

Tadeusz CZACHÓRSKI, Michał PASTUSZKA
Instytut Informatyki Teoretycznej i Stosowanej, PAN
Tülin ATMACA, Badii JOUABER
Institut National des Télécommunications, Département d'Informatique

MODELE INTERFEJSU SIECIOWEGO ORAZ MECHANIZM PRZESUWNEGO OKNA – WYKORZYSTANIE APROKSYMACJI DYFUZYJNEJ

Streszczenie. W artykule zaprezentowany jest model mechanizmu *Przesuw-
nego Okna* oraz model *interfejsu sieciowego*. Mechanizm *Przesuw-
nego Okna* jest metodą sterowania i kontroli intensywności ruchu dochodzącego do sieci typu
Frame Relay. Zaprezentowany model interfejsu łączy sieci typu Frame Relay
(o zmiennej długości pakietu) i ATM (o stałej długości pakietu).
Do opisu stanów ustalonych obu modeli użyto metody aproksymacji dyfuzyjnej.

THE MODELS OF THE NETWORK INTERFACE AND THE SLIDING WINDOW MECHANISM – BASED ON DIFFUSION APPROXIMATION

Summary. In the paper, we propose the diffusion models for a packet-to-cell
interface and a model for the sliding Window mechanism. The Sliding Window
is the policing mechanism adopted for Frame Relay network. A packet-to-cell
interface connects ATM network (a fix length of the packets) and Frame Relay
networks (a variable length of the packets).

1. Wstęp

Zadaniem mechanizmu *Przesuw-
nego Okna* (*Sliding Window*) jest kontrola ilościowa
ruchu pakietów dochodzących do sieci. Taka prewencyjna kontrola zapewnia oczekiwania
dotyczące jakości usług łącza sieci komputerowej przyjmującego zewnętrzne zgłoszenia.
Przesuwne Okno (PO) jest wariantem mechanizmu Ciekącego Wiadra (the Leaky

Bucket), opisanego w kilku publikacjach [1], [2], [4], [3], [5]. PO jest mechanizmem zaproponowanym przez International Union for Télécommunication. Jego opis działania został przedstawiony w postaci algorytmu [12]. Zaproponowany przez nas model kolejkowy tego mechanizmu kontroli ruchu może być również użyty jako część bardziej złożonego modelu sieci komputerowej.

We współczesnym świecie usług telekomunikacyjnych istnieje wiele standardów przesyłania informacji. Taka różnorodność wymusza używanie urządzeń łączących odmienne systemy. Jedną z istniejących różnic jest używanie zmiennej lub stałej długości przesyłanych pakietów. Przykładem sieci, która obsługuje pakiety o stałej długości, jest ATM (*Asynchronous Transfer Mode*). Sieci obsługujące pakiety o zmiennej długości to X25, Ethernet, SNA czy Frame Relay.

Artykuł składa się z trzech części. W pierwszej z nich przedstawiamy metodę aproksymacji dyfuzyjnej, którą posłużyliśmy się przy tworzeniu modeli. Następnie zaprezentujemy model kolejkowy dla mechanizmu *Przesuwnego Okna* oraz jego implementację wykorzystującą metodę aproksymacji dyfuzyjnej. Jako ostatni zostanie zaproponowany model dyfuzyjny interfejsu sieciowego. Interfejs ten akceptuje pakiety o różnej długości, dzieli je na komórki i następnie zapewnia im obsługę. Otrzymane wyniki działania obu modeli zostaną następnie porównane z przeprowadzoną symulacją za pomocą pakietu QNAP2.

2. Aproksymacja dyfuzyjna

Zasadą aproksymacji dyfuzyjnej jest założenie, że proces losowy $N(t)$, którego wartość odpowiada liczbie zadań w systemie obsługi (w naszym przypadku liczbie komórek w buforze), można opisać procesem dyfuzji $X(t)$. Funkcja gęstości prawdopodobieństwa $f(x, t; x_0)$ tego procesu, $f(x, t; x_0)dx = P[x \leq X(t) < x+dx | X(0) = x_0]$ jest zdefiniowana równaniem dyfuzji

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

a proces ma tę własność, że jego infinitesimalne zmiany $dX(t)$

$$dX(t) = X(t + dt) - X(t)$$

mają rozkład normalny o średniej βdt i wariancji αdt . Dobierając współczynniki równania dyfuzji (1) jako

$$\begin{aligned} \beta &= \lambda - \mu, \\ \alpha &= \sigma_A^2 \lambda^3 + \sigma_B^2 \mu^3 = C_A^2 \lambda + C_B^2 \mu, \end{aligned} \quad (2)$$

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 podobieństwo obu procesów istnieje i zastąpienie $N(t)$ procesem $X(t)$, jak zaproponował to Newell [21] i jak to potwierdzają liczne późniejsze zastosowania, por. [18], jest rozsądną aproksymacją systemu obsługi. Funkcja gęstości $f(n, t, n_0)$ przybliży rozkład długości kolejki $p(n, t, n_0) = Pr[N(t) = n | N(0) = n_0]$. W interesującym nas modelu dopuszczalna liczba komórek może się zmieniać pomiędzy minimalną wartością 0 i maksymalną N . Trzeba więc ograniczyć proces dyfuzji do przedziału $x \in [0, N]$, dobierając dlań odpowiednie warunki brzegowe [20]. Równania dyfuzji przy opisanych warunkach brzegowych mają postać

$$\begin{aligned} \frac{\partial f(x, t; x_0)}{\partial t} &= \frac{\alpha}{2} \frac{\partial^2 f(x, t; x_0)}{\partial x^2} - \beta \frac{\partial f(x, t; x_0)}{\partial x} + \\ &\quad + \lambda_0 p_0(t) \delta(x - 1) + \lambda_N p_N(t) \delta(x - N + 1), \\ \frac{dp_0(t)}{dt} &= \lim_{x \rightarrow 0} \left[\frac{\alpha}{2} \frac{\partial f(x, t; x_0)}{\partial x} - \beta f(x, t; x_0) \right] - \lambda_0 p_0(t), \\ \frac{dp_N(t)}{dt} &= - \lim_{x \rightarrow N} \left[\frac{\alpha}{2} \frac{\partial f(x, t; x_0)}{\partial x} - \beta f(x, t; x_0) \right] - \lambda_N p_N(t), \end{aligned} \quad (3)$$

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

W stanie ustalonym równania (3) stają się zwykłymi równaniami różniczkowymi, a ich rozwiązanie dla $\rho = \lambda/\mu \neq 1$ to [6]:

$$f(x) = \begin{cases} \frac{\lambda p_0}{-\beta} (1 - e^{zx}) & \text{dla } 0 < x \leq 1, \\ \frac{\lambda p_0}{-\beta} (e^{-z} - 1) e^{zx} & \text{dla } 1 \leq x \leq N - 1, \\ \frac{\mu p_N}{-\beta} (e^{z(x-N)} - 1) & \text{dla } N - 1 \leq x < N, \end{cases} \quad (4)$$

gdzie $z = \frac{2\beta}{\alpha}$, a p_0, p_N są określone przez warunek normalizacyjny.

