

ControlNet – rozwiązanie problemu przydziału czasu w komunikacji przemysłowej

Streszczenie : W referacie przedstawione zostały własności i procedury konfiguracji sieci ControlNet. Szczególną uwagę zwrócono na możliwość określania czasu w komunikacji oraz na rozdzielenie danych na krytyczne i niekrytyczne czasowo.

Abstract : The paper presents properties and configuration methodology of ControlNet network. The author focused on possibility of defining data transfer time and splitting data to the time-critical and non-time-critical parts.

1. WSTĘP

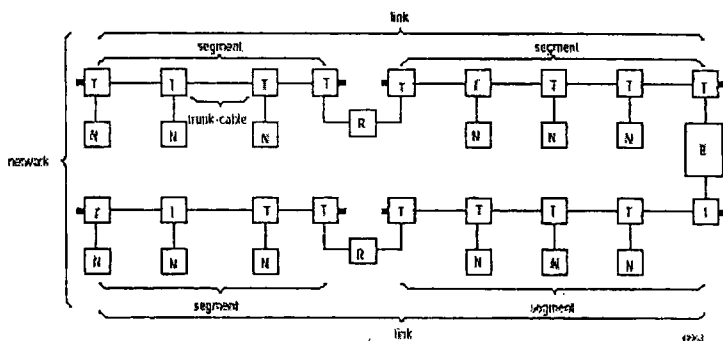
Sieć ControlNet powstała w połowie lat 90 jako odpowiedź Rockwell Automation na zapotrzebowanie przemysłu w zakresie efektywnej wymiany informacji na poziomie sterowania. Oczekiwania powstałe w ciągu kilku (kilkunastu) lat wykorzystywania połączeń na tym poziomie były dość jasne : zapewnić możliwość ścisłego określania czasu transmisji, przy jednoczesnym zachowaniu powtarzalności. Naturalne było również utrzymanie charakteru komunikacji czyli współrzędnej pracy sterowników, stacji operatorskich i komputerów.

W pierwotnej wersji, oznaczonej jako 1.0, ControlNet był siecią umożliwiającą wymianę informacji pomiędzy sterownikami PLC z określeniem co ile mają zostać przesłane dane. Nad całością czuwał procesor nr 1 (ControlNet Keeper), co powodowało uzależnienie pracy sieci od jego obecności. W kolejnej wersji – 1.25 wprowadzono szereg dodatkowych urządzeń, w tym panele operatorskie i moduły I/O, pozwalające na rozproszenie także akwizycji danych i sterowania. Ciągłe jednak całość konfiguracji przechowywana była w procesorze nr 1.

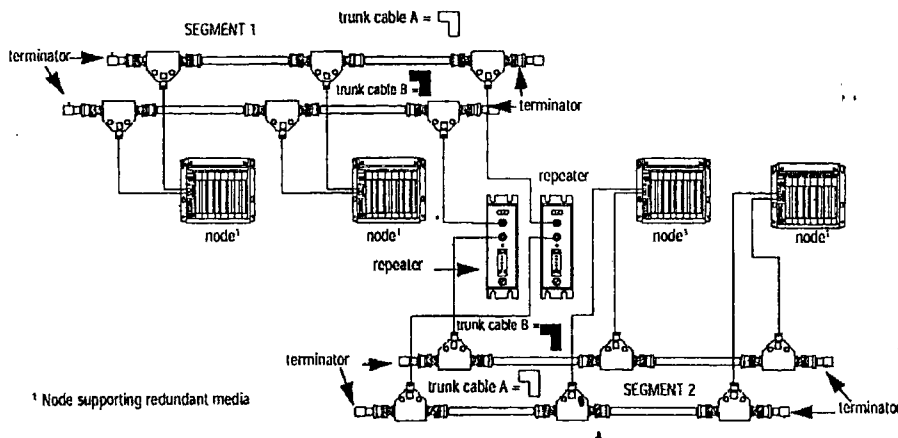
Rok 1998 przyniósł ostateczną wersję ControlNetu, oznaczoną jako 1.5. Dokonano tu wiele zmian, zarówno strukturalnych jak i programowych doprowadzając do uzyskania w pełni satysfakcjonującej sieci, pracującej na dwóch, najczęściej spotykanych poziomach : sterowania i urządzeń. Własności i metodologia konstruowania ControlNet 1.5 jest przedmiotem właściwej części referatu.

