

## ANALIZA MOŻLIWOŚCI ZINTEGROWANIA SIECI MIEJSCOWEJ Z WYBRANYM SYSTEMEM BAZOWYM

### STRESZCZENIE

*W artykule przedstawiono koncepcję zintegrowania sieci kontrolno-sterującej z magistralą styku S podsieci abonenckiej ISDN. Proponowane rozwiązanie zakłada zachowanie całkowitej kompatybilności budowanego systemu z obowiązującymi unormowaniami. Zaletą przedstawianego systemu jest radykalne obniżenie kosztów wdrażania sieci miejscowej, wynikającego z wykorzystania do jej budowy istniejącego już okablowania oraz produkowanych masowo interfejsów transmisyjnych. System kontrolno-sterujący przejmie ponadto sprawdzone mechanizmy i protokoły transmisyjne, gwarantujące jego stabilność i niezawodność.*

**Słowa kluczowe:** sieć miejscowa, sieć kontrolno-sterująca, magistrala styku S, integracja systemów

### INTEGRATION OF THE FIELD NETWORK AND EXISTING TRANSMISSION BASE SYSTEM

*The article presents an idea of integration of a control network with the S-bus of an ISDN user network. The proposed solution assumes to assure a complete compatibility of the constructed system with the effective standards. The main advantage of the solution consists in an important reduction of costs related to the implementation of a field network, resulting from the utilisation of the existing cabling as well as manufactured in huge quantities transmission interfaces. Moreover, the control and monitoring system uses proven mechanisms and transmission protocols, which guarantee its stability and reliability.*

**Keywords:** field network, control network, S-bus, system integration

### 1. WPROWADZENIE

Jednym z obszarów zastosowań sieci miejscowych (*field network*) jest szeroko rozumiana automatyka pomieszczeń. Systemy kontrolno-sterujące umożliwiają, m.in.:

- obniżenie kosztów eksploatacji budynku,
- podniesienie komfortu korzystania z dostępnego wyposażenia,
- zapewnienie użytkownikom odpowiedniego poziomu bezpieczeństwa.

Rosnącym zainteresowaniem cieszą się małe i średnie sieci miejscowe, skupiające:

- przeciwwłamaniowe systemy alarmowe,
- czujniki pożarowe,
- urządzenia grzewcze i klimatyzacyjne,
- sterowanie oświetleniem,
- nadzorowanie praw dostępu do poszczególnych pomieszczeń.

Tworząc sieć miejscową, należy określić sposób komunikowania się jej węzłów. Większość typowych rozwiązań wymaga zbudowania w tym celu dedykowanego systemu transmisyjnego wykorzystującego własne medium fizyczne oraz metody przesyłania danych. Alternatywne rozwiązanie polega na zintegrowaniu sieci miejscowej z innym – już istniejącym systemem komunikacyjnym. Integracja taka może być ograniczona do współdzielenia medium transmisyjnego (jest wówczas nazywana płytką integracją) lub obejmować swym zasięgiem zestaw protokołów warstw: pierwszej, drugiej, a czasami także trzeciej (integracja głęboka).

W tym przypadku oba systemy posługują się identycznymi metodami:

- nawiązywania i obsługi połączeń logicznych,
- segmentowania wiadomości i numerowania ich fragmentów,
- adresowania węzłów,
- priorytetyzacji i przesyłania danych,
- sterowania przepływem,
- wykrywania błędów i retransmitowania pakietów,
- rozpoznawania i rozstrzygania kolizji,
- kodowania i ramkowania na poziomie bitowym.

Wykorzystanie znanych i sprawdzonych rozwiązań do zdefiniowania nowej sieci kontrolno-sterującej pozwala radykalnie obniżyć koszty jej opracowania i wdrożenia, gwarantując jednocześnie poprawną i stabilną pracę systemu wykorzystującego najcenniejsze zalety swego pierwowzoru. Przeprowadzenie udanej integracji wymaga jednak spełnienia kilku istotnych warunków.

Najważniejsze z nich można sformułować następująco:

- System bazowy musi być przygotowany do dalszej rozbudowy. Jej przedmiotem może być nie tylko liczba współpracujących z nim urządzeń (węzłów), ale także zasięg i topologia tworzonych połączeń.
- Dodatkowe obciążenie kanału transmisyjnego ruchem generowanym przez węzły sieci miejscowej nie powinno zakłócać normalnego funkcjonowania systemu bazowego.
- Węzły sieci kontrolno-sterującej muszą zachować kompatybilność z systemem bazowym w całym zakresie zastosowanej integracji. Warunek ten ogranicza

\* Akademia Górniczo-Hutnicza, Katedra Elektroniki

możliwość swobodnego optymalizowania zasad pracy sieci miejscowej.

- System bazowy musi sprostać wymaganiom stawianym przez sieć kontrolno-sterującą pracującą zwykle w czasie rzeczywistym. Krytycznymi parametrami mogą okazać się m.in.: oferowana prędkość transmisji, długość cyklu sieci, czasu wymiany informacji oraz maksymalne opóźnienie dostępu do medium transmisyjnego.

Przeprowadzona prawidłowo integracja niesie ze sobą wiele korzyści. Zastosowanie takiego rozwiązania pozwala, m.in. na:

- Znaczne zredukowanie kosztów instalowania sieci miejscowej dzięki wykorzystaniu istniejącej już infrastruktury (medium transmisyjnego, urządzeń sieciowych, źródeł zasilania itp.).
- Wykorzystanie w specyfikacji warstwy fizycznej sprawdzonych rozwiązań oraz produkowanych masowo interfejsów transmisyjnych, zapewniające natychmiastowe uzyskanie systemu o gwarantowanych parametrach i niskich kosztach wytwarzania węzłów.
- Wyposażenie systemu w niezawodne protokoły komunikacyjne bez ponoszenia jakichkolwiek nakładów czasowych i finansowych dzięki wykorzystaniu mechanizmów transmisyjnych systemu bazowego (głęboka integracja).

Przedstawiany w artykule sposób tworzenia sieci miejscowych małej i średniej wielkości zakłada zintegrowanie ich z magistralą styku S (rys. 1) cyfrowej podsieci abonenckiej ISDN (*Integrated Service Digital Network*). Realizacja tego pomysłu nie wymaga wprowadzania żadnych zmian do obowiązujących unormowań systemu ISDN.

