STUDIA INFORMATICA 2000
Volume 21 Number 1 (39)

Jarosław ŻAK
PWPT WASKO Sp. z o.o., Zakład Systemów Telekomunikacyjnych

INTEGRACJA ŚRODOWISK TCP/IP ORAZ X.25

Streszczenie. W opracowaniu przedstawiono zagadnienie integracji środowisk sieciowych na przykładzie architektur TCP/IP oraz X.25, mających szerokie zastosowanie w praktycznych implementacjach. Wskazano potencjalne problemy wynikające z różnic pomiędzy obydwoma stosami protokołów oraz pokazano przykładowe rozwiązania, obejmujące przypadki komunikacji obszarów X.25 przez środowisko TCP/IP, jak również obszarów TCP/IP poprzez środowisko X.25.

TCP/IP AND X.25 ENVIRONMENTS INTEGRATION

Summary. In this study there is network environments integration issue widely described using TCP/IP and X.25 architectures, which are commonly applied to practical implementations. Potential problems caused by whole set of differences appearing between both protocol stacks are pointed. There are also solutions' examples including both cases: X.25 areas through TCP/IP environment communication and TCP/IP areas through X.25 environment communication.

1. Wstęp

Ostatnie trzy dekady XX wieku, charakteryzujące się dynamicznym rozwojem technologii teleinformatycznych, były okresem powstania pierwszej w historii ludzkości globalnej sieci komputerowej – Internetu. W swej obecnej formie Internet jest zbiorem połączonych ze sobą „obszarów" sieci, które z kolei implementują niemal wszystkie uznane standardy telekomunikacyjne oraz sieciowe, stworzone na potrzeby przesyłu informacji. To właśnie zdolność adaptacji do lokalnych warunków technologicznych wpłynęła (i w dalszym ciągu ma wpływ) na tak szybką ekspansję Internetu. Zdolność adaptacji technologii sieciowych rozumiana jest w tym przypadku jako płynna współpraca pomiędzy dwoma różnymi obszarami sieci na poziomie logicznym (oprogramowania) oraz fizycznym

(standardów telekomunikacyjnych). Jeżeli dodatkowo współpraca taka jest niezauważalna dla użytkowników obu obszarów, można mówić tutaj o w pełni zintegrowanych środowiskach sieciowych.

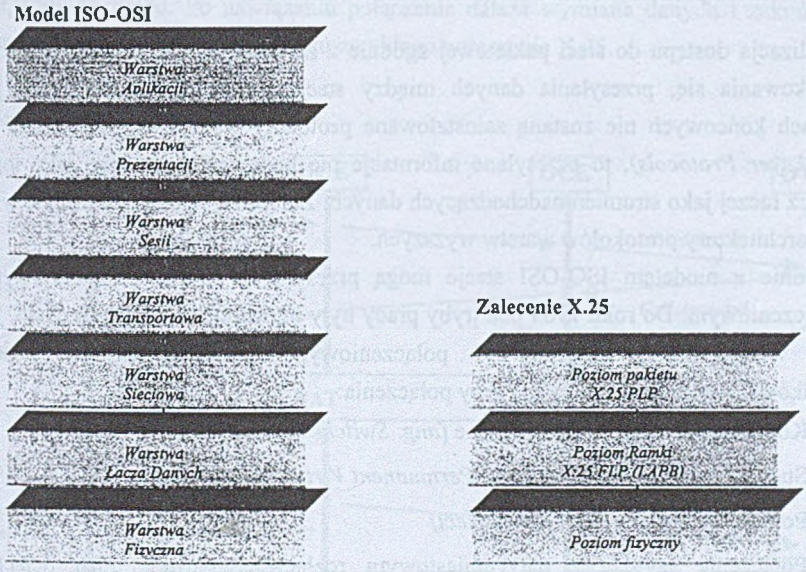
Architektura TCP/IP *(ang. Transmission Control Protocol/Internet Protocol)*, pod nadzorem której pracuje Internet, jest w chwili obecnej zdecydowanie najbardziej rozpowszechnionym standardem sieciowym. Z kolei lobby telekomunikacyjne w swych rozwiązaniach zdecydowanie promuje Zalecenie X.25 jako standard elektronicznej wymiany danych. W tej sytuacji integracja obu środowisk staje się niezbędna.

2. Ogólna charakterystyka Zalecenia X.25

Zalecenie X.25 jest standardem opracowanym i stopniowo ulepszanym przez ITU-T (CCITT) w latach 1974-1988, określającym zasady dostępu do sieci transmisji danych wykorzystującej komutację pakietów. Zostało ono opracowane z myślą udostępnienia infrastruktury sieci telefonicznej, obejmującej swym zasięgiem znaczne obszary terytorialne, jako medium transmisyjnego dla sieci komputerowych. Należy podkreślić, że zalecenie X.25 definiuje jedynie zasady dostępu do sieci pakietowej, czyli komutacja i przesyłanie pakietów pomiędzy węzłami samej sieci są uzależnione od konkretnych rozwiązań i technologii stosowanych przez projektanta sieci. Rysunek 1 obrazuje porównanie zalecenia X.25 z modelem odniesienia ISO-OSI. Aby w pełni zaspokoić wymagania użytkowników w zakresie funkcjonalności oraz zestawu oferowanych usług sieciowych, organizacja ITU-T opracowała szereg zaleceń tzw. serii X (jednym z nich jest X.25), określających metody dostępu do sieci z komutacją pakietów. Do implementacji styku z siecią pakietową często wykorzystywane są również zalecenia serii V, określające metody komunikacji (wymiany danych) poprzez sieć telefoniczną, pracującą w charakterze sieci dostępowej do sieci pakietowej.

Bazowymi pojęciami w terminologii protokołów serii X są DTE, DCE oraz STE. DTE *(ang. Data Terminal Equipment)* określa urządzenie terminalowe, które może, lecz nie musi posiadać interfejsu w standardzie sieci pakietowej. Z kolei DCE *(ang. Data Circuit-terminating Equipment)* określa węzeł sieci pakietowej. STE (*ang. Signalization Terminal*) określa urządzenie stanowiące styk między dwiema sieciami pakietowymi. Prócz tego często występującym terminem jest PSE *(ang. Packet Switching Exchange)* określającym urządzenia komutacji pakietów wewnątrz sieci – nie objęte zaleceniami serii X.

Kompletny spis metod dostępu stacji DTE do sieci pakietowych zawiera przeszło czterdzieści pozycji i jest określony przez zalecenie X.10 „Kategorie dostępu".



