

Robert WÓJCICKI
Politechnika Śląska, Instytut Informatyki

MECHANIZMY KONTROLI PRZEPIYU DANYCH W SIECIACH ATM

Streszczenie. Algorytmy sterowania natężeniem ruchu pozwalają na optymalne wykorzystanie zasobów sieci, jak i na zapewnienie wymaganych dla wszystkich użytkowników kategorii usług oraz zabezpieczenie się przed niekontrolowanym przeciążeniem ruchu w sieci. Algorytmy te wymagają stałego rozwoju i poszukiwania nowych rozwiązań wobec narastających wymagań związanych z szerokim zastosowaniem sieci ATM do przesyłu danych, a także z wysokimi kosztami ponoszonymi podczas modernizacji w celu zwiększenia przepustowości sieci rozległych.

TRAFFIC MANAGEMENT IN ATM NETWORKS

Summary. Traffic management aims at efficiently allocating network resources and meeting the negotiated quality of service guarantees. Asynchronous Transfer Mode (ATM) networks provide several service categories for real-time and bulk data transfer.

1. Zarządzanie ruchem w sieci ATM

Wzrost mocy obliczeniowej komputerów i coraz to nowe możliwości związane z oprogramowaniem aplikacyjnym powodują ciągły wzrost wymagań stawianych sieciom komputerowym. Coraz większa efektywność sieci jest niezbędna dla poprawnego funkcjonowania instytucji. Dla spełnienia wymagań użytkowników pojawiają się nowe rozwiązania sprzętowe i programowe. Szczególnie duże przepustowości sieci wymagane są przez aplikacje multimedialne przesyłające ogromne ilości danych (obraz i dźwięk). Prace nad technologią pozwalającą na szybkie przesyłanie dużej ilości różnego typu danych

prowadzone były już od połowy lat 80. Technologia będąca wynikiem tych prac to ATM (Asynchronous Transfer Mode). Technologia ta jest standardem umożliwiającym tworzenie w pełni skalowalnych sieci, o przepustowościach od 25 [Mb/s] przez 155 [Mb/s] aż do 2.5 [Gb/s], co pozwala zaspokoić nawet najbardziej zaawansowane wymagania.

Sieć ATM, w założeniach bardzo szybka i uniwersalna, ma za zadanie zapewniać:

- transmisję interakcyjną i dystrybucyjną w szczególności szeroko pojętych danych multimedialnych,
- szybką transmisję szeroko- i wąskopasmową,
- transmisję ciągłą oraz impulsową,
- transmisję połączeniową oraz bezpołączeniową,
- DSP (digital signal processing) – implementacje przetwarzania transmitowanych sygnałów, gdzie istotnym zagadnieniem jest kompresja sygnałów za pomocą algorytmów dostosowanych do ich charakteru oraz wymagań urządzeń odbiorczych,
- szeroką gamę rodzajów połączeń, m. in.:
 - połączenia typu point to point,
 - połączenia typu point to multipoint,
 - zespoły równoległych połączeń point to point.

1.1. Kategorie usług sieci ATM

Sieć ATM udostępnia kilka kategorii usług. Kategorie usług są powiązane z charakterystykami ruchu w sieci oraz wymaganą jakością przesyłu danych (QoS). Tabela 1 pokazuje podstawowe zależności dla każdej z kategorii usług. Parametry ruchu w sieci są określane przez następujące parametry:

- peak cell rate (PCR) – wartość szczytowa szybkości generowania komórek przez źródło,
- cell delay variation tolerance (CDVT) – tolerancja opóźnienia komórki określająca maksymalne opóźnienie, z jakim może się pojawić w systemie,
- sustainable cell rate (SCR) – wartość graniczna średniej intensywności generowania komórek liczonej w odpowiednio długim czasie,
- maximum burst size (MBS) – maksymalna liczba komórek w paczce dla źródła transmitującego z szybkością równą PCR,
- minimum cell rate (MCR) – minimalna szybkość transmisji komórek ze źródła.

Wartości parametrów jakości obsługi Quality of Service (QoS):

- maximum cell transfer delay (max CTD) – maksymalne opóźnienie przesyłania komórki przez sieć mierzone od rozpoczęcia pierwszego bitu komórki na wejściu, aż do odebrania ostatniego bitu komórki na wyjściu sieci,

- cell delay variation (CDV) – wahania opóźnienia transmisji komórek określające różnice między maksymalną i minimalną wartością CTD,
- cell loss ratio (CLR) – prawdopodobieństwo utraty komórki określane przez stosunek liczby utraconych komórek do liczby komórek wysłanych.

