

UOT 004.057.4

Əliyev Ə.Ə.¹, Abbasov B.Q.², Məmmədov Ə.Ə.³

¹Bakı Dövlət Universiteti, Bakı, Azərbaycan, ^{2,3}Qafqaz Universiteti, Bakı, Azərbaycan

¹aaliyev@mail.ru, ²babbasov@qu.edu.az, ³ahadm@qu.edu.az

AODV, DSR VƏ WRP MARŞRUTLAMA PROTOKOLLARININ AD-HOC ŞƏBƏKƏLƏRİNDƏ SƏMƏRƏLİLİK GÖSTƏRİCİLƏRİNİN MÜQAYİSƏLİ ANALİZİ

Hər bir marşrutlama protokolu müxtəlif vəziyyətlərdə fərqli nəticələr göstərməkdədir. Bu məqsədlə bugünə qədər mövcud olan və yeni təklif olunmuş marşrutlama protokollarının çeşidli mühitlərdə çox sayda təhlili aparılmışdır. Günümüzdə mobil cihazların və hərəkətdə olan paylayıcıların sayının gündən-günə artması mövcud protokolların səmərəliliyinin azalmasına gətirib çıxarmışdır. Bu məqalədə qovşaq sıxlığı və qovşaq hərəkətliliyi parametrləri əsasında üç marşrutlama protokollarının təhlili aparılmış və qiymətləndirilmişdir. Təhlil nəticəsində müqayisə aparılmış marşrutlama protokolları arasında DSR (ing. Dynamic Source Routing) protokolu müəyyən hallarda və qiymətlərdə yaxşı nəticə göstərsə də, ümumi nəticəyə baxdıqda, ən yaxşı nəticə göstərən marşrutlama protokollarının AODV (ing. Ad-hoc On-Demand Distance Vector) olduğu müşahidə edilmişdir.

Açar sözlər: Ad-hoc şəbəkəsi, AODV protokolu, DSR protokolu, WRP protokolu, qovşaq sıxlığı parametrləri.

Giriş

Ad-hoc şəbəkəsi stasionar infrastruktur və mərkəzləşdirilmiş idarəetmədən istifadə olunmadan, çoxaddımlı (ing. multi-hop) simsiz linklər üzərindən əməkdaşlıq yolu ilə bir-biriləri ilə əlaqə quran simsiz mobil qovşaqlar qrupudur. Bu növ şəbəkələrin istifadə sahəsi kimi bəzi mühitləri misal göstərmək olar, məsələn, zəlzələ və daşqın kimi təbii fəlakətlər zamanı xilasedici komandaların öz aralarında xüsusi bir şəbəkənin mövcudluğuna ehtiyac olmadan əlaqə qura bilmələri, müharibə şəraitində əsgərlər arasında taktiki məlumatların mübadiləsi və yaxud sahibkarların iclas və yığıncaqlarında biznes/iş məlumatlarının mübadiləsi üçün lazım olan mühitlər və s. Şəbəkəni yükləmədən məlumat paketlərinin çatdırılması üçün Ad-hoc şəbəkəsi dinamik və əlverişli sürətə sahib olmalıdır. Lakin Ad-hoc şəbəkələr yüksək mobillik və aşağı sürət xüsusiyyətlərinə malik olduqlarından marşrutlama protokollarına ehtiyac yaranmışdır [1].

Bu günə qədər Ad-hoc şəbəkələri üçün bir neçə marşrutlama protokolu təklif edilmişdir [2–4]. Bu protokolların istifadə etdikləri mexanizm əsasən üç qrupa bölünür: cədvəl əsaslı (ing. table-driven), tələb əsaslı (ing. on-demand) və ikisinin birləşməsi olan hibrid marşrutlama protokolları. Tələb əsaslı marşrutlama protokolları yalnız tələbat olduqda marşrut sorğusu göndərirlər, cədvəl əsaslı marşrutlama protokolları isə şəbəkənin bütün istiqamətlərində trafik olub-olmamasından asılı olmayaraq marşrutlama məlumatını toplayıb saxlayırlar. Hibrid protokollar isə bu iki növ marşrutlama protokollarının üstün cəhətlərini özlərində birləşdirirlər. Bu mexanizm fərqliliklərinə görə son zamanlarda Ad-hoc marşrutlama protokollarının müxtəlif səmərəlilik göstəricilərinə görə müqayisələri aparılmışdır [5–7]. Bu müqayisələrdə müxtəlif vəziyyətlər, şəraitlər və ssenarilər nəzərə alınmışdır. Məlumdur ki, hər bir marşrutlama protokolu müxtəlif vəziyyətlərdə fərqli müsbət və mənfi nəticələr göstərməkdədir. Lakin yaşadığımız dövrdə mobil cihazların sayının sürətlə artması, eyni zamanda cihazlarda HotSpot vasitəsilə şəbəkənin paylanması tələbatı sürətli şəkildə artmaqdadır. Sözügedən mühit simulyasiya edilərək mövcud protokolların davranışı tədqiq edilmiş və yaranmış yeni problemlərin həlli istiqamətində müxtəlif təcrübələr aparılmışdır. Bu məqalədə aparılmış təcrübələrin arasından yalnız qovşaq sıxlığına və qovşaq hərəkətliliyinə görə aparılmış təhlillər qiymətləndirilmişdir. Təcrübə nəticəsində göstərilmişdir ki, müqayisə aparılmış marşrutlama protokolları arasında DSR protokolu müəyyən hallarda yaxşı nəticə göstərsə də, ümumi nəticəyə baxdıqda, ən yaxşı nəticə göstərən marşrutlama protokolu AODV olmuşdur.

Marşrutlama protokolları

Ümumiyyətlə, simsiz Ad-hoc şəbəkə (*ing. WANET – WirelessAd-hoc NETworks*) marşrutlama protokolları üç əsas kateqoriyaya bölünürlər:

- Proaktiv və ya cədvəl əsaslı (*ing. table-driven*) marşrutlama protokolları;
- Reaktiv və ya tələb əsaslı (*ing. on-demand*) marşrutlama protokolları;
- Hibrid protokollar (proaktiv və reaktiv protokolların kombinasiyası).

