

# AZƏRBAYCAN RESPUBLİKASI

*Əlyazması hüququnda*

## **KANALLARI MÜXTƏLİF SXEMLƏR ÜZRƏ BÖLÜŞDÜRÜLMÜŞ HÜCRƏLİ RABİTƏ ŞƏBƏKƏLƏRİNİN XARAKTERİSTİKALARININ HESABLANMASI ALQORİTMLƏRİNİN İŞLƏNMƏSİ**

İxtisas: 3338.01 – Sistemli analiz, idarəetmə və  
informasiyanın işlənməsi

Elmi sahəsi: Texnika elmləri

İddiaçı: **Gülnarə Məmmədağa qızı Vəlicanova**

Fəlsəfə doktoru elmi dərəcəsi  
almaq üçün təqdim edilmiş dissertasiyanın

### **AVTOREFERATI**

**Bakı- 2021**

Dissertasiya işi Azərbaycan Milli Elmlər Akademiyası İdarəetmə Sistemləri İnstitutunda yerinə yetirilmişdir.

Elmi rəhbər:

AMEA-nın müxbir üzvü, texnika elmləri doktoru, professor  
**Ağası Zərbəli oğlu Məlikov**

Rəsmi opponətlər:

Texnika elmləri doktoru, professor  
**Əliyev Elçin Rəşid oğlu**

Texnika elmləri doktoru, professor  
**İbrahimov Bayram Qənimət oğlu**

Texnika üzrə fəlsəfə doktoru, dosent  
**Həsənova Nazlı Əli qızı**

Azərbaycan Respublikasının Prezidenti yanında Ali Attestasiya Komissiyasının Azərbaycan Milli Elmlər Akademiyası İdarəetmə Sistemləri İnstitutunun nəzdində fəaliyyət göstərən ED 1.20 Dissertasiya şurası

Dissertasiya şurasının sədri:

\_\_\_\_\_

Akademik, texnika elmləri doktoru, professor  
**Əli Məhəmməd oğlu Abbasov**

Dissertasiya şurasının elmi katibi:

\_\_\_\_\_

Texnika elmləri doktoru, professor  
**Nailə Fuad qızı Musayeva**

Elmi seminarın sədri:

\_\_\_\_\_

Texnika elmləri doktoru, dosent  
**Fəhrad Heydər oğlu Paşayev**

## İŞİN ÜMUMİ XARAKTERİSTİKASI

**Problemin aktuallığı.** Teletrafikin riyazi nəzəriyyəsinin əsas problemi müxtəlif giriş strategiyalarından (CallAdmissionControl, CAC) istifadə edərək, inteqral hücrəli rabitə şəbəkələrində(HRŞ) müxtəlif tipli sorğulara xidmətin keyfiyyət göstəricilərinin (QualityofService, QoS) hesablanması və optimallaşdırılması üçün səmərəli üsulların yaradılmasından ibarətdir. Göstərilən şəbəkələrdə real (məsələn, danışiq sorğuları, v-sorğular) və qeyri-real (məsələn, verilənlərin sorğuları, d-sorğular) zaman sorğuları fərqləndirilir. İstənilən CAC-ın əsas funksiyaları müxtəlif tipli sorğular tərəfindən şəbəkə resurslarının istifadə qaydalarını təyin etməkdən ibarətdir. Bu halda, şəbəkə resursları dedikdə hücrə kanalları və bufer fəzası başa düşülür. Bu qaydalar şəbəkə resurslarından istifadə etmək üçün mübarizədə yaranan konfliktli vəziyyətləri minimuma endirmək, habelə müxtəlif tip sorğuların QoS göstəricilərinə qoyduğu tələbləri ödəmək üçün vacibdir.

Reallaşdırmanın sadəliyi üçün inteqral şəbəkələrdə tez-tez girişin tam girişli (Complete Sharing, CS) strategiyasından istifadə olunur. Bu strategiyadan istifadə etdikdə şəbəkənin bütün resursları istənilən növ sorğular üçün eyni dərəcədə əlçatandır. Lakin hücrənin bütün kanallarının birgə istifadəsi tez-tez kiçik intensivlikli sorğuların QoS göstəricilərinin əsassız pisləşməsinə səbəb olur, çünki belə şəbəkələrdə yüksək intensivlikli sorğular haqsız olaraq kanalları tamamilə zəbt edir. Digər tərəfdən, CS-strategiyası müxtəlif tip sorğuların QoS göstəricilərinə olan tələbləri təmin etməyə imkan vermir.

Göstərilən problemlərin həlli üçün səmərəli yanaşma bütün kanalların müxtəlif tipli sorğular arasında bölüşdürülməsi sxemlərinə əsaslanan daxilolma strategiyalarının yaradılmasıdır. Bu halda, kanalların bölüşdürülməsi izolə olunmuş (IsolatedPartition, IP) və ya virtual (VirtualPartition, VP) ola bilər. Məlum ədəbiyyatların analizi göstərdi ki, belə strategiyalardan istifadə edilən inteqral HRŞ modelləri az tədqiq edilmişdir.

Beləliklə, problemin aktuallığı kanalların müxtəlif tipli sorğular arasında bölüşdürülməsi üçün uyğun sxemləri seçməyin hesabına inteqral HRŞ-lərin işinin səmərəliliyinin artırılmasının, kanalların bölüşdürülməsinin təklif olunan sxemlərindən istifadə edildikdə qeyd olunan şəbəkələrin QoS göstəricilərinin hesablanması üçün modellərin və üsulların yaradılmasının vacibliyindən ibarətdir.

**İşin məqsədi və məsələləri.** İşin məqsədi inteqral HRŞ-lərdə kanalların bölüşdürülməsinin səmərəli sxemlərinin, onların analizi və optimallaşdırılmasının model və üsullarının işlənilib hazırlanmasından ibarətdir.

Qoyulan məqsədi nəzərə alaraq dissertasiya işində aşağıdakı **məsələlər** həll edilir:

- inteqral HRŞ-lərdə kanalların bölüşdürülməsinin məlum sxemlərinin analizi;
- inteqral HRŞ-lərdə kanalların izolə olunmuş və virtual bölünməsinin yeni çoxparametrlili sxemlərinin işlənilib hazırlanması;
- kanalların bölünməsi üçün təklif olunan sxemlərdən istifadə edildikdə inteqral HRŞ-lərin riyazi modellərinin işlənilib hazırlanması;
- kanalların bölünməsi üçün təklif olunan sxemlərdən istifadə edildikdə inteqral HRŞ-lərinin modellərinin hesablanması və optimallaşdırılması üçün səmərəli üsulların işlənilib hazırlanması.

**Tədqiqatın üsulları.** Qoyulan məqsədə nail olmaq üçün teletrafik nəzəriyyəsinin riyazi üsullarından, kütləvi xidmət sistemləri (KXS) nəzəriyyəsiindən, Markov zəncirləri nəzəriyyəsiindən, qraflar nəzəriyyəsinin elementlərindən və riyazi modelləşdirmədən istifadə olunmuşdur.

**Müdafiəyə çıxarılan müddəalar.** Müəllif aşağıda göstərilən müddəaları müdafiə edir.

1. İnteqral HRŞ-lərdə kanalların bölüşdürülməsinin çoxparametrlili izolə olunmuş və virtual sxemləri.
2. Kanalların bölüşdürülməsi üçün çoxparametrlili izolə olunmuş və virtual sxemlərindən istifadə edildikdə inteqral HRŞ-lərin riyazi modellərini.
3. Kanalların bölüşdürülməsinin çoxparametrlili izolə olunmuş və virtual sxemlərindən istifadə edildikdə inteqral HRŞ-lərin riyazi

modeli olan ikiölçülü Markov zəncirlərinin vəziyyətlərinin stasionar ehtimalları hesablaması üçün analitik üsulları.

4. İnteqral HRŞ-lərin kanallarının bölüşdürülməsinin çoxparametrliliyi izolə olunmuş və virtual sxemlərdən istifadə edildikdə QoS göstəricilərinin hesablanması üçün aşkar düsturları.

5. Kanalların bölüşdürülməsinin çoxparametrliliyi izolə olunmuş və virtual sxemlərinin parametrlərinin uyğun qiymətlərinin seçilməsi əsasında inteqral HRŞ-lərin QoS göstəricilərinin optimallaşdırma məsələlərinin həlli alqoritmlərini.

**Elmi yeniliklər.** İşin müdafiə üçün təqdim olunmuş və elmi yeniliyi olan əsas nəticələri aşağıdakılardan ibarətdir:

1. İnteqral HRŞ-lərdə mövcud giriş strategiyalarının analizi göstərir ki, onlar kanalların bölüşdürülməsinin klassik sxemlərinə əsaslanır. Belə ki, onlarda, əsasən, tam qəbuletmə sxemi (CS-sxemi) və real-vaxt sorğuları üçün kanalların rezervləşdirilməsi və qeyri-real vaxt sorğularının isə imtinası üçün birparametrliliyi sxemlər istifadə olunur. Lakin qeyd olunan sxemlər müxtəlif tipli sorğuların QoS göstəricilərinə qoyduqları tələbləri nəzərə almağa imkan vermir. Buna görə də inteqral HRŞ-lərinin səmərəliliyini artırmaq məqsədilə ümumi kanalların müxtəlif tipli sorğular arasında bölüşdürülməsi üçün çoxparametrliliyi sxemlərin araşdırılması məqsədəuyğundur.

