

UDC 004.9

SCOPUS CODE 1705

<https://doi.org/10.36073/1512-0996-2024-4-107-118>

Light Fidelity (Li-Fi) ტექნოლოგიის გამოყენებით აგებულ ქსელზე მზის სინათლის გავლენის შეფასება

სალომე მახარაძე	ციფრული სატელეკომუნიკაციო ტექნოლოგიების დეპარტამენტი, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, საქართველო, 0160, თბილისი, მ. კოსტავას 77 E-mail: s.makharadze@gtu.ge
ია ცქვიტინიძე	ციფრული სატელეკომუნიკაციო ტექნოლოგიების დეპარტამენტი, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, საქართველო, 0160, თბილისი, მ. კოსტავას 77 E-mail: ia.tskvitinidze@gtu.ge
ტატიანა ბურკაძე	ციფრული სატელეკომუნიკაციო ტექნოლოგიების დეპარტამენტი, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, საქართველო, 0160, თბილისი, მ. კოსტავას 77 E-mail: t.burkadze@gtu.ge
ელვირა ბჟინავა	ციფრული სატელეკომუნიკაციო ტექნოლოგიების დეპარტამენტი, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, საქართველო, 0160, თბილისი, მ. კოსტავას 77 E-mail: e.bzhinava@gtu.ge

რეცენზენტები:

ს. შავგულიძე, სტუ-ის ინფორმატიკისა და მართვის სისტემების ფაკულტეტის პროფესორი

E-mail: s.shavgulidze@gtu.ge

გ. გიორგაძე, დასაქმების სააგენტოს ეიჩარი – პროექტი „ჰუავეი ტექნოლოჯი კო“, RF ინჟინერი

E-mail: giorgadze92@gmail.com

ანოტაცია. თანამედროვე სამყაროში უსადენო ტექნოლოგიების გამოყენებასთან დაკავშირებული მზარდი მოთხოვნების დასაკმაყოფილებლად მრავალი გამოწვევაა, რომელიც მოიცავს მაღალი და დაბალი სიხშირული დიაპაზონის ინტეგრაციას, გაანტირებული მომსახურების ხარისხის უზრუნველყოფას, ენერგიის მართვასა და სხვ. Wi-Fi-ს (Wireless Fidelity) გამოყენებისას სიგნალების გადა-

საცემად გამოყოფილი სიხშირული დიაპაზონი და ერთდროულად გამოყენებადი არხების რაოდენობა არის შეზღუდული, მსგავსი პრობლემები გამოირიცხება, როცა გადაცემის გარემოდ გამოიყენება სინათლე. სინათლეს რადიოტალღებთან შედარებით გატარების შეუზღუდავი ზოლი აქვს. ამ შემთხვევაში არხების რაოდენობა უფრო მეტია და იზრდება გადასაცემი მონაცემების შესაბამისად. Li-Fi (Light Fidelity) მობილური კომუნიკაციის უსადენო ფორ-

მა ხილული სინათლის გამოყენებით. ეს ტექნოლოგია უზრუნველყოფს ორმხრივ მაღალსიჩქარულ უსადენო კავშირს შუქდიოდების გამოყენებით. ორობითი მონაცემების გადაცემა ხდება სინათლის ნაკადით. Li-Fi-ს წვდომის წერტილების გაერთიანება არსებულ განათების ინფრასტრუქტურასთან ქმნის ორმაგი დანიშნულების სისტემას, რომელიც უზრუნველყოფს განათებას და კომუნიკაციას ერთდროულად. აღნიშნული სისტემის გამოყენება შესაძლებელია მონაცემთა გადაცემისთვის სხვადასხვა სფეროში. შუქდიოდის ნათების რეჟიმის შერჩევით, მასზე მზის სინათლის ზემოქმედების გათვალისწინებით შესაძლებელია გადასაცემი სიგნალის სიმძლავრის ინტენსივობის განსაზღვრა.

საკვანძო სიტყვები: ოპტიკური სპექტრი; უსადენო კავშირი; ფოტოდეტექტორი; შუქდიოდი; ხილული სინათლის ტალღა; Li-Fi; Wi-Fi.

