STUDIA INFORMATICA 2000
Volume 21 Number 1 (39)

Krzysztof GROCHLA, Arkadiusz SOCHAN
Instytut Informatyki Teoretycznej i Stosowanej PAN

SIECI PRYWATNE OPARTE NA TECHNOLOGII ATM

Streszczenie. W artykule opisano koncepcję budowania prywatnych sieci ATM przy wykorzystaniu standardu PNNI. Opisane są możliwości konfiguracyjne przełącznika firmy FORE związane z PNNI. Na koniec opisano strukturę sieci ATM zbudowanej w IITiS PAN.

THE PRIVATE NETWORK USING ATM TECHNOLOGY

Summary. In the article is described concept of projecting of private ATM networks that use PNNI standard. Possibilities of PNNI configuration in FORE switches are presented. On the end, the structure of ATM network built in IITiS PAN is described.

1. Wprowadzenie

Na przestrzeni ostatnich lat można zaobserwować zbieżność w rozwiązaniach stosowanych w sieciach telekomunikacyjnych i w sieciach komputerowych. Przykładem technologii, która godzi te dwa środowiska, jest ATM. Jednak niezależnie, z którym rodzajem sieci mamy do czynienia, w złożonych strukturach powstaje problem doboru trasy przesyłu informacji. Do rozwiązania tego problemu wykorzystuje się specjalnie w tym celu zaprojektowane protokoły. Ich zadaniem jest gromadzenie i analiza informacji o topologii sieci i na ich podstawie dobór efektywnej trasy przesyłu (wg zadanych kryteriów). Oprócz tego protokoły te mogą realizować dodatkowe funkcje charakterystyczne dla określonej technologii sieciowej, np. rezerwacja zasobów w węzłach sieci dla bardziej wymagających zadań.

W sieciach ATM na potrzeby doboru trasy przesyłu jest wykorzystywany między innymi protokół PNNI (*ang. Private Network-to-Network Interface*). Umożliwia on przekazywanie informacji o topologii sieci pomiędzy węzłami sieci, która jest niezbędna do dynamicznego wyznaczania tras przesyłu danych. W działaniu wykorzystuje hierarchiczną strukturę sieci ATM, dzięki temu pozwala tworzyć skalowalne rozwiązania –może być stosowany zarówno w sieciach lokalnych, jak i w obejmujących swoim zasięgiem cały świat.

2. Struktura sieci ATM

2.1. Grupy równorzędne

PNNI wykorzystuje hierarchiczną strukturę sieci ATM. Dzięki temu węzły nie są przeciążane dużą ilością informacji o topologii sieci. Na najniższym poziomie hierarchii znajdują się fizyczne węzły sieci (przełączniki). Kilka sąsiednich węzłów tworzy grupę równorzędną. Na wyższym poziomie hierarchii każda grupa równorzędna jest traktowana jako jeden węzeł logiczny. W skład każdej grupy równorzędnej mogą wchodzić zarówno węzły logiczne, jak i fizyczne. Węzły logiczne na wyższych poziomach są łączone w kolejne grupy równorzędne aż do objęcia całej domeny routingu lub wyczerpania wszystkich poziomów hierarchii.

Każda grupa równorzędna posiada swój identyfikator. Identyfikator grupy równorzędnej jest częścią adresu ATM. Jego format prezentuje rys. 1. Do ustalenia hierarchii grup wykorzystuje się 13 oktetów, można więc utworzyć do 105 poziomów. Długość identyfikatora jest determinowana poziomem grupy w hierarchii i może wynosić od 0 do 104 bitów (13 oktetów). Grupa położona wyżej w hierarchii posiada krótszy identyfikator. Wykorzystanie wszystkich poziomów hierarchii nie jest obligatoryjne, tzn. grupa nadrzędna dla grupy o poziomie n może mieć identyfikator długości od 0 do n-1. Podział hierarchii proponowany przez firmę FORE jest przedstawiony w tabeli 1.