Tabela 1

Kategorie usług ATM: parametry i atrybuty

Atrybuty	Kategorie usług ATM					
	CBR	rt-VBR	nrt-VBR	UBR	ABR	GFR
Parametry ruchu						
PCR i CDVT	określone					
SCR i CDVT	niedostępne	określone		niedostępne		tylko CDVT dla MCR
MBS	niedostępne	określone		niedostępne		określone tylko dla MCR
MCR	niedostępne				określone	
Parametry jakości przesyłu danych QoS						
peak-to-peak CDV	określone		nieokreślone			
max CTD	określone		nieokreślone			
CLR	określone			nieokreślone		
Pozostałe						
Feedback	nieokreślone				określone	nieokreślone

Powyższe parametry definiują charakterystykę ruchu w sieci. Trzy parametry jakości przesyłu danych (QoS) określają poziom usługi, który będzie wykorzystywany podczas połączenia.

Usługi kategorii CBR i rt-VBR są przeznaczone do przesyłania danych w czasie rzeczywistym, natomiast nrt-VBR, UBR oraz ABR są przeznaczone dla danych nie wymagających przesyłu w czasie rzeczywistym.

1.1.1. Constant bit rate (CBR)

Kategoria używana dla połączeń wymagających pasma przenoszenia stałej wielkości (charakteryzowanego przez peak cell rate) w czasie trwania połączenia. Źródło danych może transmitować dane z prędkością mniejszą lub równą prędkości scharakteryzowanej przez PCR przez cały czas, a sieć zapewnia dostępność wynegocjowanej prędkości transmisji. Ta kategoria usług jest najczęściej wykorzystywana do przesyłania danych multimedialnych o stałym natężeniu z minimalnymi opóźnieniami.

1.1.2. Real-time variable bit rate (rt-VBR)

Przewidziana dla źródeł wymagających obsługi w czasie rzeczywistym, lecz generujących strumień danych o zmiennej wielkości w czasie, np. przesyłanie skompresowanego video lub głosu z tłumieniem pasm ciszy. Ta kategoria usług jest charakteryzowana przez parametry PCR oraz SCR i MBR.

1.1.3. Non-real-time variable bit rate (nrt-VBR)

Kategoria przewidziana dla źródeł nie wymagających przesyłania danych w czasie rzeczywistym lub akceptujących zmienne opóźnienie przesyłania pakietów podczas trwania transmisji, lecz wymagających minimalnych strat pakietów, np. transmisja danych komputerowych. Usługa charakteryzowana jest parametrami PCR oraz SCR i MBR.

1.1.4. Unspecified bit rate (UBR)

Usługa o niezdefiniowanej szybkości bitowej - przewidziana dla źródeł o niezdefiniowanej szybkości transmisji realizujących nieregularny transfer dużych porcji informacji, w miarę dostępności łącza. Aplikacja będąca źródłem nie interesuje się, czy i kiedy dane dotrą do celu. Jest to najprostsza z usług używana do "tradycyjnej" wymiany danych, jak transfer plików, czy poczty elektronicznej.

1.1.5. Guaranteed frame rate (GFR)

Przewidziana dla źródeł o niezdefiniowanej szybkości przesyłania danych, które nie wymagają transmisji w czasie rzeczywistym.

1.1.6. Available bit rate (ABR)

Usługa o dostępnej szybkości bitowej - przewidziana dla źródeł o niezdefiniowanej szybkości transmisji, umożliwiającą użytkownikowi wykorzystanie, w danym momencie, całej dostępnej przepustowości kanału do realizacji, np. transferu plików. Zastosowano tutaj mechanizm kontroli przeciążeń sieci (realizowany przez bit EFCI w nagłówku komórki lub komórkę RM - *Resource Management*), który zapobiega utracie danych w momentach wzmożonego ruchu. Mechanizm kontroli przeciążeń po stwierdzeniu, że w sieci jest przeciążenie, zmusza systemy końcowe do zmniejszenia ilości lub wręcz wstrzymania transferu danych. Usługę ABR określa się jako typ połączenia o negocjowanej przepustowości.