შესავალი

უახლოეს მომავალში ყველა ჩვენი მოწყობილობა მუდმივად იქნება ჩართული ინტერნეტში, ჩვენ შევდივართ „ყველაფრის ინტერნეტის“ ერაში. Wi-Fi ყველა ამ ამოცანის დამუშავებას მარტო ვერ გაართმევს თავს. უსადენო კომუნიკაციის ტექნოლოგიებმა, რომლებიც იყენებენ უკიდურესად მაღალ სიხშირეებს, ბოლო პერიოდში დიდი ყურადღება დაიმსახურა. ამ ტექნოლოგიების ბაზაზე აგებულია, მაგალითად, სინათლის სხივით ფორმირებული ქსელები Li-Fi (Light Fidelity). სინათლის ტალღის გამოყენებით სიგნალის გადასაცემად ამ ტექნოლოგიას

შეუძლია გამოიყენოს ფართო ოპტიკური სპექტრის დიაპაზონი. ბოლოდროინდელი კვლევებით ჩანს, რომ ერთი სინათლის გამომსხივებელი დიოდის (LED-Light Emitting Diode) საშუალებით, Li-Fi-ს შეუძლია მიაღწიოს მონაცემების გადაცემას 10 გიგაბიტი/წმ-ზე მეტი პიკური სიჩქარით [1].

ძირითადი ნაწილი

ამჟამად გავრცელებული და მოქმედი უსადენო მონაცემთა გადაცემის მეთოდები 3G (Generation), LTE (Long-Term Evolution), Wi-Fi დაფუძნებულია რადიოსიხშირული არხების გამოყენებაზე. მონაცემთა გადაცემის ასეთ მექანიზმს აქვს მნიშვნელოვანი ნაკლი: შეზღუდული სიხშირული დიაპაზონი, ერთი და იმავე სიხშირულ დიაპაზონში არსებული რამდენიმე სიგნალის წყაროს ურთიერთგავლენა, მონაცემთა გადაცემის სიჩქარის დამოკიდებულება მომხმარებელთა რაოდენობაზე და სხვა. ასეთი ტექნოლოგიების პერსპექტიული ალტერნატივა არის Li-Fi.

ტექნოლოგიის შემუშავებას საფუძველი ჩაუყარა გერმანელმა ფიზიკოსმა ჰარალდ ჰაასმა (Harald Haus), რომელმაც 2011 წელს როუტერად გამოიყენა LED ნათურა. ლაბორატორიულ პირობებში მან მიაღწია 224 გიგაბიტი/წმ გადაცემის სიჩქარეს. ასეთი სიჩქარე დიდი მოცულობის ინფორმაციის წამებში გადმოწერის საშუალებას იძლევა. იდეის განხორციელება შესაძლებელი გახდა VLC (Visible Light Communication) ტექნოლოგიით, რომელიც საშუალებას იძლევა სინათლის წყარომ არა მხოლოდ განათების ფუნქცია შეასრულოს, არამედ გადასცეს ინფორმაცია. მონაცემთა გადაცემა რეალიზებულია LED ტიპის შუქდიოდებით.