Proaktiv və ya cədvəl əsaslı marşrutlama protokolları. Proaktiv marşrutlama protokollarında şəbəkədəki digər qovşaqlara qoşulmaq üçün istifadə edilən marşrutlama məlumatı hər bir qovşağın marşrutlama cədvəli şəklində saxlanılır. Şəbəkə topologiyasında dəyişiklik baş verdikdə (məsələn, mövcud qovşaqlar yerini dəyişdikdə, yeni linklər yaradıldıqda və yaxud mövcud link və qovşaqlar sıradan çıxdıqda), linklərdəki yaranmış dəyişikliklər şəbəkədəki bütün qovşaqlara elan edilir. Bu yolla paket ötürmələrindən əvvəl bütün mümkün istiqamətlərin marşrutları aşkar olunur və cədvəllər yenilənir. MANET (*ing. Mobile Ad-hoc NETworks*) şəbəkələrində proaktiv protokol istifadə olunduqda, şəbəkə topologiyalarındakı sürətli dəyişikliyin şəbəkəni nəzarət paketləri (*ing. control messages*) ilə yükləməsi və bu əlavə göndərilən paketlərin faktiki ötürücülüynü aşağı salması ən mühüm problemlərdən biri hesab edilir. Proaktiv protokollara OLSR (*ing. Optimized Link State Routing protocol*) [8], DSDV (*ing. Destination Sequenced Distance Vector*) [9], WRP (*ing. Wireless Routing Protocol*) [10] və FSR (*ing. Fisheye State Routing*) [11] kimi protokollar misal göstərilə bilər.

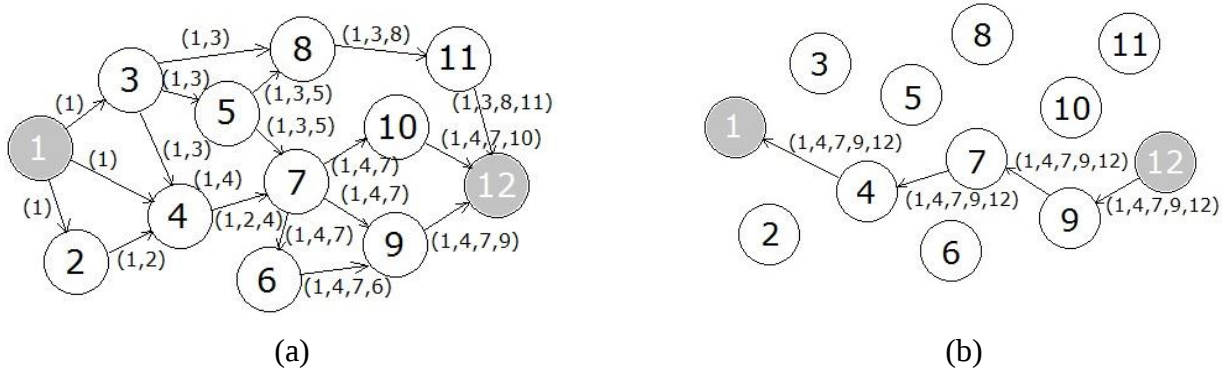
Reaktiv və ya tələb əsaslı marşrutlama protokolları. Bu növ marşrutlama protokollarında marşrutlar şəbəkədəki hər bir qovşaq tərəfindən tələb əsasında aşkarlanır və saxlanılır. Qovşaqlar yeni marşrutun aşkarlanması üçün şəbəkəyə nəzarət paketləri yayırlar. Yalnız yeni marşrut aşkarlandıqda, ötürmə zolağı prosesin sonuna qədər istifadə olunur. Reaktiv marşrutlama protokollarının ən üstün cəhəti onların hər bir qovşaqda az sayda marşrutlama məlumatı tələb etməsi hesab edilir. Buna səbəb şəbəkədəki bütün qovşaqların marşrutlama məlumatlarının əldə edilməsi və saxlanılmasının tələb edilməməsidir. Reaktiv marşrutlama protokollarının digər üstün cəhəti odur ki, ortadakı və ya ötürücü qovşaqlar marşrut seçimində qərar vermək məcburiyyətində deyillər. Əsas mənfi cəhətlərdən biri marşrut aşkarlanması səbəbi ilə yaranan gecikmələrdir. Bundan başqa, MANET şəbəkələrinə xas olan mütəmadi marşrut dəyişikliyi baş verməsi və nəzarət paketlərinin yayılması, bu dəyişikliklər üçün tələb olunan yeni marşrutların aşkarlanması şəbəkənin yüklənməsinə səbəb olur. Reaktiv protokollara DSR [12], AODV [13] və ABR (*Associativity Based Routing*) [14] kimi protokollar misal göstərilə bilər.

Hibrid protokollar (proaktiv və reaktiv protokolların kombinasiyası). Reaktiv protokollarda nəzarət paketlərinin şəbəkəni yükləməsi və marşrut aşkarlanması səbəbi ilə yaranan ilkin gecikmələr bu protokolların MANET şəbəkələrində marşrutlama üçün ən optimal həll yolu olmasının qarşısını alır. Digər tərəfdən, böyük şəbəkələrdə daima iri həcmli marşrutlama cədvəlinin hazırlanması tələb olunduğu üçün proaktiv protokolların istifadəsi münasib həll yolu sayılır. Bu səbəbdəndir ki, MANET şəbəkələrində hər iki növ protokolların üstün cəhətlərini özündə birləşdirən bir protokolun istifadəsi ən effektiv həll yolu sayılır. Bu növ protokollara ZRP (*ing. Zone Routing Protocol*) [15] protokolu misal göstərilə bilər. Lakin qeyd etmək lazımdır ki, bu protokol da bütün əskiklikləri ortadan qaldıra bilmir.

Məqalədə marşrutlama protokollarının səmərəliliyinin müqayisəli təhlilinin aparılması üçün iki tələb əsaslı marşrutlama protokolu – AODV və DSR ilə cədvəl əsaslı WRP marşrutlama protokolu seçilmişdir.

DSR protokolu. DSR marşrutlama protokolu tamamilə tələb əsaslı Ad-hoc şəbəkə protokoludur və bu protokolun marşrutlama prosesi iki hissədən ibarətdir: marşrutun aşkarlanması (*ing. Route Discovery*) və marşrut xidməti (*ing. Route Maintenance*) [12]. Bir qovşaq hər hansı digər bir qovşağa məlumat göndərmək istədikdə və marşrut keşində (*ing. Route Cache*) həmin qovşaq istiqamətində marşrut mövcud olmadıqda, marşrutun tapılması üçün göndərici marşrutun aşkarlanması prosesini işə salır. Hədəfi (*ing. target*) və unikal identifikatoru müəyyən edərək,