Rys. 1. Zalecenie X.25 i jego porównanie z modelem ISO-OSI
Fig. 1. X.25 Specification and ISO-OSI Reference Model – comparision

W celu lepszego wykorzystania kanału dostępu do sieci pakietowej jest on zwielokrotniany czasowo w sposób statystyczny *(STDM – Statistical Time-Division Multiplex)*. Dzięki temu w jednym kanale fizycznym mogą być przesyłane pakiety generowane w wielu równoległych sesjach użytkowników DTE. Rozróżnianie przesyłanych w jednym kanale fizycznym pakietów generowanych w różnych sesjach jest możliwe dlatego, że pakiety te są identyfikowane przez DTE oraz DCE za pomocą jednoznacznego numeru kanału logicznego LCN *(ang. Logical Channel Number)*. Kanały logiczne służą do wprowadzania pakietów do sieci od DTE, oraz do wynoszenia pakietów z sieci do DCE. Kanały logiczne zestawione na „przeciwległych końcach sieci" są od siebie zupełnie niezależne i mają znaczenie wyłącznie lokalne.

Końcowe kanały logiczne wraz z całą ścieżką pakietów przez sieć pakietową (utworzoną z kanałów łączących centrale komutacji pakietów PSE) tworzą połączenie wirtualne, nazywane połączeniem end-to-end pomiędzy dwoma komunikującymi się ze sobą stacjami użytkowników DTE [7]. Zalecenia X.25 umożliwiają takie sterowanie transmisją pakietów wewnątrz kanałów logicznych, że zachowana jest kolejność odbieranych pakietów niezależnie od typu samej sieci pakietowej.

2.1. Poziom pakietu – X.25 PLP (Packet Level Protocol)

Realizacja dostępu do sieci pakietowej zgodnie z zaleceniem X.25 oznacza możliwość komunikowania się, przesyłania danych między stacjami użytkowników. Jeżeli jednak w stacjach końcowych nie zostaną zainstalowane protokoły warstw wyższych ULP *(ang. Upper Layer Protocols)*, to przesyłane informacje nie będą interpretowane jako logiczny ciąg, lecz raczej jako strumień nadchodzących danych. Zalecenie X.25 nie definiuje w żaden sposób architektury protokołów warstw wyższych.

Zgodnie z modelem ISO-OSI stacje mogą przesyłać w trybie połączeniowym lub bezpołączeniowym. Do roku 1984 oba tryby pracy były określone w Zaleceniu X.25, jednak kolejne wersje oferują jedynie tryb połączeniowy, implementowany w większości przypadków. Zdefiniowane są cztery typy połączenia:

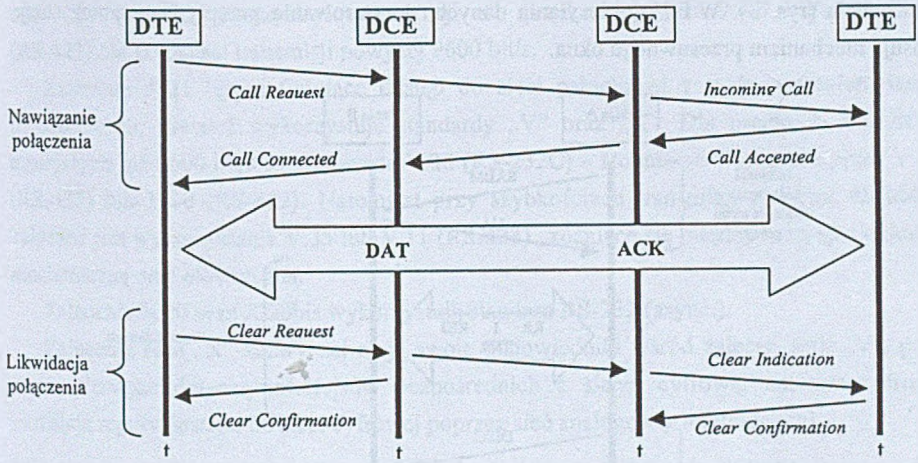
- Komutowane połączenie wirtualne *(ang. Switched Virtual Call)*
- Stałe połączenie wirtualne *(ang. Pernmanent Virtual Call)*
- Połączenie szybkie *(ang. Fast Select)*
- Połączenie szybkie z natychmiastowym rozłączeniem *(ang. Fast Select with Immediate Clear)*.

Komutowane połączenie wirtualne wymaga, podobnie jak połączenie telefoniczne obejmuje fazę nawiązania połączenia, transferu danych oraz usunięcia połączenia. DTE żąda nawiązania połączenia wysyłając pakiet *Call Request* z wymaganymi parametrami połączenia. Po przejściu przez sieć pakietową żądanie nawiązania połączenia dociera do zdalnego DTE jako pakiet *Incomming Call*. W odpowiedzi zdalne DTE odsyła pakiet *Call Accepted* (który dociera do DTE inicjującego połączenie jako pakiet *Call Connected*) w przypadku akceptacji połączenia lub też *Clear Request* (*Clear Indication* po stronie inicjującej połączenie), gdy z różnych powodów zdalne DTE nie jest gotowe do nawiązania połączenia. Fakt zamknięcia połączenia jest potwierdzany lokalnie pakietem *Clear Confirmation*, po czym następuje zwolnienie logicznych kanałów po obu stronach połączenia. Proces zestawienia komutowanego połączenia, transmisji danych i zakończenia połączenia obrazuje rysunek 2.

Stałe połączenie wirtualne jest ustanowione przed rozpoczęciem sesji, a następnie przechodzi do fazy wymiany danych, dzięki czemu stacje DTE na obu końcach połączenia mają zapewniony stały kanał komunikacyjny między sobą. Negocjacja parametrów połączenia i rezerwacja kanałów logicznych następuje tylko raz, podczas ustanawiania połączenia.

Połączenie szybkie zostało wprowadzone w celu podniesienia efektywności połączenia X.25. Zezwala ono przesłać dane użytkowe (maks.128 bajtów) w pakietach sterujących Call

Request, Call Accepted. Po nawiązaniu połączenia dalsza wymiana danych i zakończenie połączenia przebiegają jak w przypadku zwykłego połączenia X.25.