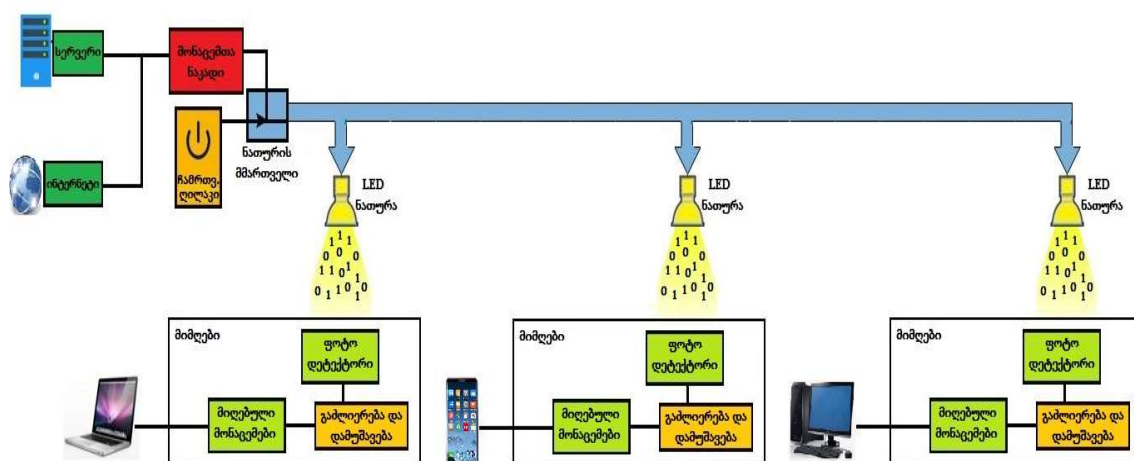
Li-Fi სისტემის არქიტექტურა

Li-Fi არის სწრაფი და იაფი Wi-Fi-ს ოპტიკური ვერსია, რომელიც იყენებს ელექტრომაგნიტური სპექტრის ხილული სინათლის 400 ტერაჰც-დან 800 ტერაჰც-მდე დიაპაზონს ოპტიკური გადამტანის სახით მონაცემთა გადაცემისთვის. IEEE 802.11bb Li-Fi საკომუნიკაციო სტანდარტი მიღებულია 2023 წელს, რომელშიც მონაცემთა გადაცემის მაქსიმალური სიჩქარე 9,6 გიგაბიტი/წმ-მდეა.

Li-Fi ტექნოლოგიის მუშაობის პრინციპი ემყარება მონაცემთა გადაცემას სინათლის არხით – იქნება ეს სინათლის ხილული სპექტრი თუ ინფრაწითელი გამოსხივება. ზოგადად, საკომუნიკაციო არხი ორგანიზებულია გადამცემს (სინათლის ან გამოსხივების წყაროს) და ფოტოდეტექტორს შორის. მონაცემთა გადაცემის სიჩქარე მთლიანად დამოკიდებულია განათების ტექნოლოგიაზე და გამოყენებული ციფრული სიგნალის მოდულაციაზე. განათების ტექნოლოგია მოიცავს სინათლის დიოდებს (LED ნათურები), RGB ლაზერებს და ინფრაწითელ დიოდებს (RGB დიოდები). ძირითად LED ნათურებად გამოიყენება ცისფერი ფოსფორით დაფარული დიოდები, გალიუმის ნიტრიდის მიკრო-LED-ები და RGB ფერის LED ნათურები. ცისფერი დიოდების ფოსფორის ფენით გამოსხივების წყაროდ გამოყენებისას (როგორც თეთრი სინათლის ყველაზე ეკონომიური წყარო) მიიღწევა სიჩქარე 1,7 გიგაბიტი/წმ, ხოლო RGB LED-ების გამოყენებით მონაცემთა გადაცემის შემთხვევაში სიჩქარე – 5 გიგაბიტი/წმ. Li-Fi-ს შეუძლია მონაცემთა გადაცემა უფრო სწრაფად, ვიდრე ნებისმიერ სხვა უსადენო ტექნოლოგიას: ბოლოდროინდელმა კვლევებმა აჩვენა, რომ Li-Fi ტესტირების მოდელში გამოყენებულ ერთ მიკრო-LED-ს შეუძლია მონაცემთა მიწოდება 8 გიგაბიტი/წმ-ზე მეტი პიკური სიჩქარით, ხოლო ლაზერული დიოდების გამოყენებისას – 100 გიგაბიტი/წმ [2].

Li-Fi სისტემის ძირითადი კომპონენტები მოიცავს (სურ.1):

1. გადამცემს – სინათლის წყარო, მაღალი სიკაშკაშის თეთრი შუქდიოდი;
2. მიმღებს – სილიციუმის ფოტოდიოდი, კარგი რეაგირებით ხილულ სინათლეზე.



