

<https://doi.org/10.36719/2663-4619/110/102-110>

Sərdar Qasimov

Azərbaycan Dövlət Neft və Sənaye Universiteti
fizika-riyaziyyat elmləri namizədi
<https://orcid.org/0009-0006-8425-7891>
sardarkasumov1955@mail.ru

Qönçə Sadıqlı

Azərbaycan Dövlət Neft və Sənaye Universiteti
magistrant
<https://orcid.org/0009-0008-3440-8297>
goncasadig@gmail.com

Telekommunikasiya şəbəkələrində çoxdaşıyıcılı məlumat ötürülməsi üsulları

Xülasə

Telekommunikasiya şəbəkələrində məlumat ötürülməsi prosesinin effektivliyi və etibarlılığı artırmaq üçün çoxdaşıyıcılı məlumat ötürülməsi üsulları geniş tətbiq olunur. Bu üsullar, yüksək sürətli məlumat ötürülməsi tələblərini qarşılamaq və şəbəkə resurslarının optimal istifadəsini təmin etmək üçün nəzərdə tutulmuşdur. Çoxdaşıyıcılı ötürülmə üsulları, əsasən, signalın genişzolaqlı spektrdə bir neçə daşıyıcı tezlik üzərində bölünməsi prinsipi ilə işləyir. Belə yanaşmalar signalın müxtəlif kanallara bölünərək paralel şəkildə ötürülməsinə imkan verir. Bu texnologiyalar arasında OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing), CDMA (Code Division Multiple Access) və FDMA (Frequency Division Multiple Access) kimi metodlar geniş istifadə olunur. Bu metodlar, xüsusən də mobil şəbəkələr, peyk rabitəsi və genişzolaqlı internet texnologiyalarında istifadə edilir. OFDM texnologiyası səs-küyə qarşı yüksək dayanıqlığı və məlumat ötürmə sürətini artırmaq qabiliyyəti ilə fərqlənir.

***Açar sözlər:** mobil şəbəkələr, peyk rabitəsi, genişzolaqlı internet, signalın spektr bölünməsi, şəbəkə effektivliyi, məlumat ötürmə sürəti, tezlik spektri, şəbəkə dayanıqlığı*

Sardar Gasimov

Azerbaijan State Oil and Industry University
Candidate of Physical and Mathematical Sciences
<https://orcid.org/0009-0006-8425-7891>
sardarkasumov1955@mail.ru

Goncha Sadigli

Azerbaijan State Oil and Industry University
master student
<https://orcid.org/0009-0008-3440-8297>
goncasadig@gmail.com

Multi-Carrier Data Transmission Methods in Telecommunication Networks

Abstract

Multi-carrier data transmission methods are widely used in telecommunication networks to increase the efficiency and reliability of the data transmission process. These methods are designed to meet the requirements of high-speed data transmission and ensure optimal use of network resources. Multi-carrier transmission methods mainly work on the principle of dividing the signal over several carrier frequencies in the broadband spectrum. Such approaches allow the signal to be divided into different channels and transmitted in parallel. Among these technologies, methods such as OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing), CDMA (Code Division Multiple Access) and

FDMA (Frequency Division Multiple Access) are widely used. Each method offers advantages in different network environments and types of services. These methods are used, in particular, in mobile networks, satellite communications and broadband Internet technologies. OFDM technology is distinguished by its high noise immunity and ability to increase data transmission speed.

Keywords: mobile networks, satellite communication, broadband internet, signal spectrum division, network efficiency, data transfer rate, frequency spectrum, network stability

Giriş

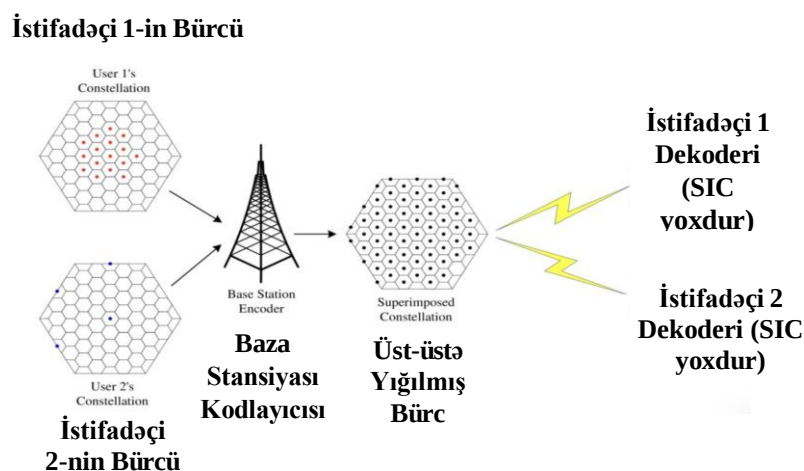
Müasir dövrdə telekommunikasiya şəbəkələri həyatımızın ayrılmaz hissəsinə çevrilmiş və məlumat mübadiləsinin əsas vasitəsi kimi əhəmiyyət qazanmışdır. Bu şəbəkələrin funksionallığını və ötürmə imkanlarını artırmaq üçün müxtəlif texnologiya və üsullar tətbiq edilir. Xüsusilə çoxdaşıyıcılı məlumat ötürülməsi üsulları telekommunikasiya sistemlərində böyük yeniliklər yaratmışdır (Clerckx, Mao, & Schober, 2021, s. 44). Bu metodlar məlumatın yüksək sürətlə, səmərəli və dayanıqlı şəkildə ötürülməsini təmin etmək üçün nəzərdə tutulmuşdur. Çoxdaşıyıcılı ötürülmə, signalın genişzolaqlı spektrdə müxtəlif tezliklərə bölünərək paralel şəkildə ötürülməsi prinsipinə əsaslanır. Bu yanaşma, həm səs-küyə qarşı dayanıqlılığını artırır, həm də məkan və tezlik resurslarının daha effektiv istifadəsini təmin edir. OFDM, CDMA və FDMA kimi çoxdaşıyıcılı ötürülmə texnologiyaları mobil şəbəkələr, peyk rabitəsi və genişzolaqlı internet daxil olmaqla müxtəlif sahələrdə tətbiq olunur (Clerckx, Mao, & Jorswieck, 2023, s. 124).

