STUDIA INFORMATICA 2002
Volume 23 Number 2A (48)

Franciszek GRABOWSKI
Politechnika Rzeszowska, Wydział Elektrotechniki i Informatyki

PROCESY 1/f W SYSTEMACH ROZPROSZONYCH

Streszczenie. Praca dotyczy analizy porównawczej metod pomiarowych zjawisk wyższych rzędów w systemach rozproszonych (SR) i składa się z dwóch części. W pierwszej rozważono heurystyczną metodę Hursta i uniwersalną metodę procesów 1/*f*. Druga zawiera studium przypadków systemu skalowanego w dół (tranzystor MOS) i skalowanego w górę (sieć komputerowa). Badania potwierdzają wszechobecność i uniwersalność procesów 1/*f* w SR. Charakterystyka log[*S*(*f*)]=f[log(*f*)], gdzie *S*(*f*) jest gęstością widmową mocy, zaś *f* jest częstotliwością, może być miarą samopodobieństwa i jakości usług.

1/f PROCESSES IN DISTRIBUTED SYSTEMS

Summary. Paper deal with comparative analysis of measurements methods of high order effects in distributed systems (DS) and contains two parts. First part concerns of Hurst heuristic method, and universal method of 1/*f* processes. Second contains case study of systems scaled down (MOS transistor) and scaled up (computer network). Investigations confirm ubiquity and universal 1/*f* processes in DS. Characteristic log[*S*(*f*)]=f[log(*f*)], where *S*(*f*) is power spectral density but *f* frequency can be measurement of self-similarity and QoS.

1. Wstęp

Jedną z charakterystycznych cech fizycznie istniejących systemów jest rozproszenie w przestrzeni i czasie zachodzących w nich procesów. Jest to niezależnie od tego, czy są to struktury pierwotne (np. człowiek, rzeka, oceany, pogoda, DNA) czy też wykreowane przez człowieka (np. sieć komputerowa, gospodarka, giełda, tranzystor MOS).

Pierwszy faza rozwoju informatyki bazowała na systemach jednoprocesorowych silnie powiązanych (skupionych w czasie i przestrzeni) przez wspólny zegar (o częstotliwości

taktowania f) oraz współdzielenie magistral, a w przypadku architektur wieloprocesorowych jednomaszynowych również przez współdzielenie pamięci. Są to struktury deterministyczne o cechach krótkoterminowości, gdzie kryterium doboru f uwzględnia najgorszy przypadek opóźnień czasowych. W początkowej fazie rozwoju systemów sieciowych, kiedy szybkość systemów komputerowych była stosunkowo niewielka, a intensywność ruchu w sieci ograniczona, usprawiedliwione było założenie, że komunikacyjne opóźnienia czasowe pomiędzy elementami SR można zaniedbać. W związku z tym pojęcie system rozproszony kojarzono wyłącznie z rozproszeniem w przestrzeni.

Jednakże w ostatnich latach informatyka podlega zasadniczym zmianom. Skupione jednoprocesorowe systemy komputerowe zwiększają wydajność. Dzieje się to w dużej mierze wskutek wzrostu wydajności procesorów uzyskiwanej głównie dzięki skalowaniu w górę częstotliwości zegara. Jest to wynikiem skalowania tranzystorów MOS w dół, przy jednoczesnym skalowaniu w górę liczby tranzystorów w procesorze. Ponadto skalowaniu w górę podlega liczba maszyn (użytkowników) w systemie sieciowym oraz objętość przesyłanych plików. Prowadzi to do diametralnie innej sytuacji. Wąskim gardłem stała się sieć. Opóźnienia czasowe systemu rozproszonego, szczególnie czasu rzeczywistego, są obecnie nie do zaniedbania. Ma to swoje uwarunkowania natury technicznej i ekonomicznej. W torach transmisji następuje coraz większe zróżnicowanie opóźnień czasowych komunikatów. Taki rzeczywisty system należy traktować jako rozproszony w czasie i przestrzeni o cechach samopodobieństwa. Konsekwencją tego jest konieczność uwzględnienia w sieci, zarówno w teorii, jak i praktyce, zjawisk fluktuacyjnych wyższych rzędów o charakterze typu $1/f$, które wpływają na wydajność i jakość świadczonych usług. Procesy $1/f$ są wszechobecną i uniwersalną cechą fraktalnej struktury wszechświata. Rytm (zegar) wszechświata jest zdeterminowany przez fluktuacje $1/f$. Ponadto $1/f$ jest współczynnikiem skalowania $S(f)$. Bez zrozumienia tychże procesów niemożliwa jest analiza i synteza rzeczywistych systemów oraz poprawna interpretacja wyników pomiarów.