სურ.1. Li-Fi სისტემის არქიტექტურა

ორმიმართულებიანი არხის შესაქმნელად Li-Fi სისტემაში გადამცემსა და მიმღებს შეუძლია მუშაობა ხილული და/ან ინფრაწითელი სინათლის სპექტრში. გადამცემი – შუქდიოდი, ასხივებს სინათლეს და იმავდროულად გადასცემს ინფორმაციას. გადამცემის ხაზში არის სტანდარტული ელემენტები: მონაცემები, კოდირების სქემა და ქსელი. Li-Fi ქსელში შუქდიოდის სინათლის ინტენსივობა მოდულირდება ელექტრული სინათლით, რის შემდეგ სინათლე ვრცელდება გარემოში (გარემო პირობების მიხედვით მაგ.: წვიმა ან მზიანი დღე სიგნალის გავრცელებაზე უარყოფით გავლენას ახდენს). სინათლის წყაროს აქვს დამატებითი ბლოკი, რომელიც აკონტროლებს ციმციმს და მიმღები – ფოტოელემენტი. ნებისმიერი მოწყობილობა, რომელიც იღებს ამ სინათლის სიგნალს, აღჭურვილი უნდა იყოს მონაცემების მისაღებად, ინტერპრეტაციისთვის და ჩვენებისათვის მონიტორსა ან ეკრანზე. ინფორმაციის გადამცემისას სინათლე ციმციმებს (სიხშირით >200 გიგაჰც), ისე რომ ციმციმი შეუმჩნეველია ადამიანის თვალისთვის, მოკლე იმპულსები LED ნათურის საშუალებით გარდაიქმნება ელექტრულ სიგნალად, ამის შემდეგ სიგნალი გარდაიქმნება ორობით მონაცემთა ნაკადად და გადაიცემა ორობითი კოდი, რომლის გაშიფვრას ახდენს მიმღები მოწყობილობა.

იმის შემდეგ, რაც მიღებული სიგნალი გარდაიქმნება ელექტრულ სიგნალად და გაივლის წინასწარ გამაძლიერებელში, ის გაძლიერდება და გაიფილტრება, შემდეგ გამავალი მონაცემების მისაღებად დეკოდირდება, ციფრული სიგნალის აღდგენა ხორციელდება იმავე მეთოდებით, რომელიც

გამოიყენება ოპტიკურ-ბოჭკოვანი ან მონაცემთა რადიოსიხშირული ხაზისთვის. ხაზის დასაწყისში დაყენებულია გამაძლიერებლები და ანალოგური ფილტრები, ხოლო ბოლოში – ციფრული ფილტრები. ეკვალიზერი ახდენს არხში სიგნალის ფილტრაციის ადაპტირებას რეალურ დროში.

მიმღები ხაზის მეორე ბოლო უფრო მნიშვნელოვანი ელემენტია, ვინაიდან მან უნდა უზრუნველყოს სიგნალის მიღება კარგი ხარისხით. მიმღების სახით გამოიყენება: ლინზა – ოპტიკურ სისტემად, რომელიც „იჭერს“ მიმოფანტულ სინათლეს და ქრომატული ფილტრი, რომელიც სინათლეს აძლიერებს. ამრიგად, ოპტიკური სისტემა პასუხისმგებელია სასარგებლო ინფორმაციის შეგროვებაზე [3].

Li-Fi Wi-Fi-სთან შედარებით (ცხრილი) სარგებლობს შემდეგი უპირატესობებით:

- Li-Fi-ს აქვს მონაცემთა გადამცემის უფრო დიდი სიჩქარე (სიგნალი ვრცელდება მცირე მანძილზე), ვიდრე რადიოტალღებს; ლაბორატორიულად მიღებულ შედეგს 224 გიგაბიტი/წმ-ს თუ ავიღებთ, მაშინ Li-Fi Wi-Fi სტანდარტის IEEE 802.11ax-ის მაქსიმალურ სიჩქარეს 22.4-ჯერ აჭარბებს, ხოლო IEEE 802.11ac-სას – 30-ჯერ;

- ლიცენზირებისგან თავისუფალი ოპტიკური სპექტრი. რადიოტალღების ნაცვლად იყენებს ხილული სინათლის ტალღებს;

- აქვს გატარების უფრო ფართო ზოლი;

- აქვს უსაფრთხო უსადენო კომუნიკაციის უზრუნველყოფის შესაძლებლობა, რადგან გააჩნია დაფარვის მცირე ზონა – 10 მეტრი, სიგნალის გავრცელება ბლოკირდება კედლების მიერ, სინათლე არ აღწევს გაუმჭირვალე ობიექტებში. Wi-Fi-ს გამოყე-

ნებისას ქსელი ექვემდებარება არასანქცირებულ ქსელში შეღწევას, ვინაიდან მას აქვს უფრო ფართო ტერიტორიის დაფარვის (Wi-Fi-ს დაფარვის ზონა 150 მეტრი) შესაძლებლობა (რადიოსიხშირული სიგნალი არ ბლოკირდება კედლების მიერ);

- ენერგოდანახარჯების ოპტიმიზაცია. განათების სისტემისა და Hot-spot წერტილების გაერთიანებით;

- Li-Fi მოწყობილობები ქსელში ერთმანეთს არ უშლის ხელს;

- ელექტრომაგნიტური გამოსხივების არარსებობა;

- სწრაფი ინტერნეტი და დამატებითი რეალობა;

- უვნებელია ადამიანის ჯანმრთელობისთვის.

