

Институт системы управления НАНА

На правах рукописи

Джафар-заде Туран Ильгар гызы

**АНАЛИЗ СИСТЕМ МАССОВОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ СО
СКАЧКООБРАЗНЫМИ ПРИОРИТЕТАМИ**

**Специальность: 3338.01 – Системный анализ, управление и
обработка информации**

АВТОРЕФЕРАТ

**диссертации на соискание научной степени доктора философии
по техническим наукам**

БАКУ-2017

**Azərbaycan Milli Elmlər Akademiyasının İdarəetmə Sistemləri
İnstitutu**

Əlyazması hüququnda

CƏFƏR-ZADƏ TURAN İLQAR QIZI

**SIÇRAYIŞLI PRİORİTETLƏRİ OLAN KÜTLƏVİ XİDMƏT
SİSTEMLƏRİNİN ANALİZİ**

**İxtisas: 3338.01 – Sistemli analiz, idarəetmə və informasiyanın
işlənməsi**

**Texnika üzrə fəlsəfə doktoru elmi dərəcəsi
almaq üçün təqdim olunmuş dissertasiyanın**

A V T O R E F E R A T I

BAKI -2017

Dissertasiya işi Azərbaycan Milli Aviasiya Akademiyasında yerinə yetirilmişdir.

Elmi rəhbər:

Azərbaycan MEA-nın müxbir üzvü,
texnika elmləri doktoru, professor

A.Z.

MƏLİKOV

Rəsmi aponentlər:

AMEA-nın müxbir üzvü,
texnika elmləri doktoru, professor

M.H.

Məmmədova

Texnika elmləri doktoru, dosent

İ.M. Əliyev

Aparıcı müəssisə:

Bakı Dövlət Universitetinin “İnformasiya texnologiyaları və
Programlaşdırma” kafedrası

Dissertasiya işinin müdafiəsi 2017-ci il iyun ayının 16-da saat 16:00-
da AZ1141, Bakı şəh. B.Vahab-zadə, 9 ünvanında yerləşən AMEA
İdarəetmə Sistemləri İnstitutu nəzdindəki D 01.121 dissertasiya
şurasının iclasında olacaq.

Dissertasiya işi ilə AMEA-nın İdarəetmə Sistemləri İnstitutunun
kitabxanasında tanış olmaq olar.

Avtoreferat 2017-ci il may ayının 13-də göndərilmişdir.

**D 01.121 Dissertasiya Şurasının
elmi katibi**

r.ü.f.d.. dos. Ə.R.Paşayev

İŞİN ÜMUMİ XARAKTERİSTİKASI

Mövzunun aktuallığı. Müxtəlif tipli sorğuları olan kütləvi xidmət sistemləri (KXS) riyazi teletrafik nəzəriyyəsinin əsas tədqiqat obyektləridir. Bu onunla izah olunur ki, bu tipli sistemlər müasir multiserverli kompüter-kommunikasiya şəbəkələrində müxtəlif tipli sorğuların emalı proseslərinin adekvat riyazi modelləri qismində çıxış edə bilirlər. Bir qayda olaraq, qeyd olunan şəbəkələrdə real və qeyri-real zamanlı trafiklərin xidmətin keyfiyyət göstəricilərinə qoyduğu tələblər müxtəlif olur. Müxtəlif tipli paketlərin xidmətin keyfiyyət (Quality of Service, QoS) göstəricilərinə qoyduğu tələblərin ödənilməsi üçün ən əlverişli üsul prioritetlərdən istifadə etməkdir.

Qeyd etmək lazımdır ki, statik prioritetli sistemlərdə aşağı prioritetə sahib olan sorğuların növbədə uzun müddət gözləməsi tez-tez baş verir. Bu problem yüksək prioritetli sorğuların yüklənmə parametrlərinin aşağı prioritetli sorğuların uyğun parametrlərindən böyük olduğu sistemlərdə daha aktualdır. Göstərilən problemin həllinin səmərəli yolu sıçrayışlı prioritetlərin (Jump Priority, JP) daxil edilməsidir. Bu prioritetlərdən istifadə edildikdə aşağı prioritetli sorğular sistemin vəziyyətindən və ya onların növbədə gözləməsi müddətindən asılı olaraq yüksək prioritetli sorğuya çevrilə bilər. Lakin bu zaman yüksək prioritetli sorğuların növbədə gözləmə zamanı arta bilər və buna görə sıçrayışlı prioritetlər daxil edilərkən yüksək prioritetli sorğuların növbədə gözləmə zamanının yuxarı sərhədlərini müəyyən etmək vacibdir.

Mövcud ədəbiyyatda yalnız sonsuz buferi olan kütləvi xidmət sistemlərində sıçrayışlı prioritetlər tədqiq olunmuşdur. Lakin bu tip sistemlər real kompüter-kommunikasiya şəbəkələri üçün adekvat modellər kimi istifadə oluna bilməzlər, çünki real sistemlərdə müxtəlif tipli paketlərin saxlanması üçün olan buferlər məhdud ölçüyə malikdirlər.

Ədəbiyyat analizi göstərdi ki, sonlu buferi olan kütləvi xidmət sistemlərində sıçrayışlı prioritetlər tədqiq olunmamışdır. Dissertasiya işində ilk dəfə sonlu buferi olan kütləvi xidmət sistemlərində vəziyyətdən asılı olan sıçrayışlı prioritetlər daxil edilmiş və bu sistemlərdə QoS göstəricilərinin hesablanması üçün dəqiq və təqribi üsullar yaradılmışdır.

Dissertasiya işinin məqsədi. Dissertasiya işinin əsas məqsədi sıçrayışlı prioritetlər daxil edilmiş xidmət sistemlərindəki buferlərin təşkil olunması sxemlərindən asılı olaraq QoS göstəricilərinin hesablanması və

yaxşılaşdırılması üçün üsullar və bu üsulların əsasında uyğun alqoritmlər təklif etməkdir.