2. İnteqral HRŞ-lərdə kanalların bölüşdürülməsinin çoxparametrliliyi izolə edilmiş və virtual sxemləri hazırlanmışdır. İsbat edilmişdir ki, kanalların bölüşdürülməsinin məlum sxemləri, o cümlədən tam qəbuletmə sxemi, həmçinin kanalların və kəsmənin ehtiyatda saxlanması üçün bir-parametrliliyi sxemləri, burada təklif edilmiş kanalların bölünməsi sxemlərinin xüsusi hallarıdır.

3. Kanalların bölüşdürülməsinin təklif edilmiş sxemlərdən istifadə vaxtı öyrənilən inteqral HRŞ-lərin riyazi modelləri işlənilib hazırlanmışdır. Göstərilmişdir ki, bu modellər ikiölçülü Markov zəncirləri ilə ifadə olunur, belə ki bu zəncirlərin vəziyyətlər fəzaları kanalların bölüşdürülməsinin qəbul edilmiş sxemlərdən asılıdır. Öyrənilən Markov zəncirlərinin doğuran matrislərinin qurulması alqoritmləri işlənilib hazırlanmışdır.

4. Qurulmuş Markov zəncirlərinin vəziyyətlərinin stasionar ehtimallarının hesablamasının analitik üsulları işlənib hazırlanmışdır. Hər bir sxemdəki stasionar paylanmanın müvafiq vəziyyətlər fəzası üzərində multiplikativ formaya malik olduğu isbat edilmişdir. Kanalların bölünməsinin hər bir sxemindən istifadə vaxtı öyrənilən inteqral HRŞ-lərin QoS göstəricilərinin hesablaması üçün aşkar düsturlar alınmışdır. Kanalların bölünməsinin təklif edilmiş sxemlərinin parametrlərinin lazımı qiymətlərinin seçilməsi hesabına QoS göstəricilərinin optimallaşdırılması məsələləri həll edilmişdir.

**İşin nəzəri və praktiki əhəmiyyəti.** İşin nəzəri əhəmiyyəti ondan ibarətdir ki, inteqral HRŞ-də kanalların izolə edilmiş və virtual bölünməsinin yeni sxemləri təklif edilmiş və göstərilən şəbəkələrin xidmət keyfiyyətinin göstəricilərinin hesablanması və optimallaşdırılması məsələləri analitik şəkildə həll edilmişdir.

Öz növbəsində, praktiki əhəmiyyət ondan ibarətdir ki, onda təklif edilmiş kanalların bölünməsinin sxemlərindən istifadə, kanalların bölünməsinin optimal sxemlərinin reallaşdırılması hesabına onların istismarı mərhələsində inteqral HRŞ-lərin fəaliyyətinin səmərəliliyini yüksəltməyə imkan verirlər.

**İşin nəticələrinin sınaqdan keçirilməsi və tətbiqləri.** Dissertasiyanın əsas müddəaları və nəticələri aşağıdakı konfrans və seminarlarda təqdim olunmuş və müzakirə edilmişdir: IV və V Beynəlxalq elmi-texniki “Kompüter sistemləri və şəbəkə texnologiyaları” konfranslarında (Kiyev, 2013 və Kiyev, 2014); XIII, XIV, XV və XVI Beynəlxalq “Information Technology and Mathematical Modeling – İnformasiya Texnologiyaları və Riyazi Modelləşdirmə” konfranslarında (Tomsk, 2014-2017), VI Ümumukrayna elmi-praktik “İnformatika və sistem elmləri” konfransının materialları (Poltava, 2015).

Dissertasiya işinin nəticələri Azərbaycan Respublikasının AzQtel MMC-nin 4G Mobil WIMAX şəbəkəsində sınaqdan keçirilmiş və gələcəkdə istifadə üçün məsləhət görülmüşdür.

**İşin yerinə yetirildiyi müəssisənin adı.** Dissertasiya işinə müəllifin AMEA-nın İdarəetmə Sistemləri İnstitutunda 2015-ci ildən bəri əldə etdiyi nəticələr daxil edilmişdir.

**Dissertasiyanın struktur bölmələrinin ayrılıqda həcmi qeyd olunmaqla dissertasiyanın işarə ilə ümumi həcmi.** Dissertasiya giriş, dörd fəsil, nəticə, ədəbiyyat siyahısı və əlavələrdən ibarətdir. İş 142 səhifəni, o cümlədən, 33 şəkli, 5 cədvəli və 90 addan ibarət ədəbiyyat siyahısını özündə əhatə edir. İşin ümumi həcmi 233 369 işarə, birinci fəsil – 34 000 işarə, ikinci fəsil – 52 000 işarə, üçüncü fəsil – 60 000 işarə, dördüncü fəsil – 54 000 işarədən ibarətdir.

## İŞİN ƏSAS MƏZMUNU

**Girişdə** mövzunun aktuallığı göstərilir, tədqiqatın məqsəd və vəzifələri müəyyənləşdirilir, elmi yeniliklər sadalanır və müdafiəyə çıxarılan əsas müddəalar, həmçinin işin nəzəri və praktik əhəmiyyəti göstərilir. Burada dissertasiya işinin hər bir fəsilinin qısa məzmunu verilmişdir.

**Birinci fəsildə** inteqral hücrəli rabitə şəbəkələrdə xidmətin əsas kateqoriyalarına baxılır və müxtəlif tipli trafiklərə xidmət keyfiyyətinin əsas göstəriciləri göstərilir. Qeyd olunur ki, bu işdə trafikin dörd növü fərqləndirilir: yeni danışıq sorğuları (ov) və verilənlərin yeni sorğuları -(od), hendover danışıq sorğuları (hv) və verilənlərin hendover sorğuları (hd). Fərz olunur ki, bu trafiklər sonlu intensivlikləri olan Puasson axınlarını təşkil edirlər. Bundan başqa, hesab edilir ki, danışığın və verilənlərin yeni sorğularının xidmət vaxtı, müxtəlif orta qiymətlərlə eksponensial paylanma funksiyasına malik olan təsadüfi kəmiyyətlərdir. Eksponensial paylanma funksiyası yaddaşa malik olmadığına görə, danışığın və verilənlərin hendover sorğularına xidmətin vaxtı da eyni orta qiymətlərə malik təsadüfi kəmiyyətlərdir.

Qeyd edilir ki, QoS göstəricilərinin qiymətləri əhəmiyyətli şəkildə sistemə müxtəlif sorğuların giriş strategiyasını müəyyənləşdirən hər bir hücrənin kanallarının bölünməsinin qəbul edilmiş sxemi ilə müəyyən edilir. Bu fəsildə kanalların bölüşdürülməsinin izolə olunmuş və virtual sxemlərlə inteqral HRS-nin riyazi modellərinin öyrənilməsinin aktuallığı göstərilir. Göstərilir ki, kanalların bölüşdürülməsi sxemlərinin tənzimlənən parametrlərinin mövcudluğu, xidmət göstəricilərinin keyfiyyətinə uyğun gələn müxtəlif sorğuların tələblərini təmin etməyə imkan verir.

İnteqral HRS-lərdə kanalların bölünməsinin müxtəlif sxemlərinin öyrənilməsi işlərin qısa icmalı verilir. Qeyd olunur ki, işlərin böyük əksəriyyətində tam girişli giriş strategiyasının ideyalarına əsaslanan sadə sxemlər öyrənilir. Burada bu strategiyanın



müxtəlif modifikasiyaları öyrənilir, yəni kanalların ehtiyatda saxlanması strategiyası və sorğuların kəsilməsi strategiyası.

Bu fəslin sonunda xidmətin modellərinin danışıqın və verilənlərin sorğularına xidmət göstərilən məftilli inteqral şəbəkələrin tədqiqatı vaxtı istifadə olunan iki sinfinə baxılmışdır. Müxtəlif tipli sorğularla və kanalların ehtiyatda saxlanması ilə xidmət sisteminin modeli öyrənilmişdir. Həmçinin müxtəlif-zolaqlı sorğulara xidmət sisteminin modeli, yəni danışıqın darzolaqlı sorğuları və verilənlərin genişzolaqlı sorğuları ilə xidmət göstərilən model də öyrənilmişdir.

**İkinci fəsildə** əvvəlcə danışıqın və verilənlərin sorğuları arasında sistemin kanallarının tam bölünməsinin sxeminə baxılmış, müxtəlif tipli sorğuların itməsi ehtimallarına qoyulmuş məhdudiyyətlər daxilində təklif edilmiş sxemin parametrlərinin lazımı qiymətlərinin seçimi məsələsinin həlli alqoritmi işlənib hazırlanmışdır. Burada həmçinin inteqral HRŞ-də danışıq və verilənlər sorğuları arasında kanallar çoxluğunun bölüşdürülməsi sxemləri təklif edilmişdir. Bu zaman kanalların fərdi toplumu yalnız danışıq sorğuları üçün ayrılır. Bu halda kanalların bölünməsinin izolə edilmiş və virtual sxemləri araşdırılır və hər iki sxemdə kanalların ümumi zonası sorğuların bütün tipləri tərəfindən istifadə olunur.