Rys. 2. Nawiązanie oraz likwidacja komutowanego połączenia wirtualnego
Fig. 2. Making and cancelling virtual circuit procedures

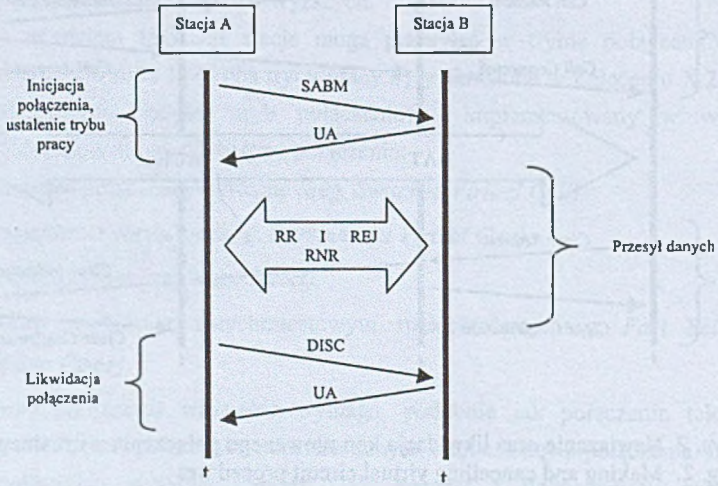
Połączenie szybkie z natychmiastowym rozłączeniem zobowiązuje stację zdalną do wysłania pakietu Clear Request w odpowiedzi na odebrany pakiet Call Request, jednak oba te pakiety mogą zawierać dane użytkowe. Tryb ten jest szczególnie użyteczny w przypadku, gdy stacje komunikują się ze sobą często, mając do przesłania małe ilości danych.

2.2. Poziom ramki – X.25 FLP (Frame Level Protocol)

Zadaniem poziomu ramki jest enkapsulacja pakietów X.25 w pola danych ramek protokołu transportowego, następnie ich niezawodna transmisja w lokalnym oraz odległym styku DTE-DCE. Na tym poziomie realizowane są funkcje zarządzania łączem (*ang. link management*), obsługi błędów (*ang. error control*), sterowania przepływem (*ang. flow control*) oraz normalna wymiana danych (*ang. data transfer*). Nie ma tutaj rozróżnienia ramek z poszczególnych kanałów logicznych warstwy X.25 PLP, lecz wszystkie są traktowane jednakowo, jako jednolity strumień danych.

Zalecenie X.25 wykorzystuje na poziomie ramki protokół transportowy LAPB, zdefiniowany przez ITU-T (CCITT). Protokół LAPB implementuje komunikację stacji w warstwie łącza danych, w połączeniu typu punkt-punkt w trybie ABM *(ang. Asynchronous*

Balanced Mode). Zgodnie z nazewnictwem CCITT stacje mogą być typu DTE – co oznacza stację użytkownika oraz DCE – symbolizującą styk sieci komputerowej. Na poziomie warstwy drugiej dane są przesyłane w trybie połączeniowym, tzn. w trakcie transmisji możemy więc wyróżnić fazę nawiązania połączenia, fazę przesyłania danych i fazę rozłączenia (rys. 3). W fazie przesyłania danych, do sterowania przepływem ramek stacje stosują mechanizm przesuwnego okna.



Rys. 3. Przykładowa wymiana danych między stacjami A i B w trybie ABM
Fig. 3. Example of data exchange procedure between A and B stations in ABM mode

2.3. Poziom fizyczny

Warstwa fizyczna definiuje styk (interfejs) fizyczny pomiędzy stacją użytkownika DTE a węzłem sieci pakietowej DCE. Ściśle zdefiniowane są tutaj specyfikacje: mechaniczna (rodzaj wtyków), elektryczna (poziomy napięć, prądów), proceduralna (procedury sterowania) oraz funkcjonalna (funkcje poszczególnych sygnałów złącza). Zależnie od rodzaju połączenia DTE z DCE (bezpośrednie lub modemowe) Zalecenie X.25 rekomenduje dla poziomu fizycznego:

- **Zalecenie X.21** – styk między DTE oraz DCE dla transmisji synchronicznej w publicznej sieci danych.
- **Zalecenie X.21 bis** – styk między DTE oraz DCE przy użyciu synchronicznych modemów serii „V" dla połączenia z publiczną siecią danych.
- **Zalecenie X.20** – styk między DTE oraz DCE dla transmisji asynchronicznej.

- **Zalecenie X.20 bis** – styk między DTE oraz DCE dla transmisji asynchronicznej z wykorzystaniem modemów.

Zalecenie X.21, opisujące styk cyfrowy z siecią pakietową, korzysta z szeregu standardów serii „V" oraz „X" (ITU-T). Są to przede wszystkim standardy X.26 (RS-422) oraz X.27 (RS-423) dla szybkości transmisji nie przekraczających 9600 bit/s oraz X.27 (RS-423) dla szybkości transmisji powyżej 9600 bit/s.

Zalecenie X.21 bis, definiujące dostęp do sieci pakietowej z wykorzystaniem łączy modemowych, również wykorzystuje standardy „V" oraz „X". Dla prędkości transmisji mniejszych niż 9600 bit/s są stosowane V.28 (RS-232C) – stopniowo wypierane przez V.11 (RS-423) lub V.10 (RS-422). Natomiast przy szybkościach transmisji powyżej 48 kbit/s zalecane jest wykorzystanie V.35 lub V.11 (RS-423) , różniące się między sobą specyfikacją mechaniczną oraz elektryczną.

Zalecenia X.20 oraz X.20bis wykorzystują standard RS-232 (async.).

Zalecenia serii „X" zazwyczaj mają swoje odpowiedniki wśród zaleceń serii „V", przy czym pierwsze dotyczą interfejsów bezpośrednich z siecią cyfrową, natomiast drugie określają reguły dostępu do sieci cyfrowej poprzez sieć analogową (telefoniczną).

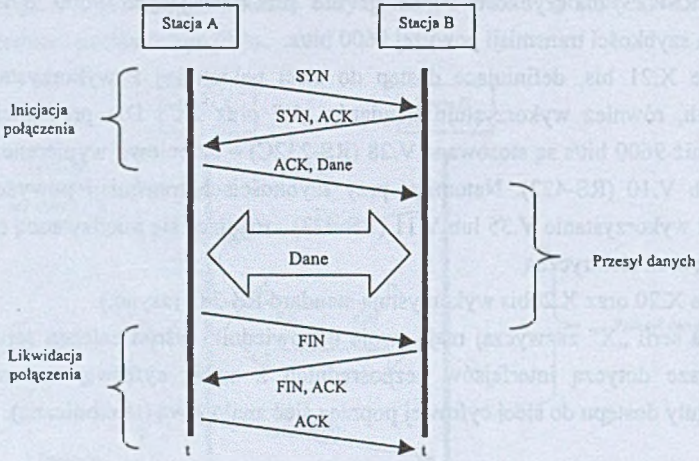
3. Architektura TCP/IP – wybrane zagadnienia

Ponieważ stos protokołów TCP/IP został zaprojektowany wcześniej (rok 1969 – powstanie sieci ARPANET), niż model odniesienia ISO-OSI, trudno w tym przypadku wyszczególnić pełnych siedem warstw architektury. Najczęściej model TCP/IP zawiera cztery zdefiniowane warstwy, które odpowiadają funkcjonalnie jednej bądź kilku warstwom modelu odniesienia ISO-OSI. Należy przy tym podkreślić, że koncepcja funkcjonowania stosu TCP/IP w zakresie komunikacji warstwowej i międzywarstwowej jest identyczna jak w przypadku modelu ISO-OSI. Dane są przekazywane od warstwy aplikacji kolejno poprzez warstwę transportową, warstwę międzysieciową internet do warstwy dostępu do sieci, która odpowiada za transmisję informacji do medium fizycznego.

