

AZƏRBAYCAN MİLLİ ELMLƏR AKADEMİYASI
Akademik A.İ.HÜSEYNOV adına KİBERNETİKA İNSTİTUTU

Əlyazması hüququnda

RÜSTƏMOV ANAR MÜRŞÜD OĞLU

SİMSİZ SENSOR ŞƏBƏKƏLƏRİNİN KEYFİYYƏT
GÖSTƏRİCİLƏRİNİN HESABLANMASI VƏ
YAXŞILAŞDIRILMASI ALQORİTMLƏRİNİN YARADILMASI

3338.01– Sistemli analiz, idarəetmə və informasiyanın işlənməsi

AVTOREFERAT

Texnika elmləri üzrə fəlsəfə doktoru elmi dərəcəsi almaq üçün təqdim
olunmuş

BAKİ -2014

Dissertasiya işi Azərbaycan Milli Elmlər Akademiyası Akademik A.İ. Hüseynov adına Kibernetika İnstitutunda yerinə yetirilmişdir.

Elmi rəhbər:

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

A.Z. MƏLİKOV

Rəsmi opponentlər:

Texnika elmləri doktoru, professor
Riyaziyyat elmləri doktoru, professor

A. N. HƏSƏNOV
F.G. FEYZİYEV

Aparıcı müəssisə:

AMEA İnformasiya Texnologiyaları institutu

Dissertasiya işinin müdafiəsi 2014-cü il Aprel ayının 25-də saat 13.00–da AZ1141, Bakı şəh., F.Ağayev 9 ünvanında yerləşən AMEA Kibernetika İnstitutu nəzdindəki D 01.121 dissertasiya şurasının iclasında olacaq.

Dissertasiya işi ilə AMEA Kibernetika İnstitutunun kitabxanasında tanış olmaq olar.

Avtoreferat 2014-cü il Mart ayının 19-da göndərilmişdir.

D 01.121 Dissertasiya Şurasının

Elmi katibi

Fizika riyaziyyat elmləri namizədi, dosent

Ə. B. PAŞAYEV

İŞİN ÜMUMİ XARAKTERİSTİKASI

Mövzunun aktuallığı. Son illərdə sınırsız sensor şəbəkələri (SSŞ) kommunikasiya sistemləri içərisində ən çox tədqiq olunan sahələrdən birinə çevrilmişdir. Bu şəbəkələr məhdud resurslu, kiçik ölçülü və sınırsız əlaqə ilə bir-birinə bağlanan sensor qurğularından ibarətdir. Sensor qurğuları onlara əlavə edilmiş vericilər vasitəsilə ətraf mühitdə baş verən hadisələri hiss edərək əldə olunan zəruri məlumatları qonşu sensor qurğuları vasitəsilə mərkəzi qəbulediciyə göndərirlər.

Sensor qurğularının əsas xüsusiyyətlərindən biri ondan ibarətdir ki, onların qiyməti nisbətən ucuzdur və satışda asanlıqla əldə edilən kiçik hissələrdən ibarətdirlər. Lakin onlar yenidən istifadə oluna bilmirlər, yəni birdəfəlik istifadə üçün istehsal olunurlar. Bununla yanaşı, həmin hissələrin texniki göstəricilərinin zəif olması sensor qurğularının əhəmiyyətli işləri icra etməsinə səbəb olur. Güc mənbəyi bitmiş və ya sıradan çıxmış qurğular şəbəkənin topologiyasına və eyni zamanda şəbəkənin ömrünün uzunluğuna ciddi təsir edir.

Sınırsız sensor şəbəkəsində paketlərin itmə ehtimalını azaltmaq və enerji mənbəyinin optimal idarə edilməsi üçün şəbəkənin idarəetmə sistemində ehtiyacı var. Bu idarəetmə sistemində şəbəkə səviyyələri arasında məlumat alınıb-verilməsi və qurğunun cari vəziyyəti analiz olunur.

Göründüyü kimi, sınırsız sensor şəbəkəsini təşkil edən sensor qurğularının enerji sərfiyyatını, sistemdə yönləndirmə protokolları və idarəetmə sistemini qurmaqla sistemin xidmət keyfiyyəti göstəriciləri (Quality of Service, QoS) təyin edilməlidir. Beləliklə, sınırsız sensor qurğularında ən əsas problemlər enerji sərfiyyatı, sistemin idarəetmə mexanizmi, yönləndirmə protokolları və QoS göstəricilərinin təyin edilməsidir.

SSŞ-də xidmət keyfiyyəti göstəriciləri və enerji sərfiyyatı ilə yanaşı ikinci aktual problem eksperimentin növünə görə sensor qurğularının texniki göstəricilərinin təyin edilməsidir. Belə ki, multimedia məlumatları üçün zəif göstəricilərə malik sensor qurğusu seçildiyi zaman şəbəkənin ömrü az olacaqdır, çünki sensor qurğuları böyük həmli məlumatların emalı üçün böyük hesablaşma əməliyyatı və çoxlu enerji sərf etməlidirlər.

Bu dissertasiya işində yuxarıda qeyd olunan problemlərin həlli üçün yeni yanaşmalar təklif edilmişdir. Bu yanaşmalar əsasında SSŞ-lərin axtarılan QoS göstəricilərinin hesablanması və optimallaşdırılması üçün yeni üsullar yaradılmış və sensor qurğularının enerji sərfiyyatını minimuma

endirən idarəetmə mexanizmləri işlənmişdir. Təklif edilən üsullar ümumilikdə SSSŞ-lərin ömürünün uzun olmasını təmin edirlər. Bu səbəblərdən dissertasiya işində baxılan problemlər həm nəzəri, həm də praktiki baxımlardan aktualdırlar.

Dissertasiya işinin məqsədi. Kiçik həcmli paketlərə sahib olan ənənəvi sensor şəbəkələrindən fərqli olaraq, multimedia SSSŞ-lərində irihəcmli məlumatların göndərilməsi üçün sensor qurğuları əlavə hesablama əməliyyatları tələb edirlər. Bu da öz növbəsində əlavə enerji sərfiyyatına səbəb olur. Bu faktorları nəzərə alaraq dissertasiya işinin əsas məqsədi paketlərin həcmindən və növündən asılı olaraq QoS göstəricilərini müəyyən etmək və onların hesablanması və optimallaşdırılması və eləcə də enerji sərfiyyatını analiz etmək üçün riyazi modellər təklif etməkdir.

