ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 1999
Seria: INFORMATYKA z. 36 Nr kol. 1414

Grzegorz ZARĘBA
Politechnika Śląska, Instytut Informatyki

IDENTYFIKACJA MODUŁÓW KOMUNIKACYJNYCH I URZĄDZEŃ PODŁĄCZONYCH DO HIERARCHICZNEJ SIECI POLOWEJ STEROWANEJ ROZKAZAMI JĘZYKA SCPI[1)]

Streszczenie. W artykule przedstawiono metody odtworzenia struktury hierarchicznej sieci polowej realizowane z poziomu kontrolera systemu. Oszacowano złożoność czasową proponowanych rozwiązań oraz określono strukturę danych służącą do przechowywania informacji o strukturze sieci.

IDENTIFICATION OF THE COMMUNICATIONS MODULES AND DEVICES WORKED ON THE HIERARCHICAL FIELDBUS CONTROLLED BY SCPI COMMANDS

Summary. This publication presents methods of obtaining information about hierarchical fieldbus structure from the system controller. Received data placed in designed data structure are used in the fieldbus structure identification procedure built under HP-VEE environment.

1. Wstęp

Z punktu widzenia kontrolera systemu sterującego pracą dowolnej sieci niezbędna jest znajomość konfiguracji sieci. Dane o urządzeniach pracujących w sieci wykorzystywane są podczas komunikacji z tymi urządzeniami, przy prezentowaniu struktury sieci oraz np. w przypadku hierarchicznej sieci polowej sterowanej rozkazami języka SCPI do określenia

[1)] Publikacja powstała w ramach projektu badawczego 302/T11/97/12 finansowanego z funduszu Komitetu Badań Naukowych.

czasu oczekiwania na odpowiedź (czas ten zależy od poziomu, na którym znajduje się dane urządzenie).

Identyfikacja urządzeń pracujących w sieci może być zrealizowana na wiele różnych sposobów. Jedną z możliwości jest przygotowanie opisu struktury sieci w pliku konfiguracyjnym. Jednak w tym przypadku należy pamiętać o uaktualnieniu pliku przy każdej zmianie konfiguracji sieci np. przy zmianie, dadaniu lub usunięciu urządzenia. Drugą możliwością jest identyfikacja urządzeń podczas startu systemu. Zaletą takiego rozwiązania jest to, że zawsze po rozpoczęciu pracy systemu znana będzie aktualna konfiguracja sieci.

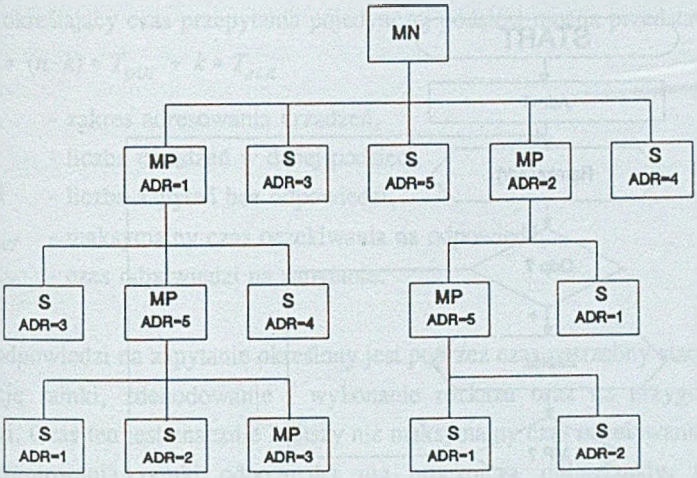
W artykule przedstawiono dwie metody identyfikacji urządzeń pracujących w hierarchicznej sieci polowej. Pierwsza metoda polega na sukcesywnym przeszukiwaniu kolejnych poziomów sieci, natomiast druga korzysta z rozkazu rozgłoszeniowego umożliwiającego skrócenie czasu przeszukiwania sieci.

Istotnym zagadnieniem jest również sposób przechowywania informacji o konfiguracji sieci. Podczas określania struktury danych należy wziąć pod uwagę możliwość jej stosowania w różnych środowiskach. Przykładowo, w środowisku HP-VEE brak jest możliwości stosowania dynamicznych struktur danych.

2. Identyfikacja urządzeń pracujących w hierarchicznej sieci polowej za pomocą prostego przeszukiwania sieci

Hierarchiczna sieć polowa sterowana rozkazami języka SCPI [1,2] składa się z połączonych ze sobą pojedynczych sieci jednostkowych tworzących strukturę przypominającą drzewo. Każda sieć jednostkowa jest siecią magistralową RS-485 [3] pracującą pod kontrolą protokołu Modbus. Dostęp do poszczególnych sieci jednostkowych odbywa się na zasadzie Master-Slave (w sieci znajduje się jedno urządzenie nadrzędne typu Master oraz urządzenia podrzędne typu Slave). Funkcje urządzenia nadrzędnego sterującego pracą sieci jednostkowej zostały rozszerzone o funkcje umożliwiające komunikację pomiędzy poziomami hierarchii. Urządzenie nadrzędne (oznaczone jako MP - Master Pośredni) stanowi więc pomost pomiędzy bieżącą siecią jednostkową (dla której jest urządzeniem nadrzędnym) a siecią znajdującą się na wyższym poziomie hierarchii.