Magistrala styku S dysponuje wieloma mechanizmami mogącymi ułatwić komunikowanie się węzłów sieci kontrolno-sterującej. Kanał sygnalizacyjny podsieci ISDN oferuje ponadto bardzo stabilny protokół transmisyjny warstwy drugiej, przystosowany do obsługi strumieni danych o dowolnej treści i przeznaczeniu. Dzięki temu wskazany

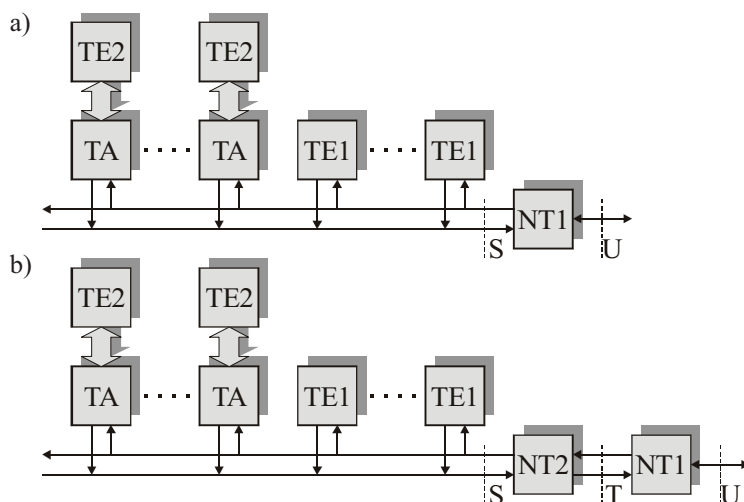
system bazowy może zapewnić zintegrowanej z nim sieci miejscowej wysoką jakość obsługi zgłoszeń, w tym m.in. deterministyczny czas dostępu do medium transmisyjnego, tak istotny dla aplikacji czasu rzeczywistego.

W dalszej części artykułu wyodrębniono cztery główne fragmenty. Pierwszy z nich poświęcono omówieniu struktury zaproponowanego rozwiązania. W pozostałych przedstawiono najważniejsze aspekty funkcjonowania warstw: od siódmej do trzeciej, drugiej oraz pierwszej. Zastosowana kolejność prezentowania poszczególnych zagadnień odpowiada procesowi przygotowywania wiadomości do wysłania. Założono przy tym, iż generowaniem treści komunikatów zajmują się warstwy najwyższe (od siódmej do trzeciej włącznie), definiowane indywidualnie dla każdego z użytkowników zintegrowanego systemu. Zadaniem warstwy drugiej, wspólnej dla wszystkich aplikacji, jest dostarczenie mechanizmów gwarantujących: skuteczne multipleksowanie strumieni danych, bezbłędną transmisję ramek, adresowanie węzłów itp. Warstwa pierwsza określa, m.in.: fizyczną strukturę sieci, zasady rozpoznawania zajętości kanału, sposoby respektowania priorytetów danych, wykrywania i rozstrzygania kolizji.

Przeprowadzenie wstępnej oceny przydatności i poprawności funkcjonalnej proponowanego rozwiązania wymaga porównania go z innymi sieciami kontrolno-sterującymi o udokumentowanej jakości. Doskonałym przykładem takiego standardu jest powszechnie znana magistrala CAN (*Controller Area Network*), stosowana w systemach automatyki pojazdów, sieciach przemysłowych, a także strukturach typu inteligentny budynek [1, 2]. Podczas omawiania kolejnych zagadnień zostaną zatem wykazane najważniejsze podobieństwa i różnice występujące między oboma systemami.

## 2. STRUKTURA ZINTEGROWANEGO SYSTEMU

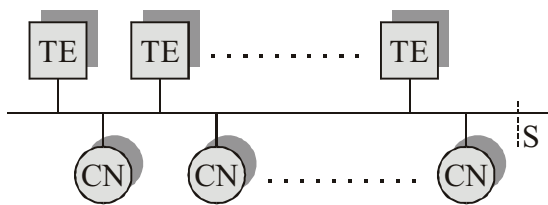
Magistrala styku S stanowi najważniejszy fragment abonenckiej podsieci ISDN [5, 6]. Umiejscowienie tego przekroju w strukturze dostępu podstawowego – BRA (*Basic Rate Access*), przedstawiono na rysunku 1.



Rys. 1. Struktura dostępu podstawowego do sieci ISDN; a) bez bloku NT2; b) zawierająca blok NT2

Granice między podsiecią abonencką i siecią publiczną wyznacza blok NT1 (*Network Terminator type 1*). Jednym z jego najważniejszych zadań jest zmiana sposobu prowadzenia transmisji ze stosowanego w przekroju U (linia jednoparowa) na zdefiniowany dla styków S i T (rys. 1) (dwie pary przewodów z rozdzielonymi przestrzennie kierunkami transmisji). Moduł NT2 (*Network Terminator type 2*) jest elementem opcjonalnym, pełniącym zwykle zadania prywatnej centrali klasy PABX [5]. Główne wyposażenie podsieci stanowią cyfrowe terminale abonenckie – TE1 (*Terminal Equipment type 1*) oraz ewentualnie dowolne urządzenia analogowe – TE2 (*Terminal Equipment type 2*), współpracujące z cyfrową siecią ISDN za pośrednictwem adapterów – TA (*Terminal Adaptor*).

Utworzenie sieci miejscowej zintegrowanej ze stykiem S polega na bezpośrednim połączeniu jej węzłów z magistralą systemu bazowego. Powstająca w ten sposób struktura fizyczna (rys. 2) skupia zarówno terminale abonenckie – TE, jak i węzły systemu kontrolno-sterującego – CN (*Control Node*).

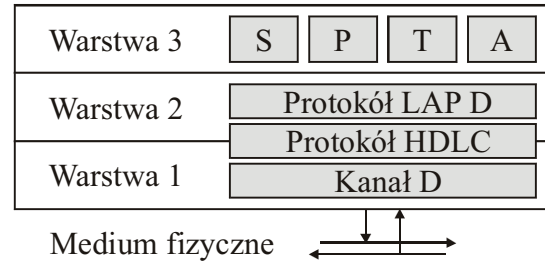


Rys. 2. Uproszczona struktura systemu bazowego i połączonej z nim sieci miejscowej

Magistrala styku S dostępu podstawowego przenosi trzy dwupleksowe kanały transmisyjne. Dwa z nich, oznaczane jako B1 i B2, pracują w trybie izochronicznym, połączeniowym. Każdy kanał B oferuje przepustowość 64 kb/s [5, 6]. Uzyskanie dostępu do kanału B wymaga jednak wcześniejszego przeprowadzenia skomplikowanego procesu sygnalizacyjnego, co znacznie utrudnia wykorzystywanie tego pasma przez węzły sieci kontrolno-sterującej.