ნაკლოვანებები:

- Li-Fi ქსელის გაშლა ქუჩაში, მზის სხივების ქვეშ ან ნებისმიერ არასტაბილურ პირობებში შეუძლებელია;

- უშუალო დამოკიდებულება მუდმივი სინათლის წყაროს არსებობაზე. არ შეუძლია სიბნელეში მუშაობა შუქდიოდის გარეშე;

- შუქდიოდის სიკაშკაშის გაზრდა. იმის გათვალისწინებით, რომ დიდ დროს ვატარებთ სმარტფონებთან და კომპიუტერთან, მხედველობაზე უარყოფითად აისახება მუდმივად ჩართული შუქდიოდი ნათურები;

- სინათლის ნათების მოქმედების შეზღუდული დიაპაზონი. მონაცემთა გადაცემა მცირე მონაკვეთზე, მხოლოდ შენობაში, რადგან სინათლე ვერ აღწევს კედლებში, დაბრკოლებებს მიღმა;

- შესაძლებელია ხელი შეუშალოს განათების სხვა წყაროებმა;

- ძალიან მგრძნობიარეა ატმოსფეროს მდგომარეობისადმი, ძლიერი განათების შემთხვევაში, მაგალითად, მზის შუქმა, შესაძლებელია გამოიწვიოს ქსელის გაუმართაობა და შეცდომები მუშაობისას. სიგნალის სიძლიერე დამოკიდებულია გამოყენებული ტალღის სიგრძეზე.

ცხრილი

უსადენო ტექნოლოგიების მახასიათებლები

მახასიათებლები	Wi-Fi	Li-Fi	WiMAX	5G (Generation)	6G
სიჩქარე	11-300 მეგაბიტი/წმ	40 გიგაბიტი/წმ	1 გიგაბიტი/წმ	10 გიგაბიტი/წმ	1 ტბიტი/წმ
სტანდარტი	802.11ac	802.11bb	802.16m	802.11	არ არის განსაზღვრული
სიხშირე	2.4 გჰც	100 მგჰც	2.3-13.6 გჰც	3.4 გჰც	3.4-3.6 გჰც
მოქმედების რადიუსი	300 მ-მდე	≈10 მ (პირველივე დაბრკოლებამდე)	25-80 კმ	15-600 მ	500 მ
ადამიანის ჯანმრთელობაზე გავლენა	ნეგატიური	უვნებელი	უვნებელი	ნეგატიური	უვნებელი

Li-Fi ტექნოლოგიის გამოყენების სფეროები:

Li-Fi-ს გამოყენება შესაძლებელია ისეთ ადგილებში, სადაც რადიოსიხშირული კავშირის გამოყენება შეზღუდულია:

- წყალქვეშა კავშირი (წყლის ზედაპირს ქვემოთ განთავსებული სივრცეები). Li-Fi-თ სინათლე თავისუფლად ვრცელდება წყალქვეშა გარემოში, ამ მოვლენამ შეიძლება შეცვალოს კომუტაციის პროცესი წყალქვეშა აპარატებისთვის.

- უაღრესად საიდუმლო და კონფიდენციალურ ადგილებში (სამხედრო და სამთავრობო). Li-Fi-ს მოქმედების დიაპაზონის სიმცირის გამო შესაძლებელია საიდუმლო ინფორმაციაზე წვდომის შეზღუდვა. ასევე შესაძლებელია სამხედრო კავშირში გამოყენება – აშშ-ის უწყების მიერ გავრცელებული ინფორმაციით დაიწყო Li-Fi ტექნოლოგიის ვარიანტების განვითარება – „გემი-გემი“ და „გემი-ნაპირი“ კომუნიკაციის განსახორციელებლად. ნაკლებად განათებულ გარემოში გამოყენება (კარავი) და იმ ადგილებში, სადაც მობილური ტელეფონის გამოყენება არ შეიძლება, მაგალითად, საბრძოლო მარაგების საწყობში.

