

Ə.S.Çobanov, N.İ.Kərimov (Milli Aerokosmik Agentliyi)

5G, 6G ŞƏBƏKƏLƏRİNDƏ OPTİK KABELSİZ KOMMUNİKASIYA TEKNOLOGİYALARININ ROLU

Giriş. Mobil rabitə abunəçilərin baza stansiyaları şəbəkəsindən istifadə edərək bir-biri ilə əlaqə saxladığı radiorabitə növüdür. Belə stasiya şəbəkələri vasitəsilə istifadəçilər siqnalları qəbul edir və ötürürlər.

Hal-hazırda radiotezliyə əsaslanan radiorabitədə bir sıra məhdudiyyətlər mövcuddur [1]:

- spektrin məhdud olması;
- hava şəraitindən asılılıq;
- böyük maneə effekti;
- ciddi tənzimləməyə ehtiyac.

3G və 4G mobil radio texnologiyaları müxtəlif sahələrdə istifadə olunur, onların məhdudiyyət xüsusiyyətləri məlumatların ötürülməsi kanalı ilə müəyyən edilir. Bununla belə, radiotezlik əsaslı kabelsiz texnologiyalar 5G və 6G şəbəkələrinin bütün ehtiyaclarını ödəmək üçün kifayət etmir. Nəticə etibarı ilə tədqiqatçılar rabitə şəbəkələrinə eksponensial qanunla artan tələbləri ödəyə bilən yeni rabitə növünü müəyyən etməyə çalışırlar [2]. Optik spektr əsaslı kabelsiz rabitə gələcək rabitə şəbəkələri, o cümlədən beşinci və altıncı nəsillər (müvafiq olaraq 5G və 6G) üçün əsas rejim kimi fəal şəkildə nəzərdən keçirilir.

Burada əsas məqsəd 5G və 6G şəbəkələrinin kabelsiz optik rabitə texnologiyalarında uğurlu tətbiqi üçün effektiv həll yollarını göstərməkdən ibarətdir.

Tədqiqatın məqsədi. Baxılan halda tədqiqatın əsas məqsədi aşağıdakılardan ibarətdir:

- 5G, 6G şəbəkələri üçün əsas texniki xüsusiyyətləri və tələbləri araşdırmaq;
- müxtəlif OWC (optik kabelsiz rabitə) texnologiyalarını nəzərdən keçirmək;
- optik rabitə texnologiyalarının fiziki imkanlarını qeyd etmək;
- 5G, 6G şəbəkələrində OWC texnologiyalarından istifadə potensialını müəyyənləşdirmək;
- OWC-yə əsaslanan cari işlərə və sistemlərə aid nümunələr göstərmək.

OWC şəbəkəsi siqnalları ötürmək üçün görünən, ultrabənövşəyi və infraqırmızı şüalanmalardan istifadə edən optik rabitə formasıdır. OWC-lər bəzi xüsusiyyətlərinə görə geniş tədqiqat üçün maraq doğurmuş və gələcəkdə beşinci və altıncı nəsillər kommunikasiya şəbəkələrinin süni intellektin, rəqəmsal iqtisadiyyatın əsasına çevriləcəyi gözlənilir.

5G rabitə sistemi üçün spesifik xüsusiyyətlərin və tələblərin siyahısı artıq formalaşdırılmış, texnologiya hazırlanmış və 5G şəbəkəsinin 2020-ci ilə qədər tam istifadəyə verilməsi nəzərdə tutulmuşdur. Beşinci nəsillər mobil rabitə çox yüksək xidmət xüsusiyyətləri (Quality of Service, QoS) ilə yeni xidmətlər təklif etmiş, QoS iki ən vacib şəbəkə xarakteristikasını - performans və etibarlılıq özündə cəmləşdirmişdir.

5G rabitə xidmətləri aşağıdakı texniki göstəricilərlə xarakterizə olunur:

- sistemin ultra yüksək tutumu;
- ultra aşağı gecikmə;
- ultra yüksək təhlükəsizlik;

- cihazların kütləvi birləşdirilməsi;
- ultra aşağı enerji sərfi.