Zupełnie inny charakter ma kanał D, pracujący w trybie pakietowym i wyposażony w mechanizmy: wielodostępu, arbitrażu i priorytetyzacji danych [5]. Tworzący go zestaw bitów ma przepustowość 16 kb/s. Kanał D był początkowo przeznaczony wyłącznie do przenoszenia wiadomości sygnalizacyjnych. W praktyce okazało się jednak, iż dane te wykorzystują zaledwie niewielki fragment dostępnego pasma. Obowiązujące obecnie unormowania zezwalają na wprowadzanie do kanału D dowolnego rodzaju informacji, gwarantując jednocześnie pełną integrację wszystkich strumieni, również na poziomie protokołu transmisyjnego warstwy drugiej.

Zaimplementowane w kanale D mechanizmy wielodostępu bardzo ułatwiają zaadaptowanie go na potrzeby sieci miejscowej. Oferowana prędkość transmisji jest co prawda znacznie mniejsza niż prędkość dostępna w sieci CAN [1, 2], ale porównywalna z przepustowościami takich systemów jak np. submagistrala LIN (*Local Interconnect Network*) [10] lub magistrala MODBUS (*Modicon Bus*) (dysponując przy tym znacznie lepszym współczynnikiem wykorzystania pasma).



Rys. 3. Struktura warstwowa kanału D

W strukturze warstwowej kanału D zdefiniowano trzy najniższe poziomy (rys. 3). Warstwa trzecia zawiera bogaty zestaw protokołów komunikacyjnych. Każdy z nich obsługuje wiadomości innego procesu. Własny protokół mają, m.in.: sygnalizacja (S), transmisja danych komputerowych (P) i teleakcja (T). Zintegrowanie z kanałem D sieci kontrolno-sterującej wymaga zatem ułożenia w warstwie trzeciej kolejnej procedury (A) (*Automatic*). Jej zadaniem będzie umożliwienie wymiany danych pomiędzy węzłami sieci miejscowej.

Protokołem warstwy drugiej, wspólnym dla wszystkich procesów zewnętrznych jest LAP D (*Link Access Protocol on D-channel*). Wprowadzona przez niego unifikacja formatu przesyłanych bloków ułatwia łączenie w jednym kanale strumieni różnych danych. Protokół LAP D definiuje, m.in. zasady [9]:

- adresowania,
- detekcji błędów,
- numerowania i potwierdzania ramek,
- sterowania przepływem.

W wymianie danych pomiędzy warstwą drugą i pierwszą pośredniczy protokół HDLC (*High-Performance Digital Link Control*). Jego mechanizmy pozwalają utrzymać synchronizację blokową, określić stan zajętości kanału oraz przeprowadzać rywalizację o dostęp do medium transmisyjnego.

Warstwa pierwsza kanału D precyzuje zasady łączenia jego bitów z pozostałymi elementami ramki fizycznej styku S [5, 6]. Poziom ten definiuje także dostępne topologie podsieci abonenckiej, sposób reprezentowania sygnałów, używaną prędkość transmisji itp.

### 3. WARSTWA TRZECIA I WYŻSZE SIECI MIEJSCOWEJ

W warstwie trzeciej (i wyższych) węzły kontrolno-sterujące mogą posługiwać się dowolnym protokołem, całkowicie odmiennym od zdefiniowanych dla sieci ISDN. Fakt ten warto wykorzystać, dopasowując mechanizmy implementowane na tych poziomach do specyficznych potrzeb sieci miejscowej. Jedną z możliwości jest zaadaptowanie uproszczonej wersji protokołu CANopen, opracowanego dla sieci CAN i uznawanego za standard w dziedzinie automatyki [1]. Podejście takie pozwala na obniżenie kosztów i uniknięcie wielu błędów wiążących się zwykle z opracowywaniem zupełnie nowych rozwiązań.

Protokoły warstw od siódmej do trzeciej nie wchodzą w zakres proponowanej integracji systemów, która jest przedmiotem niniejszego artykułu. Dlatego zagadnienia związane z zawartością i sposobami działania wymienionych poziomów modelu OSI/ISO nie będą tutaj rozpatrywane. Przedstawione dalej rozważania skupiają się wyłącznie na zdefiniowaniu współpracy sieci miejscowej i magistrali styku S w obrębie warstwy drugiej, pierwszej oraz fizycznego medium transmisyjnego.

#### 4. WARSTWA DRUGA SIECI MIEJSCOWEJ

Warstwa druga sieci kontrolno-sterującej jest całkowicie zintegrowana z systemem bazowym, co oznacza implementowanie w niej bez żadnych zmian tego samego protokołu transmisyjnego – LAP D. Protokół LAP D oferuje 3 tryby przesyłania danych [9]:

- 1) połączeniowy, z potwierdzeniami, pracujący w konfiguracji punkt-punkt;
- 2) bezpołączeniowy, bez potwierdzeń, pracujący w konfiguracji punkt-punkt;
- 3) bezpołączeniowy, bez potwierdzeń:
  - a) rozgłoszeniowy, pracujący w konfiguracji punkt-wielopunkt,
  - b) pseudorozgłoszeniowy, pracujący w konfiguracji punkt-punkt.

Bezpośrednie komunikowanie się węzłów sieci miejscowej można najłatwiej zrealizować, wykorzystując drugi z wymienionych sposobów przesyłania danych. Urządzenia kontrolno-sterujące posługują się wówczas tylko jednym rodzajem ramki LAP D (ogółem zdefiniowano 11 ich typów [5, 9]). Blok ten jest oznaczany skrótem UI (*Unnumbered Information*), a jego strukturę przedstawiono na rysunku 4.