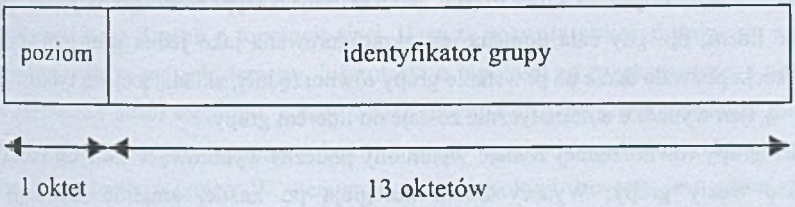
Tabela 1

Poziom w hierarchii dla wybranych sieci

Zasięg sieci	Długość identyfikatora grupy
Sieć lokalna	80
Organizacja	72
Sieci typu Intranet	64
Region	32
Sieć globalna	0

Ilość poziomów hierarchii zależy od wielkości sieci oraz jej topologii. W niewielkich sieciach (kilka przełączników) najczęściej wszystkie węzły tworzą jedną grupę równorzędną o poziomie 80.

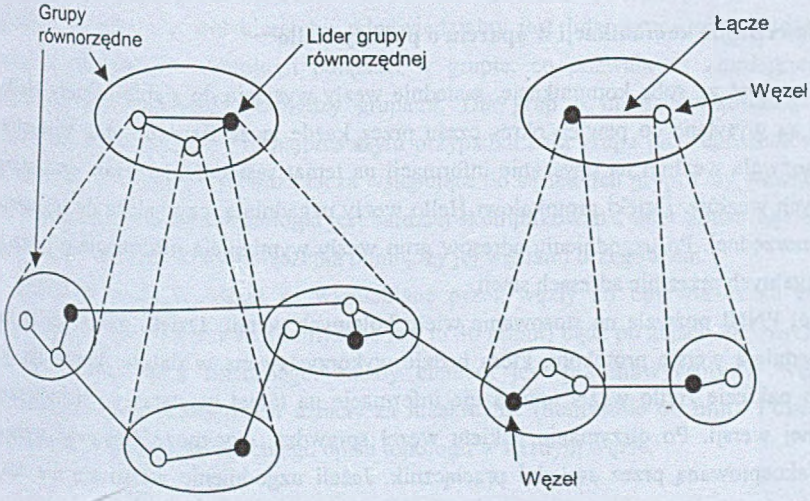
Przynależność węzła fizycznego do grupy równorzędnej określa się podczas jego konfiguracji. Identyfikatory grup są jednocześnie prefiksami adresów ATM stacji końcowych



Rys. 1. Format identyfikatora grupy równorzędnej
Fig. 1. The format of the peer group identifier

wchodzących w skład grupy.

Sąsiednie węzły wymieniają identyfikatory grupy równorzędnej w pakietach „Hello". Jeżeli identyfikatory są takie same, to obydwa węzły należą do tej samej grupy. Węzeł sąsiadujący z co najmniej jednym węzłem należącym do innej grupy równorzędnej nazywamy węzłem granicznym. Każdy węzeł posiada 22-oktetowy identyfikator składający się z 1 oktetu identyfikatora poziomu oraz łańcucha 21 oktetów unikalnych dla każdego węzła w całej domenie. Identyfikator poziomu węzła musi być taki sam jak identyfikator poziomu grupy równorzędnej, do której ten węzeł należy.



Rys. 2. Przykładowa struktura domeny ATM
Fig. 2. The example of an ATM domain structure

Rozróżniamy dwa typy łączy: horyzontalne (*ang. horizontal*) oraz wstępujące (*ang. uplink*). Łącze pomiędzy dwoma węzłami tej samej grupy nazywamy horyzontalnym, a występujące pomiędzy węzłami granicznymi łączem wstępującym.

Na wyższym poziomie hierarchii grupę równorzędną reprezentuje jej lider. W większości przypadków grupa posiada tylko jednego lidera. Dopuszcza się istnienie wielu liderów tylko w grupach podzielonych na kilka części. W określonych wypadkach grupa może także nie posiadać lidera, np. gdy cała domena jest skonfigurowana jako jedna grupa równorzędna. Specyfikacja pozwala także na powstanie grupy równorzędnej, składającej się tylko z jednego węzła – w tym wypadku automatycznie zostaje on liderem grupy.