2. TOPOLOGIA, WARSTWA FIZYCZNA

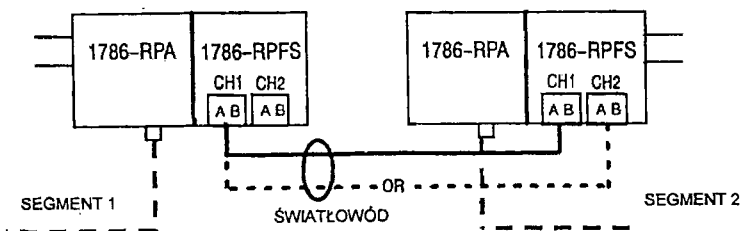
Jednym z kluczowych elementów decydujących o wyborze połączenia jest topologia sieci, a właściwie możliwość jej dopasowania do warunków panujących w zakładzie. Z jednej strony sprowadza się to do ustalenia tras kablowych, z drugiej zaś do wyboru medium, odpornego na zakłócenia i środowisko. Blokowy schemat połączenia prezentuje poniższy rysunek. Wśród elementów wyróżniono : węzeł N (rozumiany jako sterownik lub inne urządzenie sieciowe), T – Tap, złącze typu T, łączące węzeł z siecią oraz segment stanowiący pewną całość, zakończoną terminatorami i ograniczoną odległością (max 1000 m) oraz ilością węzłów (max 48). W przypadku większych odległości lub większej ilości węzłów (ControlNet pozwala na obsługę do 99 urządzeń) konieczne jest stosowanie modułów repeaterów (oznaczonych R na rysunku). W całej sieci dopuszcza się wykorzystanie



maksymalnie 5 repeaterów, co pozwala na pracę przy odległościach do 6 km lub na zbudowaniu połączeń gwiazdowych lub drzewiastych. Rysunek 1, z uwagi na przejrzystość prezentuje jedynie układ magistralowy. Ostatnim elementem (choć nie mniej istotnym) jest bridge (oznaczony B), którego zadaniem jest połączenie dwóch niezależnych sieci. W większości aplikacji jest to realizowane za pomocą sterownika ControlLogix Gateway, wyposażonego w dwa moduły ControlNet Bridge. Przykład takiej aplikacji został przedstawiony w pracach [1][2]. W przypadkach szczególnie zagrożonych zakłóceniami lub uszkodzeniami łącza, istnieje możliwość duplikacji medium, przez zastosowanie podwójnego okablowania, prowadzonego dla bezpieczeństwa różnymi trasami. Poniższy rysunek pokazuje praktyczną realizację redundancji w przypadku sieci dwusegmentowej.



Podczas realizacji typowego połączenia ControlNet, jako medium, stosowany jest 75 Ω kabel koncentryczny, charakteryzujący się bardzo dobrymi własnościami przesyłu danych i tłumienia zakłóceń. Zastosowanie takiego nośnika pozwala osiągnąć szybkość transferu bitowego na poziomie 5 Mbit/s, co w połączeniu z wskazanymi dalej własnościami zapewni wysoką efektywność. Co jednak, gdy poziom zakłóceń jest bardzo duży lub odległość znacznie przekracza 6 km? W takich sytuacjach konieczne jest przejście z nośnika miedzianego na światłowód, co w przypadku ControlNetu oznacza zastosowanie odmiany repeatera, dostosowanego do zmiany medium i pokazanego na kolejnym rysunku.