6G rabitə sisteminin fəaliyyətə başlaması 2027-2030-cu illər ərzində gözlənilir. 6G rabitə xidmətlərinin spesifik xüsusiyyətləri hələ də dəqiq müəyyənəlməmiş, lakin tədqiqat məsələlərinin siyahısı artıq tərtib olunmuşdur. 6G sisteminin əsas xüsusiyyətləri aşağıdakılardır [1]:

- ötürmə qabiliyyətinin yüksəlməsi;
- birləşmələrin sayının artması;
- gecikmələrin azaldılması;
- həddən yuxarı təhlükəsizlik;
- enerji sərfinin səmərəliliyinin artırılması;
- istifadəçinin QoS səviyyəsinin artırılması;
- etibarlılığın yüksək olması.

Qeyd edilməlidir ki, rabitə sistemlərinin inkişafının və təkmilləşdirilməsinin əsas istiqamətləri oxşardır. Bununla belə, 6G rabitə sisteminin global rabitə mühitinə çevriləcəyi və xidmət səviyyəsinin 5G ilə müqayisədə bir neçə dəfə yüksək olacağı gözlənilir. Araşdırma sferası geniş optik diapazonda 5G, 6G və IoT şəbəkələrinin inkişafı üçün perspektivli həll yolu hesab edilir.

OWC texnologiyasının radiorabitə ilə müqayisədə üstünlükləri aşağıdakılardan ibarətdir [3]:

- geniş spektr;
- məlumat ötürmənin yüksək sürəti;
- gecikmənin aşağı səviyyədə olması;
- yüksək təhlükəsizlik;
- qiymətin aşağı olması;
- az enerji sərfi.

Rabitə obyektləri arasındakı məsafə bir neçə nanometrədən bir neçə min kilometrə qədər dəyişə bilər ki, bu da müxtəlif OWC sistemlərinin yerdəyişməsi ilə əldə edilir [2]. OWC sistemlərinin əsas texnologiyalarına aşağıdakılar aiddir:

- görünən işıq rabitəsi (Visible Light Communication, VLC);
- Light Fidelity (Li-Fi);
- optik kamera rabitəsi (Optik kamera əlaqəsi, OCC);
- boş məkanda optik rabitə (Free-Space Optics, FSO).

Yuxarıda göstərilən texnologiyaların fərqli və oxşar xüsusiyyətləri vardır ki, bu da xüsusilə onların müxtəlif növ radiasiya və qəbuledici-ötürücü avadanlıqlardan istifadə etməsi ilə əlaqədardır. Buna görə də texnologiyaların hər birinin öz üstünlükləri, mənfə cəhətləri və tətbiqi məhdudiyyətləri mövcuddur. Bununla da OWC texnologiyaları mövcud xüsusiyyətlərinə görə 5G, 6G və IoT şəbəkələrinin inkişafı və tətbiqində mühüm rol oynaya bilərlər.

5G şəbəkələri üçün əsas tələblər aşağıdakılardır [1]:

- vahid sahəyə düşən məlumatın həcmi 4G şəbəkələrindəkindən yüz dəfələrlə çoxdur;

- qoşulmuş cihazların sayı 4G şəbəkələrindəkindən on dəfə çoxdur;
 - məlumatı ötürmə sürəti 10 Gbit/s-ə çatır ki, bu da 4G-dən 10-100 dəfə sürətlidir;
 - 5G sistemlərinin enerji istehlakı 4G sistemlərinə nisbətən 90% azdır;
 - 5G şəbəkənin gecikməsi submillisaniyə/millisaniyə olmalıdır.
- 5G şəbəkələrinin əsas anlayışları və xüsusiyyətləri aşağıdakılardır:

– yüksək QoS, bant genişliyi və kütləvi əlaqəni təmin etmək üçün 5G şəbəkələrinin yerləşdirilməsi 4G şəbəkələri ilə müqayisədə daha sıx olacaq;

– 5G rabitə sistemləri yüksək sıxlıqlı kiçik mobil şəbəkələr konsepsiyasını tətbiq edir;

– 5G sistemləri çoxkanallı giriş-çıxış və qabaqcıl kodlaşdırma sxemlərindən istifadə etməklə tezlik spektrindən səmərəli istifadəyə zəmanət verəcək. Bununla əlaqədar olaraq 5G şəbəkələrində spektral effektivlik 4G şəbəkələrindəkindən ən azı üç dəfə yüksək olmalıdır;

– ucuz şəbəkə avadanlığı, aşağı yerləşdirmə dəyəri, şəbəkə və istifadəçi avadanlığının azaldılmış enerji istehlakı;

– microsoft yerli kiçik hüceyrələr arasında məlumat həcmi yükləyir və paylayır.

