ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 1999
Seria: INFORMATYKA z. 36 Nr kol. 1414

Tadeusz CZACHÓRSKI
Instytut Informatyki Teoretycznej i Stosowanej, PAN,
Politechnika Śląska, Instytut Informatyki
Ferhan PEKERGIN
LIPN, Université Paris-Nord, France

DYFUZYJNY MODEL STANÓW NIEUSTALONYCH W ROZLEGŁEJ SIECI ATM *

Streszczenie. W modelowaniu pracy sieci komputerowej w warunkach zmiennego w czasie obciążenia ważną rolę spełnia właściwy opis podziału strumieni pakietów należących do różnych połączeń, które krzyżują się w węźle sieci, a następnie rozchodzą w różnych kierunkach. Prawdopodobieństwa przynależności pakietu do danego połączenia są, w stanie nieustalonym sieci, funkcją czasu. Artykuł przedstawia sposób wyznaczania tych prawdopodobieństw i jego zastosowanie w modelowaniu sieci ATM.

DIFFUSION MODEL OF TRANSIENT STATES IN A LARGE ATM NETWORK

Summary. In modelling the performancies of computer networks working under time varying load it is important to properly describe the partitioning of traffic flows which belong to different connections and are interacting at a network switch before being dispatched further following their itinerary. The routing probabilities are time dependent. The article proposes a method to determine these probabilities, enabling this way the modelling of flows in large ATM networks.

1. Wstęp

Sieć ATM jest wieloparametrowym obiektem sterowania, którego osiągi zależą m.in. od doboru parametrów protokołu komunikacyjnego, a w szczególności doboru mechani-

*Praca powstała w ramach projektu KBN 8 T11C 038 16

zmów kontrolnych w różnych momentach czasu i miejscach sieci:

— w momencie nawiązania połączenia trzeba zdecydować, czy sieć potrafi ruchowi o deklarowanym przez użytkownika charakterze zagwarantować oczekiwany przez niego poziom usług, tj. przewidzieć działanie sieci po dołączeniu nowego użytkownika generującego ruch o określonej charakterystyce,

— przez cały czas połączenia trzeba kontrolować, czy uzgodnione parametry są przez użytkownika dotrzymywane, w razie potrzeby wygładzając ruch pakietów przez ich buforowanie, obniżając priorytet lub kasując nadmiarowe pakiety,

— w przypadku powstania zatłoczenia trzeba zdecydować, jak selektywnie niszczyć komórki gromadzące się w kolejkach przełączników — trzeba odpowiednio dobrać regulaminy tych kolejek,

— jeżeli przyznawana użytkownikowi przepustowość łączy zależy od istniejących, zmiennych w czasie rezerw, trzeba zaprojektować algorytm sterowania w pętli sprzężenia zwrotnego natężeniem przyjmowanego ruchu, reagujący na obserwowane zatłoczenie.

Właściwe uwzględnienie w projektowanej sieci tych złożonych mechanizmów rodzi potrzebę modelowania.

Strumienie generowane przez klientów sieci mają różnorodny charakter i często cechują się mocno zmiennym w czasie natężeniem. Modelując pracę sieci, trzeba wziąć to pod uwagę, bowiem o jakości świadczonych przez sieć usług decyduje jej zdolność do unikania przeciążeń, powstających wtedy, gdy wielu klientów generuje ruch o maksymalnym dla nich natężeniu, co powoduje spiętrzenia, przepełnienie buforów i straty przesyłanych wiadomości. Uwzględnienie w modelach tych krótkich, lecz decydujących o jakości pracy sieci okresów jest więc bardzo istotne. Wymaga to badania stanów nieustalonych w sieci.

Kolejkowe modele sieci komputerowych przedstawiają te sieci jako system stanowisk obsługi, w których krążą klienci. Stanowiska obsługi to łączące węzły sieci linie transmisyjne, klienci to przesyłane pakiety. Kolejki ustawiane przed stanowiskiem obsługi to kolejki pakietów czekających w przełączniku na wysłanie w ustalonym kierunku. Pakiety przesyłane między dwoma punktami sieci w ramach nawiązanego połączenia możemy uważać za klientów należących do tej samej klasy, scharakteryzowanej własnościami źródła generującego pakiety i ich drogą przez sieć. W węźle sieci krzyżują się pakiety należące do różnych połączeń; opisując drogę pakietu wychodzącego z węzła, trzeba w modelu podać prawdopodobieństwo, że należy on do określonej klasy, a więc do określonego połączenia. W modelach stanu ustalonego czyni się to na podstawie stałego natężenia ruchu, a więc, jeżeli przez węzeł przechodzi K klas pakietów o natężeniu $\lambda^{(k)}$, to prawdopodobieństwo, że dany pakiet należy do klasy k, wynosi $\lambda^{(k)}/\lambda$, gdzie $\lambda = \sum_{k=1}^{K} \lambda^{(k)}$.

W przypadku stanów nieustalonych natężenie strumieni jest zmienne, a więc również zmienne jest pradopodobieństwo $\lambda^{(k)}(t)/\lambda(t)$ przynależności klienta do danej klasy. Wyznaczanie zmiennego w czasie natężenia strumieni wychodzących z węzła sieciowego i należących do konkretnych połączeń jest problemem, który nie był dotąd rozwiązany w analitycznych modelach kolejkowych. Używana do analizy stanów nieustalonych aproksymacja dyfuzyjna milcząco zakładała, że występujący w sieci klienci są pod względem drogi jednorodni, co uniemożliwia określenie ich przynależności do konkretnego połączenia.

