

Robert WÓJCICKI

Politechnika Śląska, Instytut Informatyki

MECHANIZMY KONTROLI NATĘŻENIA RUCHU A JAKOŚĆ USŁUG W SIECIACH TCP/IP/ATM

Streszczenie. W sieciach TCP/IP/ATM stosowane są algorytmy kontroli ruchu na poziomach poszczególnych protokołów, które powinny pozwalać 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 mogą jednak interferować ze sobą, co może dawać nie zawsze korzystny ich wpływ na wydajność sieci.

Słowa kluczowe: sieci komputerowe TCP/IP, ATM, algorytmy kontroli ruchu, przeciążenia sieci, jakość usług.

TRAFFIC MANAGEMENT AND QUALITY OF SERVICE IN TCP/IP/ATM NETWORKS

Summary. Traffic management is a key problem in designing high speed networks. The goal of traffic management is to control network congestion, efficiently utilize network resources and deliver quality of services to users, especially in TCP/IP/ATM networks. TCP and ATM implements a variety of flow and congestion control mechanisms, which can affect mutually interfere.

Keywords: traffic management, TCP/IP, ATM, network, network congestion, quality of service.

1. Wprowadzenie

Dzięki intensywnemu rozwojowi Internetu, dużej elastyczności, a także wielu innym zaletom, protokół TCP/IP stał się jednym z bardziej popularnych protokołów transmisyjnych. Ze względu na lawinowy wzrost ilości użytkowników Internetu niezbędne stały się rozwiązania umożliwiające szybką transmisję danych na duże odległości, a także

pozwalające na elastyczną kontrolę ruchu w sieci i zapewnienie odpowiedniej jakości usług. Aby sprostać postawionym wymogom do przesyłu danych, wykorzystano sieci o dużych przepustowościach, jak np. sieci ATM (Asynchronous Transfer Mode).

Technologia ATM jest standardem umożliwiającym tworzenie w pełni skalowanych, wysoko wydajnych sieci, a także umożliwia elastyczną konfigurację i zapewnienie odpowiedniej jakości usług (QoS) dla poszczególnych połączeń według zadanych kontraktów ruchowych. W sieciach ATM rozbudowane zostały prewencyjne oraz reakcyjne algorytmy kontroli ruchu minimalizujące prawdopodobieństwo wystąpienia przeciążeń. Protokół TCP/IP również posiada swoje algorytmy przeciwdziałające przeciążeniom w sieci. W sieciach TCP/IP/ATM może więc pojawić się interferencja algorytmów kontroli ruchu obydwóch protokołów, co może wpływać na ich skuteczność.

2. Kontrola przepływu danych

2.1. Protokół ATM

Podobnie jak w przypadku modelu ISO-OSI model protokołu ATM jest modelem warstwowym. Dokonano jednak pogrupowania warstw wyższych jako nieistotnych. Można też określić warstwę fizyczną oraz warstwę ATM jako odpowiednik warstwy fizycznej w modelu OSI, natomiast warstwy adaptacji (ang. AAL) jako odpowiednika warstwy łącza danych wg OSI.

2.1.1. *Procedury sterowania ruchem w sieciach ATM*

W sieciach ATM wykorzystuje się szereg procedur sterowania ruchem. Procedury te, nieraz bardzo zaawansowane, skutecznie przeciwdziałają wystąpieniom przeciążeń w sieciach ATM. Właśnie dzięki nim sieci ATM charakteryzują się dużą przepustowością oraz niezawodnością.

2.1.1.1. *Zarządzanie zasobami sieci NRM (Network Resource Management)*

Zarządzanie zasobami sieci NRM jest najrzadziej uruchamianą procedurą sterowania ruchem, gdyż jest aktywowana pomiędzy rekonfiguracjami sieci ATM. Polega ona na alokacji zasobów sieciowych pomiędzy poszczególnymi połączeniami z uwzględnieniem charakterystyk usług i jest realizowana na poziomie ścieżek wirtualnych VPC (Virtual Path Connection).