Tədqiqat

Telekommunikasiya şəbəkələrində çoxdaşıyıcılı məlumat ötürülməsi üsulları müasir texnologiyaların inkişafı ilə daha da aktuallaşmışdır. Bu üsullar məlumat ötürülməsi sahəsində geniş imkanlar yaratmış və şəbəkə resurslarının daha effektiv istifadəsini təmin etmişdir.

Çoxdaşıyıcılı məlumat ötürülməsi texnologiyaları signalın bir neçə fərqli daşıyıcı tezliklər üzərində bölünərək ötürülməsinə əsaslanır. Bu yanaşma məlumatın yüksək sürətlə, səmərəli və dayanıqlı şəkildə ötürülməsinə şərait yaradır. Əsasən istifadə olunan çoxdaşıyıcılı məlumat ötürülməsi üsulları arasında OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing), CDMA (Code Division Multiple Access) və FDMA (Frequency Division Multiple Access) geniş tətbiq sahəsinə malikdir. OFDM texnologiyası məlumatın geniş tezlik spektrində ortoqonal daşıyıcılar üzərində bölünməsinə təmin edir (Letaief et al., 2019, p. 32).

Şəkil 1. Telekommunikasiya şəbəkələrində çoxdaşıyıcılı məlumat ötürülməsi üsulları.



Mənbə: Clerckx, B., Kim, J., Choi, K. W., & Kim, D. I. (2022). Foundations of wireless information and power transfer: Theory, prototypes, and experiments. Proceedings of the IEEE, 110(1), 8–30.

İstifadəçi 1-in Bürcü: Çoxdaşıyıcılı məlumat ötürülməsində istifadəçilərin məlumatları fərqli daşıyıcılar üzərində yerləşdirilir. Hər bir istifadəçinin özünəməxsus bürcü (konstellasiyası) olur ki, burada istifadə edilən siqnalların amplituda və faza komponentləri xüsusi formada kodlanır. Bu, istifadəçilərin bir-birindən ayrılmasına və məlumatların daha effektiv ötürülməsinə kömək edir. İstifadəçi 2-nin Bürcü: İkinci istifadəçinin bürcü də çoxdaşıyıcılı sistemdə eyni prinsip üzrə qurulur, lakin bürc nöqtələri fərqli signal xüsusiyyətlərini təmsil edir. İstifadəçi 1-in bürcündən fərqləndirilərək məlumatların üst-üstə düşməsi və qarışmasının qarşısı alınır. Bu üsul daha çox OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) sistemlərində tətbiq olunur. Baza Stansiyası Kodlayıcısı: Çoxdaşıyıcılı məlumat ötürülməsi zamanı baza stansiyası istifadəçilərdən aldığı məlumatları kodlayaraq müəyyən bir superpozisiya (üst-üstə yığılmış) signal şəklində ötürür (Clerckx et al., 2019, p. 122).

Baza stansiyası kodlayıcısı həm istifadəçilərin bürc məlumatlarını birləşdirir, həm də bu siqnalları effektiv ötürmək üçün müxtəlif modulyasiya üsullarından istifadə edir. Üst-üstə yığılmış Bürc: Çoxdaşıyıcılı sistemlərdə baza stansiyasının göndərdiyi məlumatlar üst-üstə yığılmış formada istifadəçilərə ötürülür. Üst-üstə yığılmış bürc bir neçə istifadəçinin siqnallarının birləşməsindən yaranır və qəbuledici tərəf bu siqnalları ayraraq hər bir istifadəçinin məlumatını çıxarır (Clerckx et al., 2022, p. 99).