2. Podstawy aproksymacji dyfuzyjnej

Załóżmy, że klienci napływają do stanowiska obsługi w niezależnych od siebie odstępach czasu, których rozkład $A(x)$ ma wartość średnią $1/\lambda$ i wariancję σ_A^2. Jeżeli stanowisko pracuje bez przerwy, to klienci opuszczają je w odstępach czasu równych czasom obsługi, będących niezależnymi zmiennymi losowymi o rozkładzie $B(x)$, którego średnią i wariancję oznaczmy jako $1/\mu$ i σ_B^2. Zmiany liczby klientów w systemie w przedziale czasu o długości t: $N(t)-N(0)$ mają w przybliżeniu rozkład normalny o wartości średniej $(\lambda-\mu)t$ i wariancji $(\sigma_A^2\lambda^3+\sigma_B^2\mu^3)t$.

Proces dyfuzji $X(t)$, którego funkcja gęstości prawdopodobieństwa $f(x,t;x_0)$

$$f(x,t;x_0)dx = P\left[x \leqslant X(t) < x+dx \mid X(0)=x_0\right]$$

jest zdefiniowana równaniem dyfuzji

$$\frac{\partial f(x,t;x_0)}{\partial t} = \frac{\alpha}{2}\frac{\partial^2 f(x,t;x_0)}{\partial x^2} - \beta\frac{\partial f(x,t;x_0)}{\partial x}, \tag{1}$$

ma tę własność, że jego infinitezymalne zmiany $dX(t) = X(t+dt) - X(t)$ mają rozkład normalny o średniej βdt i wariancji αdt. Oznaczmy współczynniki zmienności rozkładów $A(x)$, $B(x)$ jako $C_A^2 = \sigma_A^2\lambda^2$, $C_B^2 = \sigma_B^2\mu^2$. Dobierając współczynniki równania dyfuzji (1)

$$\beta = \lambda - \mu, \qquad \alpha = \sigma_A^2\lambda^3 + \sigma_B^2\mu^3 = C_A^2\lambda + C_B^2\mu, \tag{2}$$

otrzymamy proces $X(t)$, którego zmiany w czasie mają rozkład normalny o średniej i wariancji w ten sam sposób zależnych od czasu obserwacji jak w procesie $N(t)$. Procesy $N(t)$ i $X(t)$ nie są oczywiście identyczne: $N(t)$ jest procesem dyskretnym, $X(t)$ jest procesem ciągłym; okres czasu, w którym obserwowane zmiany mają rozkład normalny, jest dla $N(t)$ długi, a dla $X(t)$ nieskończenie mały. Niemniej, jak się okazuje, proces $X(t)$

dobrze przybliża proces $N(t)$ i funkcja gęstości procesu dyfuzji $f(x,t;x_0)$ może służyć do określenia rozkładu długości kolejki: $f(n,t;n_0) \approx p(n,t;n_0)$.

System z ograniczoną do N miejsc kolejką i dowolnymi rozkładami $A(x)$ i $B(x)$ jest oznaczany zgodnie z notacją Kendalla, por. np. [17], jako $G/G/1/N$. W dyfuzyjnym modelu tego systemu proces dyfuzji jest ograniczony dwiema barierami: pierwszą umieszczoną w $x = 0$, drugą w $x = N$. Gdy proces dochodzi do jednej z nich, pozostaje w niej przez czas określony rozkładem wykładniczym o parametrze λ dla lewej bariery (μ dla prawej), po czym rozpoczyna się w punkcie $x = 1$ ($x = N - 1$). Czas pobytu w lewej barierze odpowiada czasowi, przez który kolejka jest pusta; czas pobytu w prawej barierze odpowiada czasowi, przez który kolejka jest pełna i nadchodzący klienci są gubieni. Równanie dyfuzji przy tak sformułowanych warunkach brzegowych ma postać

$$\begin{aligned}
\frac{\partial f(x,t;x_0)}{\partial t} &= \frac{\alpha}{2}\frac{\partial^2 f(x,t;x_0)}{\partial x^2} - \beta\frac{\partial f(x,t;x_0)}{\partial x} + \\
&\quad +\lambda p_0(t)\delta(x-1) + \mu p_N(t)\delta(x-N+1)\,, \\
\frac{dp_0(t)}{dt} &= \lim_{x\to 0}\left[\frac{\alpha}{2}\frac{\partial f(x,t;x_0)}{\partial x} - \beta f(x,t;x_0)\right] - \lambda p_0(t)\,, \\
\frac{dp_N(t)}{dt} &= -\lim_{x\to N}\left[\frac{\alpha}{2}\frac{\partial f(x,t;x_0)}{\partial x} - \beta f(x,t;x_0)\right] - \mu p_N(t)\,,
\end{aligned} \tag{3}$$

gdzie $p_0(t) = P[X(t) = 0]$, $p_N(t) = P[X(t) = N]$.

Zaproponowana przez nas analityczno-numeryczna technika rozwiązywania tego układu równań została opisana np. w [4], [10] i była m.in. wykorzystana do opisu mechanizmów sterowania ruchem i badania ich wpływu na jakość usług sieciowych:

— mechanizmu *cieknącego wiadra* (ang. *leaky bucket*) z jednym [7] i z dwoma rodzajami żetonów [8], umownie przyznawanych pakietom przy wejściu do sieci (pakiety nadmiarowe otrzymują żeton obniżający priorytet pakietu),

— mechanizmów *skaczącego okna* (ang. *jumping window*) [1] oraz *przesuwnego okna* (ang. *sliding window*), [13],

— regulaminów kolejki pakietów w przełączniku sieciowym: kolejka z regulaminem progowym (ang. *threshold*), [7] i kolejka z regulaminem wypychającym (ang. *push-out priority*), [3], umożliwiającymi usuwanie pakietów nadmiarowych w momencie zatłoczenia,

— dynamiki przepływów pakietów wzdłuż ścieżki wirtualnej (logicznego połączenia dwu węzłów sieci) przy zmiennym strumieniu wejściowym pakietów [5],

— badania rozrzutu czasu przesyłu pakietów przez sieć (ang. *jitter*) i możliwości jego kompensacji [6],

— analizy skuteczności sterowania natężeniem ruchu pakietów w pętli sprzężenia zwrotnego, korygującego aktywność źródła [1, 2],

— efektywności podziału pakietów o zmiennym rozmiarze na małe pakiety o stałym rozmiarze (komórki) przy zmianie typu sieci (protokołu), [14],

— opisu korelacji w obserwowanym strumieniu pakietów i jej wpływu na wypełnienie buforów w przełącznikach sieciowych [8].