Proponowane ograniczenie liczby implementowanych w sieci miejscowej trybów komunikowania się oraz wykorzystanie tylko jednego typu ramki transmisyjnej znacznie upraszcza oprogramowanie węzłów kontrolno-sterujących. Przyjęcie powyższego założenia jest jednocześnie całkowicie zgodne z rozwiązaniami stosowanymi w innych sieciach miejscowych, które na poziomie warstwy drugiej zwykle unikają zestawiania kanałów logicznych. Stosowanie ich nie tylko komplikuje wymianę danych, ale przede wszystkim znacznie wydłuża czas zainicjalizowania tego procesu.

Ramki protokołu LAP D rozpoczynają się i kończą oktetami flag o wartości 0x7E (rys. 4). Każdy blok zawiera pola: adresowe, sterujące (wskazujące jego typ) i 16-bitową

sumę kontrolną – CRC (*Cycle Redundancy Core*). Ramka UI przenosi ponadto pole danych o maksymalnej długości 260 oktetów. Węzły sieci miejscowej wykorzystają tylko niewielką część tej pojemności, generując bloki przenoszące zaledwie kilka lub kilkanaście bajtów informacyjnych.

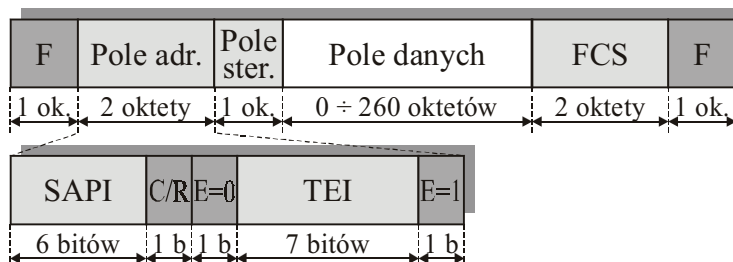
#### 4.1. Dyskryminacja strumieni danych

Multipleksowanie w warstwie drugiej pakietów tworzących niezależne strumienie danych wymaga zastosowania mechanizmu identyfikowania przynależności poszczególnych ramek. Każdy blok protokołu LAP D przenosi niezbędne informacje na ten temat w swoim polu adresowym. Jego pierwszym elementem jest 6-bitowy numer SAPI (*Service Access Point Identifier*), wskazujący procedurę warstwy trzeciej, na rzecz której odbywa się transmisja tego pakietu. Wartość SAPI określa zatem rodzaj danych przenoszonych w ramce (sygnalizacyjne, teleakcyjne, komputerowe, utrzymaniowe itp.). Z ogólnej liczby 64 kodów SAPI aktualnie jest wykorzystywanych zaledwie kilka. Pozostałe są zarezerwowane dla usług krajowych, definiowanych przez poszczególnych operatorów lub w większości w ogóle nieużywane. Przypisanie sieci miejscowej jednego z nieprzypisanych kodów SAPI daje naturalną możliwość stworzenia dla niej nowej klasy wiadomości. Rozwiązanie to stanowi podstawę integrowania obu systemów.

#### 4.2. Mechanizm adresowania węzłów sieci

Każde urządzenie (proces) współpracujące z magistralą styku S ma swój indywidualny 7-bitowy adres. Jego wartość jest przenoszona przez element TEI (*Terminal Endpoint Identifier*) pola adresowego (rys. 4). Numer TEI wskazuje terminal, który jest nadawcą lub odbiorcą pakietu (w zależności od kierunku transmisji) [5]. Zastosowanie tak prostego systemu adresowania jest możliwe dzięki fizycznemu rozdzielaniu kierunków transmisji, wykorzystywanemu na magistralach styków S i T.

Przeniesienie przez pola adresowe ramek LAP D identyfikatora tylko jednego węzła nie stanowi żadnej przeszkody w integrowaniu sieci miejscowej z magistralą styku S. Większość systemów kontrolno-sterujących, takich jak np. CAN, posługuje się protokołami transmisyjnymi zorientowanymi na wiadomość, a nie na węzeł. Oznacza to, iż wykorzystywane pakiety przenoszą w polu adresowym tylko jeden identyfikator (numer nadawcy). Wymiana danych jest prowadzona prawie wyłącznie w trybie rozgłoszeniowym.



Rys. 4. Struktura ramki UI oraz budowa jej pola adresowego

Zadaniem każdego węzła jest „wyławianie” spośród wszystkich informacji przesyłanych siecią tylko tych, które są istotne dla podejmowanych przez niego decyzji. Wybieranie odpowiednich danych odbywa się na podstawie identyfikatorów znajdujących się w nagłówkach transmitowanych pakietów. Identyfikatory wskazują zatem jednocześnie adres nadawcy komunikatu i rodzaj podawanej informacji. Ten sam węzeł może posługiwać się kilkoma identyfikatorami, jeśli nadawane przez niego dane dotyczą różnych tematów (np. aktualnej wartości jednego z wielu monitorowanych parametrów).

Zastosowanie podobnego rozwiązania w omawianym systemie oznacza, iż pole TEI jest interpretowane przez urządzenia sieci miejscowej jako adres węzła źródłowego. Każda transmisja ma w związku z powyższym charakter rozgłoszeniowy, mimo iż wykorzystuje ramki przeznaczone standardowo do komunikowania się w relacji punkt-punkt. Przyjęte rozwiązanie upodabnia sposób funkcjonowania definiowanej sieci miejscowej do standardu CAN. Różnica polega jedynie na mniejszej pojemności pola adresowego, które tym razem zawiera 7 bitów, zamiast 11 (CAN 1,0, 1,1, 1,2 i 2,0A) lub 29 (CAN 2,0B) [1, 2].

#### 4.3. Potwierdzanie poprawnego przebiegu transmisji

Jednym z istotnych aspektów definiowania systemu zorientowanego na wiadomość jest wyposażenie go w efektywny i niezawodny mechanizm potwierdzania prawidłowego przebiegu transakcji. Poważnym utrudnieniem, uniemożliwiającym używanie klasycznego rozwiązania (polegającego na wysłaniu przez odbiorcę pakietu jawnego potwierdzenia), jest asymetryczny system adresowania oraz rozgłoszeniowy tryb prowadzenia transmisji.

Przykładem bardzo efektywnej metody sygnalizowania udanego transferu jest zaimplementowany w standardzie CAN mechanizm natychmiastowego potwierdzenia. Jego działanie polega na zmodyfikowaniu przez węzeł odczytujący dane zawartości jednobitowej szczeliny ACK (*Acknowledge Slot*), przenoszonej w każdym pakiecie tuż za polem jego sumy kontrolnej.