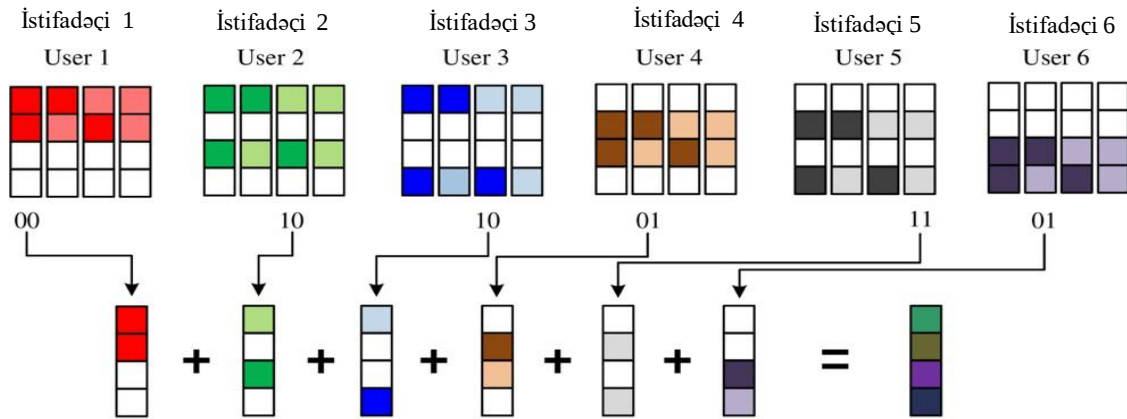
Bu üsul NOMA (Non-Orthogonal Multiple Access) texnologiyalarında geniş tətbiq olunur. İstifadəçi 1 Dekoderi (SIC yoxdur): İstifadəçi 1 dekoderi qəbul edilən siqnalları müəyyən üsullarla deşifrə edir, lakin burada SIC (Ardıcıl Müdaxilənin Ləğvi) prosesi tətbiq olunmur. SIC-in tətbiq olunmaması vəziyyətində istifadəçi digər istifadəçilərin siqnallarını müdaxilə olaraq qəbul edir və məlumatın bərpasında əlavə mürəkkəblilik yaranı bilər. İstifadəçi 2 Dekoderi (SIC yoxdur): İstifadəçi 2 dekoderi də SIC prosesindən istifadə etmədən məlumatı deşifrə etməyə çalışır. Bu vəziyyətdə signalın keyfiyyəti və qəbul performansını digər istifadəçinin siqnallarından gələn müdaxilənin səviyyəsindən asılı olur. SIC olmadan dekodlama daha sadə olsa da, çoxdaşıyıcılı sistemlərdə effektivliyi məhdudlaşdırı bilər.

Bu texnologiyaların inkişafı və tətbiqi ilə əlaqədar qarşıda duran əsas vəzifələrdən biri daha yüksək məlumat ötürmə sürətləri əldə etmək və şəbəkələrin çevikliyini artırmaqdır. Telekommunikasiya sektorundakı yeniliklər, xüsusən də 5G və gələcəkdə gözlənilən 6G texnologiyalarında çoxdaşıyıcılı ötürülmə üsullarının daha inkişaf etmiş formalarının tətbiqinə yönəlib.

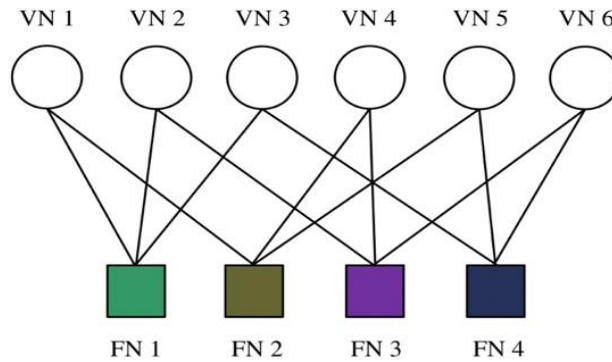
Bu yeniliklər, xüsusilə genişzolaqlı internet xidmətlərində, sənaye 4.0 tətbiqlərində, IoT (Internet of Things — Əşyaların İnterneti) cihazlarının idarə olunmasında və avtomatlaşdırılmış sistemlərin dəstəklənməsində mühüm rol oynayacaqdır. Eyni zamanda çoxdaşıyıcılı məlumat ötürülməsi üsullarının səmərəliliyini artırmaq üçün signal işləmə texnologiyalarında irəliləyişlər həyata keçirilir. Məsələn, çox antenli sistemlər (MIMO — Multiple Input, Multiple Output) ilə birlikdə istifadə edilən OFDM texnologiyası məlumat ötürmə qabiliyyətini daha da artırır (Clerckx et al., 2022, s. 77).

Şəkil 2

Telekommunikasiya şəbəkələrində çoxdaşıyıcılı məlumat ötürülməsi prosesi



(a)



(b)

Mənbə: Clerckx, B., Kim, J., Choi, K. W., & Kim, D. I. (2022). Foundations of wireless information and power transfer: Theory, prototypes, and experiments. Proceedings of the IEEE, 110(1), 8–30.

Telekommunikasiya şəbəkələrində çoxdaşıyıcılı məlumat ötürülməsi üsulu eyni zamanda bir neçə istifadəçinin məlumatlarının bir kanal üzərindən ötürülməsinə imkan yaradır. Bu prosesdə hər bir istifadəçinin məlumatı fərqli ikili kodlar və rəng blokları ilə təmsil olunur. Şəkilin birinci hissəsində (a) istifadəçilərin məlumatlarının kodlanması və üst-üstə yığılması təsvir edilmişdir. İstifadəçilər və onların məlumatları aşağıdakı kimi təmsil olunur:

- İstifadəçi 1: 00 (qırmızı bloklar),
- İstifadəçi 2: 10 (yaşıl bloklar),
- İstifadəçi 3: 10 (mavi bloklar),
- İstifadəçi 4: 01 (qəhvəyi bloklar),
- İstifadəçi 5: 11 (ağ və qara bloklar),
- İstifadəçi 6: 01 (bənövşəyi bloklar).

Bu məlumatlar hər bir istifadəçidən alınaraq ardıcıl şəkildə baza stansiyasında toplanır və vahid üst-üstə yığılmış signal şəklində birləşdirilir.