3.1. Realizacja połączeniowego trybu pracy – protokół TCP

Protokół TCP dostarcza zorientowany połączeniowo system transmisji, z kontrolą poprawności segmentów, ewentualną retransmisją segmentów zaginionych/uszkodzonych, usuwaniem segmentów zduplikowanych oraz porządkowaniem kolejności segmentów odebranych. Dzięki powyższym cechom często nazywany jest protokołem niezawodnym, jako że zapewnia wysoki stopień kontroli poprawności transmisji. TCP, jako protokół

zorientowany połączeniowo, przed każdym przesłaniem pierwszego segmentu danych wykonuje trzystopniową procedurę nawiązania połączenia, przedstawioną na rysunku 4.



Rys. 4. Procedura nawiązania i zakończenia połączenia TCP
Fig. 4. Making/Cancelling TCP connection procedure

Kolejne segmenty informacyjne oznaczają:

- **SYN** *(ang. Synchronize sequence numbers)* – ustalenie początkowego numeru sekwencyjnego przesyłanych danych, jednocześnie chęć nawiązania połączenia,
- **ACK** *(ang. Acknowledgment)* – segment potwierdzający,
- **FIN** *(ang. Finish)* – segment kończący transmisję.

Po ustaleniu początkowego numeru sekwencyjnego dla sesji następuje transmisja danych, której zakończenie jest komunikowane wysłaniem segmentu z ustawionymi znacznikami FIN.

3.2. Protokół IP – komunikacja międzysieciowa

Protokół IP *(ang. Internet Protocol)* jest protokołem zorientowanym bezpołączeniowo, tzn. informacja jest wymieniana między węzłami sieci bez procedury zestawiania połączenia, negocjacji parametrów. Prostota implementacji i mały narzut informacji sterujących w stosunku do przesyłanych danych jest okupiony – jak w większości protokołów bezpołączeniowych – zmniejszoną niezawodnością działania. Dane mogą być przesyłane

różnymi trasami, skutkiem czego kolejność odbioru pakietów nie musi być identyczna z kolejnością ich nadawania. Na skutek chwilowych przeciążeń sieci (przepełnianie buforów węzłów aktywnych) może nastąpić utrata pakietów, również nie ma zabezpieczenia przed ich nadmiernym powielaniem. To wszystko sprawia, że protokół IP jest uważany za protokół zawodny, natomiast nadzór nad poprawnością transmisji sprawują protokoły warstw wyższych. Poważną zaletą protokołu IP jest wbudowany mechanizm segmentacji. Zależnie od medium transmisyjnego pakiety mogą być dzielone na mniejsze porcje, odpowiednie dla aktualnych wymagań protokołu warstwy łącza danych. Pozwala to na implementację architektury TCP/IP na bazie szerokiej gamy topologii sieciowych. Aby połączenie przebiegało bez zakłóceń, każdy z węzłów musi posiadać procedury desegmentacji – przywracania pierwotnego rozmiaru pakietów.

3.3. Protokoły dostępu do łącza oraz standardy łączy fizycznych

Protokoły warstwy dostępu do sieci nie są objęte standardem TCP/IP. Są one narzędziem wykorzystywanym do transmisji danych między sąsiednimi węzłami sieci. W odróżnieniu od protokołów warstw wyższych protokoły warstwy dostępu muszą „znać" fizyczne parametry sieci, i zależnie od nich konstruować nagłówek ramki, w której przenoszone są pakiety warstwy międzysieciowej. Fakt ten pociąga za sobą mnogość rozwiązań, z których każde przystosowane jest do pracy w określonym środowisku.

Zgodnie z nomenklaturą TCP/IP warstwa dostępu do sieci obejmuje zarówno protokoły transportu danych – mające zastosowanie w przypadku jednej bądź kilku technologii sieciowych; jak również protokoły dostępu do łącza, związane bardzo ściśle z konkretną implementacją sieci; oraz fizyczne specyfikacje połączeń.

Protokoły transportu danych (warstwy łącza danych modelu ISO-OSI). Stos TCP/IP korzysta z bogatej rodziny usług transportowych, oferowanych (zależnie od medium transmisyjnego) przez protokoły synchroniczne: SDLC, HDLC, LAP, LAPB, LLC. Dotychczas nie wspomniane protokoły SLIP *(ang. Serial Line Internet Protocol)* oraz PPP *(ang. Point-to-Point Protocol)* mogą obsługiwać transmisję pakietów IP poprzez łącza synchroniczne oraz asynchroniczne. Protokół SNAP *(ang. Subnetwork Access Protocol)* jest niemalże identyczny do protokołu LLC, różnice występują na poziomie znaczenia i zawartości niektórych pól sterujących w ramce.

Protokoły dostępu do łącza (podwarstwy MAC w modelu ISO-OSI), stosowane zazwyczaj w sieciach lokalnych są ściśle związane z danym medium fizycznym. Ich zadaniem jest określenie zasady dostępu do łącza, kodowanie informacji przed transmisją (dekodowanie w węźle docelowym) oraz organizacja ramki. Najpopularniejszymi standardami są tutaj specyfikacje IEEE: 802.3 (CSMA/CD), 802.4 (Token Passing Bus), 802.5 (Token Passing Ring), 802.6 (DQDB), 802.9 (IsoEthernet), 802.11 (DFWMAC),

802.12 (100VG-AnyLAN); jak również specyfikacje ANSI: FDDI, FDDI 2 oraz specyfikacje ETSI – HIPERLAN.

Fizyczne standardy łączy (warstwa fizyczna w modelu ISO-OSI), opisane normami opracowanymi przez IEEE (np.:10Base5, 10Base2, 10BaseT, 100BaseTX, 100/1000BaseFX) oraz ANSI są najbardziej typowymi technikami, wykorzystywanymi przy tworzeniu lokalnych sieci TCP/IP. W przypadku implementacji rozległej sieci szkieletowej w oparciu o stos protokołów TCP/IP łącza między węzłami są zrealizowane z wykorzystaniem standardów szeregowych serii RS-xxx (EIA), bądź zaleceń serii „X" oraz „V" (ITU), dokładniej wspomnianych w rozdziałach dotyczących Zalecenia X.25 (rozdz. 2.3).