Pracą całej sieci hierarchicznej steruje urządzenie typu Master Nadrzędny (MN), z którym współpracuje kontroler systemu. Master Nadrzędny posiada bezpośredni dostęp tylko do pierwszego poziomu hierarchii. Dostęp do poszczególnych sieci jednostkowych odbywa się za pośrednictwem modułów typu Master Pośredni. Strukturę przykładowej sieci hierarchicznej przedstawiono na rys. 1.

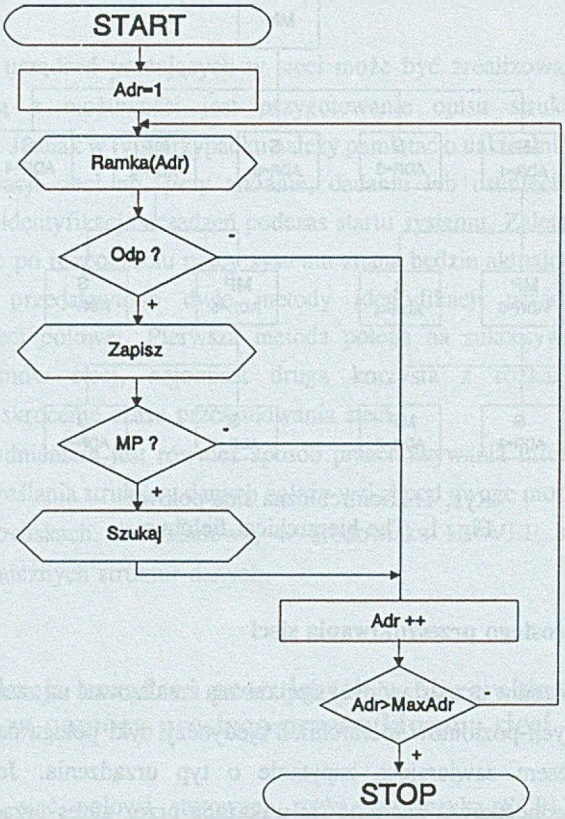


Rys. 1. Hierarchiczna sieć polowa
Fig. 1. The hierarchical fieldbus

2.1. Algorytm prostego przeszukiwania sieci

Identyfikację urządzeń w przedstawionej sieci można zrealizować na zasadzie cyklicznego przepytywania kolejnych poziomów hierarchii. Pojedynczy cykl polega na wysłaniu ramki z odpowiednim adresem zawierającą zapytanie o typ urządzenia. Jeśli w aktualnie przepytywanej sieci jednostkowej znajduje się wskazane przez adres urządzenie, wówczas urządzenie to wysyła odpowiedź. W przeciwnym razie żadne z urządzeń nie reaguje na ramkę zapytania (zgodnie z protokołem Modbus), co w rezultacie powoduje przekroczenie czasu oczekiwania na odpowiedź (T_{OUT}-Time Out) i przyjęcie, że w danej sieci jednostkowej (podsieci) brak jest urządzenia o wskazanym adresie. Cykl ten powtarzany jest aż do chwili przepytania ostatniej podsieci znajdującej się na najniższym poziomie. Proces ten może być sterowany bezpośrednio przez kontroler systemu lub przez urządzenie typu Master Nadrzędny. W pierwszym przypadku kontroler systemu sam przygotowuje odpowiednio zaadresowane zapytania i po wysłaniu oczekuje na odpowiedź, w drugim natomiast rola kontrolera sprowadza się do inicjalizacji całej procedury, która następnie realizowana jest przez urządzenie Master Nadrzędny, a wynik przekazywany jest do kontrolera systemu.

Przedstawioną metodę najprościej można zrealizować w oparciu o rekurencyjną procedurę przeszukiwania pojedynczego poziomu, która jest wywoływana ponownie w przypadku natrafienia w podsieci na urządzenie typu Master Pośredni. Schemat blokowy procedury przedstawiono na rysunku 2.



Rys. 2. Schemat blokowy rekurencyjnej procedury 'Szukaj'
Fig. 2. The diagram of the recurrention procedure 'Szukaj'

2.2. Implementacja algorytmu prostego przeszukiwania sieci

Zastosowanie algorytmu prostego przeszukiwania sieci do identyfikacji urządzeń pracujących w sieci hierarchicznej należy ograniczyć do sieci, w których liczba poziomów oraz zakres adresowania urządzeń pracujących w sieci są niewielkie. Wynika to z czasu, jaki jest konieczny do przepytania całej sieci. W każdej podsieci należy sprawdzić możliwość wystąpienia urządzenia o dowolnym adresie, czyli konieczne jest wysłanie n ramek (n - zakres adresowania urządzeń). Zgodnie z przyjętym protokołem komunikacyjnym Modbus zakres adresowania urządzeń zawarty jest w przedziale $1 \div 247$. Przy założeniu że w sieci na pojedynczym poziomie nie występuje więcej niż określona liczba urządzeń, zakres adresowania można ograniczyć.

