

DOI: <https://doi.org/10.36719/2663-4619/118/152-158>

Məleykə Məmmədli

Azərbaycan Dövlət Neft və Sənaye Universiteti
magistrant

<https://orcid.org/0009-0000-5401-6540>
meleykemammedlj@gmail.com

Şəbəkə trafikinin modelləşdirilməsi

Xülasə

Bu məqalədə şəbəkə trafik yüklərini simulyasiya etmək üçün istifadə olunan müxtəlif trafik modelləri araşdırılır. Modellər iki əsas kateqoriyaya bölünüb: uzunmüddətli asılılıqları və ya öz-özünə oxşarlığı nümayiş etdirən modellər və yalnız qısamüddətli asılılıq göstərən Markov modelləri. Öz-özünə oxşar modellər adətən qeyri-homogen trafik yüklərini modelləşdirmək üçün istifadə olunur, Markov modelləri isə ənənəvi şəbəkələr, məsələn, PSTN kimi sistemləri modelləşdirmək üçün tətbiq edilir. Bu məqalədə həmçinin xüsusi sinif optimallaşdırma məsələlərini həll etmək üçün hazırlanmış ən çox yayılmış optimallaşdırma alqoritmləri və alətləri tədqiq olunub. Məhdudlaşdırılmış və məhdudiyyətsiz optimallaşdırma problemlərini həll etmək üçün bir neçə qlobal optimallaşdırma texnikasına ümumi baxış verilib və riyaziyyatda optimallaşdırmanın ümumi prinsiplərini təsvir edilib.

Açar sözlər: Şəbəkə performansının optimallaşdırılması, Şəbəkə trafiki, Trafikin modelləşdirilməsi, CBR, VBR, Pareto Trafik, MANET, Mobil Şəbəkələr üçün Trafik Modelləri, Qlobal Optimallaşdırma Texnikaları, Simulyasiya Edilmiş Süni Soyutma, Hissəcik Qrupunun Optimallaşdırılması

Maleyka Mammadli

Azerbaijan State Oil and Industry University
Master student

<https://orcid.org/0009-0000-5401-6540>
meleykemammedlj@gmail.com

Network Traffic Modeling

Abstract

This paper explores various traffic models used to simulate network traffic loads. The models are categorized into two main groups: models that exhibit long-term dependencies or self-similarity, and Markov models that only demonstrate short-term dependencies. Self-similar models are typically employed to simulate non-homogeneous traffic loads, while Markov models are applied to simulate traditional networks, such as systems like PSTN. The study also investigates commonly used optimization algorithms and tools designed to solve specific classes of optimization problems. A general overview of several global optimization techniques for solving both constrained and unconstrained optimization problems is presented, along with a description of the general principles of optimization in mathematics.

Keywords: Network performance optimization, Network traffic, Traffic modeling, CBR, VBR, Pareto Traffic, MANET, Traffic Models for Mobile Networks, Global Optimization Techniques, Simulated Annealing, Particle Swarm Optimization

Giriş

Müasir dövrdə şəbəkə infrastrukturalarının səmərəli idarə olunması və optimallaşdırılması böyük əhəmiyyət kəsb edir. İnternet istifadəçilərinin və məlumat axınının sürətlə artması şəbəkələrin yüklənməsi, gecikmələr və paket itkiləri kimi problemləri ön plana çıxarır.

