

UDK 004.042

Şıxəliyev R.H.

AMEA İnformasiya Texnologiyaları İnstitutu, Bakı, Azərbaycan
ramiz@science.az

ŞƏBƏKƏ TRAFİKİNİN MODELƏRİ HAQQINDA

Trafikin modelləşdirilməsi şəbəkənin fəaliyyətini, imkanlarını və ona olan tələbləri qiymətləndirməyə imkan verir. Ədəbiyyatda şəbəkə trafikinin modelləşdirilməsi üçün müxtəlif yanaşmalar təklif edilmişdir. Lakin bütün mövcud şəbəkə növlərinin trafiklərini modelləşdirməyə imkan verən vahid model yoxdur. Buna görə də mövcud şəbəkə trafiki modellərinin xüsusiyyətlərinin analizi, müəyyən şəbəkə arxitekturaları üçün uyğun modellərin seçilməsi və trafikə düzgün modelləşdirilməsi çox vacib məsələdir. Bu məqsədlə məqalədə şəbəkə trafikinin modelləşdirilməsi üçün geniş istifadə edilən bəzi modellərin analizi verilmişdir.

Açar sözlər: *şəbəkə trafiki modelləri, Puasson modeli, Pareto modeli, Veybul modeli, Markov modelləri, ON-OFF modeli, Markov modulyasiya olunmuş Puasson prosesi, Avtoregressiya modeli.*

Giriş

Şəbəkə trafikinin modelləşdirilməsi kompüter şəbəkələrinin (KŞ) məhsuldarlığının idarə edilməsi, QoS-un (*ing. Quality of Service*) təmin edilməsi və s. kimi məsələlərin həlli üçün çox vacibdir.

KŞ-nin məhsuldarlığının idarə edilməsinin məqsədi şəbəkədə gecikmələrin minimallaşdırılması və yüksək etibarlılığın təmin edilməsidir. KŞ-nin məhsuldarlığına təsir göstərən əsas faktorlar: gecikmə, paket itkisi və buraxma qabiliyyətidir. Yüksək məhsuldarlığın təmin edilməsi üçün bu faktorlar analiz edilməlidir. Əsas addımlardan biri şəbəkə trafikinin analizidir. Şəbəkə trafikinin analizi üçün şəbəkə trafiki modeli istifadə edilir. Model şəbəkənin real zamandakı xarakteristikalarını adekvat təsvir etməlidir.

QoS-un təmin edilməsinin məqsədi şəbəkə istifadəçiləri, tətbiqləri və xidmətlərinin tələblərinə uyğun olaraq, etibarlı şəkildə yüksək məhsuldarlığın təmin edilməsidir. QoS-un dəstəklənməsini təmin edən şəbəkələrdə QoS-a təminat razılaşmalar əsasında verilir. Bunun üçün daim QoS-un monitorinqi və qiymətləndirilməsi həyata keçirilir. QoS-a təminat verilməsi üçün şəbəkə trafiki haqqında aydın təsəvvür olmalıdır. Bunun üçün şəbəkə trafiki modeli istifadə edilir.

Yuxarıda göstərilən məsələlərin həll edilməsi üçün şəbəkənin faktiki xarakteristikalarını təsvir və analiz etməyə imkan verən model işlənilməlidir. Şəbəkənin faktiki xarakteristikaları birbaşa şəbəkə trafikinin xarakteristikaları ilə bağlıdır və onların analizi üçün ədəbiyyatda çox sayda müxtəlif şəbəkə trafiki modelləri təklif edilmişdir [1–4]. Lakin müxtəlif arxitekturalar əsasında yaradılmış şəbəkələrin trafiklərinin xarakteristikalarının analizi üçün vahid effektiv şəbəkə trafiki modeli yoxdur. Ona görə də mövcud modellərin xüsusiyyətlərinin öyrənilməsi və mövcud KŞ-lər üçün hansı modelin daha effektiv olmasının müəyyən edilməsi aktual məsələdir.

Məqalənin məqsədi ədəbiyyatda mövcud olan əsas şəbəkə trafiki modellərinin konkret tətbiqi kontekstində xüsusiyyətlərinin tədqiqi və analiz edilməsidir.