3. Model mechanizmu Przesuwnego Okna

3.1. Model kolejkowy

Mechanizm *Przesuwnego Okna* (PO) posiada dwa główne parametry: współczynnik ruchu uzgodnionego (*Conforming Traffic*) oraz współczynnik ruchu nadmiarowego (*Excessive Traffic*). Kontrola napływających pakietów odbywa się podczas odcinków czasu o długości T_c . W każdym przedziale $[t - T_c, t]$ mechanizm PO pozwala wejść do sieci maksymalnie nie więcej niż B_c pakietom, jako ruchowi uzgodnionemu, oraz maksymalnie B_e pakietom odpowiadającym ruchowi nadmiarowemu.

Przedziały pomiarów mają postać $[t - T_c, t] \forall t$. Oznacza to, że w każdym momencie czasu t mechanizm PO zapewnia, że ruch dopuszczony do sieci w ciągu ostatniego przedziału czasu T_c nie przekroczył wartości $B_c + B_e$.

Niektórzy autorzy proponują prostsze mechanizmy: *Jumping Window* i *Triggered Jumping Window*. Oba algorytmy zostały omówione w pracach [9] i [10]. Implementacja ich jest prostsza, lecz są one mało wydajne w praktyce.

Zaproponowany model kolejkowy mechanizmu PO składa się z dwu oddzielnych stanowisk. Pierwsza część modelu zapewnia kontrolę ruchu uzgodnionego pakietów. Działanie mechanizmu *Przesuwnego Okna*, tj. wymóg, by w dowolnie usytuowanym na osi czasu odcinku o długości T_c mogło być wpuszczone do sieci nie więcej niż B_C pakietów, można opisać za pomocą modelu w postaci stanowiska obsługi, które posiada B_C równoległych kanałów obsługi, a w każdym czasie obsługi jest stały, wynosi T_C i nie posiada kolejki. W notacji kolejkowej Kendalla jest to stanowisko $G/D/B_C/B_C$. Gdy wszystkie kanały obsługi są zajęte, przychodzące zgłoszenia są odrzucane i kierowane do drugiej części modelu odpowiedzialnej za kontrolę ruchu nadmiarowego. Ta część działa analogicznie do pierwszej, jest reprezentowana przez stanowisko $G/D/B_e/B_e$, również ze stałym czasem obsługi T_C . Zgłoszenia odrzucone przez to stanowisko są definitywnie gubione.

3.2. Model dyfuzyjny

W tym rozdziale przedstawimy model mechanizmu *Przesuwnego Okna*, który wykorzystuje metodę aproksymacji dyfuzyjnej.

Dla pierwszego stanowiska modelu proces dyfuzyjny jest opisany w B_c przedziałach oznaczonych $[i - 1, i]$ ($i = 1..B_c$) za pomocą funkcji $f_i(x)$. W przedziale $[i - 1, i]$ znajduje się i klientów (pakietów), co oznacza, że i stanowisk obsługi jest zajętych. Średnia liczba pakietów w strumieniu opuszczającym stanowisko w jednostce czasu wynosi $i \times \mu$,

a średni strumień wejściowy wynosi λ . Równania dyfuzyjne dla procesu w tak zdefiniowanych przedziałach to

$$\begin{aligned}
 \frac{\alpha_1}{2} \frac{\partial f_1(x)}{\partial x} - \beta_1 f_1(x) &= \lambda p_0, & x \in [0, 1], \\
 f_1(0) &= 0, \\
 \frac{\alpha_2}{2} \frac{\partial f_2(x)}{\partial x} - \beta_2 f_2(x) &= 0, & x \in [1, 2], \\
 f_1(1) &= f_2(1), \\
 \frac{\alpha_3}{2} \frac{\partial f_3(x)}{\partial x} - \beta_3 f_3(x) &= 0, & x \in [2, 3], \\
 f_2(2) &= f_3(2), \\
 : &: \\
 : &: \\
 \frac{\alpha_{B_c-2}}{2} \frac{\partial f_{B_c-2}(x)}{\partial x} - \beta_{B_c-2} f_{B_c-2}(x) &= 0, & x \in [B_c - 3, B_c - 2], \\
 f_{B_c-3}(B_c - 3) &= f_{B_c-2}(B_c - 3), \\
 \frac{\alpha_{B_c-1}}{2} \frac{\partial f_{B_c-1}(x)}{\partial x} - \beta_{B_c-1} f_{B_c-1}(x) &= 0, & x \in [B_c - 2, B_c - 1], \\
 f_{B_c-2}(B_c - 2) &= f_{B_c-1}(B_c - 2), \\
 \frac{\alpha_{B_c}}{2} \frac{\partial f_{B_c}(x)}{\partial x} - \beta_{B_c} f_{B_c}(x) &= \mu_{B_c} p_{B_c}, & x \in [B_c - 1, B_c], \\
 f_{B_c-1}(B_c - 1) &= f_{B_c}(B_c - 1),
 \end{aligned} \tag{5}$$

gdzie p_0 jest prawdopodobieństwem, że system jest pusty, a p_{B_c} jest prawdopodobieństwem, że system jest przepelniony.