- საგნების ინტერნეტი (IoT-Internet of Things). შთამბეჭდავი სიჩქარის წყალობით Li-Fi გავლენას იქონიებს საგნების ინტერნეტზე, მონაცემების გადაცემის უფრო მაღალი სიჩქარე დააჩქარებს ინფორმაციის გაცვლას მოწყობილობებს შორის, შესაძლებელი იქნება უფრო მეტი რაოდენობის მოწყობილობის ჩარვა ქსელში და Wi-Fi ქსელის განტვირთვა. მასობრივი გამოყენებისა და 5G-სთან ერთობლიობაში, შესაძლებელია სმარტმოწყობილობების შექმნა: „ჰკვიანი ქალაქი“, „ჰკვიანი სახლი“.

- ადამიანის ან ქსელში ჩართული ობიექტების ადგილმდებარეობის განსასაზღვრად. ასეთ შემთხვევაში ყოველი ნათურა Li-Fi ქსელით გადასცემს უნიკალურ მაიდენტიფიცირებელ სიგნალს. მისი დაკავშირება მონიშნულ ქსელთან იძლევა გზის პოვნის შესაძლებლობას სხვადასხვა ობიექტისკენ. ამასთან ერთად ადგილმდებარეობის განსაზღვრის სიზუსტე ძალიან მაღალია და შეადგენს 10-20 სმ-ს.

- სამედიცინო დაწესებულებები. სამედიცინო დაწესებულებები სულ უფრო ხშირად იყენებენ დისტანციური გამოკვლევების სერვისსა და პროცედურებსაც კი. საავადმყოფოებში დერეფნები, მოსაცდელი ოთახები, პაციენტების პალატები და საოპერაციოები შეიძლება აღჭურვილი იყოს ამ ტიპის ინტერნეტით. პაციენტის ჯანმრთელობის მდგომარეობის და სასიცოცხლო ნიშნების რეალურ დროში მონიტორინგისთვის, სადენების საჭიროების გარეშე. Li-Fi სისტემას შეუძლია დიდი მოცულობის მონაცემთა გადაცემა მცირე შეყოვნებით (<1მწმ). ამის მაგალითი შეიძლება იყოს უსადენო მოწყობილობების გამოყენების შესაძლებლობა MRI-ში (*Magnetic Resonance Imaging*) და სხვა მსგავსი რადიომგრძნობიარე პროცედურების განხორციელება.

- ჯანდაცვაში ინფორმაციული უსაფრთხოება. Li-Fi მოქმედების რადიუსის სიმცირის გამო Wi-Fi-სთან შედარებით, ის უფრო უსაფრთხოა. ეს თვისება შეიძლება ძალიან სასარგებლო იყოს იმ სფეროებში, რომლებშიც ამუშავებენ დიდი რაოდენობით კონფიდენციალურ მონაცემებს, მაგ.: ჯანდაცვაში.

- გარე განათებებში. უახლოეს მომავალში შესაძლებელი იქნება შუქდიოდების გამოყენება ინფორმაციის გადაცემისთვის ქალაქის ინფრასტრუქტურაში.

რაში, ქალაქის განათების ქსელში, საავტომობილო გზების ქსელში, ავტოინდუსტრიაში – ავტომობილებსა და საგზაო ინფრასტრუქტურაში მანქანებს შორის, ქვეითთა გადასასვლელებზე, ობიექტებს შორის, საზოგადოებრივ ტრანსპორტში და მილიონ ობიექტს შორის, რომლებიც ჩართულია ქსელში.

