

UOT 004.056

DOI: 10.25045/jpit.v12.i2.10

Ələkbərov O.R.AMEA İnformasiya Texnologiyaları İnstitutu, Bakı, Azərbaycan
oqtayalakbarov@iit.ab.az**MOBİL İSTİFADƏÇİLƏRİN TƏLƏBLƏRİNƏ UYGUN CLOUDLETLƏRİN
SEÇİLMƏSİ ALQORİTMİNİN İŞLƏNMƏSİ**

Daxil olmuşdur: 14.06.2021 Düzəliş olunmuşdur: 21.06.2021 Qəbul olunmuşdur: 09.07.2021

Son dövrlərdə mobil hesablama buludlarının (MHB) xidmətlərinin istifadəsində mobil istifadəçilərin sayının sürətlə artması, bulud serverlərin uzaqda olması və İnternet şəbəkəsinin yüklənməsi emal olunan məlumatların istifadəçiyə çatdırılmasında böyük gecikmələrə səbəb olur. Mobil qurğularda resurs qıtlığını, enerji sərfiyyatını və əlaqə kanallarında yaranan gecikmələri aradan qaldırmaq üçün hesablama buludlarının uzaqda yerləşən serverlərini istifadəçiyə yaxın yerləşdirmək lazım gəlir. Əlaqə kanallarında gecikmələri və mobil qurğularda enerji sərfiyyatını azaltmaq üçün cloudletəsaslı MHB-lərdən istifadə edilməsi təklif edilmişdir. İstifadəçilərin tətbiqi proqramlarının cloudlet çoxluğuyla sürətlə yerinə yetirilməsini təmin edən ən uyğun cloudletin seçilməsi hələ də böyük bir problemdir. Məqalədə naqilsiz şəhər miqyaslı şəbəkələrin baza stansiyalarının yaxınlığında yerləşdirilən və istifadəçiyə yaxın cloudletlərin resurslarından səmərəli istifadə edilməsi məsələsinin bir həlli verilmişdir. Cloudletlərin əhəmiyyətini təyin edən mümkün qiymətlərindən (istifadəçiyə yaxın olması, etibarlılıq göstəricisinin yüksək olması, əlaqə kanallarının sayının az olması və s.) istifadə etməklə istifadəçinin proqram əlavəsinin münasib cloudletə yüklənməsi üçün şərtlər araşdırılmış və alqoritm təklif edilmişdir.

Açar sözlər: *hesablama buludları, mobil hesablama buludları, hesablama və yaddaş resursları, enerji sərfiyyatı, cloudlet, şəbəkə gecikmələri, əlaqə kanalları, etibarlılıq.*

Giriş

Hal-hazırda istifadəçilərin geniş istifadə etdikləri ənənəvi (mərkəzləşdirilmiş) hesablama buludlarının yüksək hesablama və yaddaş resurslarına malik olmasına baxmayaraq, onlar emal olunan məlumatları şəbəkədə yaranan gecikmələr nəticəsində yüksək sürətlə istifadəçilərə çatdırma imkanına malik deyillər. Şəbəkədəki gecikmələri aradan qaldırmaq üçün iyerarxik strukturlu cloudletəsaslı MHB-dən geniş istifadə edirlər. Eyni zamanda, bu texnologiyadan istifadə etməklə mobil avadanlıqların hesablama və yaddaş resurslarına olan tələbatını təmin edirlər. Mobil qurğularda resurs qıtlığını, enerji sərfiyyatını və əlaqə kanallarında gecikmələri aradan qaldırmaq üçün hesablama buludlarının resurslarını (serverlərini) istifadəçiyə yaxın yerləşdirmək lazım gəlir. Beləliklə, qeyd edilən problemləri aradan qaldırmaq üçün cloudletəsaslı MHB-nin yaradılması aktual məsələlərdəndir. Təklif edilən modelin mobil qurğuların hesablama və yaddaş resurslarına olan tələbatını daha səmərəli təmin etməsi və şəbəkədə yaranan gecikmələrin aradan qaldırılması və etibarlı əlaqə kanalından istifadə edilməsi qeyd edilmişdir. Eyni zamanda, mobil istifadəçi ilə cloudletəsaslı əlaqə kanalının minimum olması təklif edilmişdir və bununla da şəbəkələrdə mobil qurğuların multimedia proqram təminatlarının istifadəsi zamanı şəbəkənin yüklənməsinin azaldılması və əlaqə kanalının etibarlı işləməsi qeyd edilmişdir. MHB-lərdə cloudletlərin resurslarından səmərəli istifadə edilməsi məqsədi ilə onlar arasında əlaqə kanallarının minimal olması təklif edilir. İstifadəçi məsələsini ona daha yaxın olan cloudletə yükləyib və həll etsə, onda gecikmələr və enerji sərfiyyatı az olacaq. Cloudlet mobil qurğudan uzaqda olsa, əlaqə kanallarının sayının artması ilə gecikmələr və enerji sərfiyyatı artacaq. Ona görə də məqalədə cloudlet şəbəkəsində istifadəçinin məsələsinin həll edilməsi üçün onun tələblərini ödəyən cloudletin seçilməsinin bir həllinə baxılmışdır. Beləliklə, məqalədə cloudletlərin əhəmiyyətini təyin edən mümkün qiymətlərindən (boş resursların olması, istifadəçiyə yaxın olması, etibarlılıq göstəricisinin yüksək olması, əlaqə kanallarının sayının az olması və s.) istifadə etməklə istifadəçinin proqram əlavəsinin münasib cloudletə yüklənməsi üçün şərtlər araşdırılmış və alqoritm təklif edilmişdir.

Tədqiqatla əlaqədar işlər

Bəzi tədqiqat işlərində [1, 2] uzaqda yerləşən bulud serverlərdən istifadə etdikdə internet şəbəkəsinin yüklənməsinin istifadəçilərin sorğularının emalında gecikmələrin yaranmasına səbəb olması qeyd edilir. Bəzi tədqiqat işlərində MHB-də cloudletlərin yaradılmasını zəruri edən şərtlər araşdırılmış və cloudletlərin hansı baza stansiyalarının yaxınlığında yerləşdirilməsinin proqnozlaşdırılması məsələsi həll edilmişdir [3, 4]. [5]-də istifadəçilərin paket proqramlarının tiplərinə uyğun cloudletlərin seçilməsi məsələlərinə baxılmışdır. Bunun sistemin yükünün balanslı paylanmasına və gecikmələrin azaldılmasına kömək etdiyi qeyd edilmişdir. [6]-da tətbiqi proqramların buluda yüklənməsi və həllində meydana çıxan problemlər araşdırılmışdır. MHB-də tətbiqi proqramların bulud serverlərdə miqراسiyası məsələlərinə baxılmışdır [7].

