

Spis treści

1.	Wprowadzenie.....	3
2.	System X.25	5
2.1	Informacje wstępne	5
2.2	Protokoły związane z X.25	9
2.3	Warstwa fizyczna X.25	11
2.4	Warstwa łącza danych X.25	13
2.4.1	Informacje wstępne.....	13
2.4.2	Struktura ramki	14
2.4.3	Raportowanie stanu i reakcja na błędy	16
2.4.4	Ramki LAPB	21
2.5	Procedury poziomu LAPB.....	26
2.5.1	Podstawowy i rozszerzony tryb funkcjonowania.....	26
2.5.2	Adresowanie	26
2.5.3	Wykorzystanie bitu P/F	27
2.5.4	Procedura ustanawiania łącza danych	27
2.5.5	Faza wymiany informacji	28
2.5.6	Likwidacja połączenia	28
2.5.7	Rozłączenie	29
2.5.8	Rozstrzygnięcie kolizji	30
2.5.9	Procedury wymiany informacji	30
2.5.10	Resetowanie i reinicjalizacja łącza	35
2.5.11	Procedura wielopunktowa.....	37
2.6	Warstwa sieciowa X.25	39
2.6.1	Informacje wstępne.....	39
2.6.2	Format pakietu X.25	39
2.6.3	Zestawianie połączeń wirtualnych	45
2.6.4	Rozłączanie połączeń.....	48

2.6.5	Wymiana danych i sterowanie	51
2.6.6	Rejestracja profilu udogodnień	60
2.7	Mechanizmy obsługi przepływów	61
2.7.1	Okienkowy mechanizm sterujący	61
2.7.2	Segmentacja i składanie pakietów.....	64
2.8	Interfejsy do innych sieci rozległych	65
2.8.1	Integracja sieci ISDN i X.25	66
2.8.2	Protokół X.32	73
2.8.3	Protokół X.75	73
2.9	Udogodnienia	74

1. Wprowadzenie

Protokół X.25 jest najstarszym i najbardziej popularnym standardem międzynarodowym sieci rozległych o przepływności od 64 kbit/s do 2 Mbit/s ustanowionym przez CCITT/ITU-T, która przyjęła w roku 1976 zalecenie X.25 zatytułowane „*Interface Data Terminal Equipment (DTE) and Data Circuit Terminating Equipment (DTE) Terminals Operating In The Packet Mode and Connected To Public Data Network Dedicated Circuit*”. X.25 jest zestawem protokołów działającym na łączu stałym lub na linii dzierżawionej, będących interfejsem pomiędzy hostem (lub innym urządzeniem) pracującym w trybie pakietowym, a siecią PSPDN.

Nawiązanie w 1978 roku połączenia pomiędzy siecią Telenet (USA) i (Kanada) wskazało na potrzebę rozwinięcia technik komunikacji międzysieciowej. W związku z tym powstało kolejne zalecenie X.25 pod tytułem „*Packed Signalling System Between Public Networks Providing Data Transmission*”. Dokumenty CCITT/ITU-T przyjęte w następnych latach pozwoliły na spopularyzowanie logiki X.25, co z kolei umożliwiło wejście na rynek wielu dostawców sprzętu komputerowego i sieciowego. Technologia ta powoduje również zwiększenie zainteresowania i migrację producentów i klientów do szerokopasmowych technologii sieci rozległych, takich jak Frame Relay i ATM.

Protokół X.25 określa interfejs do sieci PSPDN lub dokładniej interfejs urządzeń DTE/DCE (*Data Terminal Equipment/Data Circuit Terminating Equipment*) pomiędzy hostami pracującymi synchronicznym trybie pakietowym i sieciami PSPDN. Protokoły X.25 nie definiują jednak wewnętrznej architektury ani sposobu działania sieci PSPDN. Za te elementy, odpowiedzialni są z reguły dostawcy usług PSPDN, z których każdy korzysta z własnych rozwiązań.

Typowymi elementami systemu X.25 są trzy podstawowe typy urządzeń DTE:

- host z interfejsem X.25;
- urządzenie PAD (*Packet Assembler/Disassembler*), które odbiera asynchronicznie

znaki wysyłane z terminali, tworzy z nich pakiety i wysyła je za pomocą sieci oraz zamienia odbierane pakiety na znaki i przekazuje do terminali;

- bramka pomiędzy siecią PSPDN i siecią lokalną (typ ten jest najbardziej interesujący z punktu widzenia zastosowań sieci lokalnych).

Dostęp pomiędzy DTE i DCE jest z reguły zapewniany przez linię dzierżawioną pracującą w trybie synchronicznym. Linia ta może być analogowa lub cyfrowa (także ISDN), w zależności od wymagań i dostępności. Dodatkowo, do zakończenia połączenia, wymagana jest para modemów synchronicznych, urządzeń CSU/DSU (*Channel Service Unit/Data Service Unit*) lub adapterów terminali (TA) ISDN.

Wewnętrzna komunikacja w sieciach PSPDN może być realizowana na dwa sposoby:

- Datagramowy, w którym każdemu pakietowi nadawany jest pełny adres źródłowy i docelowy, a następnie pakiet jest wprowadzany do sieci. Metoda ta nie gwarantuje docierania pakietów we właściwej kolejności, a także prowadzi do częstych kolizji, które mogą uniemożliwić osiągnięcie wysokiej efektywności przekazu. Usługa datagramu została usunięta ze standardu X.25 w roku 1980, kiedy zastąpiono ją usługą *Fast Select*.
- Wirtualną komutację łączy, które stanowią połączenia DTE-DTE nawiązane za pomocą pakietów żądania połączenia (*Call Request*) i przyjęcia połączenia (*Call Accept*). Połączenie jest nawiązywane przed wysłaniem danych, tak więc droga pakietów związanych z tym połączeniem zostaje ustalona i nie może być zmieniana doraźnie. W rezultacie wszystkie pakiety docierają do miejsca docelowego w takiej samej kolejności, w jakiej zostały wysłane i nie mogą się powtarzać.

Dowolny host korzysta z wszystkich siedmiu warstw modelu OSI, ale podsieć komunikacyjna wykorzystuje tylko trzy jego najniższe warstwy. I właśnie w tych trzech warstwach umieszczone są protokoły X.25 - w warstwie fizycznej znajduje się protokół odpowiedzialny za transmisję bitów, w warstwie łącza danych - protokół odpowiedzialny za transmisję ramek, zaś w warstwie sieciowej - protokół odpowiedzialny za transmisję pakietów.

Zdecydowaną większość treści niniejszego opracowania poświęcono prezentacji sposobu funkcjonowania oraz zależności występujących pomiędzy funkcjami wymienionych warstw modelu odniesienia systemu X.25.

2. System X.25

2.1 Informacje wstępne

Podstawowe cechy standardu

Standard sieci pakietowej z protokołem X.25 stanowi zbiór protokołów obsługujących styk użytkownika z siecią, techniki komutacji (przełączania) pakietów oraz zasady łączenia terminali (komputerów). Standard ten posiada następujące cechy:

- dopuszcza komutację pakietów o zmiennej długości, z zastosowaniem do ich transmisji trybu połączeniowego (poszczególne pakiety nie muszą zawierać adresów nadawcy i odbiorcy);
- zdolność do tworzenia połączeń wirtualnych, gwarantujących przybywanie pakietów do użytkownika końcowego w tej samej kolejności, w jakiej zostały wysłane;
- implementację rozbudowanego systemu korekcji błędów i sterowania przepływem, dzięki czemu każdy węzeł jest w stanie sprawdzić poprawność odebranego pakietu przed dalszym jego wysłaniem;
- wykrywanie nieprawidłowości informacji przez dowolny węzeł na trasie przekazu, powodujące żądanie retransmisji błędnego pakietu i nadmiarowość w transmisji pakietów (co jednak powoduje zmniejszenie ogólnej przepustowości sieci);
- niezawodny przekaz informacji przez łącza o niższej jakości (ale z jej niekontrolowanym opóźnieniem);
- zapewnianie współpracy z liniami transmisyjnymi o standardowej przepływności do 64 kbit/s z rozszerzeniem (od 1993 r.) do 2 Mbit/s.

Funkcjonowanie sieci X.25 i technika przełączania pakietów są określone następującymi zaleceniami:

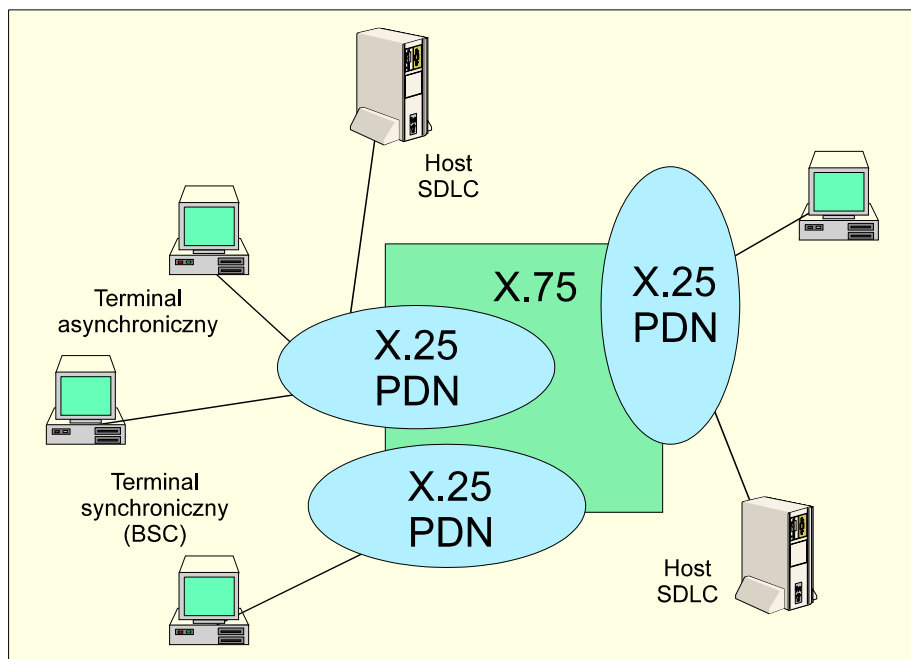
- X.3 funkcjonowanie urządzeń konwersji pakietowej PAD;
- X.25 funkcje interfejsu między DCE i DTE (sieci publiczne);
- X.28 format komunikacji między terminalem a multiplekserem PAD;
- X.29 format komunikacji między hostem a multiplekserem PAD;

- X.32 synchroniczna transmisja przez sieci komutowane;
- X.75 procedury kontroli międzysieciowej systemów X.25.

Protokół X.25 odwołuje się do wielu innych zaleceń CCITT stanowiących jego funkcje składowe. Należą do nich zalecenia:

- X.1 definiowanie klas użytkowników;
- X.2 dostępne udogodnienia;
- X.10 kategorie dostępu;
- X.92 połączenia w synchronicznej sieci transmisji danych;
- X.96 rozszerzanie połączeń;
- X.121 sposób adresacji sieciowej;
- X.213 usługi sieciowe.

Strukturę systemu X.25 przedstawiono na rys. 1.



Rys. 1. Struktura systemu X.25

Multiplekser sieciowy PAD

Bezpośrednie włączenie do sieci pakietowej X.25 prostych terminali działających w trybie asynchronicznym (znakowym) nie jest możliwe, ponieważ nie generują one standardowych pakietów. Do przyłączenia asynchronicznego urządzenia DTE wymagana jest zatem instalacja od strony sieci multipleksera sieciowego specjalnego typu (*Packet Assembler Disassembler - PAD*), wyposażonego w porty zamieniające strumień danych asynchronicznych na pakiety

przesyłane w sieci X.25 (i odwrotnie).

Poziom warstwa fizycznej ze stykiem X.21

Poziom warstwa fizycznej określa charakterystyki mechaniczne, elektryczne, funkcjonalne oraz proceduralne niezbędne do aktywacji, utrzymania i likwidacji łączy fizycznych między DTE i DCE. Zasadniczym elementem warstwy fizycznej protokołu X.25 są styki fizyczne z medium transportowym według zaleceń: X.21 i X.21-bis oraz inne, zgodnie z zaleceniami EIA: EIA/TIA-232, EIA/TIA-449, EIA-530, a także ITU (G.703). Zgodnie z najbardziej popularnym zaleceniem X.21-bis możliwe są połączenia dwupunktowe, synchroniczne i transmisja dwupunktowa przez czteroprzewodowe medium transmisyjne. Zasady wykrywania uszkodzeń interfejsu fizycznego, testowania toru i procedur ich stosowania winny być również zgodne z tym protokołem.

Protokół LAP-B poziomego łącza danych (format ramki)

Stosowany w sieciach pakietowych protokół LAP-B (*Link Access Procedure-Balanced*) jest podzbiorem standardu komunikacyjnego HDLC działającego w warstwie łącza danych, korzystającym jedynie z niektórych rozwiązań standardu HDLC. Protokół jest przeznaczony do komunikacji dwupunktowej w trybie asynchronicznym. Istnieją dwa sposoby sekwencyjnej numeracji ramek: podstawowy (modulo 8) i rozszerzony (modulo 128) oraz trzy typy ramek o różnych funkcjach.

Zasadniczym zadaniem protokołu LAP-B jest bezbłędne przesyłanie ramek przez kanały o dużym prawdopodobieństwie występowania przekłamań. Dopuszcza się stosowanie na poziomie łącza danych również pełnego protokołu HDLC, jednak korzystanie z protokołu LAP-B jest bardziej efektywne i częściej stosowane.

Wirtualizacja połączeń

Pakiety w sieciach X.25 są przesyłane za pomocą połączeń wirtualnych, stanowiących kanał logiczny łączący dwóch użytkowników. W połączeniu wirtualnym pakiety są przesyłane sekwencyjnie i odbierane w miejscu przeznaczenia w takiej samej kolejności, w jakiej zostały nadane. Zasada numeracji pakietów wewnątrz połączenia wirtualnego jest identyczna z numeracją ramek protokołu HDLC tj. odbywa się oddzielnie dla każdego z kierunków transmisji. Liczba połączeń wirtualnych w jednym łączy transmisyjnym nie może przekraczać 4096.

Za pomocą protokołu X.25 można organizować dwa typy połączeń wirtualnych:

- stałe połączenia wirtualne PVC (*Permanent Virtual Circuit*), ustanawiane w sposób trwały (przez operatora sieci) pomiędzy użytkownikami końcowymi. Połączenia PVC są odpowiednikami łączy dzierżawionych - łączą ustalone DTE przez dłuższy okres (dni, miesiące lub lata) i nie wymagają procedur nawiązywania połączeń. W tym sposobie pracy użytkownik realizuje wyłącznie przesyłanie pakietów, co jest szczególnie efektywne dla procesów działających przez dłuższy czas lub wymieniających dane o dużej objętości:
- komutowane połączenia wirtualne SVC (*Switched Virtual Circuit*) - są ustanawiane wyłącznie na czas trwania sesji i rozłączane po jej zakończeniu. Wyróżnia się trzy typy połączeń SVC generowanych za pomocą specjalnych pakietów organizacyjnych jako: przychodzące (DTE wyłącznie otrzymuje połączenia od innych DTE), wychodzące (DTE tylko generuje połączenia do innych DTE) i mieszane (połączenia przychodzące i wychodzące).

Podczas organizowania połączenia wirtualnego typu SVC wyróżnia się trzy fazy: ustanawianie połączenia, przesyłanie pakietów danych i likwidację połączenia. Parametry dotyczące aktualnej trasy połączeniowej są pamiętane w każdym węźle pośredniczącym, a fizyczny przebieg trasy nie jest znany użytkownikom końcowym. Każde wznowienie połączenia (nawet między tymi samymi użytkownikami) może przebiegać inną trasą, natomiast likwidacja połączenia wirtualnego SVC polega na usunięciu z tablic (znajdujących się w kolejnych węzłach) numerów przypisanych do tego połączenia.

Przekaz krótkich wiadomości

Do przesyłania krótkich wiadomości lub sporadycznych transmisji zamiast tworzenia klasycznych połączeń wirtualnych wygodniejsze jest stosowanie metody datagramowej. Przekaz datagramowy nie wymaga pakietów związanych z ustanawianiem i likwidacją połączenia. Protokół X.25 umożliwia stosowanie metody datagramowej do przekazu krótkich komunikatów (do 128 bajtów) dwoma sposobami:

- przesyłania krótkich wiadomości z równoczesnym ustanowieniem połączenia wirtualnego SVC (pakiety typu *Call Request* i *Call Accepted*);
- przesyłania krótkich komunikatów z natychmiastowym rozłączeniem (pakiety typu *Call Request* i *Call Confirmation*).

Adresacja sieciowa X.121

W celu łatwego komunikowania się użytkowników, dołączonych do sieci X.25 w różnych krajach, konieczne jest włączenie do systemu adresowego schematu krajowej i międzynarodowej adresacji sieci publicznych z komutacją pakietów. Sposób adresacji użytkowników sieci pakietowych określa zalecenie X.121, z uwzględnieniem realizacji połączeń międzynarodowych za pomocą: wskaźnika międzynarodowego P (*Prefix*), identyfikatora sieci narodowej DNIC (*Data Network Identification Code*) oraz numeru użytkownika wewnątrz sieci NTN (*Network Terminal Number*). Według zalecenia X.121 wskaźnik P nie wchodzi w skład adresu międzynarodowego.

2.2 Protokoły związane z X.25

Zalecenie X.25 określa sposób synchronicznego połączenia pomiędzy DTE i DCE w celu korzystania z sieci PSPDN. Urządzenia DTE, które nie posiadają protokołu X.25 wbudowanego w oprogramowanie, mogą wysyłać dane do urządzenia PAD, które przekształca je w pakiety X.25. Jako urządzenia PAD działa wiele typów bramek X.25, ponieważ usuwają z ramek sieci lokalnych nagłówki i końcówkę warstwy łącza danych oraz dodają nagłówek X.25 LAPB oraz nagłówek X.25 PLP.

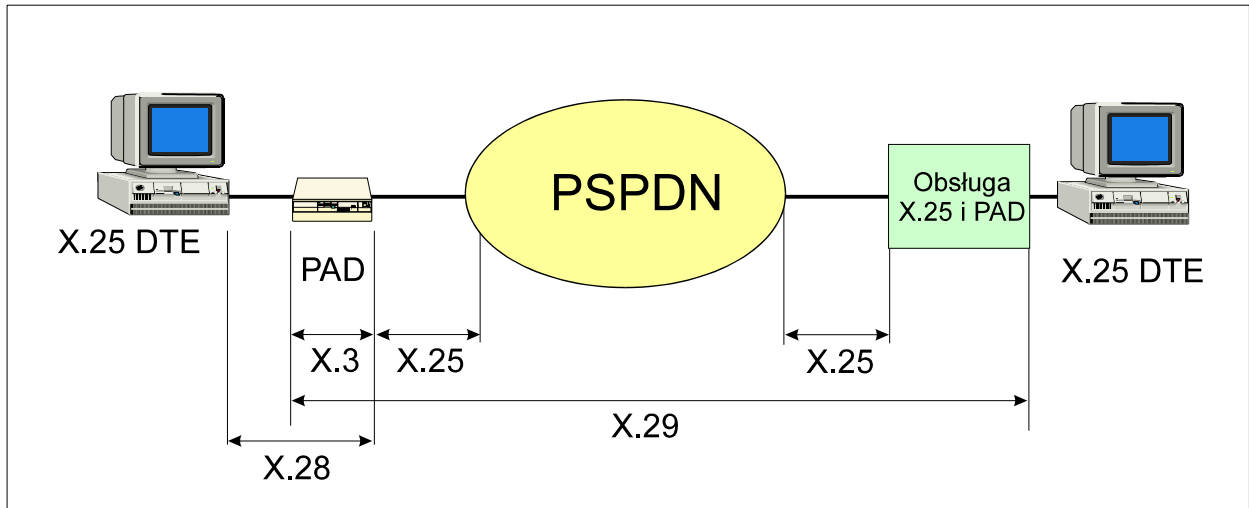
W celu obsługi urządzeń PAD wymagane są dodatkowe protokoły, których skrótowa prezentacja wypełni dalszą część niniejszego podrozdziału. Bardziej szczegółowe informacje znajdują się w odpowiednich standardach ITU-T.

Zalecenie X.3 określa sposób działania urządzenia PAD. PAD musi obsługiwać: nawiązywanie i rozłączanie połączeń wirtualnych, łączenie pakietów w celu wysłania ich w sieć oraz rozdzielanie pakietów w celu dostarczenia ich do terminali. Zalecenie X.3 zawiera dwadzieścia dwa parametry określające profile urządzeń typu PAD. Parametry te wyznaczają szybkość transmisji, sposób sprawdzania parzystości, kontrolę przepływu danych pomiędzy terminalami i urządzeniem PAD oraz sposób obsługi linii.

Zalecenie X.28 definiuje interfejs pomiędzy asynchronicznym terminalem i urządzeniem PAD oraz sposób ich współdziałania. Interfejs ten wymaga dwukierunkowej ścieżki sterowania. Z terminala do urządzenia PAD wysyłane są polecenia odczytu lub modyfikacji parametrów X.3 albo nawiązania lub rozłączenia połączenia wirtualnego. Odpowiedzi wysyłane przez PAD do terminala nazywane są sygnałami usługi.

Zalecenie X.29 określa sposób komunikowania się zdalnego urządzenia DTE z urządzeniem

PAD, np. zdanego hosta komunikującego się z urządzeniem PAD w celu czytania i/lub zmodyfikowania jego parametrów, takich jak sygnał BREAK pomiędzy zdalnym urządzeniem DTE i lokalnym terminalem. Protokół X.29 znajduje się warstwie wyższej niż PLP X.25, ale jako ścieżkę transmisji pomiędzy urządzeniem PAD i hostem wykorzystuje pakiety X.25 (i sieć PSPDN).



Rys. 2. Współpraca protokołów związanych z X.25

2.3 Warstwa fizyczna X.25

Warstwa fizyczna jest najniższym poziomem hierarchii systemu X.25, wykorzystującym (w wyniku włączenia do standardu wielu opcji) zróżnicowane aplikacje sprzętowe. Kompletny opis warstwy fizycznej dowolnego systemu (a więc i X.25) obejmuje następujące specyfikacje:

- mechaniczną - definiującą typy złączy elementów systemowych;
- elektryczną - ustalającą wymaganą postać sygnału oraz jego poziomy;
- proceduralną - gwarantującą zgodność algorytmów sterujących;
- funkcjonalną - opisującą przeznaczenie poszczególnych wyprowadzeń.

Zalecenie X.25 nie poświęca warstwie fizycznej systemu wiele uwagi, odsyłając po szczegółowe informacje do dokumentów związanych, a w szczególności rekomendacji X.21 (styk cyfrowy) i X.21 bis (styk analogowy). Jednakże łańcuch odwołań nie kończy się na wymienionych dokumentach - specyfikacje mechaniczne i elektryczne styków znajdują się w kolejnych zaleceniach, których zestawienie zawiera Tab. 1.

Tablica 1. Specyfikacje styków X.25

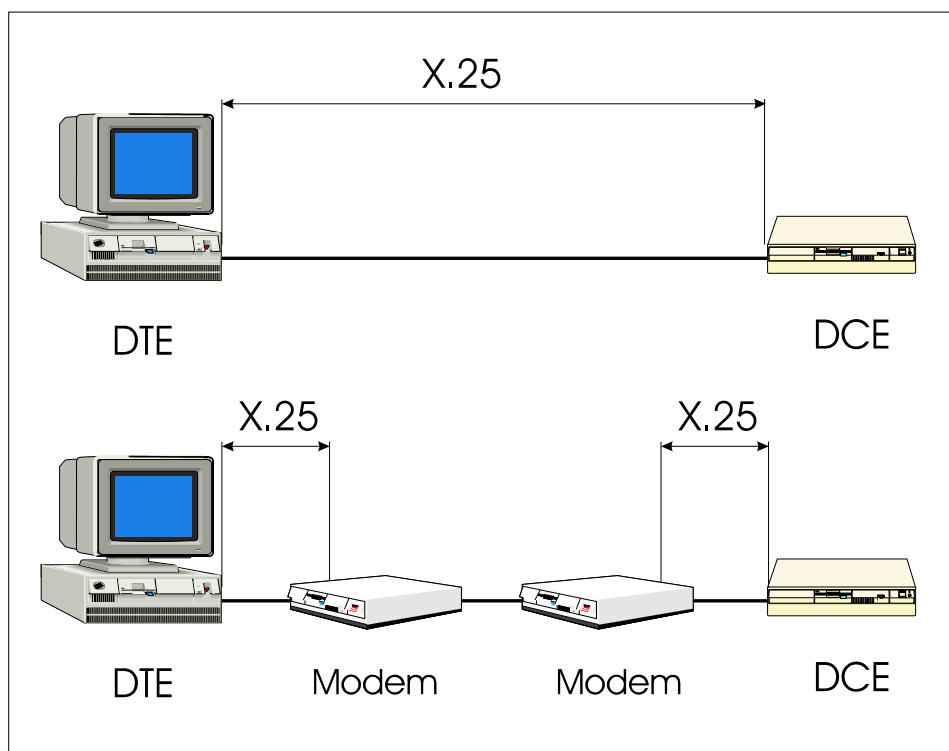
Szybkość	X.21		X.21 bis			
	do 9600 bit/s	powyżej 9600 bit/s	do 9600 bit/s		powyżej 48000 bit/s	
Styk elektryczny	X.26, RS-423 X.27, RS-422	X.27, RS-422	V.28, RS-232	X.26, RS-423	V.35	X.27, RS-422
Styk mechaniczny	ISO 4903		ISO 2110	ISO 4902	ISO 2593	ISO 4902

Podstawową zawartość zalecenia X.21 stanowi specyfikacja styku cyfrowego pomiędzy synchronicznym DTE i węzłem DCE. Przyłączanie kabla powinno być realizowane za pośrednictwem wtyków ISO 4903, natomiast parametry elektryczne muszą odpowiadać zapisom X.26 i X.27, które są funkcjonalnie równoważne dokumentom V.10 i V.11. Z kolei sposób dołączania do sieci cyfrowej elementów asynchronicznych definiują zalecenia X.20 oraz X.24.

Lista zaleceń skojarzonych z X.21 bis obejmuje kolejno: V.28, X.26, V.35 i X.27, przy czym obszar zastosowań V.28 zmniejsza się na rzecz oferującego większe prędkości transmisji i zasięgi V.11. Ewolucyjną wymianę sprzętu umożliwia stosowanie V.10, przy czym dla prędkości powyżej 48 kbit/s celowe jest wykorzystanie X.27 lub V.35. Ostatni z wymienionych dokumentów stanowi kompilację V.28 i V.11, jednakże z uwagi na ustaloną prędkość przekazu

(48 kbit/s) zasięg jego zastosowań jest ograniczony. Szczegółową specyfikację procedur na złączu DTE - modem zawiera dokument V.24, który z uwagi na związek z przestarzałą technologią elementów dyskretnych jest stopniowo wypierany przez wymieniane wcześniej V.11.

Zagadnienie obsługi łącza DTE z modemem nie jest zagadnieniem marginalnym, ponieważ obecne zastosowania protokołu X.25 utrzymują się głównie w obszarze sieci analogowych, gdzie wysoka niezawodność transmisji jest szczególnie trudna do osiągnięcia. W rezultacie z przedstawionych na rys. 3. wariantów dołączania stacji abonenckiej specjalne znaczenie posiada wariant drugi zakładający ucyfrowienie łączy analogowych.