3.3. Obliczenia

Wprowadźmy następujące oznaczenia:

- $A_0(x)$ i $B_0(x)$ oznaczają rozkłady odstępów czasu przybycia i obsługi pakietów w pierw-

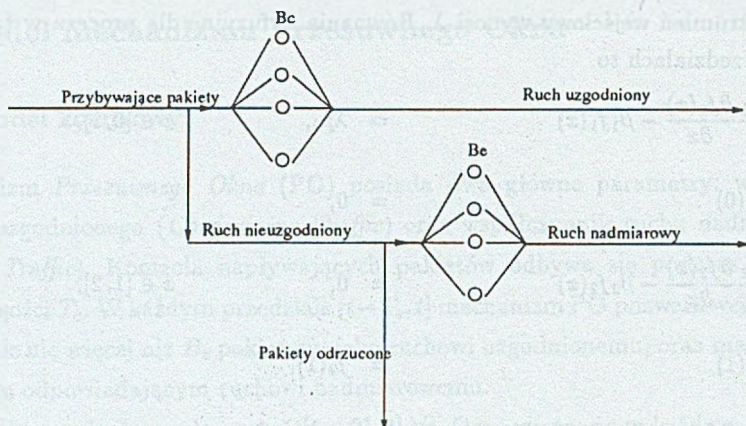
Rys. 1. Model mechanizmu *Przesuwne Okna*

Fig. 1. The SW queueing model

szym stanowisku.

– $A_1(x)$ i $B_1(x)$ oznaczają rozkłady odstępów czasu przybycia i obsługi pakietów w drugim stanowisku.

– $D_0(x)$ i $R_0(x)$ oznaczają rozkłady odstępów czasu pomiędzy pakietami przychodzącymi do pierwszego stanowiska oraz pakietami nie przyjętymi przez niego.

– $D_1(x)$ i $R_1(x)$ oznaczają rozkłady odstępów czasu pomiędzy pakietami przychodzącymi do drugiego stanowiska oraz pakietami nie przyjętymi przez niego.

W naszym modelu $R_0(x) = A_1(x)$.

Metoda aproksymacji dyfuzyjnej wymaga podania dwu pierwszych momentów rozkładu: wartości średniej i współczynnika zmienności.

Wartości średnie poszczególnych rozkładów:

$$E[A_0] = \frac{1}{\lambda_0},$$

$$E[A_1] = E[R_0] = \frac{1}{\lambda_1} = \frac{1}{p_{Bc} \times \lambda_0}.$$

Czasy obsługi są funkcjami liczby zajętych stanowisk obsługi w multiserwerach:

$$E[B_0(i)] = \frac{1}{i \times \mu_0}, \text{ gdzie } i \text{ jest liczbą zajętych serwerów w pierwszym stanowisku,}$$

$$E[B_1(i)] = \frac{1}{i \times \mu_1}, \text{ gdzie } i \text{ jest liczbą zajętych serwerów w drugim stanowisku.}$$

Współczynniki zmienności wynoszą: $C_{A_0}^2 = \sigma_{A_0}^2 \lambda_0^2 = 1$ dla przyjętego przez nas źródła wykładniczego.

Dla obliczenia $C_{B_0}^2$ zakładamy, że model multiserwera może być zastąpiony stanowiskiem $G/G/1/B_C$, dla którego czas obsługi będzie policzony w następujący sposób:

$$C_{B_0}^2 = C_{A_0}^2 = 1,$$

$$C_{D_0}^2 = p_0 \times C_{A_0}^2 + (1 - p_0) \times (1 - p_0) \times C_{B_0}^2 + p_0 \times (1 - p_0),$$

$$C_{A_1}^2 = \left(\frac{1}{p_{B_c}}\right) \times ((1 + p_0 \times (1 - p_{B_c})) \times C_{A_0}^2 + (1 - p_{B_c}) \times (1 - p_0) \times (1 - p_0) \times C_{B_0}^2 + (1 - p_{B_c}) \times (1 - p_0) \times p_0),$$

$$C_{B_1}^2 = 1,$$

gdzie p_{B_c} jest prawdopodobieństwem tego, że pierwszy multiserwer jest pełen, a p_0 jest prawdopodobieństwem tego, że jest pusty.

Następnie należy obliczyć parametry α_i i β_i procesów dyfuzji zdefiniowanych w B_c przedziałach pierwszego multiserwera oraz B_e przedziałach drugiego multiserwera:

$$\alpha_i = C_{A_i}^2 \lambda + C_{B_i}^2 \mu_i, \quad \beta_i = \lambda - \mu_i,$$

gdzie $\mu_i = i \times \mu$.

3.4. Rozwiązanie

Rozwiązanie równania (5) dla stanów ustalonych wygląda następująco: gdzie $z_i = \frac{2 \times \beta_i}{\alpha_i}$

$$f_1(x) = -\left(\frac{\lambda p_0}{\beta_1}\right) \times (1 - \exp(z_1 \times x))$$

$$f_2(x) = f_1(1) \times \exp(z_2 \times (x - 1))$$

$$f_3(x) = f_2(2) \times \exp(z_3 \times (x - 2))$$

$$\vdots \quad \vdots \quad \vdots$$

$$\vdots \quad \vdots \quad \vdots$$

$$f_{B_c-1}(x) = f_{B_c-2}(B_c - 2) \times \exp(z_{B_c-1} \times (x - B_c + 2))$$

$$f_{B_c}(x) = \left(\frac{\mu_{B_c} p_{B_c}}{\beta_{B_c}}\right) \times [1 - \exp(z_{B_c} \times (x - B_c))]$$

(6)

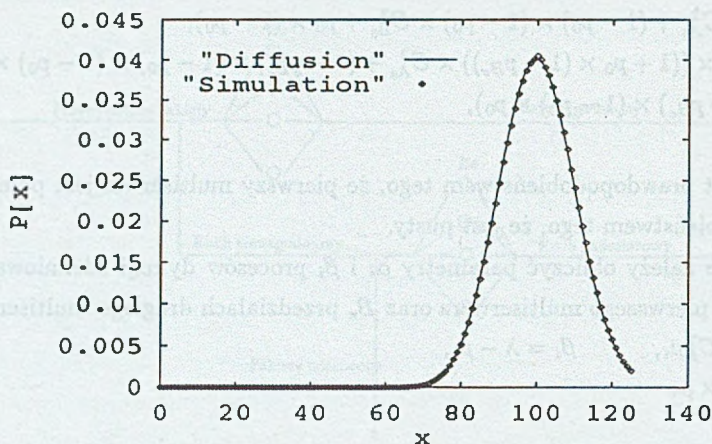
Uproszczony wzór można zapisać następująco:

$$f_1(1) = \left(\frac{\lambda p_0}{\beta_1}\right) \times (1 - \exp(z_1))$$

$$f_k(k) = f_1(1) \times \exp(z_2 + z_3 + \dots + z_k) \quad k \in [2..B_c - 1] \quad (7)$$

$$f_{B_c}(B_c - 1) = \left(\frac{\mu_{B_c} p_{B_c}}{\beta_{B_c}}\right) \times [1 - \exp(-z_{B_c})]$$