Bu proses spektral effektivliyin artırılması üçün həyata keçirilir və istifadəçilərin məlumatları eyni tezlik resursunda ötürülür.

Şəkilin ikinci hissəsində (b) bu məlumatların ötürülməsi zamanı VN (Variable Nodes) və FN (Function Nodes) arasında əlaqə qurulması təsvir olunur.

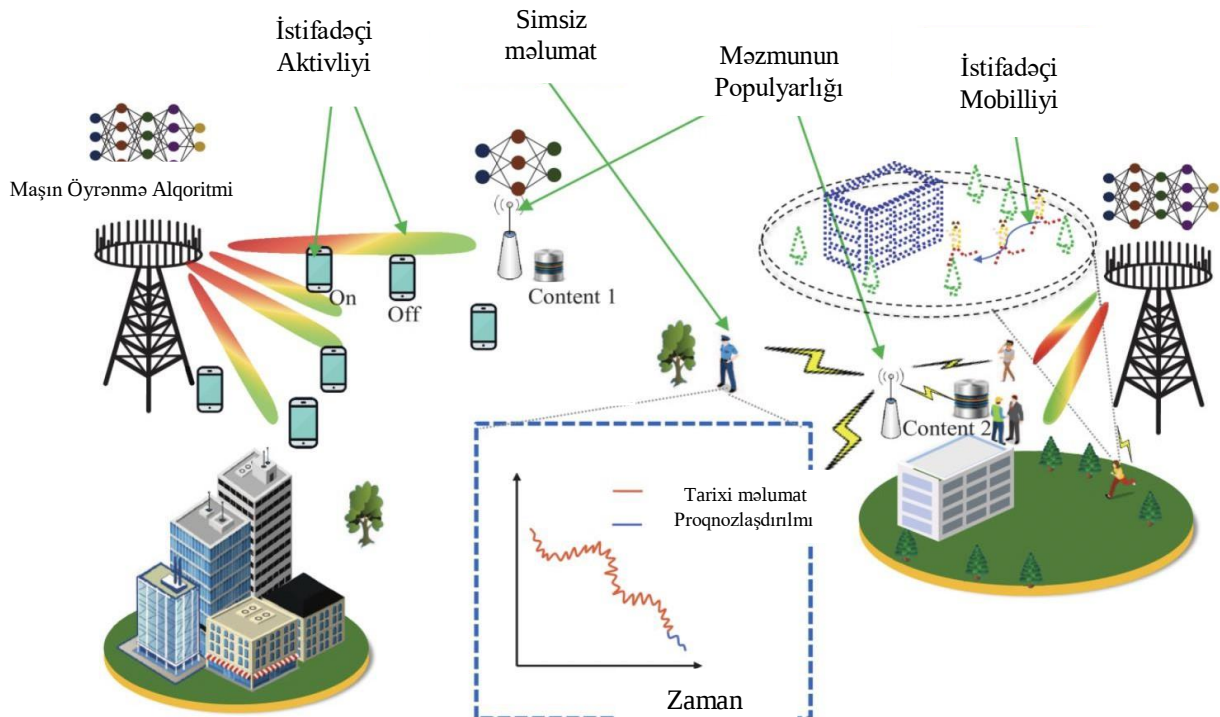
• VN-lər (Dəyişən düyünlər) istifadəçilərin məlumatlarını təmsil edir. Burada VN1-dən VN6-ya qədər dəyişən düyünlər mövcuddur. Hər bir VN müəyyən istifadəçiyə məxsus məlumat bloklarını ehtiva edir (Clerckx et al., 2019, p. 33).

FN-lər (Funksional düyünlər) məlumatların toplanması və emal olunması funksiyasını yerinə yetirir. Burada FN1-dən FN4-ə qədər funksional düyünlər istifadə olunur. Dəyişən düyünlər funksional düyünlərə bağlanaraq məlumatların emal olunması prosesini təmin edir. Hər bir istifadəçidən gələn məlumatlar funksional düyünlər vasitəsilə birləşdirilir və ötürülmə sistemində düzgün idarə olunur. Bu əlaqə şəbəkənin daha dəqiq və səmərəli fəaliyyətini təmin edir. Beləliklə, çoxdaşıyıcılı məlumat ötürülməsi üsulu telekommunikasiya şəbəkələrində eyni anda bir neçə istifadəçidən gələn məlumatların ötürülməsinə şərait yaradır. Bu proses məlumatların üst-üstə yığılması və funksional düyünlər vasitəsilə idarə olunması sayəsində həyata keçirilir (Letaief et al., 2019, p. 19).

Bu yanaşma eyni vaxtda bir neçə kanalda məlumat ötürərək şəbəkənin ümumi ötürmə qabiliyyətini yüksəldir. Müasir dövrdə çoxdaşıyıcılı ötürülmə texnologiyalarının tətbiqi ilə bağlı qarşılaşılan çətinliklərdən biri sıxlıqla dolu tezlik spektrinin daha optimal idarə edilməsidir. Bu problem, xüsusən də şəhər yerlərində və yüksək məlumat trafiki olan bölgələrdə daha aktualdır. Bunun üçün dinamik tezlik idarəetmə sistemləri və süni intellekt əsaslı optimallaşdırma alqoritmləri inkişaf etdirilir. Bu texnologiyalar həmçinin şəbəkənin avtomatlaşdırılmasına və real vaxtda qərar qəbulətmə proseslərinə dəstək verir. Xüsusilə LEO (Low Earth Orbit — Aşağı Yörüngəli Peyklər) peyk sistemlərində bu üsullar məlumat ötürülməsinin dayanıqlığını artırmaq və siqnal gecikmələrini minimuma endirmək üçün tətbiq olunur (Letaief et al., 2019, p. 88).