Lider grupy równorzędnej zostaje wyłoniony podczas wyborów, w których biorą udział wszystkie węzły grupy. Wybory lidera następują po każdej zmianie topologii grupy równorzędnej, mogą być więc spowodowane np. przez wyłączenie jednego węzła lub przerwanie łącza. Wybory odbywają się poprzez rozgłaszanie do wszystkich węzłów grupy priorytetów wraz z pakietami informacyjnymi nazwanymi elementami stanu topologii PNNI (*ang. PNNI Topology State Elements*). Każdy węzeł posiada priorytet lidera (*ang. leader priority*) ustalany w trakcie konfiguracji przełącznika lub przez jego oprogramowanie. Węzeł o priorytecie 0 nie może zostać wybrany liderem grupy, więc jeżeli wszystkie węzły w grupie mają ustawiony priorytet na 0, grupa nie posiada lidera. W przypadku gdy kilka węzłów posiada równą najwyższą wartość priorytetu, wybierany jest ten, którego identyfikator jest liczbowo najwyższy. Wybory odbywają się niezależnie na wszystkich poziomach hierarchii i jeden węzeł może być liderem wielu grup równorzędnych na kolejnych stopniach hierarchii.

2.2. Nawiązanie komunikacji w oparciu o pakiety Hello

Aby nawiązać ze sobą komunikację, sąsiednie węzły wysyłają do siebie pakiety Hello. Pakiety te są wysyłane co pewien okres czasu przez każde łącze fizyczne oraz wirtualne. Protokół pozwala węzłom na uzyskanie informacji na temat sąsiednich węzłów oraz stanu łączy do tych węzłów. Dzięki protokołowi Hello węzły uzgadniają, czy należą do tej samej grupy równorzędnej. Po uzgodnieniu adresów grup węzły wymieniają informacje o łączach oraz o osiągalnych przez nie adresach stacji.

Protokół PNNI pozwala na stosowanie wielu kolejnych wersji. Dzięki pakietom Hello węzły uzgadniają wersje protokołu, która będzie wykorzystywana w dalszej komunikacji. W każdym pakiecie Hello węzeł przekazuje informacje na temat najstarszej i najnowszej obsługiwanej wersji. Po otrzymaniu pakietu węzeł sprawdza, czy może stosować wersję protokołu akceptowaną przez sąsiedni przełącznik. Jeżeli uzgodnienie wersji się nie uda, komunikacja zostaje przerwana.

Dodatkowo pakiety Hello pozwalają wykryć równoległe łącza pomiędzy dwoma węzłami. Takie łącza są obsługiwane i pozwalają na zwiększenie przepustowości.

2.3. Przesyłanie opisu topologii sieci

Protokół PNNI bazuje na routingu źródłowym, w związku z czym w każdym węźle jest przechowywana baza danych o topologii sieci. Baza ta pozwala obliczyć drogę do każdego adresu osiągalnego w ramach domeny. Informacje o topologii są przekazywane z węzła do węzła w elemencie stanu topologii. Każdy węzeł generuje element stanu topologii opisujący parametry jego stanu oraz parametry łączy z niego wychodzących i przekazuje go do wszystkich sąsiednich węzłów. W elemencie stanu topologii zawarty jest adres i grupa równorzędna węzła. Wymiana elementów stanu topologii pozwala między innymi dokonywać wyboru lidera grupy równorzędnej i ustalać hierarchię w domenie PNNI. Pozwala także węzłom na wybór łącza o określonych parametrach: ruchu, jakości usług (*ang. Quality of Service*) i innych.

Parametry zawarte w elementach stanu topologii dzielimy na metryki i atrybuty topologiczne. Metryki są parametrami addytywnymi i mogą to być, np. zmienność opóźnień lub maksymalne opóźnienie przesyłu komórki. Atrybuty dzielimy na związane ze strategią (ustalane przez administratora systemu w trakcie konfiguracji) oraz związane z wydajnością. Atrybuty nie są sumowane i są rozpatrywane tylko w odniesieniu do konkretnego łącza.

