

UOT 004.75

DOI: 10.25045/jpit.v11.i2.08

*Həşimov M.A.*

AMEA İnformasiya Texnologiyaları İnstitutu, Bakı, Azərbaycan  
[mamedhashimov@gmail.com](mailto:mamedhashimov@gmail.com)

## ƏŞYALARIN İNTERNETİ MÜHİTİNDƏ FOG TEXNOLOGİYASINDAN İSTİFADƏ MƏSƏLƏLƏRİ

Daxil olmuşdur: 08.06.2020 Düzəliş olunmuşdur: 19.06.2020 Qəbul olunmuşdur: 03.07.2020

*Əşyaların İnterneti (IoT) texnologiyaları sürətlə inkişaf etməklə, əhatə dairəsini genişləndirməklə bütün fəaliyyət sferalarına dərindən nüfuz etməkdədir. IoT insan, maşın və əşyalar da daxil olmaqla, müxtəlif obyektləri istənilən zaman istənilən məkanda informasiya mühiti ilə əlaqələndirir. Bu isə öz növbəsində böyük həcmdə verilənlərin yaranmasına gətirib çıxarmışdır. Verilənlərin həcmində müşahidə edilən sürətli artım ilə bərabər, generasiya sürəti də getdikcə artmaqdadır. Ənənəvi informasiya texnologiyaları isə verilənlərin təhlili, gecikmə, mobillik, etibarlılıq və şəbəkə genişliyi ilə bağlı tələbləri yerinə yetirmək iqtidarında deyil. Bu kimi problemlərin həllində isə fog computing texnologiyasından istifadə perspektivli həll hesab oluna bilər. Bu məqsədlə məqalədə fog computing texnologiyasının IoT mühitində tətbiqi məsələsinə baxılmışdır. Fog texnologiyasından istifadənin üstünlükləri, arxitekturası, tətbiq sahələri analiz edilmişdir. Fog computing sahəsindəki mövcud problemlər göstərilmişdir.*

**Açar sözlər:** *Əşyaların İnterneti, cloud computing, fog computing, fog arxitekturası, fog tətbiq sahələri, fog computing problemləri.*

### Giriş

Hazırda internet insanların gündəlik həyatının ayrılmaz bir hissəsinə çevrilmişdir. İnternetdən istifadənin insanlar arasındakı ünsiyyəti, məlumat paylaşmasını və qarşılıqlı təsiri artıraraq gündəlik həyatımızı əhəmiyyətli dərəcədə dəyişdirdiyi artıq qaçılmaz bir reallıqdır. Bizi əhatə edən bütün faydalı əşyaların (məişət avadanlıqlarının, elektrik cihazlarının, gündəlik istehlak mallarının, nəqliyyat vasitələrinin, istehsal qurğularının, əmək alətlərinin, informasiya daşıyıcılarının, tibbi ləvazimatların, mühafizə və nəzarət sistemlərinin, bitki və heyvanat aləminin) internet şəbəkəsinə qoşulması “Əşyaların İnterneti” (*ing. Internet of things, IoT*) termininin yaradılmasına gətirib çıxarmışdır [1]. IoT-a artıq gündəlik həyatımızın bir çox fəaliyyət sahələrində rast gəlinir. Onlardan, əsasən evdə, xəstəxana və xüsusi riskli obyektlərdə baş verən dəyişikliklərin distant olaraq idarə olunması, yanğınların qarşısının alınması və s. kimi müxtəlif faydalı fəaliyyətin təmin edilməsi məqsədi ilə istifadə olunur. Eyni zamanda IoT-u elmin müxtəlif istiqamətlərində tətbiq etməklə idarəetmə və nəzarət sistemlərinin səmərəliliyinin artırılmasında geniş istifadə etmək olar. IoT konsepsiyasının mahiyyəti ondan ibarətdir ki, bizi əhatə edən predmet və ya əşyalar miniatur identifikasiya və sensor (həssas) qurğularla təmin olunaraq naqilli və naqilsiz əlaqələr (peyk, mobil əlaqə, Wi-Fi və Bluetooth) vasitəsilə qarşılıqlı əlaqədə olur və proseslərin tamamilə avtomatik yerinə yetirilməsini təmin edir [2]. IoT bizi sürətlə “ağıllı məhsullar”ın bütünlüklə həyatımıza tətbiqinə aparır. Ətrafımızda olan televizorların, evlərin, sənaye avadanlıqlarının internetə qoşulduğunu görürük. Onlar öz aralarında məlumatları mübadilə edir və bizə göndərirlər. Bunlar həyatımızın rahatlığını təmin edir. Hətta smartfonlar belə internetə qoşularaq öz aralarında şəbəkələr yaradırlar.

IoT texnologiyası əsasən aşağıdakı sahələrdə tətbiq edilir və yaxın onilliklər ərzində bizi əhatə edən hər şeyə təsir edəcəyi gözlənilir [3]:

- neft-qaz sənayesində: neft məhsullarının kəşfiyyatı, hasilatı, emalı, nəqli və satışı proseslərinin idarə edilməsi;
- şəhərlərdə: nəqliyyatın idarə edilməsi, işıqlandırma, dayanacaq, ağıllı ofis binaları, tullantıların idarə edilməsi;

- avtomobillərdə: prediktiv texniki təminat, toqquşmanın qarşısının alınması, öz-özünü idarə edən vasitələr;
- enerji istehsalı və paylanması: smart qrid, mikroqrid, elektrik stansiyalarının idarəetmə sistemləri;
- kənd təsərrüfatında: səmərəli hasilat, vəziyyətə əsaslanan suvarma və gübrələmə;
- ətraf mühətdə: meşə yanğınlarının əvvəlcədən aşkarlanması, nəslə kəsilməkdə olan heyvanların izlənilməsi;
- tibdə: məsafədən diaqnostika, yaşlı və xəstə insanların monitorinqi;
- və s.

IoT Dünya İqtisadi Forumunun qiymətləndirməsində dünyanı dəyişdirəcək texnologiyalar arasında ilk sıralarda yer alır və bu texnologiyanın yaxın 10 ildə dünya iqtisadiyyatında əsas trend olacağı proqnozlaşdırılır [4]. Mobil Operatorların Assosiasiyası olan "GSMA" təşkilatının "The Mobile Economy 2019" hesabatına əsasən, dünya üzrə 2018–2025-ci illər ərzində IoT bağlantılarının (cihazların) sayı üç dəfə artaraq 25 milyarda çatacaq. Bu dövrdə IoT-dan əldə olunan gəlir isə 4 dəfə artaraq 1.1 trilyon ABŞ dolları həcmində olacaq [5].