6G şəbəkələri. 6G şəbəkələri üçün tələblər hələ standartlaşdırılmamışdır. Rabitə şəbəkələrinin inkişafındakı mövcud tendensiyaları nəzərə alaraq güman etmək olar ki, onlarla Gbit/s-dən bir neçə Tbit/s-ə qədər məlumat ötürmə sürəti altıncı nəsillə şəbəkələr üçün əsas tələblərdən birinə çevriləcəkdir. 6G şəbəkələrinin aşağıdakı xüsusiyyətlərə malik olması gözlənilir [2]:

– 5G şəbəkəsinə nəzərən 1000 dəfə yüksək məlumat ötürmə sürəti ilə xarakterizə olunacaq;

– ultra aşağı enerji istehlakı və 1 ms-dən az gecikmə ilə ultra uzun rabitə təşkil edəcək;

– fəza multipleksiyasından, yüksək spektral effektivlikdən (100 bit/s/Hz) istifadə edəcək;

– mobil rabitənin mövcud nəsiləri ilə müqayisədə ultra yüksək təhlükəsizlik, ultra etibarlılıq, ultra aşağı enerji istehlakını təmin edəcək.

IoT şəbəkələri. IoT sistemləri üçün əsas tələblər aşağıdakılardır:

- cihazların qiymətinin aşağı olması;
- ucuz qiymətə yerləşdirmə;
- enerji sərfiyyatı cəhətdən səmərəli;
- yüksək təhlükəsizlik və məxfiliyin təmin edilməsi;
- çoxlu sayda cihazlar üçün dəstək olması.

OWC texnologiyalarına ümumi baxış. Yuxarıda OWC sistemlərinin dörd əsas texnologiyası müəyyən edilmişdir: Bu texnologiyalar ötürücünün, qəbuledicinin və şüalandırıcının tipinə görə fərqlənirlər (şək. 1).

VLC şəbəkəsində ötürücü kimi işıq şüalandırıcı diodlardan (LED) və ya lazer diodlardan (LD) və qəbuledici kimi fotodetektorlardan (FD) istifadə edilir.

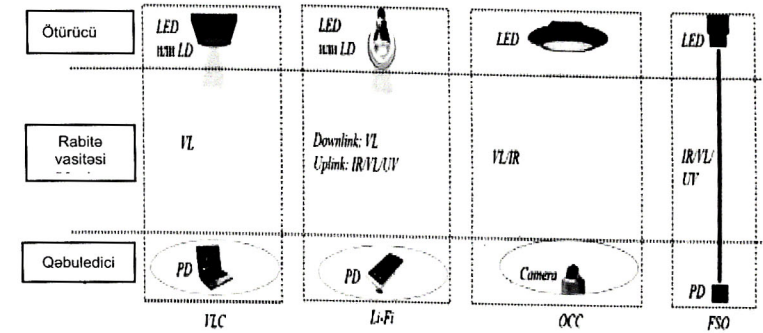
VLC şəbəkəsində rabitə vasitəsi kimi görünən işıqdan (LV) istifadə edilir.

Li-Fi texnologiyası kablansız iki istiqamətli optik yüksək sürətli rabitə texnologiyasıdır. Bu texnologiyada həmçinin verici kimi LED-lərdən və qəbuledici kimi PD-lərdən istifadə edilir.

OCC texnologiyası ötürücü kimi işıq-diod matrisindən, qəbuledici kimi isə təsvir sensorundan istifadə edir. Təsvir ötürücüsü qismində videokameradan istifadə edir. Şəkil sensorları ilə quraşdırılmış metal-oksüd yarımqeçirici kameralar "şəkillərin çəkilməsini" asanlaşdırır. OCC-də adətən rabitə vasitəsi kimi LV-dən və ya IQ şüalanmadan istifadə edilir. Ultrabənövşəyi (UV) spektr rabitə vasitəsi kimi də istifadə edilə bilər.