İstifadəçilərə yaxın yerləşdirilən cloudlet uzaqda yerləşən bulud serverlərə nəzərən istifadəçinin məsələlərinin (proqram təminatlarının) daha sürətlə emal edilməsini təmin edir. Cloudletlərdən istifadə şəbəkənin daha az yüklənməsinə və emal olunmuş məlumatların tez əldə edilməsinə imkan yaradır [8–11]. [12–15]-də mobil qurğularda böyük hesablama və yaddaş resursları tələb edən məsələlərin həllində meydana çıxan problemlər (resurs qıtlığı və enerji sərfiyyatı) analiz edilmişdir. Bu problemləri aradan qaldırmaq üçün MHB texnologiyalarından geniş istifadə olunması qeyd edilmişdir. [16]-da çoxsaylı cloudlet çoxluğundan mobil cihaza xidmət göstərəcək ən yaxın cloudletin seçilməsi məsələsinə baxılmışdır. [17]-də cloudletlərin məhdud sayda istifadəçiyə xidmət göstərə bildiklərindən və mobil cihaza daha yaxın yerləşdiklərindən uzaqda yerləşən buludlara nəzərən təhlükəsizlik məsələlərinin daha yaxşı təmin edilməsi qeyd edilmişdir. [18]-də cloudletlərdən istifadə edilərkən mobil cihazlarda enerji sərfiyyatının azaldılması və şəbəkədə gecikmələrin minimallaşdırılması problemləri tədqiq edilmişdir. [19–20] tədqiqat işlərində istifadəçilərin məsələlərinin həllini onlara yaxın cloudletlərdə təmin etməklə, istifadəçilər və cloudletlərarası bağlantılarda əlaqə kanallarının sayını azaltmaqla gecikmələrin aradan qaldırılması və şəbəkənin etibarlı işləməsinin təmin edilməsi məsələlərinə baxılmışdır. [21]-də istifadəçilərin mobilliyini nəzərə alaraq cloudlet şəbəkəsində resursların balanslı şəkildə paylanması məsələsinə baxılmış və məsələnin həlli üçün iki evristik alqoritm təklif olunmuşdur. Mobil bulud mühiti üçün resursların səmərəli idarəetmə sxemi də təklif olunur [22]. [23]-də uzaqda yerləşən bulud serverlərdən istifadə zamanı nəticələrin istifadəçilərə çatdırılmasında yaranan gecikmələr analiz edilmişdir. Burada gecikmələrin aradan qaldırılması üçün cloudletlərdən istifadə edilməsi təklif edilir. [24]-də tətbiqi proqramların cloudletlərdə həlli zamanı şəbəkədəki gecikmələrin hesabına istifadəçilərə daha yaxşı QoS xidməti göstərilməsi qeyd edilir. [25]-də yeni *Mobile Edge Computing (MEC)* texnologiyalarından istifadə etməklə məsələlərin mobil qurğuların yaxınlığında yerləşən virtual maşınlarda həllinin təmin edilməsi məsələlərinə baxılmışdır. Bir çox tədqiqat işlərində [26–27] mobil istifadəçilər tərəfindən cloudletlərin baza stansiyalarının yaxınlığında yaradılması məsələləri, həmçinin cloudletlərin resurslarından effektiv istifadə edilməsi metodları təklif edilmişdir. Eyni zamanda, yaradılmış virtual maşınlarda məsələlərin yerinə yetirilməsi vaxtı analiz edilmişdir. [28]-də cloudletlər əsasında yaradılan şəhər miqyaslı naqilsiz şəbəkənin (*ing. Wireless Metropolitan Area Networks – WMAN*) baza stansiyalarının yaxınlığında cloudletlərin optimal yerləşdirilməsi problemlərinə baxılmışdır. Bəzi tədqiqat işlərində yüklənmiş məsələlərin cloudletlər arasında optimal paylanması və məsələlərin az vaxta həllini təmin edən cloudletin seçilməsi üçün alqoritm təklif edilmişdir [29]. [30]-da şəbəkənin yüklənməsi ilə yaranan gecikmələrin aradan qaldırılması üçün cloudletəsaslı hesablama buludlarından istifadə olunması təklif edilir. [31]-də mobil qurğuların akkumulyatorlarında və hesablama resurslarında yaranan problemlərin aradan qaldırılması üçün mobil cihazlara daha yaxın yerləşən cloudletlərdən istifadə edilməsi təklif edilmişdir.

Bəzi tədqiqatçılar istifadəçi ilə cloudlet arasında əlaqə kanallarının sayının az olması ilə cloudletdə yerinə yetirilən proqram əlavələrinin qısa müddətdə daha yüksək keyfiyyətlə, minimum gecikmələr və qırılmalarla həyata keçirilməsi haqda təkliflər vermişlər [32, 33].

Cloudletəsaslı MHB-nin arxitekturası

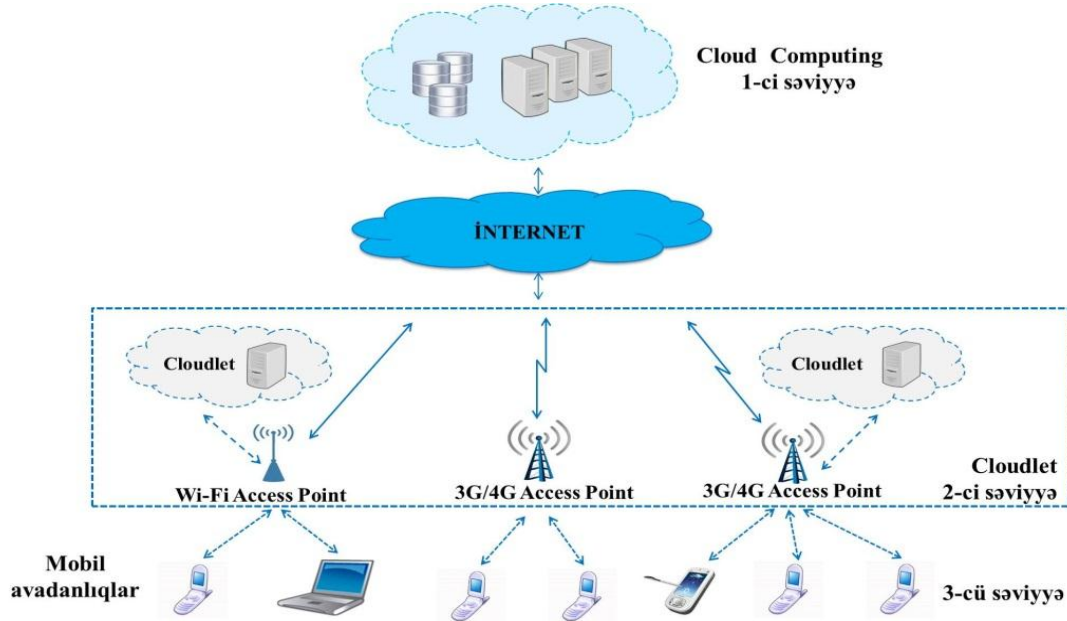
Mobil avadanlıqların bulud texnologiyalarından daha geniş istifadəsi üçün mobil operatorların baza stansiyalarının yaxınlığında cloudletlər yaradılır. Cloudletlər uzaqda yerləşən bulud serverlərdən mobil qurğuya məlumatların köçürülməsində əmələ gələn gecikmələri aradan qaldırır. Gecikmənin azaldılması üçün cloudletlərin mobil qurğunun yaxınlığında yerləşdirilməsi çox vacibdir. Cloudletlər üçün ən ideal yer onların mobil qurğuya ən yaxın baza stansiyasının yaxınlığında yerləşdirilməsidir. Məsələn, cloudlet mobil baza stansiyası (3G/4G) və ya giriş nöqtəsində – AP (Wi-Fi) yerləşdirilə bilər. İstifadəçilərə lazım olan bulud xidmətləri cloudletlər vasitəsi ilə həyata keçirilir. Tutaq ki, istifadəçiyə hər hansı bir proqram əlavəsi ilə işləmək lazımdır. O, həmin proqramı özünə yaxın olan cloudletə çağırır və lazımi müddət ərzində onunla işləyir və sonradan həmin proqramı mərkəzi serverə göndərir. Bu isə, buludlarda istifadə xidmətinin qiymətini azaldır, məsələnin həll vaxtı da azalır və şəbəkə az yüklənir.

