

UOT 621. 39.

ÇOXXİDMƏTLİ TELEKOMMUNİKASIYA ŞƏBƏKƏLƏRİNİN BURAXMA QABİLİYYƏTİNİN GÖSTƏRİCİLƏRİNİN TƏHLİLİ VƏ TƏDQIQI

İbrahimov B.Q., Məmmədova F.V.

*Azərbaycan Texniki Universiteti
AZ1073, Bakı şəh., H.Cavid pr., 25
Azərbaycan Dövlət Dəniz Akademiyası
AZ1000, Bakı şəh., Z.Əliyeva küç.,18
E-mail: i.bayram@mail.ru, faxranda.mammadova@mail.ru*

Xülasə. Yeni NGN (Next Generation Network) və gələcək FN (Future Network) nəsil rabitə şəbəkələrinin arxitektura konsepsiyaları bazasında innovativ texnologiyalardan istifadə etməklə çoxxidmətli telekommunikasiya şəbəkələrinin işləmə effektivliyi analiz edilmişdir. Bu məqalədə multimedia xidmətlərinin dəstəklənməsi üçün innovativ texnologiyaların bazasında çoxxidmətli telekommunikasiya şəbəkələrinin maksimum buraxma qabiliyyətinin göstəricilərinin məsələlərinə baxılmışdır. Məlumat mənbələrinin informativ xarakteristikaları nəzərə alınmaqla buraxma qabiliyyətinin göstəriciləri tədqiq edilmişdir. Aparat-proqram komplekslərindən istifadə etməklə

mənbənin məhsuldarlığını, informasiya effektivliyi və buraxma qabiliyyətinin göstəricilərini qiymətləndirmək üçün analitik ifadələr alınmışdır.

Abstract. *The efficiency functioning of multiservice telecommunication networks, built in accordance with the architectural concept of NGN and FN, using innovative technologies is analyzed. This paper discusses the tasks studying the indicators of the maximum throughput of multiservice telecommunication networks based on innovative technologies for the provision multimedia services. The indicators of the transmission capacity communication networks, taking into account the informative characteristics information sources, have been investigated. Analytical expressions are obtained for assessing the performance indicators of the source, information efficiency and system throughput using hardware-software systems.*

Аннотация. *Проанализирована эффективность функционирования мультисервисных телекоммуникационных сетей, построенных в соответствии с архитектурной концепцией NGN и FN, использующие инновационные технологии. В данной работе рассматриваются задачи исследования показателей максимальной пропускной способности мультисервисных телекоммуникационных сетей на базе инновационных технологии для оказания мультимедийных услуг. Исследованы показатели пропускных способностей сетей связи с учетом информативных характеристик источников информации. Получены аналитические выражения для оценки показателей производительности источника, информационной эффективности и пропускных способностей системы с использованием аппаратно-программных комплексов.*

Açar sözlər: *çoxxidmətli rabitə şəbəkələri, informasiya mənbəyi, multimedia xidməti, innovativ texnologiya, buraxma qabiliyyəti, informasiya effektivliyi*

Key words: *multiservice communication networks, information source, multimedia service, innovative technologies, throughput, information efficiency*

Ключевые слова: *мультисервисные сети связи, источник информации, мультимедийная услуга, инновационные технологии, пропускная способность, информационная эффективность*

Giriş. Perspektiv və innovativ texnologiyalar hesabına faydalı və xidməti trafiklərin həcmnin daima yüksəlməsi, xidmət sferasında istifadəçilərin multimediya xidmətlərinə artan tələbatı yüksək buraxma qabiliyyətinə malik çoxxidmətli telekommunikasiya şəbəkələrinin yeni prinsiplərdə qurulmasını tələb edir.

Çoxxidmətli telekommunikasiya şəbəkələri və rabitə sistemlərinin buraxma qabiliyyəti dedikdə, vahid zamanda ötürülə biləcək faydalı və xidməti trafiklərin maksimum miqdarı başa düşülür, yəni maksimum veriliş sürəti nəzərdə tutulur və ya maksimum veriliş sürəti kimi qəbul edilir.