İzolə edilmiş bölünmənin sxemində danışıq sorğuları əvvəlcə öz fərdi zonasında boş kanalları tutur. Əgər bu zonanın bütün kanalları tutulmuşdursa, onda boş kanal yalnız danışıqın hendover sorğuları üçün ümumi zonada yerləşir.

İnteqral şəbəkənin öyrənilən hücrəsinin baza stansiyası  $N > 1$  radio kanallara malikdir. Kanallar çoxluğu iki qrupa bölünmüşdür: ümumi sayı  $N$  olan kanaldan  $N_v$  sayda kanal ancaq danışıq sorğuları üçün ayrılır, qalan  $N_{vd} = N - N_v$  sayda kanal isə danışıq və verilənlərin sorğularının birgə istifadəsi üçün istifadə olunur. Başqa sözlə,  $N$  kanaldan ibarət bütün çoxluq iki zonaya bölünür:  $N_v$  kanaldan ibarət fərdi zona ( $v$ -zona yalnız  $v$ -sorğular üçün) və  $N_{vd}$  kanaldan ibarət ümumi zona ( $vd$ -zonav-  $vəd$ -sorğular üçün). Sorğuların dörd Puasson axını emal edilir, danışıqın yeni sorğuları ( $ov$ -sorğular) və

verilənlərin yeni sorğularından (od-sorğular) başqa, həmçinin danışıqın hendover (hv-sorğular) və verilənlərin hendover sorğuları (hd-sorğular).x-sorğuların intensivliyi  $\lambda_x, x \in \{hv, ov, hd, od\}$  vasitəsi ilə işarə edilir. Müxtəlif tipli sorğularla kanalların məşğuliyyəti vaxtının paylanma funksiyaları üstlü funksiyalardır və bir danışıq sorğusu(yeni və ya hendover) üçün kanalın məşğuliyyətinin orta vaxtı  $1/\mu_v$  kəmiyyətinə, verilənlərin (yeni və ya hendover) sorğuları üçün uyğun olan göstərici isə  $1/\mu_d$  kəmiyyətinə bərabər olur. Hər iki növ yeni və hendover sorğuları kanallarının məşğuliyyətinin orta vaxtlarının eyniliyi üstlü paylanmanın yaddaşının olmaması ilə izah olunur.

Kanalların bölünməsinin təklif edilmiş sxemindən istifadə vaxtı müxtəlif tipli sorğuların giriş strategiyaları aşağıdakı qaydaların köməyi ilə təsvir edilir:

- Əgər ov-sorğunun daxil olması anında v-zonada heç olmasa bir boş kanal varsa, onda o, bu zonanın istənilən boş kanalını tutur; əks təqdirdə ov-sorğu itir. Əgər hv-sorğunun daxil olmasında heç olmasa v-zonada bir boş kanal varsa, onda o, bu zonanın istənilən boş kanalını tutur. Əks təqdirdə hv-sorğunun kanala girişin alınması üçün onun şanslarını artırmaq məqsədi ilə boş kanal vd-zonada yerləşir. Bu halda verilənlərin sorğularının müdafiəsi məqsədi ilə bu zonada hv-sorğuların maksimal sayına məhdudiyyət olur, yəni vd-zonada hv-sorğuların maksimal sayı  $R_{hv}, 1 \leq R_{hv} \leq N_{vd}$  olur.

- Əgər hv-sorğunun daxil olması anında vd-zonada heç olmasa bir boş kanal varsa, onda bu sorğu emal üçün qəbul edilir; əks təqdirdə o itir. Əgər daxil olan sorğu od-sorğu sinfinə aiddirsə, o, kanala ancaq o halda giriş əldə edir ki, bu zonada d-sorğuların ümumi miqdarı  $R_{od}, 1 \leq R_{od} \leq N_{vd} - 1$  kəmiyyətindən kiçik olsun; əks təqdirdə od-sorğuitir.

Danışıqın yeni sorğularının itmə ehtimalı  $(P_{ov})$  yükü  $\nu_v$  erl olan klassik  $M/M/N_v/0$  Erlanq modelində sorğuların itməsinin ehtimalı kimi təyin edilir, yəni

$$P_{ov} = E_B(\nu_v, N_v), (1)$$

burada  $\nu_v := (\lambda_{ov} + \lambda_{hv})/\mu_v$ ,  $E_B(\nu, N) = \frac{\nu^N}{N!} / \sum_{k=0}^N \frac{\nu^k}{k!}$ .

Bununla belə, danışıqın hendover sorğularının itməsi ehtimalı  $(P_{hv})$  (1) düsturunun köməyi ilə müəyyən edilə bilməz, çünki bu sorğular  $v$ -zonaya giriş əldə etməyib, müəyyən şərtlərdə  $vd$ -zonaya yönəlirlər. Bir halda ki,  $v$ -zonada  $hv$ -sorğuların itməsinin ehtimalı həmçinin (1) düsturdan təyin edilir, onda  $hv$ -sorğuların  $v$ -zonaya daxil olmalarının intensivliyi  $(\hat{\lambda}_{hv})$  belə müəyyən edilir:  $\tilde{\lambda}_{hv} = \lambda_{hv} P_{od}$ . Beləliklə, qalan üç trafikinin QoS göstəricisini müəyyən etmək üçün Puasson sorğularının üç növü ilə  $M/M/N_{vd}/0$  Erlanq modelini tədqiq etmək lazımdır. Yəni bu sistemə  $hv$ -sorğuları  $(\tilde{\lambda}_{hv}$  intensivliyi ilə),  $od$ -sorğuları  $(\lambda_{od}$  intensivliyi ilə) və  $hd$ -çağırışları  $(\lambda_{hd}$  intensivliyi ilə) daxil olurlar. Müxtəlif növlü sorğuların emal vaxtı bir-birindən fərqləndiyinə görə bu sistemin zamanın istənilən anında vəziyyəti ikiölçülü  $\mathbf{n} = (n_d, n_v)$ , vektoru ilə müəyyən edilir, burada  $n_d$  və  $n_v$  uyğun olaraq kanallarda  $d$ -sorğuların və  $hv$ -sorğuların ümumi sayını göstəririlər.

Baxılan sistemin riyazi modeli vəziyyətlər fəzası (VF) aşağıdakı kimi təyin olunan ikiölçülü Markov zənciri ilə təsfir olunur:

$$S = \{ \mathbf{n} : n_d = 0, 1, \dots, N_{vd}; n_v = 0, 1, \dots, R_{hv}; n_d + n_v \leq N_{vd} \} \quad (2)$$

Müxtəlif tipli sorğuların  $vd$ -zonasına girişinin təklif edilmiş strategiyasını nəzərə alaraq VF (2) vəziyyətləri arasında keçidlərin intensivliyini aşağıdakı qaydada tapmaq olar. Fərz edək ki, sistemin başlanğıc vəziyyəti  $\mathbf{n} \in S$  olur:

•Əgər  $n \in S$  vəziyyətində d-sorğuların ümumi sayı  $R_{od}$  kəmiyyətindən kiçikdirsə, ondadaxil olmuş d-sorğularonların növündən asılı olmayaraq xidmət üçün qəbul edilirlər. Beləliklə,  $\lambda_d$  intensivliyi ilə  $n + e_1 \in S$  vəziyyətinə keçid baş verir, burada  $\lambda_d = \lambda_{od} + \lambda_{hd}$  və  $e_1 = (1, 0)$ .

•Əgər  $n \in S$  vəziyyətində d-sorğuların ümumi sayı  $R_{od}$  kəmiyyətindən kiçik deyildirsə, onda yalnız daxil olmuş hd-sorğular xidmət üçün qəbul edilir (belə hallarda od-sorğular itirlər). Beləliklə,  $\lambda_{hd}$  intensivliyi ilə  $n + e_1 \in S$  vəziyyətinə keçid baş verir.

•Əgər  $n \in S$  vəziyyətində hv-sorğuların sayı  $R_{hv}$  kəmiyyətindən kiçikdirsə, onda daxil olmuş hd-sorğu xidmət üçün qəbul edilir və beləliklə,  $\tilde{\lambda}_{hv}$  intensivliyi ilə  $n + e_2 \in S$  vəziyyətinə keçid baş verir, burada  $e_2 = (0, 1)$ .

•Əgər  $n \in S$  vəziyyətində istənilən növ d-sorğuya xidmət tamamlanırsa, onda  $n_d \mu_d$  intensivliyi ilə  $n - e_1 \in S$  vəziyyətinə keçid baş verir.

•Əgər  $n \in S$  vəziyyətində hv-sorğuya xidmət tamamlanırsa, onda  $n_v \mu_v$  intensivliyi ilə  $n - e_2 \in S$  vəziyyətinə keçid baş verir.

