$  – temperatury płynu chłodzącego i oleju smarowania;
- $T_{kw1} \div T_{kw4}$  – temperatury gazów wylotowych poszczególnych cylindrów;
- $p_{ol}$ ,  $p_{ks}$  – ciśnienia oleju oraz ciśnienia w kolektorze ssącym;
- $n_s$  – prędkości obrotowej wału korbowego silnika;

- $a_{sH}$ ,  $a_{sV}$  – poziomu drgań silnika (w osi H i V);
- $a_{sprH}$ ,  $a_{sprV}$  – poziomu drgań skrzyni przekładniowej i reduktora (w osi H i V);
- $T_{sp}$ ,  $T_r$  – temperatury skrzyni przekładniowej i reduktora;
- $a_{pgH}$ ,  $a_{pgV}$  – poziomu drgań przekładni głównej (w osi H i V);
- $T_{pg}$  – temperatury przekładni głównej;
- $n_{zl}$ ,  $n_{zp}$  – prędkości obrotowej w zwolnicy koła lewego i prawego;
- $\varphi_{sk}$  – kąta skrętu koła kierownicy;
- $S_{szl}$ ,  $S_{szp}$  – odległości szczęk hamulcowych koła lewego i prawego;
- $\alpha_H$ ,  $\alpha_V$  – kąta nachylenia pojazdu (w osi H i V);
- $n_{kl}$ ,  $n_{kp}$  – prędkości obrotowej koła lewego i prawego;
- $V$  – prędkości pojazdu odczytanej z odbiornika GPS.



Rys. 3. Rozmieszczenie czujników pomiarowych systemu diagnostycznego w ciągniku kołowym

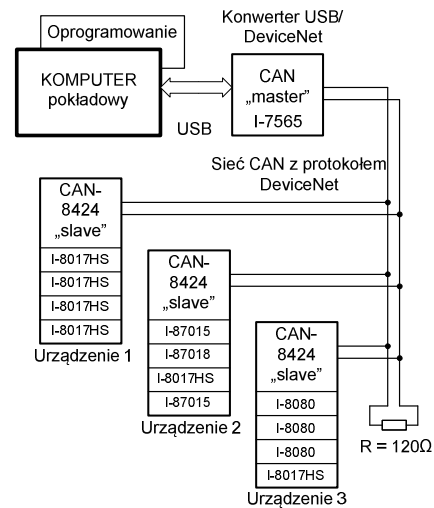
### 2.3. Struktura urządzenia diagnostycznego

Podstawowym elementem systemu diagnostycznego pracującego z protokołem DeviceNet (rys. 4) jest komputer pokładowy Fujitsu FUTRO S100 z chłodzeniem pasywnym w wykonaniu odpornym na drgania i wstrząsy, z pamięcią Compact Flash 16 Gb. Do komputera dołączony jest monitor dotykowy NVOX LCD 10" VGA/FVAT. Oprogramowanie komputera obejmuje system operacyjny Windows XP-2000, driver konwertera USB/DeviceNet oraz opracowany program diagnostyczny. Zainstalowana karta pamięci jest wystarczająca do pracy urządzenia diagnostycznego.

Komputer połączony jest łączem USB z konwerterem protokołu USB na DeviceNet, typu I-7565. Sieć CAN łączy konwerter z trzema urządzeniami akwizycji danych. Każde z urządzeń różni się przez adres ID i wyposażone jest w cztery karty pomiarowe wejść (wyjść), dobrane stosownie do zakresów i typów mierzonych sygnałów.