İşin predmeti və obyektı. Dissertasiya işinin obyektı olaraq teletrafik nəzəriyyəsinin müxtəlif tipli sorğulara xidmət edən vahid kanallı sistemləri nəzərdə tutulmuşdur.

İşin predmeti olaraq sistemin keyfiyyət göstəricilərinin tapılmasına və yaxşılaşdırılmasına yönləndirilmiş sorğuların optimal şəkildə xidmət olunma prosesinin təşkil olunması nəzərdə tutulmuşdur

Tədqiqat üsulları. Qoyulan məqsədə çatmaq üçün kompüter-kommunikasiya sistemləri nəzəriyyəsindən, kütləvi xidmət nəzəriyyəsindən, riyazi teletrafik nəzəriyyəsindən, qraflar nəzəriyyəsindən, Markov proseslərindən və ədədi üsullardan istifadə edilmişdir.

Elmi yeniliklər. Dissertasiya işində təqdim olunan elmi yeniliklər aşağıdakılardır:

1. Sübut olunmuşdur ki, kompüter-kommunikasiya şəbəkələrində real və qeyri-real zamanlı sorğulara xidmət proseslərinin QoS göstəricilərinə qoyulan tələbləri ödəmək üçün sıçrayışlı prioritetlərdən istifadə etmək daha məqsədəuyğundur.

2. Vəziyyətdən asılı sıçrayışlı prioritetləri olan KXS modelləri təklif olunmuşdur. Göstərilmişdir ki, bu tip modellər ikiölçülü Markov zəncirləri ilə təsvir olunurlar.

3. Təklif olunan bütün KXS modellərində QoS göstəricilərinin dəqiq qiymətlərini hesablamaq üçün balans tənlikləri sistemləri tapılmışdır. Qeyd olunmuşdur ki, balans tənliklərinə əsaslanan üsul yalnız kiçik və orta ölçülü modellərdə əlverişlidir və böyük ölçülü modellərdə onlardan istifadə edilməsi mümkün deyildir.

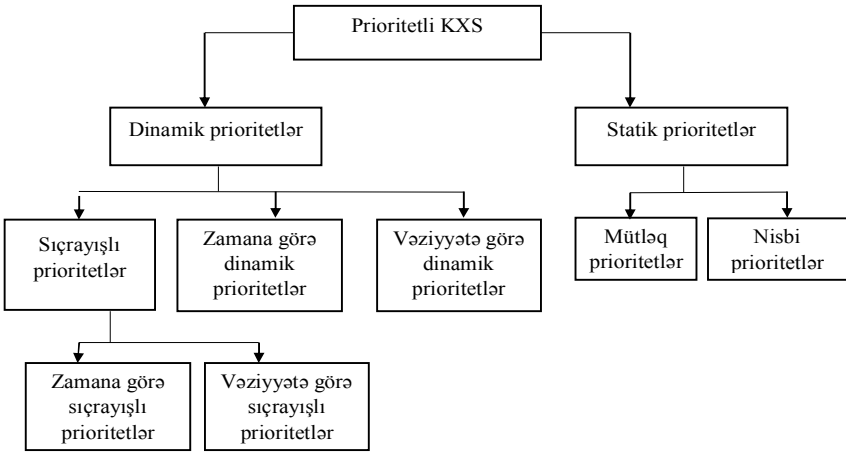
4. Faza iriləşdirilməsi nəzəriyyəsindən istifadə etməklə böyük ölçülü KXS modellərinin QoS göstəricilərini hesablamaq üçün təqribi üsullar təklif edilmişdir.

5. Alınan riyazi nəticələr əsasında ədədi eksperimentlər aparılmış və təklif olunmuş təqribi üsulun yüksək dəqiqliyi təsdiq olunmuşdur.

Dissertasiya işinin praktik əhəmiyyəti ondan ibarətdir ki, alınmış nəticələrdən istifadə etməklə kompüter-kommunikasiya şəbəkələrində müxtəlif tipli paketlərin xidmət olunma şanslarını yüksəltmək, onların itməsi ehtimallarını azaltmaq və beləliklə də, sistemin keyfiyyət göstəricilərini nəzərə çarpacaq dərəcədə yaxşılaşdırmaq mümkündür.

Dissertasiya işinin apobasiyası. Dissertasiya işinin nəticələri aşağıdakı elmi konfranslarda müzakirə edilmişdir:

burada KXS-lərdə istifadə olunan prioritetlər haqqında geniş məlumat verilmişdir və onların təsnifatı aparılmışdır (şəkil 1). Dəyişmə xüsusiyyətlərinə görə prioritetlər bir neçə sinfə bölünürlər: statik, zamana görə dinamik və vəziyyətə görə dinamik prioritetlər. Statik (nisbi) prioritetlər sistemin işi başlanmazdan əvvəl təyin olunur və proses boyunca dəyişilməz qalır. Kanalın boşaldığı anda ən yüksək prioritetə sahib olan sorğu xidmət üçün göndərilir. Statik prioritetlər bəzən ədəbiyyatda HOL-prioritetlər (Head of Line, HOL) adlandırılır. Zamandan asılı prioritetlərdə sorğuların prioriteti onların növbədə gözləmə zamanından asılı olaraq dəyişir (artır və ya azalır). Vəziyyətdən asılı prioritetlərdə isə müxtəlif tipli sorğuların prioriteti növbənin vəziyyətindən asılı olaraq təyin olunur və bu halda növbənin vəziyyəti müxtəlif tipli sorğuların sayı ilə təyin olunur.



Son zamanlarda prioritetlərin yeni tipləri – müxtəlif səviyyəli prioritetlər (Multiple Priorities, MP) intensiv şəkildə tədqiq olunurlar. Klassik prioritetlərdən fərqli olaraq MP tipli prioritetlərin istifadəsi zamanı real zamanlı paketlər yüksək zaman və aşağı fəza prioritetlərinə, qeyri-real zamanlı paketlər aşağı zaman və yüksək fəza prioritetlərinə sahib olurlar.