1.2. Działanie usługi ABR

Szczegóły działania usługi ABR zostały zdefiniowane w zaleceniach ATM Forum. Określają one działanie poszczególnych elementów zaangażowanych w realizację usługi

ABR, tj. terminalu źródłowego SES, terminalu końcowego DES (odbiornika) oraz węzła sieci. Jednoznacznie zdefiniowano algorytm działania nadajnika i odbiornika danych. Algorytm działania węzła sieci (w tym wyznaczanie dostępnej szybkości przekazu - tryb ERI) nie został określony pozwalając na wiele niezależnych opracowań. Poniżej omówiono podstawowe zasady działania usługi ABR.

Usługa ABR zakłada, że sterowanie nadawaniem komórek przez źródło odbywa się poprzez określanie tzw. aktualnej szybkości przekazu ACR (sterowanie typu rate based). Szybkość ta jest wyznaczana przez sieć i może się zmieniać w czasie w zależności od chwilowego obciążenia ruchowego sieci. Usługa ABR należy do usług typu „największego wysiłku” sieci (best effort), co oznacza, że jej celem jest maksymalne wykorzystanie wolnej, w danej chwili, przepływności sieci. Usługa ABR może być zaimplementowana zarówno na poziomie kanałów wirtualnych, jak i ścieżek wirtualnych. Zostały zdefiniowane dwa sposoby sterowania szybkością wysyłania komórek do sieci (tryby pracy usługi ABR):

- Powiadomienie bitowe o przeciążeniu sieci DCI (Binary Congestion Indication). W metodzie tej sieć dostarcza źródłom ABR binarną informację o przeciążeniu (EFCI - Explicit Forward Congestion Indication). Pozwala ona określić, czy na drodze danego połączenia znajduje się przeciążony element sieci, czy nie.
- Powiadomienie o dostępnej szybkości bitowej ERI (Explicit Rate Indication). W metodzie tej sieć dostarcza źródłom ABR bezpośrednią informację o dopuszczalnej szybkości transmisji, wyznaczając tzw. dostępną szybkość przekazu DSP (Explicit Rate).

Obie powyższe metody mogą współdziałać w jednej sieci. Oznacza to, że część węzłów może wykorzystywać metodę BCI, podczas gdy w innych może być stosowany algorytm ERI.

Usługę ABR wprowadzono w celu zwiększenia wykorzystania sieci. Jednakże ruch należący do połączeń ABR nie może zakłócać parametrów QoS pozostałych połączeń w sieci (należących do klas CBR, rt-VBR i nrt-VBR). W tym celu komórki należące do połączeń ABR (jak również UBR) są przesyłane przez sieć z niższym priorytetem w stosunku do pozostałych kategorii usług.

1.2.1. Pętla sprzężenia zwrotnego

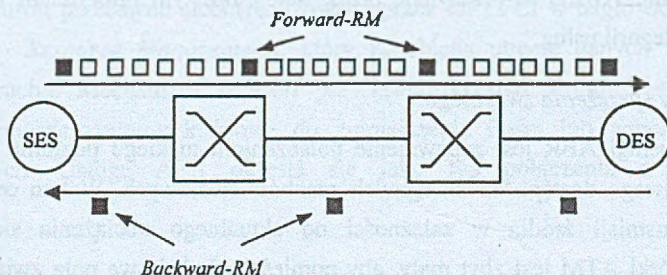
Zadaniem usługi ABR jest zapewnienie połączeniom niskiego poziomu strat komórek oraz sprawiedliwego dostępu do dostępnych zasobów sieciowych. W tym celu steruje ona szybkością transmisji źródła w zależności od aktualnego obciążenia sieci. Ponieważ nagłówek komórki ATM jest zbyt mały, aby pomieścić dodatkowe pola związane z usługą ABR, do przesyłania sygnałów sterujących wykorzystuje się dodatkowe komórki służące do zarządzania zasobami sieci (komórki RM - Resource Management). Zawartość takiej komórki opisana jest w tabeli 2.