Zastosowano urządzenia sieciowe i moduły akwizycji danych firmy ICP DAS o dużej odporności na zmiany temperatury ( $-25\text{ }^{\circ}\text{C} \div +75\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) i wstrząsy. W urządzeniu diagnostycznym przyjęto wykorzystanie 4 typów modułów akwizycji danych:

- I-8017HS – moduł wejść analogowych; umożliwia zbieranie danych 8 sygnałów analogowych o wartościach:  $\pm 10\text{ V}$ ,  $\pm 5\text{ V}$ ,  $\pm 2,5\text{ V}$  oraz  $\pm 20\text{ mA}$  lub 16 sygnałów analogowych bez uwzględnienia ujemnych wartości;
- I-87015 – moduł wejść analogowych czujników temperatury RTD; umożliwia zbieranie danych 7 sygnałów analogowych czujników rezystancyjnych różnych typów i o różnych zakresach temperaturowych; zastosowano czujniki Pt-100 o zakresie  $0\text{ }^{\circ}\text{C} \div +200\text{ }^{\circ}\text{C}$ ;
- I-87018 – moduł wejść analogowych; umożliwia zbieranie 8 sygnałów analogowych o różnych zakresach, w tym z zakresu napięć wyjściowych termopar; zastosowano termopary typu K o zakresie  $-270\text{ }^{\circ}\text{C} \div +1372\text{ }^{\circ}\text{C}$ ;
- I-8080 – moduł wejść impulsowych; umożliwia zbieranie 4 (8) sygnałów dwustanowych, zliczanie impulsów w górę, w dół oraz pomiar częstotliwości, wykorzystany do pomiaru prędkości obrotowej wałów poprzez czujniki typu „pick up”.



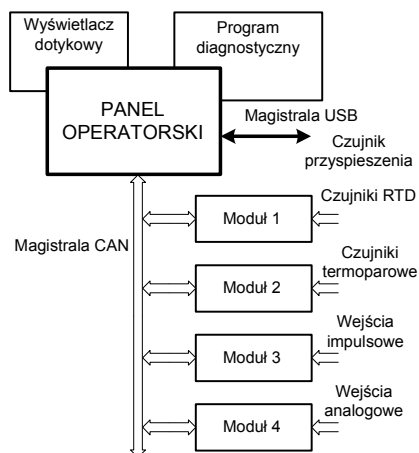
Rys. 4. Struktura urządzenia diagnostycznego ciągników kołowych z protokołem DeviceNet

Duża koncentracja danych w trzech urządzeniach akwizycji danych spowodowała, że utracono wiele interesujących właściwości definiowania komunikacji protokołu DeviceNet. Mechanizmy komunikacji COS (Change of State) – przesyłanie informacji przy zmianie stanu urządzenia, BS (Bit Strobe) – cykliczne odpytywanie skierowane do wszystkich urządzeń i PO (Poll Messages) – cykliczne odpytywanie poszczególnych urządzeń, dla trzech urządzeń są w stanie przesłać 3 ramki po 8 bajtów, czyli dane tylko 12 czujników. Przy tworzeniu programu diagnostycznego należało zastosować mechanizmy komunikacji Explicite Messages.

Urządzenie diagnostyczne z protokołem CANopen złożone jest z: panelu operatorskiego z wyświetlaczem dotykowym LCD i programem diagnostycznym, rozproszonego systemu akwizycji danych (rys. 5).

Moduł 1 może obsługiwać 6 rezystancyjnych czujników temperatury Pt-100; w urządzeniu diagnostycznym przyjęto pomiar temperatury oleju i płynu chłodzącego. Moduł 2 obsługuje 4 czujniki temperatury – termopary typu K; przyjęto pomiar temperatury spalin 4 cylindrów. Moduł 3 zawiera 8

wejść impulsowych, z których 5 użyto do pomiarów prędkości obrotowej wału silnika oraz 2 kół przednich i 2 kół tylnych. Moduł 4 zawiera 8 wejść analogowych, które między innymi, zostały użyte do pomiarów zużycia okładzin hamulcowych w kole prawym i lewym, nachylenia pojazdu w osi jazdy (na podstawie wskazań czujnika przyspieszenia) oraz ciśnienia oleju i ciśnienia w kolektorze ssącym.



Rys. 5. Struktura urządzenia diagnostycznego ciągników kołowych z protokołem CAN-open

Zastosowano również czujnik przyspieszenia w trzech osiach X, Y, Z – ADIS 16228.