Bu problemlərin həlli şəbəkə trafikinin düzgün modelləşdirilməsi və optimallaşdırılmasının üzərində işlənilməsi zərurəti yaradır. Şəbəkə trafik modelləri, məlumat ötürülməsinin strukturunu və dinamikasını anlamağa, həmçinin şəbəkə performansını artırmağa, istifadəçiyə şəbəkəylə işləyən zaman daha rahat istifadə təmin etməyə imkan yaradır. Şəbəkə trafiki modellərinin tətbiqi, müxtəlif sahələrdə geniş yayılmışdır. Məsələn, Poisson modeli zəng trafiki və VoIP xidmətlərinin təhlili üçün istifadə olunur, çünki təsadüfi trafik axınlarını dəqiq təsvir edir. Markov zəncirləri modeli mobil şəbəkələrdə istifadəçi davranışlarını və hərəkət trayektoriyalarını proqnozlaşdırmaq üçün tətbiq edilir. Bu yanaşma, şəbəkə yüklənməsinin effektiv idarə olunmasına və xidmət keyfiyyətinin artırılmasına kömək edir. Bununla yanaşı, şəbəkələrin optimallaşdırılması üçün müxtəlif süni intellekt və maşın öyrənmə metodlarından da geniş istifadə olunur. Genetik alqoritmlər, sürü zəkası optimallaşdırması (PSO) və dəstəkləyici vektor maşınları (SVM) kimi yanaşmalar şəbəkə resurslarının optimal idarə olunmasını təmin edir. Bu məqalədə şəbəkə trafik modellərinin əsas prinsipləri, mobil şəbəkələrdə tətbiq olunan metodlar və optimallaşdırma yanaşmaları ətraflı təhlil ediləcək. Eyni zamanda, real dünya tətbiqləri və bu sahədə mövcud çətinliklər araşdırılacaq. Məqsəd, şəbəkə trafikinin idarə olunması və optimallaşdırılması sahəsində müasir yanaşmaları təqdim etmək və modelləşmə metodlarının şəbəkə trafikinə və bu movzudakı çətinliklərin aradan qaldırılmasına təsirlərinə diqqət yetirməkdir (Liang, Haas, 1999).

Tədqiqat

Şəbəkələr getdikcə daha geniş yayılmağa başlayır və bu da ona gətirib çıxarır ki, şəbəkə dizaynerləri və tədqiqatçılar şəbəkə performansını optimallaşdırmağa və ötürmə qabiliyyəti, uc-uca gecikmə, paket itkiləri və digər SLA (Xidmət Səviyyəsi Sazişi) ilə bağlı parametrlər baxımından şəbəkə istifadəsini yaxşılaşdırmağa daha çox diqqət yetirirlər. Şəbəkə trafikinin modelləşdirilməsi həm nəzəri tutum və performans təhlili, həm də simulyasiya modelləri üçün mühüm rol oynayır. Trafik nəzəriyyəsi trafik tələbi ilə eksperimental performans arasındakı əlaqəni izah etmək üçün riyazi modelləşdirmənin tətbiqini təklif edir. Klassik şəbəkələr üçün şəbəkə trafik modelləri yaxşı başa düşülsə də, müasir yüksək sürətli şəbəkələr üçün trafik davranışı daha mürəkkəb və çətin proqnozlaşdırılındır. Müasir şəbəkələrdə səs, məlumat və video kimi müxtəlif trafik növləri mövcuddur, eyni zamanda mobil cihazlar sayəsində trafik mənbələri və düyünlərin yerləri sabit olmur. Bu da modelləşmə və onun daha səmərəli edilməsi məqsədini qarşıya qoyur. Bu məqalənin məqsədi şəbəkə trafik yükünü modelləşdirmək üçün trafik modellərini, bundan əlavə, optimallaşdırma problemlərinin həlli üçün ən çox istifadə olunan qlobal optimallaşdırma texnikalarını tədqiq etmək. Bu optimallaşdırma texnikaları mürəkkəb fiziki problemlərin modelləşdirilməsində və həllində əhəmiyyətli rol oynayır (Onvural, 1995).

Metodlar: Şəbəkə performansının optimallaşdırılması, şəbəkə trafikinin modelləşdirilməsini, trafik nümunələrini və trafik generasiyasını tam başa düşmədən mümkün deyil. Realistik trafik nümunələri yaratmaq üçün riyazi modellər ilkin trafik axınının müvafiq statistik xüsusiyyətlərini dəqiq şəkildə əks etdirməlidir. Hər neçə ildən bir, əldə edilə bilən emal sürəti ikiqat artır və bu tendensiya yaddaş çipləri üçün də keçərlidir. Artıq onilliklərdir davam edən bu halın gələcəkdə də davam edəcəyi gözlənilir. Bunun nəticəsində istifadəçilər daha güclü, multimedia imkanlarına malik kompüterlər əldə etməyə meyillilər. Nəticə etibarilə, istifadəçilər mətn əsaslı ünsiyyətdən şəkillərə, animasiyalara və son illərdə videoya keçərək, yeni xidmət növlərini dəstəkləyə bilən yüksək sürətli şəbəkələrə yönəliirlər. Cisco TelePresence, video konfrans, video tələbi üzrə xidmətlər (VoD), video telefon, video kitabxanalar, yüksək dəqiqlikli televiziya (HDTV) və digər hələ tam müəyyən edilməmiş xidmətlərin gələcəkdə geniş yayılması gözlənilir. Trafik modelləri ümumiyyətlə iki əsas kateqoriyaya bölünür:

1. Uzunmüddətli asılılıqlar və ya öz-özünə oxşarlıq (self-similarity) göstərən modellər
2. Yalnız qısamüddətli asılılıqları olan Markov modelləri.

Öz-özünə oxşar modellərə fraksional Braun hərəkəti (FBM) modeli, ağır quyruqlu paylanmalara malik açıq/qapalı (on/off) modellər və M/Pareto/sonsuz modelləri daxildir. Markov modelləri isə eksponensial paylanmalı ənənəvi açıq/qapalı modelləri, Markov-modulyasiya olunmuş Poisson prosesi və eksponent şəkildə azalan korrelyasiya funksiyalarına malik Qaus avto-regressiv modellərini əhatə edir.

Sabit Bit Sürətli (CBR) Trafik: CBR xidmətləri trafiki sabit bir sürətlə yaradır və bu, sadəcə olaraq, sabit bit sürəti ilə ifadə edilə bilər. CBR mənbəyi impulsiv xarakter daşıyır və əlaqə müddətində daim aktiv qalır. CBR mənbəyinə səs, video və audio kimi xidmətlər misal göstərilə bilər. Audio, səsə nisbətən daha çox ötürmə zolağı tələb edir.

Dəyişkən Bit Sürətli (VBR) Trafik: Bu modeldə trafik iki vəziyyət arasında dəyişir: aktiv (on) və passiv (off). Trafik aktiv dövrdə sabit sürətlə yaradılır, passiv dövrdə isə trafik yaranmır. Aktiv və passiv dövrlərin uzunluğu eksponensial paylanmaya malikdir və bir-birindən asılı deyil. Aktiv və passiv dövrlərin orta qiymətləri məlum olduqda, müxtəlif hesablamalar aparmaq mümkündür ki, bu da trafik modelləşdirilməsi üçün faydalıdır. Tipik VBR mənbələrinə video-konfrans və kompüter şəbəkə tətbiqləri daxildir. VBR mənbəsinin impulsivliyi (burstiness), mənbənin nə qədər nadir hallarda trafik göndərdiyini ölçmək üçün istifadə edilən, bir göstəricidir. Nadir hallarda trafik göndərən mənbə impulsiv hesab edilir, daim eyni sürətlə trafik göndərən mənbə isə sabit bit sürətli sayılır.

Pareto Trafik: Ethernet və Ümumdünya Veb (WWW) trafiki statistik olaraq öz-özünə oxşardır. Ağır quyruqlu paylanmaya malik açıq/qapalı trafik mənbəsi (VBR trafik mənbəsi), məsələn, Pareto paylanması öz-özünə oxşar xüsusiyyətlərə malikdir (Law, Kelton, 2000).

Mobil Şəbəkələr üçün Trafik Modelləri: Mobil şəbəkələrin (MANET) performansını qiymətləndirmək üçün istifadə edilən hərəkət modeli mühüm rol oynayır. Hərəkət modeli mobil düyünlərin hərəkətini realistik şəkildə təyin etməlidir. Mobil şəbəkələrdə multi-hop rabitənin performansı müxtəlif protokollar vasitəsilə tədqiq edilmişdir (Broch, Maltz, Johnson, Hu, Jetcheva, 1998).