Tabela 2

Zawartość komórki RM

Pole	Opis	Wartość
ID	Protocol Identifier	1: dla usługi ABR
DIR	Direction	0: forward (generowana przez źródło) 1: backward (generowana przez odbiornik)
BN	BECN Cell	0: wygenerowana przez źródło
CI	Congestion Indication	0: brak przeciążenia 1: wykryto przeciążenie, zmniejszyć ACR
NI	Non Increase	0: brak przeciążenia 1: nie zwiększać ACR
RA	Request / Acknowledge	nie wykorzystywany przez usługę ABR
Reserved		0
ER	Explicit Cell Rate	dozwolona szybkość transmisji źródła
CCR	Current Cell Rate	Aktualna wartość dozwolonej szybkości ACR źródła
MCR	Minimum Cell Rate	parametr MCR: minimalna gwarantowana szybkość nadawania źródła
QL	Queue Length	nie wykorzystywany przez usługę ABR
SN	Sequence Number	nie wykorzystywany przez usługę ABR
Reserved		
Reserved		
CRC-10	Cyclic Redundancy Check	suma kontrolna

Komórki RM transmitowane pomiędzy źródłem a odbiornikiem określane są jako Forward-RM, natomiast komórki przesyłane w kierunku przeciwnym jako Backward-RM. Źródło umieszcza okresowo komórki Forward-RM w strumieniu transmitowanych przez siebie danych. Komórki te są przesyłane razem z komórkami danych wzdłuż całej drogi połączenia w sieci. Każdy węzeł sieci znajdujący się na drodze danego połączenia może umieścić w komórkach RM informacje o stanie odpowiedniego łącza. W ten sposób komórka RM po dotarciu do odbiornika zawiera aktualną informację na temat stanu sieci. Odbiornik przesyła komórki Forward-RM do nadajnika zamykając w ten sposób pętlę sprzężenia zwrotnego.



Rys. 1. Pętla sprzężenia zwrotnego. Oznaczenia: SES - źródło, DES - odbiornik

Fig. 1. Feedback in ABR service. SES - source, DES - destination

1.2.2. Źródło danych

Źródło ABR może wysyłać do sieci komórki z szybkością nadawania nie większą niż wartość parametru ACR (Allowed Cell Rate). Źródło nie ma jednak obowiązku wysyłania danych z szybkością określoną przez ten parametr. Jeśli jego rzeczywista szybkość nadawania jest mniejsza od ACR, sieć może dokonać realokacji powstałej w ten sposób wolnej pojemności pomiędzy pozostałe połączenia ABR. Gdy takie źródło zacznie jednak transmitować dane z większą szybkością, może doprowadzić do przeciążenia sieci. Aby tego uniknąć, stosuje się mechanizm timeout, po przekroczeniu którego aktualna szybkość przekazu jest ponownie renegocjowana.

Pomiędzy komórkami danych źródło generuje i wysyła komórki Forward-RM, a w międzyczasie odbiera komórki Backward-RM. Duże przeciążenie sieci może powodować, że źródło nie będzie jednak odbierać komórek Backward-RM. Wobec braku sygnału sprzężenia zwrotnego nie byłoby ono w stanie zmniejszyć swojej szybkości transmisji i rozładować przeciążenia. Aby temu zapobiec, stosuje się następujący mechanizm zabezpieczający: jeśli od odebrania ostatniej komórki Backward-RM zostało wysłanych CRM komórek Forward-RM, to szybkość transmisji źródła jest redukowana zgodnie z zależnością:

$$CR = ACR - ACR * CDF.$$

Po odebraniu komórki Backward-RM nadajnik sprawdza stan pól CI i NI. Jeśli oba mają wartość zero, oznacza to, że w sieci nie występuje przeciążenie. W przypadku tym źródło może zwiększyć swoją szybkość przekazu zgodnie ze wzorem:

$$ACR = ACR + PCR * RIF.$$

Wartość aktualnej szybkości przekazu ACR nie może być większa od wartości parametru PCR:

$$ACR = \min(ACR, PCR)$$

Jeśli pole CI=0 i NI=1, nadajnik nie zmienia wartości parametru ACR. W sytuacji gdy pole CI ma wartość 1, oznacza to, że sygnalizowane jest przeciążenie sieci. W przypadku tym nadajnik zmniejsza swoją szybkość przekazu zgodnie ze wzorem:

$$ACR = ACR - ACR * RDF.$$

Wartość aktualnej szybkości przekazu nie może być mniejsza od gwarantowanej szybkości obsługi MCR:

$$ACR = \max(ACR, MCR).$$

1.2.3. Odbiornik

Algorytm działania odbiornika sprowadza się do przesyłania odebranych komórek Forward-RM z powrotem do nadajnika. Odbiornik zapamiętuje stan bitu EFCI w ostatnio odebranej komórce danych. Po odebraniu komórki RM sprawdzany jest stan ostatnio zapamiętanego bitu EFCI. Jeśli jego wartość wynosi 1, to w pole CI komórki RM wpisywana

jest wartość 1. W przeciwnym wypadku wartość tego pola nie jest zmieniana. Odebrana komórka Forward-RM przesyłana jest do nadajnika jako Backward-RM. W tym celu wartość pola DIR zmieniana jest z 0 na 1. Opcjonalnie odbiornik może zmniejszyć wartość pola ER lub ustawić bit NI=1, jeśli nie jest w stanie zaakceptować aktualnej szybkości przekazu nadajnika.

1.2.4. Węzeł sieci

Algorytm działania węzła sieci nie został jednoznacznie określony. Określono jedynie ogólnie możliwe sposoby postępowania; należą do nich:

- Powiadomienie bitowe w przód. W trybie tym przeciążony węzeł sieci ustawia bit EFCI w nagłówku komórek danych. Pozwala to na osiągnięcie dwustanowego sterowania, polegającego na zwiększaniu bądź zmniejszaniu szybkości przekazu źródeł ABR.
- Relatywne powiadomienie bitowe. W trybie tym węzeł sieci ustawia bity CI i NI w komórkach RM. Pozwala to na sterowanie, w którym węzeł sieci może nakazać połączeniom zmniejszyć, nie zmieniać lub zwiększyć szybkość przekazu.
- Powiadomienie o dostępnej szybkości przekazu. W trybie tym węzeł sieci określa dla każdego połączenia szybkość transmisji, jaką może w danej chwili obsłużyć, tzw. dostępną szybkość przekazu (DSP).

Sygnalizacja dostępnej szybkości przekazu (DSP) lub przeciążenia może się odbywać zarówno za pomocą komórek Forward-RM, jak i Backward-RM. Użycie komórek Backward-RM powoduje zmniejszenie opóźnienia w pętli sprzężenia zwrotnego i polepszenie działania usługi ABR.

1.2.5. Zasada „use it or lose it”

Źródło ABR może transmitować dane z szybkością mniejszą niż określona przez parametr ACR. Powodem tego mogą być wewnętrzne ograniczenia występujące w urządzeniu końcowym. W celu zabezpieczenia sieci przed chwilowym przeciążeniem spowodowanym nagłym włączeniem się takiego połączenia stosuje się mechanizm timeoutu. Nie rozwiązuje on jednak problemu do końca. Niektóre algorytmy wyznaczania dostępnej szybkości przekazu mogą opierać swoje działanie na założeniu, że pole CCR zawiera rzeczywistą szybkość transmisji źródła. Jeśli wartość pola CCR różni się znacznie od rzeczywistej szybkości transmisji, może to powodować błędne działanie usługi ABR. Mechanizm timeout jest również mało przydatny w przypadku źródeł okresowych ze względu na jego dużą bezwładność.

Stosowanie zasady „use it or lose it” pozwala ograniczyć aktualną szybkość transmisji tzw. wolnych połączeń. Istnieje wiele metod sposobów implementacji powyższego

mechanizmu. Może być on zaimplementowany zarówno w źródle, jak i w węźle sieci. Przykładowo wersja tego algorytmu w terminalu końcowym może wyglądać następująco: w momencie odebrania komórki Backward-RM zwiększenie parametru ACR jest ograniczone do wartości zmierzonej szybkości transmisji plus pewna tolerancja. Jeśli połączenie nie przesyła danych zgodnie z wartością parametru ACR, to jego zwiększanie powyżej progu tolerancji jest powstrzymywane do momentu, aż ustanie działanie czynnika ograniczającego szybkość transmisji źródła.

Mechanizm „use it or lose it” może być zaimplementowany również w węźle sieci. W najprostszej wersji mierzy on rzeczywistą szybkość transmisji połączenia i ogranicza wartość sygnalizowanej dostępnej szybkości przekazu do wartości zmierzonej plus pewna tolerancja.