2.1.1.2. *Sterowanie przyjmowaniem zgłoszeń CAC (Connection Admission Control)*

Procedury sterowania przyjmowaniem zgłoszeń zapobiegają przeciążeniom sieci poprzez odrzucanie przyjmowanych zgłoszeń, które przekraczają aktualne możliwości sieci lub będą mogły powodować pogorszenie parametrów ruchu dla połączeń już istniejących. Sieć

realizuje i zapewnia odpowiedni poziom QoS tylko tym kontraktom ruchowym, które nie przekraczają bieżących możliwości sieci. Funkcja CAC na podstawie deklarowanej klasy usług, parametrów kontraktu, parametrów QoS musi określić, czy jej zasoby są wystarczające. Podjęcie błędnej decyzji może nie tylko źle wpływać na jeden kontrakt ruchowy, lecz może powodować przeciążenie całej sieci i pogorszenie parametrów ruchu wszystkich dotychczas ustanowionych połączeń korzystających z tych samych zasobów. W przypadku ustanowienia nowego połączenia CAC rezerwuje dla niego zasoby sieciowe pozwalające na wykonanie kontraktu ruchowego na odpowiednim poziomie QoS.

Implementacja funkcji CAC nie jest ściśle określona, lecz może być różna dla poszczególnych sieci ATM.

2.1.1.3. Szybkie zarządzanie zasobami FRM (*Fast Resource Management*)

W przypadku niewielkiego i krótkotrwałego przekroczenia przez użytkownika kontraktu ruchowego możliwe jest zaalokowanie dodatkowych zasobów sieci w celu wykonania takiego nadzwyczajnego żądania użytkownika. Aby tak mogło się stać, niezbędne jest istnienie zasobów sieci umożliwiających wykonanie takiego żądania oraz implementacji algorytmów szybkiego zarządzania zasobami FRM.

2.1.1.4. Nadzór parametrów użytkownika UPC (*Usage Parameter Control*)

Nadzór parametrów użytkownika UPC jest niezbędny w celu eliminacji nadmiernego, w stosunku do kontraktu ruchowego, ruchu generowanego przez źródło. Algorytmy UPC nadzorują między innymi parametry maksymalnej szybkości generacji komórek (PCR), tolerancję fluktuacji opóźnienia komórek (CDVT), a także średnią szybkość transmisji komórek (SCR), czy też maksymalny rozmiar paczki komórek (MBS). Jeśli parametry kontraktu zostaną przekroczone, to odpowiednie komórki są odrzucane. Dla komórek z ustawionym wysokim priorytetem (CLP=0) niezgodnym z zadeklarowanym kontraktem najpierw ustawiany jest znacznik CLP na 1, a następnie jeśli zajdzie potrzeba, komórki te są odrzucane.

2.1.1.5. Kształtowanie ruchu TS (*Traffic Shaping*)

Kształtowanie strumienia ruchu TS jest mechanizmem zmieniającym charakterystyki strumienia komórek należących do połączenia w celu lepszego wykorzystania zasobów lub zapewnienia zgodności parametrów transmisji z kontraktem ruchowym. Kolejność przesyłanych komórek jest zachowana. Niestety, w przypadku zastosowania tego mechanizmu może wzrosnąć średnie opóźnienie transmisji.

2.1.2. Procedury rozładowywania przeciążeń w sieciach ATM

Oprócz mechanizmów sterowania ruchem, pozwalających na unikanie przeciążeń w sieciach ATM, dostępne są także mechanizmy wspomagające rozładowywanie przeciążeń. Mechanizmy te ułatwiają uniknięcie rozprzestrzeniania się lokalnie powstałych przeciążeń.

2.1.2.1. Sygnalizacja przeciążeń w przed EFCI

W nagłówku komórki ATM umieszczono na 3-bitowym polu PT (Payload Type) informacje o przeciążeniach w sieci. Przeciążony węzeł sieci może zasygnalizować przeciążenie, ustawiając dwa pierwsze bity pola PT na „01”. Przeciążenie jest sygnalizowane we wszystkich połączeniach, przechodzących przez przeciążony węzeł i informacja ta nie może być usuwana w kolejnych węzłach. Mechanizm EFCI umożliwia uruchomienie procedur zmniejszających szybkość generowania komórek.

2.1.2.2. Selektywne odrzucanie komórek SCD

W przypadku przeciążenia procedura selektywnego odrzucania komórek SCD powoduje odrzucanie komórek o niskim priorytecie (pole CLP = 1), co pozwala na zapewnienie odpowiedniej jakości usług QoS komórkom o wysokim priorytecie.

2.2. Protokół TCP/IP

Mechanizmy przeciwdziałania przeciążeniom zaimplementowane w protokole TCP nie są tak złożone i z tego względu tak efektywne jak mechanizmy protokołu ATM. Można wyróżnić dwa podstawowe mechanizmy kontroli ruchu:

- zarządzanie oknem nadawczym,
- zarządzanie zwłoką czasową retransmisji.