Celem artykułu jest przedstawienie analizy teoretycznej oraz studium przypadków SR. Pokazano, że różnorodne rzeczywiste systemy, pozornie odległe od siebie, łączą w sobie cechy samopodobieństwa w przestrzeni i w czasie. Zjawiska wyższych rzędów, a tym samym i samopodobieństwo w czasie, należy uwzględnić, jeżeli w rozproszonym systemie przetwarzania nie można pominąć kosztów komunikacji w stosunku do kosztów przetwarzania. Artykuł składa się z trzech części. Część pierwsza dotyczy analizy teoretycznej ograniczeń czasowych systemów rozproszonych oraz szumów typu $1/f$ jako metody oceny samopodobieństwa w czasie. W części drugiej teoretycznej przedstawiono studium przypadków skalowalności czasowej biorąc pod uwagę tranzystor MOS i sieć komputerową.

2. Analiza teoretyczna

Przy ocenie samopodobieństwa w czasie można skorzystać z wielu metod, które wywodzą się z dwóch różnych korzeni. Metody pierwszej grupy, obecnie bardziej popularne, bazują na doświadczeniach i analizach teoretycznych Hursta, które pierwotnie odnosiły się do oceny fluktuacji poziomu wody w Nilu [1]. Druga grupa metod bazuje na modelu matematycznym szumów $1/f$, który już w latach 30. XX wieku zaproponował Bernamont w odniesieniu do szumów $1/f$ w lampach elektronowych, a w latach 50. XX wieku van der Ziel rozszerzył tę metodę do przyrządów półprzewodnikowych [2]. W niniejszej sekcji przedstawimy kolejno istotę metody Hursta, a następnie model szumów $1/f$ van der Ziela.

2.1. Pomiar samopodobieństwa w czasie metodą Hursta

Hurst obserwując różnorodne zjawiska, w tym wahania poziomu wody w rzekach, zaproponował znormalizowaną bezwymiarową postać miary charakteryzującą zmienność, która przyjęła nazwę przeskalowanego zakresu R/S. Dla danego zbioru obserwacji $X = \{X_n, n \in Z^+\}$ ze średnią $\overline{X}(n)$, wariancją $S^2(n)$ i zakresem $R(n)$ przeskalowany skorygowany zakres lub statystyka R/S jest dana jako [1]:

$$\frac{R(n)}{S(n)} = \frac{\max(0, \Delta_1, \Delta_2, \cdots, \Delta_n) - \min(0, \Delta_1, \Delta_2, \cdots, \Delta_n)}{S(n)} \tag{1}$$

gdzie

$$\Delta_k = \sum_{i=1}^{k} X_i - k\overline{X} \text{ dla } k=1, 2, ..., n.$$

Hurst ponadto zauważył, że w przypadku wielu naturalnych zjawisk, dla $n \to \infty$ oraz stałej c niezależnej od n, można określić następującą zależność:

$$E\left[\frac{R(n)}{S(n)}\right] \sim cn^H \tag{2}$$

Logarytmując dwustronnie oraz biorąc pod uwagę warunek $n \to \infty$, otrzymujemy:

$$\log\left\{E\left[\frac{R(n)}{S(n)}\right]\right\} \sim H\log(n) + \log(c) \tag{3}$$

Na podstawie przytoczonych zależności można oszacować wartość parametru H. W tym celu należy wziąć pod uwagę charakterystykę $\log\left\{E\left[\frac{R(n)}{S(n)}\right]\right\}$ w funkcji $\log(n)$, a następnie aproksymować ją linią prostą. Nachylenie tej linii daje szacunkową wartość parametru H.