Wzór określający czas przepytania pojedynczej podsieci można przedstawić w postaci:

$$t_s = (n-k) * T_{OUT} + k * T_{ACK} \quad (1)$$

gdzie: n - zakres adresowania urządzeń,

k - liczba urządzeń w danej podsieci,

$n-k$ - liczba zapytań bez odpowiedzi,

T_{OUT} - maksymalny czas oczekiwania na odpowiedź,

T_{ACK} - czas odpowiedzi na zapytanie.

Czas odpowiedzi na zapytanie określony jest poprzez czas potrzebny stacji docelowej na interpretację ramki, zdekodowanie i wykonanie rozkazu oraz na przygotowanie ramki odpowiedzi. Czas ten jest znacznie krótszy niż maksymalny czas oczekiwania na odpowiedź (czas przygotowania ramki odpowiedzi nie przekracza milisekundy, natomiast czas oczekiwania na odpowiedź określany jest najczęściej jako kilka sekund), dlatego wzór (1) można uprościć do postaci:

$$t_s = (n-k) * T_{OUT} \quad (2)$$

Podczas identyfikacji urządzeń pracujących w sieci wysyłanych jest n-ramek, dlatego należy dodatkowo uwzględnić czas transmisji każdej ramki zapytania, jak również ramki odpowiedzi. W związku z tym wzór (2) należy uzupełnić o odpowiednie czasy transmisji ramek:

$$t_s = (n-k) * T_{OUT} + n * T_{QF} + k * T_{RF} \quad (3)$$

gdzie: T_{QF} - czas transmisji ramki zapytania,

T_{RF} - czas transmisji ramki odpowiedzi.

Czasy transmisji ramek zapytania i odpowiedzi zależą od prędkości transmisji oraz od liczby znaków występujących w ramce (długości ramki). Przykładowe czasy transmisji ramek o długości 16 bajtów przedstawiono w tabeli 1.

Tabela 1

Czasy transmisji ramek dla różnych zakresów adresowania

Prędkość transmisji [b/s]	Czas transmisji ramki 16B [ms] (znak=10b)	Czas transmisji n-ramek [ms]		
		n=8	n=16	n=247
1200	133.33	1066.67	2133.33	32933.33
9600	16.67	133.33	266.67	4116.67
19200	8.33	66.67	133.33	2058.33

Całkowity czas przepytania pojedynczej podsieci oprócz czasu transmisji ramek zapytania (tabela 1) powinien uwzględniać liczbę urządzeń pracujących w sieci oraz maksymalny czas oczekiwania na odpowiedź T_{OUT}. W tabeli 2 przedstawiono czasy przeszukiwania pojedynczego poziomu sieci dla różnych zakresów adresowania (8, 16 oraz 247 urządzeń) oraz różnej liczby urządzeń pracujących w sieci (k=2, 4, 6, 16). Obliczenia przeprowadzono w oparciu o wzór (3) dla czasu T_{OUT} równego 0.5 s.

Tabela 2

Czasy przeszukiwania pojedynczego poziomu sieci hierarchicznej (czasy podano w s)

Prędkość transmisji [b/s]	Adresowanie 1÷8			Adresowanie 1÷16			Adresowanie 1÷247		
	k=2	k=4	k=6	k=2	k=4	k=6	k=2	k=6	k=16
1200	4.3	3.6	2.9	10.1	8.7	7.9	156	154	151
9600	3.1	2.2	1.2	8.3	6.3	5.4	127	125	120
19200	3.0	2.1	1.1	8.1	6.1	5.2	125	123	118

Przedstawione w tabelach czasy odnoszą się do pracy protokołu Modbus w trybie RTU. Dla protokołu Modbus pracującego w trybie ASCII wszystkie czasy należy podwoić (ze względu na dwukrotnie większy rozmiar ramek w trybie ASCII).

Wzory (1), (2) i (3) odnoszą się tylko do pierwszego poziomu sieci hierarchicznej. Przeszukiwanie kolejnych poziomów wiąże się z koniecznością transmisji ramek zapytania i odpowiedzi poprzez urządzenia łączące przeszukiwany poziom hierarchii z poziomem głównym. Urządzeniem tym jest Master Pośredni, który przekazuje ramkę zapytania na niższy poziom hierarchii (następny poziom), a ramkę odpowiedzi na poziom wyższy. Wpływ na czas przepytania sieci na j-tym poziomie ma więc liczba poziomów, poprzez które należy przesyłać ramki zapytania i odbierać ramki odpowiedzi. Pomijając czas potrzebny stacji MP na interpretację i przygotowanie ramki dla następnego poziomu hierarchii, czas przepytania sieci na j-tym poziomie można określić za pomocą wzoru:

$$t_s(j) = (n-k) * T_{OUT}(j) + n * \sum_{i=1}^{j} T_{QF}(i) + k * j * T_{RF} \tag{4}$$

gdzie:

$T_{OUT}(j)$ - maksymalny czas oczekiwania dla j-tego poziomu,
j - numer poziomu hierarchii,
n - zakres adresowania urządzeń,
k - liczba urządzeń w danej podsieci,
$T_{QF}(i)$ - czas transmisji ramki zapytania do i-tego poziomu,
T_{RF} - czas transmisji ramki odpowiedzi.