Każdy węzeł przechowuje kompletną informację o topologii swojej grupy równorzędnej oraz mniej dokładną informację o reszcie domeny. Za przekazywanie elementów stanu topologii w górę i w dół hierarchii odpowiedzialny jest lider grupy równorzędnej. Lider agreguje informacje o topologii połączeń w grupie, co pozwala na zmniejszenie ilości informacji przekazywanej pomiędzy grupami. Dla grup o nieskomplikowanej topologii stosuje się skrócony opis. W najprostszym przypadku cała grupa jest reprezentowana jako jeden punkt, z którego wychodzą łącza wstępujące do sąsiednich grup. Gdy wewnątrz grupy jest więcej łączy bądź ich topologia jest bardziej skomplikowana, lider konstruuje opis grupy pozwalający określić koszt połączenia pomiędzy jej węzłami brzegowymi.

Elementy stanu topologii są wymieniane przez węzły po upływie czasu zapisanego w konfiguracji przełączników (domyślnie jest to 30 minut) bądź po zajściu pewnych zdarzeń, np. przerwania łącza fizycznego. Każdy element jest przechowywany w węźle przez określony czas, po którym jest uznany za nieaktualny (domyślnie 60 min). Pozwala to na zachowanie możliwie kompletnego opisu topologii w każdym węźle.

2.4. Komunikaty PNNI

Warstwa sygnalizacyjna PNNI składa się z 2 części: warstwy sterowania obsługą zgłoszeń (*ang. PNNI Call Control*) oraz warstwy sterowania protokołem (*ang. PNNI Protocol Control*). Warstwa sterowania obsługą zgłoszenia udostępnia funkcje alokacji zasobów oraz wytyczania trasy. Warstwa ta korzysta z funkcji warstwy sterowania protokołem.

Tabela 2

Komunikaty sygnalizacji PNNI

Komunikat	Strona wysyłająca	Opis
SETUP	nawiązująca	nawiązanie połączenia
CONNECT	odpowiadająca	akceptacja połączenia
CALL PROCEEDING	odpowiadająca	powiadomienie o trwającej obsłudze zgłoszenia
ALERTING	odpowiadająca	powiadomienie o trwającym informowaniu użytkownika o nadchodzącym połączeniu
RELEASE	dowolna	żądanie rozwiązania połączenia
RELEASE COMPLETE	dowolna	potwierdzenie zwolnienia zasobów związanych z połączeniem
ADD PARTY	nawiązująca	dołączenie odbiorcy do istniejącego połączenia
ADD PARTY ACKNOWLEDGE	odpowiadająca	potwierdzenie przyjęcia ADD PARTY
ADD PARTY REJECT	odpowiadająca	odmowa przyłączenia do połączenia punkt-wielopunkt
DROP PARTY	nawiązująca	odłączenie odbiorcy od istniejącego połączenia
DROP PARTY ACKNOWLEDGE	odpowiadająca	potwierdzenie odłączenia po otrzymaniu DROP PARTY
PARTY ALERTING	odpowiadająca	powiadomienie o trwającym informowaniu użytkownika o nadchodzącym połączeniu punkt-wielopunkt
STATUS	dowolna	przesłanie statusu połączenia
STATUS ENQUIRY	dowolna	żądanie wysłania komunikatu STATUS
NOTIFY	dowolna	przesłanie informacji o połączeniu
PROGRESS	nawiązująca	stosowane dla obsługi połączeń ISDN przekazuje stopień zaawansowania nawiązywania połączenia
RESTART	dowolna	żądanie odnowienia połączenia
RESTART ACKNOWLEDGE	dowolna	potwierdzenie odebrania żądania restartu

W połączeniach z użyciem PNNI rozróżniamy dwie strony: nawiązującą połączenie (*ang. succeeding*) i odpowiadającą na połączenie (*ang. preceding*). Z punktu widzenia strony nawiązującej połączenie jest wychodzące, z punktu widzenia strony odpowiadającej połączenie jest przychodzące. Za wyznaczenie trasy w sieci odpowiada strona nawiązująca połączenie.