Baxılan ikiölçülü MZ-nin infinitezimal matrisinin (Q-matris) mənfi olmayan elementləri,  $q(n, n'), n, n' \in S$ , aşağıdakı münasibətlərdən təyin edilirlər:

$$q(n, n') = \begin{cases} \lambda_d, & \text{əgər } n_d < N_{od}, \mathbf{n}' = \mathbf{n} + \mathbf{e}_1, \\ \lambda_{hd}, & \text{əgər } n_d \geq N_{od}, \mathbf{n}' = \mathbf{n} + \mathbf{e}_1, \\ \tilde{\lambda}_{hv}, & \text{əgər } n_v < R_{hv}, \mathbf{n}' = \mathbf{n} + \mathbf{e}_2, \\ n_d \mu_d, & \text{əgər } \mathbf{n}' = \mathbf{n} - \mathbf{e}_1, \\ n_v \mu_v, & \text{əgər } \mathbf{n}' = \mathbf{n} - \mathbf{e}_2, \\ 0 & \text{qalan hallarda.} \end{cases} \quad (3)$$

Fərz edək ki,  $\mathbf{p}(\mathbf{n})$   $\mathbf{n} \in S$  vəziyyətinin stasionar ehtimalını bildirir. Aşağıdakı hökm isbat edilmişdir.

*Hökm1.* Kanalların bölünməsinin təklif edilmiş IP-sxemindən istifadə etdikdə sistemin vəziyyətlərinin stasionar ehtimalları multiplikativ şəkildə təyin olunurlar:

$$p(i, j) = \begin{cases} \frac{v_d^i \cdot \tilde{v}_{hv}^j}{i! \cdot j!} \cdot p(0,0), & \text{əgər } 0 \leq i \leq R_{od}, 0 \leq j \leq \min(R_{hv}, N_{vd} - i), \\ \left(\frac{v_d}{v_{hd}}\right)^{R_{od}} \cdot \frac{v_{hd}^i \cdot \tilde{v}_{hv}^j}{i! \cdot j!} \cdot p(0,0), & \text{əgər } R_{od} + 1 \leq i \leq N_{vd}, 0 \leq j \leq \min(R_{hv}, N_{vd} - i), \end{cases} \quad (4)$$

burada,  $\mathbf{p}(\mathbf{0}, \mathbf{0})$  normalaşdırılma şərtindən tapılır, yəni  $\sum_{\mathbf{n} \in S} p(\mathbf{n}) = 1$ .

Burada və sonra aşağıdakı işarələr qəbul edilmişdir:

$$v_d = \lambda_d / \mu_d, v_{hd} = \lambda_{hd} / \mu_d, \tilde{v}_{hv} = \tilde{\lambda}_{hv} / \mu_v.$$

Verilmiş sxemdən istifadə vaxtı hücrələrin QoS göstəricilərinin hesablanması üçün aşağıdakı düsturlar alınmışdır:

$$P_{hv} = \sum_{\mathbf{n} \in S} p(\mathbf{n}) (\delta(n_v, R_{hv}) (1 - \delta(n_d + n_v, N_{vd})) + (1 - \delta(n_v, R_{hv})) \delta(n_d + n_v, N_{vd})), \quad (5)$$

burada  $\delta(i, j)$  – Kroneker simvollarıdır;

$$P_{od} = \sum_{\mathbf{n} \in S} p(\mathbf{n}) I(n_d \geq R_{od}), \quad (6)$$

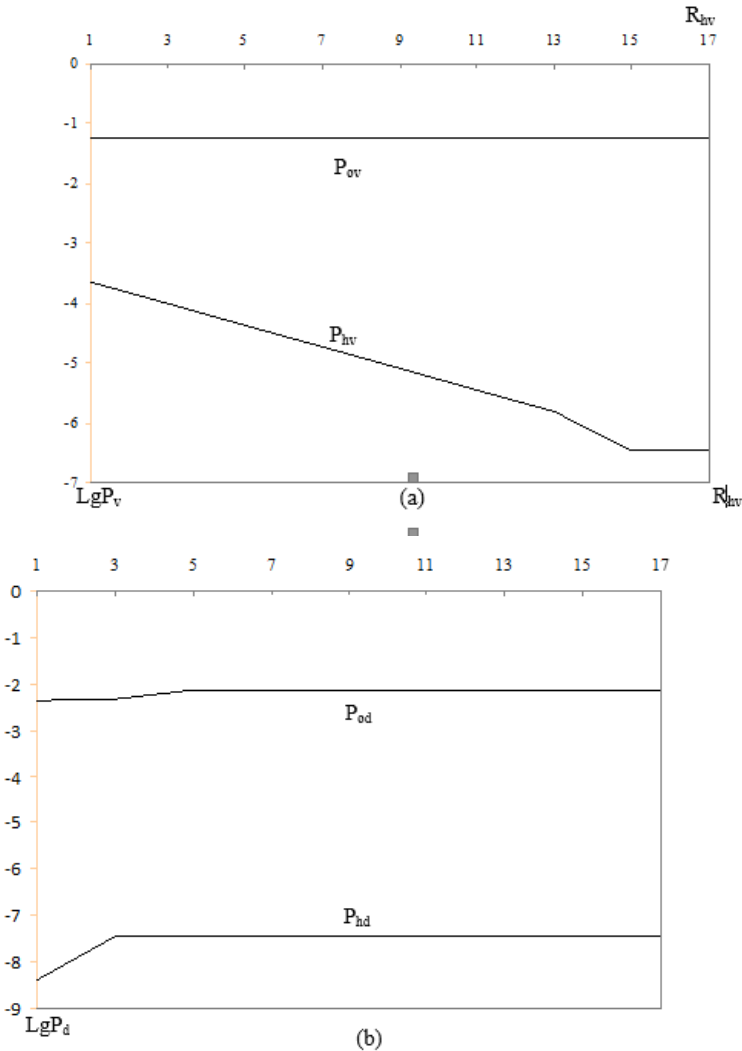
burada  $I(A)$  – A hadisəsinin indikator funksiyasıdır;

$$P_{hd} = \sum_{\mathbf{n} \in S} p(\mathbf{n}) \delta(n_d + n_v, N_{vd}). \quad (7)$$

Hazırlanmış alqoritm, təklif olunan kanalın bölüşdürülməsi sxemindən istifadə vaxtı hücrə modelinin struktur və yüklənmə parametrlərindəki dəyişikliklərə nəzərən QoS göstəricilərinin davranışlarını öyrənməyə imkan verir. Qısalıq üçün burada yalnız QoS göstəricilərinin  $R_{hv}$  parametrindən asılılığı öyrənilmişdir, belə ki, sistemin struktur və yüklənmə parametrləri qeyd edilmiş hesab edilirlər.

Modelin ilkin verilənləri belə seçilmişdir:  $N=30$ ,  $\lambda_{ov} + \lambda_{hv} = 0.15$  çağırış/san,  $\lambda_{od} + \lambda_{hd} = 0.3$  çağırış/san,  $\mu_v^{-1} = 2$  san,  $\mu_d^{-1} = 120$  san. Fərz edilir ki,  $N_v = 12, N_{vd} = 18$  və danışıq sorğuların bütün trafikinin 30%-i danışıqın hendover sorğuları təşkil edir, verilənlərin trafikinin 80%-i isə yeni verilənlərdən ibarət olur.

Şəkil1-də QoS göstəricilərinin  $R_{hv}$  parametrindən asılılığı göstərilmişdir.



Şəkil 1. QoS göstəricilərinin  $R_{hv}$  parametrindən asılılığı.

Sonra kanalların bölünməsinin virtual sxemlərindən istifadə zamanı öyrənilən HRŞ-nin riyazi modeli qurulmuşdur və xidmət keyfiyyətinin

göstəricilərinin hesablanması üsulu işlənilib hazırlanmışdır. Bu alqoritmlər əsasında uyğun proqram təminatları işlənilib hazırlanmış, hesablama eksperimentləri aparılmış və onların nəticələri analiz edilmişdir.

**Üçüncü fəsil**də danışıq və verilənlərin yeni və hendover sorğularının emal edildiyi əlaqənin inteqral hücrəli rəbitə şəbəkəsində kanalların ümumi toplumunun izolə edilmiş bölünməsinin çoxparametrlili sxemləri təklif edilmişdir. Verilənlər və danışıq sorğuları üçün iki fərdi kanal zonasını və onları bölüşmək üçün ümumi bir zonanı ayırd edirlər. Başqa sözlə, burada  $N$  kanalların bütün çoxluğu üç zonaya bölünür:  $N_v$  kanaldan ibarət fərdi zona (yalnız v-sorğular üçün v-zona),  $N_d$  kanaldan ibarət fərdi zona (yalnız d-sorğular üçün d-zona) və  $N_{vd}$  kanaldan ibarət ümumi zona (v-sorğular və d-sorğular üçün vd-zonası). Kanalların bölünməsinin baxılan sxeminin iki variantı təklif edilmişdir.

**I variant.** Bu variantda (IPwCZv1-sxem kimi işarə edilir) v-sorğuların girişi aşağıdakı qaydada həyata keçirilir.

• Əgər hv-sorğunun daxil olması anında v-zonada heç olmasa bir boş kanal varsa, o, bu zonanın istənilən boş kanalını tutur. Əgər ov-sorğunun daxil olması anında bu zonada məşğul kanalların sayı  $G_{ov}, 1 \leq G_{ov} \leq N_v$  kəmiyyətindən kiçikdirsə, o, bu zonanın istənilən boş kanalını tutur; əks təqdirdə boş kanal vd-zonasında axtarılır.

• Əgər hd-çağırışın daxil olması anında d-zonada heç olmasa bir boş kanal varsa, o, bu zonanın istənilən boş kanalını tutur. Əgər od-sorğunun daxil olması anında bu zonada məşğul kanalların sayı  $G_{od}, 1 \leq G_{od} \leq N_d$  kəmiyyətindən kiçikdirsə, o, bu zonanın istənilən boş kanalını tutur; əks təqdirdə boş kanal vd-zonasında axtarılır.