Şəbəkə trafiki modelləri

Şəbəkə trafiki diskret şəkildə daxil olan paketlər, kadrlar və s. ardıcılığı kimi modelləşdirilə bilər. Şəbəkə trafikinin modelləşdirilməsinin iki müxtəlif konsepsiyası mövcuddur və bu konsepsiyalar riyazi olaraq aşağıdakı kimi ifadə edilə bilər [2]:

– $\{N(t)\}_{t=0, \dots, \infty}$ – şəbəkə trafikinin toplanması – kəsilməz və tamədədli stoxastik prosesdir, burada $N(t)$ $(0, t]$ zaman intervalında daxil olan paketlərin, kadrların və s. sayını ifadə edir.

$\{A_n\}$ – paketlərin, kadrların və s. daxilolmaları arasındakı zaman intervalları ardıcılığı – mənfi olmayan təsadüfi ardıcılıqdır, burada $A_n = T_n - T_{n-1}$ n və $n - 1$ daxilolmaları arasındakı zaman intervalını göstərir, T_n və T_{n-1} müvafiq olaraq n və $n - 1$ -ci daxilolma anlarıdır. Bu iki proses bir-birilə aşağıdakı düsturla əlaqələndirilir:

$$\{N(t) = n\} = \{T_n \leq t < T_{n-1}\} = \left\{ \sum_{k=1}^n A_k \leq t < \sum_{k=1}^{n+1} A_k \right\}$$

Şəbəkə trafik mürəkkəb xarakterə malik olduqda – şəbəkə trafik paketlər və ya kadrlar seriyasından ibarət olduqda, eyni T_n zaman anında bir neçə paket və ya kadr daxil ola bilər. Bu halda şəbəkə trafik mənfi olmayan, əlavə təsadüfi $\{B_n\}$, ($n = 1 \dots \infty$) ardıcılığının köməyi ilə modelləşdirilə bilər və burada B_n – n -ci seriyanın gücüdür.

Şəbəkə trafikinin modelləşdirilməsi üçün yaxşı məlum olan aşağıdakı modellərdən istifadə edilir [3]:

- Puasson modeli;
- Pareto modeli;
- Veybul modeli;
- Markov modelləri;
- ON-OFF modeli;
- Alternativ vəziyyətlərin yenilənməsi modeli;
- Markov modulyasiya olunmuş Puasson prosesi;
- Avtoregressiya modeli;
- və s.

Puasson modeli

Şəbəkə trafik modelləşdirilən zaman paketlərin daxil olması və birləşmələrin baş verməsi prosesi Puasson prosesi sayılır, çünki bu proses müəyyən zaman xarakteristikalarına malik olur. Analitik cəhətdən sadə olması üçün çox zaman şəbəkələrdə paketlərin, kadrların və s. daxil olmalarını Puasson prosesi kimi modelləşdirirlər.

Puasson prosesində daxilolmalar arasındakı zaman λ intensivliyi ilə eksponensial şəkildə paylanır: $\lambda: P\{A_n \leq t\} = 1 - e^{(-\lambda t)}$. Puasson paylanması o zaman yararlıdır ki, daxilolmalar çoxlu sayda müstəqil mənbələrdən – Puasson mənbələrindən olsun. Paylanma λ parametrinə bərabər olan orta qiymətə və dispersiyaya malikdir. Puasson modelində iki əsas fərziyyə qəbul olunmuşdur:

- mənbələrin sayı sonsuzdur;
- trafik daxilolma xüsusiyyəti təsadüfidir.

Modeldə ehtimalların paylanması və paylanma sıxlığı funksiyaları aşağıdakı kimi ifadə edilir:

$$F(t) = 1 - e^{-\lambda t};$$

$$f(t) = \lambda e^{-\lambda t}.$$

Bəzi tədqiqatlarda paketlərin daxilolmaları arasındakı zaman intervalının eksponensial şəkildə paylanmadığı göstərilir. Məsələn, [5–8]-də təsvir edilən tədqiqatlar göstərdi ki, lokal və qlobal şəbəkələrdə paketlərin daxilolmaları arasındakı zaman intervalının paylanması eksponensial paylanmadan fərqlənir. Buna görə də şəbəkə trafikinin modelləşdirilməsi üçün Puasson prosesindən xarakteristikalarına görə fərqlənən statistik “özünə oxşar” prosesləri istifadə etməyə başladılar [9, 10].