Cloudletlərdən istifadənin üstünlüklərinə xidmətə sürətli giriş imkanının olması, mobilliyin dəstəklənməsi, rəqəmsal xərclərinin azaldılması daxildir. İstifadəçinin proqram əlavələri yaxınlıqdakı cloudletlərdə yerləşdiyindən, istifadəçilər şəbəkədə yaranmış rabitə gecikmələrini aradan qaldıraraq, məlumatlara dərhal giriş əldə edə bilərlər. Həmçinin, hesablama buludlarında olduğu kimi, cloudletlərin də texniki imkanları mobil qurğuların texniki imkanlarından yüksəkdir ki, bu da mobil qurğuda emal edilə bilməyən proqram tətbiqlərinin cloudletlərdə icra olunmasına imkan verir. Deyilən problemləri aradan qaldırmaq üçün iyerarxik strukturlu, cloudletəsaslı mobil hesablama sistemlərindən istifadə edilir.

Beləliklə, təklif edilən cloudletəsaslı iyerarxik arxitektura, qismən də olsa, əlaqə kanallarında baş verən gecikmələri minimuma endirir, mobil qurğuların hesablama və yaddaş resurslarındakı məhdudiyətləri aradan qaldırır, məsələnin həll vaxtını sürətləndirir, həmçinin mobil qurğuların enerji istehlakını azaldır. Digər tərəfdən, iyerarxik strukturlu MHB-də proqram vasitələri mobil istifadəçiyə daha yaxın cloudletlərdə yerləşdiyindən əlaqə kanallarında təhlükəsizlik məsələləri (mobil qurğulara edilən DoS hücumları minimuma endirir) daha etibarlı təmin olunur. Çünki mərkəzləşdirilmiş MHB-də mobil istifadəçi ilə uzaqda yerləşən bulud server arasında əlaqə İnternet şəbəkəsi üzərindən olduğundan əlaqə kanallarına icazəsiz müdaxilələrin intensivliyi artır və təhlükəsizliyin təmin edilməsi çətinləşir. Mobil istifadəçilərin uzaqda yerləşən bulud server və ya cloudletdən istifadə etdikdə enerji sərfiyyatında və gecikmələrdə yaranan nəticələrin analizi məsələsinə baxaq.

Cloudletəsaslı MHB-nin arxitekturası şəkil 1-də göstərilmişdir. İyerarxik strukturlu MHB üç səviyyədə ibarətdir. 1-ci səviyyədə uzaqda yerləşən hesablama buludlarının serverləri, 2-ci səviyyədə isə istifadəçilərə daha yaxın olan cloudletlər yerləşdirilir. 3-cü səviyyə mobil avadanlıqlardan ibarətdir. Cloudletlər 2-ci səviyyədə yaradılan Resursların İdarəetmə Mərkəzi (RİM) tərəfindən idarə olunur. İyerarxik strukturlu şəbəkənin RİM-də cloudletlərin yerləşdiyi məkan və onun texniki imkanları haqqında məlumatlar olur. Cloudlet (kiçik hesablama buludları) istifadəçilərə yaxın yerlərdə yerləşdirilən kompüter avadanlığı olub, bulud serverlərə nəzərən istifadəçinin proqram əlavələrinin daha sürətli emalını təmin edir. İstifadəçilərə lazım olan bulud xidmətlər cloudletlərin vasitəsi ilə həyata keçirilir və bu da xidmətlərin keyfiyyətini yüksəldir. Mobil istifadəçilər cloudlet şəbəkəsinə daxil olduqda, onlar ilk növbədə RİM-ə qoşulur, həmin mərkəz isə daha sonra istifadəçini qısa vaxt ərzində müvafiq uzaqda yerləşən bulud serverlərlə birləşdirir. Sxemdən görüldüyü kimi, mobil qurğular cloudlet şəbəkəsinə 3G/4G və Wi-Fi vasitəsi ilə qoşulur. Mobil istifadəçilərin sorğu və məlumatları mobil şəbəkəyə xidmətlər göstərən RİM-ə ötürülür. Daha sonra, abunəçilərin sorğuları təklif edilən modelin RİM-də yerləşən İnternetlə əlaqəni təmin edən serverə göndərilir və bunun köməyi ilə müvafiq bulud serverlə əlaqə yaradılır. RİM-də cloudletlərin yaradılmasında istifadə edilən kompüter avadanlıqları (server, desktop, notebook və s.) haqqında məlumatlar olur. Eyni zamanda, idarəetmə mərkəzində cloudletlərin texniki imkanları (prosessorun işləmə tezliyi və nüvələrinin sayı, virtual maşınların sayı və onların texniki xarakteristikaları, yaddaşın həcmi, etibarlılıq göstəriciləri və s.) və mobil şəbəkədə

istifadəçilərin hansı cloudletə yaxın yerləşməsi haqqında məlumatlar toplanır. Ona görə də, daxil olan sorğuya əsasən, bulud serverlərdən çağırılan proqram əlavəsinin istifadəçinin tələblərini ödəyən münasib cloudletdə yerləşdirilməsi təmin edilir. Təklif edilən model mobil istifadəçilərin məsələlərini (proqram əlavələrini) onlara yaxın olan cloudletə yükləyir və həll edir, bu da öz növbəsində İnternet şəbəkəsini yüklənmələrdən azad edir. Bu arxitektura, qismən də olsa, şəbəkədəki bəzi parametrlərin (məsələnin həll vaxtını, şəbəkədəki qırılmaları, etibarlılıq və s.) göstəricilərini yaxşılaşdırır.