Fəza prioritetləri paketlərin daxil olduğu vaxtda buferdə yer tutmaqla bağlı konflikt vəziyyətlərin həllində, zaman prioritetləri isə buferdən xidmət kanalına ötürmənin qaydasını təyin edir.

Məlum prioritetlər bir çox hallarda real sistemlərdə QoS göstəricilərinə qoyulan tələbləri ödəməyə imkan vermir. Buna görə də yeni tip prioritetlər daxil olunur. Bu yeni tip prioritetlər içərisində sıçrayışlı prioritetlər (Jump Priorities, JP) xüsusi yer tutur. Bu sahədəki tədqiqat işləri son onillikdə intensiv şəkildə çap olunurlar.

Bu fəsilə qeyd olunur ki, məlum işlərdə yalnız sonsuz buferli və diskret zamanlı KXS-lər tədqiq olunmuşdur. Lakin bu tip modellər real kompüter-kommunikasiya şəbəkələri üçün adekvat sayılmır, çünki real şəbəkələrdə müxtəlif tipli sorğuların gözləməsi üçün buferlər sonlu olurlar. Bu səbəblərdən sonlu buferləri olan və kəsilməz zamanlı KXS-lərdə sıçrayışlı prioritetlərin tədqiqi həm praktik, həm də nəzəri əhəmiyyət kəsb edir.

Göstərilmişdir ki, sıçrayışlı prioritetlərin istifadəsi Markov zəncirlərinin tətbiq edilməsini zəruri edir. Bununla əlaqədar olaraq bu fəsilə həmçinin çox ölçülü Markov zəncirlərinin stasionar paylanmasının tapılması problemləri müzakirə edilmişdir. Qeyd olunmuşdur ki, Markov zəncirlərinin stasionar paylanmasını tapmaq üçün xətti cəbrin məlum (dəqiq və ya iterativ) üsullarından istifadə etmək olar. Lakin bu üsullar yalnız kiçik ölçülü modellərə tətbiq olunduqda səmərəlidirlər və vəziyyətlər fəzasının ölçüsü artdıqca, onların səmərəliliyi azalır və hətta bəzən onlardan istifadə etmək, ümumiyyətlə, mümkün olmur.

Araşdırılan problemin həlli üçün məlum olan təqribi üsulların icmalı verilmiş və onların tətbiq oluna bilməsi şərtləri öyrənilmişdir. Analiz nəticəsində baxılan məsələlərin həlli üçün iki ölçülü Markov zəncirlərinin vəziyyətlər fəzasının iriləşdirilməsinə əsaslanan təqribi üsulun səmərəliliyi sübut olunmuşdur.

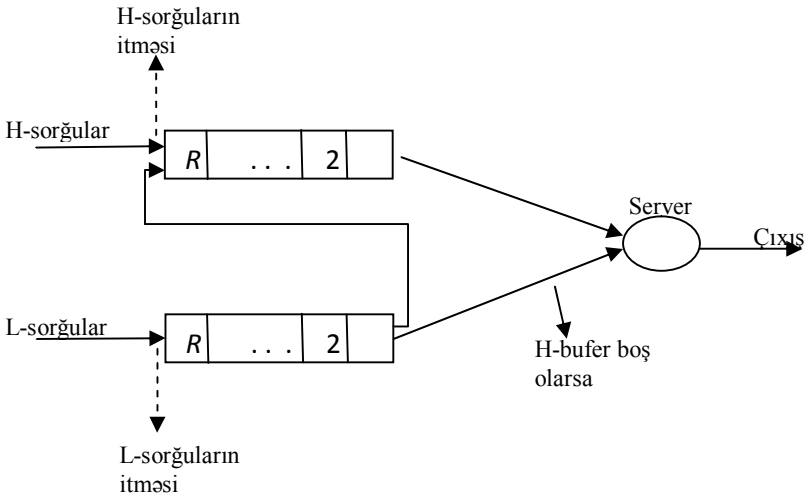
İkinci fəsilə zamana və vəziyyətə görə dinamik olan sıçrayışlı prioritetləri olan KXS modelləri tədqiq olunmuşdur (şəkil 2).

Zamandan asılı olan sıçrayışlı prioritetlər daxil edilmiş modellərdə nəzərdə tutulur ki, aşağı prioriteti olan sorğular müəyyən zaman gözlədikdən sonra məlum ehtimalla sıçrayaraq yüksək tipli sorğuya çevrilir.

Bir kanallı sistemə i -ci tip sorğular intensivliyi λ_i , $i=1, 2$, olan Puasson qanuna tabe olan axınlarla daxil olurlar. Hər iki tipli sorğular üçün kanalda xidmət olunma intensivliyi μ təsadüfi kəmiyyətinə bərabərdir.

Müxtəlif tipli sorğular xidmətin başlanmasını ayrı-ayrı növbələrdə (buferlərdə) gözləyirlər, $0 < R_i < \infty$, $i=1,2$. Sorğu daxil olan zaman uyğun bufer dolu olarsa, onda digər buferin vəziyyətindən asılı olmayaraq bu sorğu itir.

Kanalın boşaldığı anda növbədə yalnız bir tip paketlər varsa, onda bu tip sorğulardan biri xidmət üçün kanala göndərilir. Hər bir axın daxilində FIFO strategiyası tətbiq olunur. Aşağı prioritetli sorğuların xidmət oluna bilməsi şansını artırmaq üçün sıçrayışlı prioritetlər belə daxil edilir.



Şəkil 2. Sıçrayışlı prioritetləri olan modelin

İkinci növbədə gözləyən sorğu təsadüfi uzunluqlu T zamanından sonra birinci buferdə heç olmasa bir boş yer varsa, oraya sıçrayır. Əks halda, birinci bufer tam doludursa, ikinci tipli sıçrayan sorğu itir. Əgər sıçrama baş verərsə, ikinci tipli sorğu birinci tipli sorğuya çevrilir və sonradan artıq birinci tipli sorğu kimi xidmət olunur. Hesab olunur ki, qeyd olunan T gözləmə müddəti parametri μ olan üstlü paylanma qanununa tabedir.