1.3. Algorytm kontroli ruchu w sieci ERICA+

W sieci ATM jest wykorzystywanych kilka algorytmów sprzężenia zwrotnego dla usługi ABR. Jednym z nich jest algorytm ERICA+ (Explicit Rate Indication for Congestion Avoidance). Głównymi zaletami tego algorytmu są jego prostota, szybki czas odpowiedzi, wprowadzanie minimalnych opóźnień oraz wysoka efektywność.

Algorytm ERICA+ pracuje na każdym wyjściowym porcie przełącznika sieciowego. Przełącznik okresowo monitoruje obciążenie każdego połączenia i oblicza współczynnik obciążenia (z), pojemność usługi ABR oraz liczbę (N) aktywnych wirtualnych połączeń (VCs). Te wielkości są następnie używane do obliczania pętli sprzężenia zwrotnego, która wykorzystuje ramki RM. Pomiary są wprawdzie wykonywane dla ramek transmitowanych ze źródła do odbiornika, natomiast ramki RM są wysyłane w przeciwnym kierunku. W ten sposób ramki sprzężenia zwrotnego są wysyłane do każdego źródła danych co najwyżej jeden raz w określonym interwale czasowym. Niżej w pseudokodzie opisano szczegóły działania algorytmu ERICA+. Zmienna $MaxAllocPrevious$ określa maksymalną wielkość przydziału w poprzednim okresie czasowym, natomiast zmienna $MaxAllocCurrent$ jest używana do określenia maksymalnego przydziału dla źródła w bieżącym przedziale czasowym.

Initialization:

$$MaxAllocPrevious \leftarrow MaxAllocCurrent \leftarrow FairShare$$

End of Averaging Interval:

$$Total\ ABR\ Capacity \leftarrow Link\ Capacity - VBR\ Capacity$$

$$Target\ ABR\ Capacity \leftarrow Fraction * Total\ ABR\ Capacity$$

$$z \leftarrow \frac{ABR\ Input\ Rate}{Target\ ABR\ Capacity}$$

$$\text{FairShare} \leftarrow \frac{\text{Target ABR Capacity}}{\text{Number of Active VCs}}$$

$$\text{MaxAllocPrevious} \leftarrow \text{MaxAllocCurrent}$$

$$\text{MaxAllocCurrent} \leftarrow \text{FairShare}$$

When an FRM is received:

$$\text{CCR}[VC] \leftarrow \text{CCR}_{in_RM_Cell}$$

When a BRM is received:

$$\text{VCShare} \leftarrow \frac{\text{CCR}[VC]}{z}$$

$$\text{IF } (z > 1 + \delta)$$

$$\text{THEN } ER \leftarrow \text{Max}(\text{FairShare}, \text{VCShare})$$

$$\text{ELSE } ER \leftarrow \text{Max}(\text{MaxAllocPrevious}, \text{VCShare})$$

$$\text{MaxAllocCurrent} \leftarrow \text{Max}(\text{MaxAllocCurrent}, ER)$$

$$\text{IF } (ER > \text{FairShare} \text{ AND } \text{CCR}[VC] < \text{FairShare})$$

$$\text{THEN } ER \leftarrow \text{FairShare}$$

$$\text{ER}_{in_RM_Cell} \leftarrow \text{Min}(\text{ER}_{in_RM_Cell}, ER, \text{Target ABR Capacity})$$

2. Symulacja sieci ATM

Badania symulacyjne są jednym z ważniejszych narzędzi wykorzystywanych podczas prac rozwojowych nad protokołami sieciowymi. Pozwalają one na redukcję czasu oraz kosztów badań nad złożonymi systemami. Aktualnie wykorzystując coraz szybsze komputery można osiągnąć zadowalające rezultaty skomplikowanych symulacji zbliżone do zachowań rzeczywistych systemów w stosunkowo krótkim czasie.

2.1. Sposoby oceny protokołu

Protokoły transmisji mogą być oceniane według rozmaitych kryteriów. Do podstawowych zalicza się wydajność i sprawiedliwość protokołu. Te cechy są zwykle przedmiotem badań po zaprojektowaniu protokołu. Wydajność protokołu jest przy tym wielkością zależną od postaci danych przesyłanych badanym protokołem. Po rozwinięciu idei sieci Internet powstała grupa protokołów przeznaczonych do zapewnienia niezawodnej transmisji danych pomiędzy komputerami bez względu na opóźnienia, jakich taka transmisja wymaga. Większość opracowa-

nych protokołów była projektowana z myślą o przesyłaniu danych, które nadchodzą nieregularnie i w dużych porcjach.