**II variant.** Bu variantda (IPwCZv2-sxem kimi işarə edilir) v-sorğular və d-sorğuların girişi uyğun olan fərdi zonalarla IPwCZv1-sxemindəki kimi həyata keçirilir. Bununla birlikdə, bu sxemdə, daxil olmuş hv-sorğular və hd-sorğular vahid ehtimalla vd-zonaya qəbul

edilirlər, əgər onların daxil olması anlarında heç olmasa bu zonanın bir boş kanalı varsa; əks təqdirdə onlar itirlər. Ancaq, ov-sorğu (od-sorğu) vd-zonaya qəbul edilir, əgər onun daxil olması anında danışıq sorğularının (verilənlər sorğularının) ümumi sayı  $R_{ov}(R_{od}), 1 \leq R_{od} \leq R_{ov} \leq N_{vd}$  kəmiyyətindən kiçik olarsa.

Hər iki variantda sistemin vəziyyətlər fəzası belə müəyyən edilir:

$$S = \{ \mathbf{n} : n_d = 0, 1, \dots, N_{vd}, n_v = 0, 1, \dots, N_{vd}; n_d + n_v \leq N_{vd} \}. \quad (8)$$

Avtoreferatın həcminin məhdud olması səbəbindən burada yalnız kanalların bölünməsinin IPwCZv2-sxemi üçün məsələnin həlli təqdim edilir.

*Hökm2.* Kanalların bölünməsinin IPwCZv2-sxemindən istifadə edildikdə ümumi zonda vəziyyətlərin ehtimallarının stasionar paylanması aşağıdakı şəkildədir:

$R_{od} \leq N_{vd} - R_{ov}$  halı üçün:

$$p(n_d, n_v) = \begin{cases} \frac{\tilde{V}_d^{n_d}}{n_d!} \cdot \frac{\tilde{V}_v^{n_v}}{n_v!} \cdot p(0,0), & \text{əgər } (n_d, n_v) \in S_1 \\ \left( \frac{\tilde{V}_v}{\tilde{V}_{hv}} \right)^{R_{ov}} \cdot \frac{\tilde{V}_d^{n_d}}{n_d!} \cdot \frac{\tilde{V}_{hv}^{n_v}}{n_v!} \cdot p(0,0), & \text{əgər } (n_d, n_v) \in S_2 \\ \left( \frac{\tilde{V}_d}{\tilde{V}_{hd}} \right)^{R_{od}} \cdot \frac{\tilde{V}_{hd}^{n_d}}{n_d!} \cdot \frac{\tilde{V}_v^{n_v}}{n_v!} \cdot p(0,0), & \text{əgər } (n_d, n_v) \in S_3 \\ \left( \frac{\tilde{V}_d}{\tilde{V}_{hd}} \right)^{R_{od}} \cdot \left( \frac{\tilde{V}_v}{\tilde{V}_{hv}} \right)^{R_{ov}} \cdot \frac{\tilde{V}_{hd}^{n_d}}{n_d!} \cdot \frac{\tilde{V}_{hv}^{n_v}}{n_v!} \cdot p(0,0), & \text{əgər } (n_d, n_v) \in S_4 \end{cases} \quad (9)$$

burada  $\tilde{V}_{hd} = \tilde{\lambda}_{hd} / \mu_d$ ,  $\tilde{V}_{hv} = \tilde{\lambda}_{hv} / \mu_v$ . Burada həmçinin aşağıdakı işarələmələr qəbul edilmişdir:

$$S_1 = \{ (n_d, n_v) \in S : 0 \leq n_d \leq R_{od}, 0 \leq n_v \leq R_{ov} \},$$

$$S_2 = \{ (n_d, n_v) \in S : 0 \leq n_d \leq R_{od}, n_v > R_{ov} \},$$

$$S_3 = \{ (n_d, n_v) \in S : n_d > R_{od}, 0 \leq n_v \leq R_{ov} \},$$

$$S_4 = \{ (n_d, n_v) \in S : n_d > R_{od}, n_v > R_{ov} \}.$$



$R_{od} > N_{vd} - R_{ov}$  halı üçün:

$$p(n_d, n_v) = \begin{cases} \frac{\tilde{v}_d^{n_d}}{n_d!} \cdot \frac{\tilde{v}_v^{n_v}}{n_v!} \cdot p(0,0), & \text{əgər } (n_d, n_v) \in T_1, \\ \left( \frac{\tilde{v}_d}{\tilde{v}_{hd}} \right)^{R_{od}} \cdot \frac{\tilde{v}_d^{n_d}}{n_d!} \cdot \frac{\tilde{v}_v^{n_v}}{n_v!} \cdot p(0,0), & \text{əgər } (n_d, n_v) \in T_2, \\ \left( \frac{\tilde{v}_v}{\tilde{v}_{hv}} \right)^{R_{ov}} \cdot \frac{\tilde{v}_d^{n_d}}{n_d!} \cdot \frac{\tilde{v}_v^{n_v}}{n_v!} \cdot p(0,0), & \text{əgər } (n_d, n_v) \in T_3. \end{cases} \quad (10)$$

Burada aşağıdakı işarələmələr qəbul edilmişdir:

$$T_1 = \{(n_d, n_v) \in S : 0 \leq n_d \leq R_{od}, 0 \leq n_v \leq R_{ov}\},$$

$$T_2 = \{(n_d, n_v) \in S : n_d > R_{od}, 0 \leq n_v \leq N_{vd} - n_d\},$$

$$T_3 = \{(n_d, n_v) \in S : 0 \leq n_d \leq N_{vd} - R_{ov} - 1, n_v > R_{ov}\}.$$

Hər iki halda  $p(0,0)$  normallaşdırma şərtindən tapılır.

Kanalların bölünməsinin IPwCZv2-sxemindən istifadəsi vaxtı müxtəlif tipli yeni sorğuların itməsi ehtimalının hesablanması üçün aşağıdakı aşkar düsturları tapırıq:

$$P_{hv}^{(c)} = P_{hd}^{(c)} = \sum_{n_d=0}^{N_{vd}} p(n_d, N_{vd} - n_d); \quad (11)$$

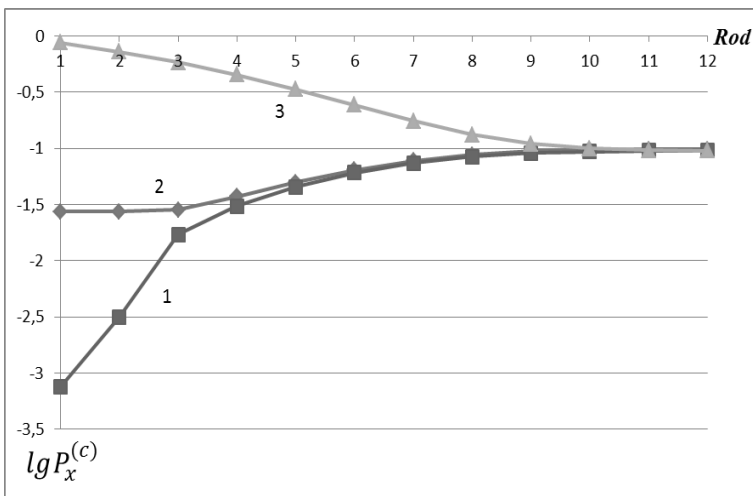
$$P_{ov}^{(c)} = \sum_{n_v=0}^{R_{ov}-1} p(N_{vd} - n_v, n_v) + \sum_{n_v=R_{ov}}^{N_{vd}} \sum_{n_d=0}^{N_{vd}-n_v} p(n_d, n_v); \quad (12)$$

$$P_{od}^{(c)} = \sum_{n_d=0}^{R_{od}-1} p(n_d, N_{vd} - n_d) + \sum_{n_d=R_{od}}^{N_{vd}} \sum_{n_v=0}^{N_{vd}-n_d} p(n_d, n_v). \quad (13)$$

Kanalların bölünməsinin IPwCZv2-sxemi üçün ədədi eksperimentlərin nəticələrinə baxaq. Hipotetik modelin yükləmə parametrləri aşağıdakı kimi seçilmişdir:  $\lambda_{ov} + \lambda_{hv} = 2.8$  çağırış/san,  $\lambda_{od} + \lambda_{hd} = 5.4$  çağırış/san,  $\mu_v^{-1} = 5$  san,  $\mu_d^{-1} = 2$  san. Fərz edilir ki, trafikün ümumi intensivliyinin 50%-ni hendover sorğular təşkil edir.

Sistem 35 kanala malikdir ( $N = 35$ ), onlardan v-zona üçün 12 kanal ( $N_v = 12$ ) və d-zona üçün isə 8 kanal ( $N_d = 8$ ) ayrılmışdır.

Yalnız  $R_{od}$  parametrinin dəyişikliyinə nəzərən müxtəlif növ sorğuların itməsi ehtimalının asılılığına baxılır, çünki  $R_{ov}$  parametrindən asılılıq analogi xarakterə malikdir. Ədədi eksperimentlərin nəticələri şəkil 2-də göstərilmişdir. Burada qəbul edilmişdir ki,  $R_{ov} = 12, G_{ov} = 6, G_{od} = 6$ .