Tədqiqatçılar tərəfindən ən çox istifadə edilən iki hərəkət modeli təsadüfi gediş (random walk) və təsadüfi dayanacaq (random waypoint) modelləridir. Lakin bu iki model mobil ad hoc şəbəkələrinin simulyasiyası üçün yetərli deyil, çünki realistik olmayan ssenarilər yaradırlar. Bu problemləri həll etmək üçün Gauss–Markov hərəkət modeli daha effektiv alternativ kimi istifadə olunur (Camp, Boleng, Davies, 2002).

Təsadüfi Gediş (Random Walk) Hərəkət Modeli: Təsadüfi gediş modeli təbiətdə təsadüfi şəkildə hərəkət edən obyektlərin hərəkətini təqlid etmək üçün hazırlanmışdır. Mobil düyün növbəti mövqeyini müəyyən etmək üçün təsadüfi şəkildə iki dəyər seçir: sürət və istiqamət. Bu modeldə əvvəlki və cari hərəkətlər arasında heç bir əlaqə yoxdur. Bu səbəbdən mobil düyünlərin qəfil dayanması və ya kəskin dönməsi kimi realistik olmayan ssenarilər yarana bilər. Əgər zaman intervalı və ya məsafə kiçik olarsa, düyün çox kiçik bir ərazidə kəskin və gözlənilməz hərəkətlər edəcəkdir.

Təsadüfi Dayanacaq (Random Waypoint) Hərəkət Modeli: Bu modeldə sürət və istiqamət dəyişmədən əvvəl müəyyən fasilə mövcuddur. Mobil düyün əvvəlcə müəyyən bir müddət dayanır. Sonra təsadüfi şəkildə sürət və istiqamət seçərək hərəkət edir. Mobil düyün seçilmiş sürətlə təyinat nöqtəsinə hərəkət edir. Təyinat nöqtəsinə çatdıqda, müəyyən müddət dayanır və sonra proses təkrarlanır. Əgər dayanma müddəti sıfır olarsa, bu model təsadüfi gediş modelinə oxşar olur və eyni problemləri yaşayır (McDysan, Sophn, 1994).

Gauss-Markov Hərəkət Modeli: Yuxarıda qeyd edilən modellərin qəfil dayanma və kəskin dönmə problemlərini aradan qaldırmaq üçün Gauss–Markov hərəkət modeli istifadə olunur. Bu model əvvəlcə fərdi rabitə xidmətləri (PCS) üçün hazırlanmışdır, lakin daha sonra ad hoc şəbəkə protokollarının simulyasiyasında da istifadə olunmağa başlanmışdır. Bu modelin əsas üstünlüyü ondan ibarətdir ki, keçmiş sürət və istiqamətlər gələcək sürət və istiqamətləri müəyyən edir. Mobil düyün əvvəlcə müəyyən bir sürət və istiqamətlə hərəkət edir. Müəyyən zaman intervallarında yeni sürət və istiqamət dəyərləri təyin olunur. Bu dəyərlər əvvəlki intervalda istifadə olunan sürət və istiqamətə əsasən və təsadüfi dəyişənlər vasitəsilə hesablanır. Gauss Markov hərəkət modeli təsadüfi gediş və təsadüfi dayanacaq modellərində rast gəlinən qəfil dayanma və kəskin dönmə problemlərini aradan qaldıraraq, daha realistik bir model yaradır (Guizani, Rayes, 1997).

Qlobal optimallaşdırma problemlərinin həlli üçün ayrıca optimallaşdırma texnikaları istifadə olunur.

Qlobal Optimallaşdırma Texnikaları optimallaşdırma əməliyyat tədqiqatçıları və mühəndislər tərəfindən sistemlərin daha səmərəli dizayn edilməsi və onların performansının qiymətləndirilməsi

üçün istifadə olunur. Müəyyən optimallaşdırma problemlərini həll etmək üçün müxtəlif alqoritmlər və metodlar hazırlanmışdır. Məsələn, xətti proqramlaşdırma, tam ədədi xətti proqramlaşdırma (ILP) və konfeks proqramlaşdırma kimi metodlar geniş tətbiq edilir. Mühəndislikdə məhdudiyyətli və məhdudiyyətsiz optimallaşdırma problemlərinə tez-tez rast gəlinir. Ən çox istifadə edilən qlobal optimallaşdırma texnikaları;