IoT texnologiyalarında istifadə edilən ağıllı cihazların hesablama gücü, qida mənbəyi, yaddaş və s. məhdud olduğundan, IoT proqramları və xidmətləri çox vaxt buludda yerləşən güclü serverlər tərəfindən yerinə yetirilir. Hesablama buludları (*ing. cloud computing*), son istifadəçilərə aşağı xərcə çoxsaylı resurslarla təmin etmək üçün perspektivli həll hesab edilir. Beləliklə də, yüksək hesablama gücünə və yaddaş imkanlarına malik cloud computing məlumatların emalı üçün effektiv həll kimi qəbul olunur. Cloud computing kompüter texnologiyalarının infrastrukturunun və proqram təminatının bilavasitə şəbəkə mühitində yaradılmasını və istifadə edilməsini təmin edir. Bu texnologiyanın köməyi ilə istifadəçinin məlumatları cloud sistemlərində saxlanılır, emal edilir, emal proqramlarının işə salınması və nəticələrə baxılması təmin edilir [6].

Cloud computing mərkəzləşdirilmiş bir hesablama modeli olduğundan, hesablamaların əksəriyyəti cloud serverlərdə yerinə yetirilir. Bu isə, bütün məlumat və sorğuların mərkəzləşdirilmiş clouda ötürülməsi deməkdir. Verilənlərin emal sürətinin artmasına baxmayaraq, şəbəkənin ötürücülüüyü əhəmiyyətli dərəcədə artmamışdır. Beləliklə, şəbəkənin ötürücülüüyü böyük həcmdə məlumatların emal edilməsi üçün cloud computing sistemi üçün problemlər yaradır [7].

Cloud computing generasiya olunmuş məlumatların emal edilib saxlanması üçün effektiv texnologiya olmasına baxmayaraq, mövcud tətbiqlərin real zamanda istifadəsi və ya gecikmə ilə bağlı məhdudiyətlərə malik olması, eyni zamanda şəbəkənin aşağı ötürücülük qabiliyyəti kimi problemləri yalnız cloud computing vasitəsilə həll etmək mümkün deyil.

Yuxarıda deyilənləri nəzərə alaraq, hal-hazırda (sensorlardan) məlumatların toplanması və ilkin emalı üçün aralıq hesablama sistemlərindən geniş istifadə olunur. Bu səbəbdən də cloud computing texnologiyalarından əlavə, duman hesablamaları (*ing. fog computing*) adlanan yeni hesablama paradigması təklif edilmişdir.

### **Fog computing texnologiyası**

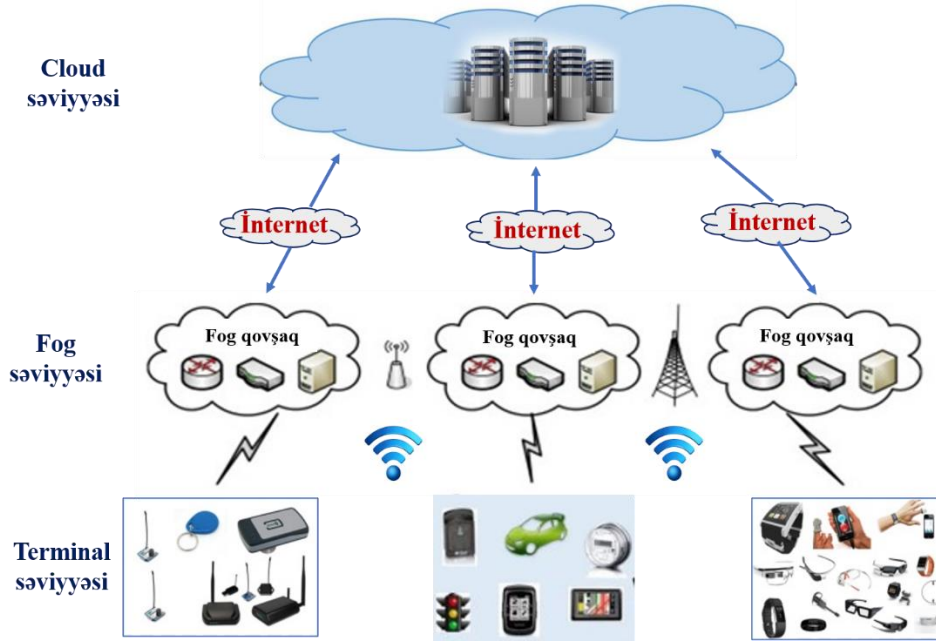
Fog texnologiyası IoT-a adekvat həll gətirən yeni konsepsiyadır. Ənənəvi cloud computing sistemində verilənlər mərkəzinin və şəbəkənin yükünün azaldılması üçün fog computing coğrafi olaraq paylanmış IoT tətbiqlərinin dəstəklənməsi üçün alternativ həll kimi təklif edilmişdir [8].

Fog computing sistemi ilk dəfə Cisco Systems, Inc. şirkəti tərəfindən təklif edilmişdir. "Duman" termini "yerə ən yaxın bulud" kimi göstərilmişdir, yəni yenilənmiş və daha yaxşı tətbiq və ya xidmətləri təmin edə bilən, mərkəzdən (nüvədən) hüdudlaradək hesablama. Fog computing—son istifadəçi ilə data mərkəz arasında hesablama, yaddaş və şəbəkə xidmətlərini təmin edən yüksək səviyyədə virtualaşdırılmış platformadır [9].

#### ***Fog computing texnologiyasının arxitekturası***

Fog computing arxitekturasının standart modeli əhəmiyyətli araşdırma mövzudur. Son illər fog computing üçün bir sıra arxitektura təklif edilmişdir. Onlar əsasən üçsəviyyəli struktura

əsaslanmışdır. Fog computing son qurğu ilə cloud server arasında “duman” qatını tətbiq etməklə cloud xidmətlərini şəbəkə həddlərindən genişləndirir. İyerarxik arxitektura aşağıdakı üç səviyyədən ibarətdir [10] (şəkil 1).