– რადიოელექტრონული ხელშეშლების არარსებობის გამო, გადამწყვეტი უპირატესობა ექნება თვითმფრინავის ბორტზე შედგენის წერტილების შექმნისათვის. თვითმფრინავებში Wi-Fi ძალიან იშვიათად გამოიყენება, იმის გამო, რომ მარშრუტიზატორებიდან ელექტრომაგნიტური რადიოტალღები ხელს უშლის მოწყობილობების მუშაობას და დისპეტჩერებთან კომუნიკაციას. Li-Fi-ს გამოყენება ასევე აქტუალურია აეროპორტებში. იმავე მიზეზით, როგორც საავადმყოფოებში სისტემა არ უშლის ხელს მოწყობილობების მუშაობას რადიოსიხშირეებზე, რაც ნიშნავს, რომ ის არ უშლის ხელს საჰაერო ხომალდებს და მეტეოროლოგიურ სადგურებს ძირითადი საკომუნიკაციო სისტემების მუ-

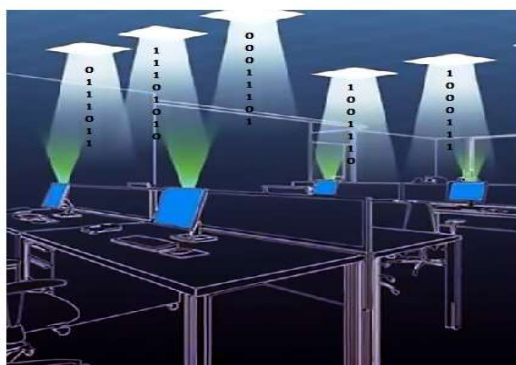
შაობისას, რაც საშუალებას მისცემს აეროპორტს შეუფერხებლად იმუშაოს.

– მომატებული საშიშროების შენობები შეიძლება აღიჭურვოს ამ ტექნოლოგიით.

– გაძლიერებული ვირტუალური რეალობა (VR-*Virtual reality*), ამ სისტემასთან ჩართვისას მონაცემთა გადაცემა მიიღებს უამრავ უპირატესობას, როგორიცაა: კონფიდენციალურობა და მონაცემთა გადაცემის სიჩქარე [4].

Li-Fi-ს სისტემის მუშაობის სხვადასხვა რეჟიმზე მზის სინათლის გავლენა

Li-Fi სისტემის მუშაობისას სიგნალის გავრცელებაზე შეიძლება უარყოფითი გავლენა იქონიოს დღის სინათლემ (მზის სინათლემ). მოცემულ სიმულაციურ სისტემის მაგალითზე ნაჩვენებია, თუ როგორი გავლენა აქვს მზის სინათლეს სიგნალის გავრცელებაზე, როცა Li-Fi სისტემა მუშაობს სხვადასხვა რეჟიმში: შუქდიოდის მიმართული (სურ.2, ა) და გაფანტული (სურ.2, ბ) განათების რეჟიმებში.



ა) მიმართული რეჟიმი



ბ) გაფანტული რეჟიმი

სურ. 2. შუქდიოდის მიმართული და გაფანტული განათების რეჟიმები

სისტემის სიმულაციისთვის, სინათლის წყაროდ გამოყენებულია შუქდიოდი LED L1300-66-60. ის ასხივებს 1300 ნმ ტალღის სიგრძეზე, რაც ოპტიმალურია მონაცემების ეფექტური გადაცემისთვის ინფრაწითელი დიაპაზონის სისტემაში. ამ ტალღის სიგრძეს აქვს არაერთი უპირატესობა – თავსებადობა ატმოსფეროს გამჭვირვალობის ფანჯარასთან, ნაკლები ფონური გავლენა, მოხერხებულობა და თავსებადია ოპტიკურ-ბოჭკოვანი ხაზების კავშირის სტანდარტულ აღჭურვილობასთან. სინათლის მიმღებად გამოყენებულია ფოტოდიოდი MTPD3001D1-030, რომელიც ყველაზე მეტად ეფექტურია 1300 ნმ ტალღის სიგრძეზე.

შუქდიოდის მიმართული განათების მუშაობის რეჟიმის დროს ის ქმნის სხივის სინათლის კონას, რომელიც კონცენტრირდება განსაზღვრული მიმართულებით. შუქდიოდის მუშაობის მიმართულ რეჟიმს აქვს უპირატესობა, რადგან იგი უზრუნველყოფს სინათლის მაღალ ინტენსივობას მოცემული მიმართულებით. ეს სასარგებლოა, როდესაც საჭიროა ზუსტი და მიზანმიმართული განათება ან სიგნალების გადაცემა გარკვეულ მანძილზე.