Struktura ramki LAP D oraz zdefiniowany dla magistrali styku S sposób prowadzenia transmisji (przestrzenne rozdzielanie jej kierunków) nie pozwalają na zastosowanie podobnego rozwiązania. Dlatego rozważanym pomysłem jest zaadaptowanie zasad wykorzystywanych w systemach posługujących się dostępem swobodnym i retransmisją danych (m.in. w satelitarnej sieci Aloha):

*Jeżeli warunki prowadzenia nasłuchu są bardzo podobne dla wszystkich stacji systemu, to można przyjąć, iż po-*

*prawne odebranie własnego pakietu przez węzeł nadający oznacza bezbłędny przebieg transmisji.*

W przypadku magistrali styku S powyższe założenia z pewnością można uznać za spełnione. Procedurę nadawania każdego węzła sieci miejscowej należy zatem uzupełnić wykonywanym równocześnie monitorowaniem drugiej pary przewodów, na której powinna pojawić się kopia wysłanego pakietu (powielana dla przeciwnego kierunku transmisji). Pełna zgodność bitowa obu strumieni stanowi potwierdzenie poprawnego przebiegu transferu danych. Każdy inny przypadek oznacza konieczność retransmitowania ostatniej wiadomości.

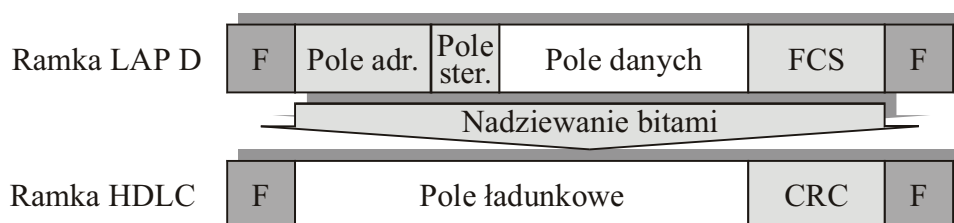
## 5. PROTOKÓŁ HDLC

Protokół HDLC (pośredniczący w wymianie danych pomiędzy warstwą drugą i pierwszą) zajmuje się przygotowaniem bloku do umieszczenia go w kanale D. Jego kluczowym mechanizmem jest proces nadziewania bitami (*bit stuffing*), któremu podlega cała zawartość ramki LAP D znajdująca się pomiędzy flagami (rys. 5). Nadziewanie bitami polega na dodawaniu bitów o wartości logicznej zero po każdej sekwencji pięciu jedynek. Dzięki temu, ciąg sześciu jedynek (otoczonych zerami) może znaleźć się tylko w polach flag, co ułatwia odnajdywanie tych elementów w strumieniu bitów płynących kanałem D.

Należy podkreślić, iż mechanizmy nadziewania bitami zawarte w protokole HDLC oraz standardzie CAN różnią się nie tylko zasadą działania, ale przede wszystkim służą zupełnie innym celom. W CAN dodatkowe bity rozdzielające długie sekwencje danych o jednakowej polaryzacji ułatwiają odbiorcom utrzymanie stanu synchronizacji bitowej. Abonencka podsieć ISDN stosuje w tym celu zasadę synchronizacji hierarchicznej. Podstawa czasu jest przekazywana wszystkim urządzeniom za pośrednictwem struktury ramki fizycznej, transmitowanej w kierunku terminali.

### 5.1. Wielodostęp do kanału D

Mechanizm nadziewania bitami ułatwia nie tylko detekcję początków i końców bloków transmisyjnych, ale także rozpoznawanie aktualnego stanu zajętości kanału D. Jeżeli terminal (lub węzeł sieci miejscowej) zauważy sekwencję przynajmniej ośmiu kolejnych bitów o wartości logicznej 1, to może być pewny, iż aktualnie nikt nie korzysta z kanału (siedem jedynek otoczonych zerami sygnalizuje stan Break [5, 6]).



Rys. 5. Zasada generowania ramki HDLC

Zastosowana metoda odpowiada mechanizmowi wykorzystywanemu w standardzie CAN. Inną jest tylko liczba bitów o wartości 1, która w drugim przypadku musi wynosić przynajmniej dwie jedynki. Obie sieci należą do tej samej klasy systemów stosujących wielodostęp z wykrywaniem zajętości kanału transmisyjnego – CSMA (*Carrier Sense, Multiple Access*).

## 5.2. Arbitraż

Równoczesne rozpoczęcie transmisji w kanale D przez więcej niż jedno urządzenie prowadzi do powstania kolizji. Rozstrzygnięciem takiej sytuacji zajmuje się mechanizm arbitrażu, który wykorzystuje sposób fizycznego reprezentowania nadawanych bitów w postaci symboli dominujących (nazywanych po prostu symbolami) i recesywnych (nazywanych spacjami). Jednoczesne pojawienie się na magistrali różnych elementów transmisyjnych powoduje ustalenie się stanu odpowiadającego symbolowi dominującemu, przypisywanemu bitom o wartości logicznej 0. Każde nadające urządzenie ma obowiązek jednoczesnego monitorowania poprawnego przebiegu transmisji i natychmiastowego powrotu do stanu spoczynkowego, w przypadku gdy odebrana wartość nie zgadza się z wysłaną. Transmisję może kontynuować tylko ten terminal, którego symbole dominujące wypierają z kanału D ewentualnych rywali. Ostatecznie, po trwającej pewien czas kolizji, pasmo sygnalizacyjne zostanie podporządkowane jednemu nadajnikowi, w praktyce temu, którego ramkę HDLC rozpoczynają słowa o najmniejszej wartości binarnej.

Zastosowany mechanizm arbitrażu jest pod względem funkcjonalnym zgodny z rozwiązaniem wykorzystywanym w sieci CAN. Jego zaleta polega na wykrywaniu i rozstrzygnięciu kolizji bez konieczności retransmitowania wszystkich biorących w niej udział ramek. Dzięki temu system charakteryzuje się bardzo wysokim współczynnikiem wykorzystania przepustowości kanału transmisyjnego. Zalety omawianego mechanizmu ujawniają się ponadto w sytuacji wzrostu natężenia ruchu oferowanego (prowadzącego do zwiększenia liczby potencjalnych kolizji), a zatem wówczas, gdy możliwość maksymalnego wykorzystania dostępnego pasma jest najbardziej pożądana.