Rys. 3. Obszary stosowania protokołu X.25

2.4 Warstwa łącza danych X.25

2.4.1 Informacje wstępne

Protokół X.25 LAPB (*Link Access Procedure Balanced*) posiada strukturę bazującą na dobrze znanym schemacie ISO/IEC (*International Organization for Standardization/International Electrotechnical Commission*) o nazwie HDLC (*High Level Data Link Control*), przy czym nazwa „zrównoważony” (*balanced*) pochodzi stąd, że sterowanie połączeniem jest rozproszone pomiędzy urządzeniami DCE i DTE: obydwa mogą wydać polecenia inicjujące i kończące połączenie.

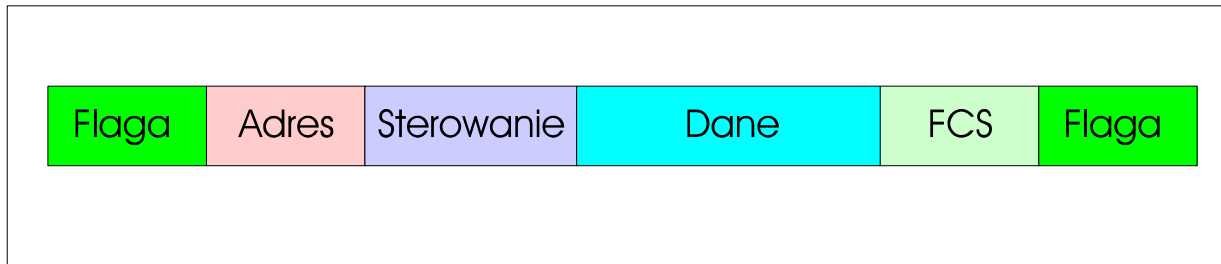
Protokół LAPB został zaprojektowany w celu obsługi połączeń między dwoma punktami pomiędzy urządzeniem DTE (hostem) i DCE (węzłem sieci). Transmisja jest przeprowadzana w trybie szeregowym, synchronicznym i w pełni dwukierunkowym, dzięki czemu możliwa jest realizacja klas usługowych 8 do 11, 26, 30 to 33, 35, 37, 45, 53 i 59 wg klasyfikacji zdefiniowanej zapisami zalecenia X.1. Jeśli wymagane jest aby uszkodzenie pojedynczego łącza nie uniemożliwiało funkcjonowania warstwy pakietowej systemu, możliwe jest wykorzystanie abonowanego na ustalony interwał czasowy, opcjonalnego trybu operacyjnego określanego mianem „multilink”.

Wykorzystanie LAP-B zapewnia operacyjną kompatybilność DCE z klasami usługowymi HDLC, a konkretnie klasą BA, która w wersji 2,8 (synchroniczna LAPB mod 8) jest usługą bazową i powinna być dostępna we wszystkich sieciach. Klasa BA 2, 8 z opcją 10 (synchroniczna LAPB mod 128) stanowi rozszerzenie dostępne na zasadzie nabywanego na określony czas abonamentu, podobnie jak opcja 15 HDLC, którą można wykorzystywać zarówno w trybie BA 2, 8, jak i BA 2, 8, 10 w celu zapewnienia integralnej obsługi transmisji asynchronicznej.

Wybór właściwości proceduralnych każdego łącza danych jest niezależne od wykorzystywanych w pozostałych. Podobnie wybór rozszerzonej opcji numeracyjnej może być dokonany niezależnie od rodzaju procedur poziomu pakietowego

2.4.2 Struktura ramki

Podstawową jednostką wymienianych informacji jest ramka, której strukturę przedstawiono na rys. 4.



Rys. 4. Struktura ramki warstwy łącza

Ramka obejmuje następujące pola informacyjne:

- **Pole flagi** - zawiera stałą sekwencję bitów w postaci 01111110, która wykorzystywana jest do uzyskiwania i utrzymywania synchronizacji. W celu uniknięcia symulowania flagi przez bity danych, w przypadku wystąpienia pięciu kolejnych bitów o wartości 1, sterowanie wprowadza po nich dodatkowe 0, które jest usuwane po stronie odbiorczej. Opisana procedura określana jest jako „zapewniająca przezroczystość bitową”.
- **Pole adresu** - umożliwia formalne oznaczanie ramek nadawanych przez DTE, które w polu adresowym zawierają wartość 00000011 (adres A) i generowanych w DCE sygnowanych bajtem 00000001 (adres B).
- **Pole sterujące** - określa typ przesyłanej ramki, przy czym możliwe są następujące przypadki:
 1. Ramki informacyjne (I) - przenoszące informacje generowane przez warstwy wyższe, w tym dane użytkownika;
 2. Ramki nadzoru (S) - przenoszące potwierdzenia poprawnego odbioru oraz informacje sterujące przepływem;
 3. Ramki nie numerowane (U) - przeznaczone do sterowania stanem łącza (zestawienie i rozłączenie, negocjacja parametrów transmisji, sygnalizowanie błędów itp.).

Zawartość i długość pola sterującego różnią się w zależności od typu ramki. Występujące w praktyce przypadki zestawiono w formie tablic.

Tabela. 2. Postać pola sterującego ramki LAPB

a) wersja podstawowa (modulo 8)

Bity pola sterującego	1	2	3	4	5	6	7	8
Ramka informacyjna	0	N(S)			P	N(R)		
Ramka nadzoru	1	0	S	S	P/F	N(R)		
Ramka nie numerowana	1	1	M	M	P/F	M	M	M

b) wersja rozszerzona (modulo 128)

Bity pola sterującego	Bajt 1								Bajt 2								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	13	15	16	
Ramka informacyjna	0	N(S)							P	N(R)							
Ramka nadzoru	1	0	S	S	X	X	X	X	P/F	N(R)							
Ramka nie numerowana	1	1	M	M	P/F	M	M	M									

Oznaczenia:

- P/F - bit ustawiany w przypadku polecenia, strona odpowiadająca ustawia go w ostatniej ramce przynoszącej wymaganą odpowiedź.
- N(R) - numer ramki oczekiwanej, wartość N(R) - 1 odpowiada ostatniej ramce odebranej poprawnie.
- N(S) - numer ramki nadawanej.
- S - bit funkcji nadzorczych.
- M - bit modyfikacji.
- P - bit Poll.
- X - zarezerwowany i ustawiony na „0”

Numery ramek są wyznaczane niezależnie dla każdego kierunku transmisji, bez rozróżniania kanałów wirtualnych. Potwierdzanie kolejnych ramek może odbywać się w ramach informacyjnych (jeśli transmisja jej dwustronna) lub sterowania (przy transmisji jednokierunkowej)

- **Pole danych** - przynosi zasadniczą informację transmitowaną pomiędzy użytkownikami.
- **Sekwencja kontrolna** (*Frame Check Sequence - FCS*) - zawartość tego pola uzyskiwana jest po stronie nadawczej poprzez logiczne zanegowanie sumy:
 1. reszty z dzielenia wielomianu $x^k (x^{15} + x^{14} + x^{13} + x^{12} + x^{11} + x^{10} + x^9 + x^8 + x^7 + x^6 + x^5 + x^4 + x^3 + x^2 + x + 1)$ przez wielomian generacyjny $x^{16} + x^{12} + x^5 + 1$, przy czym k jest liczbą bitów ramki pomiędzy flagą i polem FCS (nie licząc bitów wstawianych przez procedurę przezroczystości bitowej).

2. reszty z dzielenia przez wielomian generacyjny $x^{16} + x^{12} + x^5 + 1$ zawartości ramki rozumianej identycznie jak w pkt. 1 pomnożonej przez czynnik x^{16} .

Przedstawiony algorytm posiada tą własność, że reszta z dzielenia pomnożonej przez x^{16} zawartości ramki z dołączonym polem FCS przez wielomian generacyjny wynosi przy braku przekłamań transmisyjnych 0001110100001111 (od x^{15} do x^0). W rezultacie odbiornik może w prosty sposób badać poprawność otrzymywanych ramek.

Ramki charakteryzujące się brakiem flagi, niewłaściwą sekwencją kontrolną lub adresem itp. są odrzucane, a ich odebranie nie jest potwierdzane.

W rezultacie możliwości wykorzystania alternatywnych wersji pola sterującego, ramki LAPB mogą występować w różnych postaciach, które przedstawia poniższe zestawienie.

Tabela. 3. Wersje ramek LAPB

a) wersja podstawowa (modulo 8)

Kolejność nadawania	12345678	12345678	12345678	16 do 1	12345678	
	Flaga	Adres	Sterowanie	FCS	Flaga	
	F 01111110	A 8 bitów	C 8 bitów	FCS 16 bitów	F 01111110	
Kolejność nadawania	12345678	12345678	12345678	16 do 1	12345678	
	Flaga	Adres	Sterowanie	Dane	FCS	Flaga
	F 01111110	A 8 bitów	C 8 bitów	Info N bitów	FCS 16 bitów	F 01111110

b) wersja rozszerzona (modulo 128)

Kolejność nadawania	12345678	12345678	1 do a)	16 do 1	12345678	
	Flaga	Adres	Sterowanie	FCS	Flaga	
	F 01111110	A 8 bitów	C a)	FCS 16 bitów	F 01111110	
Kolejność nadawania	12345678	12345678	1 do a)	16 do 1	12345678	
	Flaga	Adres	Sterowanie	Dane	FCS	Flaga
	F 01111110	A 8 bitów	C a)	Info N bitów	FCS 16 bitów	F 01111110
a) 16 dla ramek zawierających liczniki sekwencyjne, 8 dla ramek ich nie zawierających						

2.4.3 Raportowanie stanu i reakcja na błędy

Reagowanie na błędy poziomu ramek jest możliwe dzięki zastosowaniu specjalizowanych

mechanizmów umożliwiających rozpoznawanie ich przyczyn obejmujących zarówno błędy transmisyjne, jak i wadliwe funkcjonowanie elementów DTE i DCE.

2.4.3.1 Parametry systemowe

2.4.3.1.1 Timer T1

Interwał $T1$ wyznacza czas oczekiwania na potwierdzenie, po którym następuje retransmisja ramki. Poprawne funkcjonowanie systemu jest możliwe pod warunkiem, że wartość $T1$ będzie większa niż maksymalny odstęp pomiędzy nadaniem ramki (SABM/SABME, DISC, I lub komendy nadzoru, albo odpowiedzi DM lub FRMR), a odebraniem odpowiedzi w postaci ramki UA, DM albo innej zawierającej potwierdzenie. Należy przy tym uwzględnić, że odbiorca nie może zwlekać z potwierdzeniem ponad okres wyznaczony parametrem $T2$. W rezultacie, zależnie od szybkości wykorzystywanego łącza, parametr $T1$ przyjmuje w realnych systemach wartości od 0.1 do 10 s.

$T1$ wykorzystywane przez DTE i DCE mogą posiadać różne wartości, które jednak powinny być dostępne dla sterowania elementów obu typów.

2.4.3.1.2 Parametr T2

Interwał $T2$ wyznacza maksymalną zwłokę z jaką element sieciowy może potwierdzić odebranie ramki. Wyznaczając wartość $T2$ należy uwzględnić następujące czynniki: czas transmisji ramki potwierdzającej, czas propagacji w łączu, ustalony czas przetwarzania ramek przez element współpracujący, oraz prawdopodobny stan wypełnienia bufora nadawczego.

Znajomość wartości parametru $T1$ elementu współpracującego pozwala określić $T2$ na nie większą niż $T1$ pomniejszona o: podwojony czas propagacji w łączu, łączny czas przetwarzania ramek przez DCE i DTE oraz czas transmisji ramki potwierdzającej.

Parametry $T2$ wykorzystywane przez DTE i DCE mogą posiadać różne wartości, które jednak powinny być dostępne dla sterowania elementów obu typów.

2.4.3.1.3 Timer T3

Okres $T3$ wyznacza interwał, który DCE powinno odczekać po wykryciu pasywnego stanu kanału odbiorczego zanim powiadomi wyższe warstwy (pakietową lub MLP). Czas $T3$ powinien być znacząco większy niż wykorzystywany przez DCE $T1$ (zalecana wartość $T3 = T1 \times N2$), aby zaistniała pewność, że przed wznowieniem transmisji danych użytkowych niezbędne jest

ponowne aktywowanie łącza.

Wartość $T3$ wykorzystywana przez DCE powinna być udostępniona współpracującym z nim elementom DTE.

2.4.3.1.4 Maksymalna liczba powtórzeń transmisji (parametr $N2$)

$N2$ oznacza ilość prób przekazania ramki w łączu pomiędzy DCE i DTE. Parametry $N2$ wykorzystywane przez DTE i DCE mogą posiadać różne wartości, które jednak powinny być uzgodnione i dostępne dla ich sterowania. Pierwsza retransmisja następuje po upływie czasu $T1$, zaś typowa wartość $N2$ wynosi 20.

2.4.3.1.5 Maksymalna długość ramki I (Parametr $N1$)

$N1$ stanowi maksymalną, łączną długość pól *Dane*, *Adres*, *sterowanie* i *FCS* ramek informacyjnych typu I.

W celu utrzymania minimalnych możliwości współpracy z innymi urządzeniami tego typu, dowolne DTE powinno akceptować wartości $N1$ nie mniejsze niż 135 bajtów. Z tego samego powodu elementy DCE powinny funkcjonować poprawnie dla wartości $N1$ równej 259 bajtów powiększonej o długość adresów oraz pól *Sterowanie* i *FCS* przewidzianych dla styku DTE/DCE danej sieci.

Dodatkowo, $N1$ wykorzystywane przez DTE i DCE mogą posiadać różne wartości, które jednak powinny być dostępne dla sterowania elementów obu typów. Szczegółową analizę wpływu wartości $N1$ na właściwości systemu zawiera Dodatek II Zalecenia X.25.

2.4.3.1.6 Maksymalna liczba niepotwierdzonych ramek I (Parametr k)

Parametr k oznacza maksymalną ilość kolejnych ramek I, które mogą być niepotwierdzone. Wartość ta nie może być większa niż 7 w trybie mod 8 i 127 w trybie mod 128. Każdy element DCE powinien akceptować wartość 7, natomiast inne wartości mogą być uznawane opcjonalnie. Wymaga się aby współpracujące ze sobą DCE i DTE wykorzystywały parametr k o tej samej wartości.

Szczegółowe wytyczne umożliwiające maksymalizację efektywności transmisyjnej systemu drogą doboru parametru k zawiera Dodatek V Zalecenia X.25.

2.4.3.2 Stan zajętości

Stan zajętości występuje, gdy dowolny element sieciowy nie jest w stanie odbierać ramek I z powodu np. wypełnienia bufora. Informację o stanie zajętości przesyła ramka RNR, zaś jej przekazanie nie blokuje możliwości kontynuowania transmisji ramek I przez przeciążony element.

Ustanie przeciążenia zostaje wskazane przesłaniem ramek UA (tylko w odpowiedzi na komendy SABM/SABME), RR, REJ lub SABM/SABME.

2.4.3.3 Błąd licznika sekwencyjnego N(S)

Zawartość pól informacyjnych odebranych ramek I, których N(S) nie jest równa wartości licznika V(R) zostaje anulowana. Odbiornik nie potwierdza (i nie inkrementuje V(R) po odebraniu ramek z błędem sekwencyjności aż do otrzymania wiadomości z poprawną wartością N(S).

Zawartość poprawnych ramek wykazujących błąd sekwencyjności powinny być wykorzystywane w części dotyczącej pola N(R) oraz bitów P i F, które umożliwiają realizację procedur sterowania stanem łącza.

W celu likwidacji błędów sekwencyjnych wykorzystywane są następujące mechanizmy systemowe:

- *Wywołanie retransmisji ramką REJ* - stanowi standardową technikę eliminacji błędów sekwencji, ponieważ umożliwia odbiorcy na bezpośrednie wskazanie ramki, której powtórzenie jest wymagane. W odpowiedzi nadajnik powtarza sekwencję poczynając od elementu wskazanego wartością N(R) zawartą w ramce REJ.
- *Wykorzystanie timera T1* - stanowi dogodne rozwiązanie w przypadku, kiedy błąd występuje w pojedynczo lub ostatnio nadanej ramce. Odbiornik może biernie oczekiwać na powtórzenie błędnego przekazu, bo nadajnik po upływie czasu T1 jest zmuszony powtórzyć przekaz.

W obydwu przypadkach retransmitowane ramki mogą zawierać wartości N(R) i ustawienia flag P identyczne lub różne od występujących w ramkach pierwotnych.

2.4.3.4 Integralny błąd ramki

Ramki uznane za błędne zostają skasowane, a w wyniku ich otrzymania nie są podejmowane

żadne dodatkowe akcje systemowe. Ramka zostaje uznana za błędną jeżeli:

- nie jest ograniczona flagami;
- zawiera mniej niż 32 (tryb mod 8) lub 40 bajtów (tryb mod 128);
- zawiera błędną FCS;
- jest opatrzona adresem innym niż A lub B;
- jej transmisja została przerwana nadaniem znaku zawierającego co najmniej 7 bitów o wartości „1”

2.4.3.5 Odrzucanie ramek

Pomimo formalnie poprawnego odbioru, ramka może zostać odrzucona z powodu wadliwej zawartości pól jej nagłówka (szczegółowy wykaz powodów zostanie przedstawiony w dalszym ciągu opracowania). W takim przypadku wykorzystana zostaje wiadomość FRMR, której następstwem jest odrzucenie wszelkich ramek I (choć są analizowane przenoszone przez nie bity P) dopóki stan łącza nie wróci do normalnego w wyniku akcji podjętej przez DTE (stan odrzucania wprowadza DCE). Odpowiedź FRMR może być ponawiana aż do wymaganej reakcji DTE albo podjęcia przez DCE własnych działań, jeśli właściwe DTE nie odpowiada.

2.4.3.6 Brak aktywności w kanale odbiorczym

Zalecenie X.25 definiuje aktywny i pasywny stan kanałów nadawczych i odbiorczych. Kanał uznaje się za aktywny jeśli przekazywana jest nim ramka lub sekwencja przerwania. Natomiast stan pasywny występuje gdy stan „1” utrzymywany jest przez czas przekraczający ustalony interwał 15 elementów bitowych.

Po wykryciu pasywnego stanu kanału odbiorczego DCE powinno odczekać okres wyznaczony przez licznik *T3*, a następnie powiadomić wyższe warstwy (pakietową lub MLP) nie podejmując żadnych dodatkowych akcji w celu umożliwienia DTE przywrócenia stanu aktywności w wyniku standardowych akcji systemowych.

2.4.4 Ramki LAPB

2.4.4.1 Komendy i odpowiedzi

Interpretacja ramek jako komend i odpowiedzi jest realizowana przez stacje DTE i DCE zgodnie z wykazem zawartym w Tab. 4 a i b.

Tabela. 4. Komendy i odpowiedzi LAPB

a) wersja podstawowa (modulo 8)

		1 2 3 4 5 6 7 8								
Format	Polecenie	Odpowiedź	Kodowanie							
Dane	I (Information)		0	N(S)				P	N(R)	
Nadzór	RR (Receive ready)	RR (Receive ready)	1	0	0	0	P/F	N(R)		
	RNR (Rec. not ready)	RNR (Rec. not ready)	1	0	1	0	P/F	N(R)		
	REJ (Reject)	REJ (Reject)	1	0	0	1	P/F	N(R)		
Nienumerowany	SABM (Set asynchronous balanced mode)		1	1	1	1	P	1	0	0
	DISC (Disconnect)		1	1	0	0	P	0	1	0
		DM (Disc. mode)	1	1	1	1	F	0	0	0
		UA (Unnum. ack)	1	1	0	0	F	1	1	0
		FRMR (Frame reject)	1	1	1	0	F	0	0	1

b) wersja rozszerzona (modulo 128)

		1 2 3 4 5 6 7 8 9 10-16												
Format	Polecenie	Odpowiedź	Kodowanie											
Dane	I (Information)		0	N(S)							P	N(R)		
Nadzór	RR (Receive ready)	RR (Receive ready)	1	0	0	0	0	0	0	0	0	P/F	N(R)	
	RNR (Rec. not ready)	RNR (Rec. not ready)	1	0	1	0	0	0	0	0	0	P/F	N(R)	
	REJ (Reject)	REJ (Reject)	1	0	0	1	0	0	0	0	0	P/F	N(R)	
Nienumerowany	SABME (Set asynchronous balanced mode extended)		1	1	1	1	P	1	1	0				
	DISC (Disconnect)		1	1	0	0	P	0	1	0				
		DM (Disc. mode)	1	1	1	1	F	0	0	0				
		UA (Unnum. ackt)	1	1	0	0	F	1	1	0				
		FRMR (Frame reject)	1	1	1	0	F	0	0	1				

2.4.4.2 Ramki informacyjne

Ramki informacyjne przenoszą pomiędzy elementami DTE na obydwu końcach połączenia wiadomości użytkowe (pakiety warstw wyższych umieszczone w polu *Dane*). Realizowaną niejako przy okazji funkcją ramek I jest dostarczanie sekwencyjnych potwierdzeń odbioru w postaci numeru $N(R)$ umieszczonego w polu sterującym nagłówka.

2.4.4.3 Ramki nadzoru

Zgodnie z zestawieniem zawartym w Tab. 4, w skład ramek nadzoru wchodzi następujące komendy i odpowiedzi:

Receive ready (RR)

Ramka RR jest wykorzystywana do:

- wskazania, że stacja jest gotowa do odbioru ramki I o numerze $N(R)$;
- potwierdzenia odebranych poprzednio ramek I o numerach do $N(R) - 1$;
- potwierdzenia ustąpienia stanu zajętości wskazanego uprzednio nadaniem ramki RNR

Dodatkowe znaczenie posiadają ramki RR z bitem P ustawionym w stan „1”, które oznaczają zapytanie przez DCE lub DTE o status odpowiednio DTE lub DCE.

Receive not ready (RNR)

Otrzymanie ramki RNR oznacza, że stacja nadająca:

- znajduje się w stanie zajętości i nie jest gotowa do odbioru ramek typu I;
- potwierdza odebrane poprzednio ramki I o numerach do $N(R) - 1$;
- dokona być może potwierdzenia ramek od numeru $N(R)$ w ramach późniejszej wymiany.

Ustawienie w ramce RNR bitu P w stan „1” oznacza zapytanie przez DCE lub DTE o status odpowiednio DTE lub DCE.

Reject (REJ)

Stan wprowadzony nadaniem ramki REJ wskazuje, że jej źródło:

- może kontynuować odbiór ramek typu I począwszy od numeru $N(R)$;
- potwierdza odebranie ramek I o numerach do $N(R) - 1$.

Nadawanie ramek I jeszcze nie przekazanych może być rozpoczęte dopiero po retransmisji

elementów tego typu wymagających powtórzenia. W danej chwili i dla danego kierunku transmisji może zostać wprowadzony tylko jeden stan typu REJ, który uznaje się za zakończony z chwilą odbioru ramki I przenoszącej numer N(S) równy wartości N(R) przekazanej w ramce REJ.

Jeśli stacja nadająca ramkę REJ znajdowała się poprzednio w stanie zajętości, to sygnalizuje w ten sposób jego zakończenie, zaś ustawieniem bitu *P* w stan „1” może zapytać o status korespondenta.

2.4.4.4 Ramki nienumerowane

Set asynchronous balanced mode (SABM) Set asynchronous balanced mode extended (SABME)

Komenda SABM wprowadza stację, do której została skierowana w tryb *Asynchronous Balanced Mode (ABM)*, wymuszając równocześnie przekazywanie ramek z polami sterującymi o długości jednego bajtu. Odpowiednio, komenda SABME wprowadza tryb ABM i wymusza nadawanie ramek numerowanych z polami sterującymi o długości dwóch bajtów (pola sterujące ramek nienumerowanych posiadają nadal format jednobajtowy). Dodatkowo, przekazanie ramki SABM (SABME) oznacza zakończenie stanu zajętości stacji (jeśli był poprzednio sygnalizowany, zaś w ich ramach nie są przekazywane żadne informacje użytkowe).

Po otrzymaniu ramki SABM (SABME) stacja akceptuje wskazany nią status odpowiadając ramką *Unnumbered Acknowledgement (UA)*. Wymiana sekwencji SABM (SABME)/UA oznacza wyzerowanie sekwencyjnych liczników: nadawczego (V(S)) i odbiorczego (V(R)). W rezultacie przekazane, a dotychczas niepotwierdzone ramki I zostają anulowane, zaś ich zawartość powinna zostać odtworzona w wyniku akcji podejmowanych przez warstwę sieciową (pakietową) lub MLP.

Uwaga

Tryb funkcjonowania łącza (mod 8 lub mod 128) jest określany w czasie wykupywania abonamentu i może być zmieniony jedynie w drogą administracyjną.

Disconnect (DISC)

Stanowi polecenie likwidacji łącza ustanowionego pomiędzy DTE i DCE. W ramce nie są dozwolone żadne treści informacyjne, zaś jej potwierdzenie polega na przekazaniu wiadomości UA. Dotychczas niepotwierdzone ramki I zostają anulowane, zaś ich zawartość powinna zostać odtworzona w wyniku akcji wyższych warstw systemu.

Unnumbered acknowledgement (UA)

Stanowi standardową odpowiedź wskazującą na akceptację komendy nakazującej ustanowienie konkretnego trybu pracy łącza. Ramka nie przenosi treści informacyjnych, zaś jej przekazanie oznacza również zakończenie stanu zajętości stacji.

Disconnected mode (DM)

Umożliwia przekazanie informacji o statusie stacji znajdującej się w stanie rozłączenia tj. bez ustanowionego łącza logicznego. W stanie tym stacja jest zobowiązana do monitorowania odbieranych treści w celu wykrycia i reakcji na komendę SABM (SABME), a także każdą inną komendę z bitem P. ustawionym w stanie „1”, na którą reaguje ramką DM z bitem F w stanie „1”.

Zastosowania ramki DM obejmują informowanie o:

- przejściu w stan rozłączenia bez odebrania wiadomości DISC
- pozostawaniu w stanie rozłączenia pomimo otrzymania komendy SABM (SABME) z powodu niemożności jej realizacji

W ramach DM nie są przekazywane żadne treści informacyjne

Frame reject (FRMR)

Wskazuje na błąd w ramce, który nie może zostać usunięty poprzez retransmisję, a więc wystąpienie przynajmniej jednej z poniższych okoliczności:

1. otrzymanie polecenia lub odpowiedzi z polem sterowania wypełnionym treścią której interpretacja nie została zdefiniowana;
2. odbiór ramki I z polem danych większym od maksymalnie dozwolonego;
3. odbiór błędnej wartości N(R);
4. odbiór ramki z polem informacyjnym, które nie może w niej występować albo odbiór ramki nadzorczej lub nienumerowanej o niewłaściwej długości.

Komentarz

- Pole sterowania musi zawierać informacje przedstawione w Tab.x lub Tab. X.
- Poprawna wartość N(R) musi znajdować się w zakresie wyznaczonym przez sekwencyjny numer N(S) i licznik V(S)

Pole informacyjne ramki FRMR zawierające 3 (tryb bazowy mod 8) lub 5 bajtów (tryb mod 128) przekazuje zawartość pola *Sterowanie* błędnej ramki, stan liczników V(R) i V(S) stacji nadającej

ramkę FRMR oraz kod błędu, zgodnie z zestawieniami zawartymi w Tab. 5 a i b.