Maksymalny czas oczekiwania na odpowiedź T_{OUT} został zmodyfikowany dla potrzeb sieci wielopoziomowej. W sieci jednopoziomowej czas T_{OUT} jest stały dla każdej transakcji odbywającej się w sieci, dla sieci wielopoziomowej należy czas ten modyfikować w zależności od poziomu, z jakim dokonywana jest transakcja. Najprostszym rozwiązaniem jest proporcjonalne zwiększanie czasu T_{OUT} w zależności od poziomu, z którym dokonywana jest transakcja. Każda stacja pośrednia (MP) określa czas T_{OUT}, jaki należy odliczyć przy realizacji określonej transakcji. Można więc przyjąć, że dla poziomu 1 (głównego poziomu sieci) odliczany jest podstawowy czas T_{OUT}, dla poziomu 1 czas $2*T_{OUT}$, natomiast dla j-tego poziomu czas $j*T_{OUT}$, czyli:

$$T_{OUT}(j) = j * T_{OUT} \tag{5}$$

Modyfikacji uległ również czas transmisji ramki zapytania T_{QF}. Czas transmisji ramki zależy od jej długości, a dostęp do kolejnego poziomu hierarchii wymaga zwiększenia rozmiaru ramki o człon określający numer urządzenia w danej podsieci. Zakładając, że zakres adresowania urządzeń zawiera się w przedziale $1 \div 247$, dostęp do każdego następnego poziomu hierarchii powoduje zwiększenie rozmiaru ramki zapytania o dodatkowy człon adresowy: ":DEVxxx", gdzie xxx określa adres urządzenia. Zmianę czasu transmisji ramek zapytania w zależności od poziomu hierarchii oraz prędkości transmisji przedstawia tabela 3.

Tabela 3

Czasy transmisji ramki zapytania do kolejnych poziomów hierarchii (czasy podano w ms)

Prędkość transmisji [b/s]	Liczba poziomów							
	1	2	3	4	5	6	7	8
1200	133.3	191.7	250.0	308.3	366.7	425.0	483.3	541.7
9600	16.67	23.96	31.25	38.54	45.83	53.13	60.42	67.71
19200	8.33	11.98	15.63	19.27	22.92	26.56	30.21	33.85

Ostatecznie wzór określający czas przepytania dowolnego (j-tego) poziomu sieci hierarchicznej można zapisać w postaci:

$$t_s(j) = (n-k) * j * T_{OUT} + n * \sum_{i=1}^{j} T_{QF}(i) + k * j * T_{RF} \tag{6}$$

Całkowity czas identyfikacji modułów pracujących w sieci hierarchicznej jest sumą czasów potrzebnych na przepytanie poszczególnych podsieci dla wszystkich poziomów hierarchii.

Końcowy wzór określający czas identyfikacji sieci można zapisać w postaci:

$$T_s = t_s(1) + \sum_{m=1}^{k2} t_m(2) + \sum_{m=1}^{k3} t_m(3) + \ldots + \sum_{m=1}^{kj} t_m(j) = t_s(1) + \sum_{i=2}^{j} \left(\sum_{m=1}^{k_i} t_m(i)\right) \tag{7}$$

gdzie:

j - liczba poziomów hierarchii,

k_i - liczba urządzeń typu MP na i-tym poziomie hierarchii (dla wszystkich podsieci danego poziomu),

$t_m(i)$ - czas przepytania m-tej podsieci na i-tym poziomie hierarchii.

Końcowy wzór zależy od współczynników k_i, określających liczbę podsieci występujących na danym poziomie hierarchii. Nie znając konfiguracji sieci (lokalizacji urządzeń MP oraz liczby urządzeń Slave), trudno jest precyzyjnie określić czas potrzebny na przepytanie całej sieci. W prosty sposób można jednak określić, dla jakich konfiguracji czasy identyfikacji sieci będą największe oraz najmniejsze.

Największy wpływ na czas identyfikacji sieci ma liczba poziomów sieci oraz stosunek liczby urządzeń pracujących w danej podsieci do zakresu adresowania. Większa liczba poziomów powoduje zwiększenie czasu potrzebnego do transmisji ramek zapytania i odpowiedzi, natomiast wypełnienie podsieci (stosunek liczby urządzeń do zakresu adresowania) wpływa na liczbę wysłanych ramek zapytania, na które brak jest odpowiedzi. Należy więc unikać konfigurowania sieci składającej się z wielu poziomów oraz zakresu adresowania znacznie przekraczającego liczbę urządzeń znajdujących się w pojedynczej podsieci.

Czasy potrzebne na identyfikację sieci hierarchicznej, przedstawionej na rys. 1, obliczone na podstawie wzoru (7) zestawiono w tabeli 4.