Powyższe modele dotyczyły z reguły analizy jednego stanowiska obsługi lub kilku stanowisk połączonych w szereg. Ich charakterystyczne cechy były kształtowane przez dobór parametrów dyfuzji $\alpha(x,t)$ i $\beta(x,t)$. Pakiet programowy [9] zakłada, że wszystkie zadania w sieci należą do tej samej klasy i prawdopodobieństwa przejść między stanowiskami są dla wszystkich zadań takie same.

Pozytywna ocena jakości wymienionych wyżej modeli skłania nas do dalszej pracy nad rozwojem aproksymacji dyfuzyjnej, którą w niniejszym artykule staramy się dostosować do modeli stanu nieustalonego obejmujących wiele stanowisk, przez które przechodzi wiele klas klientów, reprezentujących komórki należące do różnych ścieżek wirtualnych. Ponieważ modele odnoszą się do sieci ATM, klienci odpowiadają komórkom o stałej długości, czas wysłania komórki jest stały, więc i czas obsługi jest stały, jednakowy dla klientów wszystkich klas. Modelem kolejki komórek w przełączniku sieciowym jest stanowisko $G/D/1/N$.

Jednocześnie chcemy zbadać przydatność innej, prostszej (wymagającej mniejszego nakładu obliczeniowego) metody zwanej *aproksymacją ciągłą*, która pomija informację o wariancjach rozkładów $A(x)$, $B(x)$, posługując się jedynie wartościami średnimi.

3. Aproksymacja ciągła

Aproksymacja ciągła (ang. *fluid approximation*) jest, ze względu na swą prostotę, najczęściej chyba używaną metodą modelowania stanów przybliżonych [17].

Niech $\bar{N}(t)$ oznacza średnią liczbę klientów w kolejce w chwili t, a $f_{we}(t)$, $f_{wy}(t)$ są natężeniami strumienia wejściowego i wyjściowego (liczbą komórek nadchodzących bądź wychodzących w jednostce czasu). Zmiany $\bar{N}(t)$ są określone równaniem

$$\frac{d\bar{N}(t)}{dt} = f_{we}(t) - f_{wy}(t) = \lambda(t) - \varrho(t)\mu \tag{4}$$

gdzie $\varrho(t) = 1 - p_0(t)$ jest prawdopodobieństwem, że system pracuje w chwili t. Dla oceny wartości $\varrho(t)$ używamy zależności łączących $\bar{N}$ i ϱ w stanie ustalonym, np. dla systemu

$M/D/1$ wzór Pollaczka-Chinczyna, por. np. [17] daje

$$\bar{N} = \varrho + \frac{\varrho^2}{2(1-\varrho)} \tag{5}$$

czyli $\varrho = \bar{N} + 1 - \sqrt{\bar{N}^2 + 1}$. Nie dysponujemy podobną analityczną zależnością dla systemu z ograniczoną kolejką, $M/D/1/N$.

Równanie aproksymacji ciągłej ma więc dla systemu $M/D/1$ postać:

$$\frac{d\bar{N}(t)}{dt} = \lambda(t) - \mu\left(\bar{N}(t) + 1 - \sqrt{\bar{N}(t)^2 + 1}\right) \tag{6}$$

Dla klasy k klientów w stanowisku $M/D/1$ powyższe równanie ma postać [18]

$$\frac{d\bar{N}^{(k)}(t)}{dt} = \lambda^{(k)}(t) - \mu\frac{2\bar{N}^{(k)}(t)\left[\sqrt{\bar{N}(t)^2+1} - \bar{N}(t)\right]}{\sqrt{\bar{N}(t)^2+1} - \left[\bar{N}(t) - 1)\right]} \tag{7}$$

W poniższych przykładach obliczeniowych równanie to było rozwiązywane numerycznie metodą Rungego-Kutty.

4. Wyznaczanie strumieni wyjściowych

Natężenie strumienia klientów klasy k w strumieniu wyjściowym stanowiska i obliczamy biorąc pod uwagę strumienie wejściowe w chwilach poprzednich oraz opóźnienie wprowadzone przez obsługę zadań obecnych wówczas w kolejce. Zakładamy, że czas obsługi T odpowiada czasowi wysłania komórki ATM, a więc jest stały. Jeżeli rozkład długości kolejki w chwili t jest $p_i(n,t)$, to strumień należący do połączenia k o natężeniu $\lambda_i^{(k)}(t)$ pojawi się na wyjściu po okresie lT, $l = 1, 2, \ldots, N$, z prawdopodobieństwem $p_i(l-1,t)$:

$$\lambda_{i,wy}^{(k)}(t) = \sum_{l=1}^{N} \lambda_{i,we}^{(k)}(t - lT)p_i(l-1, t - lT) \tag{8}$$