Genetik Alqoritm təbii seçmə və genetik mexanizmlərə əsaslanan axtarış metodudur. Bu yanaşma Darvinin "ən uyğun olanın yaşaması" prinsipinə əsaslanır. Genetik alqoritm ilk dəfə 1960-cı illərdə John Holland tərəfindən təkamül proqramlaşdırmasının bir modifikasiyası kimi təklif edilmişdir. Genetik alqoritmin əsas prinsipi biologiyada müşahidə edilən təbii seçmə prosesinə bənzər bir axtarış sisteminin qurulmasıdır. Proses təsadüfi həllər toplusunun (populyasiyanın) yaradılması ilə başlayır. Bu populyasiyadan istifadə edərək yeni nəsil həllər yaradılır və bu proses təkrarlanır. Hər yeni nəsilə ən yaxşı həllər seçilərək növbəti nəsil formalaşdırılır. Nəticədə, optimallaşdırma problemi üçün daha yaxşı həll tapmaq məqsədilə nəsilər boyunca keyfiyyətin artacağı ümid edilir.

Genetik alqoritmin əsas komponentləri bunlardır:

- **Seçim** – Ən yaxşı fərdlər növbəti nəsil üçün seçilir.
- **Çarpazlama (Crossover)** – İki fərqli həllin birləşdirilməsi ilə yeni həllər yaradılır.
- **Mutasiya** – Yeni həllər üzərində kiçik təsadüfi dəyişikliklər edilərək müxtəliflik artırılır.

Genetik alqoritm mürəkkəb problemlərin həlli üçün geniş istifadə edilir və xətti olmayan, çoxölçülü optimallaşdırma məsələləri üçün effektivdir.

Tabu Axtarışı optimallaşdırma problemlərinin həlli üçün istifadə edilən bir heuristik metoddur. Bu metod daha yaxşı həll tapmaq üçün yerli axtarış prosedurlarını təkmilləşdirir. Proses müəyyən bir həddən (x) onun qonşuluğundakı başqa bir həllə (x') keçid etməklə iterativ şəkildə davam edir.

```
procedure tabusearch
begin
  select a current point, currentNode, at random
  bestNode <- currentNode
  repeat
    select a new node, newNode, that has the lowest distance in the
      neighborhood of currentNode that is not on the tabuList
    currentNode <- newNode
    if evaluation(currentNode) < evaluation(bestNode)
      bestNode <- currentNode
  until some counter reaches limit
end
```

Mənbə: Tabu search pseudo code (M.Guizani,A.Rayes,A.Al Fuqaha,and G.Chaudhry, Modeling of Multimedia Traffic in High Speed Networks, International Journal of Parallel and Distributed Systems and Networks, Vol. 3, No. 2, 2000.

Tabu axtarışının əsas xüsusiyyəti yerli optimal həllərdən qaçmaq strategiyasıdır. Bu metod klassik bir alqoritm deyil, əksinə, müxtəlif yanaşmaları ağıllı şəkildə birləşdirən və mürəkkəb problemlərin həllinə yönəlmiş bir metoddur.

Tabu axtarışının əsas xüsusiyyətləri bunlardır:

- **Tabu Siyahısı** – Sonuncu ziyarət edilən həlləri saxlayır və bu həllər "Tabu aktiv" kimi işarələnir.
- **Divergent Axtarış** – Axtarış prosesinin müəyyən hissələrdə ilişib qalmasının qarşısını almaq üçün axtarış müxtəlif istiqamətlərə yönləndirilir.
- **Cəza Mexanizmi** – Qeyri-yaxşı həllərin seçilməsinin qarşısını almaq üçün tez-tez istifadə edilən həllərə cəza tətbiq edilir.

Alqoritm əvvəlcədən təyin edilmiş iterasiya sayı tamamlandıqda, məqsəd funksiyası müəyyən bir dəyərə çatdıqda və ya uzun müddət yaxşılaşma olmadıqda dayandırılır.