Tabela. 5. Postać pola informacyjnego ramki FRMR

a) wersja podstawowa (modulo 8)

Bity pola informacyjnego												
1 - 8	9	10 - 12	13	14 - 16	17	18	19	20	21	22	23	24
Pole sterowanie odrzuconej ramki	0	V(S)	C/R	V(R)	W	X	Y	Z	0	0	0	0

b) wersja rozszerzona (modulo 128) Bity pola informacyjnego												
1 - 16	17	18 - 24	25	26 - 32	33	34	35	36	37	38	39	40
Pole sterowanie odrzuconej ramki	0	V(S)	C/R	V(R)	W	X	Y	Z	0	0	0	0

Oznaczenia:

C/R - ustawienie w stan „1” wskazuje, że ramka odrzucona była odpowiedzią, w stan „0”, że komendą

W - ustawienie w stan „1” wskazuje, że odebrane pole sterujące nie może być poprawnie zinterpretowane.

X - ustawienie w stan „1” oznacza, że odebrane pole sterujące jest błędne ponieważ ramka zawiera pole informacyjne, które dla jej typu nie jest dozwolone albo, że odebrano ramkę nadzoru lub nienumerowaną o niewłaściwej długości. Bity W i X są ustawiane w stan „1” równocześnie.

Y - ustawienie w stan „1” wskazuje, że odebrane pole informacyjne posiada za dużą długość.

Z - ustawienie w stan „1” oznacza, że odebrane pole sterujące zawiera niepoprawną wartość N(R).

2.5 Procedury poziomu LAPB

2.5.1 Podstawowy i rozszerzony tryb funkcjonowania

Odpowiednio do wyboru opcji systemowej dokonywanego przez użytkownika DTE w fazie nabywania abonamentu, DCE powinna obsługiwać zarówno tryb podstawowy (mod 8) jak i rozszerzony (mod 128). Zmiana trybu może być dokonana jedynie administracyjnie tj. nie może być przeprowadzona dynamicznie. Komendą właściwą do ustanawiania trybu podstawowego jest ramka SABM, natomiast w przypadku opcji rozszerzonej wykorzystuje się ramkę SABME.

2.5.2 Adresowanie

Rozróżnianie komend i odpowiedzi odbywa się na podstawie zawartości pola adresowego: ramki komend zawierają adres elementu do którego są kierowane, natomiast ramki odpowiedzi opatruje się adresem elementu nadającego.

W celu rozróżniania operacji przeprowadzanych w trybie punkt - punkt od realizowanych w układzie wielopunktowym (multilink), zalecenie X.25 wprowadza dwie pary adresów przyporządkowane każdemu z wymienionych trybów funkcjonowania. Obowiązuje przy tym konwencja, w myśl której ramki zawierające:

- komendy przekazywane od DCE do DTE opatrywane są w trybie punkt - punkt adresem A oraz adresem C w trybie wielopunktowym;
- odpowiedzi przekazywane od DCE do DTE opatrywane są w trybie punkt - punkt adresem B oraz adresem D w trybie wielopunktowym;
- komendy przekazywane od DTE do DCE opatrywane są w trybie punkt - punkt adresem B oraz adresem D w trybie wielopunktowym;
- odpowiedzi przekazywane od DTE do DCE opatrywane są w trybie punkt - punkt adresem A oraz adresem C w trybie wielopunktowym.

Postać adresów A, B, C i D przedstawia zestawienie zawarte w Tab. 6.

Tablica 6. adresy ramek LAPB

		Bity							
		1	2	3	4	5	6	7	8
Tryb punkt - punkt	A	1	1	0	0	0	0	0	0
	B	1	0	0	0	0	0	0	0
Tryb wielopunktowy	C	1	1	1	1	0	0	0	0
	D	1	1	1	0	0	0	0	0

DCE anuluje wszystkie ramki z adresami innymi niż A lub B (tryb punkt - punkt) lub C i D (wielopunkt).

2.5.3 Wykorzystanie bitu P/F

Element sieciowy otrzymujący ramki SABM/SABME, DISC, komendy nadzoru lub ramki I z ustawionym bitem P powinny ustawić bit F w kolejnej nadawanej ramce odpowiedzi.

Odpowiedź na ramki SABM/SABME lub DISC z ustawionym bitem P zwracana przez DCE może stanowić UA lub DM z flagą F w stanie „1”. Takie samo ustawienie flag występuje w przypadku odpowiedzi DCE na: ramki I odebrane w fazie wymiany informacji (wiadomości RR, REJ, RNR lub FRMR), komendy nadzoru (RR, REJ, RNR lub FRMR) oraz ramki I i nadzoru w fazie rozłączania (ramka DM).

Bit P może być także wykorzystywany przez DCE w stanie awaryjnym spowodowanym wyluczeniem timera, natomiast jego inne zastosowania są obecnie przedmiotem intensywnych studiów.

2.5.4 Procedura ustanawiania łącza danych

DCE wskazuje gotowość ustanowienia komunikacji z DTE poprzez utrzymywanie kanału w stanie aktywnym (ciągłą transmisję wzorca flagi). Inicjatywa nawiązania łącza może pochodzić zarówno od DCE, jak i DTE, natomiast przedtem celowe jest wymuszenie rozłączenia, co gwarantuje sprowadzenie obydwu elementów do tego samego stanu. DCE może dodatkowo nadać bez wezwania ramkę odpowiedzi DM, powodującą wdrożenie przez DTE akcji ustanawiania łącza.

Jeśli akcję rozpoczyna DTE, to jej pierwszym krokiem jest generacja właściwej z ramek SABM/SABME. Jeśli po jej odebraniu DCE jest w stanie przejść do fazy wymiany informacji, odpowiada ramką UA powodującą wyzerowanie zmiennych V(S) i V(R), co kończy proces

ustanawiania łącza. Natomiast jeżeli podjęcie wymiany przez DCE jest niemożliwe, to jego odpowiedź stanowi ramka DM przerywająca proces. W celu uniknięcia błędnej interpretacji sugeruje się, aby ramki SABM/SABME nadawane przez DTE zawierały zawsze ustawioną flagę P, co zapobiega uznaniu otrzymanego DM za wezwanie do współpracy.

DCE rozpoczyna ustanawianie połączenia wysłaniem ramki SABM/SABME i uruchomieniem timera T1 w celu uniknięcia oczekiwania na odpowiedź nieaktywnego DTE. W momencie otrzymania w odpowiedzi ramki UA, DCE zeruje zmienne V(S) i V(R) i zatrzymuje timer T1, uznając łącze za ustanowione. Natomiast odebranie DM powoduje że łącze pozostaje w stanie nieaktywnym.

Po wysłaniu komendy SABM/SABME DCE ignoruje wszystkie ramki z wyłączeniem komend SABM/SABME i DISC oraz odpowiedzi UA i DM. Odebranie którejś z wymienionych komend oznacza powstanie sytuacji kolizyjnej, która musi być rozstrzygnięta w oparciu o zasady przedstawione w dalszym ciągu opracowania. Odpowiedź w postaci innej ramki może się pojawić jedynie w ustanowionym łączu bez oczekujący na potwierdzenie komend SABM/SABME.

Wyliczenie timera T1 powoduje retransmisję komendy SABM/SABME, a sekwencja ta może być powtórzona do N2 razy. W przypadku finalnego braku odpowiedzi ze strony DTE, DCE uruchamia akcję awaryjną na poziomie wyższych warstw systemowych.

2.5.5 Faza wymiany informacji

Po nadaniu odpowiedzi UA na komendę SABM/SABME lub otrzymaniu UA po jej nadaniu, DCE akceptuje i transmituje ramki I oraz nadzorcze. Natomiast otrzymanie w fazie wymiany informacji komendy SABM/SABME wymusza wdrożenie resetowania łącza danych. Procedury właściwe wymienionym przypadkom przedstawiono w dalszym ciągu opracowania.

2.5.6 Likwidacja połączenia

Likwidację połączenia ze strony DTE rozpoczyna nadanie komendy DISC, która zostaje potwierdzona (w fazie wymiany informacji) odpowiedzią w postaci ramki UA, natomiast w fazie rozłączenia powoduje odpowiedź w formie DM. W obydwu przypadkach, po nadaniu odpowiedzi, DCE znajduje się w stanie rozłączenia. W celu uniknięcia błędnej interpretacji sugeruje się, aby ramki DISC nadawane przez DTE zawierały zawsze ustawioną flagę P, co pozwala na rozróżnienie potwierdzenia, że DCE weszło w stan rozłączenia od wygenerowanego

przez nie bez wezwania zaproszenia do współpracy.

Również DCE inicjuje rozłączenie nadaniem komendy DISC, ale tym razem uruchamiany jest dodatkowo timer T1. Odebranie potwierdzenia w postaci ramki UA stopuje go, i powoduje przejście DCE do fazy rozłączenia. Identyczne działania podejmowane są po odpowiedzi DM wskazującej, że DTE znajduje się już w fazie rozłączenia

Po wysłaniu komendy DISC, DCE ignoruje wszystkie ramki z wyłączeniem komend SABM/SABME i DISC oraz odpowiedzi UA i DM. Odebranie którejś z wymienionych komend oznacza powstanie sytuacji kolizyjnej, która musi być rozstrzygnięta w oparciu o przedstawione dalej zasady.

Wyliczenie timera T1 powoduje retransmisję komendy DISC, a sekwencja ta może być powtórzona do N2 razy. W przypadku finalnego braku odpowiedzi ze strony DTE, DCE uruchamia akcję awaryjną na poziomie wyższych warstw systemowych.

2.5.7 Rozłączenie

Bezpośrednio po odebraniu komendy DISC i potwierdzeniu jej otrzymania ramką UA, lub otrzymaniu potwierdzenia wygenerowanej przez siebie komendy DISC (również ramką UA), DCE wchodzi w fazę rozłączenia, z której może bezpośrednio przejść do procedury ustanawiania łącza.

W stanie rozłączenia DCE reaguje na odebranie komendy SABM/SABME w sposób wcześniej opisany, zaś w odpowiedzi na komendę DISC odsyła do DTE ramkę DM. Odebranie jakiegokolwiek innej komendy (tak zdefiniowanej, jak i niezdefiniowanej lub nie obsługiwanej) z ustawioną flagą P powoduje odpowiedź ramką DM z ustawionym bitem F. Odebrane w fazie rozłączenia ramki innych typów są przez DCE ignorowane.

Jeśli stan rozłączenia został wdrożony w wyniku wykrycia pewnych, opisanych dalej błędów lub jest wynikiem wadliwego funkcjonowania samego DCE, to informuje ono o tym fakcie przesyłając zamiast komendy DISC odpowiedź DM (równocześnie zostaje uruchomiony timer T1).

Wyliczenie timera T1 powoduje retransmisję ramki DM, a sekwencja ta może być powtórzona do N2 razy. W przypadku finalnego braku odpowiedzi ze strony DTE, DCE pozostając w stanie rozłączenia, uruchamia akcję awaryjną na poziomie wyższych warstw systemowych.

Alternatywnie, po wystąpieniu niesprawności wewnętrznej, DCE może albo wdrożyć procedurę

resetowania łącza lub przeprowadzić likwidację łącza, w celu jego ponownego ustanowienia.

2.5.8 Rozstrzygnięcie kolizji

2.5.8.1 Kolizja komend nienumerowanych

Jeśli po nadaniu komendy nienumerowanej odebrana zostaje taka sama komenda, element sieciowy potwierdza jej odebranie ramką UA, nadaną przy pierwszej nadarzającej się sposobności. Opisany stan zostaje osiągnięty przez DCE po:

1. otrzymaniu odpowiedzi UA;
2. przekazaniu odpowiedzi UA;
3. nadaniu ramki UA i wyliczeniu timera oczekiwania na odpowiedź UA ze strony DTE.

W przypadku 2, DCE akceptuje odpowiedź ramką UA na przekazaną przez siebie komendę SABM/SABME bez żadnych zastrzeżeń, o ile nastąpiła ona przed wyliczeniem timera.

Jeżeli natomiast odpowiedzią na komendę nienumerowaną jest inna komenda tego typu, DCE i DTE powinny przejść w stan rozłączenia i przekazać odpowiedź DM przy pierwszej nadarzającej się sposobności.

2.5.8.2 Kolizja odpowiedzi DM z komendami SABM/SABME lub DISC

Stan kolizyjny może również wystąpić w przypadku, gdy DCE nadaje bez wezwania ramkę DM w celu wywołania podjęcia przez DTE akcji ustanawiania łącza. W celu zapobieżenia podobnej sytuacji, DTE przesyła zawsze ramki komend SABM/SABME lub DISC z ustawionym bitem flagi P.

2.5.8.3 Kolizja odpowiedzi DM

Jeśli zarówno DCE, jak i DTE generują niezależnie odpowiedź DM, to w celu rozstrzygnięcia konfliktu DTE nada komendę SABM/SABME.

2.5.9 Procedury wymiany informacji

W dalszym ciągu, pod pojęciem „numeru o jeden większy” używana będzie konwencja arytmetyki modularnej. W jej ramach: liczba 7 jest o jeden większa od 6, zaś 0 stanowi następnik 7 (tryb mod 8). Podobnie liczba 127 jest o jeden większa od 126, zaś 0 stanowi następnik 127 (tryb mod 128).

2.5.9.1 Przesyłanie ramek I

Jeśli nadajnik DCE przekazuje ramkę I, to w jej odpowiednie pola zostaje wpisana wartość $N(S)$ równa aktualnemu stanowi zmiennej $V(S)$ oraz $N(R)$ odpowiadająca zmiennej $V(R)$. Po zakończeniu transmisji DCE inkrementuje zmienną $V(S)$. Ponadto, w fazie wymiany danych mają zastosowanie następujące zasady szczegółowe:

- jeśli w trakcie nadawania bieżącej ramki timer T1 nie jest aktywny, to powinien zostać uruchomiony.
- jeśli zmienna $V(S)$ jest równa ostatniej odebranej wartości $N(R)$ powiększonej o parametr k (maksymalną liczbę niepotwierdzonych ramek), to DCE nie nada nowej ramki I ograniczając się ewentualnie do retransmisji wcześniej nadawanych wiadomości.
- DCE w stanie zajętości może nadawać ramki I pod warunkiem, że stan ten nie dotyczy DTE.
- DCE w stanie odrzucania ramek wstrzymuje nadawanie wiadomości typu I.

2.5.9.2 Odbiór ramek I

Jeśli DCE nie znajduje się w stanie zajętości i otrzymuje ważną ramkę I opatrzoną numerem $N(S)$ równym wartości zmiennej $V(R)$, to w każdym przypadku zawartość pola *Dane* wiadomości zostaje zaakceptowana, zmienna $V(R)$ podlega inkrementacji, zaś alternatywnie podejmowane są następujące działania:

- jeśli w buforze nadawczym znajduje się ramka I, to w jej pole $N(R)$ zostaje wpisana aktualna, potwierdzająca pomyślny odbiór wartość zmiennej $V(R)$.
- jeśli bufor nadawczy jest pusty to zostaje do niego wprowadzona ramka RR o polu $N(R)$ ustawionym jak w punkcie poprzednim

Natomiast, jeśli DCE jest w stanie zajętości, to generuje odpowiedź w postaci ramki RNR z polem $N(R)$ ustawionym jak w poprzednich przypadkach. Dodatkowo, zajęte DCE może ignorować zawartości pól informacyjnych odbieranych ramek typu I.

2.5.9.3 Odbiór ramek wadliwych

Odebranie ramki nieważnej powoduje jej zignorowanie. Jeśli natomiast ramka jest znacząca, ale posiada niewłaściwy tj. różny od bieżącej wartości zmiennej $V(R)$ numer $N(S)$, to DCE anuluje jej pole danych, nadając równocześnie ramkę REJ, której $N(R)$ ustawia wartością o jeden

większą niż $N(S)$ ostatnio poprawnie odebranej ramki typu I. Ramka REJ stanowi komendę z ustawioną flagą P, jeśli wymagane jest potwierdzenie odbioru żądania retransmisji. W przeciwnym wypadku dopuszcza się zarówno postać komendy jaki i odpowiedzi.

DCE anuluje zawartość pól informacyjnych wszystkich wiadomości I do chwili otrzymania ramki oczekiwanej. Natomiast zawartości pól $N(R)$ i P ramek anulowanych są interpretowane na ogólnych zasadach.

2.5.9.4 Potwierdzenie

Nawet znajdując się w stanie zajętości, DCE wykorzystuje zawartość pola $N(R)$ pomyślnie odebranie ramek informacyjnych (I) i nadzoru (RR, RNR i REJ) jako potwierdzenie wiadomości nadanych z wartościami $N(S)$ do odebranego $N(R)-1$ włącznie.

Otrzymanie ramki I lub nadzorczej z polem $N(R)$ zawierającym wartość wyższą niż ostatnio odebrana oraz ramek REJ z polem $N(R)$ równym tej wartości, stanowi warunek zatrzymania przez DCE timera T1.

Jeśli timer T1 został zatrzymany w wyniku odebrania wiadomości I, RR lub RNR, zaś nie wszystkie ramki I są potwierdzone, DCE restartuje T1, po którego ewentualnym wyliczeniu zobowiązane jest uruchomić w stosunku do wiadomości bez potwierdzenia procedurę awaryjną. Natomiast zatrzymanie T1 w wyniku odebrania wiadomości REJ oznacza oprócz ustawienia zmiennej $V(S)$ otrzymaną w ramce wartością $N(R)$, również wdrożenie retransmisji realizowanej na następujących zasadach:

- proces przekazywania komendy lub odpowiedzi nadzorczej realizowany w chwili otrzymania ramki REJ jest kontynuowany, zaś retransmisja wymaganej ramki I rozpoczyna się bezpośrednio po jego ukończeniu;
- żądania retransmisji wynikające z ramki REJ otrzymanej w trakcie nadawania komend i odpowiedzi nienumerowanych zostają zignorowane;
- otrzymanie ramki REJ może powodować przerwanie proces nadawania bieżącej ramki I - w takim przypadku retransmisja rozpoczyna się bezzwłocznie po nadaniu przerwania.
- ramka REJ odebrana przy pustym buforze nadawczym powoduje natychmiastowe wdrożenie procesu retransmisji.

W każdym z wymienionych przypadków, jeśli po nadaniu wiadomości I wskazanej ramką REJ będą retransmitowane kolejne ramki, to ich nadawanie odbywa się w sposób ciągły, zaś powrót

do zadań bieżących może nastąpić dopiero po ich przekazaniu.

Jeśli ramka REJ została odebrana w postaci komendy z ustawionym bitem P, to DCE przed rozpoczęciem retransmisji nadaje odpowiedź (RR, RNR lub REJ) z ustawioną flagą F.

2.5.9.5 Obsługa ramki RNR

Po odebraniu ramki RNR, której pole N(R) potwierdza wszystkie dotychczas nadane ramki, DCE zatrzymuje timer T1 i może nadać wiadomość I z wyzerowanym bitem P oraz polem N(S) ustawionym wartością N(R) dostarczoną przez RNR, po czym restartuje timer T1.

Natomiast otrzymanie RNR, której pole N(R) wskazuje poprzednio nadaną ramkę nie skutkuje żadną akcją - DCE nie nadaje ani nie powtarza żadnej ramki I, zaś timer T1 kontynuuje wyliczanie. Jeśli jego interwał zostanie odmierzony przed anulowaniem stanu zajętości, DCE wdraża opisaną dalej procedurę potwierdzenia oczekiwania. W żadnym przypadku ramki I nie są nadawane do chwili otrzymania ramki RR lub REJ lub zakończenia realizacji procedury resetowania łącza.

Alternatywnie, po otrzymaniu ramki RNR, DCE może oczekiwać do wyliczenia timera T1, a następnie nadać komendę nadzoru (RR, RNR lub REJ) z ustawioną flagą P i ponownie uruchomić timer T1 w celu określenia ewentualnych zmian w statusie odbiorczym DTE. Element ten powinien odpowiedzieć ramką z ustawioną flagą F albo potwierdzając utrzymanie stanu zajętości (RNR), albo sygnalizując jego ustąpienie (RR lub REJ). Po otrzymaniu odpowiedzi timer T1 DCE zostaje zatrzymany.

Jeśli odpowiedź stanowi ramka RR lub REJ, to DCE może nadawać wiadomości I poczynając od ramki wskazanej zawartością N(R) odpowiedzi. Natomiast otrzymanie ramki RNR oznacza konieczność ponowienia zapytania o status DTE po upływie kolejnego interwału timera T1.

N2 krotne ponowienie opisanego procesu bez powodzenia uzasadnia wdrożenie resetowania łącza albo nadania przez DCE odpowiedzi DM stanowiącej zachętę do ustanowienia łącza przez DTE.

Jeśli w dowolnym momencie procesu odpytywania ze strony DTE zostanie otrzymana ramka RR lub REJ, to DCE interpretuje ją jako sygnał zakończenia stanu zajętości. Otrzymanie wymienionych wiadomości z ustawionym bitem P oznacza ponadto, że DCE przed wznowieniem transmisji ramek I powinno przekazać odpowiedź z flagą F w stanie 1.

2.5.9.6 Zajętość DCE

Wejście DCE w stan zajętości oznacza, że powinno ono powiadomić o tym fakcie wszystkie współpracujące DTE w najkrótszym możliwym terminie. W tym celu, jeśli istotne jest uzyskanie potwierdzenia odbioru, wykorzystywana jest ramka komendy RNR z ustawioną flagą P, natomiast w pozostałych przypadkach możliwe jest zarówno wykorzystanie formy komendy jak i odpowiedzi.

W stanie zajętości DCE akceptuje i przetwarza: ramki nadzoru, zawartość pól N(R) otrzymywanych ramek I oraz odpowiada ramkami RNR z ustawionym bitem F na ramki z flagą P w stanie „1”.

Anulowanie stanu zajętości wymaga przekazania współpracującym DTE ramek REJ lub RR z polem N(R) przenoszącym aktualną wartość zmiennej V(R) zmodyfikowaną zależnie od tego, czy DCE dokonywało w międzyczasie anulowania pól informacyjnych otrzymywanych ramek typu I. Podobnie, jak w przypadku ramki RNR wiadomość anulująca przeciążenie może mieć postać komendy (ustawiona flaga P) albo odpowiedzi.

2.5.9.7 Potwierdzanie oczekiwania

DCE wykorzystuje wewnętrzną zmienną ilości prób transmisji zerowaną, gdy nadawana jest lub odbierana odpowiedź UA, odbierana komenda lub odpowiedź RNR, a także w przypadku odbioru ramki I lub nadzorczej z polem N(R) o wartości większej niż wartość N(R) ostatnio odebrana.

Wyliczenie timera T1 bez otrzymania potwierdzenia ostatnio nadanej ramki I powoduje, że DCE inkrementuje zmienną ilości prób transmisji i ustawia parametr x aktualną wartością V(S). Z kolei następuje restart timera T1, ustawienie zmiennej V(S) ostatnią wartością N(R) odebraną od DTE oraz retransmisja odpowiadającej ramki I lub odpowiedniej ramki nadzorczej tj. RR, RNR lub REJ (w obydwu przypadkach flaga P powinna być ustawiona).

Stan oczekiwania kończy odebranie przez DCE ramki nadzorczej z ustawioną flagą F oraz polem N(R) o wartości z przedziału od aktualnego stanu zmiennej V(S) do parametru x włącznie. Następuje wtedy zatrzymanie timera oraz wpisanie do zmiennej V(S) wartości odebranej w polu N(R). Od tej chwili DCE może wznowić transmisję i retransmisję ramek I, jeżeli jest to wymagane.

Odebranie w stanie oczekiwania ramki I lub nadzorczej z wyzerowanym bitem P/F i

akceptowalną zawartością pola N(R) nie powoduje jego zakończenia, jednak wartość N(R) może zostać użyta do aktualizacji zmiennej V(S). DCE może również zachować ostatnio nadaną ramkę I (nawet jeśli została już potwierdzona), w celu jej ewentualnej retransmisji z ustawionym bitem P, po ewentualnym wyliczeniu timera T1.

Jeśli odebraną ramką nadzorczą z wyzerowanym bitem P/F jest ramka REJ z akceptowalnym polem N(R), DCE może albo natychmiast rozpocząć retransmisję poczynając od numeru zawartego w zmiennej V(S) albo zignorować żądanie i poczekać na ramkę nadzorczą z ustawioną flagą F, zaś (re)transmisję rozpocząć od dostarczonej przez nią wartości N(R).

W przypadku retransmisji natychmiastowej, w celu zapobieżenia ponownemu transmitowaniu ramek poprzedzających moment zniesienia stanu oczekiwania, DCE zakazuje nadawania ramki I, którą już przekazano w rezultacie odebrania ramki REJ z wyzerowanym bitem P/F.

Jeśli w stanie oczekiwania, DCE odbierze komendę REJ z ustawionym bitem P, to jest zobowiązane nadać właściwą ramkę odpowiedzi z ustawioną flagą F. Dodatkowo DCE może wykorzystać wartość pola N(R) komendy REJ do uaktualnienia zmiennej V(S) i albo rozpocząć retransmisję natychmiast albo odczekać w sposób przedstawiony dla przypadku ramki REJ z wyzerowaną flagą P/F.

Wyliczenie w stanie oczekiwania timera T1 bez otrzymania ramki I lub nadzorczej z wyzerowanym bitem P/F i akceptowalnym polem N(R) albo komendy REJ z ustawionym bitem P oznacza, że DCE powinno powiększyć licznik nieudanych prób transmisji, zrestartować timer T1 i albo powtórzyć ramkę I, albo nadać odpowiednią komendę nadzorczą (w obydwu przypadkach bitem P powinien być ustawiony).

Jeżeli licznik nieudanych prób transmisji osiągnie wartość N2, DCE inicjalizuje procedurę resetowania łącza lub wymusza odpowiedzią DM przeprowadzenie inicjalizacji łącza przez DTE, przechodząc jednocześnie do stanu rozłączenia.

2.5.10 Resetowanie i reinicjalizacja łącza

Jeśli podczas fazy wymiany informacji użytkowych, DCE odbierze ramkę, która formalnie jest poprawna lecz kwalifikuje się do odrzucenia, to przekazuje do DTE żądanie inicjalizacji procedury resetowania łącza w postaci odpowiedzi FRMR.

Podczas fazy wymiany informacji użytkowych, DCE wdraża resetowanie łącza lub generuje odpowiedź DM, która nakazuje DTE przeprowadzenie inicjalizacji łącza danych w

następujących przypadkach:

- otrzymania odpowiedzi FRMR lub DM;
- odebrania odpowiedzi UA lub innej wygenerowanej samodzielnie przez DTE z ustawionym bitem F.

W każdym z wymienionych przypadków, po przekazaniu odpowiedzi DM element DCE przechodzi w stan rozłączenia.

Procedura resetowania łącza danych jest wykorzystywana tylko w fazie wymiany informacji do inicjalizacji obydwu kierunków transferowania danych. Wywołanie resetowania może pochodzić zarówno od DCE, jak i DTE, zaś jego przeprowadzenie likwiduje ewentualny stan zajętości jednego lub obydwu elementów sieciowych.