Şəkil 3

Telekommunikasiya şəbəkələrində çoxdaşıyıcılı məlumat ötürülməsinin optimizasiya üsulları



Mənbə: Saad, W., Bennis, M., & Chen, M. (2020). A vision of 6G wireless systems: Applications, trends, technologies, and open research problems. IEEE Network, 34(3), 134–142.

Telekommunikasiya şəbəkələrində çoxdaşıyıcılı məlumat ötürülməsi üsulları bir neçə istifadəçinin məlumatlarının eyni vaxtda və effektiv şəkildə ötürülməsinə imkan yaradır. Bu prosesdə istifadəçi aktivliyi, məzmunun populyarlığı, simsiz məlumat axını və istifadəçi mobilliyi kimi amillər nəzərə alınır. Məlumatların ötürülməsi və idarə olunması üçün maşın öyrənmə alqoritmləri tətbiq edilir. İstifadəçi Aktivliyi məlumat ötürmə sistemlərində əsas amillərdən biridir. Aktiv istifadəçilərin davranışları təhlil edilərək onların məlumat ötürmə ehtiyacları müəyyən edilir. Aktiv vəziyyətdə olan istifadəçilər üçün kanal resursları ayrılır, qeyri-aktiv istifadəçilər isə şəbəkə yükünün azaldılmasına kömək edir. Məzmunun populyarlığı da çoxdaşıyıcılı məlumat ötürülməsi prosesində böyük rol oynayır (3GPP, 2015, p. 122).

Daha çox tələb olunan məzmun (Məzmun 1 və Məzmun 2) öncədən müəyyən edilərək optimal şəkildə istifadəçilərə ötürülür. Populyar məzmunun idarə olunması trafik yükünün balanslaşdırılmasına və şəbəkənin effektiv fəaliyyətinə kömək edir. Simsiz məlumat axını istifadəçilərin məlumatlarının baza stansiyaları arasında ötürülməsi prosesini əhatə edir. Məlumat axını real vaxt rejimində tarixi məlumatlar əsasında proqnozlaşdırılır. Tarixi məlumat və proqnozlaşdırılmış məlumat təhlil edilərək trafik dərəcəsi müəyyən edilir. Bu proses zamanı vaxt (zaman) faktoru nəzərə alınaraq şəbəkənin yükü idarə olunur. İstifadəçi mobilliyi telekommunikasiya şəbəkələrinin planlaşdırılmasında əsas rol oynayır. Hərəkətdə olan istifadəçilərin yerdəyişmə trayektoriyaları təhlil edilir və məlumatların fasiləsiz ötürülməsi üçün uyğun baza stansiyalarına qoşulmaları təmin edilir. Telekommunikasiya şəbəkələrində maşın öyrənmə alqoritmləri əsasında çoxdaşıyıcılı məlumat ötürülməsi üsulları istifadəçi aktivliyi, məzmun populyarlığı, simsiz məlumat axını və istifadəçi mobilliyi kimi amilləri nəzərə alaraq optimallaşdırılır. Bu üsul şəbəkə resurslarından səmərəli istifadə etməyə və məlumatların sürətli, fasiləsiz ötürülməsini təmin etməyə imkan yaradır. Bütün bu üsullar nəticəsində çoxdaşıyıcılı məlumat ötürülməsi sistemləri şəbəkə trafikini optimallaşdırır, məzmun tələbatını ödəyir və istifadəçilərin hərəkətliliyi əsasında xidmətin fasiləsizliyini təmin edir (Clerckx et al., 2022, p. 347).

Bu yanaşma, xüsusilə müasir telekommunikasiya şəbəkələrinin səmərəliliyini artırır və daha yüksək məlumat ötürmə sürətinə nail olmağa imkan yaradır. Genişzolaqlı internet xidmətlərinin qlobal miqyasda genişləndirilməsi üçün bu texnologiyaların effektivliyi xüsusi önəm daşıyır. Beləliklə, çox daşıyıcılı məlumat ötürülməsi üsulları telekommunikasiya şəbəkələrinin texnoloji inkişafında mühüm rol oynayır. Onların tətbiqi ilə daha sürətli, daha dayanıqlı və daha genişləndirilə bilən şəbəkələr qurmaq mümkündür. Gələcəkdə bu texnologiyaların daha geniş miqyaslı tətbiqi və təkmilləşdirilməsi ilə bağlı araşdırmalar davam etdiriləcəkdir (Saad, Bennis, & Chen, 2020).

Bu, yalnız telekommunikasiya sahəsinə deyil, həm də rəqəmsal iqtisadiyyatın digər sektorlarına böyük töhfə verəcəkdir. Bu üsulların əsas məqsədi məlumatın daha sürətli, daha sabit və daha səmərəli şəkildə ötürülməsini təmin etməkdir. Çoxdaşıyıcılı məlumat ötürülməsi sistemləri, məlumatın bir neçə fərqli tezlikdə paralel olaraq ötürülməsini mümkün edir. Bu yanaşma yalnız ötürülmə prosesini sürətləndirmir, həm də şəbəkə resurslarından optimal istifadəni təmin edir. Çoxdaşıyıcılı məlumat ötürülməsi texnologiyalarından ən geniş yayılanları OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing), CDMA (Code Division Multiple Access) və FDMA (Frequency Division Multiple Access) üsullarıdır. OFDM texnologiyası siqnalın tezlik spektrində bölünməsinə təmin edərək yüksək ötürmə sürətləri və siqnal müdaxilələrinə qarşı dayanıqlıq təklif edir (Clerckx et al., 2019, p. 134).