Simulyasiya Edilmiş Süni Soyutma (Simulated Annealing) qlobal optimallaşdırma problemləri üçün istifadə edilən probabilistik meta-alqoritmdir. Bu metod böyük axtarış məkanında verilmiş funksiyanın qlobal optimal həllini yaxşı bir yaxınlıqla tapmağa imkan verir. Bu metodun adı fiziki materialların istiləşdirilməsi və yavaş soyudulması ilə daha möhkəm kristal strukturlarının əldə edilməsi prosesindən gəlir. Digər yerli axtarış metodları ilə müqayisədə, bu metodun əsas üstünlükləri daha çevik olması və qlobal optimal həlləri tapmaq üçün daha yüksək potensiala malik olmasıdır. Xüsusilə, qeyri-xətti və mürəkkəb problemlərin həlli üçün əlverişlidir. Bu alqoritm hər addımda axtarış məkanındakı cari vəziyyət s -ə qonşu olan bəzi vəziyyətləri nəzərdən keçirir. Bu vəziyyətlər fiziki sistemin vəziyyətinə bənzər şəkildə modelləşdirilir və sistemin daha aşağı enerji vəziyyəti olan s_0 -a keçib-keçməməsinə ehtimallı qərar verir. Burda məqsəd sistemi ilkin vəziyyətdən mümkün olan ən az enerji vəziyyətinə gətirməkdir (Banks, 2000).

Bu məqsədlə, alqoritm cari həlli funksiya dəyərləri arasındakı fərqə və temperatur adlanan qlobal parametərə əsaslanan bir ehtimalla təsadüfi seçilmiş yeni bir həll ilə əvəz edir. Temperatur proses boyunca tədricən azaldılır.

```
procedure simulated annealing
begin
  initialize temperature
  select a current point, currentNode, at random
  bestNode<-currentNode
  repeat
    select a new point, newNode, randomly in the neighborhood of
currentNode
    if evaluation(newNode) < evaluation(currentNode)
      currentNode <- newNode
    else if random[0,1] < e^(-(evaluation(currentNode)-
evaluation(newNode))/T)
      currentNode <- newNode
    if evaluation(currentNode) < evaluation(bestNode)
      bestNode <- currentNode
    temperature <- schedule(temperature)
  until temperature < halting-criteria
end
```

Mənbə: M.Guizani, A.Rayes, A.Al Fuqaha, and G.Chaudhry, Modeling of Multimedia Trafficin High Speed Networks, International Journal of Parallel and Distributed Systems and Networks, Vol.3, No.2, 2000.

Trafik modellərinin simulyasiyası şəbəkə performansının analizində effektiv yanaşmalardan biri hesab olunur (Guerin, Ahmadi, Naghshineh, 1991).

Simulyasiya edilmiş süni soyutma alqoritminin əsas prinsipləri:

1. Axtarışın hər bir addımında cari həllin qonşuluğundakı bəzi həllər nəzərdən keçirilir.
2. Təsadüfi seçilən yeni həll daha yaxşıdırsa, qəbul edilir.
3. Yeni həll əvvəlkindən pis olsa da, müəyyən ehtimalla qəbul edilə bilər.
4. keçidlər baş verə bilər, amma prosesin sonuna yaxın yalnız daha yaxşı həllər qəbul edilir.

Simulyasiya edilmiş süni soyutma metodunun əsas elementləri:

- **Təsadüfi Say Generatoru** – Böyük həll sahəsini araşdırmaq üçün təsadüfi dəyişikliklər tətbiq etmək vacibdir.
- **Soyutma Cədvəli (Annealing Schedule)** – Temperaturun necə dəyişdiriləcəyini təyin edir.
 - Başlanğıc temperatur yüksək olmalıdır.

- Temperatur tədricən azaldılmalıdır.
- Yekun temperatur və dayandırma kriteriyaları müəyyən edilməlidir.

Alqoritm aşağıdakı hallarda dayandırılır:

- Maksimum iterasiya sayı tamamlandıqda,
- Həll müəyyən bir minimal dəyərə çatdıqda,
- Uzun müddət heç bir yaxşılaşma baş vermədikdə.