Tədqiqat üsulları. Qoyulan məqsədlərə çatmaq üçün kompyuter-kommunikasiya sistemləri və kütləvi xidmət nəzəriyyəsindən, Markov proseslərindən, ədədi üsullardan və imitasiya modelləşdirilməsi üsullarından istifadə edilmişdir.

Elmi yeniliklər. Dissertasiya işində təqdim olunan elmi yenilikləri aşağıdakı kimi cəmləşdirə bilərik:

1. Sımsız sensor şəbəkələrinin QoS göstəricilərinin təyin olunması və onların analizi üçün yeni yanaşma təklif olunmuşdur. Göstərilmişdir ki, sımsız sensor şəbəkələrinin QoS göstəricilərini və enerji sərfiyyatını bilmək üçün ən əlverişli yol sensor qurğusunun şəbəkə arxitektura səviyyələrinin iki fiziki fazaya bölünərək analiz edilməsidir.

2. Sübut olunmuşdur ki, öyrənilən şəbəkələrin işini adekvat təsvir etmək üçün ikifazlı kütləvi xidmət sistemlərinin (KXS) modellərindən istifadə olunmalıdır. Bu məqsədlə, ilk dəfə olaraq aşağıdakı şəbəkələrin riyazi modelləri yaradılmışdır: (a) Bir tip sorğuları olan bufersiz sımsız sensor şəbəkələri; (b) İki tip sorğuları olan bufersiz sımsız sensor şəbəkələri; (c) Bir tip sorğuları olan məhdud buferli sımsız sensor şəbəkələri.

3. Təklif olunan riyazi modellər üçün balans tənliklər sistemləri yaradılmış və onların analitik həlləri tapılmışdır. Tapılmış həllər əsasında uyğun alqoritmlər yaradılmış və ədədi eksperimentlər aparılmışdır. Ədədi eksperimentlərin nəticələrinin SSSŞ-lərin analizində istifadəsi qaydası göstərilmişdir.

4. Yaradılmış riyazi modellərin tətbiqə yararlı olmasını öyrənmək üçün pilləli imitasiya modelləri qurulmuşdur. Qurulmuş imitasiya modelləri

əsasında sistemin cari vəziyyətini, QoS göstəricilərini, enerji sərfiyyatını və texniki göstəricilərini tapmaq mümkündür.

Dissertasiya işinin praktik əhəmiyyəti ondan ibarətdir ki, simsiz sensor şəbəkələrini təşkil edən sensor qurğularının texniki göstəricilərini hesablamaq mümkündür. Bu isə öz növbəsində QoS göstəricilərini düzgün təyin etməyə və enerji sərfiyyatını hesablamaqla şəbəkənin ömrünü uzatmağa imkan verir.

Dissertasiya işinin nəticələrinin realizasiyası. Dissertasiya işinin nəticələri Qafqaz Universitetinin kampusunun mühafizə sistemi üçün qurulmuş simsiz sensor şəbəkəsində istifadə edilmişdir. Belə ki, tələb olunan sensor qurğularının texniki göstəricilərini təyin etmək üçün təklif edilən modellərdən istifadə edilmişdir.

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

1. Problems of Cybernetics and Informatics (PCI'2012) Beynəlxalq Konfransında (Bakı, 12-14 Sentyabr 2012).

2. Application of Information Communication and Technologies Beynəlxalq Konfransında (Tbilisi, 27-29 Oktyabr 2012).

3. Computer Systems and Networks Technologies Beynəlxalq Konfransında (Kiev, 09-11 İyun 2013).

4. AMEA-nın Kibernetika İnstitutunun Teletrafik nəzəriyyəsi laboratoriyasının seminarlarında, 2010-2013-cü illər.

Nəşrlər. Dissertasiya materialları əsasında 9 elmi əsər çap edilmişdir. Onların 6-sı həmmüəllifsidir.

Dissertasiya işinin həcmi və strukturu. Dissertasiya işi giriş, dörd fəsil, nəticə, istifadə edilən ədəbiyyat siyahısı və əlavədən; eyni zamanda 171 səhifə, 39 şəkil, 20 cədvəldən və 120 fərqli adda ədəbiyyat siyahısından ibarətdir.

İŞİN MƏZMUNU

Birinci fəsildə sensor şəbəkələrin arxitekturası və şəbəkə səviyyələri haqqında ətraflı məlumat verilmişdir. Qeyd olunmuşdur ki, sensor qurğuları bir çox müəssisələr tərəfindən qəbul edilmiş beş səviyyəli şəbəkə modelləri əsasında hazırlanır və tamlıq təşkil etməsə də, bu səviyyə modeli müxtəlif istehsalçılar tərəfindən istehsal edilən sensor qurğuları arasında əlaqə yaratmağa imkan verir. Göstərilmişdir ki, simsiz sensor şəbəkələrində əsas hissəni təşkil edən MAC səviyyələri üçün təşkil olunmuş MAC protokollar məlumatların ötürülməsində əsas rol oynayır.

Burada simsiz sensor şəbəkələrinin müxtəlif tətbiq sahələri verilmiş və onlara aid misallar göstərilmişdir. Burada hər bir sensor qurğusunun tətbiq sahəsindən asılı olaraq müxtəlif texniki göstəricilərə malik olduğu görülmüşdür.

Paketlərə xidmət keyfiyyəti göstəriciləri və enerji sərfiyyatının təyin edilməsi üçün simsiz sensor şəbəkələrinin digər simli və simsiz şəbəkələr ilə müqayisəsi verilmişdir. Simsiz sensor şəbəkələrinin optimal idarə edilməsi üçün xüsusi idarəetmə sistemlərinə malik olduğunu nəzərə alaraq ən çox istifadə edilən hibrid protokollarından bəhs edilmiş və ədəbiyyat icmalı hazırlanmışdır.