Şəkil 1. Cloudletəsaslı MHB-nin arxitekturası

Məsələnin həlli üçün alqoritmin işlənməsi

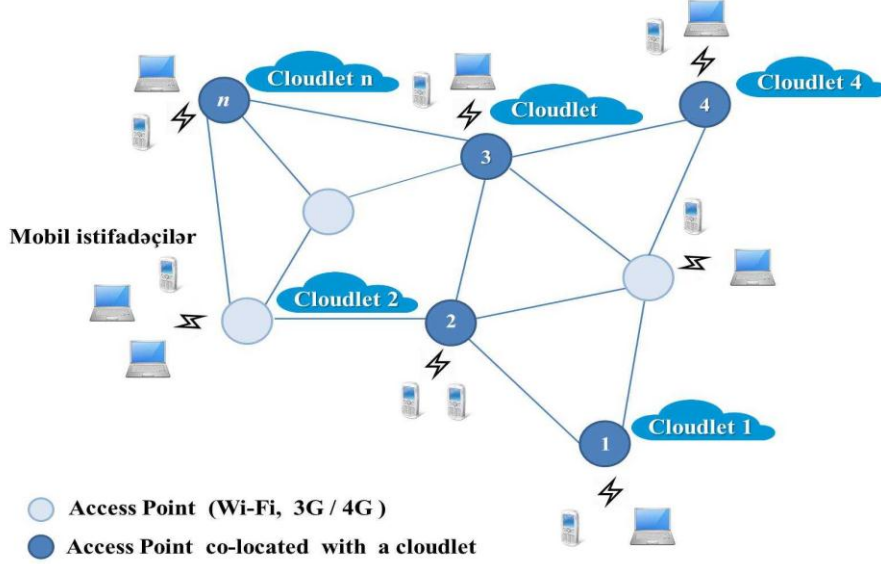
Cloudlet əsasında yaradılan naqilsiz şəhər miqyaslı şəbəkələrin struktur sxemi şəkil 2-də göstərilmişdir. Sxemdən görüldüyü kimi, məkana görə əhəmiyyətli olan giriş nöqtələrinin yaxınlıklarında cloudletlər yerləşdirilib.

Şəbəkə infrastrukturunu onlayn proqram əlavələrini və ya proqram vasitələrini özündə saxlamaq zərurəti yaranan cloudletə və onun mobil vasitələrlə asanlıqla əlaqəyə girə biləcəyi cloudletləri bir cloudletlər şəbəkəsi adlandırmaq. Bu zaman, bir şəbəkə üzərində olan cloudletlərin bir-biri ilə rabitəyə girmək imkanları vardır. Fərz edək ki, bir şəbəkədə olan cloudletlərin sayı N -dir. Hər bir cloudlet baza stansiyasının köməyi ilə digər $N-1$ sayda cloudletlərlə və ya çoxsaylı istifadəçilərlə birbaşa əlaqəyə girə bilər. Proqram əlavələrinin hər hansı bir cloudletdə yüklənməsi vaxtı potensial cloudletlər istifadəçi tərəfindən qiymətləndirilməlidir. Qiymətləndirilmə həyata keçirilərkən cloudletin keyfiyyət göstəriciləri nəzərə alınmalıdır. Beləliklə, istifadəçinin tələbinə (cloudlet şəbəkəsində boş resursların, minimum sayda etibarlı əlaqə kanalının olması, istifadəçinin cloudletə qoşulma imkanının (məsafə) olması və s.) uyğun cloudletin seçilməsi üçün alqoritm təklif edilmişdir. Tutaq ki, cloudletəsaslı mobil hesablama şəbəkəsində N sayda cloudletdən istifadə edilir. Bu cloudletlərin coğrafi olaraq yerləşmə koordinatları, texniki imkanları və hər bir konkret cloudletin etibarlılığı və cloudletdəki sərbəst (boş) virtual maşınlar haqda məlumatlar RİM-in cloudletlər haqqında məlumat cədvəlində yerləşdirilir. Cloudletlərin yerləşmə koordinatları

$$C = \{C_n(x_n, y_n)\}, n \in [1, N]$$

çoxluğunu əmələ gətirir. Sadəlik üçün hesablama gücü olaraq prosessorada əməliyyatların yerinə yetirilmə sürətini və yaddaşı, etibarlılıq göstəricisi olaraq cloudletin etibarlılığı və rabitə vasitələrinin eksperimental etibarlılığını nəzərə almaq olar.

$$C_1(x_1, y_1), C_2(x_2, y_2), \dots, C_N(x_N, y_N)$$



Şəkil 2. Cloudlet əsasında yaradılan naqilsiz şəhər miqyaslı şəbəkələrin struktur sxemi

İstifadəçilər cloudletlərə qoşularkən seçilmiş cloudletdə istifadəçinin məsələsini həll etmək üçün sərbəst hesablama gücünün (virtual maşının) olması şərti ödənilməlidir. Cloudletlərin hesablama gücü orada yaradılmış virtual maşınlarla təyin edilir. Hər bir istifadəçi bir virtual maşınla əlaqələndirildiyi üçün sərbəst virtual maşının varlığı sadə halda cloudletdə sərbəst hesablama gücünün varlığı deməkdir. Ona görə də n -ci cloudletdə sərbəst virtual maşınların sayını v_n ilə işarə edə bilərik. Burada hesab edirik ki, bu maşınların xarakteristikaları istifadəçilərin məsələlərini həll etmək üçün kifayətdir.