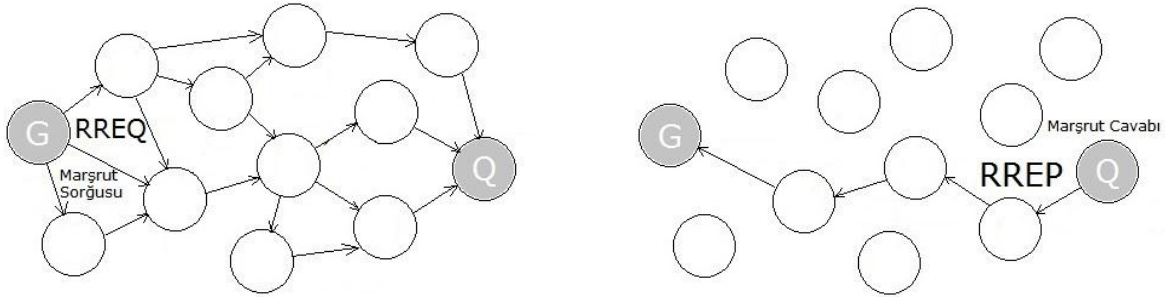
göndərici (*ing. source*) geniş şəkildə marşrut sorğusu (*ing. Route Request, RREQ*) ötürür [16]. Sorğunu qəbul edən qovşaq RREQ sorğusunu qəbul etdikdə sorğunu ləğv edir, əgər sorğu ilk dəfə alınırsa, qovşaq öz ünvanını sorğudakı marşrut siyahısına əlavə edir və yenidən geniş şəkildə şəbəkəyə yayır (şəkil 1a). RREQ sorğusu hədəfə çatdıqda, qəbuledici (*ing. target*) sorğu göndəricisinə (*ing. source*) geri marşrut cavabı (*ing. Route Reply, RREP*) göndərir. Cavabda soğrulardan əldə edilmiş marşrut üzrə bütün qovşaqların ünvanları da yer alır (şəkil 1b). Cavab sorğu göndəricisinə çatdıqda, göndərici yeni marşrutu özündəki marşrut keşinə əlavə edir. Marşrutlama prosesinin bir hissəsi olan marşrut xidməti prosesi məhz bu mərhələni ehtiva edir [12]. Şəkil 1a-da 1 nömrəli (mənbə) qovşaq ilə 12 nömrəli (təyinat) qovşaq arasındakı marşrut aşkarlanması prosesi göstərilmişdir. Şəkil 1b-də isə təyinat qovşaqlardan mənbə qovşağa əks istiqamətdə marşrut cavabının göndərilmə prosesi verilmişdir.



Şəkil 1. DSR protokolunun marşrut aşkarlanması prosesi: a) marşrut aşkarlanması (RREQ) prosesinin işləməsi; b) marşrut cavabı (RREP) paketinin göndərənə geri göndərilməsi

Marşrut aşkarlandıqdan sonra, mənbə qovşaq (*ing. source*) paket başlığında mənbədən hədəfə qədər olan qovşaqların tam siyahısını yerləşdirir. Marşrut üzərindəki hər bir qovşaq məlumat paketini başlıqda göstərilmiş növbəti qovşağa (*ing. next hop*) ötürür və paketin həmin qovşağa çatıb-çatmadığını təsdiqləməyə çalışır. Göndərilmiş paketin qəbul edildiyinə dair cavab gəlmədikdə, paket yenidən göndərilir. Yenə də təsdiq cavabı alınmadıqda, ötürücü qovşaq özündən növbəti qovşağa olan qırılmış linki də müəyyən edərək, marşrut xətası (*ing. Route Error*) cavabını paketin mənbəyinə göndərir. Bundan sonra mənbə qovşaq işləməyən bu linki marşrut keşindən silir. Həmin istiqamətdə növbəti paketlərin göndərilməsi üçün mənbə qovşaq keşindəki başqa marşrutlardan birini seçib istifadə edir, ehtiyac yarandıqda isə yeni marşrut aşkarlanması prosesi işə salınır.

AODV protokolu. AODV protokolu simsiz və mobil Ad-hoc şəbəkələrində linklərin dinamik dəyişikliklərinə tez uyğunlaşa bilən və şəbəkəni az yükləyən reaktiv marşrutlama protokollarından biridir. AODV protokolunda iki qovşağın öz aralarında əlaqə qurmalarına tələb yaranmadan marşrut aşkarlanması və xidməti prosesləri aparılır. Protokol marşrutun yeni və dövrdən azad olduğuna zəmanət verməsi üçün təyinat sıra nömrəsindən (*ing. destination sequence number*) istifadə edir [13]. DSR protokolunda olduğu kimi, AODV marşrutlama protokolunda da iki proses aparılır: marşrut aşkarlanması və marşrut xidməti. Bir qovşaq digər bir qovşağa paket göndərmək istədikdə və həmin təyinat üzrə heç bir marşrut məlumatı olmadıqda, marşrut aşkarlanması prosesi işə salınır və qonşuluqdakı bütün qovşaqlara geniş yayımlı marşrut sorğusu göndərir. Sorğunu qəbul edən avadanlıq təzə marşruta sahib olduqda, marşrut cavabı göndərir, əks halda sorğudakı addım sayı (*ing. hop count*) qiymətini bir vahid artıraraq, həmin marşrut sorğusunu öz qonşuluğundakı qovşaqlara ötürür (şəkil 2). Göndərici link xətası nəticəsində marşrut xətası paketi alarsa, təyinat üzrə yeni marşrut əldə etməsi üçün marşrut aşkarlanması prosesini yenidən başladır [13].



Şəkil 2. AODV protokolunun marşrut aşkarlanması prosesi

WRP protokolu. WRP protokolu mobil Ad-hoc şəbəkələrində (MANET) istifadə edilən proaktiv marşrutlama protokoluudur. Bu protokol marşrutların tapılması üçün Bellman-Ford alqoritmi istifadə edən distant-vektor marşrutlama protokolunun təkmilləşdirilmiş versiyasını istifadə edir [10]. MANET şəbəkələrdə hərəkətlilik səbəbi ilə qovşaqlarda yaranan marşrut dövrlərinin (*ing. route loops*) azaldılması və etibarlı məlumat mübadiləsinin təmin edilməsi üçün WRP protokolunda xüsusi mexanizmlər istifadə edilir. Marşrut cədvəlində bütün istiqamətlərə olan marşrutlar növbəti qovşaq (*ing. next hop*) və dəyər metrikaçı (*ing. cost metric*) ilə birgə yer alırlar. Yolun qiymətinin azaldılması üçün qonşu qovşaqdan istifadə edərək marşrut müəyyən edilir. Link dəyərlərinin hesablanması üçün müxtəlif üsullar mövcuddur. Dəyərlər təyin edildikdən sonra adətən müstəqil bir cədvəldə saxlanılırlar. Şəbəkədə link dəyişiklikləri yarandığı zaman, yeniləmə paketlərində (*ing. update messages*) marşrutun tam cədvəlinin əvəzinə yalnız ən son baş vermiş dəyişikliklər göndərilir. Ötürüləcək yeniləmə paketləri olmadıqda, linklərin daim yeni qalmaları üçün şəbəkəyə periodik fasilələrlə içi boş HELLO paketləri göndərilir [10]. Kiçik ölçülü şəbəkələrdə WRP protokolu tərəfindən az sayda marşrutlama cədvəli cəlb edilir və nəticədə digər protokollarla müqayisədə daha sürətli uyğunlaşma müşahidə edilir. Lakin çox sayda cədvəl istifadə edildikdə, göstəriləcək xidmət mürəkkəbləşir və nəticədə qovşaqlarda daha çox yaddaş və hesablama gücü tələb edilir. Buna görə də çox böyük və çox dinamik Ad-hoc simsiz şəbəkələrində WRP protokolu kifayət qədər aşağı səmərəlilik göstərir.