Sensor qurğuları müşahidə edilən ərazilərdə müxtəlif tipli məlumatlar əldə edə bilmək qabiliyyətinə malik olmalıdır. Bəzi tətbiq sahələrində isə məlumatların tam və dolğun olması tələb edilir. Məsələn: yanğın sensorları. Bu sensorlar temperaturu və tüstülənməni tam və dəqiq əldə etməlidirlər ki, yanğının baş verməsinin qarşısını vaxtında almaq mümkün olsun. Başqa birmisal kimi, nəzarət üçün sensor qurğularını nümunə göstərə bilərik. Nəzarət olunan ərazilərə qeyri-qanuni daxil olan şəxsləri sensor qurğuları anında və dəqiq hiss etməlidir ki, mühafizə dəstələrini vaxtında xəbərdar etmək mümkün olsun. Sensor şəbəkələrinin bu xüsusiyyətləri müxtəlif QoS göstəricilərinin yaradılmasına gətirib çıxarır.

Yuxarıda sadalanan fikirlərə əsaslanaraq deyə bilərik ki, sensor şəbəkəsində məlumatların ötürülməsindəki bütün keyfiyyət göstəriciləri şəbəkənin uzunömürlülüyünə xidmət etməlidir. Ənənəvi simsiz sensor şəbəkələrində məlumatların həcmi kiçik olduğundan onlar QoS göstəricilərinə nəzərə cərpacaq dərəcədə çətinlik törətmir. Lakin multimedia simsiz sensor şəbəkələrində həcm çox olan məlumatların

itməməsi üçün xüsusi QoS göstəricilərinə ehtiyac vardır. SSS-də QoS göstəricilərinin əsas tətbiq mexanizmi MAC və fiziki səviyyədə olduğu üçün paketləmə, yönləndirmə, vaxt sinxronlaşdırılması və s. tipli məsələlər bu keyfiyyət göstəricilərinin içərisinə daxil edilmiş olur.

Dissertasiya işində sensor qurğusunda paketlərin itmə ehtimallarının öyrənilməsi ilə keyfiyyət göstəricilərin təyin edilməsi üçün metodlar təklif edilmişdir. Təklif olunan modellər sensor qurğusunun xidmət vaxtından və paketlərin daxilolma intensivliyindən asılı olaraq sistemin keyfiyyət göstəriciləri öyrənilmişdir. Bunun əsasında sensor qurğularının ehtiyat hissələrinin göstəriciləri təyin edilmişdir.

Sensor şəbəkələrinin arxitekturası və şəbəkə səviyyələri haqqında ətraflı məlumat verilmişdir. Qeyd olunmuşdur ki, sensor qurğuları bir çox müəssisələr tərəfindən qəbul edilmiş beş səviyyəli şəbəkə modellər əsasında hazırlanır və tamlıq təşkil etməsə də, bu səviyyə modeli müxtəlif istehsalçılar tərəfindən istehsal edilən sensor qurğular arasında əlaqə yaratmağa imkan verir. Simsiz sensor şəbəkələrində əsas hissəni təşkil edən MAC səviyyələri üçün təşkil olunmuş MAC protokollar məlumatların ötürülməsində əsas rol oynayır.

Simsiz sensor şəbəkələrinin müxtəlif tətbiq sahələri verilmiş və onlara aid misallar göstərilmişdir. Hər bir sensor qurğusu tətbiq sahəsindən asılı olaraq müxtəlif texniki göstəricilərə sahibdirlər.

Simsiz sensor şəbəkələrinin simli və digər simsiz şəbəkələr ilə müqayisəsi aparılmışdır. Müqayisə nəticəsində görülmüşdür ki, sensor qurğularının məhdud resurslara və enerji mənbəyinə sahib olması onları digər şəbəkə növlərindən tamamilə fərqləndirir. QoS göstəricilərinin simsiz sensor şəbəkələrində fərqli olduğu əsaslandırılmışdır.

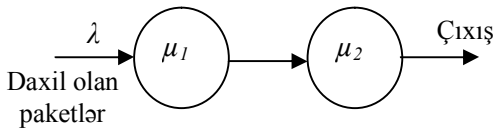
Məlumatların növlərindən asılı olmayaraq bütün modellərdə əsas problem kimi enerji mənbəyinin məhdudluğunun nəzərə alınması göstərilmişdir. Sensor şəbəkəsində multimedia məlumatlarının göndərilməsi əlavə resursların istifadə edilməsinə gətirib çıxarır və bu da öz növbəsində əlavə enerji mənbəyindən istifadə etmək deməkdir. Ona görə də ənənəvi sensor şəbəkəsindən fərqli olaraq multimedia sensor şəbəkələrində əlavə QoS göstəriciləri təyin edilməlidir. Tətbiq sahəsindən asılı olaraq göndərilən bəzi paketlərin itməsinin qarşısı tamamilə alınmalıdır.

İkinci fəsildə bir tip sorğuları olan bufersiz simsiz sensor şəbəkələri, iki tip sorğuları olan bufersiz simsiz sensor şəbəkələri və bir tip sorğuları olan məhdud buferli simsiz sensor şəbəkələri üçün riyazi modellər təklif edilmişdir. Bu modellər iki fazalı kütləvi xidmət sistemləridirlər.

Təklif edilmiş modellər iki ölçülü Markov zəncirləri ilə təsvir olunurlar. Bu zəncirlər üçün balans tənlikləri sistemləri tərtib edilmiş və onların analitik həlləri tapılmışdır. Tapılmış həllər əsasında sistemin keyfiyyət göstəricilərini hesablamaq üçün uyğun hesablama texnologiyaları yaradılmışdır. Təklif edilən modellər simsiz sensor şəbəkələrinin malik olduğu beş səviyyəli şəbəkə arxitekturası əsasında analiz edilmişdir. Belə ki, sistemin MAC və fiziki səviyyəsi birinci server, tətbiqi, marşrutizasiya və şəbəkə səviyyələrinə isə ikinci server kimi baxaraq şəbəkənin keyfiyyət göstəriciləri analiz edilmişdir.

İkinci fəsilə təklif edilmiş bir tip sorğuları olan bufersiz modelində sensor qurğuları məntiqi olaraq iki hissəyə bölünmüşdür (bax şəkil 2.1). Bu qurğunun girişinə λ intensivliyi ilə Puasson qanuna tabe olan paketlər daxil olurlar. Birinci və ikinci serverlərdə paketlərin emalı zamanları (xidmət müddətləri) bir-birindən asılı olmayan təsadüfi kəmiyyətlərdir və onların hər biri üstlü qanuna tabedirlər. Lakin onların parametrləri eyni deyildir.