Beləliklə, $C = \{C_n(x_n, y_n)\}, n \in [1, N]$ cloudletlər çoxluğu uyğun olaraq $V = \{v_n\}$ sərbəst virtual maşınlar çoxluğu və $P = \{p_n\}$ etibarlılıq göstəriciləri çoxluqları ilə təyin edilə bilər. Cloudletlər çoxluğunu öz xarakteristikaları ilə bərabər

$$C = \{C_n(x_n, y_n), \{v_n\}, \{p_n\}, n \in [1, N]\} \quad (1)$$

kimi də yazmaq olar. Seciləcək j -cu cloudletin etibarlılıq göstəricisinin sadə yolla təyin edilməsinə baxaq. Tutaq ki, j -ci cloudletin istismar müddətində məsələlərin həlli üçün müraciətlərin ümumi sayını q_j ilə, bu zaman müddətində icra olunmayan müraciətlərin (məsələlərin) sayını ε_j ilə işarə edək, j -ci cloudletin etibarlılığını $p_j = 1 - \frac{\varepsilon_j}{q_j}$ ilə hesablaya bilərik. İstifadəçi seçdiyi cloudletin etibarlılıq göstəricisinin p_{min} -dən yüksək olmasını tələb edir, ($p_j \geq p_{min}$), burada, p_{min} - etibarlılığın əvvəlcədən verilmiş aşağı sərhəd qiymətidir.

Qeyd etmək lazımdır ki, burada konkret məsələlərin həllindən asılı olaraq cloudletlərin digər xarakteristikaları da analiz prosesinə cəlb edilə bilər. Bundan başqa, zəruri hallarda yeni xarakteristikalar da təyin edilərək cloudletlər seçilə bilər.

Tutaq ki, hər hansı cari anda RİM tərəfindən (1)-də təyin edilmiş cloudletlər şəbəkəsinə $\forall j \in [1, J]$ olmaqla, J sayda U_j mobil stasionar istifadəçilər qoşulmuşdur. Bu istifadəçilər öz koordinatları ilə birlikdə

$$U = \{U_j(x_j, y_j)\}$$

çoxluğunu əmələ gətirirlər. Cloudletlər çoxluğunda olduğu kimi, istifadəçilər çoxluğunda olan hər bir istifadəçinin qoşulacağı cloudletlərin hesablama resurslarına və etibarlılıq göstəricilərinə olan ehtiyacları (tələbləri) vardır. j -ci istifadəçi üçün bu ehtiyacları v_j, p_j kimi işarə etsək, istifadəçilər çoxluğu

$$U = \{U_j(x_j, y_j), \{v_j\}, \{p_j\}, j \in [1, J]\} \quad (2)$$

kimi təyin edilmiş olmalıdır. Bu deyilənlərdən əlavə olaraq, istifadəçilər çoxluğuna hər bir istifadəçinin cloudletə qoşulma məsafəsini (d_j , mobil istifadəçinin baza stansiyasına qoşulma məsafəsi), qoşulmada əlaqə kanallarının sayını (l_j) əlavə etmək olar. Bu parametrləri də əlavə etdikdə istifadəçilər çoxluğu

$$U = \{U_j(x_j, y_j), \{v_j\}, \{p_j\}, \{d_j\}, \{l_j\}, j \in [1, J]\} \quad (3)$$

kimi təyin edilmiş olar.

İstifadəçi ilə seçilmiş cloudlet arasında rabitə kanalı bir neçə ardıcıl qoşulmuş kanaldan ibarət ola bilər. Ona görə də, yuxarıda qeyd etdiyimiz kimi, istifadəçi ilə cloudlet arasında qoşulmada əlaqə kanalının sayı ən az olan cloudlet seçilməlidir ki, etibarlılıq göstəricisi yüksək olsun. Çünki qoşulmada əlaqə kanallarının sayı çox olduqda, ardıcıl qoşulmada ümumi əlaqə kanalının etibarlılıq göstəricisi aşağı olur.

Eyni zamanda, istifadəçinin tələbinə (boş cloudletlərin olması, cloudletlərin etibarlılıq göstəricisinin yüksək ($p_j \geq p_{\min}$) olması, əlaqə kanallarının sayının minimal ($l_{jk} \leq l_{\max}$) olması, istifadəçinin cloudletə qoşulma məsafəsinin ($dist_{jk} \leq dist_{\max}$) şərtini ödəməsi və s. kriteriyalara uyğun cloudletin seçilməsi məsələsinə baxılmışdır. Beləliklə, j -ci istifadəçinin k -ci cloudletə qoşulması üçün aşağıdakı şərtlər ödənilməlidir:

$$\begin{cases} p_j \geq p_{\min} \\ l_{jk} \leq l_{\max}, \\ dist_{jk} \leq dist_{\max} \end{cases} \quad (4)$$

Beləliklə, istifadəçinin cloudletin seçilməsinə qoyduğu tələblər:

- ✓ İstifadəçinin seçilən cloudletin etibarlılıq göstəricisinə qoyduğu tələb: ($p_m > p_{\min}$);
- ✓ İstifadəçi ilə cloudlet arasında minimal əlaqə kanalının olması: ($l_{jk} < l_{\max}$);
- ✓ Mobil istifadəçi ilə cloudlet arasında məsafəyə qoyulan tələb: ($dist_{jk} \leq dist_{\max}$).

Aşağıdakı işarələmələri qəbul edək:

- $C^N = \{C_n; n = 1, \dots, N\}$ – şəbəkədəki cloudletlər çoxluğu, burada N şəbəkədəki cloudletlərin ümumi sayıdır;
- $C^V = \{C_v; v = 1, \dots, V\}$ – şəbəkədəki boş resursları olan cloudletlər çoxluğu, burada V – boş resursları olan cloudletlərin ümumi sayıdır: $V \leq N$;
- $C^M = \{C_m \in C^N \mid p_m > p_{\min}\}$ - etibarlılıq göstəricisi $p_m > p_{\min}$ şərtini ödəyən cloudletlər çoxluğu; burada M – etibarlılıq göstəricisi uyğun olan cloudletlərin ümumi sayıdır: $M \leq V$;
- p_{\min} - etibarlılığın əvvəlcədən verilmiş aşağı sərhəd qiyməti;
- $v_n = \begin{cases} 1, & n - \text{ci cloudlet məsələ həllində iştirak edir;} \\ 0, & \text{əks halda } n - \text{ci cloudlet digər məsələlərin həllində də iştirak etmir (boşdur);} \end{cases}$
- l_{jk} - j -ci mobil istifadəçidən k -cı cloudletə birləşməsində iştirak edən əlaqə kanallarının sayı;