Komunikaty PNNI możemy podzielić na związane z zestawieniem połączenia, z rozwiązaniem połączenia, z połączeniami typu punkt-wiele punktów oraz informacyjne. Sygnalizacja PNNI pozwala nawiązywać połączenia o różnej topologii i określonych parametrach transmisji wraz z parametrami jakości usług.

2.5. Ustalanie trasy

Trasa jest wyznaczana tylko podczas nawiązywania połączenia. Nawiązywanie połączenia rozpoczyna wysłanie komunikatu SETUP. Strona nawiązująca połączenie na podstawie prefiksu adresu stacji, do której jest skierowane połączenie (odpowiadającej), ustala grupę równorzędną zawierającą stację odpowiadającą. Jeżeli adres żadnej grupy równorzędnej nie odpowiada adresowi stacji odpowiadającej, połączenie nie może zostać zrealizowane. W przeciwnym wypadku przełącznik wyznacza, przez jakie węzły należy poprowadzić połączenie. Wyznaczoną trasę zapisuje do listy tranzytowej (*ang. Designated Transit List*), wysyłanej jako część komunikatu SETUP. Przełącznik zapisuje do listy łącza fizyczne w ramach grupy równorzędnej, do której należy, oraz łącza logiczne przeprowadzone poza nią. W miarę przekazywania listy poprzez kolejne węzły jest ona uzupełniana przez węzły graniczne o trasę w ramach ich grup równorzędnych. Jeżeli połączenie zostało zrealizowane, do stacji inicjującej wysyłany jest komunikat CONNECT. Po otrzymaniu tego komunikatu stacja nawiązująca może przystąpić do transmisji danych.

Zmiany topologii sieci (np. przerwanie łącza) powodują, że informacja przechowywana w węzłach często jest niekompletna. Prowadzi to do wyznaczenia trasy, która nie może zostać zrealizowana. Jeżeli węzeł otrzymuje żądanie nawiązania połączenia, którego nie może zrealizować, stosowany jest mechanizm zawracania (*ang. crankback*). Po stwierdzeniu braku odpowiednich zasobów do realizacji połączenie węzeł przesyła komunikat RELEASE do węzła, od którego otrzymał komunikat SETUP. Poprzedni węzeł może podjąć próbę wyznaczenia innej trasy lub przesłać komunikat RELEASE dalej. Procedura ta jest powtarzana, aż do nawiązania połączenia lub powrotu komunikatu REALEASE do stacji nawiązującej połączenie. Pozwala to na bardzo szybką reakcję na zmiany obciążenia sieci.

3. Opis konfiguracji przełączników

Konfiguracje przełączników ATM firmy FORE można wykonać za pomocą terminala podłączonego poprzez port szeregowy lub zdalnie przy użyciu programu telnet. W przypadku nowszego oprogramowania konfiguracji można dokonać korzystając z protokołu HTTP. Poniższy opis powstał na podstawie wersji 6.0 oprogramowania przełącznika ASX200. Ustawienia związane z protokołem PNNI znajdują się w sekcji configuration/atmroute/pnni. Komendy zostały podzielone na 7 sekcji: address, crankback, dtl, parameters, interface, scopemapping, metric, node, profile.

Sekcja address ma znaczenie tylko w sieciach o więcej niż jednej domenie PNNI. Pozwala ustalić adresy osiągalne poza domeną, do której należy konfigurowany przełącznik. Dysponujemy 4 rozkazami: show, new, delete, modify, które umożliwiają dodanie adresów osiągalnych poza naszą domeną, ich modyfikacje i usunięcie. Można także wyświetlić informacje o wszystkich statycznie skonfigurowanych adresach.

Kolejna sekcja – crankback w obecnej wersji oprogramowania pozwala zmienić tylko 1 parametr – ilość prób zmiany trasy przed odrzuceniem połączenia. Jeżeli na trasie zaproponowanej podczas nawiązywania połączenia wystąpi błąd, przełącznik próbuje wyznaczyć alternatywną trasę. Gdy kolejna trasa również nie może zostać zrealizowana przełącznik podejmuje kolejną próbę wyznaczenia innej trasy tyle razy, ile zapisano w konfiguracji. Domyślnym ustawieniem są 2 próby.