Əvvəlcə fərz edək ki, sistemin buferi yoxdur. Bu halda baxılan sistemin riyazi modeli olaraq iki fazalı kütləvi xidmət sistemi (KXS) seçilə bilər. Belə sistemlərdə hər bir sorğunun (paketin) emalı prosesi iki fazadan ibarət olur.



Şəkil 2.1. Bir tip sorğuları olan bufersiz simsiz sensor şəbəkələrində sensor qurğularının fiziki modeli

Bu modeldə əsas keyfiyyət göstəricisi (PB) kimi paketlərin blok vəziyyətində olması ehtimalla hesablanmışdır. Burada PB -nin μ_1, μ_2 və λ -dan asılılığı ayrılıqda geniş analiz edilmişdir.

$$PB = \pi(\mathbf{1}, \mathbf{0}) + \pi(\mathbf{1}, \mathbf{1}) + \pi(\mathbf{b}) \quad (2.1)$$

burada $\pi(1,0)$ vəziyyəti göstərir ki, birinci server hər hansı bir paketi emal edir və ikinci serverdə heç bir paket yoxdur; $\pi(1,1)$ vəziyyəti göstərir ki, hər iki serverdə müxtəlif paketlər emal olunurlar; $\pi(b)$ (blok) – Bu vəziyyət göstərir ki, birinci serverdəki paketin emal prosesi bitmişdir, lakin ikinci serverdəki paketin emalı isə davam edir. Bu halda birinci serverdəki paket ikinci fazaya keçə bilmir və buna görə də sistemin girişini blok etmiş olur. Bununla yanaşı PB dəyəri üçün optimizasiya məsələsinədə baxılmışdır.

Bunun üçün PB –nin μ_1 və μ_2 -ə nəzərən monoton azaldığını nəzərə alaraq baxılan modeldə aşağıdakı optimallaşdırma məsələlərini qoymaq olar.

1. Elə minimal μ_1^* ədədi tapın ki, $PB \leq \varepsilon_1$ şərti ödənsin, yəni

$$\mu_1 \rightarrow \min, \quad (2.2)$$

$$\text{s.t. } PB(\mu_1) \leq \varepsilon_1. \quad (2.3)$$

burada λ , μ_2 dəyişənlərinin qiymətləri və ε_1 əvvəlcədən məlumdur.

2. Elə minimal μ_2^* ədədi tapın ki, $PB \leq \varepsilon_2$ şərti ödənsin, yəni

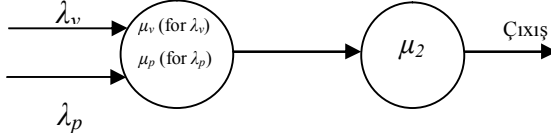
$$\mu_2 \rightarrow \min, \quad (2.4)$$

$$\text{s.t. } PB(\mu_2) \leq \varepsilon_2 \quad (2.5)$$

burada λ , μ_1 dəyişənlərinin qiymətləri və ε_2 əvvəlcədən məlumdur.

Bu fəsilədə baxılan iki tip sorğuları olan bufersiz simsiz sensor şəbəkələrində qəbul edilən paketlərin fiziki səviyyə vasitəsilə MAC səviyyəsinə ötürüldüyü zaman yaranan növbənin analizi və nəzarət mexanizminə baxılmışdır. Bir tip sorğuları olan bufersiz sistemdən fərqli olaraq bu modeldə fiziki səviyyədə eyni zamanda iki tip sorğular qəbul oluna bilər. Texniki olaraq bu model sensor qurğusuna iki antena yerləşdirilmiş şəbəkənin işini təsvir edir. Bu isə eyni zamanda iki tip məlumatların ötürülməsi və qəbul edilməsi deməkdir.

Şəkil 2.2–də baxılan şəbəkənin struktur sxemi göstərilmişdir. Əvvəlcə də qeyd etdiyimiz kimi, baxılan modellərdə sensor qurğusu iki fiziki hissəyə ayrılmış və ayrı-ayrı serverlər kimi qəbul edilmişdir.



Şəkil 2.2. İki tip sorğuları olan bufersiz simsiz sensor şəbəkələrinin struktur sxemi

Bu modeldə də əsas keyfiyyət göstəricisi (*PB*) kimi paketlərin blok vəziyyətində olması ehtimalla hesablanmışdır. Burada *PB*-nin μ_1, μ_2 və λ -dan asılılığı ayrılıqda geniş analiz edilmişdir.

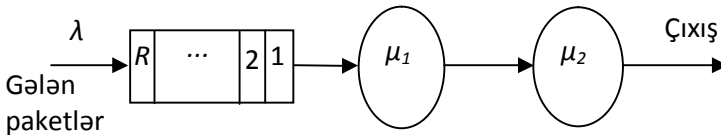
$$PB=(2.7)$$

burada $\pi(1^{(v)},0)$ vəziyyəti birinci serverdə videopaketin emal edildiyini, ikinci serverin isə boş olduğunu göstərir; $\pi(1^{(p)},0)$ vəziyyəti birinci serverdə şəkil paketin emal edildiyini, ikinci serverin isə boş olduğunu göstərir; $\pi(1^{(v)},1)$ vəziyyəti birinci serverdə videopaketin emal edildiyini və ikinci serverin məşğul olduğunu göstərir; $\pi(1^{(p)},1)$ vəziyyəti birinci serverdə şəkil paketin emal edildiyini və ikinci serverin məşğul olduğunu göstərir; $\pi(b)$ (blok) – Bu vəziyyət göstərir ki, birinci serverdəki hər hansı tip paketin emal prosesi bitmişdir, lakin ikinci serverdəki paketin emalı isə davam edir. Bu halda birinci serverdəki paket ikinci fazaya keçə bilmir və buna görə də sistemin girişi bloklanır.

Burada göstərilmişdir ki, tək tipli sorğulardan fərqli olaraq burada iki qəbuledici və ötürücü daha çox hesablama əməliyyatları apardığından daha çox enerji mənbəyi tələb olunacaqdır. Bu şəbəkələrin modelləri bir tipli sorğuları olan modellərdən ciddi şəkildə fərqlənirlər və onların hər tip paketlərə aid QoS göstəricilərinin hesablanması üçün uyğun alqoritmlər

yaradılmışdır. Verilmiş modellər əsasında paketlərin blok vəziyyətlərində olması ehtimalları analiz edilmişdir. Nəticələr həm cədvəllər, həm də qrafiklər vasitəsi ilə geniş izah edilmişdir. Qurulmuş modelin əsasında sistemin ortalama ömrü göstərilmişdir.