Aparılmış eksperimentlər

Yuxarıda verilmiş üç marşrutlama protokolu arasında səmərəliliyin müqayisəsi üçün simulyasiya eksperimentləri aparılmışdır. Bu hissədə eksperimental modelləşdirmə və simulyasiya eksperimentlərinin analizi və nəticələri verilmişdir.

Məqalədə baxılmış üç marşrutlama protokolunu müqayisə etmək üçün GloMoSim (*ing. Global Mobile information system Simulator*) simulyatorundan istifadə edilmişdir. GloMoSim proqram təminatı iri həcmli simli və simsiz şəbəkələr üçün istifadə edilən ən optimal və ödənişsiz simulyasiya vasitələrindən biridir [17]. Tədqiqat GloMoSim vasitəsilə aparılmış və səmərəlilik müqayisələri üç marşrutlama protokolunun ucdan-uca gecikmə (*ing. end-to-end delay*), paket çatdırılması dərəcəsi (*ing. packet delivery rate*) və ötürücülük qabiliyyəti (*ing. throughput*) parametrləri üzrə dəyərləndirilmişdir. Eksperimentdə bu parametrlər aşağıdakı kimi təyin edilmişdir:

Ucdan-uca gecikmə. Bu dəyər göndərici tərəfdə (marşrutun əldə edilmə gecikmələri daxil olmaqla) paket ötürülməsinin əvvəlindən etibarən qəbulədiyi tərəfindən əldə edilənə qədər olan orta vaxt ölçüsüdür. Bu ölçüyə emal (*ing. processing*), növbə (*ing. queuing*) və yayılma (*ing. propagation*) gecikmələri daxildir. Ucdan-uca gecikmə dəyəri aşağı olduqda, daha yaxşı səmərəlilik əldə edilmiş olur:

$$\text{Ortalama } UUG = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N (TQ_n - TG_n)$$

Burada UUG - ucdan-uca gecikmə, TG_n - n -ci məlumat paketinin göndərilmə vaxtı, TQ_n - n -ci məlumat paketinin qəbul edilmə vaxtı, N - qəbul edilmiş məlumat paketlərinin sayıdır.

Paket çatdırılması dərəcəsi. Bu parametr qəbulediciyə müvəffəqiyyətlə çatdırılmış paket sayının göndərici tərəfindən ötürülmüş paketlərin ümumi sayına olan nisbətidir. Bu dəyər şəbəkənin əldə edə bildiyi maksimal ötürücülük qabiliyyətini əks etdirir. Bu səbəbdən şəbəkələrdə paket çatdırılması dərəcəsinin yüksək olması daha çox arzuolunandır:

$$PDR = (\Sigma \text{ qəbul edilən CBR paketləri} / \Sigma \text{ göndərilən CBR paketləri}) * 100$$

Şəbəkənin ötürücülük qabiliyyəti. Bu parametr ayrı-ayrı istiqamətlərə ötürülmə zamanı müvəffəqiyyətlə çatdırılmış paketlərin toplam sayıdır və çatmış paket ilə paket həcmnin 8 mislinin simulyasiya müddətinə (T_s) olan nisbəti kimi hesablanır:

$$\text{Ötürücülük} = (\text{çatmış paket sayı} * \text{paket həcmi} * 8) / T_s.$$

Simulyasiya təcrübəsində qovşaq sıxlığı (təcrübə 1) və qovşaq hərəkətliliyi (təcrübə 2) nəzarət parametrləri istifadə olunmuşdur. Daha sonra yuxarıda qeyd olunan ucdan-uca gecikmə, paket çatdırılması dərəcəsi və ötürücülük qabiliyyəti dəyərləri ölçülmüş və qiymətləndirilmişdir.

Qovşaqların hərəkət istiqamətləri təsadüfi keçid nöqtələri modelindən (*ing. random waypoint model*) istifadə edilərək modelləşdirilmişdir. Modeldə hər bir qovşaq gözləmə müddəti (*ing. pause time*) ərzində sabit qalır. Müddət başa çatdıqda, qovşaq ərazi sərhədləri daxilində (*ing. network terrain*) ixtiyari seçilmiş istiqamətdə əvvəlcədən təyin edilmiş sürətlə hərəkətə başlayır. Qovşaq yeni təyinat nöqtəsinə çatdıqda, yenidən gözləmə müddəti ərzində hərəkətsiz dayanır. Müddət sona çatdıqda, qovşaq başqa ixtiyari istiqamətdə yenidən hərəkətə başlayır. Bu hərəkət prosesi simulyasiya müddətinin sonuna qədər davam edir.

Təcrübələrin aparıldığı şəbəkə ərazisinin ölçüsü 2 km^2 ($2000 \times 2000 \text{ m}$), bütün keçid zolaqlarının genişliyi 2 Mbps və simulyasiya müddəti 900 saniyə olaraq təyin edilmişdir (cədvəl 1). Hər iki təcrübədə ixtiyari yeddi göndərici və qəbuledici qovşaq cütünü istifadə edilmişdir. Təsadüfi seçilmiş yeddi göndərici tərəfindən hər biri ixtiyari seçilmiş yeddi qəbulediciyə CBR (Constant Bit Rate) paketləri göndərilmişdir. Paketlərin həcmi 512 bayt olaraq təyin edilmişdir.

Simulyasiyada fiziki səviyyə protokolu üçün yayılma modeli olaraq TwoRay, MAC səviyyəsi protokolu üçün IEEE 802.11 standartı və paketlərin göndərilməsi və qəbul edilməsi üçün “radio-accnoise” modeli seçilmişdir. Bütün simulyasiya təcrübələrində cədvəl 1-də verilmiş tənzimləmələr istifadə edilmişdir.