Sekcja DTL pozwala skonfigurować listy tranzytowe (DTL) wykorzystywane przy ustalaniu trwałych przełączanych ścieżek wirtualnych. Listy tranzytowe mogą zostać wyznaczone przez przełącznik automatycznie za pomocą polecenia compute lub wprowadzone ręcznie poleceniem new. Możemy także modyfikować już utworzone listy dzięki komendzie modify. Pozwala to dokładnie określić trasę przebiegu ścieżki wirtualnej, którą chcemy utworzyć. Każdej liście tranzytowej można nadać priorytet, dzięki czemu możemy wprowadzić kilka tras i uszeregować je w pożądanej kolejności.

W sekcji parameters możemy zmienić maksymalną liczbę przeskoków zapisywaną w listach tranzytowych DTL. Domyślną wartością jest 20.

Sekcja interface zawiera informacje o portach przełącznika. Dysponujemy 2 rozkazami: show oraz modify. Poleceniem modify możemy zmienić dla każdego portu jego identyfikator, numer węzła, do którego został przyporządkowany i wagi administracyjne dla wszystkich rodzajów ruchu. Polecenie show wyświetla bieżące ustawienia.

Analogicznymi rozkazami dysponujemy w kolejnej sekcji – scopemaping. Tutaj możemy zmienić mapowanie poziomu grupy równorzędnej na zakresy organizacyjne. Zakres organizacyjny to liczba od 1 do 15 określająca, jak daleko adres stacji końcowej zostanie

rozgłoszony. Adresy są rozgłaszane tylko w granicach zakresu, do którego należy i niższych. Zakres organizacyjny może zostać mapowany na poziomy hierarchii PNNI.

W sekcji metric możemy stworzyć lub modyfikować metryki uwzględniane podczas trasowania. Można zdefiniować osobne metryki dla każdego kierunku transmisji, każdego punktu docelowego i każdego typu ruchu. Pozwala to bardzo precyzyjnie określić trasę.

Kolejna sekcja – node pozwala w jednym przełączniku skonfigurować do 5 węzłów logicznych. Do każdego węzła możemy przyporządkować dowolnie wybrane porty. Dzięki temu 1 węzeł fizyczny na zewnątrz sieci jest widziany jako kilka węzłów logicznych, co można wykorzystać, np. przy tworzeniu wirtualnych sieci lokalnych. Komenda modify umożliwia ustawienie parametrów protokołu Hello, m in. priorytetu lidera, czasów opóźnień pomiędzy transmisją pakietów Hello i pakietów opisu topologii. Zmian można dokonywać tylko na wyłączonym węźle, do czego służy komenda admin.

Sekcja profile umożliwia określenie profilu wykorzystywanego do wyboru trasy. W profilu można określić, które parametry łącza będą wykorzystywane w podejmowaniu decyzji o wyborze trasy. Dla każdego węzła logicznego oraz dla każdego typu ruchu należy zdefiniować osobny profil.

Wiele informacji na temat PNNI znajduje się także w sekcji display/atmroute/pnni. Oprogramowanie przełącznika pozwala wyświetlić mapę wszystkich łączy poziomych w grupie równorzędnej, status tych łączy oraz ich parametry, na przykład dostępną szybkość transmisji. Można także wyświetlić informacje o węzłach w grupie równorzędnej najniższego poziomu, w tym adres jej lidera. Wykorzystując tę sekcję, można przetestować poprawność konfiguracji adresów wszystkich węzłów grupy.

4. Sieć ATM w IITiS PAN

W Instytucie Informatyki Teoretycznej i Stosowanej PAN zbudowano sieć ATM w oparciu o 3 przełączniki. Łączą one ze sobą Laboratorium Sieci ATM, Laboratorium Komputerowych Systemów Multimedialnych oraz serwerownię. W laboratoriach są wykorzystywane przełączniki FORE RunnerLE155, natomiast serwerownia korzysta z przełącznika FORE ASX200-BX. Stacje końcowe są podłączone do sieci ATM przy użyciu kart firm FORE, SUN i 3COM.