W przypadku stosowania aproksymacji ciągłej nie ma możliwości wykorzystania rozkładu długości kolejki, trzeba posługiwać się wartością średnią:

$$\lambda_{i,wy}^{(k)}\left(t + (\bar{N}_i(t) + 1)T\right) = \lambda_{i,we}^{(k)}(t) \tag{9}$$

Rozważmy system $M/D/1/100$ o jednostkowym stałym czasie obsługi, $\mu = 1$. W przykładach założono następujące dane dotyczące natężenia strumienia wejściowego:

Przykład 1:

czas	0 – 10	10 – 30	30 – 80	> 80
$\lambda^{(1)}$	0	1.25	0	0
$\lambda^{(2)}$	0.2	0.2	0.2	0

Przykład 2:

czas	0 – 10	10 – 30	30 – 80	> 80
$\lambda^{(1)}$	0	0.8	0	0
$\lambda^{(2)}$	0.8	0.8	0.8	0

Przykład 3:

czas	0 – 10	10 – 20	20 – 30	30 – 40	40 – 80	> 80
$\lambda^{(1)}$	0.1	0.8	0.8	0.1	0.1	0
$\lambda^{(2)}$	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0
$\lambda^{(3)}$	0	0	0.5	0.5	0	0

Kolejne rysunki przedstawiają średnie długości kolejek (we wszystkich przypadkach zakładano, że początkowo kolejka jest pusta) oraz natężenie strumienia wyjściowego. Rezultaty obu aproksymacji są porównane z wynikami symulacji, które przedstawiają uśrednione wartości 400 tys. przebiegów symulacyjnych i które można uważać za dokładne.

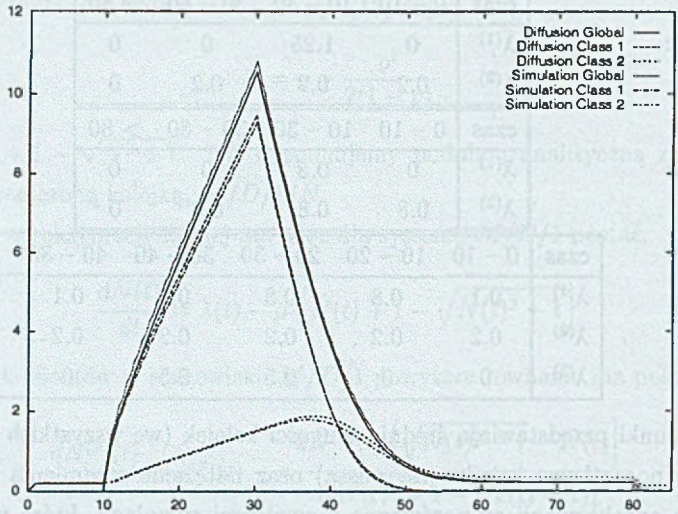
5. Aproksymacja otwartej sieci stanowisk

Przedstawione zależności pomiędzy strumieniami wejściowymi i wyjściowymi stanowisk w sieci wykorzystują model przedstawiony w [16], por. też [11], zmodyfikowany tak, by uwzględnić zależność strumieni od czasu. Niech sieć zawiera M stanowisk. W przypadku K klas klientów układ równań ruchu przybiera postać

$$\lambda_{i,we}^{(k)}(t) = \lambda_{0i}^{(k)}(t) + \sum_{j=1}^{M} \lambda_{j,wy}^{(k)}(t)\, r_{ji}^{(k)}, \qquad i = 1,\ldots,M;\ \ k = 1,\ldots,K, \tag{10}$$

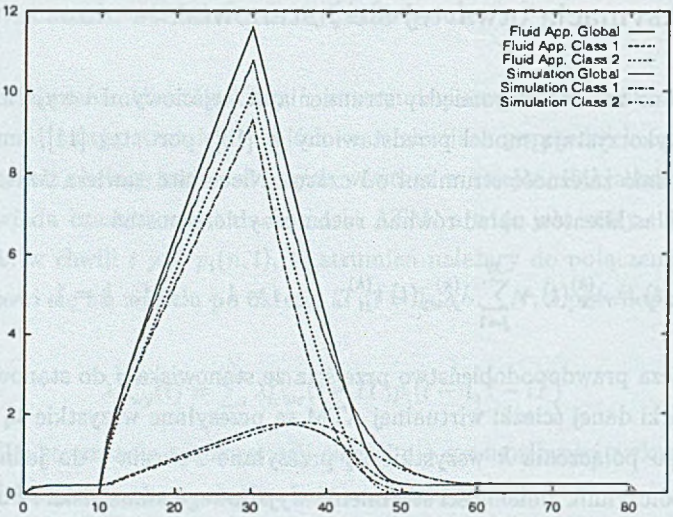
gdzie $r_{ji}^{(k)}$ oznacza prawdopodobieństwo przejścia ze stanowiska j do stanowiska i zadań klasy k. Komórki danej ścieżki wirtualnej ATM są przesyłane wszystkie tą samą drogą, więc dla danego połączenia k wszystkie są przesyłane z węzła i do jednego węzła l: $r_{ij}^{(k)} = \delta_{il}$. Współczynnik zmienności strumienia wyjściowego stanowiska i obliczamy jako

$$\begin{aligned} C_{Di}^2(t) \;=\; & \lambda_{i,wy}(t) \sum_{k=1}^{K} \frac{\lambda_{i,wy}^{(k)}(t)}{\mu_i^{(k)^2}} \left[C_{Bi}^{(k)^2} + 1 \right] + \\ & + 2\varrho_i(t)\,(1-\varrho_i(t)) + \left(C_{Ai}^2(t) + 1 \right)(1-\varrho_i(t)) - 1, \qquad k = 1,\ldots,K. \end{aligned} \tag{11}$$