Eksperimental dizayn. Simulyasiyada qovşaq sıxlığı (təcrübə 1) və qovşaq hərəkətliliyi (təcrübə 2) üzrə iki fərqli təcrübə aparılmışdır. Təcrübələrin təfərrüatları aşağıdakı kimidir:

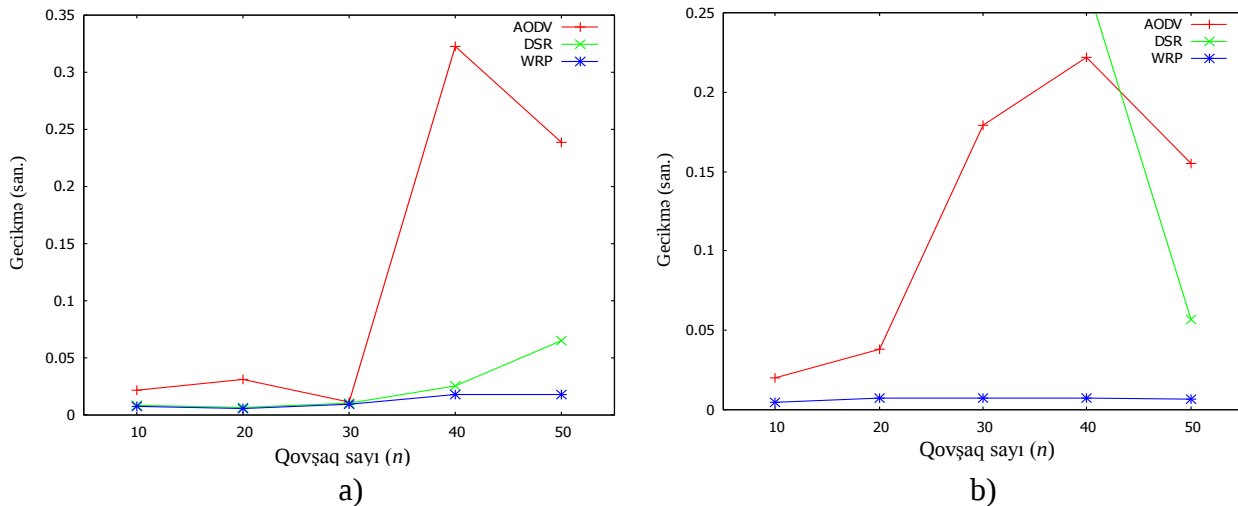
- Birinci təcrübədə qovşaq sıxlığının ucdan-uca gecikmə, paket çatdırılması dərəcəsi və ötürücülük qabiliyyəti üzərindəki təsirləri ölçülmüşdür. Bütün qovşaqlar şəbəkə ərazisi daxilində gözləmə müddəti 30 saniyə olmaqla iki fərqli sürətlə hərəkət etdirilərək qovşaq sıxlığının təsiri tədqiq edilmişdir. Birinci 0 m/s (hərəkətsizlik halında), ikinci isə 40 m/s sürətlə hərəkət etdirilərək, ayrı-ayrılıqda 10, 20, 30, 40 və 50 qovşaqdan istifadə edilmiş və tədqiqat aparılmışdır.
- İkinci təcrübədə, digərindən fərqli olaraq, yalnız 10 ədəd qovşaq istifadə edilmiş və qovşaqların hərəkətliliyinin təsirləri tədqiq edilmişdir. Bu tədqiqatda, təcrübə 1-də olduğu kimi, qovşaqların hərəkət istiqamətləri təsadüfi keçid nöqtələri modelindən (*ing. random waypoint model*) istifadə edilərək təyin edilmişdir. Gözləmə müddəti 30 saniyə olmaqla, qovşaqların hərəkət sürəti altı fərqli mərhələdə ölçülmüşdür: olduqca yüksək sürətli (50 m/s), yüksək sürətli (40 m/s), orta sürətli (30 m/s), aşağı sürətli (20 m/s), olduqca aşağı sürətli (10 m/s) və hərəkətsiz (0 m/s).
- Hər iki təcrübədə eyni metodlardan və təsadüfi seçim üsulundan istifadə edilmişdir. Əlavə olaraq təcrübə nəticələrinin dəqiqliyinin əldə edilməsi məqsədilə hər konfiqurasiya üçün simulyasiya yüz dəfə icra olunmuş və orta dəyəri götürülmüşdür. Bundan başqa, bəzi hallarda həddindən artıq yuxarı və aşağı dəyərlər nəzərə alınmamışdır.

Cədvəl 1

Simulyasiya parametrləri

Parametrlər	Dəyərlər
Simulyator	GloMoSim v2.03
Məlumat paketi	Constant Bit Rate (CBR)
Yayılma modeli	TWO-RAY
Paket mübadiləsi modeli	RADIO-ACCNOISE
Hərəkətilik modeli	Random Waypoint
MAC səviyyəsi	IEEE 802.11
Şəbəkə protokolu	IP (Internet Protocol v4)
Marşrutlama protokolu	AODV, DSR və WRP
Hərəkətilik sürəti	0,10,20,30,40,50 m/s
Qovşaq sayı	10,20,30,40,50
Paket ölçüsü	512 bayt
Gözləmə müddəti	30 saniyə
Simulyasiya sahəsi	2000m × 2000m
Simulyasiya müddəti	900 saniyə