Məlumdur ki, innovativ texnologiyalar bazasında çoxxidmətli telekommunikasiya şəbəkələri və sistemləri müxtəlif tipli məlumatların bir ünvandan digər ünvana rabitə elementləri, vasitələri, qurğuları və virtual aralıqlardan istifadə etməklə başqa bir ünvana ötürülməsini təmin edən texniki bir kompleksdir.

Dördüncü sənaye inqilabının (The Fourth Industrial Revolution), yeni NGN (Next Generation Network) və gələcək nəsil FN (Future Network) şəbəkələrin arxitektura konsepsiyaları bazasında fəaliyyət göstərən xüsusi təyinatlı çoxxidmətli rabitə şəbəkələri üçün innovativ texnologiyalar dedikdə aşağıdakı texnologiyalar nəzərdə tutulur [1, 2]:

- SDN (Software Defined Networking), NFV (Network Functions Virtualization), IMS (Internet Protocol Multimedia Subsystem) və paylanmış şəbəkələrinin qurulması texnologiyaları;
- Optik WDM&DWDM (Wavelength Division Multiplexing & Dense WDM) texnologiyaları;
- Mobil texnologiyaları LTE (Long Term Evolution), UMTS (Universal Mobile Telecommunications System), texnologiyalar ailəsi – yeni radio NR (New Radio) və 5G/IMT-2020;
- IoT (Internet of Things), sənaye interneti və geolokasiya texnologiyası (GT);
- Bulud hesablama texnologiyası (CC), böyük verilənlərin texnologiyası (İDC) və Big data;

- Süni intellekt metodları və vasitələri, nanotexnologiya, informasiya təhlükəsizliyi və kvant texnologiyası.

Baxılan işlərdə [2,3], telekommunikasiya şəbəkələrində və sistemlərində istifadə olunan rabitə kanallarının, aparat-proqram komplekslərinin və terminal qurğularının buraxma qabiliyyətinin əsas göstəriciləri təhlil edilmişdir. Eyni zamanda, bu ədəbiyyatlarda [4-7] isə, maneə mənbələri nəzərə alınmaqla, çoxxidmətli rabitə şəbəkələrinin buraxma qabiliyyəti geniş tədqiq edilmiş və onların çatışmayan cəhətləri aşkar edilmişdir.

Bizim məqaləmiz isə yeni və perspektivli İKT texnologiyalarının imkanlarından istifadə etməklə çoxxidmətli telekommunikasiya şəbəkələrinin maksimum buraxma qabiliyyətinin göstəricilərinin təhlili və tədqiqinə həsr edilmişdir.

Ümumi məsələnin qoyuluşu. Uzun müddət aparılmış təhlillər və tədqiqatlar göstərir ki, çoxxidmətli telekommunikasiya şəbəkələrinin maksimum buraxma qabiliyyəti istifadə olunan rabitə kanallarının tezlik zolağının eni ΔF_k , modulyasiya və kodlama sxemindən K_{mk} , signal-maneə nisbətindən $SNR(E_b, N_0)$ təşkil olunmuş spektral kanalların sayından N_k və maneə mənbələrinin $M_m(t)$ təsirdən asılıdır. Bu asılılığı funksional olaraq aşağıdakı kimi yazmaq olar:

$$C_{\max} = W[\Delta F_k, SNR(E_b, N_0), K_{mk}, M_m(t), N_k] \quad (1)$$

Burada $SNR(E_b, N_0)$ - spektral rabitə kanallarının çıxışında olan signal-maneə nisbəti (Signal to Noise Rate) hesab edilir və maneənin gücünün spektral sıxlığından N_0 və bir bit informasiyanın ötürülməsinə sərf olunan enerji miqdarından E_b asılıdır. Sonuncu, diskret rabitə sistemlərində belə təyin edilir [5, 6]:

$$E_b = \frac{E_0}{R_k \cdot \log_2 m} \quad R_k < 1 \quad (2)$$

Burada E_0 – ötürülən signalın enerjisi olub, $E_0 = P_s \cdot T$, P_s – faydalı signalın gücü, T - çox mövqeli signalın davam etmə müddəti; R_k – istifadə olunan maneəyədavamlı kodun sürəti və $R_k = (k/n) < 1$, n və k – məlumat mübadiləsi zamanı ümumi və informasiya kod simvollarının sayıdır və $n = k + r$, r – sistemdə maneəyədavamlı kodun yoxlayıcı simvollarının sayı hesab olunur; N_0 – maneənin gücünün spektral sıxlığıdır və belə təyin olunur: $N_0 = P_m / \Delta F_k$, V_t/H_s , P_m – maneə mənbəyinin gücü, V_t .

Baxılması üçün irəli sürülmüş (1) və (2) ifadələri çoxxidmətli telekommunikasiya şəbəkələrində maksimum buraxma qabiliyyəti, K. Şennonun fikrincə, ilkin parametrlər toplusu hesab edilir. Eyni zamanda, (1) ifadəsi maksimum buraxma qabiliyyətinin ilkin və vacib göstəricilərini xarakterizə edir.

Maksimum buraxma qabiliyyəti və mənbənin entropiyası. Fasiləsiz və diskret çoxkanallı sistemlər üçün maksimum buraxma qabiliyyəti çoxxidmətli telekommunikasiya şəbəkələrinin kəmiyyət göstəricisi olub, K.Şennonun informasiya nəzəriyyəsinə görə belə təyin olunur [6, 7]:

$$C_{\max} = \Delta F_k \cdot \log_2 \left(1 + \frac{P_s}{N_0 \cdot \Delta F} \right), \quad \text{bit/s} \quad (3)$$

Bu ifadə Şennon düsturu hesab olunur və şəbəkənin buraxma qabiliyyəti onun tezlik zolağının eni ΔF_k və rabitə kanalının çıxışında olan signal-maneə nisbətindən asılıdır.

Təhli edilən işlərin birindən [--] aydın olur ki, şəbəkədə maksimum buraxma qabiliyyəti eyni zamanda bitə görə veriliş V_b və modulyasiya sürətlərindən B_m , həmçinin ötürülən və emal edilən məlumatların sıxma əmsalından K_s çox asılıdır. Yəni,

$$C_{\max} = E[V_b, K_s, B_m, H(A)], \quad H(A) = [I(a, n) / n] \quad (4)$$

Burada $H(A)$ – mənbənin entropiyası olub, K.Şennonun yekun ifadəsini nəzərə almaqla n – simvollarıdan ibarət olan hal üçün aşağıdakı kimi yazılır [6]:

$$H(A) = -\lim_{n \rightarrow \infty} \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{m^n} p(a_i^{[n]}) \cdot \log_b p(a_i^{[n]}) \geq 0, \quad i = \overline{1, m}, \quad (5)$$

Burada $p(a_i)$ – mənbədən i – saylı simvolların ötürülmə ehtimalı; m – istifadə olunan alifbalarda simvolların sayıdır; $I(a, n)$ – mənbədən ötürülən məlumatda informasiya miqdarı olub, ötürülən məlumatın ehtimalından $p(a_i)$ asılı olaraq fəzilsiz funksiya hesab olunur,

$$I(a, n) = f[p(a_i)] \text{ və } I(a) = -\log_b p(a_i) \geq 0$$

Diskret ikili sistemlər üçün $b = 2$ və n simvollarıdan təşkil olunmuş mənbə üçün belə təyin edilir:

$$I(a, n) = -n \cdot \sum_{i=1}^m p(a_i) \cdot \log_2 [p(a_i)] \geq 0, \quad b = 2, \text{ bit}, \quad i = \{1, \dots, m\}, \quad (6)$$

İnformasiya mənbəsinin informativ xarakteristikası olan (5) ifadəsi istənilən fəzilsiz və diskret təsadüfi proseslərin riyazi gözləməsini təyin edir.

Təklif olunan (5) və (6) ifadələri sürət və informativ xarakteristikalar baxımından şəbəkənin maksimum buraxma qabiliyyətinin göstəricilərini təyin edir.