Şəkil 1. Fog computing texnologiyasının iyerarxik arxitekturası

• *Terminal səviyyəsi*. Bu səviyyə son istifadəçiyə və fiziki mühitə ən yaxın səviyyədir. O, müxtəlif IoT cihazlarından, məsələn, sensor, mobil telefon, smart qurğu, smart kart və oxuyuculardan (riderlərdən) ibarətdir. Xüsusilə mobil telefon və smart qurğular hesablama gücünə malik olmalarına baxmayaraq, onlardan yalnız smart sensor qurğular kimi istifadə edilir. Bu cihazlar ümumiyyətlə coğrafi olaraq geniş yayılmışdır. Bu səviyyədə fiziki obyekt və ya hadisələr haqqında məlumatlar toplanır və daha sonra toplanan məlumatlar emal və saxlanılma məqsədilə yuxarı səviyyəyə ötürülür.

• *Fog səviyyəsi*. Bu səviyyə şəbəkənin həddlərində yerləşir. Fog computing səviyyəsi ümumilikdə marşrutlaşdırıcı, qovşaq, şəbəkə keçidləri, giriş məntəqələri, baza stansiyaları, xüsusi fog serverləri və s.-dən ibarət fog qovşaqlarından ibarətdir. Qeyd edilən fog qovşaqları son qurğu ilə bulud arasında, məsələn, kafe, alış-veriş mərkəzi, avtobus terminalı, küçə və parklarda geniş paylanır. Onlar müəyyən yerdə statik, hərəkətli bir daşıyıcıda isə mobil ola bilərlər. Son qurğular müəyyən xidmətdən yararlanmaq məqsədilə fog qovşaqları ilə rahatlıqla əlaqə saxlaya bilərlər. Onlar sensorlar vasitəsilə alınan məlumatları hesablamaq, ötürmək və müvəqqəti olaraq saxlamaq imkanına malikdirlər. Real zamanda analiz və gecikmə çatışmazlıqlarına malik tətbiqlər bu səviyyədə yerinə yetirilir. Bundan əlavə, burada, fog qovşaqları IP nüvəli şəbəkə vasitəsilə bulud məlumat mərkəzinə qoşulur. Onlar daha güclü hesablama və saxlama imkanları əldə etmək məqsədilə buludla qarşılıqlı əlaqə qururlar.

• *Cloud səviyyəsi*. Bu səviyyə çoxsaylı yüksək hesablama gücünə malik server və yaddaş qurğularından ibarət olub, müxtəlif ağıllı ev, ağıllı daşıma (nəqliyyat), ağıllı zavod və s. kimi tətbiq xidmətlərini təmin edir. Bu səviyyə geniş hesablama analizi və böyük həcmdə məlumatların daimi saxlanılmasının dəstəklənməsi üçün güclü hesablama və yaddaş imkanlarına malikdir. Buna baxmayaraq, ənənəvi cloud computing arxitekturasından fərqli olaraq, hesablama və yaddaş resurslarının hamısı cloud vasitəsilə yerinə yetirilmir. Tələb olunan yükün həcminə əsasən, cloud-nüvəli modullar cloud resurslarından istifadənin təkmilləşdirilməsi məqsədilə bəzi nəzarət strategiyaları ilə effektiv şəkildə idarə edilir və planlaşdırılır.

Fog computing ümumiyyətlə cloud computing ilə əlaqələndirilir. Məsələn, hesablama, yaddaş və şəbəkə resursları həm fog computing, həm də cloud computingin struktur bloklarıdır. Bununla yanaşı, fog computing sistemi onu digər mövcud hesablama arxitekturlarından fərqləndirən bir sıra unikal xüsusiyyətlərə malikdir. Həmin xüsusiyyətlərdən biri və ən əhəmiyyətli onun son istifadəçilərə yaxın məsafədə yerləşməsidir. IoT-da fog computing texnologiyalarından istifadənin üstünlükləri aşağıda göstərilmişdir [8, 11]:

- fog computing cloud computing ilə IoT cihazları arasındakı səviyyəni təşkil edir;
- fog computing ideyasının əsas məqsədi cloud xidmətlərinin IoT cihazlarına daha da yaxınlaşdırılmasından ibarətdir;
- fog computing IoT məlumatlarının emalı zamanı cloud computing texnologiyalarının üzləşdiyi problemləri həll edir;
- sensorlar vasitəsilə toplanan məlumatlar buluda göndərilməzdən əvvəl fog serverlərdə emal edilir;
- fog computing bir neçə qovşaqdan ibarət ola bilər;
- hər bir fog qovşağı bir server maşınına bərabərdir, istifadəçinin tələbinə uyğun olaraq yaradılır;
- heç bir şəbəkə bağlantısı olmadan və ya kəsilməli şəbəkə bağlantısı halında belə davamlı şəbəkə xidmətlərini avtonom şəkildə təmin edir;
- fog computing gecikməni azaldır, buludun ötürücülük və yaddaş resurslarına qənaət etməyə imkan verir.

Fog computing texnologiyalarının cloud texnologiyalarına nəzərən bəzi xüsusiyyət və üstünlüklərinə aşağıdakılar daxildir:

*1) şəbəkə mühitində yaranan gecikmələrin aradan qaldırılması*

Sürətli emal vaxtı tələb edən məlumatların analiz üçün buluda göndərilməsi və buludun müvafiq reaksiya verməsi üçün gözləməsi arzuolunmaz problemlərə səbəb ola bilər. Bu zaman hətta bir millisaniyə belə böyük əhəmiyyətə malikdir. Bəzi IoT proqramlarında (ağıllı nəqliyyatda işıqlandırma sistemi, ağıllı qrid, ağıllı səhiyyə və s.) təcili və qısa cavablandırma tələb oluna bilər. Bəzi qərarlar buluda ötürülmədən də lokal olaraq qəbul edilə bilər. Hətta qərarların buluda qəbul edilməsi tələb olunsay belə, bütün verilənlər qərarların qəbulu və təhlili üçün yararlı olmadığına görə onların hamısının emal edilməsi və saxlanması məqsədilə buludlara göndərilməsi gərəksiz və səmərəsizdir [10]. Şəbəkə hədudlarındakı fog qovşaqları lokal olaraq sensor və qurğular tərəfindən toplanılan məlumatları qəbul edir və lokal şəbəkə ərazisində yerləşən şəbəkə cihazları vasitəsilə məlumatları emal edir və saxlayır. Bu, məlumatların internet üzərindən ötürülməsini əhəmiyyətli dərəcədə azaldır və sürətli yerli xidmətləri təmin edir. Bununla da o, gecikmələri minimuma endirir və xüsusilə gecikmə problemləri və ya zaman məhdudiyətli tətbiqlər üçün real zamanda əməliyyatların yerinə yetirilməsini təmin edir [12].