Jak można zauważyć, jest to metoda heurystyczna. Pozwala jedynie oszacować poziom samopodobieństwa w szeregu czasowym oraz w przybliżeniu określić parametr H. Wszystkie

inne metody wywodzące się z tej metody mają podobne cechy. Są one jedynie modyfikacją metody matki i nie wnoszą nowej jakości, różniąc się jedynie cechami ilościowymi. Zilustrowano to w tabeli 1 określając parametry wybranych metod. Parametry H, d i β odniesiono do podstawowego parametru α, metody szumów $1/f$. Wiedząc, że α=0 odpowiada szumom białym (krótkoterminowość-brak samopodobieństwa) oraz α=1 szumom różowym (długoterminowość-silne samopodobieństwa) określono przedział wartości odpowiedniego parametru, dla którego obserwujemy zjawisko samopodobieństwa.

Tabela 1

Zakres występowania samopodobieństwa

Metoda	Parametr	Parametr w funkcji α	Przedział wartości parametru
R/S	H	$H=\frac{\alpha+2}{4}$	$0{,}50 \leq H \leq 0{,}75$
DFA	D	$d=\frac{\alpha+1}{2}$	$0{,}50 \leq d \leq 1{,}00$
wariancja-czas	β	$\beta=1-\frac{\alpha}{2}$	$0{,}50 \leq \beta \leq 1{,}00$

Celem pracy jest pokazanie wszechobecności i uniwersalności zjawisk samopodobieństwa. Ze względu na to heurystyczne metody bazujące na parametrze Hursta nie są przydatne do tego typu badań. W związku z tym w następnym punkcie sięgnięto do uniwersalnej metody szumów $1/f$.

2.2. Szum $1/f$ jako miara samopodobieństwa w czasie

Załóżmy, że pomiędzy procesami fluktuacji nie ma korelacji wzajemnej. Zatem całkowita gęstość widmowa $S(f)$ jest wprost sumą gęstości widmowych poszczególnych elementarnych źródeł fluktuacji:

$$S(f)=\sum_{i=1}^{n} S_i(f) \tag{4}$$

Załóżmy ponadto, że szumy $1/f$ są stacjonarne. Podstawowym kryterium stacjonarności szumów $1/f$ jest istnienie w obrębie charakterystyki GWM obszaru niezależnego od f, gdy $f \to 0$. Można to wykazać biorąc pod uwagę funkcję autokorelacji $R_x(s)$. Wiadomo, że $R_x(s)$ każdego stacjonarnego procesu przypadkowego $x(t)$ zależy tylko od przesunięcia s w skali czasu i jest funkcją parzystą $R_x(s)= R_x(-s)$. Własność ta jest warunkiem koniecznym

i wystarczającym stacjonarności $x(t)$. Weźmy, zatem pod uwagę dwustronną funkcję gęstości widmowej $S_x^{'}(f)$ procesu $x(t)$:

$$S_x^{'}(f) = \int_{-\infty}^{\infty} R_x(s)\exp(-j2\pi fs)\,\mathrm{d}s \tag{5}$$

Biorąc pod uwagę warunek $R_x(s)= R_x(-s)$ otrzymujemy:

$$\lim_{f\to 0}\frac{\mathrm{d}S_x^{'}(f)}{\mathrm{d}t} = -j2\pi\int_{-\infty}^{\infty} sR_x(s)\,\mathrm{d}s = 0 \tag{6}$$

Jest to równoznaczne z istnieniem niezależnej od f części charakterystyki $S_x^{'}(f)$, gdy $f \to 0$.

Model matematyczny szumów $1/f$, zakładający ich stacjonarność, przedstawił van der Ziel, ale już w latach trzydziestych XX wieku zaproponował Bernamont. Prześledźmy więc ich rozumowanie [2]. Funkcja autokorelacji stacjonarnego procesu stochastycznego $x(t)$ dana jako:

$$R_x(s) = \langle x(t)x(t+s)\rangle \tag{7}$$

gdzie s jest przesunięciem czasowym, jest związana z jednostronną funkcją gęstości widmowej $S_x(f)$ dla $0 \le f < 0$:

$$S_x(f) = 4\int_0^{\infty} R_x(s)\cos 2\pi fs\,\mathrm{d}s \tag{8}$$

$$R_x(s) = \int_0^{\infty} S_x(f)\cos 2\pi fs\,\mathrm{d}f \tag{9}$$

Na podstawie równań (8) i (9) widać, że $S_x(f)$ nie spełnia warunku:

$$S_x(f) = \frac{k}{f} \tag{10}$$

w nieograniczonym paśmie częstotliwości, gdzie k jest stałą. Wynika stąd, że podstawiając (10) do (9) otrzymujemy całkę rozbieżną dla f=0 przy wszystkich wartościach s i $f \to \infty$ przy s=0. W związku z tym wprowadzono następujące ograniczenia, które winna spełniać funkcja $S_x(f)$ w przypadku szumów $1/f$.

Po pierwsze, zgodnie z (7), $S_x(f)$ winna się zmieniać wolniej niż $1/f$ dla $f \to 0$. Po drugie $S_x(f)$ powinna się zmieniać szybciej niż $1/f$ dla większych częstotliwości. $S_x(f)$ spełnia te warunki, jeżeli $R_x(s)$ jest dane jako:

$$R_x(s) = \left\langle (x(t))^2 \right\rangle \exp\left(-\frac{s}{\tau}\right) \tag{11}$$

przy założeniu, że zamiast pojedynczego czasu korelacji τ uwzględnimy jego dyspersję.

Uwzględniając równania (7) i (8), otrzymujemy GWM procesu o pojedynczym czasie korelacji:

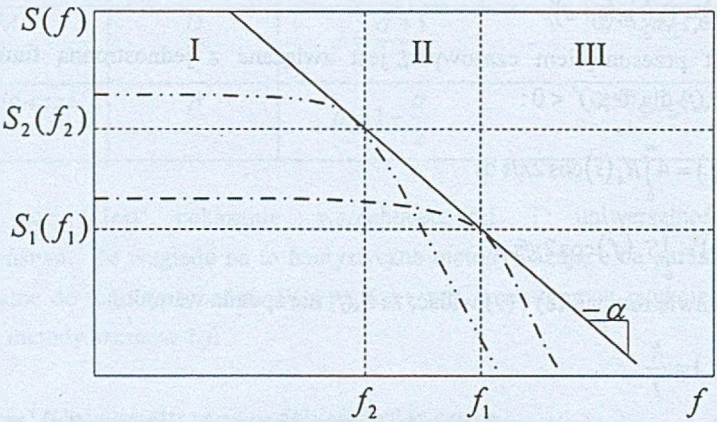
$$S_x(t,\tau) = 4\left\langle (x(t))^2 \right\rangle \frac{\tau}{1+(2\pi f\tau)^2} \tag{12}$$

Biorąc pod uwagę prawdopodobieństwo P, że czas korelacji jest zawarty w przedziale τ, $\tau+d\tau$.

$$dP = g(\tau)d\tau \tag{13}$$

gdzie $g(\tau)$ jest funkcją gęstości prawdopodobieństwa czasów korelacji τ, na podstawie (12) i (13) otrzymujemy:

$$S_x(f) = 4\left\langle (x(t))^2 \right\rangle \int_0^\infty \frac{\tau}{1+(2\pi f\tau)^2} g(\tau)\,d\tau \tag{14}$$



Rys. 1. Charakterystyka log-log gęstości widmowej mocy procesów g-r i szumów 1/*f*
Fig. 1. Double-logarithmic plot of power spectrum density of g-r processes and 1/*f* noise

Wprowadzając następującą, znormalizowaną funkcję $g(\tau)$:

$$g(\tau)d\tau = \left(\ln\frac{\tau_2}{\tau_1}\right)\frac{d\tau}{\tau} \qquad \text{dla } \tau_1 < \tau < \tau_2 \tag{15a}$$

$$g(\tau)d\tau = 0 \qquad \text{poza tym przedziałem} \tag{15b}$$

i podstawiając ją do (14), otrzymujemy:

$$S_x(f) = 4\left\langle (x(t))^2 \right\rangle \left(\ln\frac{\tau_2}{\tau_1}\right)^{-1} \frac{arc\,tg(2\pi f\tau_2) - arc\,tg(2\pi f\tau_1)}{2\pi f} \tag{16}$$

Biorąc pod uwagę (16) można zauważyć, rys. 1, że $S_x(f)$ dla $f << (2\pi\tau_2)^{-1}$ jest niezależna od częstotliwości (szum biały) dla $(2\pi\tau_2)^{-1} < f < (2\pi\tau_1)^{-1}$, $S_x(f)$ zmienia się jak $1/f$ (szum różowy) oraz dla $f >> (2\pi\tau_1)^{-1}$, $S_x(f)$ zmienia się jak $1/f^2$ (szum brązowy).