Popularność takich technik, jak telekonferencje i przekazy wizyjne oraz dźwiękowe, postawiła przed inżynierami całkowicie nowe zadania. Wymienione techniki wymagają przesyłu danych ze ściśle określonym opóźnieniem bez zachwiania kolejności nadchodzenia poszczególnych porcji danych. Równocześnie techniki te nie wymagają, aby dane dotarły do adresata bez przekłamań. Nawet zagubienie pojedynczej ramki obrazu nie jest większym problemem, gdyż tylko nieznacznie wpłynie na jakość odbioru. Charakterystyczne jest dla tych technik okresowe przysyłanie danych w podobnych, niezbyt dużych ilościach, i byłoby korzystne, gdyby adresat mógł odbierać dane ze strumienia o podobnej postaci. Okazało się, że wiele szeroko rozpowszechnionych dotychczas protokołów nie spełnia wymagań dzisiejszych użytkowników sieci, gdyż protokoły te były tworzone do innych zadań i w oparciu o inne założenia. Jednocześnie wraz z rozwojem technologii obliczeniowej stała się możliwa efektywna ocena działania istniejących protokołów, a wraz z tym możliwość wskazania metod polepszenia ich wydajności.

Wszystkie te potrzeby spowodowały rozwój narzędzi służących ocenie protokołów. Służą temu modele matematyczne wykorzystujące teorię kolejek i stosowany przez nią aparat matematyczny związany, ogólnie rzecz biorąc, z procesami stochastycznymi (łańcuchy Markowa, procesy dyfuzji i in.). Jednakże takie modele teoretyczne zwykle nakładały zbyt duże uogólnienia, przez co uzyskane z ich pomocą wyniki nie zawsze wystarczająco odzwierciedlały rzeczywistość.

Trudności związane z dokładnie opisującymi rzeczywistość modelami teoretycznymi spowodowały rozwinięcie gałęzi symulatorów protokołów. W obecnych czasach symulatory protokołów stały się podstawowym narzędziem oceny efektywności. Symulatory pozwalają także na lepsze zrozumienie idei danego protokołu oraz dostrzeżenie wielu drobnych, aczkolwiek znaczących, zależności, jakie dany protokół wprowadza, których nie sposób zawrzeć w modelu teoretycznym. Podstawową wadą symulatorów jest ich duże zapotrzebowanie na moc obliczeniową. Uzyskanie wiarygodnych wyników z symulatora wiąże się z symulowaniem przesyłu wielkiej liczby pakietów. Stąd obliczenia za pomocą symulacji, chociaż nie mają zwykle dużych wymagań pamięciowych, zajmują wiele czasu procesora. Pomimo czasochłonności symulacje są często jedynym względnie tanim środkiem uzyskania potrzebnych danych liczbowych. Symulatory są również ważnym elementem dydaktyki, gdyż pozwalają na ukazanie na przykładzie sposobu działania danego protokołu.

2.2. Symulator protokołów wielowarstwowych

Symulator protokołów wielowarstwowych upraszcza budowę symulatorów takich protokołów, jak ATM czy TCP/IP, implementując podstawowe operacje i struktury danych związane z warstwowym modelem sieci OSI/ISO. Dzięki takiemu pakietowi warstwy protokołów mogą być realizowane jako pojedyncze funkcje przetwarzające dane przychodzące do warstwy poprzez punkty dostępu do usług na dane wychodzące z warstwy do warstw kolejnych. W razie potrzeby warstwa może zrealizować buforowanie, usuwanie, czy też tworzenie nowych komunikatów.

Biblioteka SMURPH zawiera proste warstwy odpowiadające za przekazywanie danych poprzez łącza pomiędzy węzłami sieci, prototyp warstwy końcowej, odbierającej dane i usuwającej pakiety z systemu, a także definicję klasy generującej pakiety i warstwy nadającej wygenerowane pakiety na szczyt stosu protokołów.

Dodatkowo biblioteka definiuje klasy związane z organizacją protokołów w stosy oraz przypisywaniem stosów protokołów do interfejsów sieciowych. W ramach tego zdefiniowane są również klasy umożliwiające w prosty sposób tworzenie sieci o topologii swobodnej z węzłami połączonymi parami jednokierunkowych połączeń, tak jak ma to miejsce we współczesnych sieciach opartych na przełączaniu pakietów lub komórek.