**Şəkil 2.** Kanalların bölünməsinin IPwCZv2-sxemindən istifadə zamanı müxtəlif tipli sorğuların itməsi ehtimallarının  $R_{od}$  parametrindən asılılığı, 1 –  $1 - \lg P_{hv}^{(c)}$  ( $\lg P_{hd}^{(c)}$ ), 2 –  $1 - \lg P_{ov}^{(c)}$ , 3 –  $1 - \lg P_{od}^{(c)}$ .

Burada, həmçinin QoS göstəricilərinin optimallaşdırılması üzrə bəzi məsələlər də kanalların bölünməsinin daxil edilən sxemlərinin parametrlərinin lazımi qiymətlərinin seçilməsinin hesabınahəll edilmişdir. Qısa olmaq üçün IPwCZv2-sxemdən istifadə edərək, yalnız xidmət keyfiyyətinin göstəricilərinə verilmiş

məhdudiyyətlərin təmin olunması üçün  $R_{hv}$  parametrinin lazımı qiymətlərinin seçilməsinin bir məsələsinə baxaq. Fərz edək ki, hendover tipli müxtəlif sorğuların itməsi ehtimalına və kanalların istifadə əmsalına ümumi zonada məhdudiyyətlər verilmişdir:

$$P_{hd} \leq \varepsilon_{hd}, \quad (14)$$

$$P_{hv} \leq \varepsilon_{hv}, \quad (15)$$

$$C_u \geq \sigma_h, \quad (16)$$

burada  $\varepsilon_{hd}$ ,  $\varepsilon_{hv}$  və  $\sigma_h$ —verilmiş kəmiyyətlərdir

(14)-(16) məsələsinin həllinin bəzi nəticələri cədvəldə verilmişdir.

Bu fəsilə həmçinin verilənlərin genişzolaqlı sorğuları ilə HRŞ-in modellərinə baxılmışdır.

Cədvəl. (14)-(16) məsələsinin həllinin nəticələri, burada  $\emptyset$  simvolu həllin olmadığını bildirir.

$\varepsilon_{hd}$	$\varepsilon_{hv}$	$\sigma_h$	$[R_{hv}^3, R_{hv}^1]$
$10^{-4}$	$10^{-2}$	0.21	$\emptyset$
$1,35 \cdot 10^{-4}$	0,2	0.2	[2, 3]
$1,36 \cdot 10^{-4}$	0,4	0.2	[1, 4]
$1,37 \cdot 10^{-4}$	$10^{-4}$	0.21	[6, 28]
$1,37 \cdot 10^{-4}$	0,4	0.2	[1, 28]

**Dördüncü fəsilə**, əvvəlcə, sistemin bütün kanalları məşğul olduqda və verilənlər sorğularının sayı müəyyən bir həddən artıq olduqda, daxil olan danışıq çağırışının verilənlər sorğunu kanaldan sıxışdırıb çıxaran virtual sxem təklif olunur. Kanalların bölünməsinin təklif edilmiş sxemindən istifadə edildikdə sisteminiki ölçülü Markovun zəncirini təşkil edən riyazi modeli qurulmuşdur.

Sonra burada, integral hücrəli rabitə şəbəkəsində kanallar çoxluğunun virtual bölünməsinin (Virtual Partition with Common

Zone, VPwCZ) çox parametrlı sxemləri təklif edilmişdir. Kanalların bölünməsinin IPwCZ-sxemindən bu sxemin əsas fərqi aşağıdakılardan ibarətdir: v-sorğunun (d-sorğunun) emalının sonunda v-zonada (d-zonada) olan boş kanal orada v-sorğu(d-sorğu) olduğu halda vd-zonaya aid edilir, bu halda eyni zamanda v-sorğunun (d-sorğu) emalını həyata keçirən vd-zonadakı kanal v-zonaya (d-zonaya) aid edilir. Başqa sözlə, kanalın bir zonadan başqa bir zonaya aparılması proseduru həyata keçirilir. Burada kanalların bölünməsinin baxılan sxeminin iki variantı təklif edilmişdir.

**I variant.** Kanalların bölünməsi sxeminin (onu VPwCZv1-sxem ilə işarə edək) bu variantında v-sorğuların və d-sorğuların girişi aşağıdakı qaydada həyata keçirilir. Əgər v-sorğunun (d-sorğunun) daxil olması anında v-zonasında (d-zonasında) heç olmasa bir boş kanal varsa, o, bu zonanın istənilən boş kanalını tutur; əks təqdirdə boş kanal vd-zonasında axtarılır. Bu variantda ümumi zona CS-sxeminə əsasən istifadə olunur.

**II variant.** Kanalların bölünməsi sxeminin (onu VPwCZv2-sxem ilə işarə edək) bu variantında, əvvəlkindən fərqli olaraq, ümumi zonada yeni sorğuların maksimal sayına məhdudiyətlər var, yəni ov-sorğu(od-sorğu) onun daxil olması anında danışıq sorğularının (verilənlərin sorğularının) ümumi sayı  $R_{ov}(R_{od}), 1 \leq R_{od} \leq R_{ov} \leq N_{vd}$  kəmiyyətindən kiçik olduqda vd-zonasına qəbul edilir. Bu onu bildirir ki, ov-sorğunun (od-sorğu) daxil olması anında vd-zonasında bu tip sorğularının sayı  $R_{ov}(R_{od})$  kəmiyyətinə bərabədirsə, o, vd-zonasındakı boş kanalların sayından asılı olmayaraq itir.

Kanalların bölünməsinin VPwCZv1-sxemi üçün zamanın istənilən anında sistemin vəziyyəti ikiölçülü  $\mathbf{n} = (n_d, n_v)$  vektoru ilə müəyyən edilir, burada  $n_d$  və  $n_v$  sistemdə uyğun olaraq d-sorğuların və v-sorğuların ümumi sayını göstərir (onların fərdi zonalarda və ya ümumi zonada paylanmalarından asılı olmayaraq). Bu variantda müxtəlif tipli sorğular ümumi zonanın kanallarından bərabər hüquqlu şəkildə istifadə edirlər, buna görə sistemin vəziyyətinin faza fəzası belə təyin edilir:

$$S = \{n : n_d = 0, 1, \dots, N_d + N_{vd}, n_v = 0, 1, \dots, N_v + N_{vd}; n_d + n_v \leq N\}. \quad (17)$$

*Höküm 3.* Kanalların paylanması VPwCZv1-sxemindən istifadə edildikdə sistemin vəziyyətlərinin ehtimallarının stasionar paylanması aşağıdakı kimidir:

$$p(n_d, n_v) = p(0,0) \frac{V_d^{n_d}}{n_d!} \frac{V_v^{n_v}}{n_v!}, \quad (18)$$

burada  $p(0,0)$  normalaşdırılma şərtindən tapılır.

Danışıq sorğuları aşağıdakı hallarda itirlər: (a) əgər danışıq sorğularının (yeni və ya hendover) daxil olması anında artıq kanallarda bu tipin  $N_v + N_{vd}$  sayda sorğuları varsa; (b) əgər danışıq sorğularının (yeni və ya hendover) daxil olması anında bu tipli sorğuların sayından asılı olmayaraq bütün kanallar məşğuldursa. Beləliklə, danışıq sorğularının (yeni və ya hendover) itməsinin ehtimalı belə təyin edilir:

$$P_{ov} = P_{hv} = \sum_{n \in S} p(n) (\delta(n_v, N_v + N_{vd}) + (1 - \delta(n_v, N_v + N_{vd})) \delta(n_v + n_d, N)). \quad (19)$$

(19) düsturunda birinci toplanan (a) hadisəsinin ehtimalını, ikinci toplanan isə (b) hadisəsinin ehtimalını müəyyən edir.

Analoji qaydada düşünərək alırıq ki, verilənlərin (yeni və ya hendover) sorğularının itməsinin ehtimalı belə təyin edilir:

$$P_{od} = P_{hd} = \sum_{n \in S} p(n) (\delta(n_d, N_d + N_{vd}) + (1 - \delta(n_d, N_d + N_{vd})) \delta(n_v + n_d, N)). \quad (20)$$

Beləliklə, (18)-(20) nəzərə alınmaqla öyrənilən sistemin QoS göstəricilərinin hesablanması üçün aşağıdakı düsturları təklif etmək olar:

$$P_{ov} = P_{hv} = p(0,0) \left( \frac{V_v^{N_v + N_{vd}}}{(N_v + N_{vd})!} \sum_{n_d=0}^{N_d} \frac{V_d^{n_d}}{n_d!} + \sum_{n_d=N_d+1}^{N_d+N_{vd}} \frac{V_d^{n_d}}{n_d!} \cdot \frac{V_v^{N-n_d}}{(N-n_d)!} \right); \quad (21)$$

$$P_{od} = P_{hd} = p(0,0) \left( \frac{V_d^{N_d + N_{vd}}}{(N_d + N_{vd})!} \sum_{n_v=0}^{N_v} \frac{V_v^{n_v}}{n_v!} + \sum_{n_v=N_v+1}^{N_v+N_{vd}} \frac{V_d^{N-n_v}}{(N-n_v)!} \cdot \frac{V_v^{n_v}}{n_v!} \right). \quad (22)$$

Knalların bölünməsinin VPwCZv2-sxemindən istifadə edildikdə sistemin vəziyyətlər fəzası (17) vasitəsi ilə verilir. Bununla birlikdə, bu variantda aşağıdakı hökm doğrudur.