Bu fəsilə baxılan modellərdə növbələrin (buferlərin) idarəetmə mexanizmləri analiz edilmişdir. Bu modellərdə iki tipli QoS göstəriciləri öyrənilmişdir: daxil olan paketlərin itmə ehtimalı və növbədə gözləmə vaxtı. Burada, əsasən, məlumatların itməsinin minimallaşdırılması məsələsi tədqiq edilmişdir. Bu problemin həlli məlumatların yenidən göndərilməsinin intensivliyini azaltmış olur. Əvvəlki iki modellərdən fərqli olaraq burada baxılan modellərdə xidmət intensivliyi μ_1 olan birinci serverin girişində maksimal həcmi R olan bufer yerləşdirilmişdir. Daxil olan paketlər birinci serverə xidmətə daxil olmamışdan əvvəl buferə daxil olurlar (bax şəkil 2.3). Paketlərə birinci serverdə xidmət olunduqdan sonra isə intensivliyi μ_2 olan ikinci serverə xidmət üçün göndərilir. Xatırladaq ki, baxılan modellərdə də paketlərin daxilolma intensivliyi λ parametri ilə xarakterizə edilir.



Şəkil 2.3. Tək tip sorgulu və məhdud buferli sınırsız sensor şəbəkələrinin struktur sxemi

Yuxarıda qeyd etdiyimiz kimi, QoS göstəricisi olaraq bu modellərdə iki parametərə baxılmışdır: paketlərin itmə ehtimalı (PB) və paketlərin sistemdə (yəni növbədə və serverlərdə birlikdə keçirdiyi vaxt) ortalama keçirdiyi vaxt (W_s). Baxılan modeldə paketlərin itməsi iki tip vəziyyətdə mümkündür: (a) buferin dolu olduğu (PB_1) və (b) sistemin blok vəziyyətində (PB_2) olduğu hallarda. Başqa sözlə desək, bu halda $PB = PB_1 + PB_2$. Burada sistemin yalnız blok vəziyyətində olması QoS göstəricisi olaraq əhəmiyyətli olduğundan ayrıca analiz edilmişdir (bu göstərici PB_2 kimi işarələnmişdir). Sonuncu parametrenin əsasında ikinci serverin xüsusiyyətlərini təyin etmək mümkündür.

Paketlərin sistemdə ortalama gözləmə vaxtı (W_s) video və ya səsələrin canlı paket axını (video-sound streaming) izləməyə imkan verir.

Yuxarıda deyilənləri nəzərə alaraq QoS göstəricilərini aşağıdakı şəkildə təyin etmək mümkündür:

$$PB_1 = \pi(R+1,0) + \pi(R+1,1); \quad (2.8)$$

$$PE_2 = \sum_{i=1}^{R+1} \pi(b_i); \quad (2.9)$$

$$W_s = (L_q / \lambda(1-PB)) + \mu_1^{-1} + \mu_2^{-1} \quad (2.10)$$

burada $L_q = \sum_{i=1}^R [i(\pi(i+1,0)) + \pi(i+1,1) + \pi(b_{i+1})]$ buferdəki paketlərin orta sayını göstərir. $\pi(i, 0) - i=2,3,\dots,R+1$ vəziyyəti bufer və birinci serverdə i sayda paket mövcuddur. Bunların biri serverdə, qalan $i-1$ sayda paket isə buferdə yerləşir. Bu vəziyyətlərdə ikinci server boşdur; $\pi(i, 1) - i=2,3,\dots,R+1$ vəziyyəti bufer və birinci serverdə i sayda paket mövcuddur. Bunların biri serverdə, qalan $i-1$ sayda paket isə buferdə yerləşir. Bu vəziyyətlərdə ikinci serverdə də bir paket var; $\pi(b_i) -$

$i=2,3,\dots,R+1$; buferdə $i-1$ sayda paket var, birinci server paketə xidmət edib ikinci serverə göndərmək istədiyi vaxt ikinci server məşğuldur. Bu vəziyyətdə paketlər blok vəziyyətində olurlar.

Bu modeldə göstərilmişdir ki, yaradılan modellər məhdud buferli multimedia məlumatları olan simsiz sensor şəbəkələrinin analizi üçün çox əhəmiyyətliyədirlər. Sistemin keyfiyyət göstəriciləri daxil edilmiş və onların hesablanması üçün uyğun hesablama texnologiyaları təklif edilmişdir. Hər bir keyfiyyət göstəricisinin şəbəkənin struktur və yüklənmə parametrlərindən (məsələn, buferin həcmindən və paketlərin daxiloma intensivliyindən) asılılıqları ətraflı analiz edilmişdir.

Üçüncü fəsildə yaradılan riyazi modellər üçün qurulacaq imitasiya prosesi geniş izah edilmişdir. Burada imitasiya prosesinin bütün pillələri dəqiq göstərilmişdir. Xidmət keyfiyyətinin analiz edilməsi üçün hibrid protokollarından istifadə edilmişdir. İmitasiya prosesini aparmaq üçün müxtəlif göstəricilərə malik dörd hibrid protokolundan istifadə edilməsinin vacibliyi qeyd edilmişdir. Verilmiş dörd hibrid protokollarından istifadə edilməsi üçün tətbiqi alqoritmlər yaradılmışdır.

İmitasiya prosesinin icra edilməsi üçün hibrid protokolları ilə yanaşı sensor qurğularının prototipini hazırlamaq üçün mövcud yeddi sensor qurğusu seçilmişdir. Baxılan fəsilə həmin sensor qurğularının texniki göstəricilərinin dəyərləri haqqında geniş məlumat verilmişdir. Göstərilmişdir ki, sensor qurğular mikrokontroller, radio qəbulədicisi və ötürücülər, daimi və əməli yaddaşların həcminə və buferin həcminə görə müxtəlif göstəricilərə malik ola bilərlər. Cədvəl 3.1-də imitasiya prosesində istifadə edilən sensor qurğularının göstəriciləri verilmişdir.