Niewłaściwe dobranie parametrów transmisji może wręcz spowodować nadmierny wzrost ruchu związanego z retransmisjami, co może doprowadzić do zablokowania sieci.

2.2.1. Zarządzanie oknem nadawczym

W ustalonych warunkach moduł nadawczy wysyła segmenty w miarę otrzymywania potwierdzeń od modułu odbiorczego. Szybkość nadawania jest wyznaczana przez wąskie gardło sieci transmisyjnej. Jednak w rzeczywistości często zdarzają się sytuacje, gdy przepustowość sieci zmienia się w czasie. W takich przypadkach rozmiar okna nadawczego po stronie źródła danych powinien się dostosowywać do parametrów sieci. W przypadku zaistnienia przeciążenia sieci, co może się objawiać potrzebą retransmisji, okno nadawcze protokołu TCP powinno zostać zmniejszone, natomiast w przypadku wzrostu dostępnej przepustowości okno powinno zostać powiększone. Problemy występują jednak nie tylko w momentach zmian dostępnej przepustowości sieci, ale także na początku transmisji, gdy możliwości sieci nie są jeszcze znane. Zdefiniowano kilka algorytmów pozwalających na zarządzanie oknem. Należą do nich algorytmy: spowolnionego startu (slow start), dynamicznego wymiarowania okna (dynamic window sizing), przyspieszonej retransmisji (fast retransmission), przyspieszonego odzyskiwania (fast recovery).

2.2.2. Zarządzanie zwłoką czasową retransmisji

Jeśli zdefiniowany czas oczekiwania na potwierdzenie odbioru segmentu już upłynął (nastąpił time-out), a potwierdzenie jeszcze nie nadeszło, niezbędne staje się ponowne wysłanie danych. Zasada indywidualnych retransmisji wiąże z każdym segmentem, znajdującym się w kolejce segmentów oczekujących na retransmisję, zegar odmierzający zwłokę czasową. Jeśli potwierdzenie nadejdzie przed upływem tej zwłoki, to segment jest usuwany z kolejki retransmisji. Jeśli jednak tak się nie stanie, to segment jest retransmitowany, a związana z nim zwłoka uruchamiana. Zasada grupowych retransmisji wiąże jeden zegar z całą kolejką segmentów oczekujących na potwierdzenia. Potwierdzone segmenty są usuwane, zegar kasowany, a dla pozostałej kolejki uruchamiany ponownie. Po upływie zwłoki grupowej następuje retransmisja wszystkich kolejkowanych segmentów oraz ponowne uruchomienie zegara. Niestety, grupowa retransmisja, choć prosta w implementacji, może powodować dodatkowe obciążenie sieci. Kompromisem pomiędzy retransmisją grupową a indywidualną jest retransmisja kolejkowana, w której odmierzana jest zwłoka retransmisji dla całej kolejki, a retransmitowany jest tylko pierwszy jej segment.

Niepoprawne ustawienie zwłoki retransmisji może powodować zaburzenia ruchu w sieci. Efektem zbyt krótkiej zwłoki może być wystąpienie wielu retransmisji dodatkowo blokujących zasoby sieciowe, co w skrajnych przypadkach może doprowadzić do deadlocku. Efektem zbyt długiej zwłoki może być spowolnienie komunikacji pomiędzy systemami końcowymi.

Do zarządzania zwłoką retransmisji przeznaczonych jest kilka algorytmów: estymacji wariancji RTT (Round-trip Time), wykładniczego wydłużania zwłoki czasowej retransmisji, reguła Karn.