*Hökm4.* Kanalların paylanması VPwCZv2-sxemindən istifadə edildikdə sistemin vəziyyətlərinin ehtimallarının stasionar paylanması aşağıdakı kimidir:

$R_{od} + R_{ov} \leq N_{vd}$  halı üçün:

$$p(n_d, n_v) = \begin{cases} \frac{V_d^{n_d}}{n_d!} \cdot \frac{V_v^{n_v}}{n_v!} \cdot p(0,0), & \text{əgər } 0 \leq n_d \leq N_d + R_{od}, 0 \leq n_v \leq N_v + R_{ov}, \\ \left(\frac{V_v}{V_{hv}}\right)^{R_{ov}} \cdot \frac{V_d^{n_d}}{n_d!} \cdot \frac{V_{hv}^{n_v}}{n_v!} \cdot p(0,0), & \text{əgər } 0 \leq n_d \leq N_d + R_{od}, \\ & N_v + R_{ov} + 1 \leq n_v \leq \min(N_v + N_{vd}, N - n_d), \\ \left(\frac{V_d}{V_{hd}}\right)^{R_{od}} \cdot \frac{V_{hd}^{n_d}}{n_d!} \cdot \frac{V_v^{n_v}}{n_v!} \cdot p(0,0), & \text{əgər } N_d + R_{od} + 1 \leq n_d \leq N_d + N_{vd}, \\ & 0 \leq n_v \leq \min(N_v + R_{ov}, N - n_d), \\ \left(\frac{V_d}{V_{hd}}\right)^{R_{od}} \cdot \left(\frac{V_v}{V_{hv}}\right)^{R_{ov}} \cdot \frac{V_{hd}^{n_d}}{n_d!} \cdot \frac{V_{hv}^{n_v}}{n_v!} \cdot p(0,0), & \text{əgər } N_d + R_{od} + 1 \leq n_d \leq N - N_v - R_{ov} - 1, \\ & N_v + R_{ov} + 1 \leq n_v \leq \min(N - N_d - R_{od}, N - n_d); \end{cases} \quad (23)$$

$R_{od} + R_{ov} > N_{vd}$  hal üçün:

$$p(n_d, n_v) = \begin{cases} \frac{V_d^{n_d}}{n_d!} \cdot \frac{V_v^{n_v}}{n_v!} \cdot p(0,0), & \text{əgər } 0 \leq n_d \leq N_d + R_{od}, 0 \leq n_v \leq \min(N_{vd} + R_{ov}, N - n_d), \\ \left(\frac{V_v}{V_{hv}}\right)^{R_{ov}} \cdot \frac{V_d^{n_d}}{n_d!} \cdot \frac{V_{hv}^{n_v}}{n_v!} \cdot p(0,0), & \text{əgər } 0 \leq n_d \leq N - N_{vd} - R_{ov} - 1, \\ & N_{vd} + R_{ov} + 1 \leq n_v \leq \min(N_v + N_{vd}, N - n_d), \\ \left(\frac{V_d}{V_{hd}}\right)^{R_{od}} \cdot \frac{V_{hd}^{n_d}}{n_d!} \cdot \frac{V_v^{n_v}}{n_v!} \cdot p(0,0), & \text{əgər } N_d + R_{od} + 1 \leq n_d \leq N_d + N_{vd}, 0 \leq n_v \leq N - n_d. \end{cases} \quad (24)$$

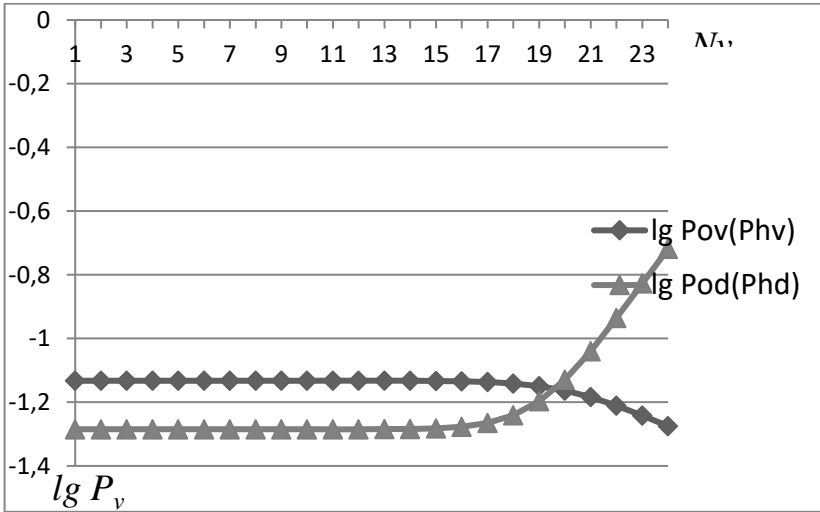
Hər iki halda  $p(0,0)$  normallaşdırma şərtindən tapılır.

Kanalların bölünməsinin IPwCZv2-sxemindən istifadə edildikdə yeni sorğuların itməsi ehtimalının hesablanması üçün aşağıdakı düsturları tapırıq:

$$P_{ov} = \sum_{n_d=0}^{N_d + N_{vd} - R_{ov}} \sum_{n_v=N_v + R_{ov}}^{\min(N_v + N_{vd}, N - n_d)} p(n_d, n_v); \quad (25)$$

$$P_{od} = \sum_{n_v=0}^{N_v+N_{vd}-R_{od}} \min(N_d+N_{vd}, N-n_v) \sum_{n_d=N_d+R_{od}} p(n_d, n_v). \quad (26)$$

Burada yalnız kanalların paylanması VPwCZv1-sxemi üçün ədədi eksperimentlərin nəticələrini təqdim edirik. Hipotetik modelin yükləmə parametrləri aşağıdakı qaydada seçilir:  $\lambda_{ov} + \lambda_{hv} = 2.8$  sorğu/san,  $\lambda_{od} + \lambda_{hd} = 5.4$  sorğu/san,  $\mu_v^{-1} = 5$  san,  $\mu_d^{-1} = 2$  san. Fərz edilir ki, trafikün ümumi intensivliyinin 50%-ini hendover sorğular təşkil edir. Sistem 35 kanala malik olur ( $N = 35$ ), onlardan 10 kanald-zona üçün ayrılmışdır ( $N_d = 10$ ), yəni qəbul edilir ki,  $N_v + N_{vd} = 25$ . Şəkil 3-də müxtəlif növ sorğuların itməsi ehtimalının  $N_v$  parametrindən asılılığı göstərilmişdir.



**Şəkil 3.** Kanalların bölünməsinin VPwCZv1-sxemi üçün danışıq sorğularının itməsi ehtimalının  $N_v$  parametrindən asılılığı

Burada, həmçinin verilənlərin genişzolaqlı sorğuları və danışıqın darzolaqlı sorğuları olan HRŞ-də kanalların virtual bölünməsinin iki

sxemi də təklif edilmişdir. Onlarda fərz edilir ki, danışıqın sorğuları (yeni və hendover) emal üçün yalnız bir kanal tələb edirlər, amma verilənlərin sorğularının (yeni və hendover) emalı üçün isə eyni zamanda  $b, b > 1$  sayda kanallar tələb olunur. Bu sxemlərin öyrənilməsi üçün unifikasiya edilmiş analitik yanaşma təklif edilmişdir və HRŞ xarakteristikalarının hesablanması üçün düsturlar təklif edilmişdir. Tapılmış düsturlar əsasında ədədi eksperimentlər aparılmışdır.

## Nəticə

1. Danışıq sorğuları darzolaqlı verilənlər sorğuları qarşısında yüksək prioritetlərə malik olduğu inteqral şəbəkələrdə kanalların ehtiyatda saxlanılmasının sxemi təklif edilmişdir. Bu sxemə əsasən danışıq sorğuları sistemin heç olmasa bir boş kanalı olduğu halda xidmət üçün qəbul edilir, lakin verilənlər sorğuları yalnız onda qəbul edilir ki, boş kanalların sayı müəyyən kəmiyyətdən böyük olsun. Uyğun ikiölçülü Markov zəncirinin vəziyyətlərinin stasionar ehtimallarının təyini üçün tarazlıq tənlikləri sistemi işlənilib hazırlanmış və onların köməyi ilə sistemin xidmət keyfiyyətinin göstəricilərinin hesablanması üçün aşkar düsturlar təklif edilmişdir.

2. Yalnız danışıq sorğuları üçün fərdi kanallar olan inteqral şəbəkələrdə kanalların bölünməsi üçün izolə edilmiş və virtual sxemlər təklif edilmişdir. Burada hesab olunur ki, əgər bu tip sorğuların sayı ümumi zonada müəyyən kəmiyyətdən böyük deyilsə, onda hendover danışıq sorğuları həm də ümumi kanallar zonasında xidmət oluna bilərlər.