Sistemin daha çox dayanıqlılığını öyrənmək üçün dörd müxtəlif hibrid protokolundan istifadə edilmişdir.

SSŞ-lərin təklif edilən riyazi modellərinin imitasiya prosesinin qurulması mərhələləri ətraflı izah edilmişdir. Göstərilmişdir ki, ən optimal texniki göstəriciləri əldə etmək üçün müxtəlif hibrid protokollarından və sensor qurğularını əmələ gətirən fərqli cihazlardan istifadə edilməlidir. Dissertasiya işində imitasiya prosesini qurmaq üçün dörd hibrid protokolundan və yeddi sensor qurğusundan istifadə edilir.

İmitasiya prosesini yerinə yetirmək üçün sensor qurğularının texniki göstəriciləri haqqında geniş məlumat verilmişdir. Göndərilən paketlərin həcmindən asılı olaraq ən uyğun sensor qurğuları və hibrid protokollarının seçilməsi proseduru göstərilmişdir.

Cədvəl 3.1. İmitasiya prosesində istifadə edilən sensor qurğuları

N	Sensor qurğusunun adı	Mikrokontrollerlər	Qəbuledici növü	RAM və HDD	Bufer yaddaşı
1	AVR Atmel	AtMega1284p	AT86RF230	259 KB-512 KB	256 KB-1MB
2	BTnode	Atmel ATmega 128L (8 MHz @ 8 MIPS)	Atmel AT86RF230 802.15.4 / Bluetooth 2.0), 250 kbit/s	64 KB–180 KB	128 KB FLASH ROM, 4 KB EEPROM
3	Imote2	Marvell PXA271 ARM 11-400 MHz	TI CC2420 802.15.4/ZigBee compliant radio	2-32 MB	32 MB flash
4	INDriya	Atmel ATmega 128L	IEEE 802.15.4 compliant XBee radios, Chipcon CC1000 (433-915 MHz) and Bluetooth (2.4 GHz)	128 KB–4 MB	Expansion available
5	Mulle	Renesas M16C	Atmel AT86RF230 802.15.4 / Bluetooth 2.0	31 KB	384 KB + 4 KB flash, 2 MB EEPROM
6	ZigBit	Atmega 128L	Chipcon CC2420 + Amplifier 250 kbit/s 2.4 GHz IEEE 802.15.4	4 KB	128 KB flash
7	Ubimote1	TI's MSP430F2618	TI's CC2520	8 KB	116 KB FLASH ROM

Göstərilmişdir ki, göndərilən paketlərin həmcı böyük olduqda onlara buferdə xidmət etmək üçün hibrid protokollarının seçilməsi sensor şəbəkəsinin ömrünə təsir edir.

Sensor şəbəkələrinin idarəetmə sisteminin imitasiya modelinin qurulması üçün optimal hibrid protokolları yaradılmış və onların işləmə mexanizmləri göstərilmişdir.

Sensorqurğularının texnik göstəricilərindən və hibrid protokollarının növlərindən asılı olaraq sensor şəbəkəsinin ortalama ömrünün hesablanması qaydaları yaradılmışdır.

İki hissəyə bölünmüş birinci və ikinci serverlər arasında məlumat axınının təmin edilməsi üçün hər bir serverin texniki göstəricələrinə təsir edən amillər göstərilmişdir.

Dördüncü fəsildə yaradılmış modellər üçün imitasiya prosesi qurulmuşdur. İmitasiya prosesində şəbəkənin enerji sərfiyyatı geniş analiz

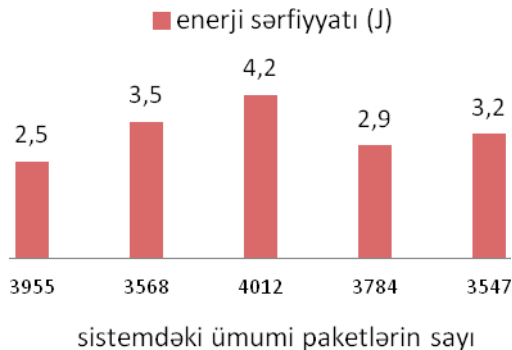
edilmiş və ona təsir edən amillər öyrənilmişdir. Eyni zamanda şəbəkədə sensor qurğularının sıx və aralı yerləşdirilməsi məsələlərinə də baxılmışdır.

Tətbiq sahəsindən asılı olaraq, hansı texniki göstəricilərə malik sensor qurğusunun seçilməsi də geniş analiz olunmuşdur. Texniki göstəricilərin seçilməsinin sensor qurğuları istehsalçıları üçün nə qədər əhəmiyyətli olması məsələləri də bu fəsildə geniş izah edilmişdir.

İmitasiya eksperimentləri aparılarkən qəbul edilmiş ilkin şərtlərdən biri hər bir sensor qurğusunun ən azı iki qonşusunun olmasıdır. Burada hər bir sensor qurğusunun əhatə dairəsinin radiusu 35-75 m olduğu qəbul edilmişdir.

İmitasiya prosesində QoS göstəriciləri ilə yanaşı *təkrartransmissiyaların* (retransmission) sayı, *şəbəkənin tutumunun* optimal qiyməti, məlumatların *göndərilmə sürəti* (transmission rate) və hər bir qurğunun enerji sərfiyyatı və utilizasiya göstəriciləri də (utilization) analiz edilmişdir. Üçüncü fəsildə verilmiş sensor qurğularının göstəricilərindən bəzilərinə giriş parametri kimi götürərək digər parametrlər üçün optimal dəyərlər alınmışdır.

İmitasiya prosesində əsasın sensor qurğularının enerji sərfiyyatları analiz edilmişdir (şəkil 4.1).



Şəkil. 4.1. İmitasiya prosesi nəticəsində əldə edilən paketlərin sayı ilə enerji sərfiyyatı arasındakı əlaqə

Şəbəkənin enerji sərfiyyatı sensor qurğularının yerləşməsi sxemindən də asılıdır. Belə ki, müəyyən bir həcmə malik məlumatları sıx yerləşən sensor qurğuları üzərindən mərkəzi qəbulediciyə göndərdikdə

çoxlu sayda qurğular yönləndirici rolunu oynayır və nəticədə əlavə enerji tələb edildiyi üçün sistemin ömrü azalmış olur.