Puasson modelinin əsas çatışmazlıqlarından biri ondan ibarətdir ki, o, verilənləri ötürmə şəbəkəsinin trafikinə xas olan sıçrayışları (*ing. burstness*) müəyyən edə bilmir. Bu onunla izah olunur ki, bu şəbəkələrdə yenilənən şəbəkə trafikində avtokorrelasiya funksiyası sıfıra bərabərdir. Lakin müxtəlif şəbəkə trafik axınları arasında avtokorrelasiyanın müsbət olması şəbəkə trafikində sıçrayışların olmasını göstərir və bu sıçrayışlar müxtəlif zaman miqyaslarında baş verə bilər [11, 12].

Pareto modeli

Pareto paylanması [13] daxilolmalar arası zamanın asılı olmayan və eyni cür paylanmasından ibarətdir. Ümumi halda, əgər X Pareto paylanmasına malik olan təsadüfi kəmiyyətdirsə, onda X -in x qiymətindən böyük olması ehtimalı aşağıdakı kimi verilir:

$P(X > x) = (x/x_m)^{-k}$, bütün $x \geq x_m$ üçün, burada k müsbət ədəddir və x_m X_i -nin mümkün minimal qiymətidir.

Modeldə ehtimalların paylanması və sıxlığı funksiyaları aşağıdakı kimi ifadə edilir:

$$F(t) = 1 - (\alpha/t)^\beta,$$

burada $\alpha, \beta \geq 0$ və $t \geq \alpha$;

$$f(t) = \beta \alpha^\beta t^{-\beta-1},$$

β və α müvafiq olaraq forma və yerləşmə komponentləridir.

Pareto paylanması paket trafikində “özünə oxşar” daxilolmaların modelləşdirilməsinə tətbiq edilir. Pareto paylanması “ağır quyruqlu” prosesdir və ifrat sıçrayışları təsvir edə bilər.

Veybul modeli

Veybul paylanması [14, 15] “ağır quyruqlu” prosesdir [16] və ON/OFF mənbələrinin multiplekslənməsi ilə “özünə oxşar” trafik yaradırlarkən ON və ON/OFF periodları müddətində dəyişməz intensivliyi modelləşdirə bilər. Bu zaman Veybul paylanmasının paylanma və sıxlıq funksiyaları müvafiq olaraq aşağıdakı düsturlarla təyin olunur:

$$F(t) = 1 - e^{-(t/\beta)^\alpha}, t > 0;$$

$$f(t) = \alpha \beta^{-\alpha} t^{\alpha-1} e^{-(t/\beta)^\alpha}, t > 0,$$

burada $\beta \geq 0$ və $\alpha > 0$ müvafiq olaraq miqyas və yerləşmə parametrləridir.

Veybul paylanması normal paylanmaya yaxındır və $\beta \leq 1$ olduqda, paylanmanın sıxlığı L şəkilli, $\beta > 1$ olduqda isə zəngşəkilli olur. Belə paylanma zamandan asılı olaraq imtinaların intensivliyini müəyyən etməyə imkan verir. Belə ki, $\beta \leq 1$ olduqda, zamandan asılı olaraq imtinaların intensivliyi azalır, $\beta = 1$ olduqda isə imtinaların intensivliyi sabit qalır və xidmət vaxtı eksponensial olaraq paylanır.

Markov modelləri

Markov modeli trafik mənbəyinin fəaliyyətinin sonlu sayda vəziyyətlər vasitəsilə modelləşdirilməsi üçün istifadə edilir [17, 18, 19]. Modelin dəqiqliyi istifadə olunan vəziyyətlərin sayından asılı olaraq xətti şəkildə artır. Bununla yanaşı, vəziyyətlərin sayının artmasına mütənəssib olaraq, modelin mürəkkəbliyi artır.

Markov modelinin vacib aspekti Markov xassəsi – Markovluğudur və onu göstərir ki, növbəti (gələcək) vəziyyət yalnız cari vəziyyətdən asılıdır.

Müxtəlif $\{X_n\}$ vəziyyətlərinə uyğun olan təsadüfi ədədlər çoxluğu Diskret Markov Zənciri (ing. *Discrete Markov Chain–DMC*) adlanır. Əgər tədqiq edilən sistemin vəziyyətlərinin keçidləri ancaq $0,1,2,3, \dots, n$ tam qiymətlərdə baş verərsə, onda Markov Zənciri (ing. *Markov Chain–MC*) diskret zaman ardıcılığından ibarət olacaq və təsadüfi X ədədi həndəsi paylanmaya tabe olacaq, əks halda isə təsadüfi X ədədi eksponensial şəkildə paylanacaq.