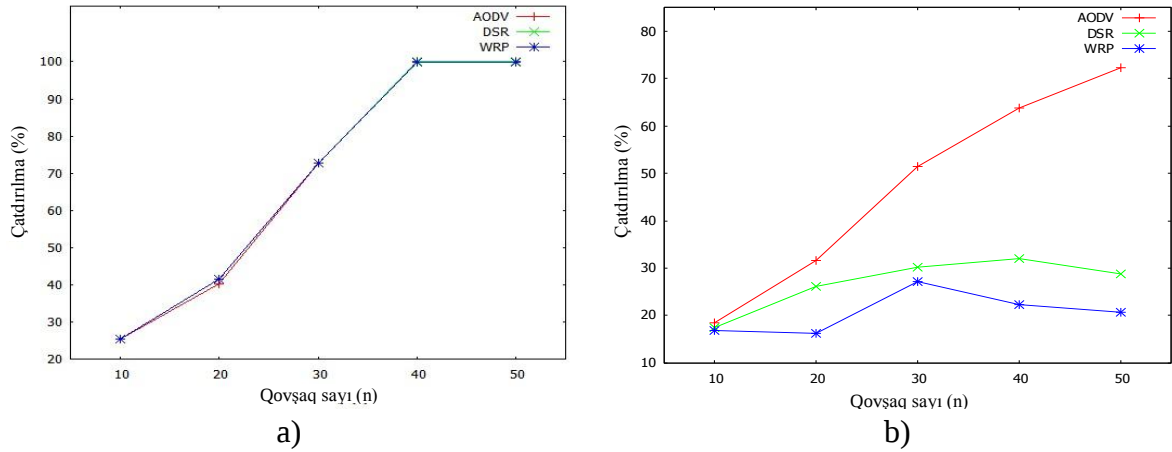
Eksperimentin nəticələri və analizlər. İlk olaraq hərəkətsizlik halında və maksimum 40 m/s sürətlə hərəkət etdirilərək iki fərqli sürətdə qovşaq sıxlığı təcrübəsi aparılmışdır. Şəkil 3-də orta gecikmə nəticələri verilmişdir. Hərəkətsizlik halında əldə edilən nəticələrdə AODV protokolunda yalnız 40 və 50 ədəd qovşaq istifadə olunduqda, digər iki protokoldan fərqli olaraq, orta gecikmə dəyəri 0.2 ilə 0.3 arasında dəyişir. Qalan bütün hallarda hər üç protokolun gecikmə dəyərləri 0 ilə 0.05 arasındadır. Birinci təcrübədə proaktiv marşrutlama protokolu olan WRP ən yaxşı nəticəni göstərmişdir (şəkil 3a). Reaktiv protokolların müqayisəsində DSR protokolu AODV protokoluna nisbətən daha yaxşı nəticə vermişdir. Lakin qovşaqlar maksimum 40 m/s sürətlə hərəkət etdirildikdə, DSR protokolu həddindən artıq yüksək gecikmə nəticəsi vermişdir (şəkil 3b).



Şəkil 3. Orta gecikmə nəticələri: a) 0 m/s sürəti ilə hərəkət etdirildikdə; b) 40 m/s sürəti ilə hərəkət etdirildikdə

Bu eksperimentdə yenidən WRP ən yaxşı, AODV isə hərəkətsizlik halından fərqli olaraq, DSR protokoluna nisbətə daha yaxşı nəticə göstərmişdir. DSR yalnız 50 qovşaq hərəkət etdirildikdə AODV protokolunu 0.1 saniyə qabaqlamışdır.

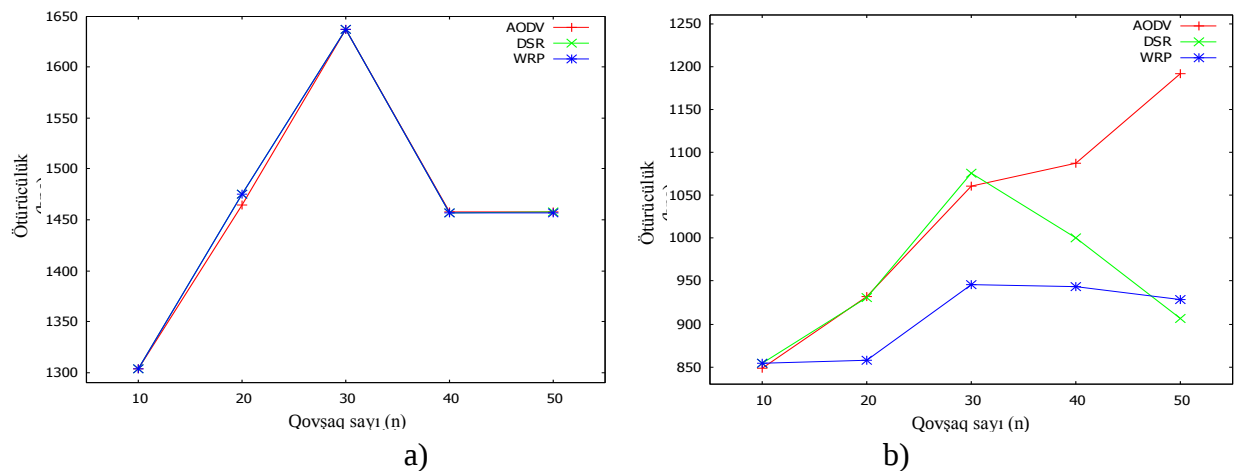
Birinci təcrübədə ikinci mərhələ olaraq paket çatdırılması dərəcəsinə görə müqayisə aparılmışdır. Şəkil 4-də verilmiş nəticələrdən göründüyü kimi, hərəkətsizlik halında bütün qovşaqlar hər üç marşrutlama protokolundan istifadə zamanı təqribən eyni nəticə göstərmişdir (şəkil 4a). Lakin qovşaqlar 40 m/s ilə hərəkət etdirildikdə, nəticələr kəskin şəkildə dəyişmişdir (şəkil 4b).



Şəkil 4. Orta paket çatdırılması dərəcəsi: a) 0 m/s sürəti ilə hərəkət etdikdə; b) 40 m/s sürəti ilə hərəkət etdikdə

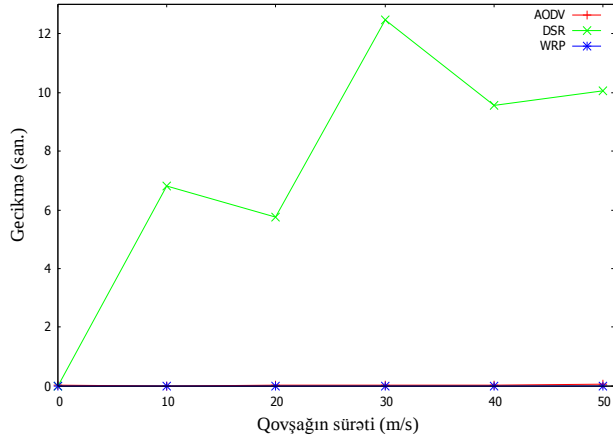
Şəkildən göründüyü kimi, WRP ortalama 20%, DSR orta hesabla 27% və AODV ortalama 47% nəticə göstərmişdir. Qovşaqların sayı artdıqca, AODV digər protokollarla müqayisədə ən yaxşı nəticə göstərmişdir. Məsələn, 50 qovşaq hərəkət etdirildikdə, AODV protokolunun paket çatdırılması dərəcəsi 72.22% olmuşdur (şəkil 4b).