Bu texnologiya həm mobil şəbəkələrdə, həm də genişzolaqlı internet xidmətlərində istifadə olunur. OFDM-in əsas üstünlüklərindən biri onun çox antenalı sistemlər (MIMO) ilə birləşdirilməsi nəticəsində ötürmə səmərəliliyinin daha da artırılmasıdır. CDMA texnologiyası isə məlumatın müxtəlif kodlar vasitəsilə ötürülməsinə əsaslanır. Bu, eyni vaxtda bir çox istifadəçinin eyni tezlikdə rabitə yaratmasına imkan verir.

CDMA texnologiyası yüksək məlumat yükü olan sistemlərdə etibarlı işləməyi təmin edir və siqnal müdaxilələrinin təsirini minimuma endirir. Mobil rabitədə, xüsusilə də 3G texnologiyasında bu metodun istifadəsi geniş yayılmışdır. FDMA üsulu isə tezlik spektrinin fərqli kanallara bölünməsi ilə işləyir. Bu yanaşma hər bir istifadəçiyə xüsusi tezlik diapazonu ayrılmasını təmin

edir və siqnal müdaxilələrinin qarşısını alır. FDMA daha çox ənənəvi rabitə sistemlərində, xüsusilə peyk rabitəsində və analog texnologiyalarda istifadə olunur. Çoxdaşıyıcılı məlumat ötürülməsi üsulları müasir telekommunikasiya şəbəkələrinin qurulmasında əsas baza rolunu oynayır.

Bu texnologiyalar mobil şəbəkələr, genişzolaqlı internet, rəqəmsal yayım sistemləri və peyk rabitəsində tətbiq edilərək məlumatın keyfiyyətli ötürülməsini təmin edir. Xüsusilə, 4G və 5G şəbəkələrində bu texnologiyalar sayəsində daha yüksək sürətlər və daha dayanıqlı rabitə təmin edilmişdir.

Tezlik spektrinin məhdudluğu, yüksək sıxlıqlı mühitlərdə siqnal keyfiyyətinin qorunması və şəbəkə resurslarının optimallaşdırılması bu sahədə araşdırmaların davam etdirilməsini tələb edir. Gələcəkdə bu çətinliklərin aradan qaldırılması üçün süni intellekt və maşın öyrənməsi texnologiyalarından istifadə olunaraq adaptiv idarəetmə sistemləri yaradılacaqdır. Bu texnologiyaların tətbiqi təkcə rabitə sahəsi ilə məhdudlaşmır, həm də sənaye 4.0, IoT (Internet of Things — əşyaların İnterneti) və digər rəqəmsal sahələrdə geniş imkanlar açır. Çoxdaşıyıcılı ötürülmə üsulları məlumatın etibarlı və yüksək sürətli ötürülməsini təmin etməklə yanaşı, şəbəkə resurslarının daha səmərəli istifadəsini təmin edir və telekommunikasiya sistemlərinin gələcəkdə daha geniş miqyasda tətbiq olunmasına şərait yaradır (3GPP, 2018, p. 65).

Gələcəkdə bu texnologiyaların inkişafı nəticəsində məlumat ötürülməsinin keyfiyyəti və sürəti daha yüksək səviyyəyə çatacaqdır. Çoxdaşıyıcılı məlumat ötürülməsi, müasir telekommunikasiya şəbəkələrinin inkişafında mühüm rol oynayır. Bu texnologiyalar müxtəlif rabitə sistemlərində istifadə edilərək məlumatın yüksək sürətlə və etibarlı şəkildə ötürülməsini təmin edir. Məlumatın bir neçə daşıyıcı üzərində bölünməsi, şəbəkə resurslarının daha səmərəli istifadə edilməsinə imkan verir, bu da ümumilikdə şəbəkənin işini optimallaşdırır. OFDM (Orthogonal Frequency-Division Multiplexing) texnologiyası bu sahədə ən mühüm yeniliklərdən biridir. Bu sistem bir neçə daşıyıcı tezliyi üzərində məlumatı paralel şəkildə ötürməyə imkan verir, eyni zamanda kanalın daha az müdaxiləyə məruz qalmasını təmin edir.

OFDM, MIMO (Multiple Input Multiple Output) texnologiyası ilə birləşdirildikdə, məlumat ötürülməsinin səmərəliliyi daha da artır (Clerckx, Mao, & Jorswieck, 2023, p. 39). Bu yanaşma, yüksək sürətli internet xidmətləri və mobil rabitə şəbəkələrində müvəffəqiyyətlə tətbiq edilir, xüsusilə 4G və 5G şəbəkələrində.

CDMA (Code-Division Multiple Access) texnologiyası da məlumatların daha effektiv şəkildə ötürülməsinə kömək edən digər bir mühüm sistemdir. CDMA, istifadəçilərin fərqli kodlar vasitəsilə eyni tezlik kanalını paylaşmasına imkan verir, bu da çoxlu sayda istifadəçiyə xidmət göstərməyi asanlaşdırır.