Warstwy w symulatorze przetwarzają dane standardowo tylko w jednym kierunku w dół stosu protokołów lub w górę. Aby powiązać przetwarzanie informacji w jednym kierunku z przetwarzaniem informacji w drugim, należy zdefiniować dwie warstwy: po jednej dla każdego z kierunków przekazywania pakietów, a następnie powiązać je pomiędzy sobą. Postępowanie takie jest niezbędne, aby zapewnić współbieżność dla różnych kierunków przekazywania danych.

Warstwy komunikują się pomiędzy sobą przekazując obiekty pakietów poprzez interfejsy pomiędzy warstwami. Interfejsy te nie dokonują buforowania pakietów, tak więc nie można w jednym momencie czasu nadać dwóch pakietów danych z jednej warstwy. Aby uniknąć sytuacji, w której pakiety są nadpisywane poprzez nadanie kolejnego pakietu do następnej warstwy, podczas gdy poprzedni nie został jeszcze obsłużony, zdefiniowano mechanizm wzajemnego powiadamiania się warstw o gotowości do przetwarzania danych. Mechanizm ten działa automatycznie z wyjątkiem sytuacji, w której jedna z warstw dokonuje buforowania pakietów.

Istotną kwestią dla poprawności funkcjonowania symulatora jest unikanie „przecieków pamięci”, tj. sytuacji, w której symulator zajmuje coraz więcej pamięci w miarę postępu symulacji ze względu na pozostawianie w pamięci nie używanych obiektów. Standardowy typ pakietów został przedefiniowany, tak że może on zawierać wskaźnik do danych użytkownika, a także rozmiar pamięci przydzielanej na te dane.

3. Podsumowanie

Sieć ATM stanowi skalowalną, elastyczną, zapewniającą dużą przepustowość warstwę łącza danych. Może ona zastąpić istniejące struktury LAN, najpierw sieci szkieletowej, a następnie również sieci dla poszczególnych użytkowników. Dzięki jej przepustowości i uniwersalności może zapewnić transmisję nie tylko danych w tradycyjnym tego słowa znaczeniu (jak pliki, poczta elektroniczna), ale także pełnych informacji multimedialnych. Jednak dla dalszego rozwoju sieci ATM niezbędne jest przeprowadzenie szeregu badań. Ze względu na skomplikowany charakter tej sieci oraz wysokie koszty bardzo dobrą metodą okazują się badania symulacyjne.

LITERATURA

1. Czachórski T.: Modele kolejkowe w ocenie efektywności sieci i systemów komputerowych. Podstawy automatyki. Pracownia Komputerowa Jacka Skalmierskiego, Gliwice 1999.
2. Czachórski T., Jędrus S.: Symulator protokołu ATM. Instytut Informatyki Teoretycznej i Stosowanej Polskiej Akademii Nauk, Gliwice 1999, 2000.
3. Fahmy S.: Traffic Management for Point-to-Point and Multipoint Available Bit Rate (ABR) Service in Asynchronous Transfer Mode (ATM) Networks. Praca doktorska. Ohio State University 1999.
4. ATM Forum. The ATM Forum traffic management specification version 4.0. <ftp://ftp.atmforum.com/pub/approved-specs/af-tm-0056.000.pdf>
5. Papier Z.: Ruch telekomunikacyjny i przeciążenia sieci pakietowych. Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, Warszawa 2001.

Recenzent: Prof. dr hab. inż. Tadeusz Czachórski

Wpłynęło do Redakcji 25 marca 2002 r.

Abstract.

Traffic management aims at efficiently allocating network resources and meeting the negotiated quality of service guarantees. Asynchronous Transfer Mode (ATM) networks provide several service categories for real-time and bulk data transfer. The Available Bit Rate (ABR) service category attempts to provide minimum rate guarantees, achieve fairness, and minimize cell loss by periodically indicating to sources the rate at which to transmit. Several switch algorithms have been developed to compute the feedback to be indicated to ABR sources in RM cells. The standard Explicit Rate Indication of Congestion Avoidance+ (ERICA+) algorithm is one of these algorithms. The main advantages of ERICA+ are its low complexity, fast transient response, high efficiency and small queuing delay,