Tabela 4

Czasy identyfikacji sieci przedstawionej na rys. 1

Prędkość transmisji [b/s]	Czas identyfikacji sieci [s]			
	Adresy 1÷8	Adresy 1÷16	Adresy 1÷32	Adresy 1÷247
1200	57.37	123.90	256.97	2045
9600	34.73	81.55	175.18	1433
19200	33.12	78.53	169.34	1389

Na podstawie wyników uzyskanych podczas identyfikacji przykładowej sieci hierarchicznej (rys.1) zebranych w tabeli 4 można zauważyć, że proces ten jest procesem bardzo czasochłonnym. Stosując pełną adresację protokołu Modbus (adresy z zakresu 1÷247)

należy na proces identyfikacji urządzeń pracujących w sieci przeznaczyć około 23 minut przy prędkości transmisji 19200 b/s. Czas identyfikacji sieci można w dużym stopniu zmniejszyć poprzez ograniczenie zakresu adresowania urządzeń. Ograniczenie adresów z pełnego zakresu adresowania do adresowania 32 urządzeń powoduje zmniejszenie czasu identyfikacji sieci z ok. 23 minut do ok. 3 minut.

3. Zastosowanie rozkazu rozgłoszeniowego do identyfikacji urządzeń pracujących w sieci hierarchicznej

Alternatywnym rozwiązaniem pozwalającym na identyfikację urządzeń dołączonych do hierarchicznej sieci polowej jest wykorzystanie możliwości wysyłania rozkazów typu rozgłoszenie. Za pomocą rozgłoszenia można wysłać do wszystkich urządzeń MP znajdujących się w sieci rozkaz nakazujący przeprowadzenie identyfikacji dołączonych do nich urządzeń. Wymaga się tu, aby rozgłoszenie było przekazywane na niższy poziom przez każde urządzenie MP, które odbierze rozgłoszenie. W ten sposób rozkaz ten dotrze do wszystkich urządzeń MP znajdujących się w sieci niezależnie od poziomu, na jakim się znajdują. Czas dotarcia na najniższy poziom można określić za pomocą wzoru:

$$t_d = j * (T_{QF} + T_I) \tag{8}$$

gdzie:

j - liczba poziomów hierarchii,
T_{QF} - czas transmisji ramki zapytania,
T_I - czas interpretacji ramki.

Przyjmując, że czas interpretacji ramki T_I jest znacznie mniejszy niż czas transmisji ramki zapytania T_{QF}, można wzór (8) zredukować do postaci:

$$t_d = j * T_{QF} \tag{9}$$

Czas transmisji ramki T_{QF} zależy od liczby znaków w ramce oraz od prędkości transmisji. Przykładowe czasy transmisji ramek o długości 16 bajtów przedstawiono w tabeli 1.

Wysłany rozkaz trafia oczywiście do każdego urządzenia pracującego w sieci, jednak tylko urządzenia typu MP powinny przystąpić do jego wykonania. Urządzenia typu Slave mogą zignorować rozkaz lub potraktować go jako polecenie przygotowania ramki odpowiedzi zawierającej dane identyfikujące urządzenie. Wiadomo bowiem, że urządzenie MP po otrzymaniu i rozesłaniu rozkazu na niższe poziomy przystąpi do przepytywania swojej podsieci. Urządzenia Slave powinny się więc spodziewać kolejnego rozkazu, tym razem

dedykowanego, żądającego określenia typu urządzenia, w odpowiedzi na który wyślą przygotowaną uprzednio ramkę.

Po wysłaniu rozkazu każde urządzenie MP przepytuje "swoją" podsieć i przygotowuje odpowiednią strukturę danych, która zostanie przesłana "wyżej" po otrzymaniu rozkazu odczytu struktury sieci. Czas potrzebny do przepytania jednego poziomu sieci został określony za pomocą wzoru (6). Z punktu widzenia każdego urządzenia MP przepytywanie własnej podsieci realizowane jest tak jak dla poziomu pierwszego. Przyjmując więc j=1, otrzymujemy wzór (3), który określa czas przepytania sieci znajdującej się na poziomie pierwszym.

Moment rozpoczęcia przepytywania poszczególnych podsieci jest przesunięty w zależności od poziomu, na jakim jest realizowany. Opóźnienie wnoszone jest przez czas potrzebny na przesłanie rozkazu rozgłoszeniowego na kolejny poziom i określone jest za pomocą wzoru (9). Aby określić koniec procesu przepytywania wszystkich podsieci, należy przyjąć maksymalny czas potrzebny na identyfikację pojedynczej podsieci; wówczas pewne jest, że proces ten został zakończony bez względu na liczbę urządzeń dołączonych do podsieci. Maksymalny czas identyfikacji podsieci uzyskiwany jest w przypadku, gdy podsieć jest pusta:

$$t_s(1)|_{max} = n * T_{OUT} + n * T_{QF} \tag{10}$$

Uwzględniając opóźnienie wnoszone podczas transmisji rozkazu rozgłoszeniowego oraz brak odpowiedzi, czas identyfikacji pojedynczych podsieci można przedstawić w postaci:

$$t_i = t_d + t_s(1)|_{max} = j * T_{QF} + n * T_{OUT} + n * T_{QF} = (n+j) * T_{QF} + n * T_{OUT} \tag{11}$$

Pierwszy etap identyfikacji sieci jest zakończony po czasie określonym przez wzór (11). Każde urządzenie MP pracujące w sieci posiada obraz swojej bezpośredniej podsieci; odnosi się to również do urządzenia MN. Czasy uzyskane na podstawie wzoru (11) zostały zebrane w tabeli 5.