*2) şəbəkənin ötürücülük qabiliyyətinin artırılması.*

IoT cihazlarından generasiya edilən bütün məlumatlar cloud serverdə saxlanılma və təhlil üçün göndərildikdə, həmin cihazların yaratdığı trafik çox böyük olur. Nəzərə alsaq ki, çoxlu sayda cihaz ötürülmə prosesi həyata keçirir, bu həcmdə trafikin işlənməsi çox çətin iş çevrilir. Bəzi hesablama tapşırıqları, məsələn, məlumatların əvvəlcədən emal edilməsi, artıq verilənlərin azaldılması, faydalı məlumatların çıxarılması fog computing tərəfindən lokal olaraq həyata keçirilir. Faydalı məlumatların yalnız bir hissəsi clouda ötürülür və əksər məlumatların internet üzərindən ötürülməsinə ehtiyac qalmır [9]. Bundan əlavə, bəzi tətbiq ssenarilərində qərarlar cloud serverlərdə deyil, fog qovşaqlarında lokal olaraq qəbul olunur. Bununla da, fog computing modeli effektiv şəkildə ötürücülüğü təmin edir. Fog texnologiyasının bu üstünlüyü müasir “big data” əsrində, məlumatların həcmnin gündən-günə artdığı bir dövrdə daha böyük əhəmiyyət kəsb edir.

*3) böyük coğrafi ərazidə məlumatların monitorinqinin aparılmasını asanlaşdırır*

IoT və hesablama mühitinin məqsədi istənilən yerdə istənilən əşya arasında qarşılıqlı əlaqə yaratmaqdır. Həmin əşyalar çoxsaylı olmaqla yanaşı həm də geniş paylanmışdır. Qoşulmuş IoT

cihazlarının yerləşdiyi yer böyük coğrafi bölgəni əhatə edə bilər, məsələn, dəmir yollarında, neft-qaz mədənlərində, sualtı yerlərdə, nəqliyyat vasitələrində, zavodlarda və s. Mərkəzləşdirilmiş cloud computing ilə müqayisədə fog texnologiyasının xidmət və tətbiqləri coğrafi paylanmanı daha çox dəstəkləyir. O, mobilliyin dəstəklənməsi məqsədilə son qurğuların yerləşdiyi yerləri aşkarlamaq və izləmək imkanı olan çoxlu sayda geniş şəkildə paylanmış qovşaqlardan ibarətdir. Son istifadəçidən uzaqda yerləşmiş mərkəzləşdirilmiş məlumat mərkəzində məlumatların emal edilməsi və saxlanması əvəzinə, fog texnologiyasının mərkəzləşdirilməmiş arxitekturası verilənlərin analitikasını istifadəçiyə yaxın yerdə təmin edir. Bu xüsusiyyət böyük həcmdə məlumatların daha sürətlə təhlil edilməsinə və lokal xidmətlərin yaxşılaşdırılmasına imkan verə və qərarların real zamanda daha yaxşı qəbul edilməsini dəstəkləyə bilər [13].

4) məlumatların təhlükəsizliyinin artırılması.

Cloud computing texnologiyaları çərçivəsində verilənlər mərkəzləşdirilmiş şəkildə saxlandığından və emal olunduqundan xarici hücumlara məruz qalır. Hətta aparıcı cloud computing texnologiyaları istehsalçıları olan Google, Amazan və Yahoo kimi şirkətlər də verilənlərin itirilməsi ilə üzləşirlər. Cloud computing texnologiyalarının sürətli inkişafına mane olan əsas amillər kimi məhz təhlükəsizlik məsələləri qeyd edilir. Cloud computing texnologiyalarının daha da inkişaf etdirilmiş bir hissəsi kimi fog computing texnologiyaları cloud computing texnologiyaları ilə müqayisədə daha təhlükəsiz arxitekturaya malikdir. Bu, bir sıra amillərdən asılı ola bilər. Birincisi, toplanan verilənlər onlara yaxın yerləşən lokal fog qovşaqlarında müvəqqəti saxlanılır və analiz edilir. Bu isə internet bağlantısından asılılığı minimuma endirir. Verilənlərin lokal qovşaqlarda saxlanması, mübadiləsi və analiz edilməsi sayəsində hücumçular istifadəçilərin məlumatlarına giriş əldə edə bilmir. Məsələn, hər bir sənaye və ya təşkilat öz məlumatlarını lokal olaraq analiz edə və məxfi məlumatları lokal serverlərdə saxlaya bilər. Yalnız cloud serverlə paylaşıla bilən məlumatlar göndərilə bilər ki, bu da məxfiliyin daha yaxşı təmin olunması üçün şərait yaradır. İkincisi, qurğu ilə cloud arasında aparılan məlumat mübadiləsi real zamanda aparılmır. Beləliklə, hücumçular artıq konkret istifadəçinin vacib məlumatlarını aşkarlaya bilmirlər.

Yuxarıda qeyd olunanları ümumiləşdirsək, cloud və fog texnologiyaları arasındakı fərqli cəhətləri aşağıdakı kimi göstərmək olar (cədvəl 1) [14].

Cədvəl 1

Cloud və fog texnologiyaları arasındakı fərqlər

	Cloud computing	Fog computing
Gecikmə	Yüksək	Aşağı
Təhrif olunma	Yüksək	Çox aşağı
Xidmətin yerləşməsi	İnternet daxilində	Yerli şəbəkə hüdudlarında
İstifadəçi ilə server arasındakı əlaqə	Çoxsaylı əlaqə vasitələri	Bir əlaqə vasitəsi
Verilənlərin ötürülməsi zamanı edilən hücumlar	Yüksək ehtimal	Çox aşağı ehtimal
Yerləşmə haqqında məlumat	Yoxdur	Var
Coğrafi paylanma	Mərkəzləşmiş	Paylanmış
Server qovşaqlarının sayı	Az	Çox
Mobilliyin dəstəklənməsi	Məhdud	Dəstəklənir
Real zaman rejimində interaktivlik	Dəstəklənir	Dəstəklənir
Yüksək bağlantının növü	Naqili	Naqilsiz

## Fog texnologiyasının tətbiq sahələri

Fog texnologiyası aşağıdakı sahələrdə tətbiq edilir [15–17]:

*Kənd təsərrüfatı sahəsində.* Əkin sahələrinin səmərəli idarə edilməsi üçün fog computing təklif edilmişdir. Rütubət, kamera və s. kimi sensorlar əkin sahələrinin müvafiq hissələrində quraşdırılır, verilənləri toplayır və fog qovşaqlarına göndərir. Rütubət sensorları məhsul üçün tələb olunan rütubətin səviyyəsini hesablayır, kamera sensorları isə real zaman rejimində məhsulların və əkin sahələrinin şəklini çəkir. Bu verilənlər həmin əkin sahələrinin sahibi olan xüsusi fermerlər üçün əlçatan olur. Onlar müvafiq giriş məlumatlarını daxil etməklə məhsul və əkin sahələrinin verilənlərinə giriş əldə edirlər. Həmin verilənləri təhlil etməklə müvafiq tədbirlər görülür.