FSO texnologiyası adətən LD və FD-dən müvafiq olaraq ötürücü və qəbuledici kimi istifadə edir [4].

Bundan əlavə müxtəlif OWC texnologiyalarının məhsuldarlıq göstəricilərinin müqayisəsi aparılmışdır (cədvəl).



Şəkil 1. 5G, 6G və IoT sistemləri üçün OWC texnologiyaları (cədvəldə müxtəlif OWC texnologiyalarının məhsuldarlıq göstəricilərinin müqayisəsi göstərilmişdir [2])

Cədvəl. Müxtəlif OWC texnologiyalarının məhsuldarlıq göstəricilərinin müqayisəsi

Parametr	VLC	Li-Fi	OCC	FSO	Mobil rabitə 4G
Topologiya növü	Biristiqamətli və ya ikiistiqamətli	İkiistiqamətli	Biristiqamətli	Biristiqamətli	İkiistiqamətli
Ötürmə məsafəsi	20 metr	10 metr	60 metr	10,000 km-dən çox	13,4 km
Mobillik	Bəli	Bəli	Bəli	Yox	Bəli
Məncə səviyyəsi	Aşağı	Aşağı	Yox	Aşağı	Orta
Ötürmə sürəti	10 Gbit/s LED 100 Gbit/s LD	10 Gbit/s LED 100 Gbit/s LD	55 Mbit/s	40,665 Gbit/s	100 Mbit/s
Qorunma səviyyəsi	Yüksək	Yüksək	Yüksək	Yüksək	Orta

OWC şəbəkələrinin fiziki imkanları və texniki xüsusiyyətləri (Li-Fi texnologiyası nümunəsində). Li-Fi şəbəkələrinin ötürmə qabiliyyəti hazırda 1 Gbit/s-ə çatır, 90 sm məsafədə bir bitə düşən xəta ehtimalı (Bit Error Rate BER) $2 \cdot 10^{-5}$ təşkil edir [5]. Li-Fi şəbəkələrinin təsir radiusu 10-20 m² sahəsi olan bir otağı siqnalla tamamilə əhatə etməyə imkan verir. Li-Fi şəbəkələrində məlumatların qorunması yüksəkdir, belə ki, LV əhatə zonasından kənara çıxmır. Li-Fi şəbəkələri siqnalların bir-birinə mənfi təsiri olmadan qeyri-məhdud sayda istifadəçiyə xidmət göstərə bilər. Əlavə tezlik diapazonunun ayrılması pulsuzdur və lisenziyalaşdırma proseduru tələb etmir [1].

Çox vaxt qapalı ərazilərdə quraşdırılan enerjiyə qənaət edən LED lampalarından istifadə enerji xərclərini azalda bilər. Onları təkmilləşdirmək və Li-Fi şəbəkəsinə qoşulmaq üçün sadəcə bir neçə əlavə komponent quraşdırmaq lazımdır.

Beləliklə Li-Fi texnologiyası bazasında sistemlərin üstünlükləri aşağıdakılardan ibarətdir [6]:

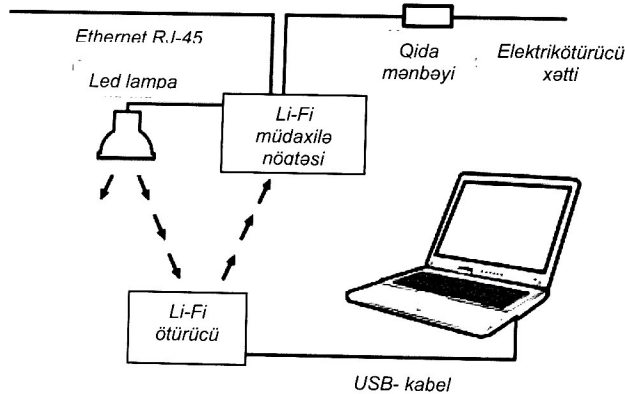
- yüksək tezlik diapazonu;
- yüksək buraxma qabiliyyəti;
- həyata keçirilməsinin sadəliyi və ucuz olması;
- istifadə üçün lisenziyanın tələb olunmaması;
- radiodiapazondan istifadə olunmaması;
- görünən işıq digər tezliklərin elektromaqnit dalğaları ilə qarşılıqlı əlaqədə olduqda, maneənin yaranmaması.