Dla drugiego stanowiska układ równań wygląda identycznie. Zastępujemy jedynie wartość P_{B_c} wartością p_{B_c} . Przykłady numeryczne (rys.2 do rys.7) zostały policzone dla różnych wartości λ , aby sprawdzić zachowanie się systemu podczas słabego i silnego obciążenia:



Rys. 2. Przykład 1: Stanowisko pierwsze

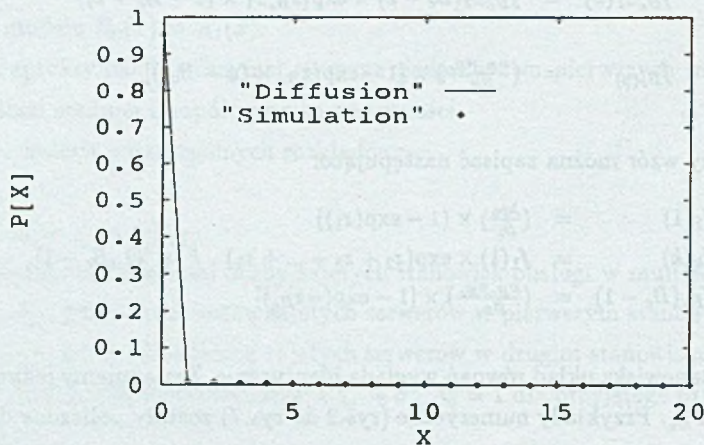
Fig. 2. Example 1: First Stage

Przykład 1 - $\lambda = 100$

Przykład 2 - $\lambda = 120$

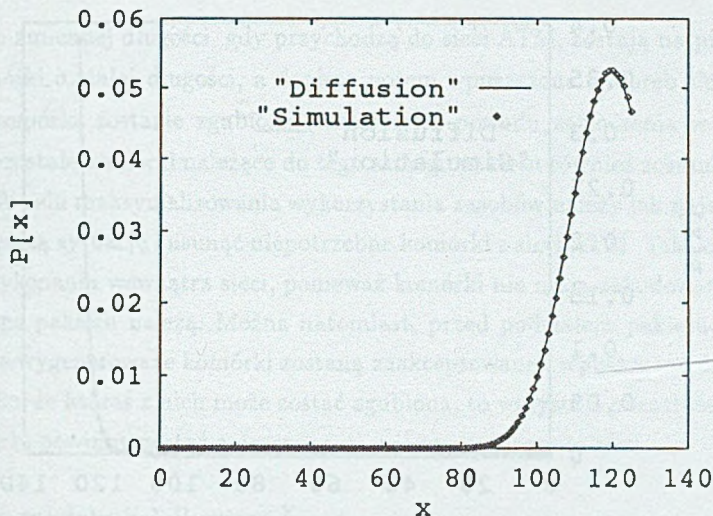
Przykład 3 - $\lambda = 200$

Dla każdego przykładu prezentowane są po dwa wykresy: dla stanowiska kontrolującego ruch uzgodniony i dla stanowiska kontrolującego ruch nadmiarowy. Dla wszystkich przykładów wielkości B_e i B_c są takie same i wynoszą 125. Wszystkie wyniki zostały porównane z rezultatami otrzymanymi na drodze symulacji.