Mechanizmy arbitrażu zastosowane w sieci CAN i magistrali styku S pozwalają ponownie zaliczyć oba systemy do tej samej klasy rozwiązań, określanych mianem CSMA-NDA (*Carrier Sense, Multiple Access with Non Destruction Arbitration*). Czas trwania kolizji nie jest tutaj stracony dla efektywnego wykorzystywania medium transmisyjnego, a liczba węzłów biorących udział w kolejnych próbach przejścia kontroli nad kanałem nie wykazuje tendencji wzrostowych, gwarantując stabilną pracę sieci.

## 5.3. Priorytetyzacja węzłów

Największe znaczenie dla kolejności przeprowadzania transmisji w kanale D ma klasa priorytetu przypisywana poszczególnym urządzeniom przez użytkownika.

Zdefiniowano dwie klasy:

- 1) wysoką (*class high*),
- 2) niską (*class low*).

Urządzenie klasy wysokiej może rozpocząć nadawanie swojego pakietu w przypadku pojawienia się w kanale D sekwencji przynajmniej ośmiu bitów o wartości logicznej 1. Węzeł posługujący się klasą niską musi w tym celu odebrać aż 10 symboli recesywnych. Zgłoszeniom generowanym przez źródła o wyższym priorytecie zagwarantowano tym samym bezwzględne pierwszeństwo obsługi.

Aby zapewnić sprawiedliwy podział dostępnego pasma pomiędzy wszystkie urządzenia danej klasy, wprowadzono dodatkowo pojęcie poziomu priorytetu. Parametr ten podlega dynamicznej modyfikacji, na którą użytkownik nie ma żadnego wpływu. Urządzenie klasy wysokiej, posługujące się aktualnie wysokim poziomem priorytetu (*level high*) może rzeczywiście rozpocząć nadawanie natychmiast po stwierdzeniu w kanale D ośmiu kolejnych bitów o wartości logicznej 1. Ten sam węzeł, dysponując poziomem niskim (*level low*), musi czekać o jeden bit dłużej. Automatyczne obniżenie poziomu priorytetu ma miejsce natychmiast po przeprowadzeniu udanej transmisji. Dzięki temu rosną szanse na sukces tych węzłów, którym jeszcze nie udało się wysłać wiadomości [5].

Powrót węzła na wysoki poziom priorytetu ma miejsce dopiero wtedy, gdy w kanale D pojawi się sekwencja symboli recesywnych zezwalających mu na rozpoczęcie transmisji. Urządzenie podnosi swój priorytet nawet wówczas, gdy aktualnie nie ma żadnych danych do wysłania. Postępowanie takie zwiększy jego szanse na sukces w czasie następnej próby przejścia kontroli nad kanałem, wykonywanej po pewnym czasie nieaktywności.

## 6. SZACOWANIE JAKOŚCI ZINTEGROWANEJ SIECI MIEJSCOWEJ

Rozwiązania zaimplementowane w protokołach kanału D charakteryzują się dużym determinizmem i jednocześnie gwarancją sprawiedliwej obsługi uprzedzeń należących do tej samej klasy priorytetu. Węzły uprzywilejowane przez użytkownika mają bezwzględne pierwszeństwo w dostępie do kanału transmisyjnego. Dzięki temu czas cyklu sieci jest dla każdego z tych urządzeń jednoznacznie określony i jednakowo długi.

Wartość omawianego parametru można opisać prostą zależnością

$$T_c = \sum_{i=1}^n T_{ti} + (8(n-1) + 9)T_b \quad (1)$$

gdzie:

- $n$  – liczba węzłów klasy wysokiej usiłujących przeprowadzić transmisję,
- $T_c$  – czas cyklu sieci,
- $T_{ti}$  – czas transmisji pakietu przez węzeł  $i$  klasy wysokiej,
- $T_b$  – czas trwania pojedynczego bitu, wynikający ze stosowanej prędkości transmisji.

Zakładając, iż kolejność przeprowadzania transmisji przez poszczególne węzły może ulec zmianie w sąsiednich cyklach sieci (co w praktyce ma miejsce niezwykle rzadko),

warunek (1) należy zapisać dla sytuacji najgorszego przypadku w postaci

$$T_{c-\max} = \sum_{i=1}^n T_{ii} + \sum_{\substack{i=1 \\ i \neq k}}^n T_{ii} + (8(n-1)+9)T_b + 8(n-1)T_b \quad (2)$$

lub w nieco krótszej formie

$$T_{c-\max} = 2 \sum_{i=1}^n T_{ii} - T_{ik} + (16(n-1)+9)T_b \quad (3)$$

gdzie  $k$  – numer wybranego węzła klasy wysokiej, doznającego chwilowego wydłużenia czasu cyklu sieci.

Jednocześnie czas dostępu do łącza transmisyjnego, będący gwarantowaną wartością opóźnienia, po której węzeł klasy wysokiej będzie mógł rozpocząć transmisję, można wyznaczyć z zależności

$$T_d = 2 \sum_{i=1}^N T_{ii} - T_{ik} + (16(n-1)+9)T_b \quad (4)$$

gdzie  $N$  – liczba wszystkich węzłów klasy wysokiej.

Podobne zależności nie dotyczą urządzeń klasy niskiej. Ich dostęp do kanału transmisyjnego może okresowo zostać całkowicie zablokowany przez nieustannie nadające węzły klasy wysokiej.

Aby węzłom sieci miejscowej zapewnić niezbędną jakość obsługi, w tym ograniczony (deterministyczny) czas oczekiwania na dostęp do medium transmisyjnego, należy bezwzględnie umieścić je w klasie wysokiej. Do grupy tej można także przypisać terminale abonenckie generujące znikomy ruch sygnalizacyjny (aparaty telefoniczne, wideofony, telefaksy, urządzenia teleteksowe itp.). Klasę niską powinny natomiast tworzyć terminale korzystające z usługi typu P (pakietowa transmisja danych komputerowych).