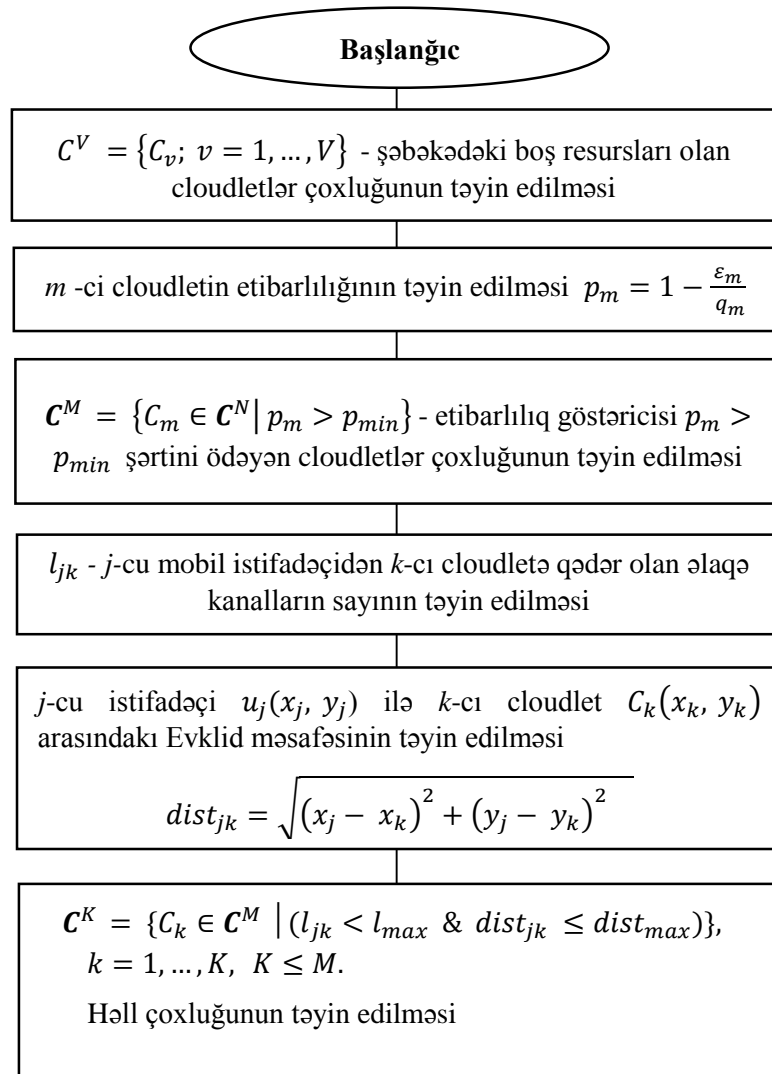
- l_{max} - mobil istifadəçidən cloudletə qədər olan əlaqə kanallarının yolverilən maksimal sayı;
 - $dist_{max}$ – istifadəçinin cloudletə maksimal qoşulma məsafəsi (5–7 km);
- $dist_{jk}$ - j -ci istifadəçi $u_j(x_j, y_j)$ ilə k -cı cloudlet $C_k(x_k, y_k)$ arasındakı Evklid məsafəsidir:

$$dist_{jk} = \sqrt{(x_j - x_k)^2 + (y_j - y_k)^2} \leq dist_{max}$$

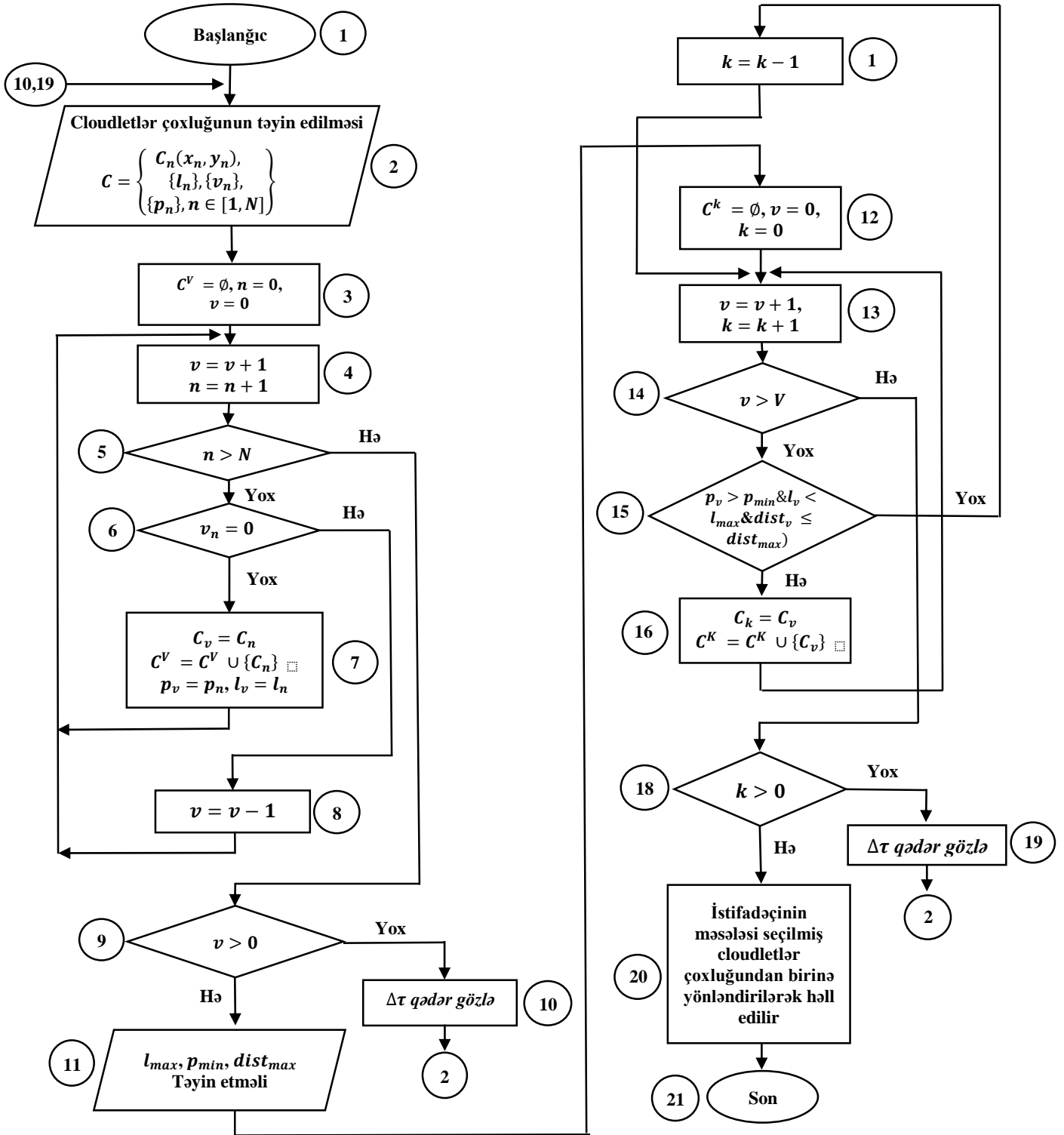
burada (x_j, y_j) və (x_k, y_k) - j -ci mobil istifadəçi və k -cı cloudletin yerləşdiyi coğrafi mövqenin koordinatlarıdır;

- $C^K = \{C_k \in C^M \mid (l_{jk} < l_{max} \ \& \ dist_{jk} \leq dist_{max})\}, k = 1, \dots, K, K \leq M.$ $C_k - C^K$ çoxluğundakı (verilmiş şərtlər daxilində seçilmiş) cloudletlərin sayıdır.