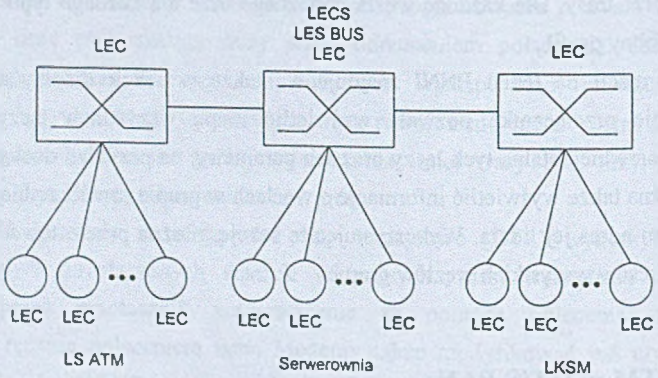
W sieci uruchomiona została usługa emulacji sieci lokalnej (*ang. LAN Emulation*), co pozwala wykorzystać w sieci nie tylko protokół IP, ale również inne, na przykład IPX lub NETBEUI. Rozmieszczenie usług w sieci ilustruje rysunek 3. Na każdym z przełączników jest uruchomiona usługa klienta emulacji sieci lokalnej (*ang. LAN Emulation Client*), dzięki

temu możliwy jest do niego zdalny dostęp. Dodatkowo na przełączniku ASX uruchomione zostały usługi:

- serwera emulacji sieci lokalnej (*ang. LAN Emulation Server*),
- serwera usług rozgłoszeniowych (*ang. Broadcast and Unknown Server*),
- serwera konfiguracji emulacji sieci lokalnej (*ang. LAN Emulation Configuration Server*).

Ostatnia usługa nie jest obligatoryjna, ale umożliwia łatwą i elastyczną konfigurację i rekonfigurację LANE, zwłaszcza w przypadku tworzenia wielu sieci wirtualnych oraz zwiększa bezpieczeństwo funkcjonowania LANE.

Komunikacja pomiędzy przełącznikami jest oparta na protokole PNNI rekomendowanym przez ATM Forum. Dostępny sprzęt pozwala również skorzystać z rozwiązania firmowego o nazwie FT-PNNI. Oba te rozwiązania mogą koegzystować, tworząc dwie domeny, pomiędzy którymi można uruchomić routing. Jest to ważne, ponieważ pozwala na łączenie rozwiązań firmowych z otwartym standardem.



Rys. 3. Lokalizacja usług w sieci ATM w IITiS PAN
Fig. 3. The services localization in the ATM network in IITiS PAN

W początkowej fazie konfiguracji sieci wystąpił problem z łącznością pomiędzy stacjami znajdującymi się w LSATM i LKSM. W ramach poszczególnych laboratoriów stacje kontaktowały się ze sobą bez problemu. Oznaczało to, że serwery emulacji sieci lokalnej (LECS, LES i BUS) działają prawidłowo, ponieważ stacje musiały z nich korzystać przed nawiązaniem połączenia między sobą. Nasuwał się więc wniosek, że przełącznik nie w pełni funkcjonuje i nie pozwala zestawić połączenia pomiędzy dwoma skrajnymi połączeniami. Ponieważ na każdym przełączniku uruchomiona była usługa klienta emulacji sieci lokalnej, sprawdzono wtedy „widoczność" poszczególnych stacji ze wszystkich przełączników. Po tym teście okazało się, że między każdym z przełączników i każdą ze stacji da się zestawić połączenie. Takie zachowanie się sieci było raczej niespodziewane. Następnie zmieniono