DTE może inicjować resetowanie transmitując komendę SABM/SABME. Jeśli DCE jest w stanie kontynuować przekaz informacji, odpowiada ramką UA, zeruje zmienne V(S) i V(R) oraz pozostaje w stanie transferowania danych. Natomiast, jeśli kontynuowanie przekazu informacji nie jest możliwe, odpowiedź posiada postać ramki DM, po której przekazaniu DCE przechodzi do stanu rozłączenia.

DCE rozpoczyna procedurę resetowania transmitując komendę SABM/SABME i uruchamiając timer T1. Po otrzymaniu odpowiedzi UA, DCE zeruje zmienne V(S) i V(R), zatrzymuje timer oraz pozostaje w stanie transferowania danych. Natomiast odbiór odpowiedzi DM powoduje zatrzymanie timera i wejście DCE w stan rozłączenia. Bezpośrednio po nadaniu komendy SABM/SABME, DCE rozpoczyna anulowanie wszelkich ramek otrzymywanych od DTE za wyjątkiem komend SABM/SABME i DISC oraz odpowiedzi UA i DM. Otrzymanie dowolnej komendy oznacza stan kolizyjny rozstrzygany w sposób wcześniej przedstawiony, natomiast czas oczekiwania na odpowiedź UA lub DM jest limitowany przez timer T1. Po jego wyliczeniu DCE ponawia transmisję komendy SABM/SABME i restartuje T1. Niepowodzenie w N2 próbach oznacza przekazanie prób uruchomienia łącza warstwom wyższym protokołu, natomiast DCE przechodzi w stan rozłączenia.

Jak już wspomniano, DCE może wymusić resetowanie łącza przez DTE przekazując mu odpowiedź FRMR, po której nadaniu przechodzi w stan odrzucania ramek. Stan ten uznaje się za zakończony po odebraniu komend SABM/SABME i DISC lub odpowiedzi FRMR i DM, a także, gdy DCE transmituje komendy SABM/SABME i DISC lub odpowiedź DM. Inne komendy odebrane w stanie odrzucania ramek powodują ponowienie odpowiedzi FRMR z takim

samym polem informacyjnym jak nadane za pierwszym razem.

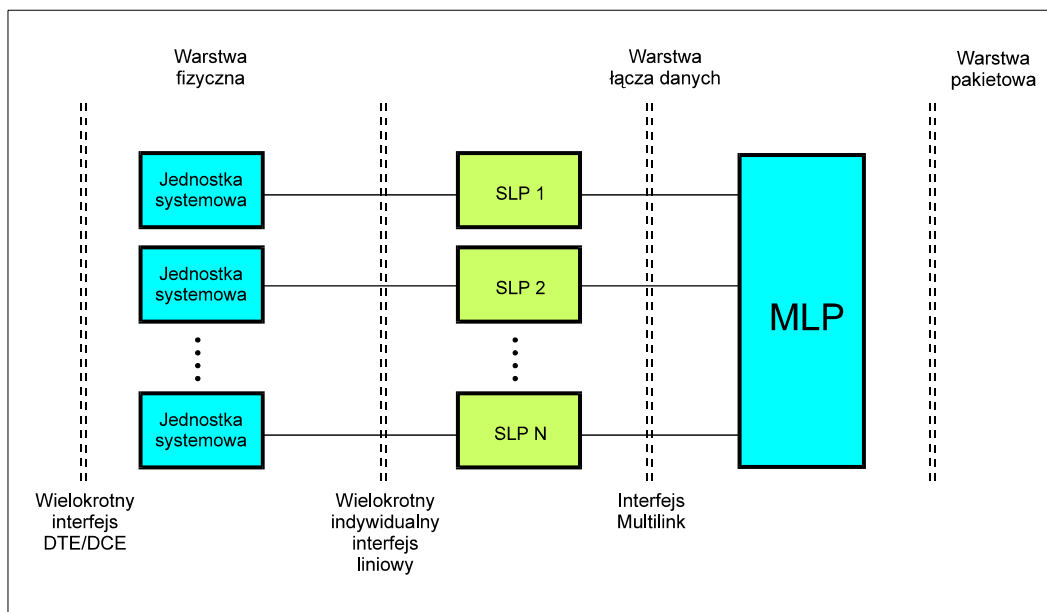
Dodatkowo z nadaniem odpowiedzi FRMR możliwe jest uruchomienie timera T1. W takim przypadku, po N2 nieudanych próbach likwidacji stanu odrzucania ramek, DCE może przeprowadzić resetowanie łącza samodzielnie.

W stanie odrzucania ramek wiadomości I oraz nadzorcze nie są przez DCE transmitowane, zaś pola N(S) i informacyjne ramek I, a także N(R) ramek I oraz nadzorczych zostają anulowane. Ponadto, jeśli w wyniku odebrania komendy DCE musi nadać dodatkową odpowiedź FRMR to timer nie jest zatrzymywany.

Wdrożenie procedury resetowania odbywa się dopiero po odebraniu odpowiedzi FRMR i rozpoczyna się przekazaniem komendy SABM/SABME, zaś rozwiązaniem alternatywnym jest nakazanie za pośrednictwem odpowiedzi DM przeprowadzenie reinicjalizacji łącza przez DTE. W obydwu przypadkach DCE przechodzi do stanu rozłączenia.

2.5.11 Procedura wielopunktowa

Procedura wielopunktowa (*Multilink Procedure - MLP*) funkcjonuje w systemie X.25 na zasadzie podwarstwy dodanej pomiędzy poziomami łącza danych (*Data Link Layer*) i pakietowym (*Packet Layer*). Zadaniem MLP jest zwielokrotnienie funkcji protokołu właściwych pojedynczemu łączu danych (*Single Link Protocol - SLP*), w sposób zgodny ze schematem przedstawionym na rys 5.



Rys.5. Współpraca SLP i MLP

MLP odbiera wiadomości z warstwy pakietowej, rozdziela je pomiędzy SLP dostępnych elementów DCE i DTE w celu dostarczenia ich do SLP docelowych, a także dokonuje resekwencjonowania pakietów przed przekazaniem ich warstwie pakietowej.

Wykorzystanie trybu multilink oznacza, że na każdym indywidualnym styku fizycznym funkcjonują procedury typu *Single Link Procedure (SLP)*, natomiast *Multilink Procedure (MLP)* obsługuje wzajemną wymianę danych. Możliwe jest również (na zasadzie odrębnej umowy z Administracją), wykorzystanie MLP na pojedynczym łączy fizycznym. MLP cechuje się następującymi właściwościami szczegółowymi:

- podwyższa efektywność ekonomiczną oraz niezawodność usług świadczonych przez wiele SLP na styku DCE z DTE;
- umożliwia uruchamianie i zamykanie indywidualnych procesów SLP, bez konieczności przerywania obsługi pozostałych;
- optymalizuje wykorzystanie pasma przez grupy SLP techniką jego współdzielenia;
- oferuje akceptowalną degradację jakości usług przy wejściu części procesów SLP w stan awaryjny;
- zapewnia dostęp do warstwy pakietowej grupom SLP wykorzystujących pojedynczą lokalną realizację funkcji łącza danych;
- realizuje resekwencjonowanie odbieranych pakietów umożliwiające ich przekazanie warstwie pakietowej.

2.6 Warstwa sieciowa X.25

2.6.1 Informacje wstępne

Protokół warstwy pakietowej (PLP) określa format pakietów wymienianych za pomocą sieci PSPDN przez urządzenia DTE. W protokole tym zdefiniowane jest siedemnaście różnych typów pakietów, podzielonych na sześć kategorii. Wszystkie rodzaje pakietów mogą być wykorzystywane w wirtualnych połączeniach komutowanych lub w stałych.

Każdy pakiet przesyłany przez interfejs DTE/DCE powinien zawierać pole informacyjne poziomu łącza danych, które wyznacza jego długość. W polu informacyjnym może być przenoszony tylko jeden pakiet. Ponieważ niektóre sieci mogą nie akceptować pakietów z polami danych zawierającymi niecałkowitą liczbę bajtów, uniwersalne DTE powinno być zdolne do nadzorowania składu pakietu i odpowiedniej reakcji.

W celu równoczesnej realizacji w tym samym łączu fizycznym procedur o różnych własnościach funkcjonalnych (np. realizowanych w trybie komutowanym i na łączach trwałych), system X.25 wykorzystuje kanały logiczne identyfikowane przez numer ich grupy (mniejszy lub równy 15) oraz numer indywidualny (mniejszy lub równy 255). W połączeniach zestawianych w trybie „na życzenie” przydział identyfikatorów odbywa się w fazie obsługi wywołania, natomiast łącza trwałe otrzymują je drogą porozumienia z Administracją sieci. Bardziej szczegółowe informacje na ten temat zawiera Dodatek A zalecenia X.25.

2.6.2 Format pakietu X.25

Protokół PLP poziomu pakietowego

Protokół PLP (*Packet Level Protocol*) stanowi fragment protokołu X.25 obejmujący procedury warstwy sieciowej modelu ISO/OSI. W protokole X.25 wyróżnia się kilkanaście typów pakietów, do istotnych należą:

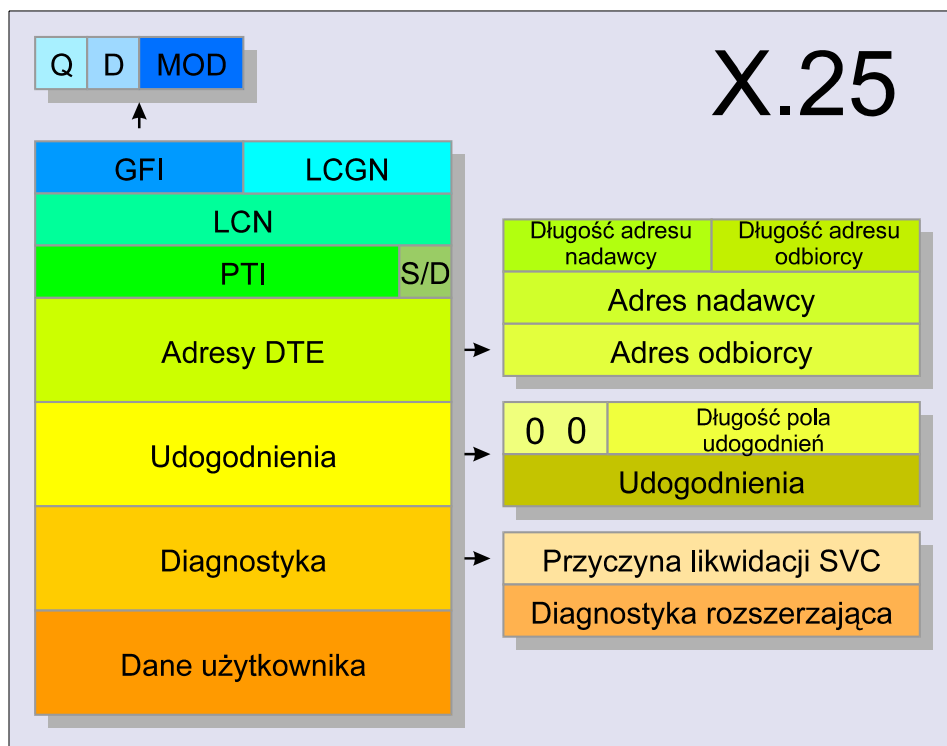
- przeznaczone do ustanawiania i rozłączania połączeń;
- danych i przerwaj;
- sterowania przepływem i zerowania (ponowne ustawienia);
- wznowień (*restart*);
- diagnostyczne;
- przeznaczone do rejestracji.

Protokół X.25 dopuszcza następujące maksymalne długości pól danych pakietów: 16, 32, 64, 128, 256, 512, 1024, 2048 oraz 4096 bajtów. Jako typowe i najczęściej używane są pakiety o długościach części informacyjnej 128 i 256 bajtów.

Każdy pakiet X.25 opatrzony jest nagłówkiem stanowiącym zestawienie następujących pól:

- *General Format Identifier (GFI)* - ogólny identyfikator formatu;
- *Logical Channel Group Number (LCGN)* - numer grupy kanałów logicznych;
- *Logical Channel Number (LCN)* - numer kanału logicznego;
- *Packet Type Identifier (PTI)* - identyfikator typu pakietu;
- *Supervisory/Data (S/D)* - flaga informacji nadzoru/przekaz danych,

których umiejscowienie przedstawiono na rys. 6.



Rys. 6. Organizacja pakietu X.25

Poszczególne elementy nagłówka posiadają następujące przeznaczenie

Qualified Data/Address (Q/A) - bit rodzaj danych/adresu, interpretowany odmiennie w fazach obsługi połączenia (A) i właściwej transmisji danych (Q). Forma A jest wykorzystywana podczas zestawiania i rozłączania połączenia do wskazania stosowanego formatu adresów uczestniczących w wymianie stacji. Natomiast forma Q umożliwia wyróżnienie pakietów zgodnych ze specyfikacją protokołu X.25 oraz pozostałych, które jej nie spełniają.

Delivery Confirmation (D) - bit trybu potwierdzania wyróżniający przypadek otrzymywania informacji od lokalnego DCE od potwierdzania przez docelową stację DTE.

MOD - pole określające typ numeracji pakietów w procesach transmisyjnych. Dopuszczone są dwa warianty: arytmetyka mod 8 ($MOD = 01$) oraz mod 128 ($MOD = 10$).

LCGN i LCN - stanowią 12 bitowy, dwusekcyjny adres kanału logicznego wykorzystywany do identyfikacji przekazywanych w nim pakietów realizujących proces transferu informacji różnych typów. Wykorzystanie pól LCGN i LCN nie jest ściśle zdefiniowane i może być odmienne w sieciach różnych operatorów.

PTI - identyfikator pakietu, który wraz z kierunkiem jego przepływu określa jednoznacznie typ przekazywanej wiadomości. Szczegółowe zestawienie dopuszczalnych zawartości pola PTI zawiera Tab. 7.

W polu PTI pakietów przenoszących dane użytkowe (dla których flaga S/D = 0) wyodrębnione są pola o dodatkowym znaczeniu:

- *P(R)* - *Receive Sequence Number* (Sekwencyjny Numer Odbiorczy)
- *P(S)* - *Send Sequence Number* (Sekwencyjny Numer Nadawczy)
- *M* - *More Data* (więcej danych) przeznaczony do wskazywania, że pakiet przynosi dane cząstkowe lub jest ostatnim z serii przenoszącej większą strukturę informacyjną.

Pola P(R) oraz P(S) są wykorzystywane przez okienkowy mechanizm sterowania przepływem, w związku z czym pole P(R) występuje również w pakietach dedykowanych.

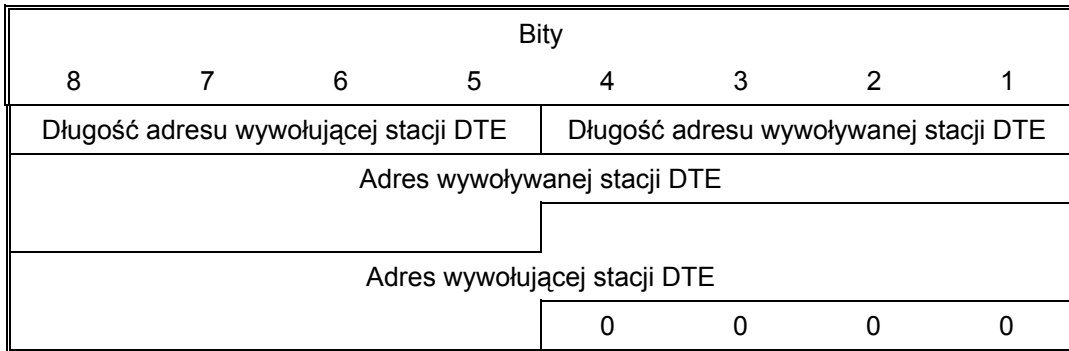
Adresy DTE - określa mierzone w półbajtach długości adresów oraz zawiera ich jawną postać w formie przedstawionej na rys. 7.

Tablica 7. Wartości identyfikatorów pakietów różnych typów

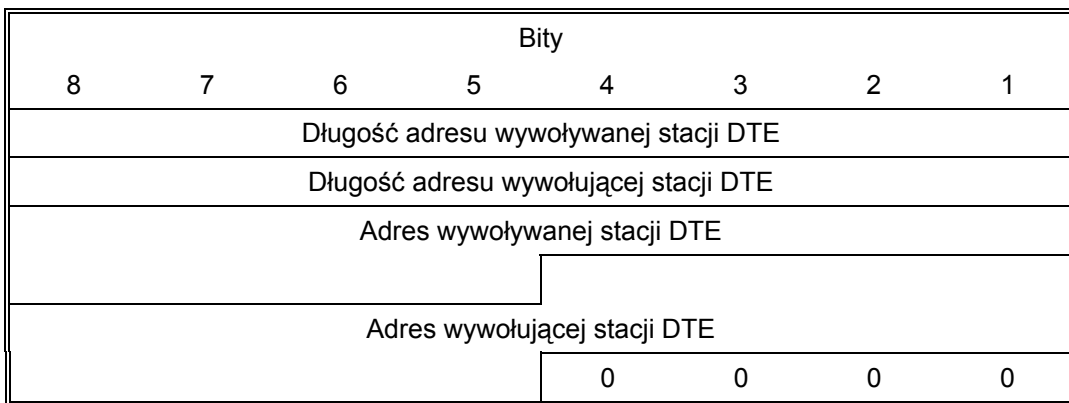
Typ pakietu		Bity							
Z DCE do DTE	z DTE do DCE	8	7	6	5	4	3	2	1
<i>Obsługa połączeń</i>									
Incoming call	Call request	0	0	0	0	1	0	1	1
Call connected	Call accepted	0	0	0	0	1	1	1	1
Clear indication	Clear request	0	0	0	1	0	0	1	1
DCE clear confirmation	DTE clear confirmation	0	0	0	1	0	1	1	1
<i>Wymiana danych</i>									
DCE data	DTE data	X	X	X	X	X	X	X	0
DCE interrupt	DTE interrupt	0	0	1	0	0	0	1	1
DCE interrupt confirmation	DTE interrupt confirmation	0	0	1	0	0	1	1	1
<i>Sterowanie przepływem</i>									
DCE RR (modulo 8)	DTE RR (modulo 8)	X	X	X	0	0	0	0	1
DCE RR (modulo 128) ^{a)}	DTE RR (modulo 128) ^{a)}	0	0	0	0	0	0	0	1
DCE RNR (modulo 8)	DTE RNR (modulo 8)	X	X	X	0	0	1	0	1
DCE RNR (modulo 128) ^{a)}	DTE RNR (modulo 128) ^{a)}	0	0	0	0	0	1	0	1
	DTE REJ (modulo 8) ^{a)}	X	X	X	0	1	0	0	1
	DTE REJ (modulo 128) ^{a)}	0	0	0	0	1	0	0	1
Reset indication	Reset request	0	0	0	1	1	0	1	1
DCE reset confirmation	DTE reset confirmation	0	0	0	1	1	1	1	1
<i>Wznawianie</i>									
Restart indication	Restart request	1	1	1	1	1	0	1	1
DCE restart confirmation	DTE restart confirmation	1	1	1	1	1	1	1	1
<i>Diagnostyka</i>									
Diagnostic ^{a)}		1	1	1	1	0	0	0	1
<i>Rejestracja ^{a)}</i>									
	Registration request	1	1	1	1	0	0	1	1
Registration confirmation		1	1	1	1	0	1	1	1

^{a)} rozwiązanie opcjonalne, nie wymagane dla każdej sieci
X - bit o wartości zależnej od kontekstu.

flaga A = 0



flaga A = 1

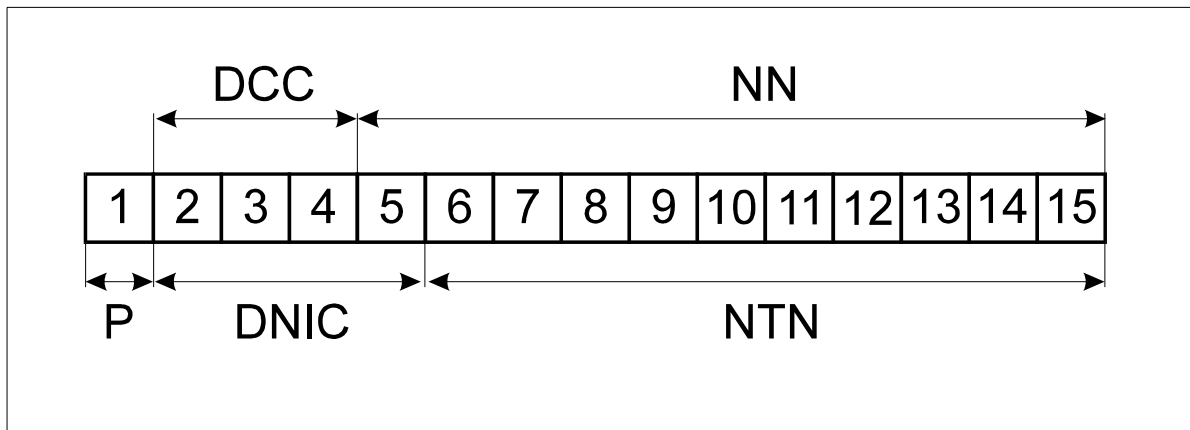


Rys. 7. Format bloku adresowego pakietu

Jak wynika z przedstawionego schematu, strukturę adresu określa wartość flagi adresowej (bitu A) nagłówka pakietu. W zależności od stanu flagi A adresy posiadają następującą postać:

- $A = 0$ - adres zgodny z zaleceniem X.121 „Międzynarodowy Plan Numeracyjny dla Publicznych Sieci Danych”;
- $A = 1$ - adres zawiera wskazanie jego typu (TOA), identyfikator planu numeracyjnego (NPI) oraz właściwe dane adresowe.

W związku z rosnącym znaczeniem połączeń międzynarodowych obserwuje się powszechną tendencję do przechodzenia na schemat X.121, którego adres posiada strukturę przedstawioną na rys. 8.



Rys. 8. Adres DTE

Właściwy (logiczny) adres stacji zawierają połączone pola *Data Network Identification Code (DNIC)* oraz *Network Termination Number (NTN)*. Interpretacja wyższego poziomu (geograficzna) polega na wyróżnieniu kodu krajowego (*Data Country Code - DCC*) oraz numeru krajowego (*National Number - NN*).

Udogodnienia - zalecenie X.25 dysponuje szeregiem mechanizmów usprawniających dostosowanie właściwości systemu pakietowego dla potrzeb użytkownika. Dane dotyczące wymaganych i realizowanych udogodnień są przekazywane w wydzielonym polu nagłówka pakietów typu *Call Request* oraz niektórych innych, wykorzystywanych w trakcie zestawiania i zwalniania połączeń wirtualnych. Strukturę pola udogodnień ilustruje zasadniczy schemat budowy pakietu.

Uzupełnienie mechanizmów udogodnień stanowią pakiety *Registration Request* oraz *Registration Confirmation*, które umożliwiają bezpośrednią ingerencję w zestaw funkcji opcjonalnych (oraz ich parametry) z poziomu indywidualnego elementu DTE.

Diagnostyka - obejmuje dwa elementy określane jako *Cause/Diagnostic Codes*, które przekazują informację o pomyślnej realizacji wymaganej akcji systemowej lub przyczynach odmowy jej przeprowadzenia.

Dane użytkownika - realizuje podstawową funkcję systemu pakietowego, polegającą na transferowaniu danych pomiędzy końcowymi stacjami abonenckimi. Pole występuje w wielu typach pakietów, również zorientowanych na zastosowania sygnalizacyjne, sterujące i administracyjne.

2.6.3 Zestawianie połączeń wirtualnych

Ustanowienie połączenia wirtualnego obejmuje wymianę pomiędzy elementami systemu sekwencji pakietów, w skład której wchodzi: *Call Request*, *Incoming Call*, *Call Accepted* i *Call Connected*.

Strukturę pakietów *Call Request* i *Incoming Call* przedstawiono na rys. 9.

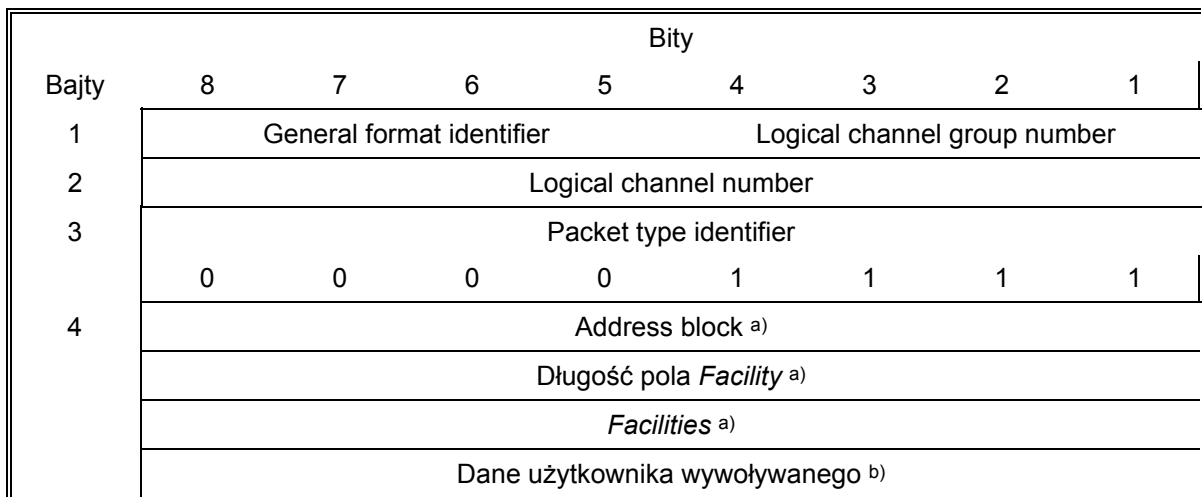
Bajty	Bity							
	8	7	6	5	4	3	2	1
1	General format identifier				Logical channel group number			
2	Logical channel number							
3	Packet type identifier							
	0	0	0	0	1	0	1	1
4	Address block							
	Długość pola <i>Facility</i>							
	pole <i>Facilities</i>							
	Dane użytkownika wywołującego							

Rys. 9. Struktura pakietów *Call Request* i *Incoming Call*

Pole *Facilities* jest wykorzystywane, jeśli z uwagi na specyfikę udogodnień realizowanych na rzecz użytkownika wymagane jest rozszerzenie informacji przekazywanych w pakietach obydwu typów. Teoretycznie maksymalna długość pola wynosi 255 bajtów, ale ograniczeniem jest również maksymalny dopuszczalny rozmiar pakietu wynoszący 259 bajtów.

Kolejnym elementem użytkowym jest pole *Dane użytkownika wywołującego*, którego maksymalna długość wynosi 128 bajtów dla realizacji usługi *Fast Select* oraz 16 w każdym innym przypadku. Dopuszczalne jest ograniczenie polegające na wyłącznej akceptacji przez mechanizmy sieciowe pakietów, które zawierają w tym miejscu całkowitą liczbę bajtów. W trakcie zestawiania połączenia system nie ingeruje w żaden sposób w zawartość pola, natomiast szczegółową prezentację związanych z tym zagadnień zawiera Zalecenie X.244.