Bu modelin əsas QoS göstəriciləri aşağıdakılardır: i -ci tip sorğuların itməsi ehtimalı (Cell Loss Probability, CLP_i), i -ci tip sorğuların orta sayı (L_i) və onların buferdə orta gözləmə vaxtı (Cell Transfer Delay, CTD_i), $i=1, 2$.

Bu QoS göstəricilərinin tapılması üçün iki ölçülü Markov zəncirindən istifadə olunur. Buferlərin vəziyyəti zamanın istənilən anında iki ölçülü vektorun köməyiylə təsvir olunur: \mathbf{n} , burada n_i – i -ci buferdəki sorğuların sayını göstərir, $i = 1, 2$. Baxılan sistemin vəziyyətlər fəzası belə təsvir olunur:

$$S = \{ \mathbf{n} : n_i = 0, 1, \dots, R_i, i = 1, 2 \}. \quad (1)$$

Baxılan iki ölçülü Markov zəncirinin keçid intensivlikləri matrisinin (Q-matrisinin) mənfi olmayan elementlərinin hesablanması üçün aşağıdakı münasibətləri alırıq:

$$q(\mathbf{n}, \mathbf{n}') = \begin{cases} \lambda_1, & \text{ " əgər " } n_1 < R_1, \mathbf{n}' = \mathbf{n} + \mathbf{e}_1, \\ \lambda_2, & \text{ " əgər " } \end{cases} \quad (2)$$

burada $\mathbf{e}_1 = (1, 0)$, $\mathbf{e}_2 = (0, 1)$.

Sistemin $p(\mathbf{n})$, $\mathbf{n} \in S$ vəziyyətlərinin ehtimallarını tapmaq üçün balans tənliklər sistemini qurmaq və həll etmək lazımdır. İşdə balans tənliklər sisteminin aşkar şəkli tapılmışdır. Bu tənliklər sistemi həll olunduqdan sonra sistemin QoS göstəriciləri hesablanır.

Birinci və ikinci tipli sorğuların itməsi ehtimalları belə tapılır:

$$CLP_1 = \sum_{k=0}^{R_2} p(R_1, k); \quad (3)$$

$$CLP_2 = \sum_{k=0}^{R_1} p(k, R_2) + P_f P_2. \quad (4)$$

burada P_f – CLP_1 ehtimalı ilə üst-üstə düşən yüksək prioritetli sorğular növbəsinin dolu olması ehtimalını, P_2 – ikinci tipli sorğuların növbəni tərk etməsi ehtimalını bildirir.

Buferlərdə birinci və ikinci tipli sorğuların orta sayı belə tapılır:

$$L_1 = \sum_{i=1}^{R_1} i \sum_{j=0}^{R_2} p(i, j), \quad (5)$$

$$L_2 = \sum_{i=1}^{R_2} i \sum_{j=0}^{R_1} p(j, i). \quad (6)$$

Little düsturundan istifadə edərək hər iki tipli sorğunun buferdə orta gözləmə vaxtları tapılır:

$$CTD_1 = \frac{L_1}{\lambda_1^{(e)}} \quad (7)$$

$$CTD_2 = \frac{L_1 + L_2}{\lambda_1^{(e)} + \lambda_2^{(e)}}, \quad (8)$$

burada $\lambda_1^{(e)}$ və $\lambda_2^{(e)}$ uyğun olaraq H-sorğuların və L-sorğuların yüklənmələridir.

$$\lambda_1^{(e)} = \lambda_1 \left(1 - \sum_{k=0}^{R_2} p(R_1, k) \right) + \lambda_2 \tau \sum_{i=1}^{R_2} p(j, i), \quad j = 1, 2, \dots, R_1, \quad (9)$$

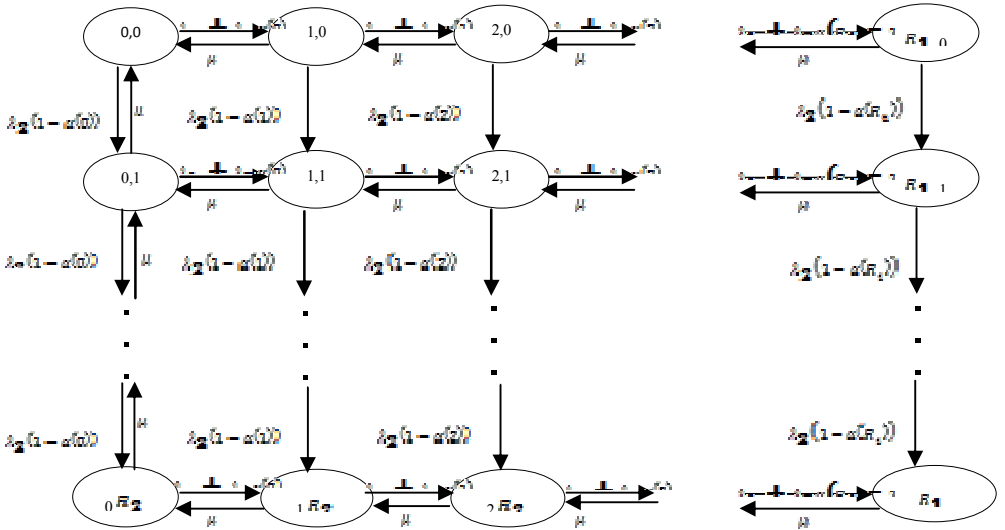
$$\lambda_2^{(e)} = \lambda_2 \left(1 - \sum_{k=0}^{R_1} p(k, R_2) - P_f P_2 - \tau \sum_{i=1}^{R_2} p(j, i) \right). \quad (10)$$

Bu fəsildə həmçinin sistemin vəziyyətindən asılı olan sıçrayışlı prioritetlər daxil edilən KXS modelləri tədqiq olunmuşdurlar. Burada yalnız yüksək prioritetli sorğuların (H-sorğuların) sayından asılı olan, yalnız aşağı prioritetli sorğuların (L-sorğuların) sayından asılı olan, onların hər birinin sayından asılı olan və eləcə də onların toplam sayından asılı olan sıçrayışlı prioritetlər daxil edilmiş və bu tip prioritetlərdən istifadə edildikdə sistemin QoS göstəricilərinin hesablanması məsələləri həll edilmişdir.