3. PODZIAŁ DANYCH, KONFIGURACJA SIECI

Po zaplanowaniu topologii sieci, kolejny krok pracy projektanta to określenie kierunków przepływu i wielkości wymienianej informacji. W przypadku tradycyjnych systemów sieciowych, takie zadanie sprowadza zazwyczaj się do wkomponowania odpowiednich poleceń komunikacyjnych do programów sterowników lub zdefiniowania obszarów wymiany dla stacji operatorskich. Taka procedura nie gwarantuje jednak optymalnego rozwiązania problemu komunikacji, z uwagi przede wszystkim na trzy fakty :

- Niemożność określenia precyzyjnego czasu dostępu do sieci dla istotnych urządzeń.
- Niemożność oddzielenia ruchu sieciowego, generowanego przez drugorzędne węzły od transmisji krytycznej dla pracy aplikacji
- Niemożność (w większości przypadków) zapewnienia jednoczesnego przekazywania informacji do wielu odbiorców.

Powyzsze problemy stają się punktem wyjścia dla twórców systemu ControlNet. Głównym ich osiągnięciem stało się umożliwienie użytkownikowi rozdzielenie danych na informacje czasowo-krytyczne i czasowo-niekrytyczne.

Transfer danych krytycznych (nazywany *Scheduled Data Transfer – SDT*) jest realizowany w stałych, programowanych przez projektanta okresach. Optymalizacja minimalnego, dopuszczalnego przez sieć czasu (nazywanego *Network Update Time – NUT*) jest realizowana po zdefiniowaniu wszystkich krytycznych danych (a więc po określeniu ich ilości) oraz po podaniu jak często mają być przesyłane (parametr *Request Packet Interval – RPI*). Po jej zakończeniu, użytkownik jest informowany o przydzielonym NUT, oraz o możliwych do realizacji czasach transferu poszczególnych informacji, określanych jako *Actual Packet Interval – API*. Jeśli takie parametry są akceptowalne, kolejno następuje przesłanie całości ustawień do wszystkich zainteresowanych węzłów, dzięki czemu każde urządzenie uczestniczące w SDT wie kiedy ma rozpocząć nadawanie informacji. Tą drogą przekazywane są dane dotyczące :

- Stanu dyskretnych wejść i wyjść, znajdujących się w modułach I/O wyposażonych w adapter ControlNet
 - Stanu analogowych wejść i wyjść, istotnych z punktu widzenia aplikacji, a znajdujących się w modułach I/O wyposażonych w adapter ControlNet.
 - Zasobów procesorów sterowników PLC, pracujących w sieci (komunikacja peer-to-peer).
- Dzięki przydziałowi do SDT, transfer powyższych danych odbywa się w sposób deterministyczny (ponieważ określony jest API) i powtarzalny, co wynika z okresowości NUT. Oczywiście nie wszystkie dane muszą być przesyłane z okresem API równym NUT. W przypadku danych wolniej zmiennych (ale wciąż istotnych) projektant ma możliwość ustawienia żądanego czasu RPI na wartość równą $2^n \cdot NUT$, gdzie n jest wartością całkowitą, większą od zera. Takie rozdzielenie pozwala na zmniejszenie wynikowego czasu NUT, a

sposób wyliczenia RPI ułatwia praktyczną implementację algorytmów sterowania dostępem do łącza. Ciekawą i bardzo istotną własnością ControlNetu jest nadawanie informacji w sieć bez określania odbiorcy, wynikającą z operacji *Send Data*, umieszczonej w konfiguracji węzła wysyłającego dane (czyli producenta). O tym czy informacja zostanie odebrana, oraz o żądanym okresie przekazywania RPI decydują konfiguracje pozostałych węzłów, określanych jako klienci, które zawierają pole *Receive Data From*. Dzięki temu uniknięto wielokrotnego przesyłania tych samych danych do wielu odbiorców, co zaowocowało znacznym zwiększeniem efektywności sieci. Poniższy rysunek pokazuje fragment okna z pakietu RSNetwork for ControlNet, podstawowego narzędzia do konfiguracji sieci i trybu SDT, przedstawiający ustawienie jednego z węzłów na nadawanie i odbieranie informacji. Warto zwrócić uwagę na pola RPI oraz API przy odpowiednich definicjach.