Odpowiednio strukturę pakietów *Call Accepted* i *Call Connected* ilustruje rys. 10.



^{a)} Pola obowiązkowe w formacie podstawowym pakietu *Call Accepted*

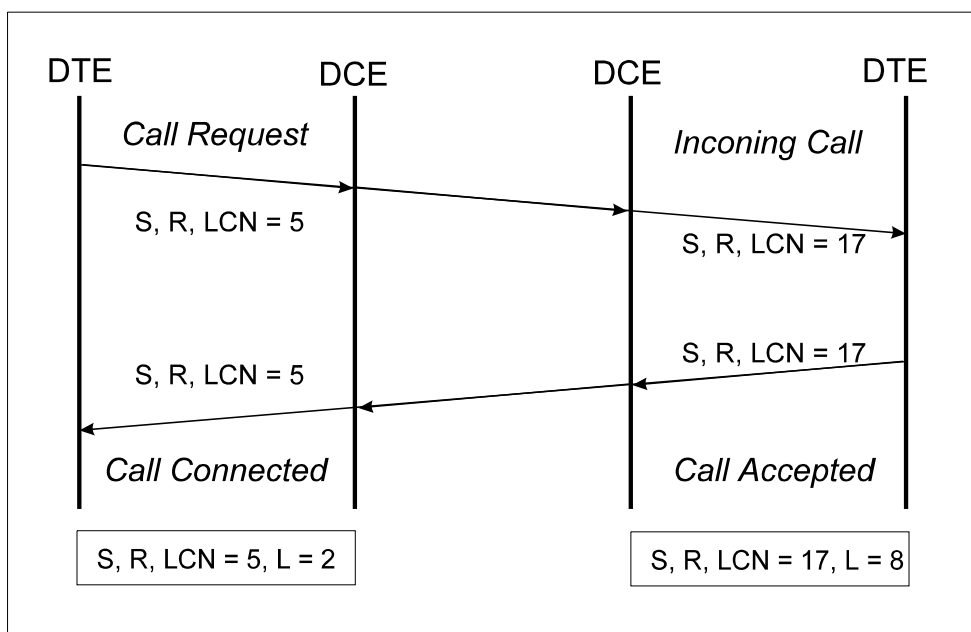
^{b)} Pole może wystąpić jedynie w formacie rozszerzonym.

Rys. 10. Struktura pakietów *Call Accepted* i *Call Connected*

Wykorzystanie pól długość adresu DTE wywoływanego i wywołującego w pakietach *Call Accepted* jest obowiązkowe jedynie w przypadkach, gdy zawierają adresy lub pole *Długość pola Facility*. Adresy DTE (jeśli występują) powinny posiadać format wynikający z zapisów zaleceń X.121 i X.301.

Format rozszerzony może być wykorzystany jedynie podczas realizacji trybu *Fast Select*. W takim przypadku pole *Dane użytkownika wywoływanego* może zawierać maksymalnie 128 bajtów.

Schemat realizacji wymiany pakietów podczas zestawiania połączenia ilustruje rys. 11



Rys. 11. Ustanawianie połączenia

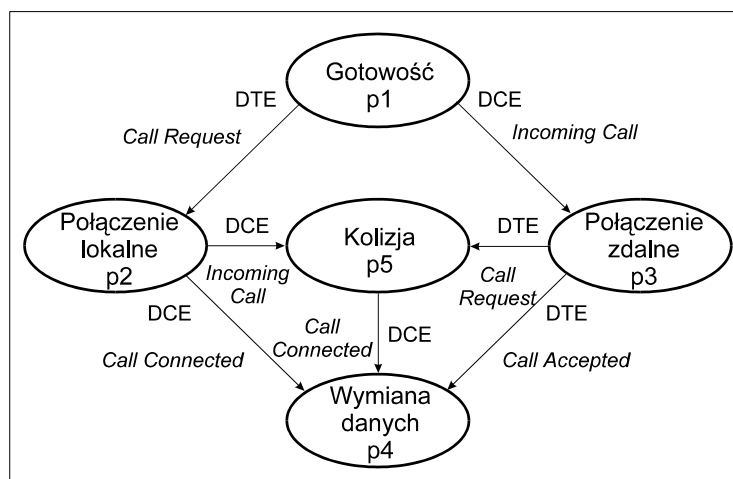
DTE generujące wywołanie przekazuje do DCE pakiet *Call Request*, podając w nim adresy stacji wywołującej i wywoływanej (odpowiednio DTE(S) i DTE(R), numer wykorzystywanego kanału logicznego (LCN) oraz wskazanie na ewentualne udogodnienia, których uaktywnienie jest wymagane. Stacja DTE generująca wywołanie wybiera wolny kanał logiczny drogą przeszukiwania przestrzeni adresowej poczynając od adresu najwyższego ($LCN+LCGN = 4095$). Dane te uzupełnione o numer łącza (L), w którym otwarty będzie kanał logiczny zostają zapamiętane przez sterowanie DCE.

Pakiet *Call Request* zostaje następnie przekazany przez sieć do macierzystego węzła stacji wywoływanej, który na podstawie otrzymanych informacji formuje wiadomość *Incoming Call*, zamieszczając w niej oprócz adresów DTE również lokalne parametry LCN oraz L. DCE wybiera wolny kanał logiczny drogą przeszukiwania przestrzeni adresowej poczynając od adresu najniższego ($LCN+LCGN=1$). Nawiązywanie połączenia kończy przekazanie przez stację wywołującą pakietu *Call Accepted*, który przetransferowany przez sieć zostaje przekształcony w wiadomość *Call Connected* skierowaną do wywołującego DTE.

Parametry połączeń dla obydwu par DTE-DCE operują wyłącznie w obszarze kanałów logicznych, tak że nagłówki wiadomości wymienianych podczas transmisji danych nie muszą zawierać sieciowych adresów stacji DTE.

Podczas określania numerów kanałów logicznych możliwe jest wystąpienie konfliktu, który ma miejsce wtedy, gdy stacje DTE (w pakiecie *Call Request*) i DCE (w pakiecie *Incoming Call*) wskażą ten sam LCN. Zgodnie z ustaleniami Zalecenia X.25 konflikt tego typu zostaje rozstrzygnięty na rzecz połączenia lokalnego.

Sekwencję wymiany pakietów na styku DTE-DCE ilustruje graf stanów przedstawiony na rys. 12.



Rys. 12. Zmiany stanów podczas ustanawiania połączenia

Na rysunku możliwe jest wskazanie sekwencji stanów występującej podczas ustanawiania połączenia z inicjatywy stacji lokalnej (p1, p2, p4) oraz odległej (p1, p3, p4), a także przejście do wymiany danych za pośrednictwem stanów kolizyjnych (p1, p2, p5, p4) i (p1, p3, p5, p4). Grafy stanów są sformalizowanym narzędziem notacji procedur systemu X.25.

2.6.4 Rozłączanie połączeń

Rozłączenie połączenia wirtualnego wymaga wymiany pomiędzy elementami systemu sekwencji pakietów, w skład której wchodzi: *Clear Request*, *Clear Indication* i *Clear Confirmation*. Strukturę pakietów *Clear Request* i *Clear Indication* przedstawiono na rys. 13.

Bajty	Bity							
	8	7	6	5	4	3	2	1
1	General format identifier (Note)				Logical channel group number			
2	Logical channel number							
	Packet type identifier							
3	0	0	0	1	0	0	1	1
4	Clearing cause							
5	Diagnostic code ^{a)}							
	Address block ^{b)}							
	Długość pola <i>Facility</i> ^{b)}							
	<i>Facilities</i> ^{b)}							
	Dane użytkownika inicjującego rozłączenie ^{b)}							

^{a)} Pola nie jest obowiązkowe w formacie podstawowym pakietu *Clear Request*

^{b)} Pole może wystąpić jedynie w formacie rozszerzonym.

Rys. 13. Struktura pakietów *Clear Request* i *Clear Indication*

Pole *Clearing cause* zawiera wyrażoną kodowo przyczynę rozłączenia, zaś w pakietach *Clear Request* może zostać ustawione przez DTE jedną z następujących wartości: 0000 0000 lub 1XXX XXXX, gdzie „X” oznacza wartość bitu skopiowaną przez DTE z pola *Diagnostic Code*. Dopuszczalne zawartości pola *Clearing cause* pakietów *Clear Indication* zestawiono w Tab. 8.

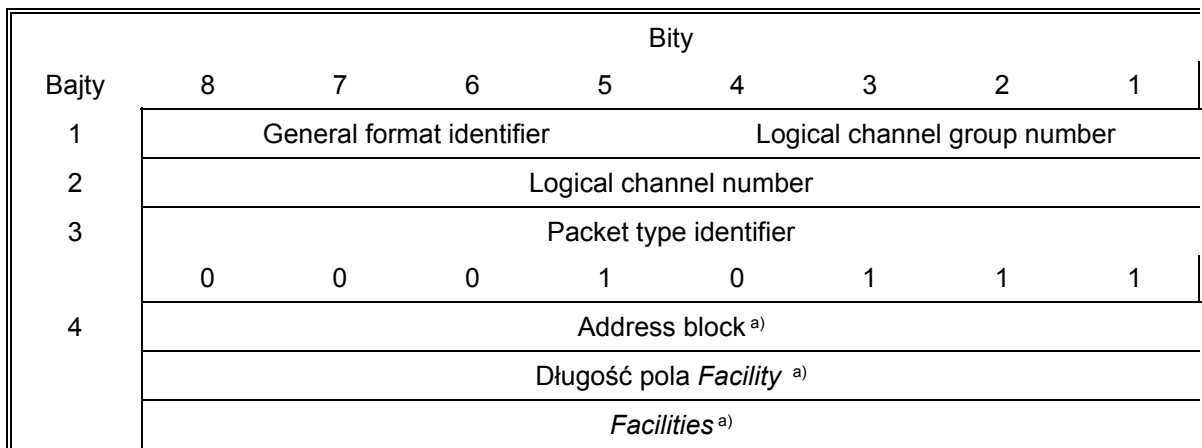
Tablica 8. Kodowanie przyczyny rozłączenia

	Bity							
	8	7	6	5	4	3	2	1
Rozłączenie przez DTE bez podania Diagnostic Code	0	0	0	0	0	0	0	0
Rozłączenie przez DTE z podaniem Diagnostic Code	1	X	X	X	X	X	X	X
Abonent zajęty	0	0	0	0	0	0	0	1
Abonent niedostępny	0	0	0	0	1	0	0	1
Błąd procedury zdalnej	0	0	0	1	0	0	0	1
Nieabonowane odwrotne zaliczanie	0	0	0	1	1	0	0	1
Abonent niekompatybilny	0	0	1	0	0	0	0	1
Nieabonowana opcja <i>Fast select</i>	0	0	1	0	1	0	0	1
Statek nieobecny	0	0	1	1	1	0	0	1
Błędne żądanie udogodnienia	0	0	0	0	0	0	1	1
Dostęp zakazany	0	0	0	0	1	0	1	1
Błąd procedury lokalnej	0	0	0	1	0	0	1	1
Natłok sieciowy	0	0	0	0	0	1	0	1
Nieosiągalność	0	0	0	0	1	1	0	1
Usługa RPOA nie funkcjonuje	0	0	0	1	0	1	0	1

Jeśli nadanie pakietu *Clear Indication* wynika z otrzymania wiadomości *Restart Request*, to wartość kodu diagnostycznego zostaje z niej przepisana lub ustawiona na 0000 0000 jeśli jest niedostępna.

Jeśli pole *Clearing cause* nie wskazuje „Rozłączenie przez DTE”, to jego zawartość wpisują zasoby sieciowe. Szczegółową listę dopuszczalnych kodów generowanych przez sieć zawiera Dodatek E Zalecenia X.25, natomiast ustawienie pola wartością 0000 0000 oznacza brak dodatkowych informacji.

Strukturę pakietu *Clear Confirmation* przedstawiono na rys. 14.

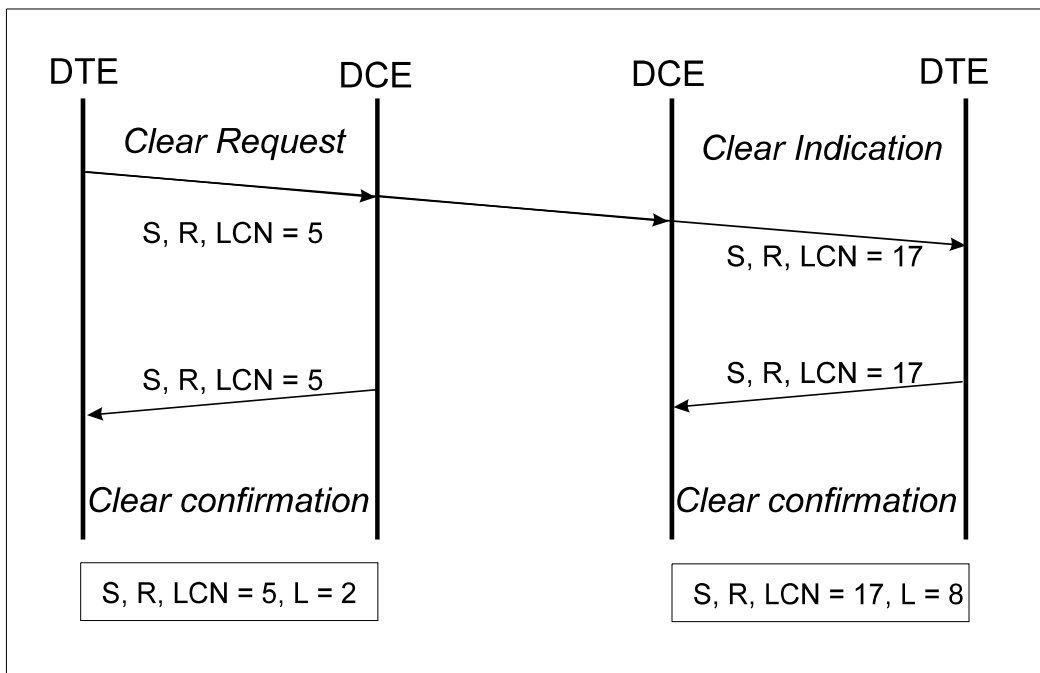


^{a)} Pole może wystąpić jedynie w formacie rozszerzonym

Rys. 14. Struktura pakietu *Clear Confirmation*

Rozszerzony format pakietów *DCE Clear Confirmation* może być wykorzystywany jedynie w połączeniu z udogodnieniem *Charging Information*, nie jest natomiast dopuszczalny w pakietach *DTE Clear Confirmation*.

Sekwencję wymiany pakietów w fazie rozłączania ilustruje rys. 15.



Rys. 15. Rozłączanie

Pakiety typów *Clear Request*, *Clear Indication* i *Clear Confirmation* są wykorzystywane nie tylko do realizacji rozłączeń ale również informują wywołującą stację DTE o niemożności realizacji połączenia, a także umożliwiają przekaz danych w trybie *Fast Select*.

Ponieważ, w odróżnieniu od fazy zestawiania połączenia jego likwidacja wymaga jedynie

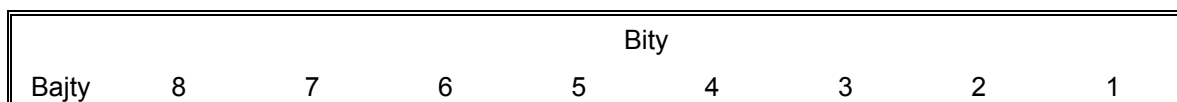
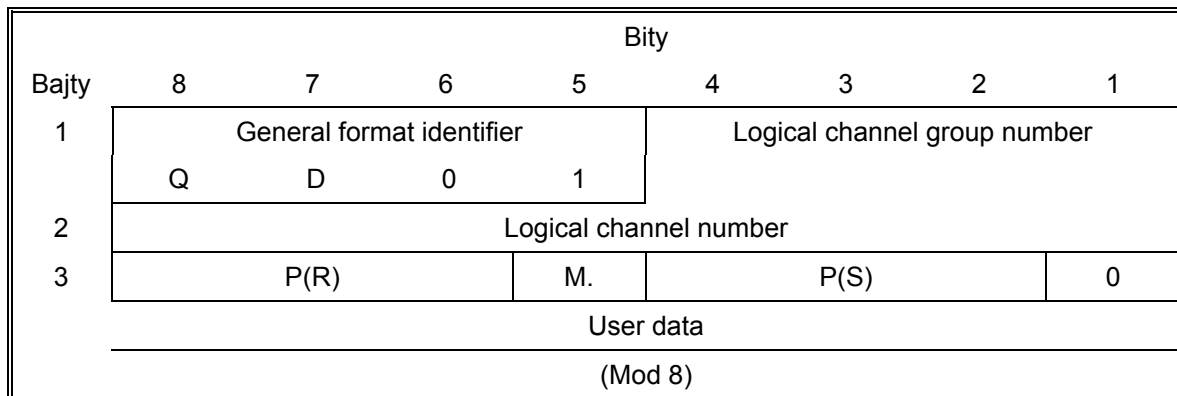
wymiany informacji na lokalnych stykach DTE-DCE, to jest potencjalnie możliwe, że niektóre dane dotrą do miejsc przeznaczenia już po deaktywacji funkcjonujących w nich elementów końcowych. Zagrożenie to jest tym bardziej realne, że pakiety klasy *Clear* nie podlegają ograniczeniom okienkowego mechanizmu sterowania przepływem, a więc mogą wyprzedzić transferowane przez sieć dane. W takim przypadku zadanie odzyskania utraconej informacji realizują mechanizmy wyższych warstw systemu (warstwa transportowa).

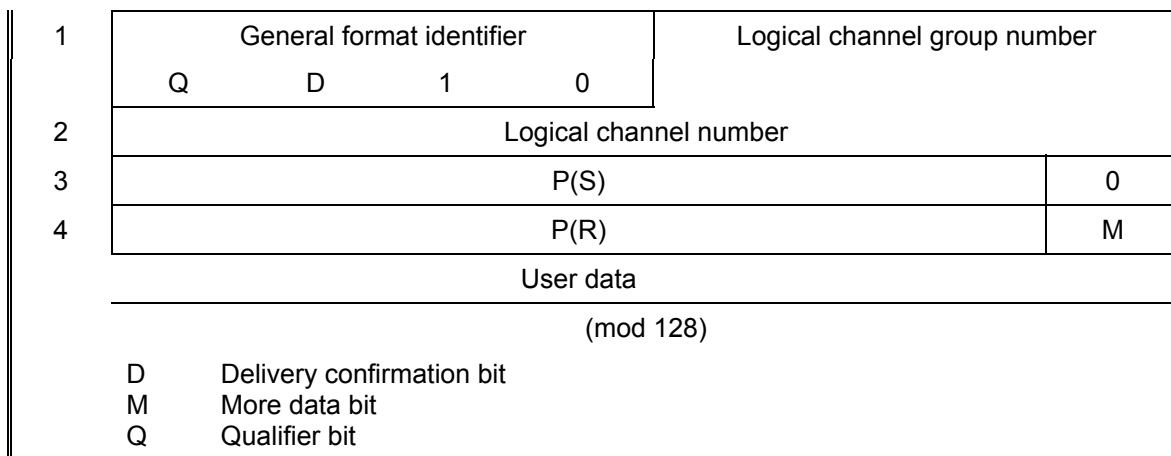
2.6.5 Wymiana danych i sterowanie

Transferowanie przez sieć pakietów danych jest procesem nadzorowanym przez specjalizowane mechanizmy potwierdzania, które stosownie do wskazania flagi D nagłówka funkcjonują albo pomiędzy komunikującymi się stacjami DTE („od końca do końca”, $D = 1$), albo lokalnie na styku DTE-DCE ($D = 0$). Mechanizmy te realizują proces nadzoru wykorzystując bieżącą numerację pakietów nadawanych (mod 8 lub 128) oraz potwierdzenia poprawnego odbioru przez współpracujący element systemowy.

Ponadto, w celu zapobiegania przeciążeniom systemu, strumienie transferowanych przez jego zasoby pakietów są poddane działaniu mechanizmów sterowania przepływem, które wykorzystują dedykowane im rozwiązania przedstawione w dalszym ciągu opracowania.

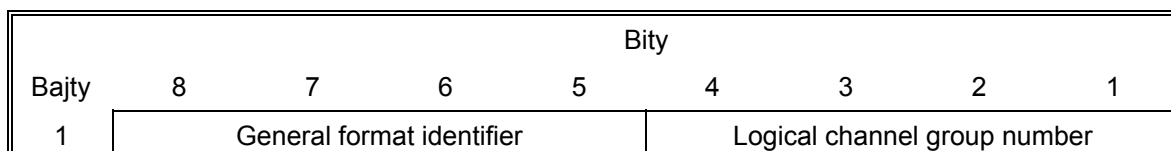
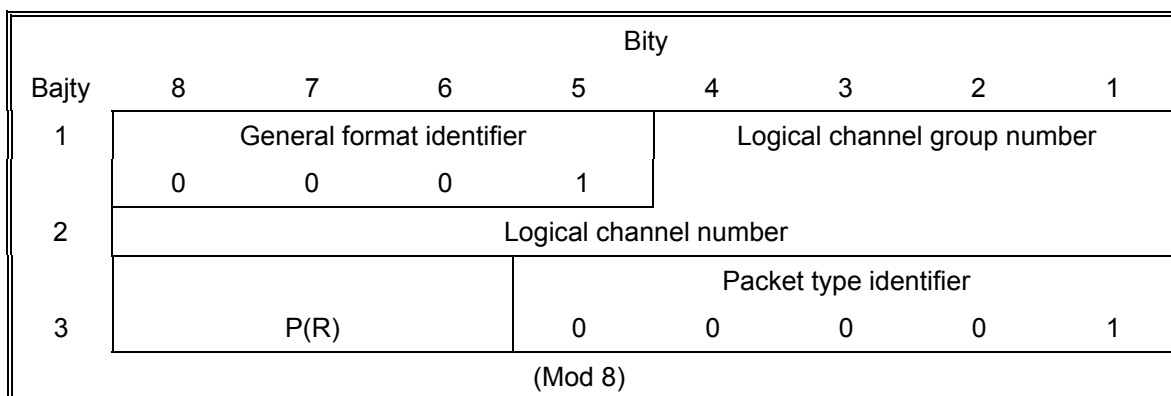
Strukturę pakietów *DTE* i *DCE data* przedstawiono na rys. 16.

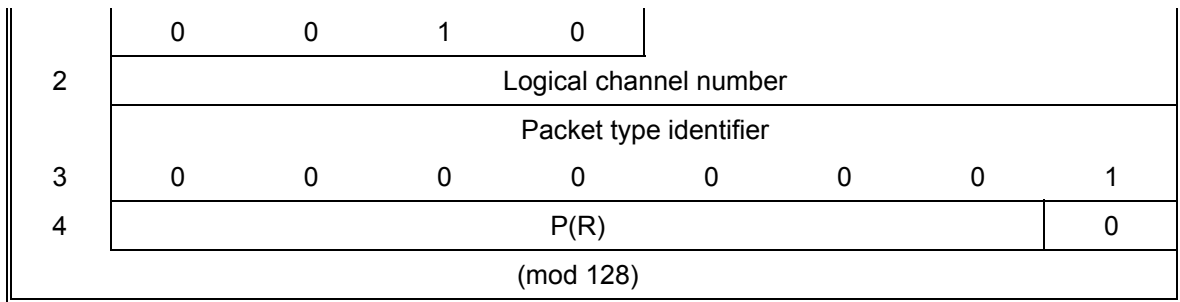




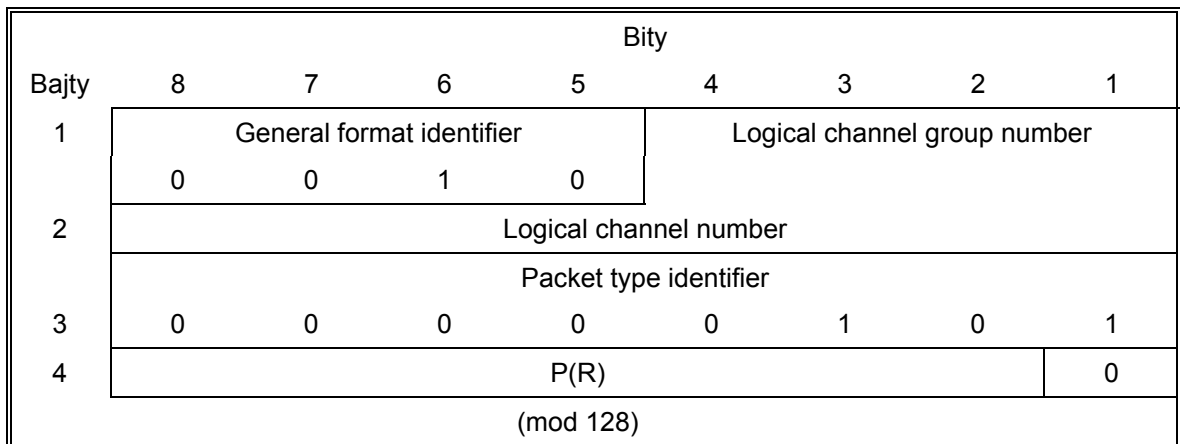
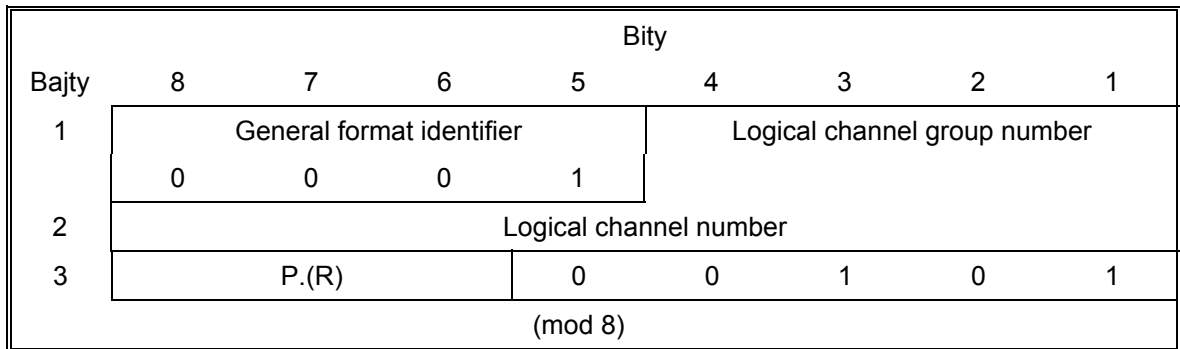
Rys. 16. Struktura pakietów *DTE* i *DCE data*

Pakiety danych są łatwo wykrywalne pośród innych wiadomości dzięki unikalnej wartości flagi bitowej S/D, która tylko w ich przypadku przyjmuje wartość „0”. Utrzymanie obustronnej wymiany informacji pomiędzy komunikującymi się stacjami pozwala na realizację potwierżeń w trybie, w którym każdy odebrany pakiet dostarcza równocześnie potwierdzenia wiadomości przekazanej w odwrotnym kierunku. Jeżeli natomiast ruch ma charakter niesymetryczny, a więc w jednym kierunku pakiety przepływają o wiele rzadziej niż w drugim, to potwierdzanie musi odbywać się z wykorzystaniem specjalizowanych wiadomości *DTE* i *DCE receive ready (RR)* oraz *DTE* i *DCE receive not ready (RNR)*. Struktury pakietów *DTE* i *DCE receive ready (RR)* oraz *DTE* i *DCE receive not ready (RNR)* przedstawiono na rys. 17 oraz 18.