Dokonując superpozycji procesów g-r, rys. 1, zauważamy, że charakterystyka $S_t(f)$ może mieć trzy różne obszary wyznaczone przez częstotliwości charakterystyczne $f_1 = (2\pi\tau_1)^{-1}$ oraz $f_2 = (2\pi\tau_2)^{-1}$. W tym kontekście dla częstotliwości $f_2 < f < f_1$ (obszar II, rys.1) gęstość widmowa mocy jest aproksymowana równaniem (10). Wartość α można określić na podstawie znajomości dwóch punktów przecięcia, $[f_1, S_1(f_1)]$ i $[f_2 S_2(f_2)]$.

3. Studium przypadków

Celem opisu jest przedstawienie systemów, których cechy samopodobieństwa wpisują się w uniwersalną formułę SR. Wzięto pod uwagę dwa systemy. Jeden to tranzystor MOS skalowany w dół, drugi zaś to sieć komputerowa skalowana w górę.

3.1. Tranzystor MOS jako system rozproszony w przestrzeni i czasie

Najbardziej istotnym i charakterystycznym obszarem w warstwie półprzewodnika tranzystora MOS jest kanał. Jego kształt i właściwości zależą od parametrów półprzewodnika, polaryzacji napięciem bramka-źródło U_{GS} i dren-źródło U_{DS} oraz geometrii struktury. Biorąc pod uwagę tranzystor MOS można wskazać kilka charakterystycznych obszarów pracy, tj. zakres przedprogowy, słabej inwersji oraz silnej inwersji, które ściśle wiążą się z kształtem kanału źródło-dren, mechanizmem przepływu prądu drenu, a tym samym z jego fluktuacjami typu $1/f$.

W zakresie przedprogowym prąd drenu ma charakter dyfuzyjny i może być uważany za produkt niezależny od geometrii tranzystora, stałej dyfuzji nośników mniejszościowych i ładunku inwersyjnego przy źródle. Wtedy bardzo mały prąd w zakresie przedprogowym nie płynie płytkim kanałem, lecz obejmuje głęboki obszar zubożony. Nawiązując do parametrów ruchu można stwierdzić, że jest to przypadek, kiedy występują jedynie procesy krótkoterminowe i nie obserwujemy cech samopodobieństwa. Oznacza to brak szumów nadmiarowych, czyli występowanie jedynie szumu białego, α=0.

Kiedy napięcie U_{GS} wzrasta, tranzystor wchodzi w stan silnej inwersji, co oznacza, że prąd drenu jest zdominowany przez składową unoszenia, kanał jest płytki i prąd przepływa w najbliższym sąsiedztwie powierzchni Si-SiO_2. Z punktu widzenia zjawisk transportu w kanale

odpowiada to przypadkowi silnego samopodobieństwa, któremu towarzyszą zjawiska długoterminowe. Oznacza to istnienie szumów nadmiarowych typu $1/f$, $\alpha \approx 1$.

W celu określenia istoty i specyfiki mechanizmów samopodobieństwa w tranzystorach MOS weźmy pod uwagę elementarną objętość kanału $dx\,dy\,dz$, z którą może być skojarzona składowa deterministyczna konduktywności (x, y, z) określona równaniem

$$\sigma(x,y,z) = qn(x,y,x)\mu(x,y,z) \tag{17}$$

gdzie $n(x,y,z)$ i $\mu(x,y,z)$ są odpowiednio koncentracją i ruchliwością nośników prądu w elementarnej objętości kanału.