Istotnym parametrem określającym efektywność pracy systemu jest sprawność użyteczna sieci, definiowana jako stosunek czasu transmisji danych użytkownika w ciągu jednej transakcji do całkowitego czasu trwania tej transakcji. Zarówno w rozważanej sieci miejscowej, jak i standardzie CAN transakcja obejmuje przekaz pojedynczej ramki. W przypadku magistrali CAN jest to ramka typu Data Frame o maksymalnej długości 108 bitów (CAN 1,0, 1,1, 1,2 i 2,0A) lub 128 bitów (CAN 2,0B). Czas trwania transakcji obejmuje ponadto 3-bitową przerwę międzyramkową (*Intermission*). Maksymalna sprawność tego systemu, uzyskiwana w sytuacji całkowitego wykorzystania pojemności 8-oktetowego pola danych (*User Data*) wynosi dla CAN 1,0, 1,1, 1,2 i 2,0A

$$P_{CAN1} = \frac{N_D * 8}{L_F + L_I} = \frac{8 * 8}{108 + 3} = 0,577 \quad (5)$$

gdzie:

$N_D$  – maksymalna liczba oktetów przesyłanych w polu danych,

$L_F$  – maksymalna długość ramki transmisyjnej, wyrażona w bitach,

$L_I$  – minimalna długość przerwy międzyramkowej, wyrażona w bitach.

Ten sam parametr przyjmuje dla sieci CAN 2,0B wartość

$$P_{CAN2} = \frac{N_D * 8}{L_F + L_I} = \frac{8 * 8}{128 + 3} = 0,488 \quad (6)$$

Maksymalna sprawność sieci miejscowej, wykorzystującej magistralę styku S, jest osiągana w przypadku stosowania ramek typu UI przenoszących pola danych o długości 260 oktetów. Rozważany parametr dla terminali klasy wysokiej ma wówczas wartość

$$P_{S \max} = \frac{N_D * 8}{N_F * 8 + L_H} = \frac{260 * 8}{267 * 8 + 9} = 0,97 \quad (7)$$

gdzie:

$N_F$  – maksymalna liczba oktetów tworzących ramkę transmisyjną typu UI,

$L_H$  – długość przerwy międzyramkowej dla cyklicznej transmisji terminala klasy wysokiej, wyrażona w bitach.

Zdecydowana większość sieci miejscowych nie stosuje przekazu tak dużych porcji danych. Dlatego rzetelne porównanie obu systemów wymaga przyjęcia założenia o tej samej maksymalnej długości komunikatów generowanych przez procedury warstw wyższych (8 oktetów). W tym przypadku sprawność rozważanego systemu jest równa

$$P_S = \frac{N_{DCN} * 8}{N_{FCN} * 8 + L_H} = \frac{8 * 8}{15 * 8 + 9} = 0,496 \quad (8)$$

gdzie:

$N_{DCN}$  – maksymalna liczba oktetów umieszczanych w polu danych ramki UI przez węzły sieci miejscowej,

$N_{FCN}$  – maksymalna liczba oktetów składających się na ramkę UI generowaną przez węzły sieci miejscowej.

Porównując wyrażenia (5), (6) i (8), można zauważyć, iż oba systemy charakteryzują się podobną wartością współczynnika sprawności. Należy jednocześnie podkreślić, iż sytuacja taka ma miejsce, gdy węzły sieci miejscowej wykorzystują jedynie część potencjalnych możliwości kanału sygnalizacyjnego magistrali styku S.

## 7. WARSTWA PIERWSZA ZINTEGROWANEGO SYSTEMU

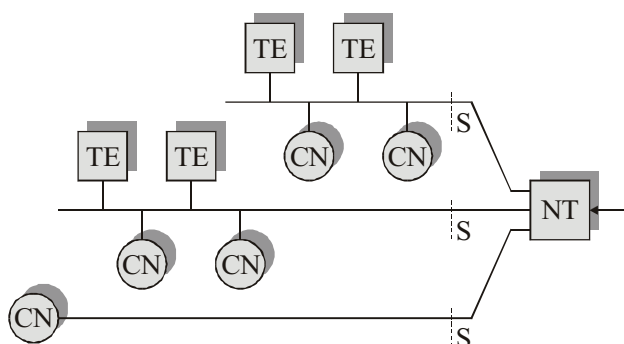
Okablowanie magistrali styku S jest standardowo prowadzone w postaci dwóch nieekranowanych par przewodów, z których każda obsługuje przeciwny z kierunków transmisji. Rozwiązanie takie znacznie ułatwia realizowanie zwielokrotnienia czasowego – TDM (*Time Division Multiplexing*), umożliwiającego quasi-równoczesną pracę kilku terminali.

Maksymalna długość magistrali styku S jest uzależniona od zastosowanej konfiguracji współpracujących z nią urządzeń. Podstawowe rozwiązanie, nazywane krótką magistralą pasywną ogranicza zasięg okablowania do 200 m. Długa magistrala pasywna, skupiająca wszystkie terminale na niewielkiej wzajemnej odległości (50 m) może mieć rozpiętość 500 m. Konfiguracja punkt-punkt ma zasięg 1000 m, osiągany jednak kosztem zmniejszenia do jednego liczby wykorzystywanych urządzeń abonenckich.

### 7.1. Liczba węzłów współpracujących z magistralą styku S

Obowiązująca standaryzacja abonenckiej podsieci ISDN ogranicza do ośmiu liczbę urządzeń fizycznych współpracujących z jedną magistralą styku S. Poszukując sposobu radykalnego zwiększenia pojemności systemu, zwrócono uwagę na strukturę aktywnej gwiazdy. Topologia ta, zaproponowana przez firmę Mitel (obecnie Zarlink), spełnia wszelkie wymagania obowiązujących unormowań, lecz w praktyce jest stosowana niezwykle rzadko.

Aktywna gwiazda powstaje przez logiczne połączenie wielu magistral odseparowanych od siebie galwanicznie (rys. 6). Liczba jej ramion nie podlega ograniczeniom, a każde z nich dysponuje pełną obciążalnością elektryczną. System o strukturze aktywnej gwiazdy może jednocześnie sprostać wymaganiom podsieci abonenckiej i sieci miejscowej złożonej ze 120 węzłów (zachowując możliwość indywidualnego adresowania każdego z urządzeń).