Rys. 17. Struktura pakietów *DTE* i *DCE receive ready (RR)*

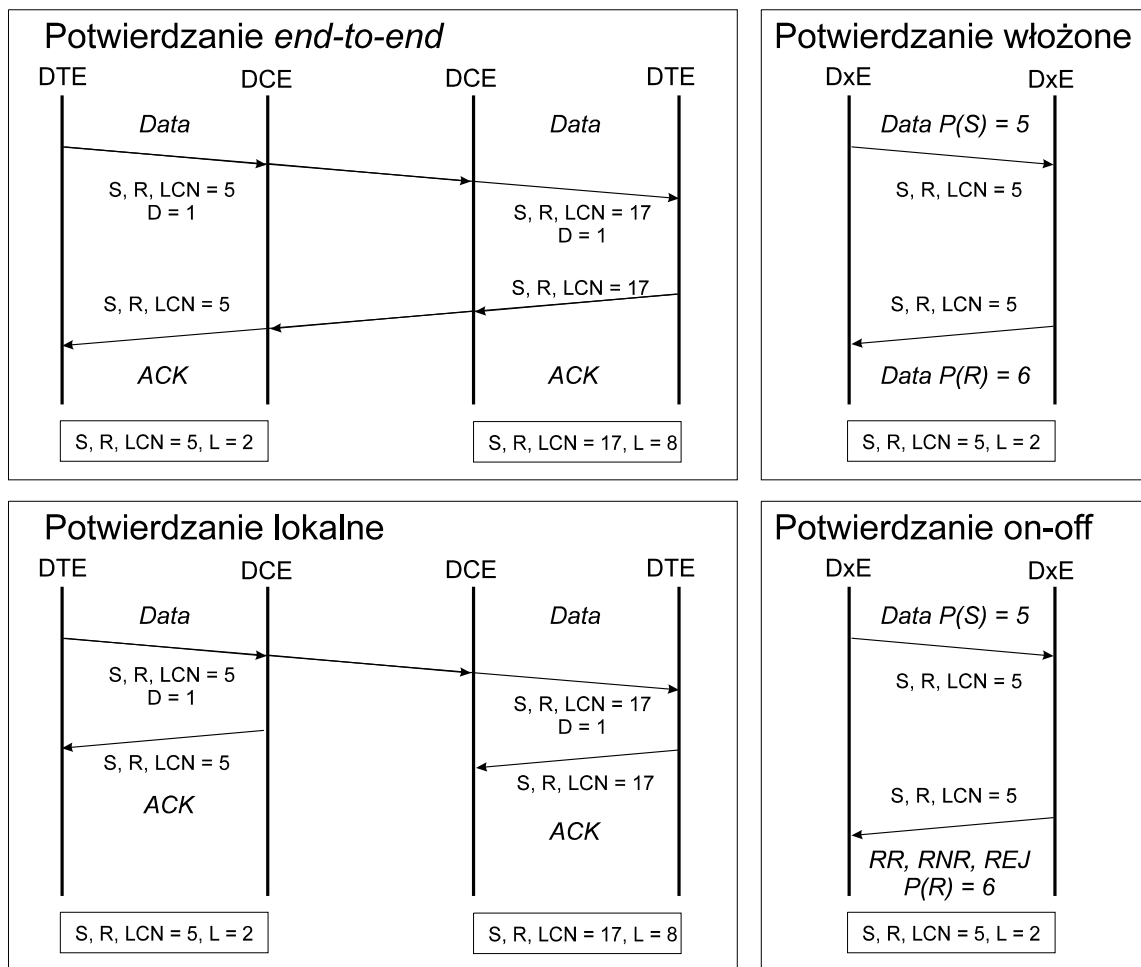


Rys. 18. Struktura pakietów *DTE* i *DCE receive not ready (RNR)*

Uwzględniając dodatkowo wspomnianą wcześniej wariantowość zasięgu potwierżeń sterowalną dzięki wykorzystaniu bitu D można ostatecznie stwierdzić, że w systemie X.25 występują potencjalnie następujące techniki potwierdzania wiadomości:

- lokalny z wykorzystaniem pakietów danych;
- lokalny z wykorzystaniem wiadomości RR i RNR;
- zdalny z wykorzystaniem pakietów danych;
- zdalny z wykorzystaniem wiadomości RR i RNR;

Poglądową prezentację wszystkich potencjalnie możliwych wariantów stanowią wykresy czasowe przedstawione na rys. 19.



Rys. 19. Potwierdzenie pakietów w różnych trybach

Potwierdzenie funkcjonuje dzięki wykorzystaniu pól nagłówkowych:

- P(S) - *Send Sequence Number* - numer pakietu nadawanego;
- P(R) - *Receive Sequence Number* - numer pakietu oczekiwanego,

które ustawiane są wartością liczników działających w każdej stacji:

- V(S) - *Send Sequence Variable* - licznik nadawczy;
- V(R) - *Receive Sequence Variable* - licznik odbiorczy.

Zasady wykorzystania przedstawionych elementów są następujące: po nadaniu pakietu z polem P(S) zawierającym aktualną wartość V(S), stan V(S) zostaje powiększony o jeden. Natomiast poprawny odbiór pakietu oznacza wpisanie do pola V(R) powiększonej o jeden zawartości jego pola P(S).

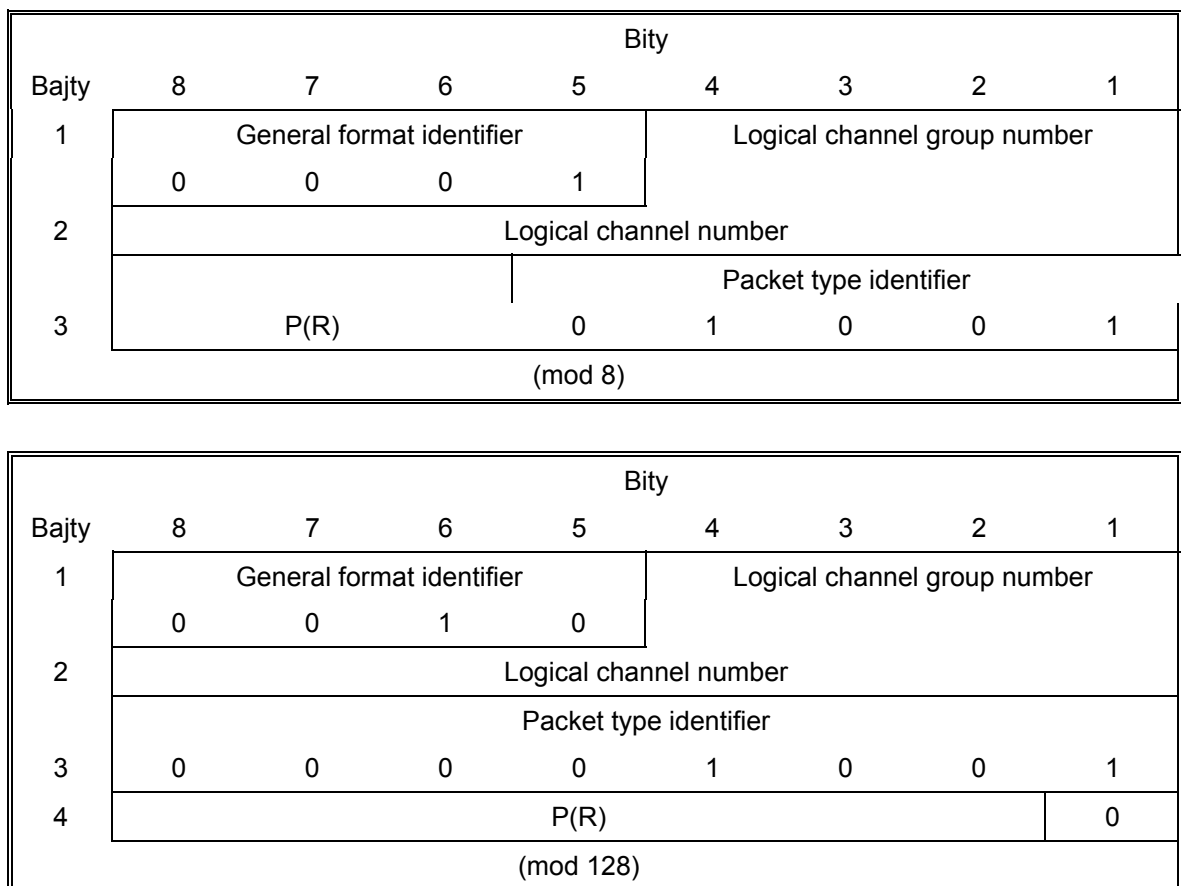
Odebranie dowolnego pakietu z numerem P(R) oznacza potwierdzenie wszystkich pakietów o numerach do P(R) - 1. Natomiast dodatkowo, w zależności od typu pakietu realizowane są

następujące działania:

- dla pakietów *Data* i *RR* transmisja jest kontynuowana;
- dla pakietów *RNR* transmisja zostaje wstrzymana do czasu odebrania pakietu *RR*;
- dla pakietów *DTE REJ* transmisja jest kontynuowana po ponownym nadaniu wszystkich pakietów od numeru P(R) począwszy.

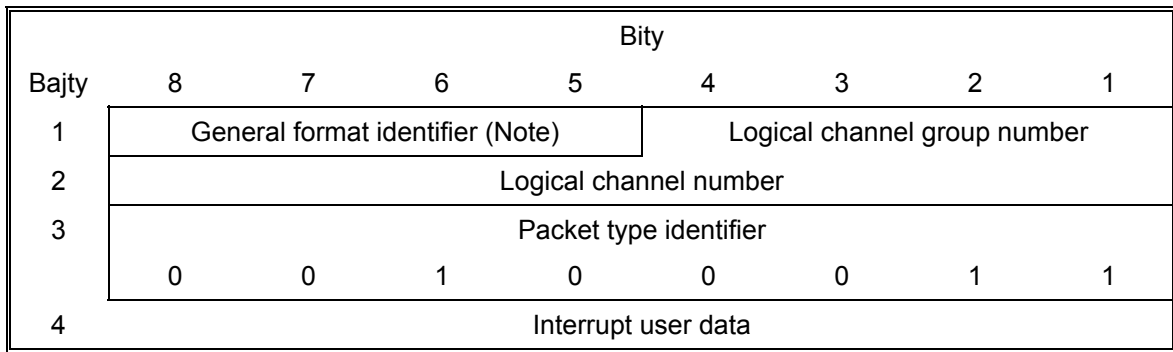
Pakiety *Reject* nie są używane zbyt często, ponieważ wykorzystujący je mechanizm *Packet Retransmission* jest udogodnieniem opcjonalnym, a więc dostępnym po negocjacjach z administratorem sieci.

Strukturę pakietów *DTE REJ* przedstawiono na rys. 20.



Rys. 20. Struktura pakietów *DTE REJ*

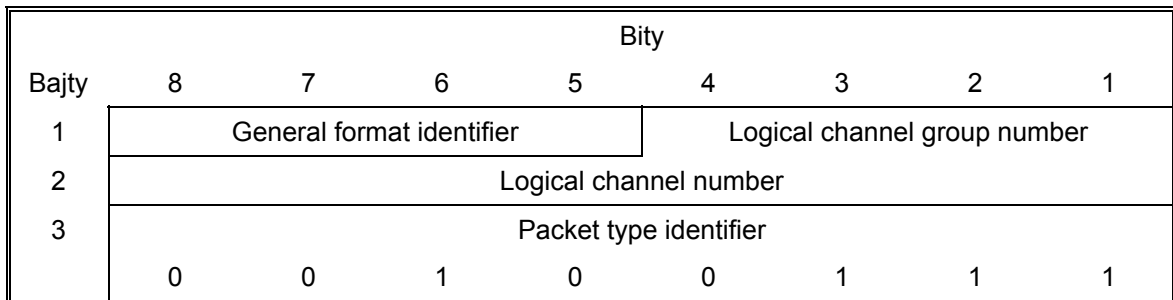
Przedstawione dotąd pakiety sterujące podczas przekazywania przez sieć podlegają oddziaływaniu standardowych mechanizmów sterowania przepływem. Jednakże w praktyce często występują sytuacje, gdy użytecznym jest dysponowanie możliwością priorytetowego przekazywania wiadomości. Zadanie to realizują pakiety *DTE* i *DCE Interrupt*, których strukturę przedstawiono na rys. 21.



Rys. 21. Struktura pakietów *DTE* i *DCE Interrupt*

Pole *Interrupt user data* może zawierać do 32 bajtów danych, zaś sam pakiet jest transferowany z pominięciem kolejek w poszczególnych węzłach sieci.

Funkcję potwierdzania pakietów *DTE* i *DCE Interrupt* realizują wiadomości *DTE* i *DCE Interrupt Confirmation*, których strukturę ilustruje rys. 22.



Rys. 22. Struktura pakietów *DTE* i *DCE Interrupt Confirmation*

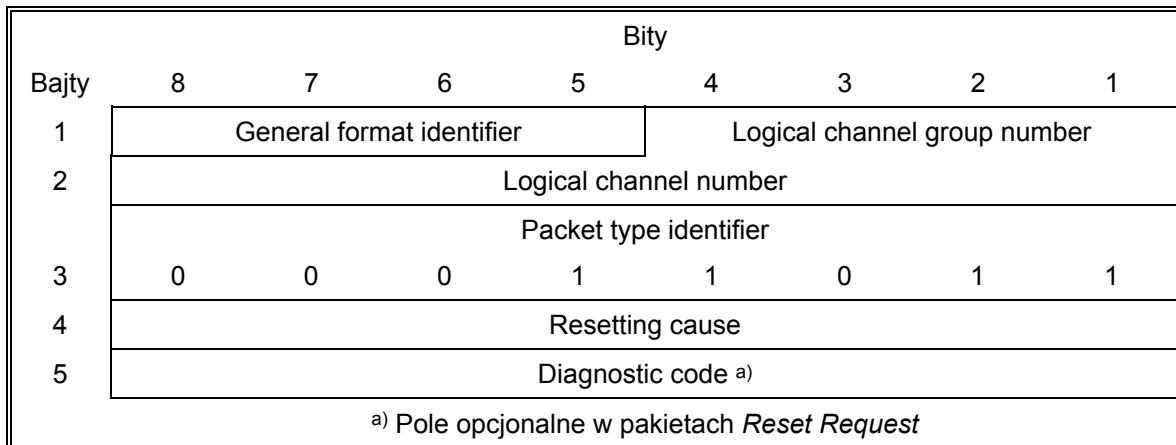
Z uwagi na priorytetowy charakter transferowania wiadomości *Interrupt*, który w przypadku ich nadużywania mógłby prowadzić do ograniczenia lub wręcz dezorganizacji i zablokowania przepływu pakietów standardowych, w systemie X.25 obowiązuje zasada, że stacje nie mogą nadać kolejnego pakietu *Interrupt* do chwili otrzymania potwierdzenia poprzedniego.

Jeśli system funkcjonuje wadliwie, tj. pojawiają się problemy z zachowaniem ciągłości numeracji lub pakiety są gubione albo duplikowane i stanu tego nie można opanować wykorzystując mechanizm priorytetowej wymiany oferowany przez pakiet typu *Interrupt*, to w takim przypadku niezbędne jest przeprowadzenie tzw. wznowienia.

Wznowienie oznacza wyzerowanie liczników $V(S)$ i $V(R)$ oraz w konsekwencji utratę wszystkich pakietów dotąd niepotwierdzonych. Zależnie od zasięgu oddziaływania wyróżnia się wznowienia typu *Reset*, które dotyczą pojedynczego łącza wirtualnego oraz *Restart* obejmujące wszystkie łącza styku DTE-DCE.

Strukturę związanych z wznowieniem pojedynczego łącza pakietów *Reset Request* i *Reset*

Indication przedstawiono na rys. 23.



Rys. 23. Struktura pakietów *Reset Request* i *Reset Indication*

Pole *Resetting cause* zawiera wyrażoną kodowo przyczynę wznowienia, zaś w pakietach *Reset Request* może zostać ustawione przez DTE jedną z następujących wartości: 0000 0000 lub 1XXX XXXX, gdzie „X” oznacza wartość bitu skopiowaną przez DTE z pola *Diagnostic Code*. DCE nadzoruje pole *Resetting cause*, uniemożliwiając w szczególności pojawienie się w nim niedozwolonych wartości. Dopuszczalne zawartości pola *Resetting cause* pakietów *Reset Indication* zestawiono w Tab. 9.

Tablica 9. Kodowanie przyczyny wznowienia łącza w pakietach *Reset Indication*

	Bity							
	8	7	6	5	4	3	2	1
Wymuszone przez DTE bez podania Diagnostic Code	0	0	0	0	0	0	0	0
Wymuszone przez DTE z podaniem Diagnostic Code	1	X	X	X	X	X	X	X
Abonent niedostępny	0	0	0	0	0	0	0	1
Błąd procedury zdalnej	0	0	0	0	0	0	1	1
Błąd procedury lokalnej	0	0	0	0	0	1	0	1
Natłok sieciowy	0	0	0	0	0	1	1	1
Funkcja zdalnego DTE ^{b)}	0	0	0	0	1	0	0	1
Funkcja sieciowa ^{b)}	0	0	0	0	1	1	1	1
Abonent niekompatybilny	0	0	0	1	0	0	0	1
Sieć nieosiągalna	0	0	0	1	1	1	0	1
^{a)} Stosowane w łączach PVC								

Jeśli pole *Resetting cause* nie wskazuje „Wymuszone przez DTE”, to jego zawartość wpisują zasoby sieciowe. Szczegółową listę dopuszczalnych kodów generowanych przez sieć zawiera Dodatek E Zalecenia X.25, natomiast ustawienie pola wartością 0000 0000 oznacza brak

dodatkowych informacji.

Strukturę wykorzystywanych do potwierdzania wznowienia łącza pakietów *DTE* i *DCE Reset Confirmation* przedstawiono na rys. 24.

		Bity							
Bajty		8	7	6	5	4	3	2	1
1		General format identifier (Note)				Logical channel group number			
2		Logical channel number							
3		Packet type identifier							
		0	0	0	1	1	1	1	1

Rys. 24. Struktura pakietów *DTE* i *DCE Reset Confirmation*

W przypadku, gdy występujące problemy z transferowaniem ruchu obejmują wszystkie łącza danego styku (np. na skutek uszkodzenia węzła), możliwe jest przeprowadzenie procedury *Restart*, która z uwagi na duży zasięg oddziaływania powinna być wykorzystywana jedynie w rzeczywiście niezbędnych przypadkach. Strukturę wykorzystywanych do jej wywołania pakietów *Restart Request* i *Restart Indication* przedstawiono na rys. 25.

		Bity							
Bajty		8	7	6	5	4	3	2	1
1		General format identifier				0	0	0	0
2		0	0	0	0	0	0	0	0
3		Packet type identifier							
		1	1	1	1	1	0	1	1
4		Restarting cause							
5		Diagnostic code ^{a)}							

^{a)} Pole nieobowiązkowe w pakietach *Restart Request*

Rys. 25. Struktura pakietów *Restart Request* i *Restart Indication*

Pole *Restarting cause* zawiera wyrażoną kodowo przyczynę wdrożenia wznowienia, zaś w pakietach *Restart Request* może zostać ustawione przez DTE jedną z następujących wartości: 0000 0000 lub 1XXX XXXX, gdzie „X” oznacza wartość bitu skopiowaną przez DTE z pola *Diagnostic Code*. DCE nadzoruje pole *Restarting cause*, uniemożliwiając w szczególności pojawienie się w nim niedozwolonych wartości. Dopuszczalne zawartości pola *Restarting cause* pakietów *Restart Indication* zestawiono w Tab. 10.

Tablica 10. Kodowanie przyczyny wznowienia w pakietach *Restart Indication*

	Bity							
	8	7	6	5	4	3	2	1
Błąd procedury lokalnej	0	0	0	0	0	0	0	1
Natłok sieciowy	0	0	0	0	0	0	1	1
Sieć funkcjonuje	0	0	0	0	0	1	1	1
Rejestracja/anulowanie potwierdzona ^{a)}	0	1	1	1	1	1	1	1
^{a)} Używana w przypadku udogodnienia <i>on-line facility registration</i>								

Strukturę pakietów *DTE* i *DCE Restart Confirmation* przedstawiono na rys. 26.

Bajty	Bity							
	8	7	6	5	4	3	2	1
1	General format identifier				0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0	0
3	Packet type identifier							
	1	1	1	1	1	1	1	1

Rys. 26. Struktura pakietów *DTE* i *DCE Restart Confirmation*

Raportowanie stanów awaryjnych w rodzaju: niepoprawny numer pakietu lub jego niewłaściwy typ, wyliczenie timera lub niemożność nawiązania połączenia jest realizowane przez DCE z wykorzystaniem pakietów *Diagnostic*, których strukturę przedstawiono na rys. 27.

Bajty	Bity							
	8	7	6	5	4	3	2	1
1	General format identifier				0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0	0
3	Packet type identifier							
	1	1	1	1	0	0	0	1
4	Diagnostic code							
5	Diagnostic explanation							

Rys. 27. Struktura pakietu *Diagnostic*

Błąd, który spowodował wygenerowanie pakietu *Diagnostic* jest oznaczony kodowo w polu *Diagnostic code*, które może zawierać jedynie wartości wyspecyfikowane w dodatku E Zalecenia X.25.

Jeżeli pakiet *Diagnostic* został wygenerowany w wyniku odbioru błędnego pakietu od DTE, to pole *Diagnostic explanation* zawiera pierwsze trzy bajty jego nagłówka. Jeśli natomiast błędny

pakiet zawierał mniej niż 3 bajty, to przekazywana jest jego cała zawartość.

Jeśli natomiast pakiet *Diagnostic* wygenerowano w rezultacie wyliczenia przez DCE timera, pole *Diagnostic explanation* zawiera dwa bajty o następującej zawartości:

- bity 8, 7, 6 i 5 pierwszego bajtu przenoszą pole GFI dla interfejsu;
- bity 4 do 1 pierwszego bajtu i bity 8 do 1 drugiego są wyzerowane w przypadku wyliczenia timera T10 albo przenoszą numer kanału logicznego dla którego błąd wystąpił w przypadku timerów T12 lub T13.

Pakiety typu *Diagnostic* są przekazywane zawsze w kanale służbowym i nie muszą być potwierdzone przez stację DTE.

2.6.6 Rejestracja profilu udogodnień

Pakiety klasy *Registration* są wykorzystywane do określania zestawu dostępnych dla użytkownika udogodnień, wprowadzania zmian w jego składzie oraz grupowej albo indywidualnej modyfikacji parametrów. Format pakietu *Registration Request* ilustruje rys. 28.

Bajty	Bity							
	8	7	6	5	4	3	2	1
1	General format identifier ¹				0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0	0
3	Packet type identifier							
	1	1	1	1	0	0	1	1
4	Długość adresu DTE				Długość adresu DCE			
	Adresy DCE i DTE							
					0	0	0	0
	Długość pola <i>Registration</i>							
	<i>Registration</i>							
¹	Zawiera 0001 (mod 8) lub 0010 (mod 128).							

Rys. 28. Struktura pakietu *Registration Request*

Odpowiednio strukturę pakietu *Registration Confirmation* ilustruje rys. 29.

Bajty	Bity							
	8	7	6	5	4	3	2	1

1	General format identifier ¹				0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0	0
3	Packet type identifier							
	1	1	1	1	0	1	1	1
4	<i>Cause</i>							
5	<i>Diagnostic</i>							
6	Długość adresu DTE				Długość adresu DCE			
7	Adresy DCE i DTE							
					0	0	0	0
	Długość pola <i>Registration</i>							
	<i>Registration</i>							
	¹ Zawiera 0001 (mod 8) lub 0010 (mod 128).							

Rys. 29. Struktura pakietu *Registration Confirmation*

Pole *Cause* zawiera powód niepowodzenia negocjacji udogodnienia lub wskazanie, że pole *Registration* zostało zweryfikowane przez DCE. Dopuszczalne zawartości pola *Cause* zestawiono w Tab. 11.

Tablica 11. Kodowanie pola *Cause* w pakietach *Registration Confirmation*

	Bity							
	8	7	6	5	4	3	2	1
Rejestracja/anulowanie potwierdzona	0	1	1	1	1	1	1	1
Błędne wywołanie udogodnienia	0	0	0	0	0	0	1	1
Błąd procedury lokalnej	0	0	0	1	0	0	1	1
Natłok sieciowy	0	0	0	0	0	1	0	1

Dodatkowe informacje o powodach niepowodzenia negocjacji udogodnień przynoszone są w polu *Diagnostic Code*, które w przypadku powodzenia zostaje ustawione w stan 0000 0000, natomiast inne dopuszczalne wartości zawiera Dodatek E Zalecenia X.25.

Pakiety klasy *Registration* są przesyłane w służbowym kanale logicznym.

2.7 Mechanizmy obsługi przepływów

2.7.1 Okienkowy mechanizm sterujący

Przedstawiona poprzednio technika sterowania przepływem, wykorzystująca pakiety *RR* i *RNR*, jest określana jako *on-off*, ponieważ reguluje strumień wiadomości poprzez okresowe

blokowanie stacji nadawczej. Ponieważ proste rozwiązania są zazwyczaj mało efektywne, częściej wykorzystywaną w praktyce techniką sterowania jest mechanizm okienkowy, charakteryzujący się o wiele lepszymi właściwościami użytkowymi.

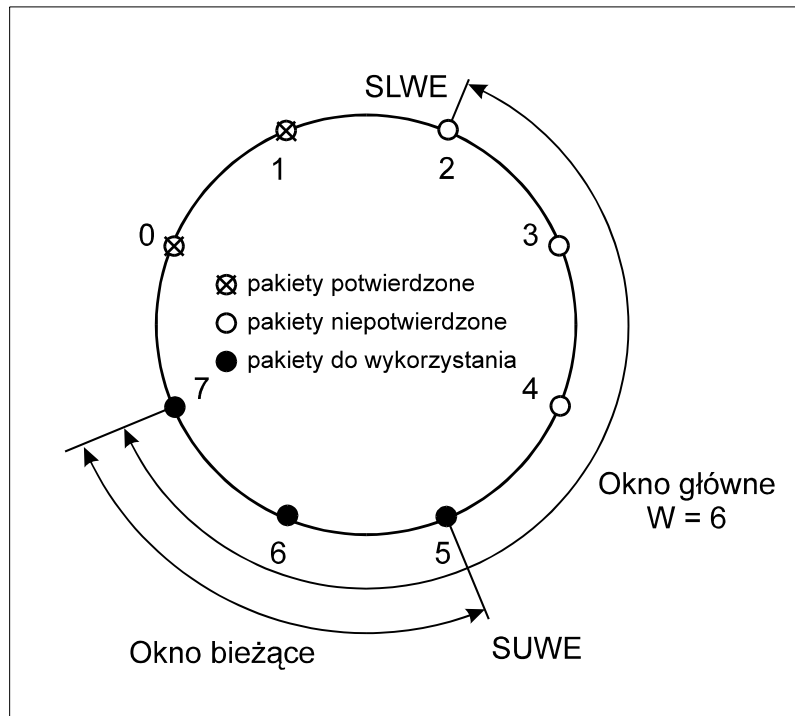
Podstawowym parametrem techniki okienkowej jest tzw. szerokość okna (W) oznaczająca maksymalną liczbę niepotwierdzonych pakietów, przy której można kontynuować nadawanie. Realizację techniki w praktyce umożliwia wykorzystanie dwóch ściśle związanych z nią liczników:

- *Send Lower Window Edge (SLWE)*, który zawiera najniższy numer pakietu nadanego i niepotwierdzonego. Zawartość SLWE jest na bieżąco ustawiana zawartością pól P(R) pakietów odbieranych.
- *Send Upper Window Edge (SUWE)*, zawierający najniższy numer możliwy do przypisania pakietom nadawanym ($SUWE = V(S)$).