Beləliklə, təklif edilən (4) formulunda qoyulan şərtləri ödəyən cloudletlər çoxluğunun təyin edilməsinin ümümləşmiş blok sxemi və blok alqoritmi şəkli 3 və 4-də göstərilmişdir.



Şəkil 3. Cloudletlərin seçilməsinin ümümləşdirilmiş blok alqoritmi



Şəkil 4. Cloudletlərin seçilməsi algoritminin blok-sxemi

Cloudletlərin istifadəçilərin qoyulmuş tələblərinə uyğun seçilməsi algoritminin blok-sxemindən görüldüyü kimi, istifadəçi müraciət edərkən ilkin olaraq (3, 4, 5, 6, 7, 8) bloklar vasitəsi ilə cloudlet şəbəkəsindən digər məsələlərin həllində iştirak etməyən boş cloudletlər seçilir. (9, 11, 12, 13, 14, 15, 16) bloklar vasitəsi ilə $(p_m > p_{min} \& l_{jk} < l_{max} \& dist_{jk} \leq dist_{max})$ şərtlərini ödəyən cloudletlər çoxluğu müəyyən edilir və bu cloudletlər çoxluğunun içindən istənilən bir cloud seçilərək istifadəçinin məsələsi ona göndərilərək həlli təmin edilir.

Beləliklə, mobil istifadəçilərin cloudletlərin resurslarından səmərəli istifadə etmələrinin təmin edilməsi məqsədi ilə bir şəbəkə üzərində olan istifadəçiyə yaxın olan etibarlı cloudletin seçilməsi, istifadəçi ilə cloudlet arasında gecikmələrin azaldılması və əlaqə kanallarının sayının minimal olmasının bir həlli verilmişdir. Cloudletlərin əhəmiyyətini təyin edən mümkün (v, p, l, d) qiymətlərindən istifadə etməklə istifadəçilərin proqram əlavələrinin hansı cloudletə yüklənməsi müəyyənləşdirilmişdir.

Nəticə

Məqalədə istifadəçilərin tətbiqi proqramlarının uyğun cloudletlərdə yerləşdirilməsi təklif edilmişdir. Cloudlet şəbəkəsinin yaradılmasında istifadə edilən kompüter avadanlıqları müxtəlif texniki imkanlara malikdirlər. Mobil istifadəçilərin tətbiqi proqramlarının müəyyən şərtlər daxilində texniki imkanları yüksək olan cloudletdə həll edilməsinin bir modeli işlənmişdir. Təklif olunan modeldən istifadə edərək istifadəçilərin məsələlərini (proqram əlavələrini) onlara yaxın olan hər hansı cloudletə yükləməklə mobil qurğuların enerji sərfiyyatının və şəbəkədəki gecikmələrin azaldılmasının təmin edilməsi qeyd edilmişdir. Beləliklə, təklif edilən modellə mobil qurğularda enerji sərfiyyatının azaldılmasını və nəticələrin sürətlə istifadəçilərə çatdırılmasını təmin etmək olar. Məqalədə cloudletlərin əhəmiyyətini təyin edən mümkün kriteriyalardan (istifadəçiyə yaxın olması, etibarlılıq göstəricisinin yüksək olması, istifadəçi ilə cloudletarası əlaqə kanallarının sayının minimal olması və s.) istifadə etməklə istifadəçinin proqram əlavəsinin cloudletə yüklənməsi üçün alqoritm təklif edilmişdir.

Ədəbiyyat

1. Akomolafe O.P., Abodunrin M.O. A Hybrid Cryptographic Model for Data Storage in Mobile Cloud Computing // I. J. Computer Network and Information Security, 2017, №6, pp. 53–60.
2. Shim Y. Effects of cloudlets on interactive applications in mobile cloud computing environments // International Journal of Advanced Computer Technology, 2015, vol.4, №1, pp.54-62.
3. Alekberov R.G., Pashayev F.H, Alekberov O.R. Forecasting Cloudlet Development on Mobile Computing Clouds // Information Technology and Computer Science, 2017, №11, pp. 23–34.
4. Sahu D. Cloud Computing in Mobile Applications // International Journal of Scientific and Research Publications, 2012, vol.2, №8, pp.1–9.
5. Mukherjee A., De D., Roy R.G. A power and latency aware cloudlet selection strategy for multi-cloudlet environment // IEEE Transactions on Cloud Computing, 2016, vol.7, pp.141–154. <https://doi.org/10.1109/TCC.2016.25860M.K.,61>.
6. Ahmed E., Gani A., M.K. Khan , Buyya R., Khan S.U. Seamless application execution in mobile cloud computing: motivation, taxonomy, and open challenges // Journal of Network and Computer Application, 2015, vol.52, pp.154–172.
7. Ahmed E., Akhuzada A., Whaiduzzaman M., Gani A., Hamid S.H., Buyya R. Network-centric performance analysis of runtime application migration in mobile cloud computing // Simulation Modelling Practice and Theory, 2015 vol.50, pp.42–56.
8. Alakbarov R.G., Alakbarov, O.R. Mobile Clouds Computing: Current State, Architecture And Problems / 2nd IEEE International Conference on Electrical, Computer and Communication Technologies (IEEE ICECCT 2017), Coimbatore, India, 22–24 February, 2017, pp.1–6 .
9. Goyal M., Singh S. Mobile Cloud Computing // International Journal of Enhanced Research in Science Technology & Engineering, 2014, vol.3, №4, pp.517–521.
10. Liu F. Gearing resource-poor mobile devices with powerful clouds: architectures, challenges, and applications // IEEE Wireless Communications, 2013, vol.20, №3, pp.14–22.
11. Qi H. Research on Mobile Cloud Computing: Review, Trend and Perspectives. <https://arxiv.org/ftp/arxiv/papers/1206/1206.1118.pdf>