Göstərilmişdir ki, məlumatların növlərindən asılı olaraq sensor şəbəkəni təşkil edən qurğuların göstəricilərinin növləri və dəyərlərinin seçilməsi onların layihələndirilməsi prosesində ən mühüm məsələlərdən biridir. Bununla əlaqədar olaraq şəbəkənin ömrünü maksimuma çatdıran və eyni zamanda paketlərin itmə ehtimalını minimuma endirmək üçün sensor qurğularının texniki göstəricilərini seçmək üsulu yaradılmışdır.

Böyük həcmli paketlərin yüksək intensivliklə göndərilməsi birinci serverə mənfi, ikinci serverə isə müsbət təsir edir. Yüksək intensivliklə göndərilən paketlər birinci serveri həmişə məşğul etdiyi üçün ikinci serverin onlara hətta boş olduğu halda belə xidmət edə bilmədiyi ədədi eksperimentlər vasitəsi ilə sübut olunmuşdur. Bu halda həmçinin birinci və ikinci server arasında balans yaratmaq üçün metodlar göstərilmişdir.

Sübut olunmuşdur ki, paketlərin blok vəziyyətinə düşmə ehtimalının çoxolmasının səbəbi uyğun texniki göstəricilərə sahib cihazların seçilməməsidir. İmitasiya prosesi vasitəsi ilə sensor qurğuları üçün uyğun sınıfdan olan cihazlar seçilməklə paketlərin itmə intensivliklərinin azalması üsulları tapılmışdır.

Müxtəlif texniki göstəricilər əsasında hazırlanmış sensor qurğularının enerji sərfiyyatının təyin edilməsi və ümumi sensor şəbəkəsinin ortalama ömrünün hesablanması üsulları tapılmışdır. Həmçinin göstərilmişdir ki, tətbiq sahəsindən və göndərilən paketlərin həcmindən asılı olaraq istifadə edilən hibrid protokolları sensor şəbəkəsinin ortalama ömrünün uzunluğuna ciddi təsir edir.

Nəticədə dissertasiya işinin əsas nəticələrinin siyahısı verilmişdir.

Ədəbiyyat siyahısı əsas elmi əsərlərin adlarından ibarətdir. İstifadə edilən elmi əsərlər simsiz sensor şəbəkələri, simli və digər tipli simsiz şəbəkələr mövzularını əhatə edir. Bununla yanaşı həmin şəbəkələrdə kütləvi xidmət nəzəriyyəsinin tətbiqi ilə keyfiyyət göstəricilərinin təyininə aid əsərlər də ədəbiyyat siyahısına daxildir.

Əlavədə dissertasiya işinin nəticələrinin tətbiqi ilə əlaqədar Akt verilmişdir.

ƏSAS NƏTİCƏLƏR

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

1. Simli və ənənəvi simsiz şəbəkələrdə istifadə olunan QoS (Quality of Services) göstəricilərini simsiz sensor şəbəkələrində tətbiq etmək mümkün deyil. Bunun əsas səbəbi isə sensor qurğularının məhdud resurslara və enerji mənbəyinə sahib olmasıdır. Simsiz sensor şəbəkəsi yalnız xüsusi eksperimentlər üçün dizayn edilir.

2. Ənənəvi simsiz sensor şəbəkələrindən fərqli olaraq multimedia SSS-də paketlərin göndərilməsi və qəbuledilməsi üçün xüsusi protokollar və QoS göstəriciləri tələb olunur. Yalnız mətn məlumatlarından ibarət olan paketlərin həcmi çox kiçik olduğundan zəif texniki göstəricilərə malik sensor qurğularından istifadə etmək mümkündür. Lakin multimedia SSS-də göndərilən paketlərin həcmi böyük olduğundan, həmin paketlər zəif texniki göstəricilərə malik sensor qurğuları üzərindən göndərildiyi zaman şəbəkənin ömrü çox az olur. Bunun səbəbi isə sensor qurğularının multimedia paketlərinə sərf etdiyi xidmət müddətinin çox olmasıdır. Bu da öz növbəsində daha çox enerji sərfiyyatına səbəb olur.

3. Digər tip simsiz şəbəkələrdən fərqli olaraq SSS-də QoS göstəricilərini və enerji sərfiyyatına nəzarət etmək üçün xüsusi idarəetmə sistemində ehtiyac var. Bu idarəetmə sistemlərinə ətraf mühiti müşahidə mexanizmini, məlumatları əldə etmək, əldə edilən məlumatları paketlərə bölmək, paketləri göndərmək üçün ən qısa yolu seçmək, paketlərə xidmət üçün ən az hesablama əməliyyatı tətbiq etmək, hesablama əməliyyatlarına ən az enerji sərfiyyatını təyin etmək və s. kimi funksiyaları daxil etmək olar. Əsaslandırılmışdır ki, sensor qurğuları üçün ən ideal idarəetmə sistemi hibrid protokollarıdır. Hibrid protokolları şəbəkə arxitekturası səviyyələri arasındakı məlumat alış-verişi, enerji sərfiyyatı və QoS göstəricilərini özündə cəmləşdirən protokollar çoxluğudur.

4. Sübut edilmişdir ki, sensor qurğularını şəbəkə səviyyələrinə görə qruplaşdırdıqda onları analiz etmək daha əlverişlidir. Dissertasiya işində fiziki və MAC səviyyədə birinci server, tətbiqi, marşrutizasiya və şəbəkə səviyyələri isə ikinci server olaraq götürülmüşdür. Göstərilmişdir ki, sensor qurğularını şəbəkə səviyyələrinə ayırmaqla multimedia və adi məlumatların göndərilməsi üçün istifadə edilən sensor qurğularının texniki göstəriciləri kəskin fərqlənir.

5. Aydın olmuşdur ki, sensor qurğularının enerji sərfiyyatını artıran əsas amillərdən biri böyük həcmli hesablama əməliyyatlarının aparılmasıdır. Ona görə də sensor qurğularının texniki göstəriciləri elə seçilməlidir ki, eksperimentin növünə və təbiətinə görə az sayda hesablama əməliyyatı tələb olunsun.