Çatışmazlıqlar aşağıdakılardan ibarətdir:

- qəbuledici ilə ötürücü arasında düzünə görünüşün zəruri olması;
- fotodetektor işıqlandırıldıqda, işdə dayanma və səhvlərin olmasının mümkünlüyü;

- Li-Fi yalnız işıq konuslarının daxilində işləməsi.

Şəkil 2-də Li-Fi lokal şəbəkəsinin nümunəsi göstərilmişdir.



Şəkil. 2. Lokal Li-Fi şəbəkəsinin sxematik təsviri

OWC texnologiyalarına əsaslanan 5G, 6G və IoT şəbəkələri. Radiorabitə kanalının yaradılması zamanı 3 KHz-dən 3000 GHz-ə qədər olan tezliklərdən istifadə olunur. Radiotezlik diapazonunun bir hissəsi (3 KHz - 10 GHz) ölverişli kommunikasiya xüsusiyyətlərinə görə mövcud kablesiz texnologiyalarda geniş istifadə olunur. Diapazonun bu hissəsi demək olar ki, tükənmiş, qalan hissəsi isə 5G, 6G və IoT şəbəkələrinin yüksək tələblərinə cavab vermir. Bundan əlavə bütün dünyada tezlik diapazonunun bölüşdürülməsi və istifadəsi Beynəlxalq Telekomunikasiya İttifaqı (BTİ) və BTİ qaydaları əsasında tezlikləri bölüşdürən müxtəlif ölkələrin milli təşkilatları tərəfindən tənzimlənir.

OWC texnologiyaları 5G, 6G və IoT şəbəkələrində rabitə kanalları yaratmaq üçün əla xüsusiyyətlərə malikdir. OWC geniş spektrdə istifadə oluna və müxtəlif kommunikasiyalarda realizə edilə bilər. Bunlara aşağıdakıları nümunə göstərmək olar [1]:

- maşınlararası qarşılıqlı əlaqə;
- qurğulararası qarşılıqlı əlaqə;
- mikrosxəmlər arasında qarşılıqlı əlaqə;
- nəqliyyat vasitələri arasında qarşılıqlı əlaqə;
- müxtəlif infrastrukturların qarşılıqlı əlaqəsi.

Optik rabitə qurğuları bir neçə nanometrdən 10.000 km-dən çox məsafədə kommutasiya etməyə imkan verir.

OWC aşağıdakıları təmin edir [1]:

- məlumatların yüksək sürətlə ötürülməsini (100 Gbit/s-ə qədər);
- yüksək ötürmə qabiliyyətini;
- yüksək səviyyədə təhlükəsizliyi;
- aşağı enerji sərfini;
- infrastrukturun və cihazların aşağı qiymətini;
- maneənin olmamasını;
- cihazlara inteqrasiyanın sadəliyini;
- icazə verilən tezlik diapazonunun lisenziyasına ehtiyac olmamasını.

Beləliklə OWC texnologiyasının fiziki imkanları radiorabitənin bütün çatışmazlıqlarını aradan qaldırır, həmçinin bir sıra parametrlərinə görə radiotezliklərə əsaslanan naqilsiz rabitəni üstələyir.

OWC texnologiyalarının digər sahələrdə tətbiqi. Dünya üzrə tədqiqatçılar OWC şəbəkələri əsasında gələcəyin kommunikasiya şəbəkələrinin yaradılması üzərində işləyirlər. OWC şəbəkələri asanlıqla mövcud infraqurğulara inteqrasiya olunur, trafik tənzimlənməsi sistemlərində, kompüterlər və mobil qurğular arasında kommutasiya üçün istifadə edilə bilər [6,7]. OWC əsasında yollarda və magistral yollarda nəqliyyat vasitələrinin sürəti haqqında məlumat verən nəqliyyatın universal idarə edilməsi sistemi (universal trafik idarə edilməsi üçün işıqlı rabitə mayak sistemi) hazırlanır. Bu sistem ötürücü kimi LED-dən və yol qəbuledicisi kimi linalı bir neçə FD-dən istifadə edir.