12. Mathur R.P, Sharma M. A survey on computational offloading in mobile cloud computing / Fifth International Conference on Image Information Processing, 2019, pp.525–520. <https://doi.org/10.1109/ICIIP 47207>.
13. Fernando N., Loke S.W., Rahayu W. Mobile cloud computing: a survey // Future Generation Computer Systems, 2013, vol.29, pp.84–106.
14. Dinh H.T., C. Lee C., D. NiyatoD., Wang P. A survey of mobile cloud computing: architecture, applications, and approaches // Wireless Communications and Mobile Computing, 2013, vol.13, pp.1587–1611
15. Mukherjee D., De D. Low power offloading strategy for femto-cloud mobile network // Engineering Science and Technology an International Journal, 2016, vol.19, pp.260–270.
16. Tawalbeh L., Jarar Y., Weh A., Dosari F. Large scale cloudlets deployment for efficient mobile cloud computing // Journal of Networks, 2015, vol.10, pp.70–76.
17. Quwaider M., Jararweh Y. Cloudlet-based efficient data collection in wireless body area networks // Simulation Modelling Practice and Theory, 2015, vol.50, pp.57–71.
18. Verbelen T., Simoens P., Turck D., Dhoedt B. Adaptive deployment and configuration for mobile augmented reality in the cloudlet // Journal of Network and Computer Application, 2014. vol.41, pp.206–216.
19. Alakbarov R.K., Pashayev F., Hashimov M. Development of the Method of Dynamic Distribution of Users' Data in Storage Devices in Cloud Technology //Advances in Information Sciences and Service Sciences, 2016, vol.8, no.1, pp.16-21.
20. Akomolafe O.P., Abodunrin M.O. A Hybrid Cryptographic Model for Data Storage in Mobile Cloud Computing. IJ. Computer Network and Information Security, 2017, no.6, pp.53-60.
21. Bohez S., Verbelen T., Simoens P., Dhoedt B. Discrete-event simulation for efficient and stable resource allocation in collaborative mobile cloudlets // Simulation Modelling Practice and Theory 2015, vol.50, pp.109–129.
22. O'Sullivan M.J., Grigoras D. Integrating mobile and cloud resources management using the cloud personal assistant // Simulation Modelling Practice and Theory, 2015, vol.50, pp.20–41.
23. Beloglazov A., Abawajy J., Buyya R. Energy-aware resource allocation heuristics for efficient management of data centers for cloud computing // Future Generation Computer Systems, 2012, vol.28, pp.755–768.
24. Samal P., Mishra P. Analysis of variants in round robin algorithms for load balancing in cloud computing // International of Journal Computer Science and Information Technology, 2013, vol.4, pp.416–419.
25. Zhao M., Zhou K. Selective Offloading by Exploiting ARIMA-BP for Energy Optimization in Mobile Edge Computing Networks // Algorithms, 2019, vol.12, no.2, pp.1-13.
26. Dinh H.T., Lee C., NiyatoD., P. Wang P. A survey of mobile cloud computing: Architecture, applications, and approaches // Wireless Communications and Mobile Computing, 2013, vol.13, no.18, pp.1587-1611.
27. Singh S., Chana I. QRSF: QoS-aware resource scheduling framework in cloud computing. Journal of Supercomputers, 2015, vol.71, pp.241–252.
28. Mam M., Leena G., Saxena N.S. Improved k-means clustering based distribution planning on a geographical network // International Journal of Intelligent Systems and Applications, 2017, vol.9, no.4, pp.69–75.
29. Jia M., Liang W., Xu Z., Huang M. Cloudlet Load Balancing in Wireless Metropolitan Area Networks // IEEE INFOCOM 2016 – The 35th Annual IEEE International Conference on Computer Communications, 2016, pp.1–9.
30. Nayyer M.Z., Raza I., Hussain S.A. A Survey of Cloudlet-Based Mobile Augmentation Approaches for Resource Optimization. ACM Computing Surveys, 2018, vol.51, no.5, 28 p. <https://doi.org/10.1145/3241738.2018>
31. Somula R.S., Sasikala R. A survey on mobile cloud computing: Mobile Computing + Cloud

- Computing (MCC = MC + CC) // Scalable Computing: Practice and Experience, 2018, vol.19, no.4, pp.309–337.
32. Kovachev D., Klamma R. Framework for Computation Offloading in Mobile Cloud Computing // International Journal of Artificial Intelligence and Interactive Multimedia, 2012, vol.1, №7, pp.6–15.
33. Xu Z., Liang W., Xu W. Efficient Algorithms for Capacitated Cloudlet. Placements // IEEE Transactions On Parallel And Distributed Systems, 2016, vol.27, №10, pp.2866–2880.

УДК 004.056

Алекперов Октай Р.

Институт Информационных Технологий НАНА, Баку, Азербайджан
oqtayalakbarov@iit.ab.az

Разработка алгоритма выбора клаудлетов в соответствии с требованиями мобильных пользователей

Увеличение за последнее время числа мобильных пользователей, использующих облачные мобильные вычисления, удаленность облачных серверов и перегрузка Интернета привели к значительным задержкам в доставке обработанных данных пользователю. Чтобы устранить нехватку ресурсов, уменьшить энергопотребление и время задержки в каналах связи на мобильных устройствах, удаленные облачные серверы необходимо размещать близко к пользователю. Для уменьшения задержки в каналах связи и энергопотребления в мобильных устройствах было предложено использование облачных мобильных вычислений на основе клаудлетов. Выбор клаудлета, в котором бы по возможности быстро выполнялись пользовательские приложения, по-прежнему является большой проблемой. В статье предложено решение проблемы эффективного использования ресурсов клаудлетов, расположенных вблизи от базовых станций беспроводных общегородских сетей и от пользователя. С помощью значений, которые позволяют определить важность клаудлетов (близость к пользователю, высокая надежность, малое количество каналов связи и т.д.), были исследованы условия для загрузки пользовательского приложения в клаудлете, а также предложен алгоритм.

Ключевые слова: вычислительные облака, мобильные вычислительные облака, вычислительные ресурсы и ресурсы памяти, энергопотребление, клаудлет, задержки сети, каналы связи, надежность.

Oktay R. Alakbarov

Institute of Information Technology of ANAS, Baku, Azerbaijan
oqtayalakbarov@iit.ab.az

Development of algorithm for cloudlets selection according to mobile users' requirements

The recent rapid increase in the number of mobile users using mobile cloud computing (MCC) services, the availability of remote cloud servers, and the overloading of the Internet have led to significant latency in delivering processed data to users. To eliminate resource shortages, energy consumption, and latency in communication channels of mobile devices, the remote cloud servers need to be located close to users. It is offered to use cloudlet-based mobile cloud computing to reduce latency in communication channels and reduce energy consumption on mobile devices. Choosing the most suitable cloudlet to run applications quickly in cloud is still challenging. The article provides a solution to the problem of efficient use of cloudlets resources located adjacent to the base stations of wireless urban networks and close to users. Using the possible values that determine the importance of cloudlets (closeness to user, high reliability, a small number of communication channels, etc.), the conditions for determining the cloud to load the user application are studied and an algorithm is proposed.

Keywords: cloud computing, mobile cloud computing, computing and memory resources, energy consumption, cloudlet, network latency, communication channels, reliability.