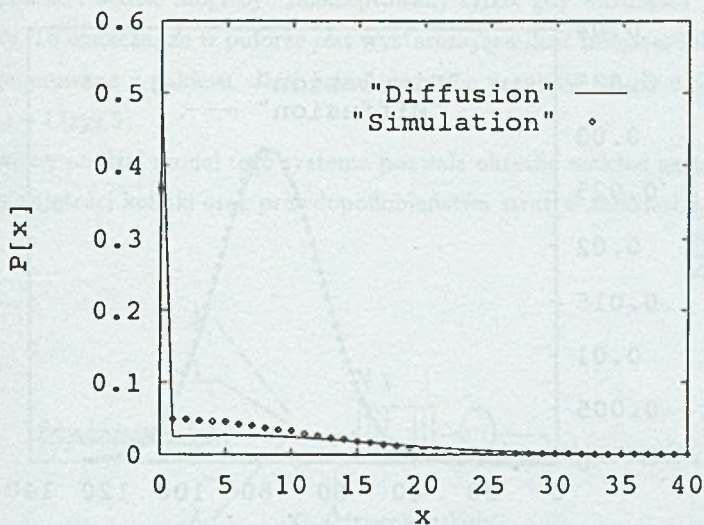


Rys. 3. Przykład 1: Stanowisko drugie

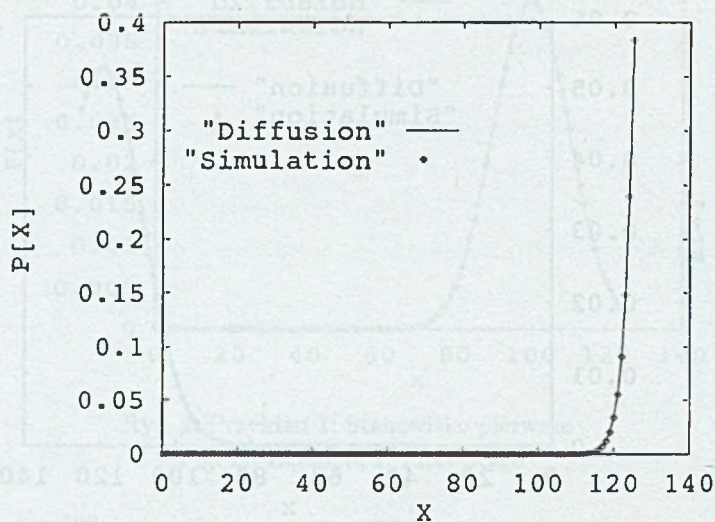
Fig. 3. Example 1: Second Stage



Rys. 4. Przykład 2: Stanowisko pierwsze
 Fig. 4. Example 2: First Stage

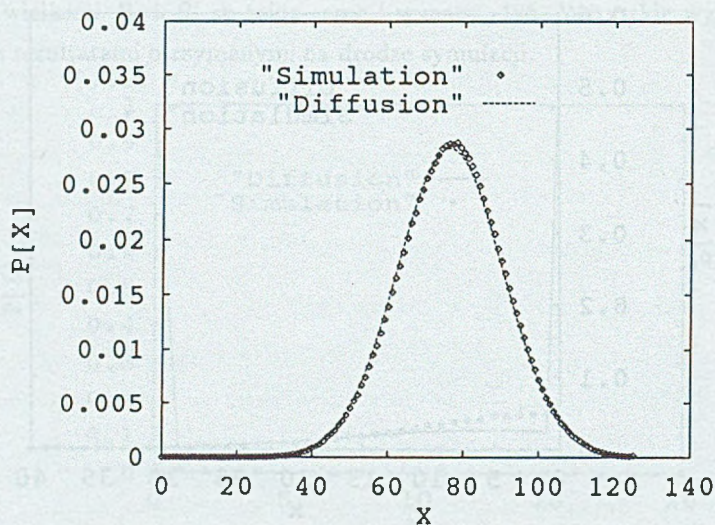


Rys. 5. Przykład 2: Stanowisko drugie
 Fig. 5. Example 2: Second Stage



Rys. 6. Przykład 3: Stanowisko pierwsze

Fig. 6. Example 3: First Stage



Rys. 7. Przykład 3: Stanowisko drugie

Fig. 7. Example 3: Second Stage

4. Model interfejsu sieciowego

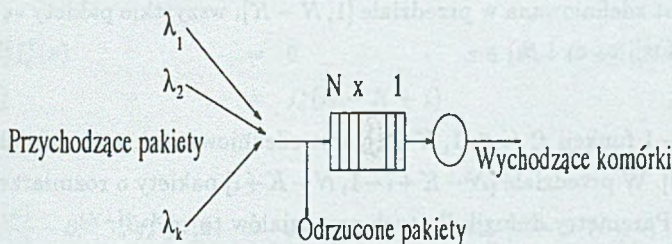
Pakiety o zmiennej długości, gdy przychodzą do sieci ATM, zostają najpierw podzielone na komórki o stałej długości, a dopiero potem wpuszczone w obręb sieci. Oznacza to, że gdy komórka zostanie zgubiona (fizycznie) z powodu zatłoczenia w sieci ATM, wszystkie pozostałe komórki należące do tego samego pakietu również zostaną zagubione (logicznie). W celu maksymalizowania wykorzystania zasobów należy jak najszybciej rozpoznać powyższą sytuację i usunąć niepotrzebne komórki z sieci ATM. Taka operacja jest trudna do wykonania wewnątrz sieci, ponieważ komórki nie mają zakodowanej informacji, do którego pakietu należą. Można natomiast, przed podziałem pakietu, sprawdzić, czy wszystkie wygenerowane komórki zostaną zaakceptowane i wpuszczone do sieci. Jeśli istnieje ryzyko, że któraś z nich może zostać zgubiona, to wszystkie pozostałe, „spokrewnione” komórki powinny zostać zniszczone, tj. nie wpuszczone do sieci.

4.1. Opis modelu kolejkowego

Badany model składa się z K źródeł (S_1 do S_K) i ze stanowiska ze skończoną kolejką. Każde źródło S_i generuje pakiety o rozmiarze i z intensywnością λ_i (rys. 8).

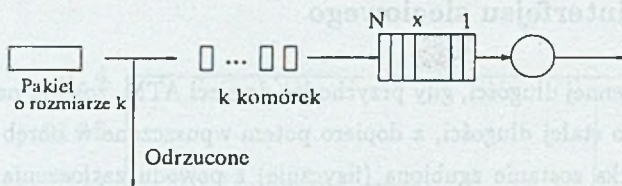
Niech N oznacza rozmiar kolejki. Jeśli x oznacza rozmiar kolejki w czasie t , wtedy pakiet o rozmiarze l będzie mógł być zaakceptowany tylko, gdy warunek $l \leq N - x$ będzie spełniony. To oznacza, że w buforze jest wystarczająca ilość miejsca, żeby pomieścić komórki wygenerowane z pakietu. Jeśli pakiet zostanie przyjęty, wtedy zajętość kolejki wzrośnie do $x + l$ (rys.9).

Przedstawiony poniżej model tego systemu pozwala określić rozkład gęstości prawdopodobieństwa zajętości kolejki oraz prawdopodobieństwa strat w zależności od wielkości pakietów.



Rys. 8. Badany model

Fig. 8. The under study model



Rys. 9. Podział pakietu na komórki

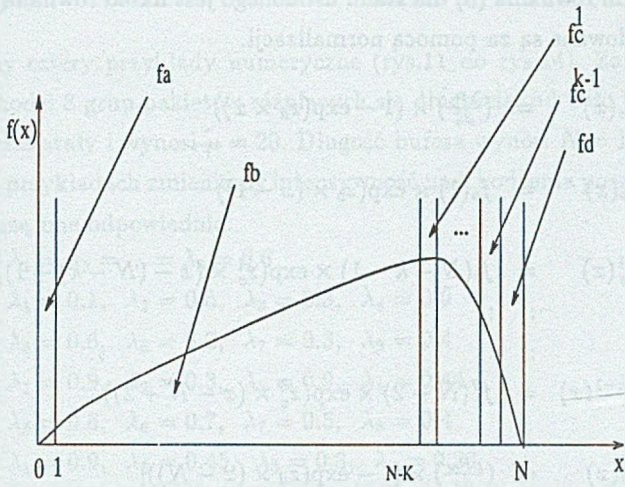
Fig. 9. From packets to cells

4.2. Model dyfuzyjny

Proces dyfuzji opisujący stan bufora został podzielony na przedziały. Ich rozmieszczenie jest uzależnione od rzeczywistego natężenia strumienia wejściowego. Jeśli zajętość bufora jest duża, duże pakiety są odrzucone jako pierwsze. Gdy wypełnienie bufora wzrasta, pakiety o mniejszych rozmiarach mogą być także odrzucone. Jeśli pakiet o określonym rozmiarze jest odrzucony, to rzeczywiste natężenie strumienia dochodzącego do interfejsu maleje. Wypływa stąd wniosek, że parametry dyfuzji α i β zależą od zajętości bufora.

Stan kolejki jest aproksymowany funkcją f , która określa gęstość prawdopodobieństwa wystąpienia jej poszczególnych stanów w przedziale $[0, N]$. W przypadku gdy pakiety mają rozmiary od 1 do K oraz gdy rozmiar bufora spełnia warunek $N > K + 1$, wtedy funkcja f staje się kompozycją $K + 2$ funkcji składowych (rys. 10).