Stacja abonencka może nadawać pakiety o numerach z przedziału ($SLWE, SLWE+W$), zaś każdy kolejny akt generacji „domyka” główne okno, podczas, gdy odbieranie kolejnych potwierdzeń, które udostępnia ponownie zajęte dotąd numery powoduje jego „poszerzanie”. Wewnątrz okna głównego ($SLWE, SLWE+W$) funkcjonuje okno bieżące ($SLWE, SUWE+W$). Wzajemne położenie obydwu okien zawiera się pomiędzy dwoma skrajnymi przypadkami:

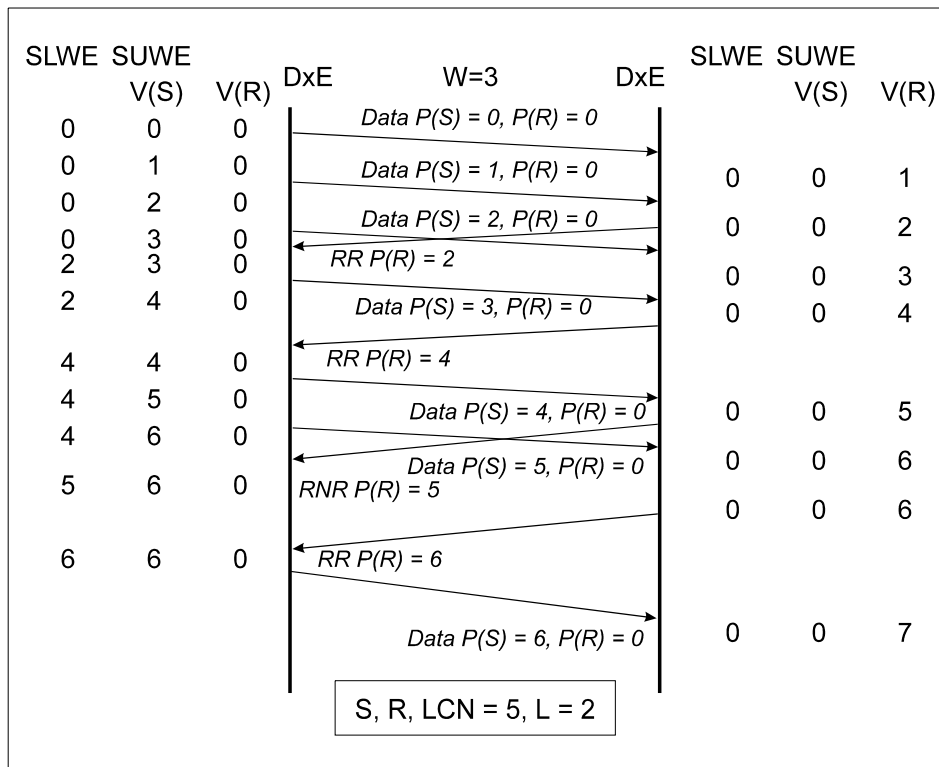
- jeśli wszystkie pakiety zostały potwierdzone, to okna się pokrywają;
- jeśli natomiast nie potwierdzono żadnego z maksymalnej liczby nadanych pakietów, to okno bieżące jest „zamknięte”.

Opisane zależności przedstawia w formie graficznej schemat na rys. 30.



Rys. 30. Przykład położenia okien głównego i bieżącego

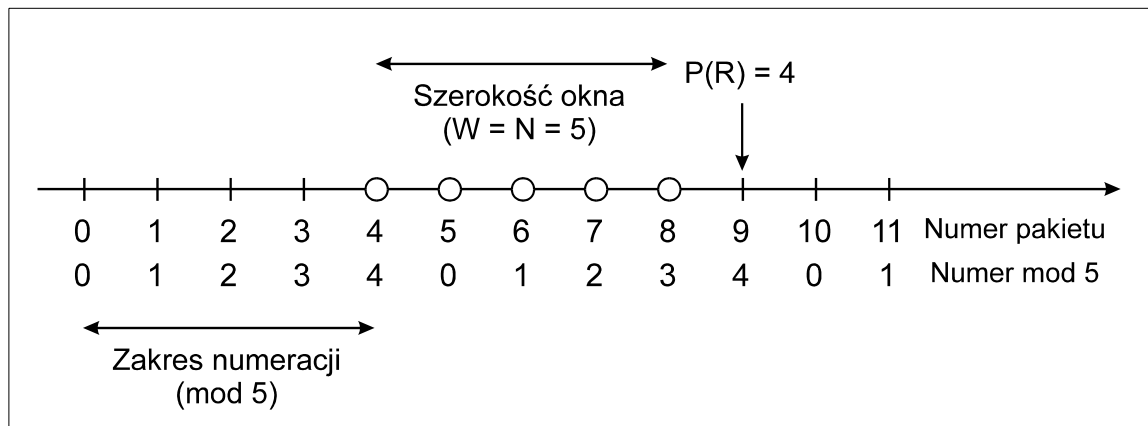
Przykładowa sekwencja wymiany pakietów nadzorowana przez mechanizm okienkowy przedstawiona jest na rys. 31.



Rys. 31. Wymiana pakietów nadzorowana przez mechanizm okienkowy

Należy równocześnie zauważyć, że podczas gdy numeracja mod N umożliwia teoretycznie

wykorzystanie wszystkich numerów z przedziału $\{0, N-1\}$, to jednak dostępna w praktyce maksymalna szerokość okna wynosi $W = N - 1$. Ilustracją tego nieoczekiwanego zjawiska jest schemat przedstawiony na rys. 32.



Rys. 32. System numeracji z $W = N$

Przyczyną ograniczenia szerokości okna jest fakt, że numer odbiorczy $P(R)$ wskazuje na pakiet, którego odbiór nastąpi w kolejnym kroku transmisji.

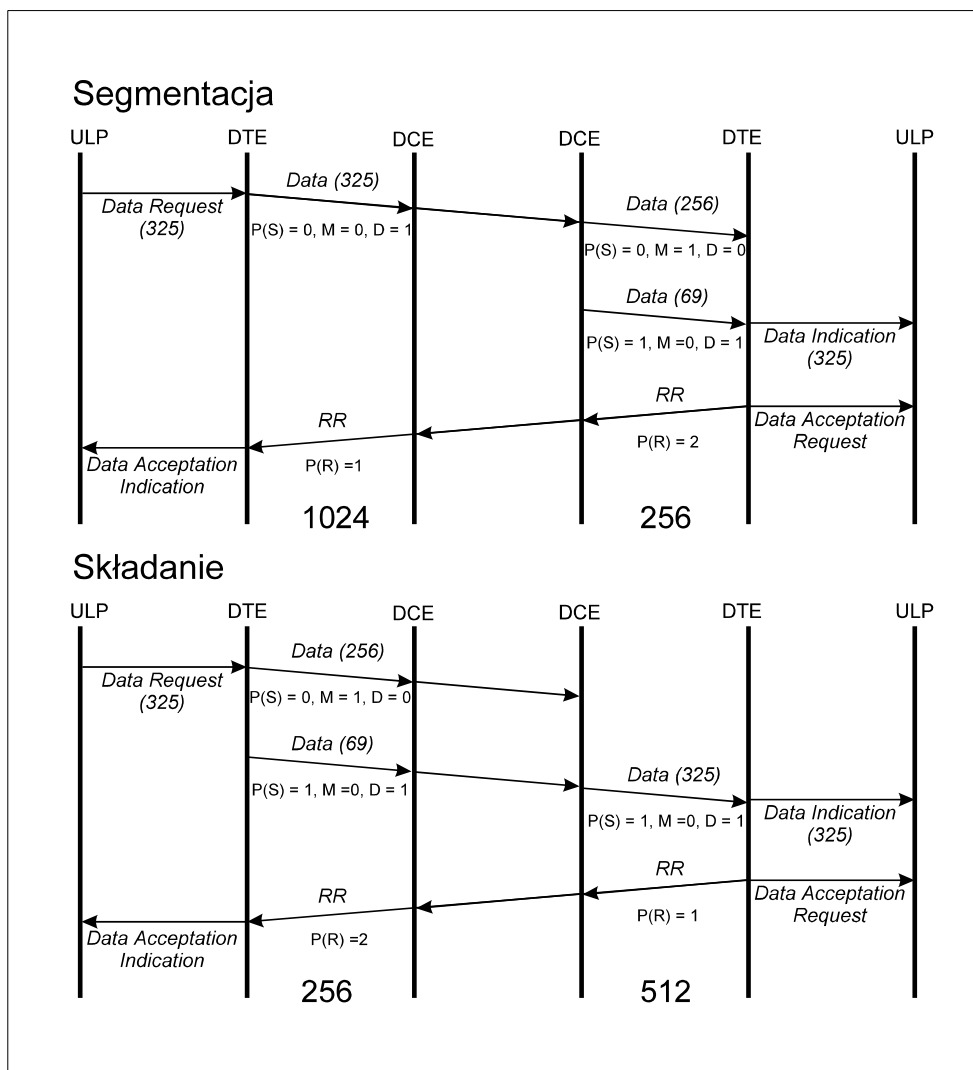
2.7.2 Segmentacja i składanie pakietów

Procedury funkcjonalne styku DTE-DCE akceptują pakiety, których długość jest ograniczona i ściśle zdeterminowana aktualnymi parametrami wymiany. W rezultacie, jeśli informacja dostarczona do przekazania przez warstwy wyższe posiada objętość większą niż ustalony rozmiar pakietu, to musi zostać poddana segmentacji w nadajniku oraz składaniu w stacji odbiorczej.

Wszystkie pakiety przynoszące tą samą wiadomość (za wyjątkiem ostatniego) posiadają ustawioną flagę M i wyzerowany bit D . Pakiety te, o maksymalnej dopuszczalnej długości określone są w terminologii systemu X.25 mianem A-pakietów. Ostatni z serii pakietów wyróżniany jest wyzerowaną flagą M i tylko on może posiadać ustawiony bit D nagłówka. Taki pakiet nazywany jest pakietem typu B.

W rezultacie, przekaz wiadomości posiadającej objętość większą niż ustalony rozmiar pakietu stanowi ciąg pakietów A (potwierdzanych lokalnie), zakończony wiadomością klasy B (potwierdzanej lokalnie lub w trybie „od końca do końca”).

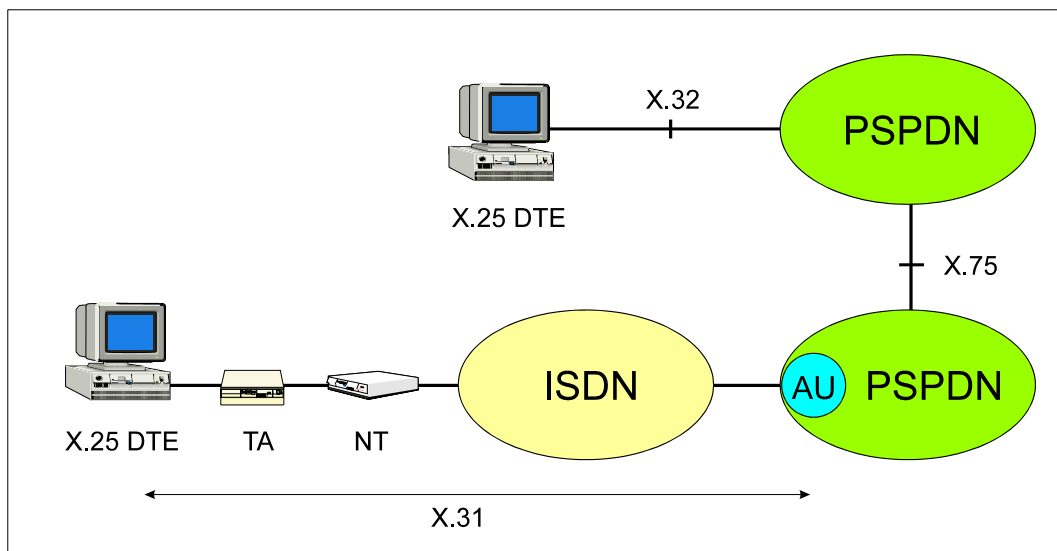
Ilustracją praktycznej realizacji segmentowania i składania wiadomości są diagramy czasowe przedstawione na rys. 33.



Rys. 33. Segmentacja i składanie

2.8 Interfejsy do innych sieci rozległych

Standard technologii X.25 został opublikowany w 1976 roku. Od tego czasu, w rezultacie wszechstronnych badań powstało wiele interfejsów sieci rozległych umożliwiających komunikowanie się z sieciami działającymi w oparciu o protokół X.25. W tym podrozdziale zostaną omówione interfejsy X.31, integralny mechanizm ISDN, X.32 i X.75.



Rys. 34. Protokoły sieci rozległych powiązane z X.25

2.8.1 Integracja sieci ISDN i X.25

Jest wiele sieci, w których działają urządzenia DTE korzystające z protokołu X.25, zaś pomimo rozwoju technologii sieci rozległych, użytkownicy chcą nadal korzystać z tych terminali.

2.8.1.1 Protokół X.31

Wychodząc naprzeciw oczekiwaniom użytkowników, ITU- T opublikowała zalecenie X.31 zatytułowane „*Support of Packet Mode Terminal Equipment by an ISDN*”. X.31 definiuje protokoły i funkcje wymagane przez adapter terminala umożliwiający urządzeniom DTE komunikowanie się z sieciami ISDN.

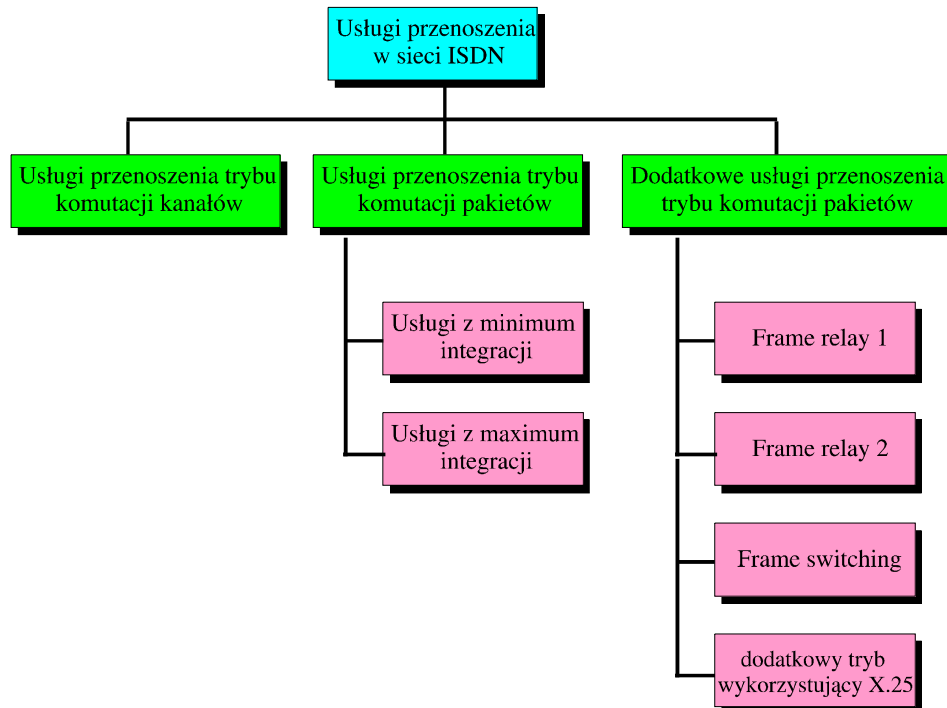
X.31 przewiduje dwa modele połączenia sieci ISDN z X.25. Wariant A zakłada przezroczyste przesyłanie pakietów od DTE do portu jednostki dostępu (*Access Unit - AU*) w sieci PSPDN. W wariantcie B sieć ISDN zawiera funkcję obsługi pakietów dopełniającą procedury X.25, Tak że z punktu widzenia DTE, sieć ISDN przyjmuje rolę DCE. W tym przypadku do połączenia sieci ISDN i PSPDN wykorzystywane są inne protokoły (takie jak X.75).

Z uwagi na rosnące znaczenie praktyczne sieci ISDN, celowe jest poświęcenie zagadnieniu realizacji w nich wymiany pakietowej nieco obszerniejszej analizie

2.8.1.2 Protokół X.25 w sieciach ISDN

Usługi przenoszenia

Usługi przesyłania oferowane przez sieć ISDN zapewniają, odpowiednio do ich nazwy, przekazywanie danych pomiędzy punktami dostępu do sieci, pozostawiając wybór protokołów wyższych warstw uznaniu użytkownika. Należy w tym miejscu podkreślić, że sieć nie ingeruje bezpośrednio w proces wyboru procedur przekazywania informacji, nie badając w szczególności czy występuje zgodność protokołu realizowanego przez terminale na obu końcach zestawionego połączenia. Użyteczny w dalszej części rozważań, uogólniony podział usług przesyłania przedstawiono na rys. 35.

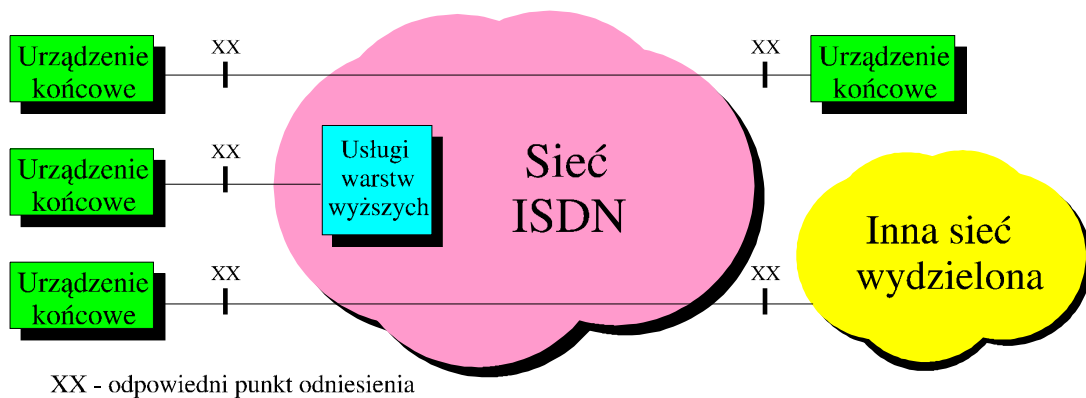


Rys. 35. Klasyfikacja usług przesyłania

Usługi przesyłania zapewniają możliwość realizacji różnych form komunikacji pomiędzy abonentami sieci ISDN. W szczególności wyróżnia się scenariusze przesyłania danych pomiędzy:

- użytkownikami korzystającymi z tego samego punktu i atrybutów dostępu;
- użytkownikami tego samego punktu dostępu i różnych atrybutów;
- użytkownikami a oddzielnymi zasobami realizującymi funkcje warstw wyższych.

Wymienione tryby wykorzystania usług przesyłania w sieci ISDN ilustruje poniższy schemat:



Rys. 36. Sposoby korzystania z usług przenoszenia

Przesyłanie informacji w każdej z przedstawionych konfiguracji może być realizowane w trybie komutacji kanałów, albo pakietów, z szybkością zależną od struktury kanału dostępowego. Przenoszenie może dotyczyć informacji cyfrowej, sygnałów mowy ucyfrowionych z kompresją wg. trybu A lub μ , cyfrowego sygnału audio o paśmie 3.1, 7 i 15 kHz oraz różnych form cyfrowych sygnałów wizyjnych. Strukturalny przekaz 8 kHz odnosi się do takich sygnałów, które muszą być synchronizowane bajtowo, jak np. próbki sygnału mowy z modulacją PCM. Możliwe jest również przesyłanie bloków danych lub informacji zajmujących kilka szczelin czasowych. W tym ostatnim przypadku parametr *Time Slot Sequence Integrity (TSSI)* określa sekwencyjność szczelin, co umożliwia ich odpowiednie uszeregowanie na wyjściu, zaś odpowiednia wartość *Restricted Differential Time Delay (RDTD)* określa maksymalne dopuszczalne opóźnienie pomiędzy wprowadzeniem informacji do sieci, a jej dostarczeniem do odbiornika. RDTD jest wykorzystywana przy realizacji usług czasu rzeczywistego.

Każde połączenie może być zestawione w następujących trybach:

- „na żądanie”, kiedy droga połączeniowa zestawiana jest po zakończeniu wybierania numeru i jest dostępne aż do rozłączenia;
- rezerwowania, gdy moment zestawienia połączenia i czas jego trwania jest ustalany wcześniej, a sam proces realizacji odbywa się bez ingerencji abonenta;
- stałym, trwającym nieprzerwanie przez czas opłacony przez użytkownika.
- W każdym z wymienionych trybów atrybut symetryczności może przyjmować postać:
- Komunikacji jednokierunkowej, w której przepływ informacji ograniczony jest do jednego kierunku;
- Symetrycznej lub asymetrycznej komunikacji dwukierunkowej, w której prowadzony jest obustronna wymiana danych przy identycznych lub różniących się

przepływnościach;

Zestawienie atrybutów usług przesyłania oraz wykaz definiujących je dokumentów normatywnych zawiera tabela:

Tabela 12. Atrybuty usług przesyłania

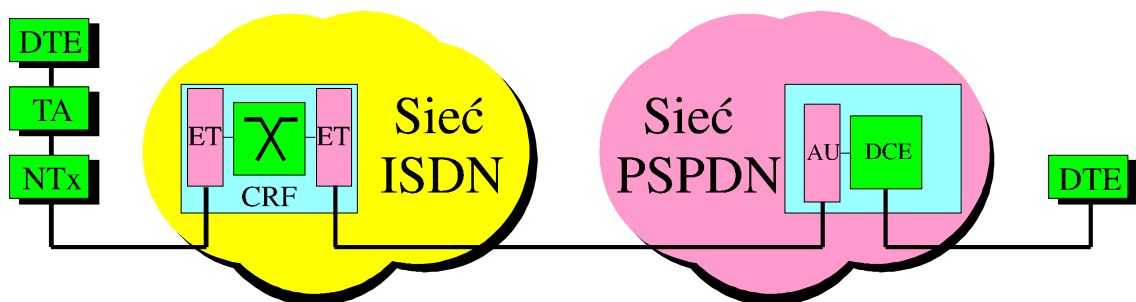
Atrybut	Możliwe wartości atrybutów									
Atrybuty przesyłania informacji										
Tryb	komutacja kanałów						komutacja pakietów			
Szybkość	64	2 x 64	384	1536	1920	inne	studiowana			
Typ danych	bez ograniczeń		mowa	fonia 3.1 kHz	fonia 7 kHz	fonia 15 kHz	wideo	studiowany		
Struktura	8 kHz		blok danych		bez określonej struktury			TSSI	RDTD	
Zestawiany	na żądanie			łącza rezerwowane			łącza stałe			
Symetria	jednokierunkowa			dwukierunkowa sym.			dwukierunkowa asym.			
Połączenie	punkt - punkt			wielopunktowe			rozsiewcze			
Atrybuty dostępu do sieci										
Typ kanału	D(16)	D(64)	B	H0	H11	H12	studiowany			
Sygnalizacja warstwa 1	I.430 I.431	I.461	I.462	I.463	V.120 I.465		studiowana			
Sygnalizacja warstwa 2	I.440 I.441		I.462	X.25	studiowana					
Sygnalizacja warstwa 3	I.450 I.451		I.461	I.462	X.25	I.463	studiowana			
Przekaz warstwa 1	I.430 I.431	I.460	I.461	I.462	I.463	V.120 I.465	G.711	G.722	badany	
Przekaz warstwa 2	HDLC LAPB	I.440 I.441	X.25	I.462		studiowana				
Przekaz warstwa 3	T.70 T.73	X.25		I.462		studiowana				

Zgodnie z powyższym zestawieniem informacje użytkownika mogą być przesyłane przez jeden lub kilka kanałów B lub H, dostępnych na styku podstawowym lub pierwotnym, protokół warstwy pierwszej jest zgodny z zaleceniem I.430 dla dostępu podstawowego i I.431 dla dostępu pierwotnego, zaś szczegółowy zapis protokołów warstwy 2 i 3 zawierają zalecenia I.441 oraz I.451.

Usługi przesyłania w trybie komutacji pakietów

Uwzględnienie istnienia sieci pakietowych doprowadziło do wprowadzenia usług hybrydowych, w których komutacja pakietów realizowana jest zgodnie ze standardem X.25, a dostęp do zasobów realizowany jest przez łącza komutowane w trybie komutacji kanałów. W miarę upowszechniania sieci ISDN przewiduje się odchodzenie od powyższego scenariusza przy rozdzieleniu procedur od transmisji danych i sygnalizacji. Realizację komutacji pakietów w sieci ISDN definiują zalecenia: X.31 (ITU-T) i ETS 300 007 (ETSI). W zaleceniach tych wyróżnia się dwa przypadki obsługi wymiany pakietowej przez system ISDN, nazywane przypadkiem z minimalną (typ A) oraz maksymalną (typ B) integracją usługową.

1. **Usługa przenoszenia w trybie hybrydowej komutacji pakietów z minimalną integracją** (*Hybrid packet mode bearer services with minimum integration*). Usługa ta przeznaczona jest do użytku w okresie wstępnym, w którym sieci ISDN, z uwagi na ograniczenia sprzętowe, nie będą w stanie samodzielnie realizować usługi komutacji pakietów. Sieć ISDN zapewni w tym przypadku transparentny kanał transmisyjny typu B, łączący pakietowe urządzenie końcowe z punktem dostępu do sieci pakietowej. Zarówno terminal X.25 (z odpowiednim adapterem ISDN - TA) jak i pomocniczy moduł dostępu do sieci ISDN (AU) stanowiący fragment publicznej sieci komutacji pakietów (PSPDN) są w tym przypadku abonentami systemu ISDN. Konfigurację zasobów systemowych odpowiednią do realizacji wymiany pakietowej wg przedstawionego wariantu przedstawia poniższy rysunek:



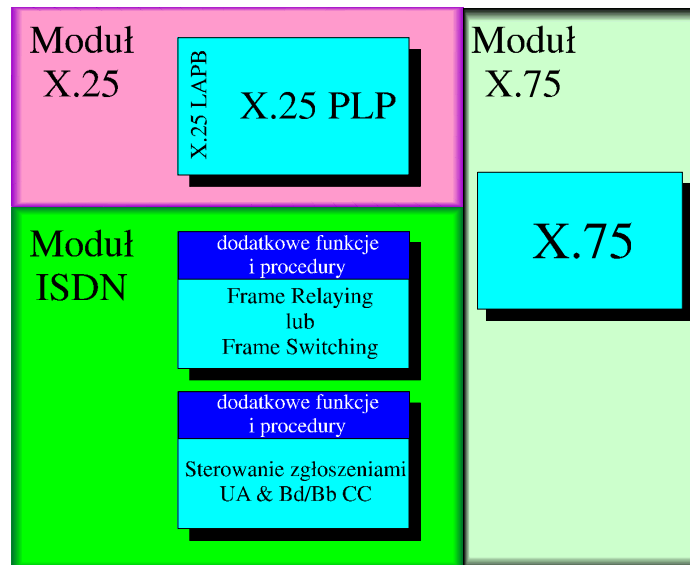
x - 1 lub 2 (zależnie od aktualnej konfiguracji)

Rys. 37. Realizacja wymiany pakietowej dla przypadku minimalnej integracji

Jeśli połączenie (realizowane w kanale B) jest zestawione na stałe, konieczna jest tylko fizyczna adaptacja sygnałów (np. dopasowanie szybkości transmisji, zmiana formatu ramki itp.). W przypadku połączenia „na żądanie”, terminal musi dodatkowo realizować funkcje sterowania połączeniem (wykorzystując do wymiany sygnalizacji kanał D).