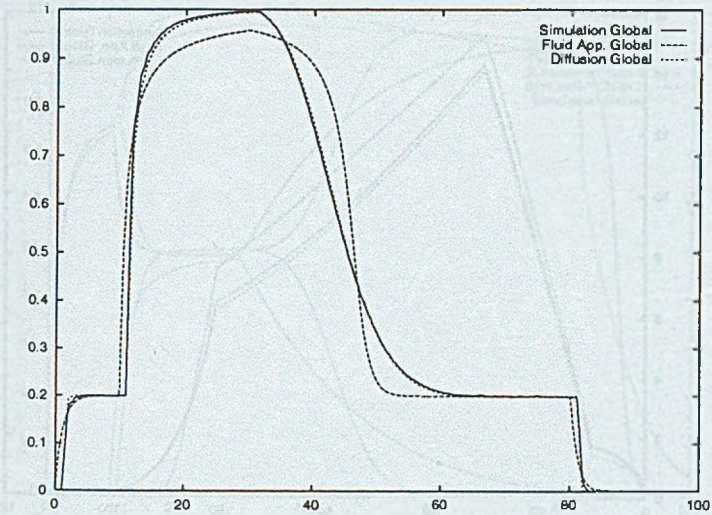
Rys. 1. Przykład 1: Średnia długość kolejki w całości i w rozbiciu na klasy – wyniki aproksymacji dyfuzyjnej i symulacji

Fig. 1. Example 1: Mean queue length for both classes mixed and separetely – diffusion approximation and simulation results



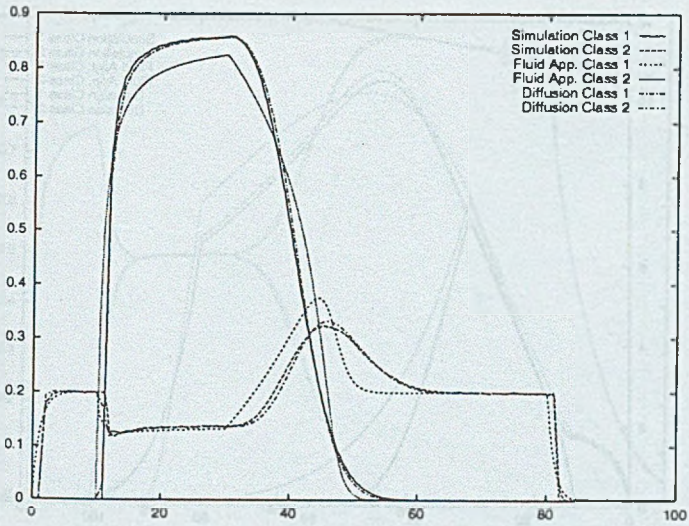
Rys. 2. Przykład 1: Średnia długość kolejki w całości i w rozbiciu na klasy – wyniki aproksymacji ciągłej i symulacji

Fig. 2. Example 1: Mean queue length for both classes mixed and separetely – fluid approximation and simulation results



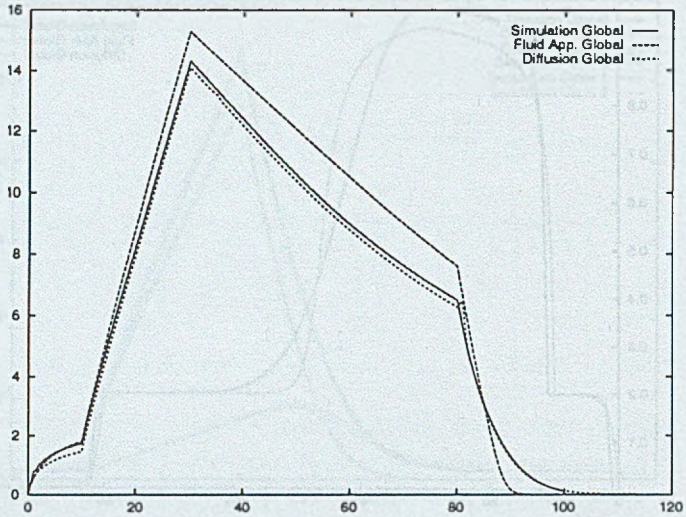
Rys. 3. Przykład 1: Natężenie całkowitego strumienia wyjściowego w funkcji czasu – porównanie rezultatów symulacji, aproksymacji ciągłej i dyfuzyjnej

Fig. 3. Example 1: The density of output flow as a function of time – simulation, fluid and diffusion approximations results



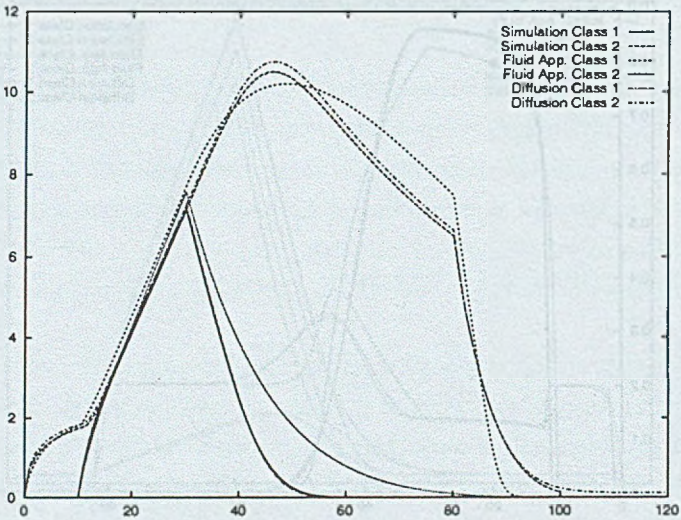
Rys. 4. Przykład 1: Natężenie strumieni wyjściowych klasy pierwszej i drugiej w funkcji czasu – porównanie rezultatów symulacji, aproksymacji ciągłej i dyfuzyjnej