Multimediyalı xidmətlərin yerinə yetirilməsi zamanı çoxxidmətli şəbəkələrin effektivliyinin göstəricilərini geniş aspektdə qiymətləndirmək üçün sistemli analiz prinsiplərindən və şəbəkə texnologiyalarından geniş istifadə olunur. Sistemli yanaşmanın prinsipi – telekommunikasiyada sistemə bir tədqiqat obyekti kimi baxılaraq, onun mürəkkəbliyi, elementləri arasında əlaqə, xüsusiyyətlərinin analizinə və tədqiqinə əsaslanır [6, 7, 8]. Bir növ şəbəkəyə bütöv texniki vasitələrin, aparat-proqram komplekslərin və terminal qurğuların toplusu kimi baxılır. Əsas xüsusiyyət isə xidmət sferasında çoxxidmətli telekommunikasiya şəbəkələrinin tamlılığı hesab olunur. Bu isə sistemin effektiv fəaliyyətinə ciddi təsir edən faktorlardan hesab olunur [8, 9, 10].

Çoxxidmətli telekommunikasiya şəbəkələrinin effektivliyi. Qoyulan məsələni tədqiq etməmişdən öncə şəbəkənin aparat-proqram komplekslərinin, terminal qurğuların və rabitə kanallarının məhsuldarlığını nəzərdən keçirək. Şəbəkələrin məhsuldarlığı seçilmiş maneəyədavamlı kodun parametrlərin $G(x, n) = [n, k, d, r]$ asılı olaraq belə ifadə oluna bilər:

$$V_b = \frac{k}{k+r} \cdot \frac{\log_2 m}{B_m^{-1}}, \quad \text{bit/s}, \quad (7)$$

Burada n, k, r – istifadə olunan kodlarda ümumi, informasiya və yoxlayıcı kod elementlərin sayı, d – kod məsafəsi hesab olunur; m – kodun əsası; B_m – istifadə olunan modulyasiya sxeminin modulyasiya sürəti, B_{od} və $B_m = 1/\tau_0$, τ_0 – impulsun davam etmə müddətidir.

Çoxxidmətli telekommunikasiya şəbəkələrində informasiya effektivliyi aparat-proqram komplekslərinin, terminal qurğuların və innovativ texnologiyaların resurslarının hesabına yerinə yetirilən multimedia xidmətlərinin sayı L_m nəzərə alınmaqla, informasiya effektivliyi aşağıdakı kimi təyin olunur:

$$I_{IE}(V_b) = \left[\frac{k}{k+r} \cdot \frac{\log_2 m}{B_m^{-1}} \right] \cdot [L_m \cdot \Delta F_k \cdot \log_2 (1 + SNR(E_b, N_0))]^{-1} \leq 1, \quad (8)$$

Alınmış (8) ifadəsi telekommunikasiya şəbəkələrində veriliş sürətinin nə dərəcədə sistemin maksimum buraxma qabiliyyətinə yaxınlaşdığını göstərir və bütövlükdə isə sistemin buraxma qabiliyyətindən istifadə olunmanı xarakterizə edir.

Eyni zamanda, təklif olunmuş (8) ifadəsindən görünür ki, $I_{IE}(V_b)$ həmişə aşağıdakı bərabərsizlik ödənməlidir:

$$0 \leq I_{IE}(V_b) \leq C_{\max}, \quad 0 \leq 0 \leq I_{IE}(V_b) \leq 1 \quad (9)$$

Əgər (8) ifadəsində informasiya effektivliyi $I_{IE}(V_b) \rightarrow 1$ yaxınlaşarsa, çoxxidmətli telekommunikasiya şəbəkələrini mükəmməl veriliş sistemi hesab edilir, (8) və (9) ifadələrində bu zaman signal maneə-nisbəti $SNR(E_b, N_0)$ təyinedici xarakterli olub, informasiya resursları və bitə görə səhv ehtimalı baxımından mühüm əhəmiyyət kəsb edir.