Tabela 5

Czasy realizacji pierwszego etapu identyfikacji sieci

Prędkość transmisji [b/s]	Pierwszy etap identyfikacji sieci [s]			
	Adresy 1÷8	Adresy 1÷16	Adresy 1÷32	Adresy 1÷247
1200	5.1	16.17	20.3	156.47
9600	3.7	7.83	16.7	127.18
19200	3.6	7.67	15.8	125.09

Drugi etap identyfikacji sieci polega na odczycie struktury poszczególnych podsieci z urządzeń MP. Każde urządzenie MP znajdujące się w sieci posiada obraz podsieci, dla której jest urządzeniem nadrzędnym (obraz otrzymany w pierwszym etapie); dotyczy to również urządzenia MN, które jest urządzeniem nadrzędnym w stosunku do pierwszego poziomu sieci. Z punktu widzenia kontrolera systemu znana jest więc struktura sieci na poziomie pierwszym. Konieczne jest zebranie pozostałych danych rozproszonych wewnątrz sieci.

Urządzenie nadrzędne MN posiada strukturę pierwszego poziomu sieci, czyli znane są adresy wszystkich urządzeń MP znajdujących się na tym poziomie. Proces odczytu danych o strukturze sieci rozpoczyna się więc od poziomu drugiego. Urządzenie MN kolejno odczytuje struktury poszczególnych podsieci znajdujących się na poziomie drugim, następnie na podstawie danych uzyskanych z poziomu drugiego odczytywana jest struktura poziomu trzeciego, i tak dalej aż do ostatniego poziomu sieci. Proces ten niewiele się różni od procesu zastosowanego przy cyklicznym przepytywaniu sieci (punkt 1). Jednak jego zaletą jest to, że każde zapytanie wysyłane jest tylko do wskazanych urządzeń MP (pomijając wszystkie pozostałe adresowalne moduły). Czas potrzebny na realizację etapu zbierania danych o poszczególnych poziomach zależy w głównej mierze od rozmiaru struktur danych (punkt 4) przesyłanych z urządzeń MP do urządzenia MN oraz od liczby urządzeń MP:

$$t_g = \sum_{i=1}^{j} k_i * (T_{QF}(i) + \sum_{m=1}^{k_i} i * T_{DF}(m)) \tag{12}$$

gdzie:

k_i - liczba urządzeń MP na i-tym poziomie hierarchii,

$T_{QF}(i)$ - czas transmisji ramki zapytania do i-tego poziomu,

$T_{DF}(m)$ - czas transmisji ramki zawierającej dane o strukturze m-tej podsieci.

Całkowity czas identyfikacji sieci uzyskany przy zastosowaniu rozkazu rozgłoszeniowego jest sumą czasów określonych przez wzory (11) oraz (12):

$$T_B = t_i + t_g = (n+j+1) * T_{QF} + (n-1) * T_{OUT} + \sum_{i=1}^{j} k_i * (T_{QF}(i) + T_{DF}) \tag{13}$$

Czasy potrzebne na identyfikację sieci hierarchicznej, przedstawionej na rys. 1, obliczone na podstawie wzoru (13) zestawiono w tabeli 6.

Tabela 6

Czasy identyfikacji sieci przedstawionej na rys. 1

Prędkość transmisji [b/s]	Czas identyfikacji sieci [s]			
	Adresy 1÷8	Adresy 1÷16	Adresy 1÷32	Adresy 1÷247
1200	8.11	13.17	23.31	159.47
9600	4.08	8.21	16.48	127.56
19200	3.79	7.85	15.99	125.28

4. Reprezentacja struktury hierarchicznej sieci polowej za pomocą listy

Określenie struktury danych służącej do przechowywania informacji o strukturze sieci jest zagadnieniem istotnym zarówno z punktu widzenia kontrolera systemu, jak również urządzeń MP pracujących w hierarchicznej sieci polowej. Kontroler systemu korzysta z danych o strukturze sieci podczas komunikacji z urządzeniami. Natomiast moduły MP korzystają z opisu sieci podczas procesu identyfikacji sieci za pomocą rozkazu rozgłoszeniowego (punkt 3). Widać więc, że dobór struktury danych powinien uwzględniać możliwość zastosowania algorytmu przeszukiwania sieci na różnych platformach sprzętowych.

W sieci o strukturze hierarchicznej maksymalna liczba urządzeń, jaka może pracować w sieci, zależy od liczby poziomów oraz od rozpiętości adresów na pojedynczym poziomie. Zależność tę pokazuje wzór:

$$D = \sum_{i=1}^{j} n^i \tag{14}$$

gdzie:

n - zakres adresowania w sieci jednostkowej,

j - liczba poziomów.