Li-Fi şəbəkələrindən səmişin təyyarələrinin salonunda videosiqnalların sənəşinlərin qarşısında quraşdırılmış fərdi monitorlara ötürülməsi üçün istifadə oluna bilər ki, bu da bir neçə kilometr kablə qənaət etməyə və təyyarənin çəkisinin 100 kq-dan çox azaltmasına imkan verir [5,8].

Nəticə. Yaxın zamanlarda 5G şəbəkələrinin meydana çıxması və proqnozlara görə 6G rabitəsinin 2027-2030-cu illərdə istifadəyə verilməsi gözlənilir. Radiotezlik əsaslı sistemlər 5G/6G və IoT-un gələcək şəbəkələrinin yüksək tələblərinə uyğunlaşmaq qabiliyyətinə malik deyillər. Beləliklə, yeni nəsil mobil rabitə şəbəkələrinin qurulması üçün OWC texnologiyalarından istifadə radiotezlik əsaslı rabitə sistemlərinə xas olan bir sıra problemləri həll etməyə imkan verəcəkdir. OWC 5G, 6G şəbəkələri üçün effektiv rabitə kanallarını və IoT-un yayımını təmin edəcəkdir.

Ədəbiyyat siyahısı

1. C.A. Обухов, В. С. Елагин. Роль оптических беспроводных технологий связи в сетях 5G, 6G. Санкт-Петербург, Информационные Технологии и Телекоммуникации, 2022, т. 10, № 2, с.16-23.

2. Петрусь И. П. Перспективы развития беспроводных технологий передачи данных // Технические науки – от теории к практике. № 10 (23). Ч. I: сб. статей по материалам XXVII международной научно-практической конференции. Новосибирск: Изд. «СибАК», 2013. С. 30–34.

3. Zaman M., Shahjalal M., Khalid M., Min Y. The Role of Optical Wireless Communication Technologies in 5G/6G and IoT Solutions: Prospects, Directions, and Challenges // Applied Sciences. 2019. Vol. 9, Iss. 20. 4367. URL: <https://www.mdpi.com/2076-3417/9/20/4367> (дата обращения 23.03.2022).

4. Мухизи С., Киричек Р. В. Анализ технологии слайсинга в сетях связи пятого поколения // Информационные технологии и телекоммуникации. 2017. Том 5. № 4. С. 57–63. URL: <http://www.sut.ru/doci/nauka/review/20174/57-63.pdf> (дата обращения 23.03.2022).

5. Мусалитин А. А. К вопросу об атмосферных линиях связи // Направления совершенствования автоматизированных систем управления: сборник статей Молодежной научно-технической конференции, Ульяновск, 19–20 марта 2014 г. / под общ. ред. Э. Д. Павлыгина. Ульяновск: ФНПЦ ОАО «НПО «Марс», 2014. С. 158–164. URL: http://www.npomars.com/db/ru/news/ofic_inf/178-2014-04-07/sec1/19.pdf (дата обращения 23.03.2022).

6. Петрусь И. П. Основные тенденции становления сетей Li-Fi // Перспективы развития информационных технологий. 2014. № 18. С. 73–78. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/osnovnyetendentsii-stanovleniya-setey-li-fi> (дата обращения 23.03.2022).

7. Хаас Х. Беспроводная информация из каждой лампочки. URL: <https://clck.ru/eksEs> (дата обращения 23.03.2022).

8. Петрусь И. П. Технология «общения» дорожного транспорта // Интернет-журнал «Науковедение». 2014. № 2 (21). URL: <http://naukovedenie.ru/PDF/03TVN214.pdf> (дата обращения 23.03.2022).

A.S.Chobanov, N.I.Kerimov

Роль оптических беспроводных технологий связи в сетях 5G, 6G

Резюме

Описаны особенности, ключевые характеристики, требования к сетям сотовой связи нового поколения. Рассмотрены различные технологии беспроводной оптической связи и их физические характеристики. По результатам литературного обзора показано, что оптическая связь можно использовать в качестве эффективного решения для успешного развертывания сетей 5G, 6G.

A.S.Chobanov, N.I.Kerimov

The role of optical wireless communication technologies in 5G, 6G networks

Abstract

Features, key characteristics, requirements for new generation cellular networks are described. Various wireless optical communication technologies and their physical characteristics are considered. According to the results of the literature review, it is shown that optical communication can be used as an effective solution for the successful deployment of 5G, 6G networks.