Avtoreferatın həcminə qoyulan məhdudiyəti nəzərə alaraq burada qısa şəkildə separat buferləri olan KXS modeli üçün yalnız H-sorğuların sayından asılı olan sıçrayışlı prioritetləri olan modelə aid alınmış nəticələrə baxacağıq (şəkil 3).

Daxil olan sorğuların buferdə yer tutma prosesi aşağıdakı şəkildə həyata keçirilir. H-sorğusistemə daxil olduğu anda H-buferdə (yəni H-sorğuların saxlanması üçün olan buferdə) heç olmasa bir yer varsa, onda həmin sorğu vahid ehtimalla qəbul olunur; əks halda sorğu vahid ehtimalla itir. Sistemə L-sorğu daxil olan zaman əgər H-buferdə sorğuların sayı $k, k < R_1$ olarsa, onda ikinci növbənin əvvəlində duran L-sorğu $\alpha(k)$

ehtimalla H-buferə sıçrayır, $1 - \alpha(k)$ ehtimalı ilə L-buferə qoşulur (əgər burada boş yer olarsa). Əgər L-sorğunun sistemə daxil olduğu anda H-buferdə yer olmazsa, onda həmin L-sorğu vahid ehtimalla L-buferə qoşulur; L-buferin də dolu olduğu təqdirdə daxil olan L-sorğu vahid ehtimalla itir.



Şəkil 3. Sistemin vəziyyətləri arasında keçid qrafı.

Uyğun iki ölçülü Markov zəncirinin Q-matrisinin mənfi olmayan elementləri belə hesablanır (bax şəkil 3):

$$q(n, n') = \begin{cases} \lambda_2(1 - \alpha(n, 0)) & \text{əgər } [n]_1 \leftarrow R_1, 1 \\ \mu & \text{əgər } [n]_1 \leftarrow R_1, n' = n + e_1, 0 \\ \mu & \text{əgər } [n]_1 \leftarrow R_1, n' = n, 1 \\ \mu & \text{əgər } [n]_1 \leftarrow R_1, n' = n - e_1, 1 \\ \lambda_2(1 - \alpha(n, j)) & \text{əgər } [n]_1 \leftarrow R_1, n' = n, j > 0 \\ \mu & \text{əgər } [n]_1 \leftarrow R_1, n' = n, j > 0 \\ \mu & \text{əgər } [n]_1 \leftarrow R_1, n' = n - e_1, j > 0 \\ \mu & \text{əgər } [n]_1 \leftarrow R_1, n' = n + e_1, j > 0 \\ \mu & \text{əgər } [n]_1 \leftarrow R_1, n' = n, j > 0 \\ \mu & \text{əgər } [n]_1 \leftarrow R_1, n' = n, j > 0 \\ \mu & \text{əgər } [n]_1 \leftarrow R_1, n' = n, j > 0 \end{cases}$$

Baxılan modeldə vəziyyətlərin ehtimalları üçün balans tənliklər sisteminin aşkar şəkli tapılmışdır. Bu modeldə H-sorğuların itməsi ehtimalı

(3) düsturundakı kimi təyin olunur. L-sorğuların itməsi ehtimalı isə növbəti şəkildə hesablanır:

$$CLP_2 = \sum_{k=0}^{R_1-1} p(k, R_2)(1 - \alpha(k)) + \alpha(R_1) \sum_{k=1}^{R_2-1} p(R_1, k) + p(R_1, R_2). \quad (11)$$

Birinci və ikinci tipli növbələrdə sorğuların orta sayı və hər iki tipli sorğuların buferdə orta gözləmə vaxtları (5)-(8) düsturları vasitəsi ilə hesablanır. Bu model üçün birinci və ikinci tipli sorğular üçün yüklənmə parametrləri aşağıdakı şəkildə hesablanır:

$$\lambda_1^{(c)} = \lambda_1 \left(1 - \sum_{i=0}^{R_2} p(R_1, i) \right) + \lambda_2 \sum_{n_1=0}^{R_1-1} \sum_{i=0}^{R_2} p(n_1, i) \alpha(n_1); \quad (12)$$

$$\lambda_2^{(c)} = \lambda_2 \left[1 - \sum_{n_1=0}^{R_1-1} \sum_{i=0}^{R_2} p(n_1, i) \alpha(n_1) - \sum_{k=0}^{R_1-1} p(k, R_2)(1 - \alpha(k)) - \alpha(R_1) \sum_{k=0}^{R_2-1} p(R_1, k) \right] \quad (13)$$

Üçüncü fəsildə baxılan sistemlərin QoS göstəricilərinin tapılması üçün təqribi üsullar və alqoritmlər təklif olunmuşdur. Burada vəziyyətlərin fəza iriləşdirilməsi üsulundan istifadə edilir. Qeyd etmək lazımdır ki, bu üsul H-sorğuların intensivliklərinin böyük qiymətlərində yüksək dəqiqliyə malikdir. Məhz buna görə bu üsulun tətbiq oluna bilməsi üçün fərz edəcəyik ki, birinci tipli sorğuların sistemə daxilolma intensivliyi ikinci tip sorğuların daxilolma intensivliyindən çox böyükdür.

Burada yalnız bir model üçün təqribi üsulun izahı verilmişdir. Bu model zamandan asılı sıçrayışlı prioritetlərin ehtimal modelidir.

Vəziyyətlər fəzasını (bax (1)) aşağıdakı şəkildə siniflərə bölek:

$$S = \bigcup_{i=0}^{R_2} S_i, \quad S_i \cap S_j = \emptyset, \quad i \neq j \quad (14)$$

burada $S_i = \{n \in S: n_2 = i\}, i = 0, 1, 2, \dots, R_2$.