Genetik alqoritm, tabu axtarışı və simulyasiya edilmiş süni soyutma kimi ən çox istifadə edilən qlobal optimallaşdırma metodları arasındasından aydın olur ki hər metodun özünəməxsus üstünlükləri və çatışmazlıqları var. Genetik alqoritm çoxölçülü və mürəkkəb problemlərə uyğundur, tabu axtarışı lokal optimal həllərdən yayınmaq üçün effektivdir, simulyasiya edilmiş süni soyutma isə temperatur azaldılması prinsipi ilə qlobal optimallaşdırmaya nail olur. Bu optimallaşdırma texnikalarının müəyyən riyazi əsasları və tətbiq sahələri var.

Hissəcik Qrupunun Optimallaşdırılması (Particle Swarm Optimization - PSO) ehtimal əsaslı optimallaşdırma texnikasıdır. Bu metod müəyyən mənada genetik alqoritmlərə bənzəsə də, krossover və mutasiya kimi əməliyyatları yoxdur.

Məhdudiyyətli Optimallaşdırma Problemlərinin PSO ilə Həlli: Qrup zəkası mərkəzləşdirilməmiş, özünü təşkil edən sistemlərin kollektiv davranışına əsaslanan bir süni intellekt yanaşmasıdır. Burada fərdi agentlər ətraf mühitlə və bir-biriləri ilə qarşılıqlı əlaqə quraraq qlobal səviyyədə ağıllı davranış formalaşdırırlar. Məsələn, qarışqa koloniyaları, quş sürüləri və balıq qrupları bu tip sistemlərə aiddir. Bu yanaşma NASA-da planet xəritələndirilməsi, ABŞ Ordusunda pilotsuz nəqliyyat vasitələrinin idarə edilməsi və oyunlarda izdiham simulyasiyası kimi bir çox tətbiqlərdə istifadə olunur.

Cəza (Penalty) Yanaşması məhdudiyyətli optimallaşdırma problemlərinin həllində ən çox istifadə olunan üsullardan biri cəza funksiyası metodudur. Burada məqsəd obyektiv funksiyanı məhdudiyyətsiz problemə çevirmək və məhdudiyyət pozuntularına görə cərimə tətbiq etməkdir.

Cəza funksiyaları iki əsas kateqoriyaya bölünür:

1. **Sabit cəza funksiyası** – Məhdudiyyəti pozan həll nöqtələrinə sabit dəyər əlavə edilir.
2. **Dinamik cəza funksiyası** – Məhdudiyyətin nə qədər pozulduğuna əsasən dəyişən dəyər əlavə olunur.

Tədqiqatlar göstərir ki, dinamik cəza funksiyalarından istifadə olunması daha dəqiq nəticələr əldə etməyə imkan verir.

Hissəcik Qrupunun Optimallaşdırılması (PSO) qeyri xətti davamlı riyazi funksiyaların optimallaşdırılması üçün inkişaf etdirilmişdir. Burada hissəciklər təsadüfi yaradılır və optimal həlli axtarmaq üçün məkan daxilində hərəkət edirlər. Bu metod heyvan sürülərinin davranışını simulyasiya edərək optimal həllə daha sürətli çatmağa imkan yaradır. PSO-nun əsas üstünlükləri bunlardır:

1. Qənaətbəxş nəticə əldə etmək üçün çox parametrlərin tənzimlənməsinə ehtiyac yoxdur.
2. Həm məhdudlaşdırılmış, həm də məhdudiyyətsiz məsələlər üçün tətbiq edilə bilər.
3. İcrası asandır.

Digər tərəfdən, əgər cəza dəyərləri yüksək olarsa, PSO erkən yaxınlaşa (konvergensiya) bilər və lokal optimallarda ilişib qala bilər. Həmçinin, parametrlər məsələyə bağlıdır və bu parametrlər üçün ən yaxşı dəyərləri tapmaq asan deyil.