4. Zagadnienie integracji architektur TCP/IP oraz X.25

Jak wspomniano we wstępie niniejszego opracowania, dwa obszary sieci pracujące pod nadzorem różnych stosów protokołów są w pełni zintegrowane, gdy możliwa jest między nimi płynna, a zarazem przeźroczysta dla użytkowników współpraca na poziomie logicznym oraz fizycznym. Współpraca taka oznacza w szczególności możliwość wzajemnej wymiany danych, współdzielenie zasobów oraz zdalną pracę z wykorzystaniem aplikacji typu klient-serwer.

Osiągniecie takiego stanu w przypadku stosu TCP/IP i Zalecenia X.25 nie wydaje się rzeczą łatwą, wziąwszy pod uwagę znaczne rozbieżności obu implementacji. Rozbieżności te są zauważalne już w najniższej warstwie fizycznej, a zdecydowanie pogłębiają się w kolejnych warstwach łącza danych oraz sieciowej[1]. Protokoły warstw wyższych, w tym również warstwy aplikacji[2] różnią się od siebie tak diametralnie, że podobieństw pomiędzy nimi można się doszukiwać co najwyżej w zakresie usług oferowanych użytkownikowi. I tak odpowiednikami usług TCP/IP, jak np.: FTP, Telnet, SMTP, DNS, SNMP; są protokoły FTAM, VTP, MHS, DS, CMIP wykorzystujące do celów transportowych stos X.25.

W kolejnych podrozdziałach przedstawiono szczegółową analizę możliwości integracji środowisk TCP/IP oraz X.25 w odniesieniu do kolejnych warstw logicznych obu implementacji.

---

[1] Ze względu na różne nazewnictwo warstw logicznych, przyjęte w architekturze TCP/IP oraz Zaleceniu X.25 autor stosuje terminologię określoną w Warstwowym Modelu Odniesienia ISO-OSI.

[2] Mówiąc o porównaniu protokołów warstw wyższych w przypadku Zalecenia X.25 punktem odniesienia może być jedynie architektura OSI, której aplikacje wykorzystują do realizacji usług połączeniowych stos X.25.

4.1. Różnice w implementacji protokołów warstw fizycznej oraz łącza danych

Warstwa fizyczna, definiująca elektryczne i mechaniczne parametry łączy transmisyjnych nastręcza stosunkowo najmniej problemów w procesie integracji środowisk TCP/IP oraz X.25. Jak pokazano w rozdz.2.3 i 3.3 obie architektury wykorzystują do swoich celów szerokie spektrum dostępnych standardów komunikacyjnych, a duża część z nich (dot. szczególnie szeregowych interfejsów cyfrowych, stosowanych przeważnie w sieciach WAN) jest współdzielona. Tak więc w najprostszym przypadku zgodność TCP/IP z Zaleceniem X.25 można uzyskać poprzez odpowiedni dobór typu interfejsu sieciowego (np.:V.24, V.35, V.36, RS-232, RS-530) po obu stronach połączenia. Gdy zastosowanie identycznych interfejsów cyfrowych nie jest możliwe, lecz nadal obie strony zakładają wykorzystanie łącza szeregowego – rozwiązaniem jest konwersja sygnałów. W chwili obecnej na rynku dostępna jest bogata oferta sprzętowych konwerterów, pozwalających projektantom na swobodne poruszanie się wśród zaleceń serii „V", „X" (ITU) oraz rodziny standardów RS-xxx (EIA).

Niestety, konwersja sygnałów elektrycznych nie jest rozwiązaniem uniwersalnym. W przypadku środowisk LAN standardy fizyczne łączy (10Base5, 10BaseT, 100BaseTX itp.) są nierozerwalnie kojarzone z protokołami warstwy łącza danych (a dokładniej podwarstwy MAC) – serii IEEE 802.x. Dopiero podwarstwa LLC (802.2 lub SNAP), jednakowa dla wszystkich protokołów transportu danych serii 802.x, oferuje spójność wymaganą przez oprogramowanie na wyższych poziomach. Z kolei odpowiednikiem 802.2/SNAP są protokoły PPP, HDLC, LAPB (rozdz.2.2, 3.3) dla cyfrowych interfejsów szeregowych[3]. Zapewnienie połączenia pomiędzy typową siecią lokalną TCP/IP (np.10BaseT+802.3+802.2) a łączem X.25 (np.X.21+LAPB) wymaga nie tylko konwersji sygnałów elektrycznych, ale również translacji protokołów warstwy łącza danych.

Wspomniane wcześniej konwertery sygnałów nie są w stanie sprostać temu zadaniu. Translacja nawet niezbyt skomplikowanych protokołów, jak protokoły warstwy drugiej Modelu Odniesienia ISO-OSI jest operacją bardzo trudną. Pierwszym problemem jest odmienny format ramek, co oznacza konieczność emulacji tych pól ramki, które nie występują po obu stronach połączenia. Dodatkowo, nie ma żadnej gwarancji, że pola wspólne, występujące w ramkach obu protokołów, mają takie samo znaczenie. Dotyczy to szczególnie pól adresowych, występujących niemal we wszystkich typach ramek, lecz odmiennie interpretowanych, np. w IEEE 802.3 (TCP/IP) oraz w LAPB (X.25).

Format ramki jest niejako „stałym" elementem protokołu, który można poddać translacji po rozwiązaniu wyżej wspomnianych problemów. Zdecydowanie trudniejszą kwestią jest emulacja zasad funkcjonowania (nawiązywanie/usuwanie połączenia, sygnalizacja błędów,

---

[3] typ interfejsu synchroniczny bądź asynchroniczny nie ma znaczenia w tym przypadku.

mechanizmy kontrolne połączenia itp.), stanowiących sedno każdego protokołu. Trzymając się poprzedniego przykładu, LAPB oferuje połączeniowy tryb pracy, z wyraźnie zaznaczonymi fazami: nawiązania połączenia, transmisji danych, kasowania połączenia (rozdz. 2.2); gdy tymczasem jego odpowiednik IEEE 802.2 realizuje tryb bezpołączeniowy, składający się wyłącznie z fazy przesyłania danych. Ponadto LAPB posiada zaimplementowane zaawansowane mechanizmy kontroli przepływu, kontroli błędów wraz z systemem potwierdzeń i retransmisji, które w przypadku protokołów IEEE 802.2/802.3 występują w szczątkowej formie (mechanizmy kontrolne zaimplementowane są w wyższych warstwach stosu TCP/IP).