Daha sonra S_i sinfinə daxil olan mikro-vəziyyətlər iriləşdirilmiş i vəziyyətində birləşdirilir və verilmiş fəza vəziyyətləri üçün iriləşdirmə funksiyası daxil olunur:

$$U(n) = i, n \in S_i. \quad (15)$$

Beləliklə, daxil edilən iriləşdirmə funksiyası iriləşdirilmiş modelin birölçülü Markov zəncirini təyin edir.

Vəziyyətlər fəzası S_i olan parçalanmış modeldə $n_1 = k, n_2 = i$ işarələməsini qəbul edərək, (k, i) vəziyyətinin stasionar ehtimalını $\rho_i(k)$, $k = 0, 1, \dots, R_1$, $i = 0, 1, \dots, R_2$ işarə edək. Hər bir parçalanmış model bir ölçülü ölüm- doğum prosesini ifadə edir.

Parçalanmış modellərin daxilində vəziyyətlər arası keçid intensivliklərini $q(k_1, k_2)$ işarə edək. Bu parametrlər aşağıdakı şəkildə təyin olunur:

$$q(k, k_2) = \begin{cases} \mu((k_1 - 1) \& "əgər" k_1 = k_1 + 1, \\ \alpha \& "əgər" k_2 = k_1 - 1, \\ 0 \& "digər" \end{cases}$$

İkiölçülü Markov zəncirlərinin fəza iriləşdirilməsi alqoritmindən istifadə edərək iriləşdirilmiş modelin Q-matrisinin elementləri aşağıdakı şəkildə təyin olunur:

$$q(\langle i \rangle, \langle j \rangle) = \begin{cases} \mu((j - 1) \& "əgər" j = i + 1, \\ \alpha \mu[\rho_{ij}(0)] + (1 - \alpha)(1 - \rho_{ij}(0)) \end{cases}$$

İriləşdirilmiş modeldə k vəziyyətinin ehtimalını $\pi(k)$ ilə işarə edək. Onda ilkin modeldə vəziyyətlərin stasionar ehtimallarının tapılması üçün aşağıdakı münasibəti alırıq:

$$p(i, j) = \rho_j(i) \pi(j) \quad i = 1, \dots, R_1, j = 1, \dots, R_2.$$

Birinci və ikinci tip sorğuların itməsi ehtimalı belə tapılır:

$$CLP_1 \approx \sum_{k=0}^{R_2} ((R_1) \pi(\langle k \rangle) = \rho(R_1);$$

$$CLP_2 = \pi(R_2) + \frac{\tau \rho_0(R_1)}{\lambda_2} \sum_{k=1}^{R_2} k \pi(k)$$

Birinci və ikinci tipli növbələrdə sorğuların orta sayı aşağıdakı şəkildə olacaqdır:

$$L_1 = \sum_{i=1}^{R_1} i \rho_0(i) ;$$

$$L_2 = \sum_{k=1}^{R_2} k \pi(k)$$

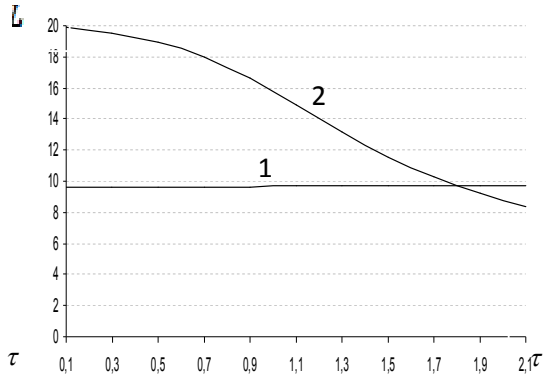
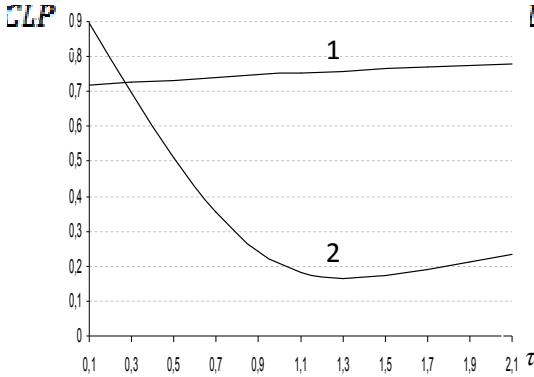
Baxılan model üçün $\lambda_1^{(e)}$ və $\lambda_2^{(e)}$ uyğun olaraq H-sorğuların və L-sorğuların yüklənmələri olub, aşağıdakı şəkildə hesablanır:

$$\lambda_1^{(e)} = \lambda_1 [(1 - \rho(R_1))] + \lambda_2 \alpha (1 - \rho(n_1));$$

$$\lambda_{\tau}^{(c)} = \lambda_2 [1 - \alpha(1 - \rho(n_1)) - \pi(R_2)] - \tau \rho(R_1) \sum_{k=1}^{R_2} k \pi(k)$$

Dördüncü fəsildə yaradılan alqoritmlər əsasında aparılmış ədədi eksperimentlərin nəticələri verilmiş və onların analizi verilmişdir. Burada həm separat, həm də ümumi buferi olan modellər üçün olan nəticələr verilmişdir.

Parametrləri $R_1 = 10, R_2 = 20, \lambda_1 = 7, \lambda_2 = 5, \mu = 2$ olan model



Şəkil 4. Müxtəliflipli sorğuların itməsi ehtimalının τ parametridən asılılığı: 1 -- CLP_1 , 2 -- CLP_2 . Şəkil 5. Müxtəliflipli sorğuların orta sayının τ parametridən asılılığı: 1 -- L_1 , 2 -- L_2 .

Bu fəsildə həmçinin aparılan eksperimentlərin analizi vasitəsi ilə yaradılmış alqoritmlərin dəqiqlik dərəcəsinin yüksək olduğu göstərmişdir. Qısa olması üçün burada yalnız zamandan asılı sıçrayışlı prioritetləri olan KXS modeli üçün dəqiq (DÜ) və təqribi üsulun (TÜ) nəticələrinin müqayisəsi verilmişdir (bax cədvəl 1).