Sadə Markov trafik modeli ondan ibarətdir ki, hər bir vəziyyətin keçidi şəbəkəyə yeni daxilolma prosesini təsvir edir.

Yarı-Markov modeli vəziyyət keçidləri arasındakı zamanın ehtimalların asılı olmayan paylanmasına tabe olması nəticəsində alınır.

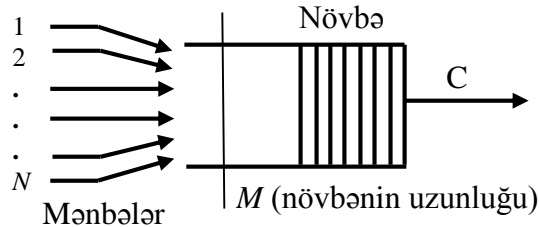
ON-OFF modeli

Hələ 90-cı illərin əvvəllərində [20]-ci işdə müəlliflər sübut etmişdilər ki, IP-trafikinin xarakterinin dəyişməsi miqyaslanan prosesdir və yüksək sıçrayışlara səbəb olur. Nəticədə, bu öz növbəsində növbəliliyə və məhsuldarlığa güclü təsir göstərir.

Şəbəkə trafik elementləri arasında qarşılıqlı əlaqənin, həmçinin şəbəkə trafikinin miqyaslanan xarakterə malik olması onları “sadə” yenilənən proseslər şəklində modelləşdirməyə imkan vermir və ümumi qəbul edilmiş modellərin tətbiqini çətinləşdirir. Bu məsələnin həll edilməsi üçün ON-OFF modelindən istifadə edilir və bu model şəbəkə trafikinin xarakterinin miqyaslanan dəyişməsinə təsvir etməyə imkan verir. Buna görə də [21]-də IP-trafikinin strukturunun analizi, [22]-də isə şəbəkənin və serverin məhsuldarlığının qiymətləndirilməsi üçün ON-OFF modelindən istifadə edilmişdir.

ON-OFF modeli kanal səviyyəsi və təbii səviyyəsi arasında şəbəkə trafik elementlərini dəqiq təsvir etməyə imkan verir. ON-OFF modelində yalnız iki vəziyyətdən – ON və OFF adlanan vəziyyətlərdən istifadə edilir. ON və OFF vəziyyətləri arasında sərf olunan müddət keçid zamanı adlanır və eksponensial qanun üzrə paylanır.

Şəkil 1-də N müxtəlif ON-OFF mənbələri arasında ortaq istifadə olunan növbə/kanal təsvir olunmuşdur. Bu halda ON-OFF modeli üçün mənbələr statistik cəhətdən eyni və asılı olmayan olmalıdır. Mənbə M uzunluqda növbəyə C sabit sürətlə xidmət göstərir. ON-OFF mənbəyi ON vəziyyətində generasiya olunmuş paketlərin/kadrların L orta sayı, mənbənin ON olmasının S pik tezliyi və mənbənin r orta sürəti ilə xarakterizə olunur. Bu faktorlar mənbənin ON və OFF periodlarının orta uzunluğunu müəyyən edir. Mənbənin ON vəziyyətində olması ehtimalı $\gamma = r/S$ düsturu ilə hesablanır.

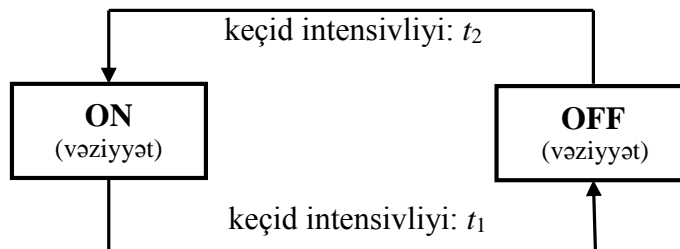


Şəkil 1. N müxtəlif ON-OFF mənbələri arasında ortaq istifadə olunan növbə/kanal modelinin təsviri