2. **Usługa przenoszenia w trybie hybrydowej komutacji pakietów z maksymalną integracją** (*Hybrid packet mode bearer services with maximum integration*). Usługa, w której funkcje sieci pakietowej realizowane są kompleksowo przez sieć ISDN. Funkcje te mogą być

realizowane przez wydzielony moduł oprogramowania sterującego centrali ISDN, nazywany funkcją obsługi pakietów *Packet Handling Function - PH*. Rozdział funkcji w module PH przedstawia rysunek:

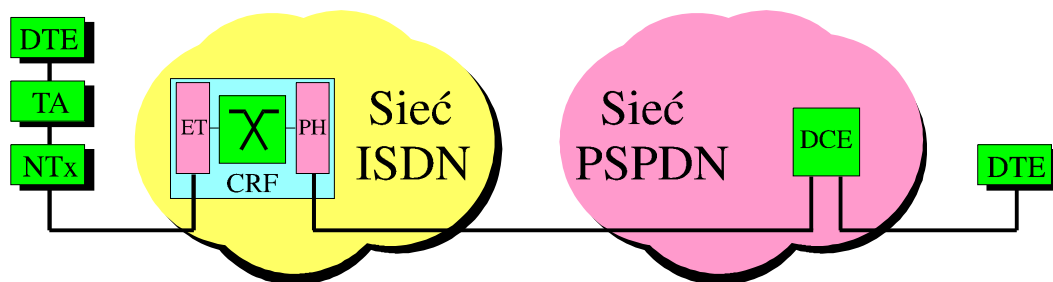


Rys. 38. Rozdział funkcji w module PH

Realizacja PH może odbywać się w dwóch trybach:

- W trybie pierwszym połączenie do PH wykorzystuje kanał B, a zestawiane jest w trybie komutacji kanałów, przy użyciu sygnalizacji wymienianej w kanale D, która powoduje zestawienie do PH wirtualnego kanału pakietowego, zgodnie z warstwami 2 i 3 protokołu X.25. Tryb ten różni się od przypadku minimalnej integracji umiejscowieniem funkcji obsługi pakietów w sieci ISDN.
- W trybie drugim komunikaty związane z zestawianiem, rozłączaniem połączenia oraz wymianą informacji są przesyłane w kanale D, który zapewnia półstałe połączenie z PH. Zestawianiem wirtualnego kanału X.25 steruje w tym przypadku protokół LAPD, zaś wszystkie pakietowe łącza wirtualne są multipleksowane i transmitowane zgodnie z zaleceniami I.430 oraz I.431.

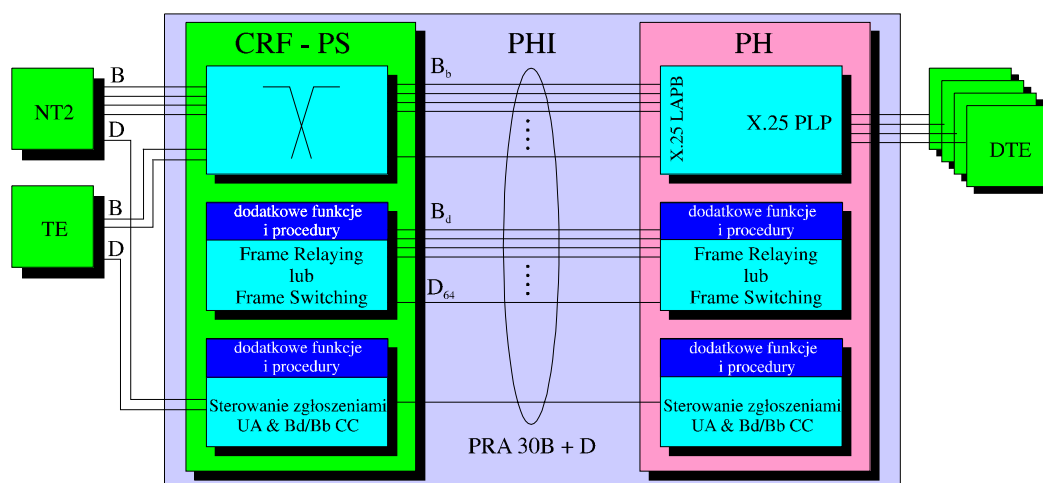
Realizacja obu trybów przebiega zgodnie ze schematem przedstawionym na rysunku:



x - 1 lub 2 (zależnie od aktualnej konfiguracji)

Rys. 39. Realizacja wymiany pakietowej dla przypadku maksymalnej integracji

Alternatywnym sposobem implementacji jest wyniesienie modułu PH poza centralę i organizacja wymiany danych pomiędzy obydwoima elementami za pośrednictwem styku *Packet Handler Interface - PHI*. Realizujący obsługę PHI moduł funkcjonalny PH jest wtedy dołączany do centrali ISDN za pomocą standardowego dostępu PRA (30B + D). Architektura styku PHI przedstawia rysunek:



Rys. 40. Architektura styku PHI

3. **Usługa przenoszenia w trybie dodatkowej komutacji pakietów** (*Additional packet mode bearer services*). Ich realizacja zakłada stosowanie zintegrowanych protokołów sterujących dostępem do kanału i łączem wirtualnym, przy równoczesnym rozdzieleniu funkcji sterowania połączeniem i przepływem informacji użytkownika. W usługach określanych jako *Frame Relaying 1* oraz *Frame Relaying 2* jednostki danych użytkownika odpowiadają ramkom protokołu LAPD i są przesyłane w trybie bez potwierdzenia. Tryb o nazwie *Frame Switching* umożliwia prowadzenie wymiany pakietów z kontrolą ich odebrania przez adresata. Ostatnia z usług pakietowych oparta jest na protokole dostępowym X.25, tak że informacje użytkownika przekazywane są w postaci pakietów, których wymiana kontrolowana jest przez część transferu danych protokołu X.25.

2.8.2 Protokół X.32

Nie zawsze korzystanie z linii dzierżawionej w celu dostępu do sieci PSPDN jest usprawiedliwione ekonomicznie, na przykład, gdy użytkownicy pracujący w trybie asynchronicznym łączą się z urządzeniem PAD przekształcającym ich dane w pakiety X.25. Urządzenia PAD są drogie, tak więc czasami warto skorzystać z tańszych rozwiązań. W tym celu organizacja ITU- T opublikowała w roku 1984 zalecenie X.32 zatytułowane „*Interface Between Data Terminal Equipment (DTE) and Data Circuit-Terminating Equipment (DCE) for Terminals Operating in the Packet Mode, and Accessing a Packet Switched Public Data Network Through a Public Switched Telephone Network or an Integrated Services Digital Network, or a Circuit Switched Public Data Network*”, które definiuje synchroniczny protokół umożliwiający korzystanie z sieci X.25 za pomocą łączenia komutowanego.

Protokół X.32 został zaprojektowany w celu obsługi urządzeń DTE, które nie wymagają częstego dostępu do sieci PSPDN. Podobnie jak X.25, X.32 określa trzy warstwy protokołów: fizyczną, łącza danych i pakietową, jednak X.32 rozszerza możliwości X.25 poprzez udostępnienie sieci dla użytkowników korzystających z protokołów serii V (na przykład modemy V.32). Udostępnia również dodatkowe usługi, takie jak uwierzytelnianie i identyfikacja zdalnych użytkowników oraz obsługa wywołań z sieci PSPDN .

2.8.3 Protokół X.75

W miarę wzrostu popularności sieci PSPDN pojawiła się konieczność zapewnienia ich wzajemnej komunikacji. W roku 1980 organizacja ITU- T opublikowa³a zalecenie X.75 zatytu³owane „*Packet Switched Signalling System Between Public Networks Providing Data Transmission Services*”. X.75 jest podobny do protokołu X.25 z tym, że definiuje interfejs pomiędzy dwoma urządzeniami STE (*Signalling Terminal Equipment*), a nie pomiędzy DCE i DTE. X.75 posiada trzy warstwy protokołów (tak jak X.25). Dodatkowe opcje w protokole warstwy pakietowej udostępniają pole narzędzi sieciowych (*Network Utilities*), zawierające różne parametry transmisji, takie np. jak wielkość pakietu, opóźnienie transmisji i wiele wiele innych.

2.9 Udogodnienia

Polepszenie sprawności obsługi użytkownika systemu X.25 jest realizowane w praktyce przy wykorzystaniu specjalnych opcji określanych jako udogodnienia. Ich liczba oraz charakterystyki funkcjonalne są tak dobrane aby ułatwić realizację większości standardowych usług transmisji pakietowej. Z uwagi na element systemu realizujący daną opcję udogodnienia X.25 klasyfikowane są jako:

- międzynarodowe – o charakterystykach zgodnych z zapisami zalecenia X.2;
- lokalne – dostępne w sieci macierzystej abonenta wywołującego lub wywoływanego;
- stacyjne – realizowane przez indywidualne elementy DTE.

Udogodnienia międzynarodowe występują w następujących kategoriach:

- obowiązkowej – musi być realizowana przez operatora posiadającego dostęp do innych sieci ;
- dodatkowej – implementowanej w miarę realnych potrzeb i możliwości technicznych;
- SVC i PVC – obowiązującej wyłącznie w odniesieniu do jednego z wymienionych typów połączeń
- projektowanej – stanowiącej obecnie przedmiot intensywnych studiów.

Kategorie dodatkowa oraz SVC określane są jako „zależne sieciowo”, natomiast PVC stanowi rozwiązanie możliwe do realizacji wyłącznie pomiędzy trwale połączonymi elementami DTE, dla których sieć pakietowa stanowi element przezroczysty, nie oddziałujący w sposób bezpośredni na przekazywane informacje. W ramach ostatniej z wymienionych kategorii wyróżniane są następujące udogodnienia:

- rozszerzony adres stacji (wywołującej i/lub wywoływanej);
- klasa minimalnej przepustowości;
- opóźnienie pomiędzy stacjami końcowymi;
- priorytetowanie ruchu;
- ochrona;
- negocjacja przekazów przyspieszonych.

Z uwagi na odmienne tryby realizacji udogodnienia X.25 kwalifikowane są ponadto jako obowiązujące trwale w całym okresie posiadania abonamentu lub udostępniane doraźnie, czyli w

fazach zestawiania i realizacji połączenia. Zestawienie dostępnych udogodnień systemu X.25 sklasyfikowanych odpowiednio do ich właściwości funkcjonalnych zawiera Tab. 13.

Tablica 13. Udogodnienia systemu X.25

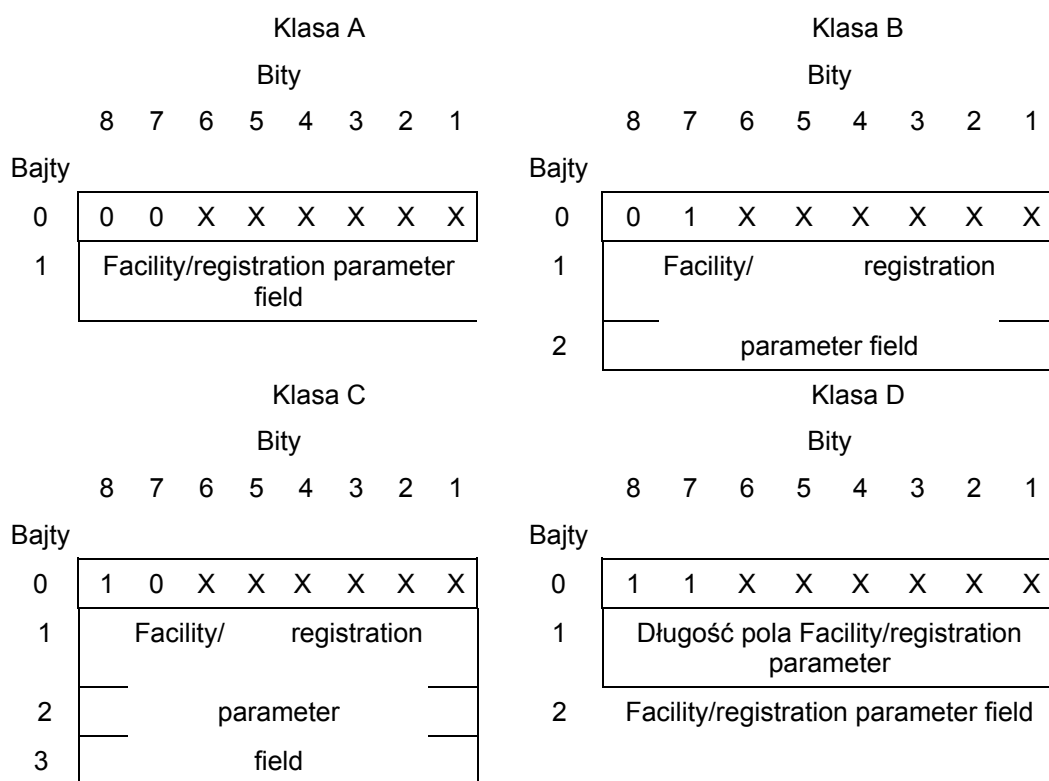
Nazwa	SVC	PVC	Tryb
Ograniczenia połączeń			
Blokada połączeń przychodzących	O	D	A
Blokada połączeń wychodzących	O		A
Jednokierunkowy kanał wyjściowy	O		A
Jednokierunkowy kanał przyjsiowy	D		A
Zamknięta grupa użytkowników (CUG)	O		A
Blokada połączeń przychodzących w ramach CUG	D		A
Blokada połączeń wychodzących w ramach CUG	D		A
CUG z zezwoleniem na przyjmowanie wywołań zewnętrznych	D		A
CUG z zezwoleniem na generację wywołań wychodzących	D		A
Wybór CUG	O		W
CUG z wyborem wywołań wychodzących	D		W
Dwustronna CUG	D		A
Dwustronna CUG z zezwoleniem na generację wywołań wychodzących	D		A
Wybór dwustronnej CUG	D		W
Taryfikacja			
Odwrotne zaliczanie	D		W
Zgoda na odwrotne zaliczanie	D		A
Blokada wywołań opłacanych	D		A
Identyfikacja użytkownika	D		A/W
Dane taryfikacyjne	D		A/W
Jakość świadczenia usług			
Niestandardowy domyślny rozmiar pakietu	D	D	A
Niestandardowa długość okna	D	D	A
Negocjacja sterowania przepływem	O		A/W
Przypisanie domyślnej przepustowości łącza DTE - DCE	D	D	A
Negocjacja przepustowości łącza DTE - DCE	O		A/W
Wybór i wskazanie opóźnienia pakietów w sieci	O		W
Tryb potwierdzania			
Modyfikacja bitu D	D	D	A
Wykorzystanie bitu D w trakcie zestawiania łącza			
Retransmisja	D	D	A
Numeracja rozszerzona	D	D	A

Sterowanie połączeniami			
Przekazywanie do DTE wybranego ze wskazanej grupy	D		A
Przekazywanie	D	D	A
Przekazywanie z powiadomieniem	D		W
Zmiana adresu z powiadomieniem	D		W
Uzupełnienia			
Zmiana zestawu udogodnień	D		A
Połączenie <i>Fast Select</i>	O		W
Akceptacja <i>Fast Select</i>	O		
Wybór operatora pośredniczącej sieci pakietowej	D		A/W
O – udogodnienie obowiązkowe D – udogodnienie dodatkowe A – udogodnienie „z abonamentu” W – udogodnienie w obsłudze wywołania			

Wywołanie większości udogodnień realizowane jest przy wykorzystaniu pola *Udogodnienie* nagłówka pakietów związanych z obsługą (zestawianiem i rozłączaniem) połączeń wirtualnych. Jedynie modyfikacje zestawu udogodnień oraz parametrów styku DTE – DCE obsługują specjalizowane pakiety: *Registration Request* i *Registration Confirmation*.

Element *Facility Field Length* wyznacza całkowitą długość następującej po nim informacji sterującej. Kolejne kategorie danych są rozdzielone dwoma bajtami separacyjnymi, z których pierwszy zawiera zawsze wartość równą 0, zaś kolejny stanowi wskaźnik typu udogodnienia. Sam jego opis przyjmuje, zależnie od wymaganych parametrów sterujących, jeden z czterech formatów określanych jako klasy A, B, C i D. Formaty te przedstawiono na rys. 41.

Dwa najstarsze bity wskazują długość pola parametrów, natomiast pozostałe 6 jest kodem udogodnienia, co pozwala na wskazywanie do 64 jego różnych typów. Związek najstarszych bitów z długością pola parametrów ilustruje zestawienie zawarte w Tab. 15.



Rys. 41. Formaty opisu udogodnień

Tabela 15. Kodowanie formatów

Bity	8	7	6	5	4	3	2	1	
Klasa A	0	0	X	X	X	X	X	X	Jednobajtowe pole parametrów
Klasa B	0	1	X	X	X	X	X	X	Dwubajtowe pole parametrów
Klasa C	1	0	X	X	X	X	X	X	Trzybajtowe pole parametrów
Klasa D	1	1	X	X	X	X	X	X	Pole parametrów o zmiennej długości

W sumie możliwe jest więc łączne zdefiniowanie do 256 różnych funkcji, z których w chwili obecnej dostępne są następujące realizacje:

Ograniczenia połączeń:

Blokada połączeń – zależnie od typu uniemożliwia elementowi DTE generowanie lub przyjmowanie wywołań niezależnie od wykorzystywanego pakietowego kanału logicznego.

Kanał jednokierunkowy – umożliwia wydzielenie części kanałów logicznych do funkcjonowania w trybie, w którym możliwe jest jedynie nawiązywanie albo odbieranie połączeń z innymi abonentami sieci.

Zamknięta grupa użytkowników – pozwala na organizację sieci wydzielonej funkcjonującej w oparciu o zasoby ogólnie dostępnego systemu o charakterze publicznym. Standardowo uczestnik CUG nie może wymieniać danych z abonentami nie należącymi do grupy, ale stan ten może zostać zmieniony dzięki opcjom dodatkowym. Użytkownik może być członkiem wielu CUG, których maksymalną liczbę ustala administrator sieci.

Blokada połączeń w ramach CUG – zależnie od typu oznacza zakaz generowania lub odbierania wywołań od innych uczestników grupy.

CUG z zezwoleniem – zależnie od typu możliwe są bądź połączenia przychodzące od abonentów sieci publicznej oraz członków grupy posiadających zezwolenie na wychodzenie poza jej obszar, bądź połączenia wychodzące do abonentów sieci publicznej i członków grupy posiadających zezwolenie na odbieranie wywołań zewnętrznych.

Wybór CUG – umożliwia wskazanie grupy, do której jest skierowane określone wywołanie. Udogodnienie może realizować stacja posiadająca zezwolenie na generację wywołań zewnętrznych, w odniesieniu do abonenta innej grupy, który może odbierać połączenia

CUG z wyborem wywołań wychodzących - stanowi połączenie udogodnień „wybór CUG” i „CUG z zezwoleniem na połączenia wychodzące”. W rezultacie, jednocześnie z generacją wywołania do innej CUG, użytkownik może zażądać zezwolenia na „wyjście” poza obręb własnej grupy.

Dwustronna CUG – ustanawia grupę zamkniętą obejmującą stacje dokładnie dwóch użytkowników sieci. Abonent może być równocześnie członkiem więcej niż jednej grupy dwustronnej.

Dwustronna CUG z zezwoleniem na generację wywołań wychodzących - umożliwia członkowi dwustronnej CUG generowanie wywołań do innych abonentów systemu.

Wybór dwustronnej CUG - umożliwia wskazanie grupy dwustronnej, do której jest skierowane wywołanie. Udogodnienie może realizować stacja posiadająca zezwolenie na generację wywołań zewnętrznych, w odniesieniu do abonenta innej grupy dwustronnej, który może odbierać połączenia.

Taryfikacja

Odwrotne zaliczanie i zgoda na odwrotne zaliczanie - udogodnienia pozwalające na obciążenie opłatą za połączenie stacji wywoływanej. Jeśli w odpowiedzi na propozycję *Odwrotne zaliczanie* stacja odpowie *Zgoda na odwrotne zaliczanie* to należność obciąży konto jej użytkownika.

Blokada wywołań opłacanych - upoważnia węzeł sieciowy do którego dołączona jest stacja abonenta udogodnienia do odrzucania wszelkich wywołań, za które naliczono by opłatę.

Identyfikacja użytkownika - umożliwia lokalnemu węzłowi sieci na uzyskanie podstawowych informacji na temat DTE wywołującego. Dane te nie są udostępniane stacji wywoływanej.

Dane taryfikacyjne - pozwala na informowanie DTE o kosztach realizowanych połączeń.

Jakość świadczenia usług

Niestandardowy domyślny rozmiar pakietu - umożliwia realizację wymiany przy długościach pola *Data* różnych od 128 bajtów (dopuszczone są wartości będące potęgami liczby 2 w zakresie od 16 do 4096). Możliwe jest różnicowanie długości zarówno dla kanałów wirtualnych, jak i kierunków nadawczych i odbiorczych. Udogodnienie jest przydatne przy realizacji połączeń za pośrednictwem relacji o zróżnicowanej stopie błędów.

Niestandardowa długość okna - pozwala na wykorzystanie w obydwu kierunkach (niezależnie) wartości z zakresu 0 - 7, podczas gdy ustawienie domyślne wynosi 2.

Negocjacja sterowania przepływem - realizuje opcje dwóch poprzednich udogodnień, ustanawianych w fazie wykupywania abonamentu, w trybie doraźnym tj. dla konkretnego połączenia. Realizację udogodnienia warunkują następujące zasady:

- domyślnie obowiązują ustawienia standardowe (długość pakietu 128 bajtów, okno 2 pakiety) lub ustalenia wynikające z opcji niestandardowe długości pakietu i okna;
- wywołujący może zaproponować inne ustawienia, które wywoływany akceptuje lub proponuje własne;
- węzły sieciowe mogą ingerować w negocjację, której celem może być wyłącznie całkowite lub częściowe ustanowienie ustawień standardowych.

Przypisanie domyślnej przepustowości łącza - przyznawane wraz z abonamentem udogodnienie pozwalające na zbiorcze określenie przepustowości kanałów wirtualnych. Dopuszczalne są jedynie standardowe wartości ze zbioru {75, 150, 300, 600, 1200, 2400, 4800, 9600, 19200, 48000 i 64000} bitów/s.

Negocjacja przepustowości łącza - pozwala na indywidualne określanie przepustowości kanałów wirtualnych w trybie „na połączenie”. Stacja wywoływana może zaproponowaną wartość zaakceptować lub zmniejszyć.

Wybór i wskazanie opóźnienia pakietów - umożliwia stacji abonenckiej na wskazanie pożądanego maksymalnego opóźnienia pakietów wnoszonego przez elementy sieciowe. Trasa połączenia powinna być zestawiona w ten sposób, aby wymagana wartość parametru została dotrzymana, zaś wynik pomiaru łącza zostaje przekazany obydwu uczestniczącym w połączeniu abonentom. Szczegółowe wymagania dotyczące czasowych parametrów jakościowych połączeń

pakietowych zawiera zalecenie X.135.

Tryb potwierdzania

Modyfikacja bitu D - w zależności od stanu flagi *Delivery Confirmation* (czyli D) potwierdzanie realizowane jest pomiędzy stacjami abonenckimi ($D = 1$) albo stacją i jej macierzystym węzłem DCE ($D = 0$).

Wykorzystanie bitu D w trakcie zestawiania łącza - udogodnienie przygotowujące ustanowienie trybu potwierdzania: DTE wywoływane, które otrzyma $D = 1$ w pakiecie *Call Request* powinno ustawić $D = 1$ (w *Call Accepted*), jeśli jest w stanie realizować potwierdzanie „od końca do końca” lub wyzerować flagę w przypadku przeciwnym.

Retransmisja - umożliwia stacji abonenckiej zażądania (od lokalnego węzła) retransmisji wszystkich pakietów danego kanału logicznego począwszy od numeru wskazanego w wiadomości *Reject*.

Numeracja rozszerzona - polega na poszerzeniu zakresu numeracji do **mod 128** zamiast standardowego **mod 8**. Opcja jest użyteczna w kanałach o dużym opóźnieniu lub przepustowości, gdzie okno nadawcze często zamyka się z powodu braku potwierdzenia.

Sterowanie połączeniami

Przekazywanie do DTE wybranego ze wskazanej grupy - umożliwia oznaczanie wielu stacji abonenckich pojedynczym adresem sieciowym, co umożliwia przekazywanie wiadomości nawet, jeśli niektóre z nich są wyłączone, zajęte lub niedostępne z innych powodów.

Przekazywanie - opcja kierowania wywołań do stacji zastępczej, jeśli podstawowy adresat nie jest dostępny. W praktyce występują liczne rozszerzenia opcji podstawowej, umożliwiające zróżnicowane kierunkowanie w zależności od pory dnia, obciążenia itp.

Przekazywanie z powiadomieniem - rozszerzona wersja poprzedniego udogodnienia, w której stacja zastępcza otrzymuje informacje o przyczynach przekierowania.

Zmiana adresu z powiadomieniem - umożliwia informowanie stacji wywołującej o powodach, dla których adres odbiorczy jest różny od wywołwanego.

Uzupełnienia

Zmiana zestawu udogodnień - opcja wykorzystywana w trakcie modyfikacji profilu użytkownika. Zazwyczaj poprzedza ją zapytanie skierowane do węzła lokalnego, który odpowiada zestawieniem uruchomionych udogodnień wraz z ich parametrami. W kolejnym

kroku podjęta zostaje próba ustanowienia wymaganego statusu, która może zostać zakończona powodzeniem albo stacja DTE otrzymuje informacje o powodach odrzucenia żądania.

Połączenie i akceptacja Fast Select - umożliwiają łącznie przekazywanie informacji użytkowych w pakietach związanych z zestawianiem połączenia (*Call Request*, *Call Accepted* i *Clear Request*). Odmianą udogodnienia jest opcja *Fast Select with Immediate Clear*, w której odpowiedzią na wywołanie jest *Clear Request*, co umożliwia na przekazanie w obydwu kierunkach zawartości pojedynczego pola *Data*.

Wybór operatora pośredniczącej sieci pakietowej - pozwala stacji wywołującej na wskazanie sieci, która powinna tranzytować informacje użytkowe.