#### 2.4. Algorytmy programu systemu diagnostycznego

Opracowany program systemu diagnostycznego wykorzystuje następujące algorytmy:

- konfiguracji systemu akwizycji danych obejmującej zdefiniowanie parametrów sprzętu i organizacji przesyłanych danych pomiarowych;
- konwersji danych pomiarowych, obejmującej przeliczenie przesyłanych przez moduły pomiarowe danych w bajtach na wartości w przyjętych jednostkach fizycznych;
- sterowania zegarem czasu rzeczywistego zapewniające pomiary czasu rzeczywistego z użyciem systemu Windows oraz zachowania stabilnego czasu i częstotliwości próbkowania;
- odczytywania danych; procedura wywoływana jest cyklicznie co czas  $T$  podany w podprogramie konfiguracyjnym;

- obliczania wartości fizycznych niedostępnych w bezpośrednim pomiarze – najważniejsze z nich to:  $N_e$  – moc efektywna silnika i  $M_e$  – moment efektywny;
- diagnostyczne – cyklicznie sprawdzane są wartości parametrów, których wartości powinny być zawarte w określonych przedziałach. Wystąpienie uszkodzenia powoduje zmianę wartości mierzonych parametrów ciągnika – dając „symptom diagnostyczny” [6].

### 3. WNIOSKI KOŃCOWE

Zbudowany system przechodzi aktualnie testy na ciągniku, które mają na celu określenie związków przyczynowo-skutkowych między symptomami, a występującymi uszkodzeniami, z wyróżnieniem czterech klas uszkodzeń. Dla diagnostyki wibracyjnej prowadzone prace mają ustalić użyteczne pasmo rejestrowanych częstotliwości – czas trwania testu ma wpływ na ocenę najniższych częstotliwości, a okres próbkowania ma wpływ na najwyższe analizowane częstotliwości drgań.

Praca była realizowana w ramach projektu badawczego Nr N N504 513740 Narodowego Centrum Nauki w Krakowie.

### 4. BIBLIOGRAFIA

1. Samochodowe sieci informatyczne. Poradnik serwisowy Nr 52005, Wydawnictwo Instalator Polski, ISSN 1643-4609
2. Zimmermann W., Schmidgall R.: Magistrale danych w pojazdach. Protokoły i standardy, WKiŁ 2008, ISBN 978-83-206-1698-9
3. AVL: Regulations & Standards 22.05.2000
4. Michalski R., Gonera J., Janulin M., Arendt R.; Structural analysis of a wheeled tractor oriented towards damage diagnostics; Monografie, studia, rozprawy nr M29; Wydawnictwo Politechniki Świętokrzyskiej; Kielce 2012, ISSN 1897-2691
5. Arendt R., Michalski R.: Structure and algorithms of a diagnostics device in a wheeled tractor. Diagnostyka, Vol. 14, No 4, 2013, s. 55-60, ISSN 1641-6414
6. Korbicz J., Kościelny J. M., Kowalcuk Z., Cholewa W.: Diagnostyka procesów, modele, metody sztucznej inteligencji, zastosowania. WNT, Warszawa 2002, ISBN 83-204-2734-7

## APPLICATION OF CAN NET WITH DeviceNet AND CANopen PROTOCOLS IN DIAGNOSTIC OF WHEELED TRACTORS

**Key-words:** wheeled tractor, diagnostic device, data acquisition.

CANopen and DeviceNet are the most popular specialized networks based on the CAN protocol. CANopen is available as European standard EN50325-4. CANopen networks support the operation of machines and devices which are embedded systems. They are used in vehicles, in particular passenger cars, the railway industry, ships, aircraft, control systems for small objects, and they are increasingly often deployed in complex production lines. DeviceNet was developed by Honeywell in 1989 based on the CAN technology as a Smart Distributed System (SDS) standard. The DeviceNet protocol was engineered in 1994 by Allen-Bradley as a combination of the CAN protocol and the Common Industrial Protocol (CIP). SDS gained widespread popularity in the US, and it is used to automate production lines and control vehicle subassemblies.

In the paper a structure and base features of distributed system with CAN net and appeared problems are discussed. An example use of net system with CAN8424 devices of ICPDAS for wheeled tractors is presented.