- Funkcja f_a jest zdefiniowana w przedziale $[0, 1]$, gdzie wszystkie pakiety są akceptowane. Parametry dyfuzji to α_a i β_a .
- Funkcja f_b jest zdefiniowana w przedziale $[1, N - K]$, wszystkie pakiety są akceptowane. Parametry dyfuzji to α_b i β_b .
- Następane $K - 1$ funkcji f_c^i ($i \in [1, K - 1]$) jest zdefiniowanych w przedziałach $[N - K + i - 1, N - K + i]$. W przedziale $[N - K + i - 1, N - K + i]$ pakiety o rozmiarze $L > K - i + 1$ są odrzucane. Parametry dyfuzji dla tych przedziałów to α_c^i i β_c^i .
- Ostatnia funkcja f_d jest zdefiniowana w przedziale $[N - 1, N]$, gdzie akceptowane są tylko pakiety o rozmiarze jednostkowym. Parametry dyfuzji to α_d i β_d .



Rys. 10. Przedziały dyfuzji
 Fig. 10. Diffusion intervals

Po zdefiniowaniu parametrów możemy napisać układ różniczkowych równań dyfuzyjnych (8), które opisują zachowania się całego modelu.

$$\begin{aligned}
 \frac{\alpha_a}{2} \frac{\partial f_a(x)}{\partial x} - \beta_a f_a(x) &= \lambda_a P_0 & x \in [0, 1] \\
 f_a(0) &= 0 \\
 \\
 \frac{\alpha_b}{2} \frac{\partial f_b(x)}{\partial x} - \beta_b f_b(x) &= 0 & x \in [1, N - K] \\
 f_b(1) &= f_a(1) \\
 \\
 \frac{\alpha_c^1}{2} \frac{\partial f_c^1(x)}{\partial x} - \beta_c^1 f_c^1(x) &= 0 & x \in [N - K, N - K + 1] \\
 f_c^1(N - K) &= f_b(N - K) \\
 \\
 \frac{\alpha_c^2}{2} \frac{\partial f_c^2(x)}{\partial x} - \beta_c^2 f_c^2(x) &= 0 & x \in [N - K + 1, N - K + 2] \\
 f_c^2(N - K + 1) &= f_c^1(N - K + 1) \\
 : &: \\
 : &: \\
 \frac{\alpha_c^{(K-1)}}{2} \frac{\partial f_c^{K-1}(x)}{\partial x} - \beta_c^{(K-1)} f_c^{K-1}(x) &= 0 & x \in [N - 2, N - 1] \\
 f_c^{K-1}(N - 2) &= f_c^{K-2}(N - 2) \\
 \\
 \frac{\alpha_d}{2} \frac{\partial f_d(x)}{\partial x} - \beta_d f_d(x) &= \mu P_N & x \in [N - 1, N] \\
 f_d(N - 1) &= f_c^{K-1}(N - 1)
 \end{aligned} \tag{8}$$

Rozwiązaniem równania (8) dla stanu ustalonego jest układ równań (9). W równaniu (9) p_0 i p_N znajdowane są za pomocą normalizacji.

$$\begin{aligned}
 f_a(x) &= \left(\frac{\lambda P_0}{\beta_a}\right) \times (1 - \exp(z_a \times x)) \\
 f_b(x) &= f_a(1) \times \exp(z_b \times (x - 1)) \\
 f_c^1(x) &= f_b(N - k - 1) \times \exp(z_c^1 \times (x - (N - k) + 1)) \\
 &\vdots \\
 &\vdots \\
 f_c^{k-1}(x) &= f_c^1(N - 2) \times \exp(z_c^k \times (x - N + 2)) \\
 f_d(x) &= \left(\frac{\mu P_N}{\beta_d}\right) \times [1 - \exp(z_d \times (x - N))]
 \end{aligned} \tag{9}$$

4.3. Obliczenia

Aby dokonać obliczeń numerycznych, potrzebujemy znaleźć wartości parametrów α i β dla poszczególnych, zdefiniowanych uprzednio przedziałów. Konieczna jest również znajomość wielkości λ i C^2 .

- W dwu pierwszych przedziałach $[0, 1]$ i $[1, N - K]$ wszystkie pakiety są akceptowane ($L_{max} = K$):

$$\begin{aligned}
 \lambda_a = \lambda_b = \sum_{j=1}^K (j \times \lambda_j), \quad C_a^2 = \frac{2 \sum_{j=1}^{j=K} (j \times \lambda_j)}{\sum_{j=1}^K \lambda_j} - 1, \\
 \alpha_a = \alpha_b = C_a^2 \lambda_a, \quad \beta_a = \beta_b = \lambda_a - \mu.
 \end{aligned}$$

- W przedziałach $[N - K + i - 1, N - K + i]$ pakiety o rozmiarach $L > K - i + 1$ są odrzucane ($L_{max} = K - i + 1$):

$$\begin{aligned}
 \lambda_c^i = \lambda_b = \sum_{j=1}^{K-i+1} (i \times \lambda_j), \quad C_c^{i^2} = \frac{2 \sum_{j=1}^{j=K-i+1} (j \times \lambda_j)}{\sum_{j=1}^{j=K-i+1} \lambda_j} - 1, \\
 \alpha_c^i = C_c^{i^2} \lambda_c^i, \quad \beta_c^i = \lambda_c^i - \mu.
 \end{aligned}$$

- W ostatnim przedziale $[N - 1, N]$ tylko pakiety o rozmiarze 1 są akceptowane:

$$\begin{aligned}
 \lambda_d = \lambda_1, \quad C_d^2 = \frac{2\lambda_1}{\lambda_1} - 1 = 1, \\
 \alpha_d = C_d^2 \lambda_d = \lambda_1, \quad \beta_d = \lambda_d - \mu.
 \end{aligned}$$

4.4. Rezultaty

Prezentujemy cztery przykłady numeryczne (rys.11 do rys.14). Założyliśmy, że do interfejsu przychodzi 8 grup pakietów różniących się długością: od 1 do 8 komórek. Czas obsługi jest zawsze stały i wynosi $\mu = 20$. Długość bufora wynosi $N = 100$.