Cədvəl 1. Dəqiq və təqribi üsulla alınmış nəticələrin müqayisəli analizi.

τ	CLP_2		Q_2		CTD_2	
	DÜ	TÜ	DÜ	TÜ	DÜ	TÜ

0,1	0,897001	0,896702	19,87265	19,87280	38,47659	38,47664
0,3	0,696783	0,696579	19,51477	19,51464	12,86311	12,86306
0,5	0,511303	0,511372	18,93601	18,93534	7,75083	7,75041
0,7	0,353945	0,353917	18,00288	18,00275	5,57293	5,57289
0,9	0,240932	0,240914	16,62742	16,62713	4,38075	4,38083
1,1	0,180899	0,180924	14,91361	14,91350	3,64183	3,64154
1,3	0,164129	0,164118	13,14973	13,14987	3,14672	3,14635
1,5	0,171655	0,171624	11,57623	11,57615	2,79409	2,79491
1,7	0,189523	0,189510	10,26806	10,26852	2,53367	2,53390
1,9	0,211211	0,211206	9,20344	9,20323	2,33354	2,33349
2,1	0,234273	0,234268	8,33151	8,33119	2,17628	2,17601

Nəticədə dissertasiya işinin əsas nəticələri verilmişdir.

Ədəbiyyat siyahısında dissertasiyanın mövzusunə uyğun olan kütləvi xidmət sistemləri, klassik və sıçrayışlı prioritetləri olan modellərin analizi ilə bağlı olan işlər, eləcə də Markov zəncirləri ilə bağlı olan elmi işlər göstərilmişdir.

NƏTİCƏ

Dissertasiya işinin əsas elmi və praktik nəticələrini aşağıdakı kimi vermək olar.

1. Göstərilmişdir ki, müasir kommunikasiya şəbəkələrində real və qeyri-real zamanlı sorğuların xidməti zamanı onların xidmətin keyfiyyət göstəricilərinə qouduğu tələblərin ödənilməsi üçün sıçrayışlı prioritetlərdən istifadə etmək məqsədə uyğundur. Dissertasiya işində sıçrayışlı prioritetləri olan KXS modellərinin tədqiqinə həsr olunmuş elmi tədqiqatlar barədə geniş məlumat verilmişdir. Sıçrayışlı prioritetləri olan modellər içərisində təsnifat aparılmış və sorğuların növbədə gözləmə zamanından və sistemin vəziyyətindən asılı olan prioritetlər tədqiq edilmişdir. Onların üstünlükləri

və çatışmazlıqları qeyd olunmuş və səmərəliliyi müəyyənləşdirilmişdir. Qeyd olunmuşdur ki, sıçrayışlı prioritetlərin daxil edilməsində əsas məqsəd yüksək prioritetli sorguların keyfiyyət göstəricilərində ciddi mənfə dəyişikliklər yaratmadan aşağı prioritetli sorguların QoS göstəricilərini yaxşılaşdırmaqdan ibarətdir.

2. Sıçrayışlı prioritetləri olan KXS-lərin QoS göstəriciləri təyin olunmuşdur və onların real sistemlərdə tətbiq edilməsi metodikası müəyyənləşdirilmişdir. Zamandan və vəziyyətdən asılı olan sıçrayışlı prioritetləri olan kütləvi xidmət sistemlərinin keyfiyyət göstəricilərinin dəqiq qiymətlərinin tapılması üçün vəziyyətlərin stasionar ehtimallarının balans tənliklər sistemi yaradılmış və keyfiyyət göstəricilərinin hesablanması üçün uyğun ifadələr tapılmışdır. Göstərilmişdir ki, dəqiq üsul yalnız kiçik və orta ölçülü modellərə tətbiq oluna bilər və böyük ölçülü modellərdə onun tətbiqi praktik olaraq mümkün deyildir.

3. Zamandan və vəziyyətdən asılı olan sıçrayışlı prioritetləri olan kütləvi xidmət sistemlərinin keyfiyyət göstəricilərinin təqribi qiymətlərinin tapılması üçün üsullar və uyğun alqoritmlər yaradılmışdır. Göstərilmişdir ki, bu alqoritmlər vasitəsi ilə keyfiyyət göstəricilərinin tapılması hesablama çətinliyi yaratmır və onlar istənilən ölçülü modellərdə tətbiq oluna bilərlər.

4. Təklif olunan alqoritmlər əsasında uyğun proqram təminatı yaradılmış və onun vasitəsi ilə sıçrayışlı prioritetləri olan kütləvi xidmət sistemlərinin keyfiyyət göstəricilərinin onun struktur və yüklənmə parametrlərindən asılılığı öyrənilmişdir. Bu asılılıqlar həm dəqiq üsulla, həm də təqribi üsulla araşdırılmışdır. Ədədi eksperimentlərin nəticələri verilmişdir və analizi edilmişdir. Nəticələri analizi zamanı məlum olmuşdur ki, yaradılmış təqribi üsul əsasında hesablamaların nəticələri dəqiq üsulun ədədi nəticələri ilə çox kiçik xəta ilə üst-üstə düşürlər.

Dissertasiya işinin mövzusunda aşağıdakı elmi məqalələr çap edilmişdir.

1. **Меликов А.З., Джафар-заде Т.И.** Анализ модели двух потоковой системы с общей очередью и скачкообразными приоритетами // Проблеми інформатизації та управління (Київ). 2012. Том 3. № 39. С.89-94.
2. **Меликов А.З., Джафар-заде Т.И.** Анализ системы обслуживания со скачкообразными приоритетами. Комп'ютерні системи та мережні технології (CSNT-2012) // Тези доповідей V міжнародної науково-технічної конференції. Київ, 13-15 червня 2012. С. 91.