CDMA texnologiyası, xüsusilə mobil şəbəkələrdə, yüksək məlumat yükləri və siqnal müdaxilələrinin olduğu mühitlərdə əvəzsizdir. FDMA (Frequency-Division Multiple Access) texnologiyası isə hər bir istifadəçiyə xüsusi tezlik diapazonu ayrılmasını təmin edir. Bu texnologiya daha çox ənənəvi rabitə sistemlərində və peyk rabitəsində istifadə olunur. FDMA, kanalın effektiv bölünməsinə təmin edir və hər bir istifadəçiyə müdaxiləsiz xidmət göstərir. Bu sistemin ən böyük üstünlüyü tezlik spektrinin düzgün idarə olunmasında və yüksək keyfiyyətli xidmətin təmin edilməsinədir. Çoxdaşıyıcılı məlumat ötürülməsi texnologiyalarının inkişafı, şəbəkələrin keyfiyyətini artırmaqla yanaşı, həm də yeni imkanlar açır.

Gələcəkdə bu texnologiyalar daha da təkmilləşdiriləcək və süni intellekt, maşın öyrənməsi kimi yenilikçi yanaşmalarla inteqrasiya ediləcəkdir. Bu inkişaf, daha sürətli və etibarlı məlumat ötürülməsini təmin edəcək, eyni zamanda sənaye, IoT və digər rəqəmsal sahələrdə geniş tətbiq sahələri yaradacaqdır.

Beləliklə, bu texnologiyaların gələcək inkişafı ilə telekommunikasiya şəbəkələrinin performansları və istifadəsi daha da genişlənəcəkdir. Çoxdaşıyıcılı məlumat ötürülməsi texnologiyaları, müasir telekommunikasiya şəbəkələrində sürət və etibarlılığın artırılması üçün əsas vasitələrdən biridir. Bu texnologiyalar, məlumatın bir neçə daşıyıcı kanal üzərindən paralel olaraq ötürülməsini təmin edir, bu da şəbəkə yükünü azaldır və siqnalın keyfiyyətini artırır. Son illərdə, xüsusilə mobil rabitə və genişzolaqlı internet xidmətlərinin inkişafı ilə birlikdə, çoxdaşıyıcılı ötürülmə üsullarının əhəmiyyəti daha da artmışdır (Clerckx et al., 2021, p. 33).

OFDM, bir neçə frekans kanalı üzərində məlumatın paralel şəkildə ötürülməsini təmin edir, beləliklə signalın müxtəlif tezliklərdə ötürülməsi mümkün olur. Bu, şəbəkə üzərindəki yüklərin daha balanslı paylanmasını təmin edərək, daha az müdaxilə ilə yüksək sürət təmin edir. MIMO (Multiple Input Multiple Output) texnologiyası ilə birləşdirildikdə, məlumat ötürülməsinin səmərəliliyi daha da artır və daha geniş əhatə sahəsi təmin edilir.

Bu xüsusiyyətlər, 4G və 5G şəbəkələrində yüksək sürətli internet xidmətlərinin mümkün olmasına imkan yaratmışdır. CDMA (Code-Division Multiple Access) texnologiyası, mobil rabitə sahəsində geniş tətbiq olunan bir digər çoxdaşıyıcı ötürmə üsuludur. CDMA, hər bir istifadəçiyə fərqli kodlar verərək, eyni tezlik spektri üzərindən məlumat ötürməyə imkan yaradır (De Lima, Belot, & Berkvens, 2021, p. 12).

Bu yanaşma, bir neçə istifadəçinin eyni vaxtda şəbəkəni istifadə etməsinə şərait yaradır və müdaxilələrin qarşısını alır. Yüksək məlumat yükləri və yoğun trafik ilə qarşılaşılan mühitlərdə CDMA texnologiyası etibarlı işləməni təmin edir. Bu xüsusiyyətləri ilə CDMA, xüsusilə 3G şəbəkələrində geniş istifadə olunmuşdur. FDMA (Frequency Division Multiple Access) isə hər bir istifadəçiyə xüsusi tezlik diapazonu ayrılmasını təmin edən bir texnologiyadır. Bu metod, istifadəçilər arasında signal müdaxilələrinin qarşısını almağa kömək edir və tezlik spektrinin düzgün bölüşdürülməsini təmin edir. FDMA texnologiyası daha çox peyk rabitəsi və analoq rabitə sistemlərində istifadə olunur (Andonov & Dimitrov, 2018).

Bu texnologiyanın ən böyük üstünlüyü istifadəçilər arasında müdaxilənin olmaması və şəbəkə üzərindəki yükün idarə olunmasında təmin etdiyi sabitlikdir. Çoxdaşıyıcı məlumat ötürülməsi texnologiyalarının tətbiqi yalnız rabitə sahəsində deyil, həm də sənaye sahələrində və yeni texnologiyaların inkişafında mühüm rol oynayır. Məsələn, sənaye 4.0 və əşyaların interneti (IoT) kimi sahələrdə bu texnologiyalar məlumatın sürətli və təhlükəsiz ötürülməsini təmin edir. Eyni zamanda bu texnologiyaların inkişafı ilə daha geniş məlumat ötürmə imkanları yaranacaq və daha yüksək sürət və keyfiyyət təmin ediləcəkdir. Bununla yanaşı çoxdaşıyıcı məlumat ötürülməsi sistemlərinin inkişafı, şəbəkə resurslarının optimallaşdırılması və signalın keyfiyyətinin qorunması kimi bir sıra çətinlikləri də gündəmə gətirir.