topologię połączeń przełączników na pętlę. W takiej konfiguracji wszystkie stacje widziały się wzajemnie. Na podstawie tych działań uznano, że w sieci nie funkcjonuje prawidłowo sygnalizacja. Przywrócono poprzednią topologię i do dalszych badań użyto analizatora sieci. Analiza działania protokołów sygnalizacyjnych potwierdziła przypuszczenia. Początkowo przyjęto, że przyczyna tkwi w wykorzystaniu różnego oprogramowania przez stacje SUN i PC. Sprawdzono więc możliwość komunikacji między stacjami tego samego typu umieszczonymi w obu laboratoriach (wcześniej w każdym z laboratoriów był jeden typ stacji). W wyniku tego eksperymentu zaobserwowano, że stacje PC mogą się ze sobą łączyć, a stacje SUN nie. Wniosek z tego eksperymentu był taki, że sygnalizacja stacji SUN nie współpracuje prawidłowo z sygnalizacją FORE. Jednocześnie podczas rozwiązywania problemu przeprowadzono szereg doświadczeń konfiguracyjnych z przełącznikami. W ich wyniku okazało się, że skrajne przełączniki, mimo że są bliźniacze (ten sam model i oprogramowanie), nie działy tak samo. Środkowy przełącznik źle wyznaczał trasę do jednego z nich. Wtedy zdecydowano się zainstalować na wszystkich przełącznikach tę samą wersję oprogramowania. Po tym zabiegu stacje umieszczone w obu laboratoriach mogły się ze sobą wzajemnie kontaktować. Powstał natomiast nowy problem – przestała prawidłowo funkcjonować automatyczna konfiguracja interfejsów w przełączniku dla portów z przyłączonymi stacjami SUN. Sytuacja ta nie dotyczyła jednak wszystkich stacji. Po porównaniu konfiguracji poszczególnych stacji okazało się, że wystarczy wymienić oprogramowanie dla kart ATM na nowsze. Po tym zabiegu sieć zaczęła w pełni funkcjonować. Dodatkowo uruchomiona została także sygnalizacja z UNI 4.0, która będzie wykorzystana w pracach prowadzonych w Instytucie.

5. Podsumowanie

Protokoły doboru trasy są jednym z najważniejszych elementów złożonych sieci komunikacyjnych. Dzięki informacjom, które przenoszą, możliwy jest optymalny dobór trasy, wyznaczenie nowej trasy w przypadku uszkodzenia fragmentu łącza czy równoważenie obciążenia w sieci. Ponadto oczekuje się, że będą one w dużym stopniu wspomagały zarządzanie jakością usług. W sieciach ATM zagadnienia te są rozwiązane między innymi poprzez protokół PNNI. Jego zastosowanie przyczynia się do tego, że sieć ATM jest nie tylko duża i szybka, lecz także staje się elastyczna i łatwiejsza w zarządzaniu. W połączeniu z innymi zaletami ATM, do których można zaliczyć zachowanie jakości usług, można powiedzieć, że sieci tego typu mogą zaspokoić najbardziej wymagających użytkowników. A wymaganiami na dziś mogą być transmisje strumieni z informacją multimedialną w czasie

rzeczywistym, na przykład dla wysokiej jakości wideokonferencji lub usługi wideo na żądanie (*ang. video on demand*) i dystrybucji audycji wideo (*ang. near-video on demand*).

Na bazie skonfigurowanej w IITiS PAN sieci ATM są prowadzone dalsze prace związane właśnie z budową środowiska wymiany informacji multimedialnej w czasie rzeczywistym.

LITERATURA

1. Händel R., Huber M.,Schröder S.: ATM Networks, Second Edition, Cambridge 1995.
2. Sexton M., Reid A.: Broadband networking: ATM, SDH and SONET, Norwood 1997.
3. The ATM Forum: Private Network-Network Interface Specification Version 1.0. March 1996.
4. Dokumentacja ForeRunnerLE 155.
5. Dokumentacja ForeRunnerASX200-BX.
6. Dokumentacja ForeRunner PCA-200E.
7. Dokumentacja SUNATM 2.1 .
8. Dokumentacja SUNATM 3.0 .
9. Dokumentacja SUNATM 4.1 .
10. Dokumentacja ATM Sniffer Analyzer.

Recenzent: Prof. dr hab. inż. Andrzej Grzywak

Wpłynęło do Redakcji 29 marca 2000 r.

Abstract

In the paper is described a concept of a private ATM networks building. The most important elements of PNNI standard are pointed, like: an organization of network topology, Hello protocol and signalling. A topology information flow and basic routing rules are described, too. Next, the possibilities of PNNI configuration in FORE ATM switches (RunnerLE and ASX200-BX). On the end, a structure of private ATM network in IITiS PAN is presented that use these switches.