3. **Melikov A., Jafar-zade T.** Numerical approach to analysis of Queueing Models with Priority Jumps // PCI' 2012 IV International conference "Problems of Cybernetics and Informatics". Baku, 12-14 September, 2012. Vol. 3. P. 145-147.
4. **Джафар-заде Т.И.** Анализ системы обслуживания с зависящими от времени ожидания скачкообразными приоритетами // Комп'ютерні системи та мережні технології (CSNT-2013). Збірник тез VI міжнародної науково – технічної конференції. Київ, 11-13 червня 2013. С. 33.
5. **Cəfərzadə T.İ.** Sıçrayışlı prioritetləri olan bir kütləvi xidmət sistemi modelinin analizi // Milli Aviasiya Akademiyasının Elmi Məcmuələri. 2013. Cild 15. №4. S. 114-121.
6. **Cəfərzadə T.İ.** Gözləmə vaxtından asılı sıçrayışlı prioritetləri olan kütləvi xidmət sistemi modelinin analizi // Milli Aviasiya Akademiyasının Elmi Əsərləri. 2014. №1. S. 151-158.
7. **Джафар-заде Т.И.** Метод расчета характеристик системы обслуживания со скачкообразными приоритетами // Комп'ютерні системи та мережні технології (CSNT-2014). Збірник тез VII міжнародної науково – технічної конференції. Київ, 17-19 квітня 2014. С. 50-51.
8. **Меликов А.З., Джафар-заде Т.И.** Модель системы обслуживания со скачкообразными приоритетами // Электронное моделирование (Киев). 2015, Том 37, №1, С.3-14.
9. **Cəfərzadə T.İ.** Sistemin vəziyyətindən asılı sıçrayışlı prioritetləri olan kütləvi xidmət modelinin analizi // Azərbaycan Mühəndislik Akademiyasının Xəbərləri. 2015. Cild 7. №2. S. 14-21.
10. **Melikov A.Z., Rustamov A.M., Jafarzade T.İ., Sztrik J.** Analysis of queueing models with state-dependent jump priorities // Труды международной конференции “Распределенные компьютерные и телекоммуникационные сети: управление, вычисление, связь”. Москва, 19–22 октября 2015. С. 279-286.
11. **Джафар-заде Т.И.** Расчет характеристик системы массового обслуживания с зависящими от состояния скачкообразными приоритетами // Информатика та системні науки (ICH-2015). Матеріали VI всеукраїнської науково-практичної конференції за міжнародною участю. Полтава, 19-21 березня 2015. С. 109-111.

12. Melikov A., Rustamov A., Jafarzade T., Sztrik J. Methods to analysis of queueing models with state-dependent jump priorities // Annales Mathematicae et Informaticae (Hungary). 2016. Vol. 46. P. 143–163.

Həmmüəlliflərlə birgə nəşr edilmiş əsərlərdə (1, 2, 3, 8, 10, 12) iddiaçının rolu öyrənilən sistemlərdə keyfiyyət göstəricilərinin hesablanması üçün dəqiq və təqribi düsturların tapılması və onların yaxşılaşdırılması və uyğun program təminatını yaradaraq ədədi eksperimentlərin aparılmasından ibarətdir.

Джафар-заде Туран Ильгар кызы

АНАЛИЗ СИСТЕМ МАССОВОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ СО СКАЧКООБРАЗНЫМИ ПРИОРИТЕТАМИ

Аннотация

Системы массового обслуживания с различными типами запросов являются адекватными математическими моделями процессов обработки разнотипной информации в современных мультисерверных сетях связи. В таких сетях трафики реального и нереального времени предъявляют различные требования к показателям качества обслуживания. Одним из эффективных путей решения этой проблемы является использования разнообразных приоритетов. Среди них особое место занимают скачкообразные приоритеты. При использовании этих приоритетов заявки низкого приоритета могут мгновенно переходить в очередь заявок высокого приоритета. Их введения позволяет решить проблемы долгого ожидания в очереди низкоприоритетных заявок.

В данной работе определяются классы скачкообразных приоритетов в системах массового обслуживания с ограниченными буферами. Один класс составляют приоритеты, которые зависят от времени ожидания в очереди заявок низкого приоритета, а в другом классе приоритеты зависят от числа разнотипных заявок в очередях. Рассмотрены различные схемы определения этих приоритетов.

Для обоих классов скачкообразных приоритетов разработаны точный и приближенный методы расчета показателей качества обслуживания изучаемых систем. Точный метод основывается на

решение балансовых уравнений для вероятностей состояний системы, и показано, что он является эффективным лишь для моделей умеренной размерности. Потому в работе предложен приближенный метод решения указанной задачи, который основывается на идеях фазового укрупнения состояний двумерных цепей Маркова. На основе предложенных методов разработаны вычислительные алгоритмы и проведены соответствующие численные эксперименты.

Turan Ilqar Jafar-zade

ANALYSIS OF QUEUING SYSTEMS WITH JUMP PRIORITIES

Summary

The queuing systems with the different types of calls are the adequate mathematical models of processing different types of information in modern multiserver sets of communication. In such sets requirements of real and non-real traffics differ from each other for quality parameters of service. The one of effective ways for solving this problem is using different types of priorities. The special case between them takes place jump priorities. When using of these priorities low priority calls can immediately pass to the queue of high priority calls. Introducing of such priorities can solve the problem of long waiting time in queue of low priority calls.

In this work is determined classes of jump priorities with finite buffers in different queuing systems. The first class consists of priorities depending on the waiting time in queue of low priority calls, another one represents priorities depending on the number of different types of calls in the queues. There has been shown various schemes of defining these priorities.

For the both of priority classes are investigated exact and numerical methods for calculating of quality parameters of researched systems. Exact method is based on solving of balance equations of the system of probability states and is shown that this method is effective only models with small sizes. That's why in this work for solving of the problem is introduced numerical method which the idea is based on merging states of

two-dimensional of Markov chain. Numerical algorithms are investigated for suggested methods and corresponding numerical experiments are provided.

Sifariş 523. Tiraj 100. İnformasiya materiallarının hazırlanması.
AMEA İdarəetmə Sistemləri İnstitutu.
Bakı şəh., B.Vahabzadə küç.,9