Node	Parameters	Device Name	Connection Name	API (ms)	RPI (ms)	Input Address	Input Size	Output Address
02	Produce Buffer ID=1	PLC-5/40C	Send Data	n/a	n/a	n/a	n/a	N25:0
	Consume Buffer ID=1		Receive Data From	20.00	20	N22:20	6	n/a
	Consume Buffer ID=2		Receive Data From	40.00	40	N22:29	1	n/a
	Consume Buffer ID=3		Receive Data From	10.00	10	N22:620	3	n/a
03		PLC-5/40C						
	Consume Buffer ID=1		Receive Data From	20.00	20	N22:30	6	n/a
	Consume Buffer ID=2		Receive Data From	40.00	40	N22:39	1	n/a

W pokazanym przykładzie wartość NUT wynikająca z całości pracy sieci wynosi 10ms, zaś węzeł 1 (którego konfigurację przedstawia tabela) wysyła 20 słów danych w sieć oraz odbiera informację z węzłów 2 i 3. Dane z urządzenia nr 2 zostały podzielone na trzy części, każda o innym wymaganym czasie RPI - odpowiednio 10, 20 oraz 40 ms. Podobnie jest w przypadku węzła 3. By odpowiednie dane zostały odebrane przez węzeł 1, muszą się pojawić w sieci za sprawą odpowiednich poleceń *Send Data* w pozostałych węzłach. Fragment konfiguracji węzła 2 pokazuje poniższy rysunek.

Node	Parameters	Device Name	Connection Name	API (ms)	RPI (ms)	Input Address	Input Size	Output Address
01		PLC-5/40C						
	Consume Buffer ID=1		Receive Data From	20.00	20	N22:0	20	n/a
	Produce Buffer ID=1		Send Data	n/a	n/a	n/a	n/a	N25:0
	Produce Buffer ID=2		Send Data	n/a	n/a	n/a	n/a	N25:9
	Produce Buffer ID=3		Send Data	n/a	n/a	n/a	n/a	N25:20

Jak widać z przedstawionych tablic, węzły 1 i 2 wzajemnie wymieniają dane, które dzięki mechanizmowi rozgłoszeniowemu, są dostępne także dla innych urządzeń w sieci. Wystarczy że będą posiadały pole *Receive Data From* w swoich tablicach przy odpowiednich wierszach *Node*. Pokazany tu mechanizm jest ilustracją komunikacji peer-to-peer pomiędzy procesorami w ControlNet, w których dla zwiększenia efektywności transmisji tworzy się bufony wymiany (tablice *Data Input File DIF* oraz *Data Output File DOF*), których adresy pojawiły się w kolumnach *Input Address* oraz *Output Adress*.

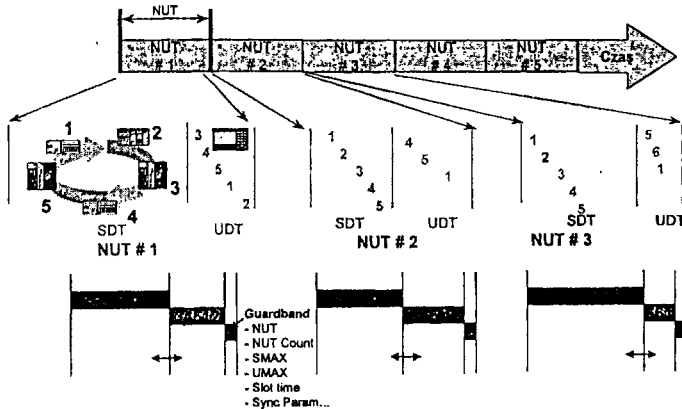
Nieco inaczej tworzona jest komunikacja z mniej zaawansowanymi urządzeniami, takimi jak adaptery wyposażone w moduły analogowe lub dwustanowe. W takich przypadkach każdy moduł ma z góry określone parametry, które może przekazywać lub odbierać. Ich definicja jest zapisana w plikach tekstowych EDS (*Electronic Data Scheet*), dostępnych w każdym pakiecie konfiguracyjnym lub na stronach internetowych. Każdy taki moduł może współpracować z procesorem w ramach jednego z pięciu trybów :