Reasumując, translacje protokołów wykonywane na poziomie drugiej warstwy modelu ISO-OSI zdarzają się sporadycznie. Urządzenia sieciowe tej warstwy – nazywane mostami *(ang. bridge)* bądź przełącznikami *(ang. switch)* – często konwertują sygnały elektryczne w obrębie danych technologii (np. stosowanych w sieciach LAN bądź w sieciach WAN). Natomiast ich oprogramowanie systemowe jest zazwyczaj niewystarczające do wykonania translacji protokołów warstwy łącza danych. Wyjątek od reguły stanowi technika nazywana *translational bridging*, umożliwiająca integrację segmentów sieci Ethernet/802.3 z segmentami sieci Token Ring (802.5). Oba protokoły są wystarczająco zbliżone do siebie w kwestii zasad funkcjonowania, natomiast format, rozmiar oraz znaczenie poszczególnych pól ramki stosowanej w obu standardach pozwalają na dokonanie pełnej translacji pomiędzy nimi. Inną techniką, łatwiejszą w implementacji i w związku z tym stosowaną znacznie częściej (np.w protokole PPP), jest tzw. *encapsulated bridging*, używany w przypadku trzech segmentów sieci, z których dwa skrajne są zrealizowane w tej samej technologii, natomiast środkowy segment (oddzielający) różni się od pozostałych. Ramki protokołów z segmentów skrajnych są w całości przenoszone w polu danych ramki protokołu z segmentu oddzielającego. Mosty graniczne segmentów odpowiadają za poprawny przebieg procesu enkapsulacji/dekapsulacji ramek.

Translational bridging umożliwia komunikację urządzeń z różnych segmentów sieci, natomiast *encapsulated bridging* pozwala jedynie na komunikację urządzeń z jednakowych segmentów poprzez segment(y) różny. Należy pamiętać, że żadna z wymienionych wyżej metod nie jest zestandaryzowana, tzn. ich implementacje silnie zależą od producenta i mogą być niekompatybilne między sobą. Ta ostatnia technika zazwyczaj implementowana jest w urządzeniach warstwy sieciowej – routerach. Jeżeli informacje protokołów warstwy drugiej nie są istotne dla działania aplikacji, routery przekazują jedynie pole danych ramki (pakiety warstwy trzeciej) pomiędzy obszarami. W takim przypadku urządzenie warstwy sieciowej posiada oprogramowanie systemowe wystarczające do integracji segmentów pracujących w różnych technologiach.

4.2. Różnice na poziomie warstwy sieciowej

Protokoły warstwy sieciowej modelu ISO-OSI odpowiadają między innymi za dostarczenie pakietów danych do dowolnego urządzenia w sieci zgodnie ich adresami docelowymi. Większość trudności napotykanych w procesie translacji protokołów warstwy łącza danych (rozdz.4.1), tj. niezgodność formatu/rozmiaru pakietu, odmienna interpretacja poszczególnych pól, różne tryby pracy; jest spotykana również w warstwie sieciowej. Niemniej jako że stopień złożoności protokołów tego poziomu jest znacznie większy, również skala problemów nasila się odpowiednio. Dotyczy to zarówno „stałych" komponentów protokołu (format pakietu, sposób adresacji), jak i zasad funkcjonowania, obejmujących mechanizmy kontroli przepływu, detekcji błędów, wyznaczania marszrut pakietów – czyli szeroko pojęte mechanizmy utrzymaniowe sieci.

Porównując protokoły IP architektury TCP/IP oraz X.25 PLP, należy zaznaczyć, iż środowisko TCP/IP zostało zaprojektowane z myślą o sieciach typu BMA *(ang. Broadcast Multiaccess)*, gdy tymczasem Zalecenie X.25 definiuje zasady dostępu do sieci typu NMBA *(ang. Non-Broadcact Multiaccess)*. Protokoły sieci BMA z definicji wykorzystują mechanizmy rozgłoszeń do realizacji wielu funkcji utrzymaniowo-diagnostycznych, jak również do tworzenia wirtualnych grup użytkowników korzystających z tych samych usług. Przykładem są tutaj protokoły mapowania adresów ARP, RARP oraz szeroka gama usług multimedialnych, wykorzystujących pakiety typu multicast. W środowiskach NMBA mechanizmy rozgłoszeniowe muszą być emulowane za pomocą wyznaczonych do tego celu urządzeń wyposażonych w odpowiednie oprogramowanie (np. LANE w sieciach ATM).

Kolejną zasadniczą różnicą jest tryb pracy – połączeniowy dla X.25 PLP (rozdz.2.1), a bezpołączeniowy dla IP. Konsekwencją tego faktu jest szereg procedur związanych z nawiązywaniem/usuwaniem połączenia obecnych w X.25 PLP, a nie mających swoich odpowiedników w IP. Oznacza to – podczas prób integracji – konieczność emulowania połączeniowego trybu pracy w środowisku IP, oraz bezpołączeniowego trybu pracy w środowisku X.25.

Podczas integracji nie bez znaczenia jest logiczna organizacja sieci TCP/IP oraz X.25, mająca swe odbicie w strukturach adresów IP i X.121. Obie struktury są hierarchiczne, tzn. występuje wyraźny podział adresu na część sieciową oraz identyfikator urządzenia. Przy czym adresacja IP może posiadać znacznie więcej poziomów hierarchii (podział na podsieci logiczne), co utrudnia wzajemne odwzorowanie obu struktur. Pomimo pewnego podobieństwa w organizacji przestrzeni adresowych sposób komutacji pakietu od źródła do

miejsca docelowego istotnie różni się dla obu środowisk. Sieci pakietowe X.25[4] wykorzystują adres jedynie w celu zestawienia wirtualnego połączenia end-to-end poprzez węzły sieci pakietowej (przełączniki X.25), natomiast w fazie przesyłania danych używane są identyfikatory połączeń VCI (rozdz.2) o znaczeniu lokalnym dla każdego połączenia. Przełączniki kojarzą odpowiadające sobie kanały VCI i przekazują pakiety pomiędzy nimi zgodnie z VCI pakietów oraz własną tablicą przełączania. Po usunięciu połączenia identyfikatory VCI są przekazywane do puli wolnych identyfikatorów, o ile nie jest to połączenie stałe *(ang. permanent)*.

Odmiennie węzły sieci TCP/IP (routery) posiadają oprogramowanie pozwalające na bieżąco wyznaczyć kierunek odpowiedni dla pakietu o danym adresie docelowym. Dynamiczne protokoły routingu układają tablicę marszrut dla każdego węzła sieci z osobną, wyznaczającą tzw. „węzeł następnego skoku" dla zadanych adresów. W konsekwencji trasa end-to-end pakietów IP nie jest znana podczas przesyłu informacji. Może się nawet zdarzyć, że pakiety jednakowo zaadresowane osiągają miejsce przeznaczenia różnymi drogami i w różnej kolejności, zależnie od topologii sieci.