Rys. 6. System o strukturze aktywnej gwiazdy

### 7.2. Logiczne połączenie nadawczego i odbiorczego kierunku transmisji

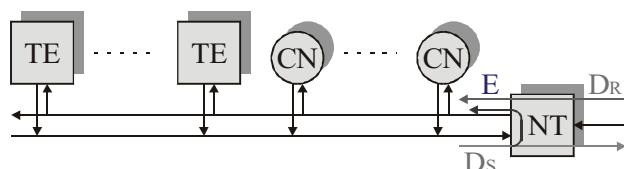
Poważny problem dla sieci miejscowej stwarza fizyczne rozdzielanie kierunków transmisji, zastosowane na magistrali styku S. Jego efektem jest brak możliwości bezpośredniego komunikowania się węzłów. Przyjęte początkowo rozwiązanie polegało na zastosowaniu dodatkowego modułu komutującego, którego zadaniem było przenoszenie ramek o wybranym numerze SAPI z szyny nadawczej na odbiorczą. Prowadzone obecnie badania mają na celu wykorzystanie zwrotnego kanału E (*Echo*), którym wysyłane dane powracają natychmiast do nadawcy oraz wszystkich innych urządzeń (rys. 7). Kanał E umożliwia badanie stanu zajętości kanału D oraz rozpoznawanie i rozstrzyga-

nie kolizji [9]. Wykorzystanie go do odbierania całej treści pakietów stwarza zupełnie nowe możliwości.

Najważniejsze korzyści wynikające z takiego rozwiązania to:

- uniknięcie potrzeby instalowania wspomnianego komutatora ramek,
- dwukrotne zmniejszenie ruchu generowanego przez węzły sieci miejscowej,
- radykalne zmniejszenie opóźnień wprowadzanych przez kanał transmisyjny,
- lepsze warunki pracy algorytmu potwierdzania poprawnego przebiegu transmisji.

Wykorzystanie kanału E wymaga opracowania prostej metody odczytywania jego zawartości, ponieważ produkowane seryjnie scalone interfejsy styku S nie oferują takiej możliwości. Należy również określić sposób skierowania strumienia bitów z kanału E do odbiornika kanału D, znajdującego się w interfejsie styku S.



Rys. 7. Zasada retransmitowania nadawanej informacji w kanale E

## 8. PODSUMOWANIE

Przedstawiony sposób tworzenia sieci miejscowej łączy niski koszt implementacji (wykorzystanie istniejącego okablowania oraz produkowanych masowo interfejsów transmisyjnych) z możliwością stosowania zaawansowanych metod transmisji i priorytetyzacji. Jego istotną zaletą jest zaadaptowanie do nowych celów sprawdzonych mechanizmów i protokołów, powszechnie cenionych za swą stabilność i niezawodność.

Ważnym aspektem proponowanej integracji systemów jest możliwość połączenia sieci miejscowej z usługą teleakcji, oddającą do dyspozycji węzłów kontrolno-sterujących ogromne zasoby sieci publicznej.

Zdefiniowane obecnie cztery usługi tej grupy oferują:

- 1) telealarm – sygnalizowanie odpowiednim służbom wykrycia w pomieszczeniach abonenta sytuacji alarmowej (włamanie, pożar, zalanie wodą, ulatniania się gazu itp.);
- 2) telealert – przekazywanie abonentowi informacji o zagrożeniach mogących wystąpić na zamieszkiwanym przez niego terenie (powódź, pożar, trzęsienie ziemi, smog itd.);
- 3) telekomendę – zdalne sterowanie urządzeniami zainstalowanymi w podsieci abonenckiej;
- 4) telemetrię – automatyczne odczytywanie stanu liczników wskazujących zużywane przez abonenta media (gaz, prąd, woda).

## Literatura

- [1] *CAN Specification 2.0, Part A*. CAN in Automation, Am Weichselgarten 26, D-91058 Erlangen
- [2] *CAN Specification 2.0, Part B*. CAN in Automation, Am Weichselgarten 26, D-91058 Erlangen
- [3] *CANopen Layer Setting Services and Protocol (LSS)*. CiA Draft Standard Proposal 305, Version 1.1.1, CAN in Automation (CiA), 2002
- [4] *CANopen Communication Profile for Industrial Systems Based on CAN*. CiA Draft Standard 301 Revision 3.0, CAN in Automation (CiA), 1996
- [5] Kościelnik D.: *ISDN – cyfrowe sieci zintegrowane usługowo*. Wyd. 3, Warszawa, WKiŁ 2001
- [6] ETS 300 050: *Integrated Services Digital Network (ISDN), Basic user-network interface, Layer 1 Specification and test principles*. European Telecommunications Standards Institute 1992
- [7] ETS 300 102-1: *Integrated Services Digital Network (ISDN), User-network interface, Layer 3 Specifications for basic call control*. European Telecommunications Standards Institute 1990
- [8] ETS 300 102-2: *Integrated Services Digital Network (ISDN), User-network interface, Layer 3 Specifications for basic call control, Specification Description Language (SDL) diagrams*. European Telecommunications Standards Institute 1990
- [9] ETS 300 125: *Integrated Services Digital Network (ISDN), User-network interface data link Layer Specification, Application of CCITT Recommendations Q.920/I.440 and Q.921/I.441*. European Telecommunications Standards Institute 1991
- [10] *LIN Specification Package, Revision 2.0*. LIN Consortium, 2003

Wpłynęło: 21.11.2006



Dariusz KOŚCIELNIK

Dr inż. Dariusz Kościelnik ukończył studia na kierunku elektronika Wydziału Elektrotechniki, Automatyki i Elektroniki Akademii Górniczo-Hutniczej, broniąc w 1990 roku pracę magisterską na temat mikrokomputerowego sterowania cyfrowych pól komutacyjnych. Na tym samym Wydziale uzyskał w roku 1993 tytuł mgr. inż. telekomunikacji za pracę z zakresu syntezy modularnych urządzeń dla sieci ISDN. Od 1992 roku pracuje w Katedrze Elektroniki Akademii Górniczo-Hutniczej, gdzie zajmuje się problematyką optymalizacji topologii i protokołów transmisyjnych sieci komunikacji międzyprocesorowej, wykorzystywanych w systemach o inteligencji rozproszonej. Zagadnienia te były także tematem jego rozprawy doktorskiej. Jest autorem kilkudziesięciu publikacji naukowych, w tym m.in. monografii *ISDN – Cyfrowe sieci zintegrowane usługowo* i *Mikrokontrolery Nitron – Motorola M68HC08*, wydanych przez WKiŁ. Prowadzi wykłady oraz specjalistyczne kursy i szkolenia z zakresu systemów transmisyjnych, sieci komputerowych i cyfrowych sieci z integracją usług.

e-mail: koscieln@agh.edu.pl