ON-OFF periodları eksponensial paylanmır və mənbə MC-nin iki vəziyyətinin köməyi ilə modelləşdirilə bilər. Paketlərin/kadrların generasiyasının orta intensivliyinin birdən çox böyük olması ehtimal olunur, onda $L \gg 1$. Mənbənin ON vəziyyətindən OFF vəziyyətinə və əksinə keçməsi (şəkil 2) aşağıdakı kimi hesablanır:

$$t_1(\text{OFF vəziyyətindən ON vəziyyətinə keçid}): \gamma S / (L(1 - \gamma));$$

$$t_2(\text{ON vəziyyətindən OFF vəziyyətinə keçid}): S / L$$



Şəkil 2. Mənbənin ON vəziyyətindən OFF vəziyyətinə və əksinə keçməsi modeli

Alternativ vəziyyətlərin yenilənməsi modeli

Adi Markov modelinin riyazi cəhətdən əlverişli olmasına baxmayaraq, onun yüksəksürətli şəbəkələrin faktiki trafiklərinin təsvir edilməsi üçün istifadəsi imkanları məhduddur.

Yüksəksürətli şəbəkələrdə paketlər ardıcıl axın şəklində ötürülür, yəni bir paketin daxil olması ilə ardınca digər paketlərin də daxil olması ehtimalı yüksəkdir. Bundan başqa, paketlərin davamlı daxil

olması “ağır quyuqlu” paylanmanın olmasını göstərir. Bu hal alternativ vəziyyətlərin yenilənməsi prosesinə (*ing. Alternating State Renewal Process – ASRP*) [23] uyğun gəlir.

Alternativ vəziyyətlərin yenilənməsi prosesi də ikivəziyyətli prosesdir və şəbəkə trafikinin modelləşdirilməsi üçün istifadə edilir. ON-OFF modelində olduğu kimi, bu modeldə də iki S_1 və S_2 vəziyyətləri vardır, lakin vəziyyətlər arasında ixtiyari şəkildə keçid yoxdur. Trafikin amplitudası S_1 vəziyyətində 0 və S_2 vəziyyətində isə 1-dir. İki vəziyyət arasında keçidlər üçün lazım olan orta vaxt müvafiq olaraq d_1 və d_2 ilə işarə edilir. S_1 və S_2 vəziyyətlərinin hər hansı birində olma ehtimalı müvafiq olaraq $P_{S_1} = d_1/(d_1 + d_2)$ və $P_{S_2} = d_2/(d_1 + d_2)$ düsturları ilə hesablanıla bilər.

Markov modulyasiya olunmuş Puasson prosesi

Markov vasitəsilə modulyasiya olunmuş Puasson prosesi (*ing. Markov Modulated Poisson Process – MMPP*) şəbəkə trafiki modellərinin analizi üçün geniş istifadə edilir [17, 24, 25, 26]. Markov vasitəsilə modulyasiya olunmuş proses (*ing. Markov Modulated Process – MMP*) əlavə Markov prosesi istifadə edir və onun cari vəziyyəti trafik ehtimallarının paylanmasına nəzarət edir. MMPP Markov vasitəsilə modulyasiya olunmuş prosesin növlərindən biridir və istifadə edilən əlavə proses paylanmış Puasson prosesidir. Digər sözlə, MMPP bi-stoxastik prosesdir və Puasson prosesinin intensivliyi MC-nin vəziyyəti ilə təyin edilir.

MMPP modulyasiyaedici MC-dəki vəziyyətlərin sayına görə təsnif olunur. Müxtəlif intensivliyə malik iki vəziyyətdən ibarət olan MC MMPP-2 kimi işarə olunur, həmçinin bəzi hallarda SPP (*ing. Switched Poisson Process*) prosesi adlanır. Lakin MC vəziyyətlərinin intensivliyi eyni olduqda, proses tipik Puasson prosesinə çevrilir.

Avtoregressiya modeli

Avtoregressiya modeli [27] xətti proqnozlaşdırma məsələlərindən biridir və sistemin y_n çıxışının əvvəlki $\{y_k\}$, ($k < n$) çıxışları, x_n və $\{x_k\}$, ($k < n$) girişləri əsasında proqnozlaşdırmasına imkan verir. Proqnozlaşdırmanın hesablanması üsullarındakı müəyyən fərqlərə görə bir neçə model işlənmişdir. Ümumiyyətlə, model ancaq sistemin əvvəlki vəziyyətlərindən asılı olduqda, o, avtoregressiya modelinə aid edilir.