- *Exclusive Owner*, w którym procesor posiadający taki moduł w swojej konfiguracji ma wyłączną możliwość odczytywania wejść i ustawiania wyjść
- *Multicast*, w którym procesor kontroluje wyjścia modułu, ale udostępnia stan wejść innym węzłom
- *Input Only*, w którym procesor ma możliwość odczytywania stanu wejść modułu, obsługiwanego przez inny procesor (poprzez tryb *Multicast*). Odczyt ten jest aktywny zawsze, nie zależnie od warunków połączenia z podstawowym procesorem.

- *Listen Only*, który jest podobny do poprzedniego, z tą różnicą, że w chwili zerwania komunikacji z procesorem podstawowym, procesor posiadający taki tryb również traci połączenie.
- *Redundant Owner*, który jest stosowany podczas tworzenia back-upu sieci. Taki tryb pozwala na powiązanie modułu posiadającego wyjścia do dwóch procesorów, przy czym ten, który posiada na liście konfiguracyjnej tryb *Redundant Only* jest dopuszczany do sterowania jedynie w wypadku awarii bądź wyłączenia z sieci procesora podstawowego.

Dane pochodzące lub wysyłane z/do modułów I/O są mapowane bezpośrednio na tablice wejść/wyjść procesora (stany dyskretne) lub na tablice DIF/DOF (dane analogowe). Podobnie jak w przypadku transmisji peer-to-peer, tu również określany jest czas RPI, którego praktyczny wymiar pojawia się w postaci wartości API po optymalizacji pakietu.

Jak zostało wspomniane na wstępie, w sieci ControlNet współdziałają dwa rodzaje informacji : czasowo-krytyczna (opisana powyżej) oraz czasowo-niekrytyczna. Pora więc określić jakie dane i w jaki sposób projektant może je zaliczyć do przesłania w ramach transferu danych niekrytycznych *UDT (Unscheduled Data Transfer)*. Podstawowym problemem wielu użytkowników przemysłowych systemów komunikacyjnych jest współpraca komputerów wizualizacyjnych i stacji operatorskich jednocześnie ze sterownikami i modułami I/O. Zazwyczaj, pomimo możliwości określenia jak często mają odświeżać dane potrzebne do zarejestrowania lub prezentacji, ich dołączenie do sieci pogarsza jej przepustowość, zwłaszcza w chwilach szczególnego ruchu. Podobnie wygląda sytuacja z komputerami diagnostycznymi, wykorzystywanymi przez obsługę techniczną. Każdy podgląd programu lub danych w sterowniku poprzez sieć wiąże się z zajęciem pewnego, często dość istotnego, fragmentu czasu sieci. Te negatywne skutki współpracy urządzeń MMI na sieć, spowodowały, że projektanci ControlNetu, postanowili zarezerwować miejsce dla takich urządzeń jedynie w zakresie transferu UDT. Dzięki temu uzyskane wcześniej na drodze optymalizacji wartości API oraz NUT, nie ulegną zmianie, pomimo dołączenia dowolnej ilości komputerów czy stacji operatorskich. Pojawia się jednak pytanie : jaki wpływ na pracę stacji MMI będzie miała ich ilość ? Przedstawiony poniżej schemat pokazuje podział czasu sieci na transfery SDT oraz UDT, a także ich uczestników.