W tranzystorze MOS można wskazać kilka źródeł fluktuacji koncentracji nośników prądu. Są to, przede wszystkim, centra generacyjno-rekombinacyjne (g-r) w warstwie granicznej tlenek-półprzewodnik i tlenku, które w wyniku tunelowania wymieniają nośniki z kanałem tranzystora. Stałe czasowe tych fluktuacji, τ, są bardzo silnie uzależnione od głębokości tunelowania x:

$$\tau(x) = \tau_s \exp(\theta x) \tag{18}$$

gdzie τ_s jest stałą czasową fluktuacji generowanych przez pułapki ulokowane w warstwie granicznej Si/SiO_2, zaś θ parametrem tunelowania. Ponieważ w tlenku jest wiele centrów o zróżnicowanej lokalizacji przestrzennej, zatem ten mechanizm można wiązać z powstawaniem szumów $1/f$ w zakresie od 10^{-6} Hz do 10^{3} Hz.

Z konduktywnością kojarzymy składową fluktuacyjną $\delta\sigma(x,y,z)$. Szumy $1/f$ pochodzące od całej objętości kanału są superpozycją elementarnych szumów g-r związanych z poszczególnymi objętościami elementarnymi $dxdydz$. Mając określone fluktuacje konduktywności możemy określić gęstość widmową mocy (GWM) fluktuacji konduktywności, a następnie GWM fluktuacji prądu drenu i ostatecznie GWM szumów odniesionych do wejścia tranzystora, $S_{UG}(f)$. W najprostszym przypadku zakresu liniowego $S_{UG}(f)$ można określić jako [3]:

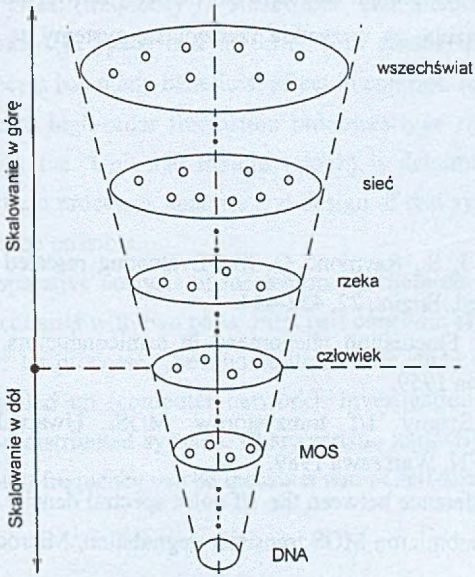
$$S_{UG}(f) = \frac{c}{fWL \ln \frac{\tau_2}{\tau_1}} \tag{19}$$

gdzie c jest stałą, W szerokością kanału, L długością kanału, τ_1 i τ_2 są ekstremalnymi stałymi czasowymi fluktuacji.

Przytoczony opis wskazuje na korelacje pomiędzy samopodobieństwem a stanem inwersji kanału transportującego nośniki prądu. Brak inwersji (zakres przedprogowy) – brak samopodobieństwa, silna inwersja (kanał) – silne samopodobieństwo.

3.2. Sieć komputerowa jako system rozproszony w przestrzeni i czasie

Biorąc pod uwagę rozproszenie procesów w czasie należy uwzględnić specyfikę systemu rozproszonego. Z punktu widzenia czasu odpowiedzi klient–serwer sieć komputerową można postrzegać jako składającą się z trzech warstw: klientów, serwerów oraz węzłów pośredniczących. Każda z wymienionych warstw i cały system posiada swoją specyfikę. Jest ona w głównej mierze uzależniona od intensywności ruchu. Jednakże cechą wspólną wszystkich trzech warstw jest kolejkowanie. Tor klient – serwer jest kaskadą buforów, które wnoszą opóźnienia w bardzo szerokim zakresie. W pierwszym okresie rozwoju sieci intensywność ruchu była niewielka. W związku z tym usprawiedliwione było założenie, iż ruch nie miał cech samopodobieństwa. Oznaczało ono, że procesy nadmiarowe typu $1/f$ nie występują, zaś jakość świadczonych usług jest najwyższa. W kolejnej fazie rozwoju zakwestionowano rozkład Poissona głównie z powodu nieuwzględniania wpływu samopodobieństwa na przepustowość [5]. Jednakże ostatnie badania wykazują, że w przypadku osiągnięcia nasycenia mamy ponownie do czynienia z rozkładem Poissona [6]. W związku z tym przyjmujemy najprostszy model kolejki z pojedynczym kanałem obsługi.