Fig. 4. Example 1: The density of first and second class output flows as a function of time – simulation, fluid and diffusion approximations results



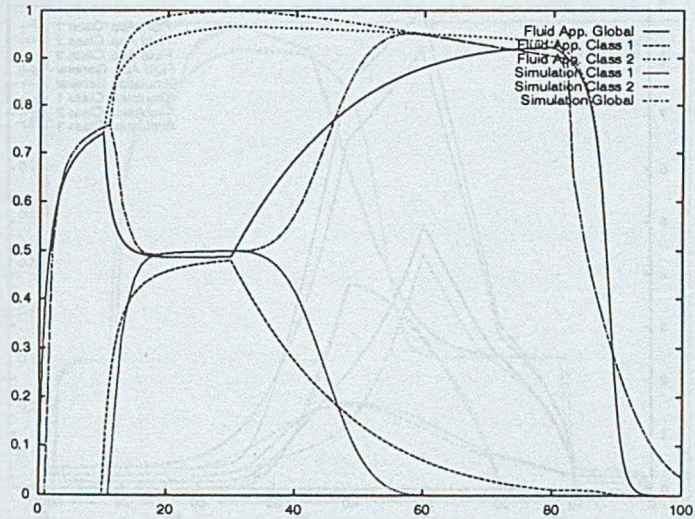
Rys. 5. Przykład 2: Średnia długość łącznej kolejki, porównanie rezultatów symulacji, aproksymacji ciągłej i dyfuzyjnej

Fig. 5. Example 2: The mean joint queue as a function of time – simulation, fluid and diffusion approximations results



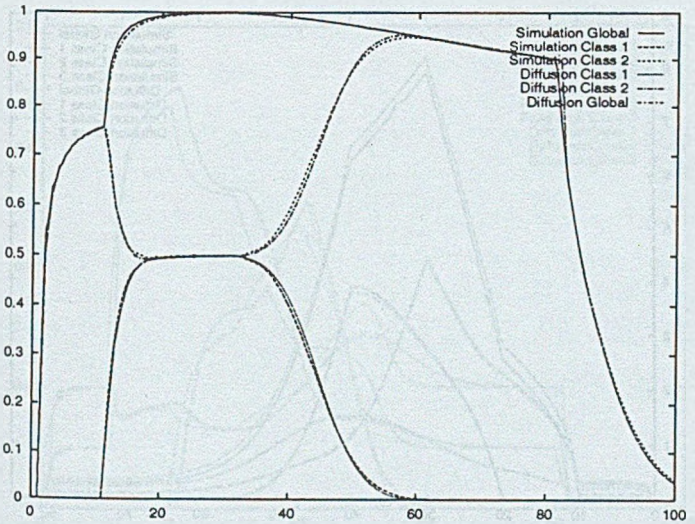
Rys. 6. Przykład 2: Średnia długość kolejki zadań pierwszej i drugiej klasy, porównanie rezultatów symulacji, aproksymacji ciągłej i dyfuzyjnej

Fig. 6. Example 2: The mean queue of first and second class of cells as a function of time; simulation, fluid and diffusion approximations results



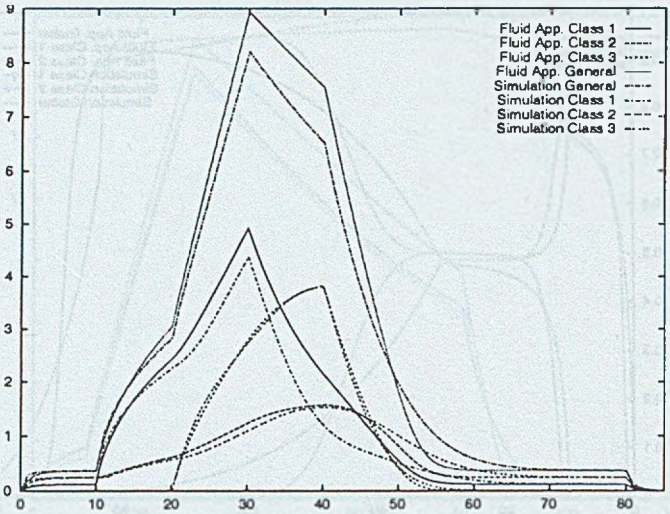
Rys. 7. Przykład 2: Natężenie całkowitego strumienia wyjściowego i strumieni obu klas w funkcji czasu – porównanie rezultatów symulacji i aproksymacji ciągłej

Fig. 7. Example 2: The density of output flows (global and for both classes) as a function of time – simulation and fluid approximation results



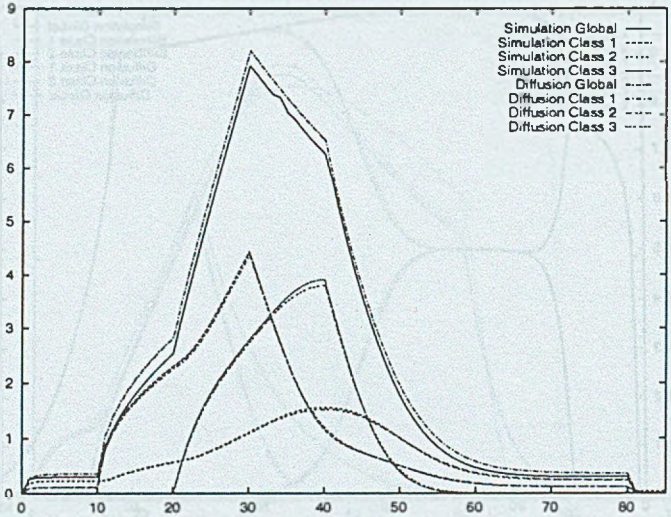
Rys. 8. Przykład 2: Natężenie całkowitego strumienia wyjściowego i strumieni obu klas w funkcji czasu – porównanie rezultatów symulacji i aproksymacji dyfuzyjnej