*Tibb sahəsində.* Xroniki xəstəliyi olan insanların (qan təzyiqinin həddən artıq yüksəlməsi və ya aşağı düşməsi və s.) real zamanda sağlamlığının təhlili, qeyri-adi vəziyyətini aşkarlamaq və əvvəlcədən müvafiq həkimlərə dərhal xəbərdarlıq göndərmək üçün fog texnologiyalarından istifadə oluna bilər. Bu məlumatlar sensorlar vasitəsilə toplanılır və duman serverlərinə göndərilir. Xəstəxanalar həmin xəstənin məlumatlarına giriş əldə etməklə dərhal tədbir görmək imkanına malik olurlar. Hər hansı xüsusi xəstəxanada qeydiyyatda olan xəstənin məlumatlarına yalnız həmin xəstəxana giriş əldə edə bilər. Xəstə həmin məlumatları hər hansı xəstəxana ilə fiziki olaraq paylaşmır, xəstəxanalar yalnız xəstə ümumi müayinəyə gəldikdə, ehtiyac yaranarsa, həmin məlumatlara baxa bilərlər.

*Avtomobil dayanacaqlarında.* Dayanacaq sahələrinin idarəetməsi meqapolislərdə çox mürəkkəb məsələyə çevrilmişdir. Bu problem fog computing resursları vasitəsilə müəyyən dərəcədə həll edilmişdir. Burada fog qovşaqları dayanacaq yerlərində quraşdırılmışdır və bütün verilənlər sensorlar vasitəsilə toplanaraq fog qovşaqlarında saxlanılır. Boş dayanacaq yeri axtaranlar həmin məlumatlardan istifadə edə bilərlər. Boş dayanacaq yeri tutulan kimi sensorların statusu dəyişir, bununla da dayanacaq axtaranın işi asanlaşır. Wi-Fi/İnternet vasitəsilə həmin məlumatlara daxil olanlar boş dayanacaq yerini göstərən statusu asanlıqla tapırlar.

*Ağıllı evlərdə.* Ev daxilində bir-birinə qoşulmuş bir neçə sensor və qurğular mövcuddur. Lakin bu qurğular müxtəlif istehsalçılar tərəfindən hazırlandığından və fərqli platformalara malik olduğundan onların birlikdə fəaliyyət göstərməsi bir qədər çətinləşir. Bundan əlavə, bəzi məsələlərin hesablanması və saxlanması üçün böyük resurslar tələb olunur. Fog computing texnologiyaları vasitəsilə bu problemi həll etmək mümkündür. Bu texnologiyanın köməyi ilə bütün fərqli platformalar inteqrasiya olunur və ağıllı ev tətbiqlərini çevik resurslarla təmin edir [14]. Fog computing texnologiyalarının ağıllı evlər üçün bir sıra üstünlükləri mövcuddur. O, bütün fərqli müstəqil qurğuları vahid interfeysdə birləşdirir. Bundan əlavə, bu texnologiyalar yaddaş, real zaman emalı və aşağı gecikməni təmin edir.

*Ticarət mərkəzlərində.* Ticarət mərkəzlərində çoxsaylı fog qovşaqları və hər mərtəbədə fog serveri quraşdırılır. Həmin fog serverləri birlikdə inteqrasiya edilmiş lokal informasiya sistemini təşkil edir. Hər mərtəbədəki fog serverində mağazaların elanları, təklifləri, qiymətləri, məhsulları və s. kimi məlumatlar saxlanılır. Müvafiq ticarət mərkəzinin fog serverlərində saxlanılan bütün bu məlumatlara Wi-Fi/İnternetdən istifadə edən son istifadəçinin mobil telefonu vasitəsilə daxil olmaq mümkündür. İstifadəçilər ehtiyac yarıdıqda mobil telefon vasitəsilə məlumat göndərə bilərlər. Ümumilikdə, fog serverlərindəki bütün məlumatlar mərkəzləşdirilmiş cloud məlumat mərkəzində saxlanılır.

*Enerji sahəsində.* Çoxsaylı enerji mənbəyinə malik olan şəhərlərdə artıq ən səmərəli enerji resurslarını seçmək imkanı əldə edilmişdir. Smart/enerji sayğacları və mikroqridlər kimi cihazlar çox geniş yayıldığından və ucuz olduğundan səmərəli enerji resursuna çevrilmişlər. Fog qovşaqlarda smart qrid sensorlarının generasiya etdiyi verilənlər saxlanılır və qəbul olunan verilənlər əsasında müvafiq enerji resursunun seçilməsi barəsində aktuatora əmr göndərilir. Yaxınlıqda olan ən uyğun resurs enerji sayğacının oxunmasına əsasən seçilir. Son istifadəçilər isə nə qədər enerjinin istehlak edildiyi barədə məlumatlandırılır. Həmin məlumatlar hər kəs üçün açıq olur. Bu məlumatlar Wi-Fi/İnternet vasitəsilə son istifadəçiyə çatdırılır.