W kolejnych przykładach zmieniamy intensywność nadchodzenia poszczególnych grup pakietów; wynoszą one odpowiednio:

Przykład 1 - $\lambda_1 = \lambda_2 = \dots = \lambda_8 = 0.6$

Przykład 2 - $\lambda_1 = 0.1, \lambda_2 = 0.5, \lambda_3 = 0.3, \lambda_4 = 0.9$

$\lambda_5 = 0.6, \lambda_6 = 0.2, \lambda_7 = 0.3, \lambda_8 = 0.4$

Przykład 3 - $\lambda_1 = 0.9, \lambda_2 = 0.3, \lambda_3 = 0.9, \lambda_4 = 0.44$

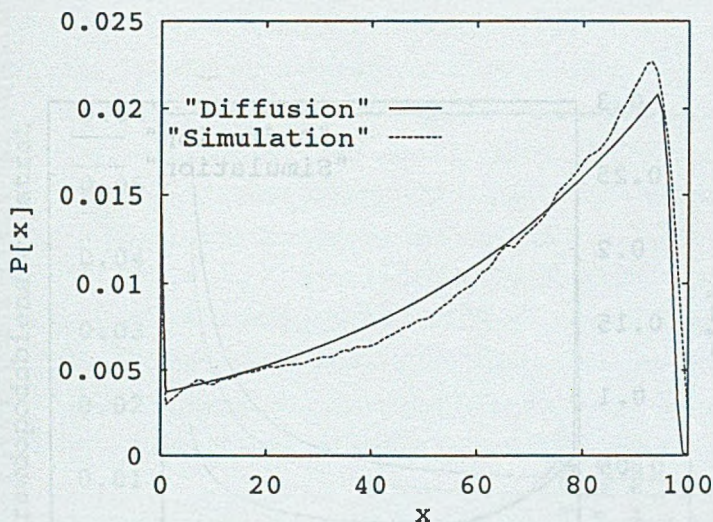
$\lambda_5 = 0.6, \lambda_6 = 0.7, \lambda_7 = 0.5, \lambda_8 = 0.4$

Przykład 4 - $\lambda_1 = 0.9, \lambda_2 = 0.45, \lambda_3 = 0.3, \lambda_4 = 0.23$

$\lambda_5 = 0.18, \lambda_6 = 0.15, \lambda_7 = 0.13, \lambda_8 = 0.11$

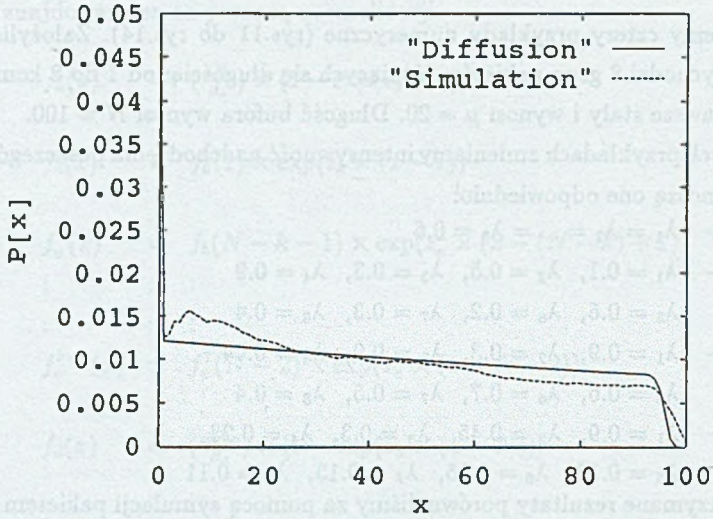
Wszystkie otrzymane rezultaty porównaliśmy za pomocą symulacji pakietem QNAP2.

Rys.15 pokazuje prawdopodobieństwo strat poszczególnych grup pakietów obliczone dla przykładu pierwszego (rys.11).