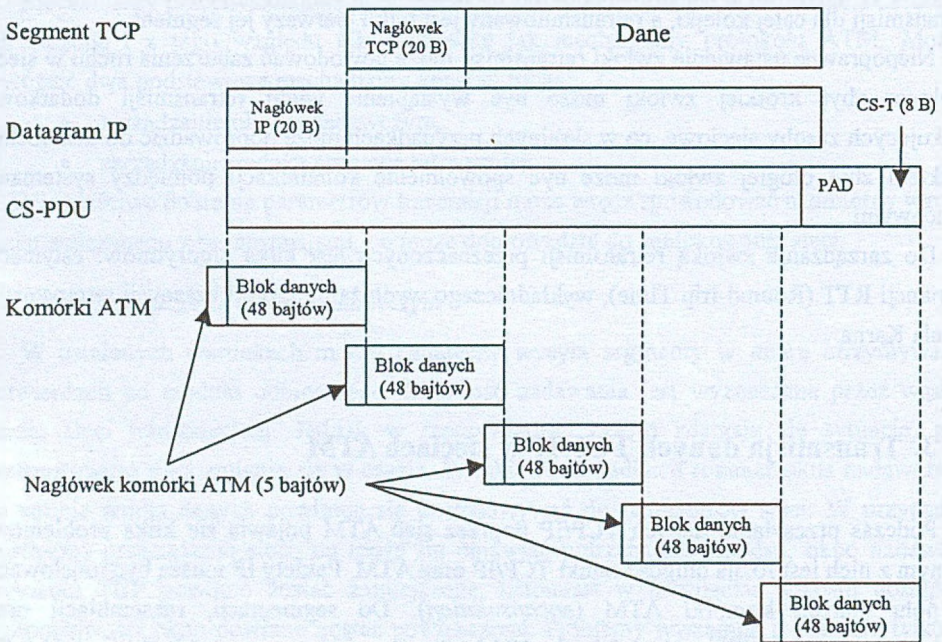
3. Transmisja danych TCP/IP w sieciach ATM

Podczas przesyłania danych TCP/IP poprzez sieć ATM pojawia się kilka problemów. Jednym z nich jest różna długość ramki TCP/IP oraz ATM. Pakiety IP muszą być tunelowane w polu danych komórki ATM (*encapsulation*). Do segmentacji, reasemblacji oraz opakowania pakietu IP w komórkach ATM używana jest warstwa adaptacji AAL. Ze względu na skomplikowaną strukturę funkcji warstwa ta została podzielona na:

- Podwarstwę zbieżności CS (Convergence Sublayer). Podwarstwa ta wspiera bezpośrednio aplikacje korzystające z warstwy adaptacji AAL.
- Podwarstwę segmentacji i składania SAR (Segmentation and Reassembly). Realizuje ona segmentację danych podwarstwy zbieżności CS-PDU na

48-bajtowe paczki i przekazuje je do warstwy ATM. Realizuje także operację odwrotną, czyli składania pól informacyjnych komórek ATM w pakiety CS-PDU.

Do tunelowania pakietów IP można użyć protokołu AAL3/4 lub AAL5 warstwy adaptacji ATM. Najczęściej stosowana jest jednak segmentacja danych w protokole AAL5. Do ramki danych w odpowiednich warstwach TCP/IP doklejane są kolejno nagłówki protokołów TCP oraz IP. Następnie pakiet danych TCP/IP trafia do warstwy adaptacji AAL protokołu ATM. Tu dodawany jest nagłówek podwarstwy zbieżności CS-T oraz pole uzupełniające, tak aby łączna długość pakietu była wielokrotnością 48 bajtów. Podwarstwa SAR rozbija taki pakiet na 48-bajtowe bloki, aby mogły się one zmieścić do pól danych komórek ATM. Komórki ATM otrzymują odpowiedni nagłówek i mogą być transmitowane poprzez sieć ATM. W celu zasygnalizowania warstwie SAR końca transmisji pakietu CS-PDU, w ostatniej transmitowanej komórce należącej do jednego pakietu, ustawiany jest bit SDU na 1 w polu PT komórki ATM. Poprzednie komórki należące do tego samego pakietu mają ten bit wyzerowany.



Rys. 1. Segmentacja danych w protokole TCP/IP w sieci AAL5/ATM
Fig. 1. Data segmentation in TCP/IP over ATM

Kolejnym problemem pojawiającym się podczas transmisji danych TCP/IP/ATM jest adresowanie pakietów. Adresy IP muszą zostać mapowane na adresy warstwy ATM. Konieczny jest również interfejs pomiędzy warstwą IP pracującą z trybem bezpołączeniowym oraz warstwą ATM pracującą w trybie połączeniowym.

Przy transmisji poprzez lokalne połączenie ATM nie jest potrzebna żadna dodatkowa informacja o routingu. Po stronie nadawczej warstwa adaptacji ATM (AAL) dokonuje fragmentacji pakietu i pakuje jego części do komórek ATM należących do przydzielonego kanału VC. Po stronie odbiorczej pakiet jest ponownie składany. Host może rozpoznać przynależność danej komórki do pakietu IP na podstawie jej numeru VC.