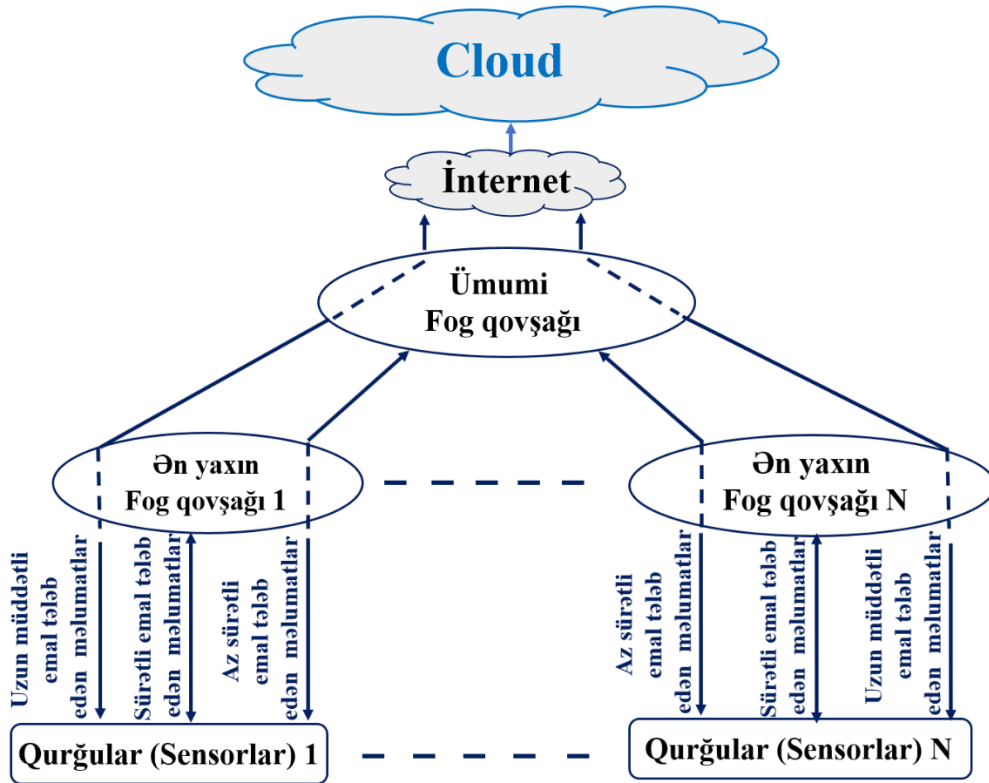
## Fog computing texnologiyaları əsasında yaradılan şəbəkə infrastrukturunun iş prinsipi

Fog computing texnologiyalarının IoT infrastrukturunu sahəsindəki üstünlüklərinə baxmayaraq, hazırda cloud computing ən geniş yayılmış həllərdən biri kimi müxtəlif sahələrdə uğurla tətbiq edilməkdədir. Fog və cloud computing texnologiyalarının hər ikisi uğurlu həllər olsa da, onlar xidmət təminatı formasında bir-birini tamamlayır. Fog computing qovşaqları sensor və kənar qurğuların generasiya etdiyi məlumatları emal edir və saxlayır. Daha sonra isə qalan əhəmiyyətli məlumatlar saxlanılma və ya gələcəkdə emal edilməsi üçün cloud serverinə ötürülür. Ənənəvi cloud modeli ilə birləşərək fog computing cloud computingə daha səmərəli xidmət göstərməyə imkan yaradır. Fog computingin işləmə prinsipi aşağıda göstərilmişdir.

Fog qovşaqlarının xarakteristikaları:

- ✓ saxlama – müvəqqəti saxlamanın təmin edilməsi;
- ✓ hesablama imkanları:
  - clouda göndərilməzdən əvvəl məlumatların emal edilməsi;
  - qərarların dərhal qəbul edilməsi.
- ✓ şəbəkə bağlantısı – IoT cihazları, digər fog qovşaqları və cloudla əlaqələndirilməsi:
  - marşrutlaşdırıcılar, quraşdırılmış serverlər, şəbəkə keçidləri, video müşahidə kameraları və s.
- ✓ şəbəkənin istənilən hissəsində yerləşdirilə bilməsi;
- ✓ hər bir fog qovşağı ümumi fog qovşağına tabedir.

Fog computing texnologiyasında şəbəkə infrastrukturunu obyektlərə (sensorlara) ən yaxın fog və ümumi fog qovşaqlarından təşkil olunur. Fog qovşaqları qəbul etdikləri məlumatın növündən asılı olaraq işləyir. Emal vaxtına qoyulan tələblərə əsasən məlumatların xarakterinə uyğun hansı qovşaqlarda yerləşdirilməsi və həll edilməsi aşağıda göstərilmişdir (şəkil 2).



Şəkil 2. Fog computing texnologiyasının işləmə prinsipi

Emal vaxtına qoyulan tələblərə əsasən məlumatları üç növə ayırmaq olar [18, 19]:

*Həll baxımından sürətli emal tələb edən məlumatlar.* Qurğulardan (sensorlardan) alınan məlumatlar operativ emal olunub əks əlaqə ilə icra mexanizmlərinə reaksiya verməlidir. İşləmə prinsipi aşağıda göstərilmişdir:

- saniyə ərzində analiz edilməlidir;
- ən yaxın qovşağın özündə təhlil edilir;
- qərarları və ya tədbirləri qurğulara göndərir;
- gələcək analiz üçün xülasələri ümumi qovşaq vasitəsilə clouda göndərir və saxlayır.

*Həll baxımından az sürətli emal tələb edən məlumatlar.* Qurğulardan alınan məlumatlar müəyyən qısa gecikmələrlə emal olunub əks əlaqə ilə icra mexanizmlərinə reaksiya verməlidir. İşləmə prinsipi aşağıda göstərilmişdir:

- bir neçə saniyə və ya dəqiqədən sonra emal edilə bilər;
- analiz üçün ən yaxın qovşaq vasitəsilə ümumi qovşağa göndərilir;
- analizdən sonra ümumi qovşaq qəbul edilən qərarı və ya tədbiri ən yaxın qovşaq vasitəsilə qurğuya göndərir;
- ümumi qovşaq saxlama və gələcək təhlil üçün xülasələri clouda göndərir.

*Həll baxımından uzunmüddətli emal tələb edən məlumatlar.* Qurğulardan alınan məlumatların operativ və ya müəyyən qısa gecikmələrlə emal olunub reaksiya verməsi tələb olunmur. İşləmə prinsipi aşağıda göstərilmişdir:

- həlli saatlarla, günlərlə və həftələrlə gözlənilən məlumatlar;
- analiz, saxlama və gələcək təhlil üçün ən yaxın qovşaq və ümumi qovşaq vasitəsilə clouda göndərilir.

Beləliklə, yaradılan şəbəkə infrastrukturunda məlumatların balanslı şəkildə fog və cloud şəbəkələri arasında paylanması nəticəsində internet şəbəkəsinin yüklənmələrdən azad olunması təmin edilir.