6. Dissertasiya işində QoS göstəricilərini, enerji sərfiyyatını və idarəetmə sistemini bir arada analiz etmək üçün riyazi modellər təklif edilmişdir. Bu riyazi modellər *a)* bir tip sorğuları olan bufersiz simsiz sensor şəbəkələri; *b)* iki tip sorğuları olan bufersiz simsiz sensor şəbəkələri; *c)* bir tip sorğuları olan məhdud buferli simsiz sensor şəbəkələri üçün təklif edilmişdir. Riyazi modellər əsasında şəbəkə arxitektura səviyyələri iki yerə bölünərək analiz edilmişdir.

7. Riyazi modellərin doğruluğunu yoxlamaq üçün dəqiq və uzun pilləli imitasiya prosesləri qurulmuşdur. İmitasiya prosesində əldə olunan nəticələr ilə riyazi modellərin ədədi nəticələrinin üst-üstə düşdüyü göstərilmişdir. İmitasiya prosesində bir tip sorğuları olan məhdud buferli simsiz sensor şəbəkələri və digər modellər analiz edilərək optimal sensor qurğuları təklif edilmişdir. Təklif edilən texniki göstəricilər əsasında sensor qurğuları istehsalçılar üçün geniş seçim imkanları yaradır.

Dissertasiya işinin mövzusunda aşağıdakı elmi məqalələr çap edilmişdir.

1. **Rustamov A. M.** Pre-Defined Allocation Based Routing Protocol for Transmission of Multimedia Data in Wireless Sensor Networks // Journal of Qafqaz University, Mathematics and Informatics, -2011. -vol.2. -no. 32. -pp. 69-78.
2. **Rustamov A. M.** Geographical and Signaling Based Routing Protocol in Wireless Sensor Networks // İnformasiya Texnologiyaları Problemləri, -2011. -vol. 2. -pp. 63–71.
3. **Melikov A. Z., Rustamov A. M.** Queuing Management in Wireless Sensor Networks for QoS Measurement // Journal of Wireless Sensor Networks, -2012, -vol. 4. -No. 9. -pp. 211-218.
4. **Rustamov A. M.** QoS Metric for Bufferless System with Two Traffic Classes in Wireless Sensor Networks // Journal of Qafqaz University, Mathematics and Informatics, -2012. -vol.1 –no. 33. -pp.65-71.
5. **Rustamov A. M.** Determination of QoS Metrics in Sensor Nodes with Buffer and Single Multimedia Classes // İnformasiya Texnologiyaları Problemləri, -2012. -vol. 1. -pp. 51–60.
6. **Melikov A. Z., Rustamov A. M.** Traffic with Multi-Class QoS in Wireless Sensor Networks // International Conference on Computer Systems and Networks Technologies, -2012, 09-11 June, Kiev.
7. **Rustamov A. M.** Measurement of QoS in Wireless Sensor Networks with Single Multimedia Traffic-Class // International Conference on Problems of Cybernetics and Informatics (PCI2012), -2012, -September, -Baku, -pp.151-154.

8. **Rustamov A. M.** Determination of QoS Metrics in Wireless Sensor Networks by Using Queuing Theory // International Conference on Application of Information Communication and Technologies (AİCT), - 2012, -October, -Tbilisi, -pp. 112-119.
9. **Melikov A. Z. Rustamov A. M.** Measurement of QoS Metric of Multimedia Traffic Classes in Wireless Sensor Networks // Journal of Automation and Computer Technology, -2013. -vol.2. -pp. 56-78.

Həmmüəllif görülən işlərdə namizədin şəxsi töhfəsi:

[3] – bufersiz sistemlər üçün riyazi modellərin qurulması və hesablanması;
[6], [7] – buferli və bufersiz sistemlər üçün riyazi modellərin qurulması və
uyğun hesablama alqoritmlərin yaradılması;

РУСТАМОВ АНАР МУРШИД ОГЛЫ

РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМОВ ДЛЯ РАСЧЕТА И УЛУЧШЕНИЯ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА ОБСЛУЖИВАНИЯ БЕСПРОВОДНЫХ СЕНСОРНЫХ СЕТЕЙ

РЕЗЮМЕ

Беспроводные сенсорные сети для приложений требуют определенного уровня качества обслуживания (QoS). Показатели QoS определяются рядом факторов, такие как расстояния между сенсорными устройствами, объемами передаваемых пакетов, используемыми протоколами приема и передачи пакетов и т.д. Чем больше расстояние, тем ниже пропускная способность и наоборот. Для того чтобы сохранить высокое качество обслуживания в мультимедийных БСС, узлы датчиков должны быть распределены плотно, что в свою очередь приводит к многоканальной связи узлов. Тем не менее, плотное распределение приведет к задержке из-за доступа к каналу и очереди на каждом узле. Поэтому необходимы эффективные систем управления очередями для того, чтобы увеличить качество передачи данных. Основными проблемами в беспроводной сенсорной сети являются уменьшения вероятности потери пакетов и энергопотребление.

В этой работе были предложены комплекс математических моделей для описания процессов обработки пакетов в узлах БСС. Эти модели представляют собой двухфазные системы массового обслуживания с очередями (или без очередями) перед первой фазой. На основе этих моделей были разработаны методы расчета показателей QoS и решены задачи их оптимизации. Результаты этих задач позволяют сведения к минимуму потребления энергии и вероятности блокировки.

Anar Murshud Rustamov

**DEVELOPING OF IMPROVEMENT ALGORITHMS FOR
CALCULATION OF QoS METRICS IN WIRELESS SENSOR
NETWORKS**

RESUME

Application-specific sensor networks require certain level of quality of service (QoS). There are several factors that are directly connected to QoS metrics, such as short distance and low error rate. The bigger distance, the lower bandwidth and vice versa. In order to keep high quality of service in multimedia WSNs, the sensor nodes should be densely allocated, which in turn lead to multi hop communication. However, dense allocation of them will result in latency due to channel access and queuing delay at each hop. Therefore effective queuing management systems are required in order to increase data transmission quality... In this case the main problem in wireless sensor network becomes decreasing probability of blocking and energy usage by increasing QoS metrics.

In this work there were proposed three models for solving the problems mentioned above. Based on the three models there were developed calculation and optimization methods for determining QoS metrics. These QoS metrics serve to minimize energy usage and probability of blocking.

Software for realization of all proposed algorithms is developed and by using this software the numerical experiments are carried out and the analysis of these experiments is given.