W procesie transmisji SDT, przedstawionej na przykładowym schemacie, bierze udział pięć procesorów o adresach od 1 do 5. Dane wymieniane pomiędzy procesorami są przesyłane w każdym okresie NUT, co pokazuje zestaw adresów w odpowiednich przedziałach SDT. Obok procesorów, w sieci znajdują się także stacje operatorskie oraz komputery monitorujące ich pracę. Z nimi odbywa się komunikacja w ramach UDT, dla którego czas przydzielony w ramach NUT jest zawsze stałym fragmentem całości i powstaje podczas optymalizacji i wyliczenia zajętości NUT przez komunikaty SDT. By nie dopuścić do zablokowania komunikacji UDT, twórcy sieci zagwarantowali niemożliwość wystąpienia sytuacji, by w którymś z interwałów nie doszło do wymiany danych niekrytycznych. Jak widać ze schematu, zarówno skład jak i ilość uczestników tego transferu jest zmienna. Wynika to z prostej zasady przydziału zasobów UDT, wynikającej z przekazywania znacznika pomiędzy wszystkimi zainteresowanymi. Każdy zajmuje więc łącze na tyle długo by wysłać wszystkie informacje. Potem przekazuje znacznik następnemu i całość się powtarza. By nie tracić czasu na poszukiwanie nieobecnych, dodatkowo podczas konfiguracji sieci ustalane są parametry *Max Scheduled Address SMAX* oraz *Max Unscheduled Address UMAX*. Komunikacja UDT, z uwagi na przedstawione własności, jest także wykorzystywana do przesyłania konfiguracji do modułów I/O (która z założenia jest dość obszerna ale odbywa się sporadycznie) oraz do przekazywania mniej istotnej informacji pomiędzy procesorami (przy wykorzystaniu poleceń typu MSG, określających w sposób jawny nadawcę i odbiorcę danych).

Patrząc na schemat działania warto zauważyć także niewielki fragment NUT nazwany *Guardband* lub *Network Maintenance Data Transfer NMDT*. Ten element ruchu sieciowego jest wykorzystywany przez węzły Keeper (są nimi procesory przechowujące konfigurację sieci) do synchronizacji, zarządzania SDT a także na pilnowanie i ewentualne ódtwarzanie znacznika pracującego w UDT.

4. ZAKOŃCZENIE

Przedstawiona w referacie sieć ControlNet jest pierwszym i jak na razie jedynym rodzajem komunikacji przemysłowej, w której głównym parametrem jest czas, a w zasadzie okres wymiany danych. Dotąd, budując systemy sieciowe, można było jedynie oszacować, a więc i zapewnić częstotliwość transferu z dokładnością (w najlepszym razie) do około 20-30%. Wartość ta w przypadku sieci poziomego sterowania może oznaczać dość duże rozbieżności, co w sytuacji współczesnego przemysłu, dyktującego coraz bardziej ostre wymagania staje się często nie do przyjęcia. Takie właśnie aplikacje stają się miejscem stosowania systemu ControlNet, który jest tym chętniej wykorzystywany, że łączy w sobie zarówno możliwości poziomego sterowania (łączność peer-to-peer, obsługa MMI) jak i cechy poziomego urządzeń (szybka obsługa I/O, diagnostyka, redundancja). Warto więc obserwować rozwój ControlNetu, stającego się jednym z podstawowych narzędzi komunikacyjnych w dzisiejszym przemyśle, a z i pewnością będącym podstawą przyszłych rozwiązań.

LITERATURA

- [1] Rafał Tutaj : Sterownik PLC w środowisku wielosieciowym, Konferencja Automation 2000
- [2] Rafał Tutaj : Sterownik PLC w środowisku wielosieciowym, PAR 4'2000 str 7-11