Təcrübənin sonuncu mərhələsi ötürücülük qabiliyyəti üzrə aparılmışdır. Şəkil 5a-da göründüyü kimi, hərəkətsizlik halında marşrutlama protokolları yenə bənzər nəticə göstərmişdir. Lakin xüsusilə qeyd etmək lazımdır ki, qovşaq sayı 30 götürüldükdə, ən yüksək ötürücülük qabiliyyəti 1637 bps olmuşdur. Qovşaqlar hər 30 saniyə aralıqla (gözləmə müddəti) və 40 m/s sürətlə hərəkət etdirildikdə, hər üç protokol müxtəlif nəticə nümayiş etdirmişdir (şəkil 5b).

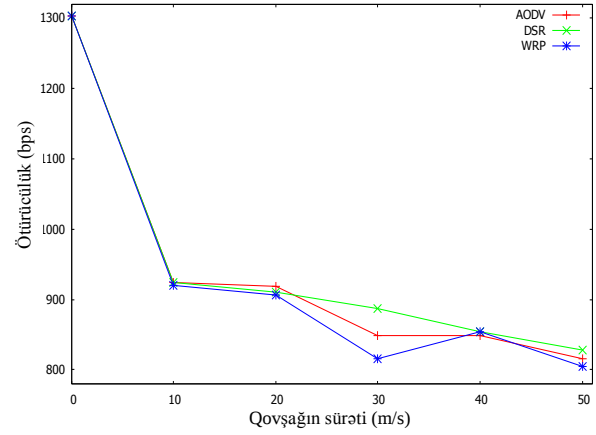


Şəkil 5. Orta ötürücülük qabiliyyəti: a) 0 m/s sürəti ilə hərəkət etdirildikdə; b) 40 m/s sürəti ilə hərəkət etdirildikdə

İkinci təcrübədə qovşaqların hərəkətliliyinin ölçülməsi üçün yalnız 10 qovşaqlardan istifadə edilmiş və onlar altı fərqli sürətlə hərəkət etdirilmişdir. Gecikmə əmsalı AODV və WRP protokollarında 0.01 dəqiqliyində olduğu halda, DSR protokolunda 12 saniyəyə qədər yüksəlmişdir. Şəkil 6-ya baxdıqda, aydın şəkildə DSR protokolunun hərəkətlilik xüsusiyyətinə görə çox yavaş protokol olduğu görünməkdədir. Lakin tədqiqat paket çatdırılması dərəcəsinə və ötürücülük qabiliyyətinə görə aparıldıqda, bəzi hərəkət sürətlərində DSR protokolunun digər protokollara nisbətən daha yaxşı nəticə göstərdiyi müşahidə edilmişdir (şəkil 7).

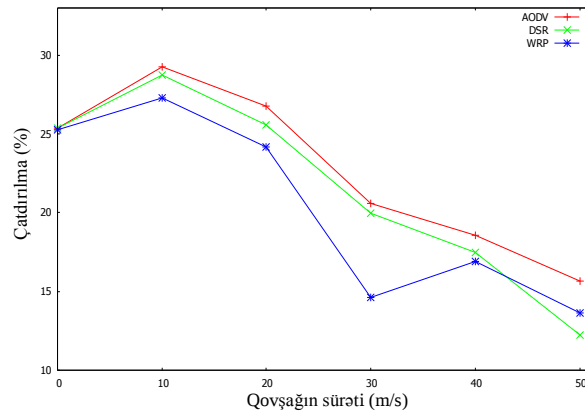


Şəkil 6. 10 qovşağın istifadəsi ilə orta gecikmə



Şəkil 7. 10 qovşağın istifadəsi ilə orta ötürücülük dəyəri

Şəkillərdən göründüyü kimi, ən yaxşı paket çatdırılması dərəcəsi AODV protokolunda əldə edilmiş olsa da (şəkil 8), 10 qovşaq 30, 40 və 50 m/s sürətlə hərəkət etdirildikdə, ötürücülük qabiliyyətinə görə DSR digər protokollardan daha yaxşı nəticə göstərmişdir. Saniyədə 20 metr sürətlə hərəkət etdirildiklərində AODV protokolu, sabitlik halında və 10 m/s sürətlə hərəkət etdirildikdə isə hər üç protokol eyni nəticə nümayiş etdirmişdir.



Şəkil 8. 10 qovşağın istifadəsi ilə orta paket çatdırılması dərəcəsi

Nəticə və gələcək tədqiqat planları

Tədqiqatda, GloMoSim proqram təminatından istifadə edilərək, AODV, DSR və WRP marşrutlama protokolları arasında simulyasiya eksperimentləri aparılmış və səmərəlilik nəticələri müqayisə edilmişdir. Protokolların səmərəlilik müqayisələri ucdan-ucaya gecikmə (*ing. end-to-end delay*), paket çatdırılması dərəcəsi (*ing. packet delivery rate*) və ötürücülük qabiliyyəti (*ing.*

throughput) parametrləri üzrə qiymətləndirilmişdir. Simulyasiya təcrübəsində qovşaq sıxlığı (təcrübə1) və qovşaq hərəkətliliyi (təcrübə 2) nəzarət parametrləri istifadə olunmuş, parametrlərə görə əldə edilən dəyərlər ölçülmüş və qiymətləndirilmişdir. Təcrübə nəticəsində göstərilmişdir ki, hərəkətsizlik halında və maksimum 40 m/s sürətlə hərəkət etdirildiyi qovşaq sıxlığı təcrübəsində proaktiv marşrutlama protokolu olan WRP ən yaxşı nəticəni göstərmiş olsa da, paket çatdırılması dərəcəsinə görə aparılan müqayisədə qovşaqların sayı artdıqca, AODV digər protokollarla müqayisədə ən yaxşı nəticə göstərmişdir. Ötürücülük qabiliyyətinə görə aparılan birinci təcrübədə WRP protokolu əvvəlki təcrübələrdən fərqli olaraq qovşaqların sayından asılı olmayaraq ən aşağı ötürücülük qabiliyyəti göstərmişdir. Bununla yanaşı, DSR protokolu 10, 20 və 30 qovşaq, AODV protokolu isə 40 və 50 qovşaq istifadə olunduqda, daha yüksək ötürücülük dərəcəsi göstərmişdir. İkinci təcrübədə qovşaqların hərəkətliliyi ölçülmüş və aydın şəkildə DSR protokolunun hərəkətlilik xüsusiyyətinə görə çox yavaş protokol olduğu müəyyən edilmişdir. Lakin tədqiqat paket çatdırılması dərəcəsinə və ötürücülük qabiliyyətinə görə aparıldıqda, bəzi hərəkət sürətlərində DSR protokolunun digər protokollara nisbətən daha yaxşı nəticə göstərdiyi müşahidə edilmişdir. Ümumi nəticəyə baxdıqda, nisbətən yaxşı nəticə göstərən marşrutlama protokolu AODV olmuşdur.