3. Müxtəlif tipli sorğular üçün ümumi kanalları olan və kanalları izolə edilmiş şəkildə bölünmüş inteqral HRŞ-də kanalların bölünməsinin yeni sxemləri təklif edilmişdir. Verilənlərin darzolaqlı və genişzolaqlı sorğuları ilə olan modellərə baxılmışdır. Kanalların fərdi zonasında uyğun hendover sorğuları üçün kanalların ehtiyatda saxlanılmasının strategiyası istifadə olunur. Kanalların ümumi zonasından istifadə üçün iki sxem təklif edilir: sxemlərdən birində o, istənilən tipin sorğuları ilə bərabər hüquqlu istifadə olunur, amma



başqa sxemdə hər iki tip yeni sorğular üçün ümumi zonada uyğun tipin sorğularının ümumi sayından asılı olan hədd parametrləri daxil edilir. Kanalların bölünməsinin hər bir sxemi üçün öyrənilən HRŞ-in ikiölçülü Markov zəncirləri şəklində riyazi modelləri qurulmuşdur. Onların doğuran matrisləri qurulmuş və göstərilmişdir ki, vəziyyətlərin ehtimallarının stasionar paylanması multiplikativ şəkli malikdir. Kanalların sayının və müxtəlif tipli sorğuların yüklənmələrinin verilmiş qiymətlərinə uyğun olaraq kanalların paylanmasının hər sxeminin QoS göstəricilərinin hesablanması üçün aşkar düsturlar işlənib hazırlanmışdır. Bu düsturlar kanalların bölünməsinin müxtəlif sxemlərində sistemin xarakteristikalarının müqayisəli analizini yerinə yetirməyə və optimal sxemi (məüyyən mənada) seçməyə imkan verir.

4. Tapılmış düsturlar kanalların izolə edilmiş bölünməsinin müxtəlif sxemlərində sistemin QoS göstəricilərinin müqayisəli analizini aparmağa imkan verir. Göstərilmişdir ki, müxtəlif tipli sorğular üçün hədd parametrlərinin daxil edilməsi QoS göstəricilərinə qoyulmuş məhdudiyyətləri nəzərə almağa, və bununla da kanalların bölünməsinin optimal sxemini (verilmiş mənada) seçməyə imkan verirlər. Hücrə kanallarının müxtəlif tipli sorğuların arasında bölünməsinin optimal sxeminin tapılmasına uyğun olan məsələlərinin həllinin alqoritmləri işlənib hazırlanmışdır. Kanalların bölünməsinin müxtəlif sxemlərinin analizi üçün təklif edilmiş yanaşmanın səmərəliliyi ondan ibarətdir ki, o istənilən saydakanalları olanhücrəli rabitə şəbəkələrinin analizi üçün istifadə oluna bilər.

5. Verilənlər sorğularının kanaldan sıxışdırılmasının mümkünlüyünü nəzərə alan kanalların bölünməsinin virtual sxemi təklif edilmişdir. Bu sxemdə kanallar çoxluğu virtual olaraq iki qrupa bölünmüşdür və əgər sistemdə bu anda heç olmasa bir boş kanal varsa, ondaxil olmuş istənilən tiplisorğu xidmət üçün qəbul edilir. Əgər v-sorğunun daxil olması anında bütün kanallar tutulmuşdursa və bu tip sorğularının sayı məüyyən hədd qiymətindənkiçik deyildirsə, onda yenidən daxil olmuş v-sorğuitir; əks təqdirdə, yəni əgər v-sorğunun daxil olmasında bütün kanallar tutulmuşdursa, bu tip sorğuların sayı məüyyən hədd qiymətindən kiçikdirsə və kanallarda heç olmasa

bir d-sorğu varsa, onda yenidən daxil olmuş v-sorğu kanaldan bir d-sorğusıxışdırıb çıxarır. Əgər d-sorğu daxil olması anında bütün kanallar tutulmuşdursa, onda daxil olmuş d-sorğuitir. Kanalların bölünməsinin bu sxemindən istifadə vaxtı öyrənilən sistemin ikiölçülü Markov zənciri şəklində riyazi modeli qurulmuşdur. İsbat edilmişdir ki, qurulmuş MZ-nin stasionar paylanması multiplikativ şəklə malik deyil. Kanalların bölünməsinin bu sxemindən istifadə vaxtı QoS göstəricilərinin hesablanması üçün aşkar düsturlar işlənilib hazırlanmışdır.

### **Ədəbiyyatın siyahısı**

Bu dissertasiya işində öyrənilən modellərə yaxın və integral HRŞ modellərinin tədqiq olunduğu əsas işlərin adlarını özündə saxlayır.

Əlavələrdə nəticələrdən istifadə haqqında Akt təqdim olunur.

Dissertasiyanın əsas nəticələri aşağıdakı işlərdə dərc edilmişdir.

1. Велиджанова Г.М.Метод расчета модели систем обслуживания с двумя типами заявок // Материалы IVмеждународной научно-технической конференции “Компьютерные системы и сетевые технологии”. Киев: 2013. С. 22.
2. Велиджанова Г.М.Анализ модели сотовых сетей связи с виртуальным распределением каналов // Материалы Vмеждународной научно-технической конференции “Компьютерные системы и сетевые технологии”. Киев: 2014. С. 33-34.
3. Меликов А.З., Фаттахова М.И., Велиджанова Г.М. Метод расчета параметров интег-ральной сотовой сети связи с изолированным разделением каналов // Электронное моделирование. 2014. Том 36, № 5. С. 37-48.
4. Melikov A.Z., Ponomarenko L.A., Velidzanova G.M. Analysis of integrated cellular network model with virtual partitioning of

- channels // *Cybernetics and System Analysis*. 2014. Vol. 50. No. 6. P. 884-890.
5. Melikov A.Z., Fattakhova M.I., Velidzanova G.M., Sztrik J. Performance evaluation of integrated wireless networks with virtual partition of channels // *Communications in Computer Information Sciences*. Springer. 2014. Vol. 487. P.269-276.
6. Фаттахова М.И., Велиджанова Г.М. Гибридная схема разделения каналов в интегральных сотовых сетях связи // *Материалы XIV международной конференции имени А.Ф.Терпугова “Информационные Технологии и Математическое Моделирование”*. Томск: 2015. С. 184-189.
7. Фаттахова М.И., Велиджанова Г.М. Об одной схеме распределения каналов в сотовых сетях связи // *Материалы VI Всеукраинской научно-практической конференций с международным участием «Информатика и системы науки»*, Полтава: 2015.
8. Меликов А.З., Пономаренко Л.А., Велиджанова Г.М. Многопараметрические гибридные схемы изолированного разделения каналов в интегральных сотовых сетях связи // *Управляющие системы и машины*. 2016. № 1. С. 62-72.
9. Меликов А.З., Пономаренко Л.А., Велиджанова Г.М. Многопараметрические гибридные схемы виртуального разделения каналов в интегральных сотовых сетях связи // *Управляющие системы и машины*. 2016. № 2. С. 69-75.
10. Фаттахова М.И., Велиджанова Г.М. Расчет характеристик интегральных сотовых сетей связи с гибридной схемой распределения каналов // *Материалы XV международной конференции имени А.Ф.Терпугова “Информационные Технологии и Математическое Моделирование”*. Томск: 2016. С. 202-207.
11. Фаттахова М.И., Велиджанова Г.М., Кадыров Г.А. Анализ виртуальных схем разделения каналов в сотовых сетях связи без очередей и широкополосными вызовами данных // *Проблемы информатизации и управления*. 2017. Вып. 1-2 (57-58). С. 57-62

12. Фаттахова М.И., Велиджанова Г.М., Кадыров Г.А. Анализ схем разделения каналов в сотовых сетях связи без очередей // Электронное моделирование. 2017. Том 39. №4. С. 37-48.
13. Велиджанова Г.М. Алгоритм расчета одной схемы разделения каналов в сетях с широкополосными вызовами данных // Материалы XVI международной конференции имени А.Ф.Терпугова “Информационные Технологии и Математическое Моделирование”. Томск: 2017. С. 37-42.
14. Велиджанова Г.М. Анализ системы обслуживания с разнополосными вызовами // Проблемы информатизации и управления. 2019. Вып. 2 (62). С. 17-20.
15. Велиджанова Г.М. Об одной модели системы обслуживания с разнотипными вызовами и резервированием каналов // Труды БИУ. 2019. Вып 3(№2). С. 90-95

Dissertasiyanın müdafiəsi 12 noyabr 2021 il tarixində saat 16<sup>00</sup> Azərbaycan Milli Elmlər Akademiyasının İdarəetmə Sistemləri İnstitutunun nəzdində fəaliyyət göstərən ED 1.20 Dissertasiya şurasının iclasında keçiriləcək

Ünvan: Az 1141, Bakı şəhəri, Bəxtiyar Vahabzadə küçəsi, 68

Dissertasiya ilə Azərbaycan Milli Elmlər Akademiyasının İdarəetmə Sistemləri İnstitutunun kitabxanasında tanış olmaq mümkündür.

Dissertasiya və avtoreferatın elektron versiyaları Azərbaycan Milli Elmlər Akademiyasının İdarəetmə Sistemləri İnstitutunun rəsmi internet saytında (<https://www.isi.az>) yerləşdirilmişdir.

Avtoreferat 8 oktyabr 2021-ci il tarixində zəruri ünvanlara göndərilmişdir.

Çapa imzalanıb: 05.10.2021  
Kağızın formatı: 60x84 1/16  
Həcm: 38355  
Tiraj: 40