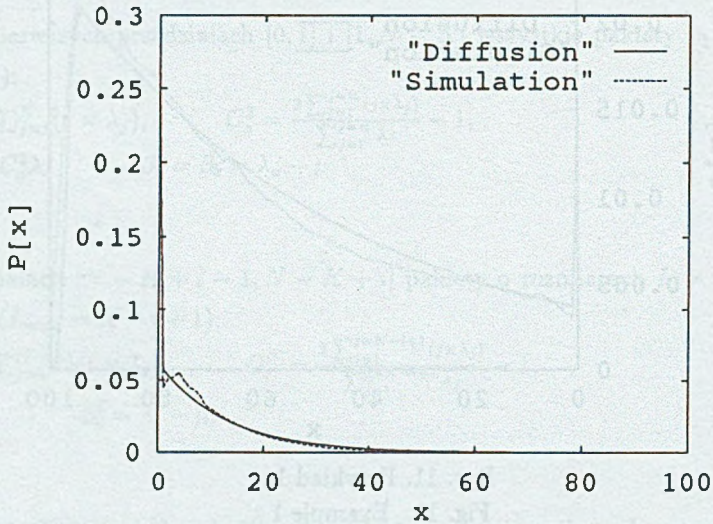
Rys. 11. Przykład 1

Fig. 11. Example 1



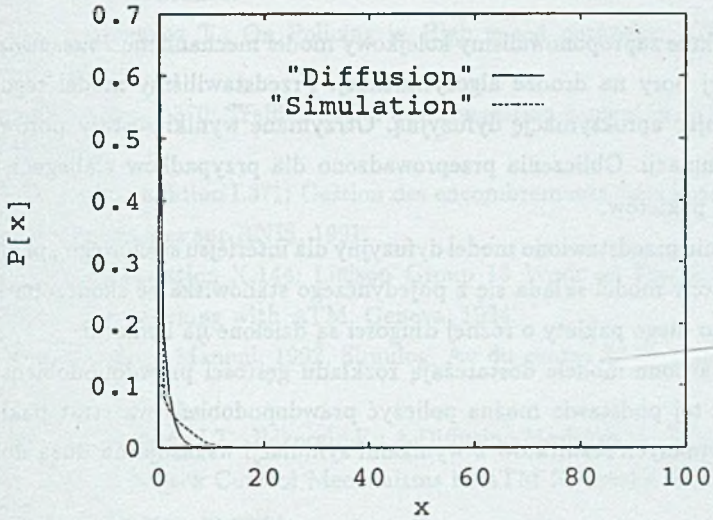
Rys. 12. Przykład 2

Fig. 12. Example 2



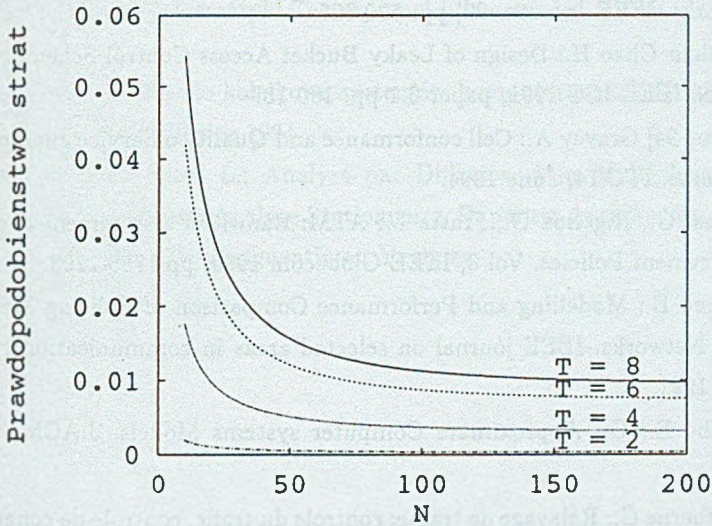
Rys. 13. Przykład 3

Fig. 13. Example 3



Rys. 14. Przykład 4

Fig. 14. Example 4



Rys. 15. Prawdopodobieństwo strat pakietów dla przykładu 1

Fig. 15. Packet loss probabilities for example 1

5. Podsumowanie

W artykule zaproponowaliśmy kolejkowy model mechanizmu *Przesuwanego Okna*, opisany do tej pory na drodze algorytmicznej. Przedstawiliśmy model tego mechanizmu wykorzystując aproksymację dyfuzyjną. Otrzymane wyniki zostały porównane z rezultatami symulacji. Obliczenia przeprowadzono dla przypadków słabego i silnego ruchu strumienia pakietów.

Następnie przedstawiono model dyfuzyjny dla interfejsu sieciowego „pakiet-komórka”. Przedstawiony model składa się z pojedynczego stanowiska ze skończoną kolejką. Przychozące do niego pakiety o różnej długości są dzielone na komórki.

Przedstawione modele dostarczają rozkładu gęstości prawdopodobieństwa zajętości bufora. Na tej podstawie można policzyć prawdopodobieństwa strat pakietów. Porównanie otrzymanych rezultatów z wynikami symulacji wskazuje na dużą dokładność obu modeli.

LITERATURA

- [1] Bala K., Cidon I., Sohraby K.: Congestion control for high speed packet switched networks. IEEE Infocom 90, pp. 520-526.
- [2] Jonathan Chao H.: Design of Leaky Bucket Access Control Schemes in ATM Networks. IEEE ICC 1991, paper 6.1 pp. 180-187.
- [3] [Gravey 94] Gravey A.: Cell conformance and Quality of Service guarantees in ATM Networks. ITC'14, June 1994.
- [4] Gallassi G., Rigolioa G., Fratta L.: ATM: Bandwidth Assignment and Bandwidth Enforcement Policies. Vol 3, IEEE Globecom 1989, pp.1788-1793.
- [5] Rathgeb E.: Modelling and Performance Comparison of Policing Mechanisms for ATM Networks. IEEE journal on selected areas in communications, vol 9, No 3. April 1991.
- [6] Gelenbe E.: On Approximate Computer systems Models. J.ACM, vol.22, no.2, 1975.
- [7] Hebutherne G.: Relayage de trame: controle du trafic, controle de congestion. Technical report NT/LAA/SLC/399, 1993.
- [8] Jouaber B., Atmaca T.: Surveillance de trafic dans les réseaux à haut débit. MASI research report N. 95/24, MASI July 1995.

- [9] Jouaber B., Atmaca T.: Choosing a policing technique for high speed networks. WATM'95, Paris, France.
- [10] Jouaber B., Atmaca T.: On Policing in High speed networks. ICT'96 Istanbul, Turkey 1996.
- [11] Recommendation I.370: Traffic control and congestion control in B-ISDN. ITU-T, January 1993.
- [12] [I.371] Recommendation I.371: Gestion des encombrements dans le service support à repetition de trames sur RNIS. 1991.
- [13] Draft Recommendation X.144: Liaison Group 13 Work on Frame Relay Performance and interworking with ATM. Geneva, 1994.
- [14] QNAP2, Reference Manual. 1992, Simulog, Av du centre St Quentin en Yvelines, France, 1992.
- [15] Atmaca T., Czachórski T., Pekergin F.: A Diffusion Model of the Dynamic Effect of Closed-Loop Feedback Control Mechanisms in ATM Networks. Bulletin of Polish Academy of Sciences, in print.
- [16] Czachórski T., Pekergin F.: Diffusion models of Leaky Bucket and partial buffer sharing policy: transient analysis. 4th IFIP Workshop on Performance Modelling and Evaluation of ATM Networks, Ilkley, England, 1996.
- [17] Czachórski T.: A diffusion process with instantaneous jumps back and its applications. *Archiwum Informatyki Teoretycznej i Stosowanej*, vol 20, z. 1-2, pp. 27-46, 1990.
- [18] Czachórski T.: *Modele kolejkowe systemów komputerowych*. Skrypt Politechniki Śląskiej, nr 1844, Gliwice 1994.
- [19] Fourneau J.M., Kloul L.: *Analyse par Diffusion d'un Multiplexeur Statistique Intégration de Service: Analyse Stationnaire*. Rapports de recherche, Labo PRiSM, Universit de Versailles St-Quentin en Yvelines.

- [20] Gelenbe E.: On Approximate Computer System models. J. ACM, vol. 22, no. 2, 1975.
- [21] Newell G.F.: Applications of Queueing Theory. Chapman and Hall, London, 1971.

Recenzent: Dr inż. Ewa Starzewska-Karwan

Wpłynęło do Redakcji 29 grudnia 1997 r.

Abstract

In this paper, we propose two diffusion models: the Sliding Window mechanism and a packet-to-cell interface.

The Sliding Window is the policing mechanism adopted for Frame Relay network. Its purpose is to control the quantity of the traffic entering the network. This preventive control helps the network to satisfy the quality of service requirements for all active connections.

First we propose a queueing model for the SW mechanism (see fig.1). Then we present a diffusion study of queueing model (see eq.5 and eq.6). Diffusion results are compared to simulation results (see fig.2 to fig.7).

The packet-to-cell interface connects the ATM network which handles fixed size packets and Frame Relay network which handles the variable size packets. We propose a model (see fig.8) for this interface. This interface accepts packets, converts them into the cells, and then serves the cells. Then we present the diffusion model (see fig.10) which considers a variable length frame arrival with an all or nothing acceptance policy (see eq. 9). Finally, diffusion results are compared to simulation studies (see fig. 11 to fig.15).