Fig. 8. Example 2: The density of output flows (global and for both classes) as a function of time – simulation and fluid approximation results



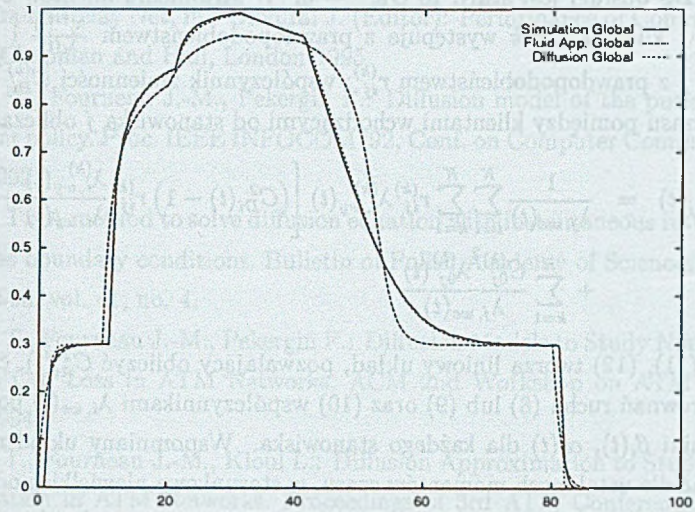
Rys. 9. Przykład 3: Średnia długość kolejki łącznej oraz poszczególnych klas, porównanie wyników aproksymacji ciągłej i symulacji

Fig. 9. Example 3: The mean queue length: global and per classes as a function of time – simulation and fluid approximation results



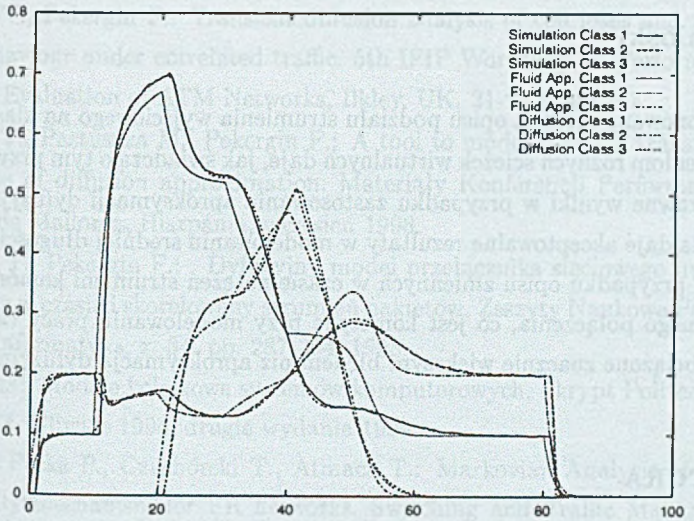
Rys. 10. Przykład 3: Średnia długość kolejki łącznej oraz poszczególnych klas, porównanie wyników aproksymacji dyfuzyjnej i symulacji

Fig. 10. Example 3: The mean queue length: global and per classes as a function of time – simulation and diffusion approximation results



Rys. 11. Przykład 3: Natężenie całkowitego strumienia wyjściowego w funkcji czasu – porównanie rezultatów symulacji, aproksymacji ciągłej i dyfuzyjnej

Fig. 11. Example 3: The density of output flow as a function of time – simulation, fluid and diffusion approximations results



Rys. 12. Przykład 3: Natężenie strumieni wyjściowych poszczególnych klas w funkcji czasu – porównanie rezultatów symulacji, aproksymacji ciągłej i dyfuzyjnej

Fig. 12. Example 1: The density of first and second class output flows as a function of time – simulation, fluid and diffusion approximations results

Ponieważ czas obsługi jest stały, to $C_{Bi}^{(k)^2} = 0$. W strumieniu klientów opuszczających stanowisko i klient klasy k występuje z prawdopodobieństwem $\frac{\lambda_i^{(k)}(t)}{\lambda_i(t)}$ i przechodzi do stanowiska j z prawdopodobieństwem $r_{ij}^{(k)}$; współczynnik zmienności $C_{Dij}^{(k)^2}$ dla rozkładu odstępów czasu pomiędzy klientami wchodzącymi od stanowiska j obliczamy jako

$$C_{Aj}^2(t) = \frac{1}{\lambda_{j,we}(t)} \sum_{l=1}^{K} \sum_{k=1}^{K} r_{ij}^{(k)} \lambda_{i,wy}^{(k)}(t) \left[\left(C_{Di}^2(t) - 1 \right) r_{ij}^{(k)} \frac{\lambda_{i,wy}^{(k)}(t)}{\lambda_{i,wy}(t)} + 1 \right] + \\ + \sum_{k=1}^{K} \frac{C_{0j}^{(k)^2} \lambda_{0j}^{(k)}(t)}{\lambda_{j,we}(t)} . \tag{12}$$

Równania (11), (12) tworzą liniowy układ, pozwalający obliczyć $C_{Ai}^2(t)$, co wraz z obliczonymi z równań ruchu (8) lub (9) oraz (10) współczynnikami $\lambda_{i,we}(t)$ pozwala określić współczynniki $\beta_i(t)$, $\alpha_i(t)$ dla każdego stanowiska. Wspomniany układ równań trzeba rozwiązywać dla ustalonych momentów czasu, w stosunkowo niewielkich odstępach (równych np. średniemu czasowi obsługi), zakładając następnie w każdym z powstałych przedziałów czasowych stałe, obliczone na początku tego przedziału, parametry równań (1) lub (7) stosowanych kolejno do wszystkich stanowisk w sieci.