Rys. 2. Skalowanie w dół oraz w górę systemów rozproszonych
Fig. 2. Down scaling and up scaling of distributed systems

Średni czas odpowiedzi serwera na żądanie klienta, $\overline{R}$, jest dany równaniem [7]:

$$\overline{R} = \frac{\frac{1}{\mu}}{1-\rho} \tag{20}$$

gdzie μ jest średnią przepustowością serwera, ρ współczynnikiem wykorzystania serwera.

Superpozycja procesów g-r typu klient-serwer prowadzi do uzyskania liniowej charakterystyki log[(S(f)]=f[log(f)] o nachyleniu równym −1. Gdy $f \to 0$, wykorzystanie serwera $\rho \to 1$, zaś $\overline{R} \to \infty$ oraz $S(f) \to \infty$. Natomiast w przypadku gdy f wzrasta, procesy $1/f$ zanikają, zaś jakość świadczonych usług jest najwyższa [4].

4. Podsumowanie

W pracy wzięto pod uwagę szeroki kontekst specyfiki i cech systemów z punktu widzenia rozproszenia w przestrzeni i czasie. Dokonano oceny ilościowej i jakościowej. Ze względu na heurystyczne cechy metody Hursta sięgnięto do bardziej uniwersalnej metody szumów $1/f$. Analiza i pomiary pokazują, że wszystkie rzeczywiste systemy są rozproszone w czasie i przestrzeni (rys. 2).

LITERATURA

1. Bassingthwaighte J. S., Raymond G. M.: Evaluating rescaled range analysis for time series. Ann. Biomed. Engin., 22, 432-444.
2. Van der Ziel A.: Fluctuation phenomena in semiconductors. Butterworths Scientific Publication. London 1959.
3. Grabowski F.: Szumy 1/f tranzystorów MOS. Uwarunkowania elektryczne i geometryczne. PWN, Warszawa 1989.
4. Grabowski F.: Difference between the 1/f noise spectral density before and after stress as a measure of the submicron MOS transistor degradation. Microelectron.& Reliab., 35(3), 511-528, 1995.
5. Paxon V., Floyd S.: Wide-Area Traffic: The failure of Poisson modeling. IEEE/ACM Transactions on Networking, 3(3), pp. 226-244, 1995.
6. Cao J., Cleveland W. S., Lin D., Sun D.X.: Internet traffic tends to Poisson and independent as the load increases. Journal of the American Statistical Association, (95), pp. 979-985, 2000.

7. Czachórski T.: Modele kolejkowe systemów komputerowych, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 1999.

Recenzent: Dr inż. Dariusz R. Augustyn

Wpłynęło do Redakcji 27 marca 2002 r.

Abstract

All physical systems are distributed in time and in space (human, river, ocean, weather, DNA, MOSFET, stock, computer network). The exponential growth of computer engineering has been caused by, among other combination of scaling down of the MOS transistors and simultaneously scaling up of the processor transistor number, and the computer number in network. First stage of development based on tightly coupled systems (concentrated in space and in time) by shared clock (frequency f), shared bus, and memory. Present systems are loosely coupled (distributed in space and in time) with shared interconnection network. Although the scaling process has many beneficial effect in contrast, interconnection problems become very severe due to high-order fluctuation processes type $1/f$. It is universal fractal property of universe structure. Universe rhythm (clock) is determined by $1/f$ fluctuation. Without understanding these processes analysis and design of real systems and measurement data interpretation cannot be possible.

Paper deal with comparative analysis of measurements methods of high order effects in distributed systems and consists with two parts. First part concerns of Hurst heuristic method, and universal method of $1/f$ processes. Second contains case study of systems scaled down (MOS transistor) and scaled up (computer network). Investigations confirm ubiquity and universal $1/f$ processes in distributed systems. Characteristic $\log[S(f)]=f[\log(f)]$, where $S(f)$ is power spectral density but f frequency can be measurement of self-similarity and QoS.