Jak wynika z przytoczonych przykładów, wspólną cechą protokołów IP oraz X.25 PLP jest co najwyżej usługa transportu pakietów pomiędzy dwoma punktami sieci, świadczona protokołom warstw wyższych. Natomiast różnice w sposobach działania obu protokołów są na tyle duże, że translacja w ogóle nie jest brana pod uwagę w praktycznych implementacjach. Analogicznie do opisanej w poprzednim rozdziale techniki *encapsulated bridging*, często wykorzystywaną metodą wymiany danych w heterogenicznych sieciach jest tunelowanie. Całe pakiety jednego protokołu warstwy trzeciej są przenoszone w polu danych pakietów innego protokołu. Jakkolwiek, ta technika pozwala na komunikację pomiędzy użytkownikami pracującymi w sieciach jednakowego typu. Wymiana danych pomiędzy użytkownikami sieci różnego typu możliwa jest wyłącznie poprzez zastosowanie urządzenia o nazwie *gateway*. Posiada ono pełną implementację obu architektur TCP/IP oraz OSI - wykorzystującą Zalecenie X.25 w trzech najniższych warstwach – i dodatkowo ma możliwość programowego przełączania pakietów w warstwie co najmniej czwartej (transportowej).

---

[4] Termin „sieć X.25" jest określeniem nieformalnym, jako że Zalecenie X.25 definiuje jedynie styk z siecią pakietową, nie zaś samą sieć. W tym przypadku sieć X.25 oznacza sieć pakietową zbudowaną z przełączników X.25.

5. Praktyczna realizacja współpracy środowisk TCP/IP oraz X.25

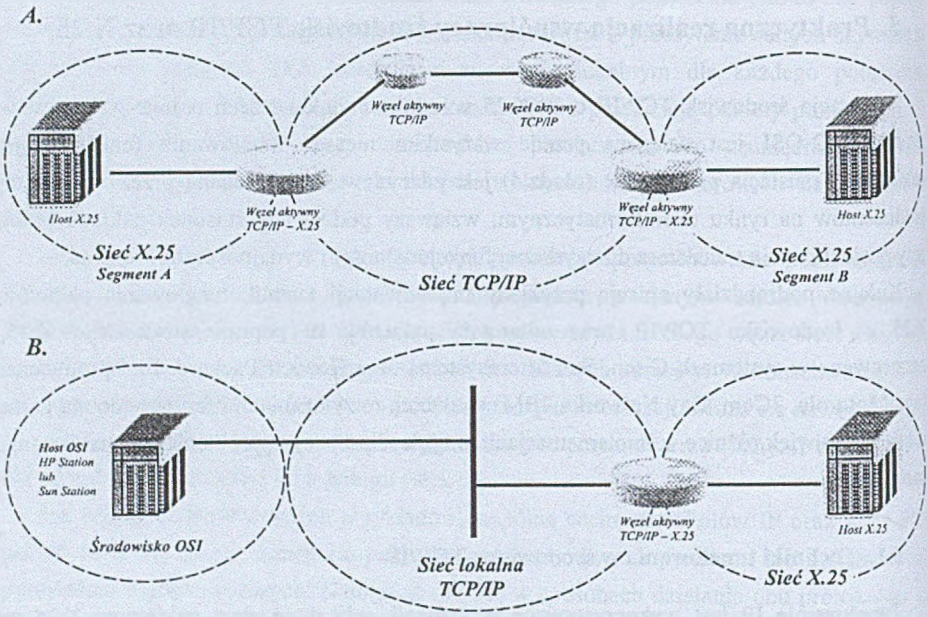
Integracja środowisk TCP/IP oraz X.25 w odniesieniu do trzech najniższych warstw modelu ISO-OSI jest osiągana przede wszystkim metodą tunelowania (enkapsulacji) pakietów. Translacja protokołów (rozdz.4) jest zdecydowanie odrzucana przez wiodących producentów na rynku teleinformatycznym, wziąwszy pod uwagę stosunek nakładu pracy przy projektowaniu translatora do uzyskanej funkcjonalności i wydajności rozwiązania.

Kolejne podrozdziały opisują przykłady implementacji technik tunelowania pakietów X.25 w środowisku TCP/IP, oraz odwrotnie pakietów IP poprzez środowisko X.25; zastosowane w systemach Cisco, Sun Microsystems oraz Hewlett Packard. Inni producenci (np.: Motorola, 3Com, Bay Networks, IBM) w swoich rozwiązaniach oferują podobną gamę usług, jakkolwiek różnice w implementacjach mogą być przyczyną problemów w nawiązaniu komunikacji.

5.1. Techniki tunelowania w środowisku TCP/IP

Tunelowanie IP jest wykorzystywane w sytuacji, gdy dwie sieci pakietowe X.25 są odseparowane od siebie siecią TCP/IP. Najczęściej punktem styku obu środowisk jest węzeł aktywny sieci – router – na którym spoczywa obowiązek utworzenia i utrzymania wirtualnego tunelu, w którym przesyłany będzie ruch X.25. Sytuację taką przedstawia rysunek 5a. Ponieważ w architekturze TCP/IP dopiero protokół warstwy transportowej TCP oferuje połączeniowy tryb pracy – analogiczny do oferowanego przez X.25 PLP – dlatego jest on wykorzystywany do utworzenia tunelu. Odebrane z sieci A żądanie nawiązania połączenia (*call request*) z komputerem znajdującym się w sieci B powoduje zestawienie połączenia TCP (rozdz.3.1) na numer portu 1998 pomiędzy brzegowymi routerami obu obszarów. Gdy kanał TCP jest zestawiony, pakiet call request zostaje przesłany do segmentu B i zostaje wykonana procedura nawiązania połączenia X.25 (rozdz.2.1). Po zakończeniu wymiany danych, gdy jedna ze stacji zdecyduje się przerwać połączenie, wysyła pakiet *clear request*, powodujący usunięcie połączenia X.25. Routery graniczne usuwają niepotrzebne już połączenie TCP, jak tylko procedura rozłączenia kanału X.25 zostanie dopełniona.

Inny przypadek stanowi połączenie komputera z zaimplementowanym stosem OSI, dołączonego do sieci lokalnej – najczęściej TCP/IP – z siecią pakietową X.25 (rys.5b). Punkty styku pomiędzy środowiskami TCP/IP i X.25 przebiegają w strukturze stosu OSI komputera jeden, oraz w routerze drugi – analogicznie do przykładu poprzedniego.