Przyporządkowanie adresów IP adresom warstwy ATM może być zrealizowane na kilka sposobów. Prostym rozwiązaniem jest np. protokół ARP, który wymaga usług broadcastowych na poziomie warstwy ATM. Dla prostoty i szybkości działania procedury wykorzystuje się zarezerwowany kanał dla komunikacji ze switch'em. W wyniku działania zapytań ARP otrzymywany jest (w przypadku sukcesu) adres ATM odpowiadający żądanemu adresowi IP. Dla zmniejszenia zbędnego ruchu informacje ARP są przechowywane przez pewien czas w pamięci podręcznej (ARP cache).

Pogodzenie połączeniowego trybu warstwy IP z trybem bezpołączeniowym warstwy ATM następuje poprzez użycie odpowiedniego sterownika ATM. Łączy on mechanizmy protokołu ARP oraz zarządzania kanałami wirtualnymi. W momencie otrzymania pakietu IP do nadania, wykorzystując ARP, sprawdza lub tworzy odpowiednie wirtualne połączenie, a następnie transmituje pakiety IP. Sterownik ten, używając odpowiednich mechanizmów, umożliwia ograniczenie zbędnego ruchu w sieci związanego z broadcastami oraz otwieraniem kolejnych połączeń ATM.

4. Uproszczony model symulacyjny sieci TCP/IP/ATM

Jedną z metod pozwalającą na zbadanie zachodzących zjawisk w sieciach komputerowych może być metoda badań symulacyjnych. Badania symulacyjne mogą być bardzo ważnym narzędziem wykorzystywanym 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.

Do badań interferencji pomiędzy algorytmami kontroli ruchu w sieci zaimplementowanymi w protokołach TCP oraz ATM wykorzystano uproszczony model symulacyjny sieci TCP/IP/ATM. Model ten składa się z trzech zasadniczych elementów: stacji nadawczej, prostej sieci ATM oraz stacji odbiorczej.

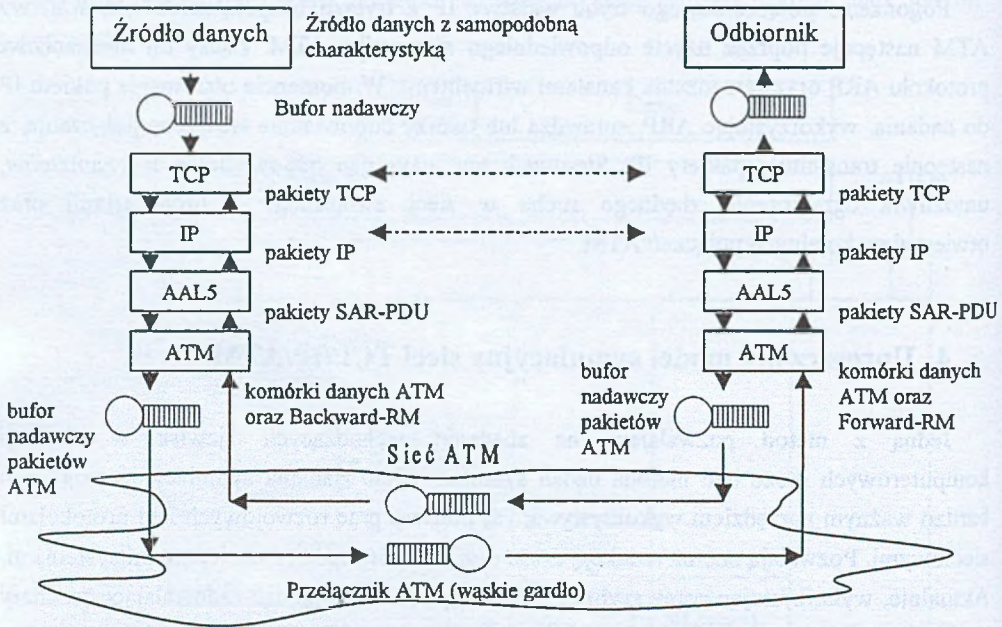
4.1.1. Stacja nadawcza

Zasadniczym elementem stacji nadawczej jest generator ruchu samopodobnego, który generuje pakiety z samopodobną charakterystyką. Wygenerowane pakiety są przekazywane

do bufora nadawczego, a następnie poprzez odpowiednie warstwy protokołów wędrują do sieci. Po drodze są w razie potrzeby dzielone na mniejsze fragmenty i obudowywane nagłówkami protokołów TCP, IP, ATM. Na wyjście stacji nadawczej trafiają gotowe komórki ATM, które są przekazywane dalej do przełącznika.