İnformativ xarakteristikalara görə maksimum buraxma qabiliyyətinin tədqiqi. İlkin olaraq, diskret mənbələr üçün şəbəkənin məhsuldarlığına baxaq. Bu hal üçün mənbənin məhsuldarlığı – vahid zamanda generasiya etdiyi orta informasiya miqdarı başa düşülür və belə qiymətləndirilir:

$$G_{dm}(A) = \frac{1}{T} \cdot \sum_{i=1}^m p(a_i) \cdot \log_2[1/p(a_i)] \quad , a_i \in A \quad (10)$$

Burada T- bir diskret simvolun ötürülməsi müddətidir.

Məlumat mübadiləsi zamanı diskret kanalların veriliş sürəti isə belə müəyyən edilir:

$$V_{dk} = V_{ks} \cdot H(A), \text{ bit/s} \quad , a_i \in A \quad (11)$$

Burada V_{ks} – elektrik kod signalının veriliş sürəti.

Diskret rabitə kanalların buraxma qabiliyyəti isə kanalın maksimum veriliş sürəti hesab olunur və maneələr olmadığı halda aşağıdakı kimi təyin edilir:

$$C_{\max} = \max[V_{ks} \cdot H(A)] = V_{ks} \max[H(A)] \quad , a_i \in A \quad (12)$$

Sonuncu (10), (11) və (12) ifadələri veriliş sürətləri və informative xarakteristikaları nəzərə alınmaqla çoxxidmətli telekommunikasiya şəbəkələrin buraxma qabiliyyətinin göstəricilərini təhlil etməyə imkan verən analitik düsturlar hesab edilir. Burada vacib xarakteristika, mənbənin entropiyası hesab olunur və stasionar məlumat mənbələri üçün aşağıdakı şərt ödənilməlidir:

$$H(A) \leq \log_b m = H_{\max}(A) \quad , a_i \in A, \quad (13)$$

Təhlil üçün alınmış (10),..., (13) ifadələri geniş və tam şəbəkənin göstəricilərini tədqiq etmək üçün qarşılıqlı əlaqəli informativ xarakteristikaları nəzərə almaqla diskret rabitə elementləri və aparat-proqram komplekslərin buraxma qabiliyyətinin sintezini tələb edir.

Rabitə elementləri və aparat-proqram komplekslərin buraxma qabiliyyəti. Çoxxidmətli telekommunikasiya şəbəkələrinin rabitə elementləri, vasitələri, qurğuları və virtual aralıqlardan istifadə etməklə məlumat mübadiləsi yerinə yetirilən zaman mühüm əhəmiyyət kəsb edən tədqiqat obyektlərindən biridə aparat-proqram komplekslərinin buraxma qabiliyyətinin əsas göstəriciləri hesab olunur. Bu idarəedici funksional bloklar SDN, NFN IMS texnologiyaları bazasında Open Flow protokolundan istifadə etməklə kommutatorlar və kontrollerlər hesab olunur [3, 7].

Hesab edilir ki, tədqiq edilən idarəedici funksional bloklar - fiziki mühit-fiziki aralıq kimi fəaliyyət göstərir və onun girişinə mənbədən $x(t, b_i)$ faydalı signalı daxil olur və çıxışda beləbir yekun signal alınır:

$$y(t, b_i) = x(t, b_i) + M_m(t), \quad (14)$$

Sonuncu (14) ifadəsini və mənbənin şərti ehtimalını $p(x|y)$ nəzərə almaqla, (5) və (6) ifadələrinə uyğun olaraq diskret mənbənin informasiya miqdarını və entropiyasını təyin edək [6]:

$$I(x|y, n) = -\log_b p(x|y) \geq 0 \quad , \quad (15)$$

$$H(x|y) = -\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n p(x_i, y_j) \log_b p(x_i, y_j) \geq 0 \quad , \quad (16)$$