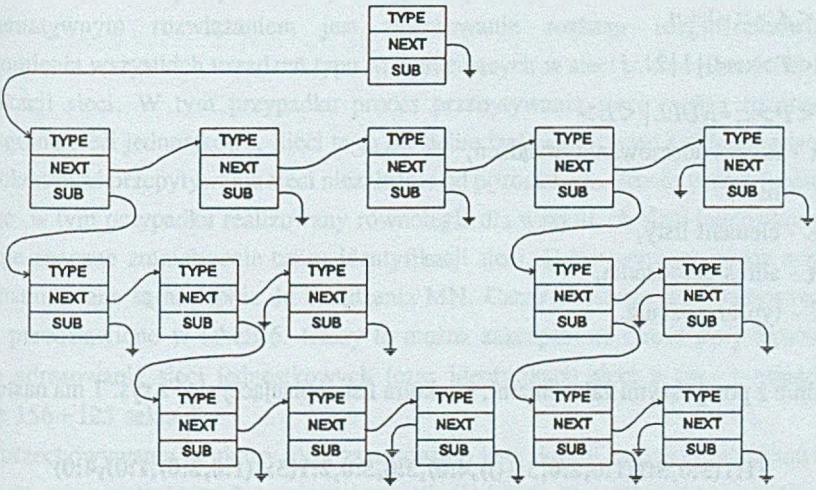
Ilustracją wzoru (14) jest tabela 7 przedstawiająca zestawienie maksymalnej liczby urządzeń pracujących w sieci polowej w zależności od liczby poziomów i zakresu adresów.

Tabela 7

Maksymalna liczba urządzeń dla sieci hierarchicznych

Liczba poziomów	Zakres adresowania urządzeń		
	1÷10	1÷32	1÷247
1	16	32	247
2	272	1056	61256
3	4368	33824	15130479
4	69904	1082400	3737228560

Jak widać z tabeli 7, statyczna struktura danych potrzebna podczas identyfikacji modułów w sieci o czterech poziomach i adresach z zakresu 1÷247 musi mieć rozmiar 3737228560 bajtów (pod warunkiem że jeden bajt wystarczy do przechowania danych o module). Biorąc pod uwagę rzeczywisty rozmiar sieci (kilka lub kilkanaście modułów w jednej sieci jednostkowej), większa część tego obszaru jest niewykorzystana. Statyczny przydział obszaru danych jest więc nieopłacalny. W związku z tym, że struktura sieci jest zbliżona do struktury drzewiastej [3], jedynym rozwiązaniem jest dynamiczna struktura, której rozmiar uzależniony jest tylko od rzeczywistej liczby urządzeń występujących w sieci. Przykładem dynamicznej struktury danych jest lista, której poszczególne elementy odpowiadają modułom występującym w sieci. Listę opisującą sieć z rys. 1 przedstawia rys. 3.



Rys. 3. Struktura sieci zawarta w liście dynamicznej
Fig. 3. The dynamic list of the fieldbus stucture

Podczas określania struktury listy przyjęto następujące założenia:

1. Każde urządzenie pracujące w hierarchicznej sieci polowej ma określony przez liczbę całkowitą typ.
2. W sieci mogą pracować następujące urządzenia:
   MN - Master Nadrzędny (typ=2),
   MP - Master Pośredni (typ=1),
   S - Slave (typ=0).
3. Każdy element listy, określający pojedyncze urządzenie pracujące w sieci, reprezentowany jest przez parę liczb. Liczby oddzielone są od siebie za pomocą znaku ':'. Pierwsza liczba określa adres urządzenia (na danym poziomie), natomiast druga typ urządzenia.
4. Każdy poziom hierarchii, jak również poziom najwyższy ograniczone są nawiasami.
5. W liście mogą występować nawiasy puste, które odpowiadają pustej podsieci.
6. Elementy listy odpowiadające urządzeniom z tej samej podsieci i tego samego poziomu oddzielone są za pomocą przecinka.

Prawidłową postać listy służącej do opisu hierarchicznej sieci polowej można wygenerować za pomocą przedstawionej poniżej gramatyki [4]:

$$
\begin{aligned}
&<L>::=(<E>[,<E>]_0^n) \\
&<E>::=<A>:<T>(<P>) \\
&<A>::=1 \div n \\
&<T>::=0|1|2...i \\
&<P>::=NULL|<L>
\end{aligned}
\tag{15}
$$

gdzie: n - zakres adresowania urządzeń,
L - lista,
E - element listy,
A - adres urządzenia,
T - typ urządzenia.

Zgodnie z powyższymi założeniami, struktura listy opisującej sieć z rys. 1 ma następującą postać:

(1:1(3:0,5:1(1:0,2:0,3:1()),4:0),3:0,5:0,2:1(5:1(1:0,2:0),1:0),4:0)

Przedstawiona lista może służyć również do reprezentacji konfiguracji sieci jednostkowych podczas realizacji identyfikacji sieci za pomocą rozkazu rozgłoszeniowego. Każda stacja MP przygotowuje konfigurację podsieci w postaci listy, która jest następnie

przesyłana do urządzenia typu MN. Zaletą opisu struktury sieci hierarchicznej w postaci listy jest również to, że może być ona zastosowana w środowisku HP-VEE, w którym brak jest możliwości tworzenia dynamicznych struktur danych. W środowisku HP-VEE lista opisująca strukturę sieci hierarchicznej traktowana jest jak łańcuch znaków.