Tezlik spektrinin məhdudluğu və yüksək sıxlıqda signal keyfiyyətinin qorunması məsələləri, bu sahədə aparılan araşdırmaların davam etməsini zəruri edir. Gələcəkdə bu çətinliklərin aradan qaldırılması üçün süni intellekt və maşın öyrənməsi kimi yenilikçi yanaşmaların tətbiqi gözlənilir. Bu texnologiyalar şəbəkə resurslarının daha səmərəli idarə olunmasına və adaptiv idarəetmə sistemlərinin yaradılmasına imkan verəcəkdir (Clerckx et al., 2020, p. 17).

Nəticə

Çoxdaşıyıcı məlumat ötürülməsi üsulları müasir telekommunikasiya texnologiyalarının inkişafında əhəmiyyətli yer tutur və şəbəkələrin sürətini, dayanıqlığını və səmərəliliyini təmin etmək üçün geniş tətbiq olunur. OFDM, CDMA və FDMA kimi metodlar sayəsində məlumat ötürülməsi daha keyfiyyətli və etibarlı hala gətirilmişdir.

Bu üsullar mobil şəbəkələrdən başlayaraq peyk rabitəsi və genişzolaqlı internet xidmətlərinə qədər müxtəlif sahələrdə yüksək performans təqdim edir.

Xüsusilə, OFDM-in tezlik resurslarının səmərəli idarə edilməsi və CDMA-nın çoxsaylı istifadəçiləri dəstəkləmə qabiliyyəti texnologiyanın üstünlüklərini vurğulayır. Bu texnologiyaların inkişafı, sürətlə artan məlumat tələblərinə cavab vermək və şəbəkə infrastrukturunun genişləndirilməsi üçün vacibdir. Süni intellekt və maşın öyrənməsi əsaslı həllərin tətbiqi ilə çoxdaşıyıcı ötürülmə üsulları daha çevik və optimal olacaqdır.

Gələcəkdə, xüsusən 5G və 6G şəbəkələrində, sənaye 4.0, IoT və rəqəmsal iqtisadiyyatın digər sahələrində bu texnologiyaların əhəmiyyəti daha da artacaqdır. Bu baxımdan, çoxdaşıyıcı məlumat ötürülməsi üsulları telekommunikasiya şəbəkələrinin texnoloji inkişafı və rəqəmsal xidmətlərin genişlənməsi üçün əsas baza rolunu oynayır.

Ədəbiyyat

1. Andonov, I., & Dimitrov, D. (2018). *Multicarrier Modulation Techniques in Telecommunications*. Springer.
2. Clerckx, B., Zhang, R., Schober, R., Ng, D. W. K., Kim, D. I., & Poor, H. V. (2019). Fundamentals of wireless information and power transfer: From RF energy harvester models to signal and system designs. *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, 37(1), 4–33.
3. Clerckx, B., Huang, K., Varshney, L. R., Ulukus, S., & Alouini, M. S. (2021). Wireless power transfer for future networks: Signal processing, machine learning, computing, and sensing. *IEEE Journal of Selected Topics in Signal Processing*, 15(5), 1060–1094.
4. Clerckx, B., Kim, J., Choi, K. W., & Kim, D. I. (2022). Foundations of wireless information and power transfer: Theory, prototypes, and experiments. *Proceedings of the IEEE*, 110(1), 8–30.
5. Clerckx, B., Mao, Y., Jorswieck, E. A. (2023). A primer on rate-splitting multiple access: Tutorial, myths, and frequently asked questions. *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, 41(5), 1265–1308.
6. Clerckx, B., Mao, Y., Schober, R. (2021). Is NOMA efficient in multi-antenna networks? A critical look at next-generation multiple access techniques. *IEEE Open Journal of the Communications Society*, 2, 1310–1343.
7. Clerckx, B., Mao, Y., Schober, R., & Poor, H. V. (2020). Rate-splitting unifying SDMA, OMA, NOMA, and multicasting in MISO broadcast channel: A simple two-user rate analysis. *IEEE Wireless Commun. Lett.*, 9(3), 349–353.
8. De Lima, C., Belot, D., Berkvens, R. (2021). Convergent communication, sensing and localization in 6G systems: An overview of technologies, opportunities and challenges. *IEEE Access*, 9, 26902–26925.
9. 3GPP. (2018). Study on non-orthogonal multiple access (NOMA) for NR. *3GPP Technical Report TR 38.812 V16.0.0*.
10. 3GPP. (2015). Study on Downlink Multiuser Superposition Transmission (MUST) for LTE. *3GPP Technical Report TR 36.859 V13.0.0*.
11. Letaief, K. B., Chen, W., Shi, Y., Zhang, J., & Zhang, Y. J. A. (2019). The roadmap to 6G: AI empowered wireless networks. *IEEE Communications Magazine*, 57(8), 84–90.
12. Saad, W., Bennis, M., & Chen, M. (2020). A vision of 6G wireless systems: Applications, trends, technologies, and open research problems. *IEEE Network*, 34(3), 134–142.

Daxil oldu: 23.09.2024

Baxışa göndərildi: 14.11.2024

Təsdiq edildi: 17.12.2024

Çap olundu: 22.01.2025