Nəticə

Bu məqalədə şəbəkə trafikinin modelləşdirilməsi və şəbəkə performansının optimallaşdırılması üçün əsas metodlar ətraflı şəkildə təhlil edilmişdir. Şəbəkə trafikinin dəyişkənliyini və mürəkkəbliyini anlamaq üçün öz-özünə oxşarlıq və Markov əsaslı trafik modellərinin əsas xüsusiyyətləri izah edilmiş, bu modellərin real dünyada tətbiq imkanları və məhdudiyyətləri müzakirə olunmuşdur. Mobil şəbəkələr üçün tətbiq olunan hərəkət modelləri araşdırılmış və onların şəbəkə performansına təsiri qiymətləndirilmişdir. Bu çərçivədə, istifadəçilərin hərəkət nümunələrinin düzgün modelləşdirilməsinin, yüklənmə vəziyyətlərinin təhlili və proqnozlaşdırılmasında kritik rol oynadığı vurğulanmışdır. Optimallaşdırma texnikalarına gəldikdə, genetik alqoritm, tabu axtarışı, simulyasiya

edilmiş süni soyutma və PSO) metodlarının tətbiq sahələri, üstünlükləri və məhdudiyyətləri göstərilmişdir. Bu metodların hər biri fərqli problemlərə uyğun şəkildə istifadə edildikdə, şəbəkə performansının yüksəldilməsində mühüm rol oynaya bilər. Xüsusilə, geniş miqyaslı şəbəkələrdə və mürəkkəb trafik şərtləri altında bu metodların integrasiya olunmuş şəkildə istifadəsi daha səmərəli həll yolları təqdim edə bilər. Bu tədqiqatın nəticələri, şəbəkə dizaynerləri və tədqiqatçılar üçün effektiv şəbəkə idarəetmə strategiyalarının hazırlanmasına kömək edə bilər. Eyni zamanda, əldə edilən nəticələr gələcək tədqiqatlar üçün də bir baza rolunu oynaya bilər, xüsusilə də süni intellekt əsaslı optimallaşdırma yanaşmalarının şəbəkə idarəçiliyinə integrasiyası istiqamətində yeni perspektivlər açar. Gələcək işlərdə maşın öyrənməsi və dərin öyrənmə texnologiyalarının bu sahəyə tətbiqi üzərində fokuslanmaq, daha adaptiv və intellektual şəbəkə idarəetmə həllərinin inkişaf etdirilməsinə töhfə verə bilər.

Ədəbiyyat

1. Banks, J. (2000). *Discrete event system simulation* (3rd ed.). Prentice Hall.
2. Broch, J., Maltz, D. A., Johnson, D. B., Hu, Y. C., & Jetcheva, J. (1998, October). A performance comparison of multi-hop wireless ad hoc network routing protocols. In *Proceedings of the ACM International Conference on Mobile Computing and Networking (MobiCom)* (Dallas, USA).
3. Camp, T., Boleng, J., & Davies, V. (2002). A survey of mobility models for ad hoc network research. *Wireless Communications and Mobile Computing (WCMC)*, 2(5), 483–502.
4. Guerin, R., Ahmadi, H., & Naghshineh, M. (1991). Equivalent capacity and its application to bandwidth allocation in high-speed networks. *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, 9(7), 968–981.
5. Guizani, M., & Rayes, A. (1997). *Designing ATM switching networks*. McGraw-Hill.
6. Law, A. M., & Kelton, W. D. (2000). *Simulation modeling and analysis* (3rd ed.). McGraw-Hill.
7. Liang, B., & Haas, Z. (1999, March). Predictive distance-based mobility management for PCS networks. In *Proceedings of the Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies (INFOCOM)*.
8. McDysan, D. E., & Sophn, D. L. (1994). *ATM: Theory and application*. McGraw-Hill.
9. Onvural, R. O. (1995). *Asynchronous transfer mode networks: Performance issues* (2nd ed.). Artech House.
10. Willinger, W., Taqqu, M., Sherman, R., & Wilson, D. (1997). Self-similarity through high variability: Statistical analysis of Ethernet LAN traffic at the source level. *IEEE/ACM Transactions on Networking*, 5(1), 71–86.
11. Zukerman, M., Neame, T. D., & Addie, R. G. (2003). Internet traffic modeling and future technology implications. In *Proceedings of INFOCOM*.

Daxil oldu: 15.01.2025

Qəbul edildi: 19.04.2025