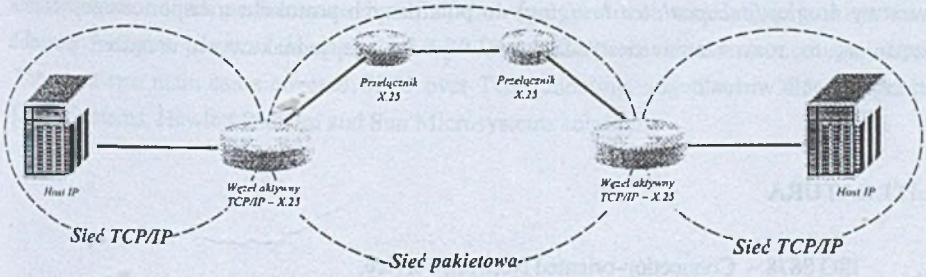
Rys. 5. Przykład sieci heterogenicznej z segmentem TCP/IP rozdzielającym segmenty X.25: A) sieć rozległa WAN; B) Sieć lokalna LAN

Fig. 5. Example of heterogenous network, where TCP/IP segment divides X.25 segments: A) Wide Area Network – WAN; B) Local Area Network – LAN

Tryb połączeniowy w segmencie sieci lokalnej jest realizowany dzięki odmianie protokołu warstwy łącza danych IEEE 802.2 LLC2, która może być przenoszona w ramkach 802.3/Ethernet na równi z IEEE 802.2 LLC1 (usługi bezpołączeniowe dla protokołu IP). Oczywiście implementacja stosu OSI w stacji dołączonej do sieci lokalnej musi być odpowiednio dostosowana, aby móc skorzystać z możliwości sieci lokalnej, jak również oprogramowanie routera powinno umożliwiać obsługę tunelu LLC2. Przykładem takich implementacji jest oprogramowanie systemowe Sun Microsystems SOLSTICE OSI 8.1.1 (rys.5b) lub Hewlett Packard OTS C.05.0x.

5.2. Techniki tunelowania w środowisku X.25

Niniejszy rozdział przedstawia techniki tunelowania ruchu IP przez sieć X.25. Węzły na obu krańcach obszaru X.25 zestawiają między sobą połączenie (tunel) zgodnie z procedurą nawiązania połączenia, opisaną w rozdziale 2.1. Zdalny router, który ma obsługiwać drugi koniec wirtualnego tunelu, jest określany na podstawie statycznych wpisów kojarzących adresy IP stacji zdalnych z odpowiednimi adresami X.121. Również interfejsy X.25 posiadają przypisane własne adresy IP (implementacja Cisco IOS), wymagane dla celów routingu w segmentach TCP/IP. Pakiety IP są przenoszone w polu danych pakietów X.25, po czym przekazywane do zdalnego segmentu.



Rys. 6. Przykład sieci heterogenicznej z segmentem X.25 rozdzielającym segmenty TCP/IP

Fig. 6. Example of heterogenous network, where X.25 segment divides TCP/IP segments

Sposób enkapsulacji zależy ściśle od typu protokołu, który ma być przenoszony przez tunel. Implementacja Cisco IOS jest zgodna z RFC 1356, ponadto dla protokołów nie ujętych tym dokumentem stosowane są rozwiązania firmowe. Przykładem jest tutaj tunelowanie protokołów 802.2/802.3 (*transparent bridging*), nie opisane w RFC 1356, którego obsługa jest uwzględniona w systemach operacyjnych routerów.

6. Podsumowanie

W praktyce integracja środowisk TCP/IP oraz X.25 możliwa jest jedynie przy wykorzystaniu techniki tunelowania. Metoda translacji sprawdza się w sporadycznych przypadkach, gdy różnice pomiędzy protokołami są nieznaczne, tzn. na poziomie warstwy łącza danych. Tunelowanie pakietów jest zazwyczaj zadaniem routerów brzegowych poszczególnych obszarów sieci heterogenicznej, które z racji pełnionych funkcji muszą mieć zaimplementowane oba wymagane stosy protokołów, przynajmniej w zakresie trzech pierwszych warstw modelu ISO-OSI. W praktycznych implementacjach zazwyczaj możliwe jest tunelowanie pakietów zarówno przez środowisko TCP/IP, jak i przez środowisko X.25. Dodatkowo oprogramowanie systemowe oferuje możliwość enkapsulacji protokołów warstwy drugiej (*encapsulated bridging*) do pola danych protokołu transportowego, jednak często są to rozwiązania niestandardowe, wymagające jednakowych urządzeń po obu stronach tunelu wirtualnego.

LITERATURA

1. ISO 8878 – Connection-oriented Network Service.
2. ISO 8208 – X.25 Packet Level Protocol.
3. ISO 7776 – X.25 Frame Level Protocol.
4. ISO 8348 – Network Service Definition.
5. Cisco IOS Documentation. Cisco Systems Inc, San Jose 1998.
6. Hunt C.: Administracja sieci TCP/IP. Oficyna Wydawnicza READ ME, Warszawa 1996.
7. Papir Z. (red): Sieci z komutacją pakietów od X.25 do Frame Relay i ATM. Wydawnictwo Fundacji Postępu Telekomunikacji, Warszawa 1996.
8. Nowicki K., Woźniak J.: Sieci LAN, MAN i WAN – protokoły komunikacyjne. Wydawnictwo Fundacji Postępu Telekomunikacji, Warszawa 1998.
9. Ballew S.: Zarządzanie sieciami IP za pomocą routerów Cisco. Oficyna Wydawnicza READ ME, Warszawa 1998.

Recenzent: Dr inż. Rafał Cupek

Wpłynęło do Redakcji 3 kwietnia 2000 r.

Abstract

There is general network architectures integration problem pointed out in this study, according to TCP/IP and X.25 environments taken as an example. Chapters second and third cover basic information about both network architectures needed to full understanding all concepts described further. Logical construct of both protocol stacks and some operations performed during usual operating are figured out, as needed. Chapter 4 covers detailed protocol integration possibility analysis, starting from physical layer, through data link layer protocols, ending on network layer protocols. Two general methods are described: protocol translation and protocol tunneling, as a way of network integration. In conclusion, the protocol tunneling method is choosen as a preferred solution, because of easier implementation and performance benefits, however protocol translation is also used. Chapter 5 shows practical examples of TCP/IP and X.25 environments communication. There are two main cases covered: X.25 over TCP tunneling, and IP over X.25 one, using Cisco Systems, Hewlett Packard and Sun Microsystems solutions.