Əgər model ancaq sistemə girişdən asılıdırsa, sürüşən orta model (*ing. Moving Average Model – MAM*) kimi qəbul edilir [28]. Avtoregressiya-sürüşən orta modelində [29] isə sistemin cari çıxışı əvvəlki girişlərdən və çıxışlardan asılıdır. p dərəcəli avtoregressiya modeli $AR(p)$ kimi işarə edilir və aşağıdakı şəkildə ifadə edilir:

$$X_t = R_1 X_{t-1} + R_2 X_{t-2} + \dots + R_p X_{t-p} + W_t,$$

burada, W_t “ağ küy”, R_i ($i = \overline{1, p}$) həqiqi ədəd və X_t isə korrelyasiyanı təyin edən təsadüfi ədədlərdir.

$AR(p)$ prosesinin avto-korrelyasiya funksiyası, modelin həllinin köklərinin qiymətinin həqiqi və ya xəyalı olmasından asılı olaraq sönən sinusoidal dalğalardan ibarət olur. p dərəcəli diskret avtoregressiya modeli (*ing. Discrete Autoregressive Model*) $DAR(p)$ kimi işarə edilir və p dərəcəli $AR(p)$ avtoregressiya modelindəki kimi avtokorrelyasiya strukturuna malik olan, ehtimalın paylanması ilə diskret təsadüfi ədədlərin stasionar ardıcılığını yaradır.

Nəticə

Məqalədə baxılmış şəbəkə trafiki modellərinin hər birinin üstün və çatışmayan cəhətləri vardır. Şəbəkənin arxitekturası və analiz edilən trafik xarakteristikaları şəbəkə trafiki modelinin seçilməsinə ciddi təsir göstərir. Seçilmiş şəbəkə trafiki modeli real şəbəkə trafikinin xarakteristikalarını effektiv şəkildə təsvir etməyə imkan verməlidir. Əks halda, istifadə edilən model şəbəkənin məhsuldarlığının düzgün qiymətləndirilməsinə və QoS-a təminat verə bilməz.

Ədəbiyyat

1. Adas A. Traffic Models in Broadband Networks, *IEEE Communications Magazine*, 1997, vol.35, no.7, pp.82–89.
2. Becchi M. From Poisson Processes to Self-Similarity: a Survey of Network Traffic Models. Technical report, Citeseer, 2008.
3. Chandrasekaran B. Survey of Network Traffic Models. www.cs.wustl.edu/~jain/cse567-06/ftp/traffic_models3.pdf
4. Chen T.M. Network Traffic Modeling. <http://pdfs.semanticscholar.org/5091/e0fb30f8ff50ec47f43affc2bf08fac5dff0.pdf>
5. Jain R., Routhier S. Packet Trains – Measurements and a New Model for Computer Network Traffic // *IEEE JSAC*, 1986, vol.4, no.6, pp.986–995.
6. Gusella R. A Measurement Study of Diskless Workstation Traffic on an Ethernet, *IEEE Transactions on Communications*, 1990, vol.38, no.9, pp.1557–1568.
7. Fowler H., Leland W. Local Area Network Traffic Characteristics, with Implications for Broadband Network Congestion Management, *IEEE JSAC*, 1991, vol.9, no.7, pp.1139–1149.
8. Danzig P., Jamin S., Casares R., Mitzel D., Estrin D. An Empirical Workload Model for Driving Wide-area TCP/IP Network Simulations, *Internet-working: Research and Experience*, 1992, vol.3, no.1, pp.1–26.
9. Leland W., Taqqu M., Willinger W., Wilson D. On the Self-Similar Nature of Ethernet Traffic (Extended Version), *IEEE/ACM Transactions on Networking*, 1994, vol.2, no.1, pp.1–15.
10. Willinger W., Paxson V., Taqqu M.S. Self-similarity and Heavy Tails: Structural Modeling of Network Traffic. In *A Practical Guide to Heavy Tails: Statistical Techniques and Applications*, Adler, R., Feldman, R., and Taqqu, M.S., editors, Birkhauser, 1998.
11. Paxson V., Floyd S. Wide-area Traffic: The Failure of Poisson Modeling, *IEEE/ACM Transactions on Networking*, 1995, pp.226–244.
12. Riedi R.H., Willinger W. Towards an improved understanding of network traffic dynamics. *Self-similar Network Traffic and Performance Evaluation*, Wiley, 2000, chapter 20, pp.507–530.
13. http://en.wikipedia.org/wiki/Pareto_distribution
14. http://en.wikipedia.org/wiki/Weibull_distribution
15. Yannaros N. Weibull renewal processes // *Annals of the Institute of Statistical Mathematics*, 1994, vol.46, no.4, pp 641–648.
16. http://en.wikipedia.org/wiki/Heavy-tailed_distribution
17. Mohammed A.M., Agamy A.F. A Survey on the Common Network Traffic Sources Models // *International Journal of Computer Networks*, 2011, vol.3, no.2, pp.103–115.
18. Hlavacs H., Kotsis G., Steinkellner C. Traffic source modeling. Technical Report No. TR-99101. Institute of Applied Computer Science and Information Systems University of Vienna, 1999.
19. Dainotti A., Pescapé A., Rossi P.S., Palmieri F., Ventre G. Internet traffic modeling by means of Hidden Markov Models, *Computer Networks*, 2008, vol.52, pp.2645–2662.
20. Willinger W., Leland W.E., Taqqu M.S., Wilson D.V. On the self-similar nature of Ethernet traffic. *ACM SIGCOMM*, 1993.
21. Rolland C., Ridoux J., Baynat B. ON/OFF models to capture IP traffic structure, Student Workshop INFOCOM 2006.
22. Barford P., Crovella M. Generating Representative Web Workloads for Network and Server Performance Evaluation, In *Proceedings of the 1998 ACM SIGMETRICS International Conference on Measurement and Modeling of Computer Systems*, 1998, pp.151–160.
23. Osaki S. Applied Stochastic System Modeling, *Business & Economics*, 2012, 269 p.
24. Li B., De Moor B. Information measure based stochastic system identification of ATM network traffic, In *Proceedings of the IEEE International Conference on Acoustics, Speech, and Signal* 1999, vol.5, pp.2683–2686.