5. Podsumowanie

Identyfikację urządzeń pracujących w hierarchicznej sieci polowej można zrealizować w oparciu o proste przeszukiwanie struktury sieci. Wiąże się to jednak z dużym narzutem czasowym (wzór (7)) wynikającym z konieczności sekwencyjnego sprawdzenia obecności każdego możliwego do zaadresowania urządzenia. Czasy potrzebne na identyfikację sieci przedstawionej na rys. 1 zawarte są w tabeli 4. Można zauważyć, że zwiększenie zakresu adresowania urządzeń znacznie zwiększa czas potrzebny na identyfikację. Dla pełnego zakresu adresowania sieci pracującej pod kontrolą protokołu MODBUS czas identyfikacji sieci zawarty jest w przedziale od 23 do 34 minut. Jest to zbyt duży narzut czasowy, nawet przyjmując, że identyfikacja sieci wykonywana jest tylko raz przy starcie systemu. Stosując ograniczenie zakresu adresowania, można w znacznym stopniu zmniejszyć czas identyfikacji sieci. Najlepszym rozwiązaniem jest określenie zakresu adresowania urządzeń na podstawie maksymalnej liczby urządzeń pracujących w rzeczywistej sieci jednostkowej. Np. dla zakresu adresowania $1 \div 16$ otrzymuje się czasy identyfikacji sieci rzędu $79 \div 123$ sekund.

Alternatywnym rozwiązaniem jest zastosowanie rozkazu rozgłoszeniowego do powiadomienia wszystkich urządzeń typu MP pracujących w sieci o konieczności dokonania identyfikacji sieci. W tym przypadku proces przepytywania sieci można rozproszyć na poszczególne sieci jednostkowe. Sieci te są od siebie izolowane, więc każde urządzenie MP może dokonywać przepytywania sieci niezależnie od pozostałych. Proces przepytywania sieci jest więc w tym przypadku realizowany równolegle dla wszystkich sieci jednostkowych, co powoduje znaczne zmniejszenie czasu identyfikacji sieci. Dane uzyskane przez urządzenia MP transmitowane są następnie do urządzenia MN. Czasy uzyskane przy zastosowaniu tej metody przedstawiono w tabeli 6. Czasy te można zakceptować nawet przy zastosowaniu pełnego adresowania sieci jednostkowych (czas identyfikacji sieci z rys. 1 mieści się w zakresie $156 \div 125$ sekund).

Do przechowywania struktury sieci zastosowano listę, której definicję przedstawia wzór (15). Zastosowanie struktury dynamicznej umożliwiło znaczne ograniczenie zajętości pamięci występujące przy zastosowaniu struktury statycznej (tabela 9). Lista dynamiczna została również zastosowana do przechowywania danych o sieciach jednostkowych w modułach MP podczas rozgłoszeniowej identyfikacji sieci.

LITERATURA

1. Mielczarek W., Pawłowski R.: Hierarchiczna sieć polowa sterowana rozkazami języka SCPI. ZN Pol. Śl. s. Informatyka z.34, Gliwice 1997.
2. Pawłowski R.: Stacja Master hierarchicznej sieci polowej sterowanej rozkazami języka SCPI. ZN Pol. Śl. s. Informatyka z. 34, Gliwice 1998.
3. Zaręba G.: Sieć magistralowa urządzeń pomiarowych oparta na interfejsie RS-485. ZN Pol. Śl. s. Informatyka z. 30, Gliwice 1996.
4. Wirth N.: Algorytmy + struktury danych = programy. WNT, Warszawa 1989.
5. Węgrzyn S.: Podstawy informatyki. PWN, Warszawa 1982.

Recenzent: Dr inż. Ryszard Winiarczyk

Wpłynęło do Redakcji 9 kwietnia 1999 r.

Abstract

The hierarchical network structure is defined by the following parameters: number of network levels, localization (full path address) and type of the devices (fig. 1). The network structure can be used to determine some network parameters e.g. time out (is depended on the network level) and to present the network structure in a graphical mode to facilitate the operator works. We can retrieve the net structure in two main ways: from configuration file or from identification process that realized during the system starting. The config file must be in accordance with the real net structure. Any changes (adding or removimg devices) should causes changes in the config file. When starting the system the identification process leaded automaticly finds all properly worked devices.

The Main Master device performed the identification process by sending a query frame with request identification to all addressable devices (fig. 2). Identification time (equation 7) for full addressing network (247 addresses in one subnet) takes about 30 minutes (see table 4). It's too much to apply this method in real systems. We can reduce the identification time by address restriction (the identification time from 79 to 123 seconds can be obtained). A part of the identification process can also be made in paraller way. Every part of the network (subnets) is separated from each other and may be independently searched for devices. To start the identification, all the Master devices have to receive searching request (it is sent by the Main Master device using the broadcast address. Then the Master device leads to a local searching process independently. Next, the Main Master device has to gather all distributed subnets structures.