Maneə mənbələrinin təsirlərini $M_m(t)$, şərti informasiya miqdarını (15) və şərti entropiyayı (16) nəzərə almaqla, rabitə elementləri və aparat-proqram komplekslərin maksimum buraxma qabiliyyətini aşağıdakı kimi təyin etmək olar:

$$C_{\max}^{apk} = \max_{p(x)} I(x|y, n) \quad , \quad C_{\max}^{apk} = \max_{p(x)} [H(y) - H(y|x)] \quad (17)$$

Əgər mənbədən rabitə elementləri və aparat-proqram komplekslərinin girişinə daxil olan simvolların daxil olma ehtimalları bərabər olarsa $p(x_i) = p(y_i) = p$ onda şəbəkə maksimum buraxma qabiliyyətinə nail olar. Sadə halda belə təyin olunur:

$$C_{\max}^{apk} = \log_b m + p \log_b \frac{p}{m-1} + (1-p) \log_b (1-p) \quad (18)$$

Sonuncu (15), (18) düsturları informativ parametrlər nəzərə alınmaqla təyin olunmuş analitik ifadələri olub, geniş spektrdə rabitə elementlərin və aparat-proqram komplekslərin maksimum buraxma qabiliyyətinin analizini və tədqiqini tələb edir.

Nəticə. Yeni NGN və gələcək FN nəslin arxitektura konsepsiyaları bazasında çoxxidmətli telekommunikasiya şəbəkələrinin işləmə rejimləri və effektivlik göstəriciləri geniş aspektdə təhlil edilmiş, buraxma qabiliyyətinin əsas kriteriyaları seçilmiş və əsaslandırılmışdır.

Təhlillər nəticəsində çoxxidmətli telekommunikasiya şəbəkələrinin effektivliyinə baxılmış və maneəyədavamlı kodlamanın parametrləri nəzərə alınmaqla informasiya effektivliyi, informasiya veriliş sürəti və mənbənin məhsuldarlığının qiymətləndirilməsi üçün analitik ifadələr alınmışdır.

Ədəbiyyat

1. İbrahimov, B.Q. “Elektrik rabitə nəzəriyyəsi”. Ali məktəblər üçün dərslik / B.Q.İbrahimov. – Bakı: AzTU, – 2016. – 382 s.
2. Ефимушкин, В.А. Роль технологий SDN/NFV в инфраструктуре цифровой экономики. Опыт тестирования и внедрения / В.А.Ефимушкин, Т.В.Ледовских, А.Б.Иванов, В.А.Шалагинов // Электросвязь, – Москва: –2018, №3.– с.27 – 36.
3. Ibrahimov, B.G. Analysis performance indicators network multiservice infrastructure using innovative technologies/ B.G.Ibrahimov, M.B.Namazov, M.N.Quliev // Proceedings of the 7-th International Conference on Control and Optimization with Industrial Applications, -Baku: - 2020. Vol. II.- p.176-178.
4. Кловский, Д.Д. Теория электрической связи. Учебник для вузов / Кловский Д.Д, Зюко А.Г., Коржик В.И., Назаров М.В. – Москва: Радио и связь, – 1999. – 432 с.
5. Ибрагимов, Б.Г. Анализ вероятностно-временных характеристик сетей NGN/IMS при установлении мультимедийной сессии / Б.Г.Ибрагимов, А.Г.Гасанов, Р.Ф.Ибрагимов // Вестник компьютерных и информационных технологии, - Москва: - 2016, № 2, - с.40 – 45.
6. Шеннон, К. Работы по теории информации и кибернетике / К.Шеннон. – Москва: ИЛ, – 1963. – 829 с.
7. İbrahimov, B.Q. “Telekommunikasiya sistemlərinin yeni və gələcək nəsil rabitə şəbəkələrinin arxitektura konsepsiyası bazasında rəqəmli iqtisadiyyata keçid modelinin işlənməsi // Telekommunikasiyada innovativ texnologiyalar” mövzusunda Beynəlxalq ETK materialları,- Bakı: - 4-6 dekabr, - 2019. – s.18-24.

Məqalə qəbul olunub: 07.04.2021
Təvsiyə ediblər: t.e.d., prof. A.M.Qafarov