4.1.2. Sieć ATM

Sieć ATM jest symulowana poprzez 2 jednokierunkowe kanały przekazujące dane od nadawcy do odbiorcy. Dane są przekazywane poprzez przełącznik o zadanej w parametrach symulacji przepustowości oraz wielkości buforów. Podczas inicjalizacji symulacji można zadawać podstawowe parametry pracy sieci, jak przepustowość, stopę błędów, prawdopodobieństwo utraty komórek.



Rys. 2. Schemat prostego modelu symulacyjnego połączenia TCP/IP przez ABR
 Fig. 2. Simple simulation model of TCP/IP over ABR

4.1.3. Stacja odbiorcza

Pakiety trafiające do stacji odbiorczej są, na poszczególnych poziomach odpowiadających warstwom sieci, rozbiegane z nagłówków poszczególnych protokołów i przetwarzane. Zgodnie ze specyfikacjami protokołów TCP/IP/ATM na poszczególnych poziomach możliwe jest generowanie odpowiedzi oraz potwierdzeń i wysyłanie ich do stacji nadawczej.

Badania ruchu w sieciach prowadzone w różnych ośrodkach wykazały samopodobną charakterystykę tego ruchu. Odkrycie to może w sposób istotny przyczynić się do zwiększenia skuteczności badań symulacyjnych, gdyż zbliża działanie modeli do zachowań świata rzeczywistego. Cecha ta jest bardzo istotna, zwłaszcza podczas szacowania i oceny wydajności sieci komputerowych, co wykazały badania prowadzone nad wpływem samopodobieństwa ruchu na kontrolę zatłoczeń w sieciach szerokopasmowych [2], [3].

5. Podsumowanie

Podczas transmisji danych TCP/IP poprzez sieć ATM powstają problemy związane nie tylko z różnorodnymi sposobami adresowania w sieciach TCP/IP oraz ATM, różnej wielkości pakietów, czy też tunelowaniem TCP/IP w komórkach ATM. Dodatkowo można zauważyć interferencję mechanizmów kontroli ruchu zaimplementowanych w sieciach TCP/IP oraz ATM. Interferencja ta może ujemnie wpływać na wydajność procedur sterowania ruchem. Jedną z metod badania wpływu mechanizmów zarządzania ruchem w sieci na jakość usług w sieciach TCP/IP/ATM jest metoda badań symulacyjnych. Metoda ta, choć niskonakładowa, pozwala na dokładne prześledzenie zjawisk powstających w środowisku sieciowym.

LITERATURA

1. Czachórski T., Domańska J., Sochan A.: Samopodobny charakter natężenia ruchu w sieciach komputerowych. *Studia Informatica*, Gliwice 2001.
2. Stallings W.: *High-Speed Networks: TCP/IP and ATM Design Principles*. Prentice Hall, New Jersey 1998.
3. Willinger W., Leland W.E., Taq M. S., Wilson D.: On the self-similar nature of Ethernet traffic (extended version). *IEEE/ACM Transactions on Networking*, February 1994.
4. Papir Z.: *Ruch telekomunikacyjny i przeciążenia sieci pakietowych*. WKŁ, Warszawa 2001.
5. Wehrle K., Reber J., Holzhausen D.: *Simulation Suite for the Internet Protocol*. Developed at University of Karlsruhe, <http://cvs-int.etec.uni-karlsruhe.de/omnetpp>.
6. Kaage U., Kahmann V., Böhm V.: *An OMNeT++ TCP Module*. Developed at University of Karlsruhe, <http://cvs-int.etec.uni-karlsruhe.de/omnetpp>.
7. Grzech A.: *Sterowanie ruchem w sieciach teleinformatycznych*. Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2002.

Recenzent: Prof. dr hab. inż. Tadeusz Czachórski

Wpłynęło do Redakcji 31 marca 2003 r.

Abstract

Traffic management is a key problem in designing high speed networks. The goal of traffic management is to control network congestion, efficiently utilize network resources and deliver quality of services to users, especially in TCP/IP/ATM networks. At the end system, transport layer can implement various congestion avoidance and control policies to improve network performance and to protect against congestion collapse. The mechanisms implemented in TCP are slow start and congestion avoidance, fast retransmit and recovery, and selective acknowledgments. ATM also implements a variety of flow and congestion control mechanisms. These mechanisms can mutually interfere.

Adres

Robert WÓJCICKI: Politechnika Śląska, Instytut Informatyki, ul. Akademicka 16,
44-101 Gliwice, Polska, wojicki@homer.iinf.polsl.gliwice.pl.