25. Muscariello L., Mellia M., Meo M., Marsana M.A., Lo Cigno R. Markov models of internet traffic and a new hierarchical MMPP model // Computer Communications, 2005, vol.28, no.16, pp.1835–1851.
26. Scott S.L., Smyth P. The Markov Modulated Poisson Process and Markov Poisson Cascade with Applications to Web Traffic Modeling: www.datalab.uci.edu/papers/ScottSmythV7.pdf
27. Autoregressive Models. [www2.stat.duke.edu/~km68/materials/214.8%20\(ARp\).pdf](http://www2.stat.duke.edu/~km68/materials/214.8%20(ARp).pdf)
28. Moving average models. www.otexts.org/fpp/8/4
29. Alonso A.M. Garc'ia-Martos C. Time Series Analysis: Autoregressive, MA and ARMA processes. www.etsii.upm.es/ingor/estadistica/Carol/TSAtema4petten.pdf

УДК 004.042

Шыхалиев Рамиз Г.

Институт Информационных Технологий НАНА, Баку, Азербайджан

ramiz@science.az

О моделях сетевого трафика

Моделирование трафика позволяет оценить функционирование и возможности сети, а также требования, предъявляемые к ним. В литературе были предложены различные подходы к моделированию сетевого трафика. Однако нет единой модели, которая могла бы моделировать трафики всех существующих типов сетей. Таким образом, анализ характеристик существующих моделей сетевого трафика, выбор подходящих моделей для определенных сетевых архитектур и правильное моделирование трафика является очень важной задачей. В статье анализируются некоторые широко используемые модели сетевого трафика.

Ключевые слова: модели сетевого трафика, модель Пуассона, модель Парето, модель Вейбулла, модели Маркова, модель ON-OFF, Марковски модулированный пуассоновский процесс, авторегрессионная модель.

Ramiz H. Shikhaliyev

Institute of Information Technology of ANAS, Baku, Azerbaijan

ramiz@science.az

About network traffic models

Traffic modeling allows evaluating the functioning and capabilities of the network, as well as the requirements presented to them. The literature provides various approaches for simulating the network traffic. However, there is no single model that would simulate the traffic of all existing networks. Thus, the analysis of the characteristics of existing network traffic models, the selection of suitable models for certain network architectures, and the correct traffic modeling are very important issues. The article analyzes some widely used network traffic models.

Keywords: network traffic models, Poisson model, Pareto model, Weibull model, Markov model, ON-OFF model, Markov modulated Poisson process, Autoregressive model.