### **Fog computing sahəsində mövcud problemlər**

Müxtəlif IoT tətbiqləri üçün bir çox imkanlar yaratmasına baxmayaraq Fog computing texnologiyalarının uğurlu tətbiqi sahəsində bir sıra problemlər mövcuddur. Həmin problemlər aşağıda göstərilmişdir [12, 20, 21]:

*Mürəkkəblilik.* IoT qurğuları və sensorları fərqli şirkətlər tərəfindən istehsal olunduğundan onların kommunikasiya növləri, sensorlar, hesablama gücü, yaddaş və s. kimi imkanları da müxtəlifdir. Bu zaman şəbəkələrin idarəetməsi, əlaqələndirilməsi və ən optimal resursların seçilməsi mürəkkəb problemə çevrilir. Bundan əlavə, bəzi hallarda yüksək təhlükəsizlik tələb edən tətbiqlər üçün spesifik proqram təminatı və protokolların istifadəsi tələb olunur, bu isə öz növbəsində, prosesin mürəkkəbliyini bir qədər də artırır.

*Miqyaslanma.* Hazırda həddən artıq böyük həcmdə verilənlər generasiya edən milyardlarla IoT qurğuları mövcuddur. Bu qurğular generasiya edilən verilənlərin emalı və saxlanması üçün böyük həcmdə resurslar, yəni emal etmə gücü və yaddaş resurslarını tələb edir. Bu səbəbdən fog serverləri həmin qurğuların hamısını müvafiq resurslarla təmin etmək imkanına malik olmalıdır. Lakin IoT qurğuları və tətbiqlərinin sürətli inkişafı ilə ayaqlaşmaq problemi hələ də real problem olaraq qalmaqdadır.

*Standart Fog computing arxitekturasının olmaması.* İndiyədək fog computing üçün heç bir standart müəyyən edilməmişdir. OpenFog konsorsiumu tərəfindən 2016-cı və 2017-ci ilin fevral aylarında fog arxitekturasının iki versiyası təqdim edilmişdir. Həmin versiyaların ilk layihəsinə fog arxitekturasının ilkin icmalı daxil idi. İkinci layihədə isə fog arxitekturası daha ətraflı müzakirə edilmişdi. Təklif olunan arxitektura fog arxitekturasının bir çox əsas aspektləri, o cümlədən onun məhsuldarlığı, idarəetməsi, təhlükəsizlik, verilənlərin analitikası və onlara nəzarət nəzərə alınmışdır. Bununla yanaşı, hər bir səviyyənin düzgün qiymətləndirilməsi üçün daha dərin araşdırmaların aparılması nəzərdə tutulmuşdur.



*Resursların idarə edilməsi.* Fog computing qurğuları hesablamalar həyata keçirməli və müəyyən müddət ərzində istifadəçilərə cavab göndərməlidirlər. Fog computing sistemi çox vaxt cloud serverləri ilə əlaqə saxlayır. Eyni zamanda bəzi hesablamalar clouda yüklənir. Cloudlarda həyata keçirilən hesablamalar üçün, fog qurğularda hesablamaların yerinə yetirilməsi üçün tələb edilən vaxtla müqayisədə daha çox zaman tələb edilə bilər. Buna görə də, hesablamaların hansı hissəsinin clouda yüklənməsi, hansı həcmdə hesablamaların isə fog qurğularında yerinə yetirilməsini müəyyənləşdirmək mürəkkəb məsələdir.

*Fogların interoperabelliği və birləşdirilməsi.* Fog computing sayəsində gecikmələr minimuma endirilərək istifadəçilərə sorğuların onlara daha yaxın yerlərdə emal edilməsi təklif olunur. Buna baxmayaraq, eyni zamanda eyni fog qurğusuna edilən sorğuların sayı birdən-birə artdıqda, fog qurğusunun funksionallığı sual altına düşə bilər. Fog qurğusu birdən artıq sorğunu emal edə bilmədiyi halda, növbəti emal məqsədilə sorğu clouda ötürülsə belə, gecikmə ilə bağlı tələblər təmin edilməyəcəkdir. Beləliklə, fog klasterləri ilə fog serverləri arasında qarşılıqlı funksionallıq (interoperabellik) və birləşmə tələb olunur. İstənilən fog qurğusu tam istifadə edildikdə, müraciətlər emal edilməsi üçün clouda deyil, digər fog qurğularına və ya fog serverlərinə yönləndirilməlidir.

*Müxtəlif səviyələr arasında rəbitə.* Zaman baxımından sürətli emal tələb edən proqramların tətbiqi tələblərinin təmin edilməsi məqsədilə fog computing cihazlar arasındakı fasiləsiz əlaqəni təmin etməlidir. Proqram istənilən avtomobil və ya dronun idarə edilməsi və fəvqəladə hallarda müşahidə məqsədi ilə tətbiq edildikdə, bağlantı zamanı meydana çıxan nasazlıqlar ciddi ziyana səbəb ola bilər. Cloud serverlərlə bağlantı alınmadıqda belə, fog server davamlı əlaqəni təmin etməlidir. Beləliklə, IoT cihazları, fog və cloud arasındakı səviyyələrarası əlaqə son dərəcə vacib hesab olunur. IoT və fog cihazları tərəfindən istifadə edilən əlaqənin növü və protokolları fərqli ola bilər. Buna görə də, bu məsələlərin həlli geniş araşdırmaların aparılmasını tələb edir.

## **Nəticə**

Son dövrlərdə müxtəlif təyinatlı sensorlar vasitəsilə toplanan məlumatların emal edilib saxlanması üçün cloud computing texnologiyalarından geniş istifadə olunur. Lakin mövcud cloud modeli IoT sahəsində tələblərin ödənilməsi üçün kifayət etmir. Fog computing texnologiyalarından istifadə etməklə cloud xidmətlərinin keyfiyyət göstəricilərinin yüksəldilməsinə nail olmaq olar. Bu məqsədlə məqalədə IoT mühitində Fog computing texnologiyalarından istifadənin perspektivləri göstərilmiş, cloud və fog texnologiyalar arasında müqayisəli təhlil aparılmışdır. Fog computing texnologiyalarının köməyi ilə cloud xidmətlərini daha da genişləndirməklə aşağı gecikmə, şəbəkə genişliyi, mobillik, təhlükəsizlik kimi amillərdən faydalanmaq olar.

## **Minnətdarlıq**

Bu iş Azərbaycan Respublikası Dövlət Neft Şirkətinin Elm Fondunun maliyyə yardımı ilə yerinə yetirilmişdir – Qrant – № 03 LR.