6. Wnioski

Zaproponowana metoda opisu podziału strumienia wyjściowego na klasy odpowiadające strumieniom różnych ścieżek wirtualnych daje, jak świadczą o tym przykłady obliczeniowe, poprawne wyniki w przypadku zastosowania aproksymacji dyfuzyjnej. Aproksymacja ciągła daje akceptowalne rezultaty w modelowaniu średniej długości kolejki pakietów, lecz w przypadku opisu zmiennych w czasie natężeń strumieni komórek należących do tego samego połączenia, co jest konieczne przy modelowaniu pracy całej sieci, daje rezultaty obciążone znacznie większym błędem niż aproksymacja dyfuzyjna.

LITERATURA

1. Atmaca T., Czachórski T., Pekergin F.: A Diffusion Model of the Dynamic Effects of Closed-Loop Feedback Control Mechanisms in ATM Networks. 3rd IFIP Workshop on Performance Modelling and Evaluation of ATM Networks, Ilkley, UK, July 1995.

2. Atmaca T., Czachórski T.: The Impact of reactive functions on the LAN Interconnection by a Frame-Relay Net, in : Onvural J. (Editor): Performance of Communications Networks. Chapman and Hall, London 1995.
3. Czachórski T., Fourneau J.-M., Pekergin F.: Diffusion model of the push-out buffer management policy. Proc. IEEE INFOCOM '92, Conf. on Computer Communications, Florence 1992.
4. Czachórski T.: A method to solve diffusion equation with instantaneous return processes acting as boundary conditions. Bulletin of Polish Academy of Sciences, Technical Sciences, 1993, vol. 41, no. 4.
5. Czachórski T., Fourneau J.-M., Pekergin F.: Diffusion Models to Study Nonstationary Traffic and Cell Loss in ATM Networks. ACM 2nd Workshop on ATM Networks, Bradford 1994.
6. Czachórski T., Fourneau J.-M., Kloul L.: Diffusion Approximation to Study the Flow Synchronization in ATM Networks. Proceedings of 3rd ATM Conference, Bradford 1995.
7. Czachórski T., Pekergin F.: Diffusion models of leaky bucket and partial buffer sharing policy: a transient analysis, in: D. Kouvatsos (Editor), ATM Networks, Performance Modelling and Analysis. Chapman and Hall, London 1997.
8. Czachórski T., Pekergin F.: Transient diffusion analysis of cell loses and ATM multiplexer behaviour under correlated traffic. 5th IFIP Workshop on Performance Modelling and Evaluation of ATM Networks, Ilkley, UK, 21-23 july 1997.
9. Czachórski T., Pastuszka M., Pekergin F.: A tool to model network transient states with the use of diffusion approximation. Materiały Konferencji Performance Tools '98, Palma de Mallorca, Hiszpania, wrzesień 1998.
10. Czachórski T., Pekergin F.: Dyfuzyjny model przełącznika sieciowego uwzględniający zmienny w czasie i skorelowany strumień pakietów. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, s. Informatyka, z. 34. pp. 287-304, 1998.
11. T. Czachórski, Modele kolejkowe systemów komputerowych, Skrypt Politechniki Śląskiej, nr 1844, Gliwice 1994, drugie wydanie 1999.
12. Hamma S., Pecka P., Czachórski T., Atmaca T.: Markovian Analysis of threshold based priority mechanism for FR networks. Switching and Traffic Management in High Speed Networks, Dallas, USA, 1997.
13. Jouaber B., Atmaca T., Pastuszka M., Czachórski T.: Modelling the Sliding window Mechanism. ICC'98, Atlanta, Georgia, USA, June 1998.

14. Jouaber B., Atmaca T., Pastuszka M., Czachórski T.: A multi-barrier diffusion model to study performances of a packet-to-cell interface. ICT'98, Chalkidiki, Greece, June 1998.
15. Gelenbe E.: On Approximate Computer Systems Models. Journal of ACM, 1975, vol. 22 1975, no. 2.
16. Gelenbe E., Pujolle G.: The Behaviour of a Single Queue in a General Queueing Network. Acta Informatica, 1976, Fasc. 7.
17. Kleinrock L.: Queueing Systems, vol. I: Theory, Wiley, New York 1976.
18. Sharma S., Tipper D.: Approximate models for the Study of Nonstationary Queues and Their Applications to Communication Networks. Proc. of IEEE ICC '93, pp. 352-358, May 23-26, 1993, Geneva, Switzerland.
19. Stehfest H.: Algorithm 368: Numeric Inversion of Laplace Transform. Communicarions of ACM, 1970, vol. 13, no. 1, s. 47-49.

Recenzent: Dr inż. Ewa Starzewska-Karwan

Wpłynęło do Redakcji 9 kwietnia 1999 r.

Abstract

The article discusses the use of diffusion approximation and fluid approximation in modelling the time varying flows of cells which belong to different connections but are waiting in the same queue of a network switch. When they are leaving the switch, their indentity should be known to model properly the further routing; this is necessary to model the performance of the whole network, not only of a single switch. Some numerical examples, validated by simulation, testify that diffusion approximation approach gives satisfactory results in the solution of this problem. The fluid approximation is much simpler to implement and needs relatively smaller computation effort but gives worse results; the reason of it is that in the modelling the delay introduced by a switch queue, the distribution of the cell queue is important and the reasoning based only on its mean value is oversimplfied.