Tədqiqatın nəticəsinə baxdıqda, AODV protokolunun təcrübə aparılan bütün hallarda ən yaxşı nəticə göstərməsi üçün yeni metod və üsulların istifadə edilməsi tələb olunduğu qənaətinə gəlinmişdir. Bu məqsədlə növbəti mərhələdə AODV protokolunun tam incələnməsi, alqoritm və metodlarında yaxşılaşdırma aparılması və yeni bir yanaşma təklif edilməsi planlaşdırılır. Bu yeni yanaşma nəticəsində AODV protokolunun bu tədqiqatda təcrübə aparılmış bütün hallarda ən yaxşı nəticə göstərəcəyi gözlənilir.

Ədəbiyyat

1. Chlamtac I., Conti M., Liu J. Mobile ad hoc networking: imperatives and challenges, *Ad Hoc Networks* 1, 2003, pp.13–64.
2. Royer E.M., Toh C.-K. A Review of Current Routing Protocols for Ad Hoc Mobile Wireless Networks, *IEEE Personal Communications*, 1999, vol.6, no.2, pp.46–55.
3. Jayakumar G., Gopinath G. Ad Hoc Mobile Wireless Networks Routing Protocols – A Review, *Journal of Computer Science*, 2007, vol.3, no.8, pp.574–582.
4. Radwan A.A.A., Mahmoud T.M., Houssein E.H. Evaluation comparison of some ad hoc networks routing protocols, *Egyptian Informatics Journal*, 2011, vol.12, no.2, pp.95–106.
5. Das S.R., Perkins C.E., Royer E.M. Performance Comparison of Two On-demand Routing Protocols for Ad Hoc Networks, *IEEE InfoCom*, 2000, vol.1, pp.3–12.
6. Dyer T.D., Boppana R.V. A Comparison of TCP Performance over Three Routing Protocols for Mobile Ad Hoc Networks, *ACM Symposium on Mobile Ad Hoc Networking & Computing (MobiHoc)*, 2001, pp.56–66.
7. Raju J., Garcia-Luna-Aceves J.J. A Comparison of On-Demand and Table Driven Routing for Ad-hoc Wireless Networks, *IEEE ICC '00*, 2000, pp.1702–1706.
8. Jacquet P., Muhlethaler P., Clausen T., Laouiti A., Qayyum A., Viennot L. Optimized link state routing protocol for AdHoc networks, *IEEE Multi Topic Conference*, 2001, pp.62–68.
9. Murthy S., Garcia-Luna-Aceves J.J. Loop-free internet routing using hierarchical routing trees, *IEEE INFOCOM*, 1997, vol.1, pp.101–108.
10. Murthy S., Garcia-Luna J.J. An efficient routing protocol for wireless networks, *ACM Mobile Networks and Applications Journal*, 1996, pp.183–197.
11. Iwata A., Chiang C.C., Pei G., Gerla M., Chen T.W. Scalable routing strategies for ad hoc wireless networks, *IEEE Journal of Selected Areas on Communications*, 1999, vol.17, no.8, pp.1369–1379.
12. Johnson D. B., Maltz D. A. Dynamic Source Routing in Ad Hoc Wireless Networks, *Mobile Computing*, Kluwer Academic Publisher, 1996, ch.5, pp.153–181

13. Perkins C.E., Royer E. Ad-hoc On-Demand Distance Vector Routing, 2nd IEEE Workshop on Mobile Computing & Systems and Applications, 1999, pp.90–100.
14. Toh Chai-K. Associativity-Based Routing for Ad-hoc Mobile Networks, Wireless Personal Communication Journal, 1997, vol.4, no.2, pp.103–139
15. Peralman M.R., Haas Z.J. Determining the optimal configuration for the zone routing protocol, IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 1999, vol.17, no.8, pp.1395–1414.
16. Johnson B.D., Maltz A.D., Broch J. A Self-stabilizing Link-Cluster Algorithm in Mobile Ad Hoc Networks, 8th International Symposium on Parallel Architectures, Algorithms, and Networks, 2005, pp. 436–441.
17. Rajaj L., et.al. GloMoSim: A Scalable Network Simulation Environment, Technical Report, No. 990027, Computer Science Dept., UCLA, 1999.

UOT004.057.4

Алиев Алекпер А.¹, Аббасов Бабек Г.², Маммадов Ахад А.³

¹Бакинский Государственный Университет, Баку, Азербайджан, ^{2,3}Университет Гафгаз, Баку, Азербайджан

¹aaliyev@mail.ru, ²babbasov@qu.edu.az, ³ahadm@qu.edu.az

Сравнительный анализ характеристик протоколов маршрутизации AODV, DSR и WRP в Ad-hoc сетях

Протоколы маршрутизации в зависимости от сценариев демонстрируют различные результаты. До сих пор было проведено много исследований на основе существующих и новых предлагаемых протоколов маршрутизации. В связи с увеличением количества мобильных устройств и точек доступа протоколы маршрутизации претерпели снижение производительности. В данной работе проведен сравнительный анализ характеристики трех протоколов маршрутизации на основе плотности и мобильности узлов. По результатам анализа, по сравнению с другими протоколами, лучший результат производительности в некоторых сценариях и параметрах относится к реактивному протоколу DSR, а в общем итоге наилучший результат производительности продемонстрировал протокол маршрутизации AODV.

Ключевые слова: *сети Ad-hoc, протокол AODV, протокол DSR, протокол WRP, параметры плотности узлов.*

Alekber A. Aliyev¹, Babak G. Abbasov², Ahad A. Mammadov³

¹Baku State University, Baku, Azerbaijan, ^{2,3}Qafqaz University, Baku, Azerbaijan

¹aaliyev@mail.ru, ²babbasov@qu.edu.az, ³ahadm@qu.edu.az

Comparative analysis of efficiency of AODV, DSR and WRP routing protocols in Ad-hoc networks

Routing protocols result in different outcomes according to the scenarios. Thus far, many scholars investigated existing and recently proposed routing protocols in different environments. Due to increase in the amount of mobile devices and access points, the routing protocols have undergone the performance degradation. The paper analyzes and evaluates three routing protocols based on node density and node mobility. According to the analysis results, DSR (*Dynamic Source Routing*) protocol has demonstrated better performance in some cases and values. However, AODV routing protocol demonstrated better overall performance than others.

Keywords: *Ad-hoc networks, AODV protocol, DSR protocol, WRP protocol, node density parameters.*