## **Ədəbiyyat**

1. Əliquliyev R.M., Mahmudov R.Ş. Əşyaların İnterneti: mahiyyəti, imkanları və problemləri // İnformasiya cəmiyyəti problemləri, 2011, №2(4), s.29–40.
2. Məmmədova M.H., Cəbrayilova Z.Q. Dəniz neft platformasında personalın fizioloji vəziyyətinin və coğrafi mövqeyinin monitorinqində əşyaların internetinin imkanları // İnformasiya texnologiyaları problemləri, 2018, №2, s.3–17.
3. Baudoin C.R. Deploying the Industrial Internet in Oil & Gas: Challenges and Opportunities // Society of Petroleum Engineers, 2016, pp.1–11.
4. Report-internet of things. <http://reports.weforum.org/industrial-internet-of-things/general-findings/2-1-the-state-of-the-market/>

5. IoT: the battle is on to connect the home and workplace. The Mobile Economy 2020. <https://www.gsma.com/mobileeconomy/>
6. Ələkbərov R.Q., Həşimov M.A. Bulud texnologiyaları: xidmətlər, problemlər və tətbiq sahələri // İnformasiya texnologiyaları problemləri, 2016, №1, s.3–10.
7. Ranesh K.N., Saurabh K.G., Andrew C. Fog Computing Architecture: Survey and Challenges // arXiv: Distributed, Parallel, and Cluster Computing, 2018, pp.199–223.
8. Mukherjee M., Shu L., Wang D. Survey of Fog Computing: Fundamental, Network Applications, and Research Challenges // IEEE Communications Surveys & Tutorials, 2018, vol.20, no.3, pp.1826–1857.
9. Hu P., Dhelima S., Ning H., Qiu T. Survey on Fog Computing: Architecture, Key Technologies, Applications and Open Issues // Journal of Network and Computer Applications, 2017, vol.98, pp.27–42.
10. Atlam H.F., Walters R.J., Wills G.B. Fog Computing and the Internet of Things: A Review // Big Data Cognitive Computing Journal, 2018, vol.2, no.2. pp.1–18.
11. Tılak P., Krupa J. Fog Computing in IoT // International Journal of Soft Computing and Artificial Intelligence, 2018, vol.6, issue.1, pp.1–5.
12. Dastjerdi A.V., Gupta H., Calheiros R.N., Ghosh S.K., Buyya R., Fog Computing: principles, architectures, and applications // Internet of Things: Principles and Paradigms, 2016, chapter 4, pp.61–75.
13. Rahul N., Urmila S. Fog Computing Architecture, Applications and Security Issues // International Journal of Fog Computing, 2020, vol.3, issue 1, pp.75–105.
14. Prakash P., Darshaun K.G., Yaazhylene P., Medidhi V. G., Vasudha B. Fog Computing: Issues, Challenges and Future Directions // International Journal of Electrical and Computer Engineering, 2017, vol.7, no.6, pp.3669–3673.
15. Sourav K., Arijit S., Ruhul A. An overview of cloud-fog computing: Architectures, applications with security challenges // 2019, vol.2, Issue 4, pp.1–14.
16. Gohar R., Chuah C.W. Fog Computing, Applications, Security and Challenges, Review // International Journal of Engineering & Technology, 2018, vol.7, no.3, pp.1615–1621.
17. Yi S., Hao Z., Qin Z., Li Q. Fog Computing: Platform and Applications / Third IEEE Workshop on Hot Topics in Web Systems and Technologies, 2015, pp.73–78.
18. Cisco white paper. Fog Computing and the Internet of Things: Extend the Cloud to Where the Things Are, 2015.
19. Sheetal R., Tejashwani S., Priyanshu M., Sarvesh K. Fog Computing: Extension of the Cloud // Journal of Inventions in Computer Science and Communication Technology, 2018, vol.4, issue 1, pp.22–26.
20. Ranesh K.N., Saurabh K.G., Dimitrios G., Prem P.J., Longxiang G., Yong X., Rajiv R. Fog Computing: Survey of Trends, Architectures, Requirements, and Research Directions // IEEE Access, 2018, vol.6, pp. 47980–48009.
21. Carla M., Diala N., Sami Y., Roch H.G, Monique J.M, Paul A.P. A Comprehensive Survey on Fog Computing: Stateof-the-art and Research Challenges // IEEE Communications Surveys & Tutorials, 2018, vol.20, issue 1, pp.416–464.

УДК 004.75

Гашимов Мамед А.

Институт Информационных Технологий НАНА, Баку, Азербайджан

[mamedhashimov@gmail.com](mailto:mamedhashimov@gmail.com)

### **Вопросы использования туманной технологии в IoT-среде**

Технология интернета вещей (IoT) стремительно развивается, расширяется охват, она глубоко проникает во все сферы деятельности. IoT соединяет различные объекты, в том числе людей, машины и вещи, с информационной средой в любое время и в любом месте. Это в свою очередь привело к генерации огромных объемов данных. Наряду с быстрым увеличением объема данных скорость генерации также увеличивается. Традиционные информационные технологии не могут удовлетворить требования к анализу данных, задержке, мобильности, надежности и пропускной способности сети. Использование технологий туманных вычислений можно считать многообещающим методом для решения этих проблем. Поэтому в статье рассматривается применение технологий туманных вычислений в среде IoT. Анализируются преимущества использования Fog-вычислений, их архитектура и области применения. Кроме того, в статье освещены существующие проблемы в области туманных вычислений.

**Ключевые слова:** интернет вещей, IoT-приложения, облачные вычисления, туманные вычисления, туманные приложения.

**Mammad A. Hashimov**

Institute of Information Technology of ANAS, Baku, Azerbaijan

[mamedhashimov@gmail.com](mailto:mamedhashimov@gmail.com)

### **Issues of the use of fog technologies in the IoT environment**

The Internet of Things (IoT) technology is rapidly evolving, expanding its coverage and penetrating deep into all spheres of activity. IoT connects various objects, including people, machines and things, to the information environment anytime and anywhere. This, in turn, has led to the generation of huge amounts of data. Along with the rapid increase in data volume, the generation rate is also increasing. Traditional information technologies, on the other hand, are unable to meet the requirements for data analysis, latency, mobility, reliability, and network bandwidth. The use of fog computing technologies can be considered a promising solution to solve these problems. In this regard, the article considers the application of fog computing technologies in the IoT environment. It analyzes the advantages of using Fog computing, its architecture and fields of application. Moreover, the article highlights existing problems in the field of fog computing.

**Keywords:** Internet of things, cloud computing, fog computing, fog architecture, application fields of fog computing, fog computing problems.