მისაღები სიგნალის ინტენსივობის, კერძოდ, ატმოსფეროს სპექტრული მახასიათებლების გამოთვლა შესაძლებელია ბუგერ-ლამბერტ-ბეერის კანონის გათვალისწინებით. ამ დროს შუქდიოდის გამო-

სხივების სიმძლავრეა $P_g=100$ მგვტ და ფოტოდიოდის შუქმგრძნობიარე ელემენტის ფართობი – $S_g=0.3\text{მმ}^2$. ფოტოდიოდის მიერ მისაღები სიგნალის ინტენსივობის გამოთვლა შესაძლებელია ფორმულით:

$$I = \frac{P_g}{S_g} e^{-\frac{4\pi(1-\tau)d}{\lambda}} S_g \quad (1)$$

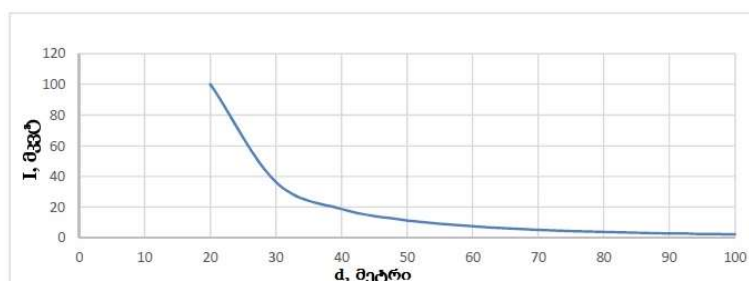
შუქდიოდის სიგნალის გაფანტული გავრცელების რეჟიმის შემთხვევაში შუქდიოდის გამოსხივებული სინათლე თანაბრად ვრცელდება ყველა მიმართულებით, გამოხატული მიმართულების გარეშე. ამ რეჟიმში, სინათლის ნაკადი არ არის ფოკუსირებული ვიწრო კონუსური ან სხივის სახით, მაგრამ თანაბრად ნაწილდება მთელ სივრცეში, რაც მოსახერხებელია ერთიანი დაფარვის უზრუნველსაყოფად დიდი ტერიტორიების დასაკავშირებლად, მაგალითად, საგამოფენო ცენტრები.

სინათლის გავრცელების გაფანტულ რეჟიმში მისაღები სიგნალის ინტენსივობის გამოთვლა შესაძლებელია ფორმულით:

$$I = \frac{\left(\frac{P_g}{S_g} e^{-\frac{4\pi(1-\tau)d}{\lambda}}\right)}{\pi(d^2-h^2)} S_g, \quad (2)$$

სადაც h არის წყაროს სიმაღლე, d – მანძილი მიმღებამდე, τ – ოპტიკური სიღრმე.

გაფანტულ რეჟიმში მისაღები სიგნალის ინტენსივობის მანძილზე დამოკიდებულების გრაფიკს აქვს მე-3 სურ-ზე წარმოდგენილი სახე.



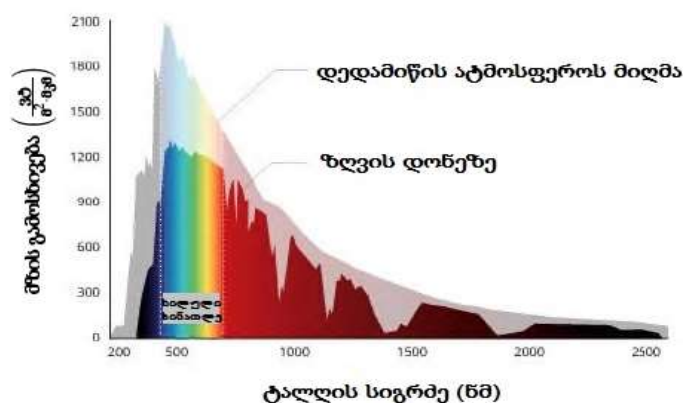
სურ.3. ინტენსივობის დამოკიდებულება მანძილზე

სიგნალის მინიმალური დასაშვები სიმძლავრე, რომელიც შეიძლება დარეგისტრირდეს ფოტოდიოდის მიერ არის 9,77 მკვტ. ეს ნიშნავს, რომ სიგნალის გაფანტული გავრცელების რეჟიმისას ორმოცდაათ მეტრზე მეტ მანძილზე სისტემის მუშაობა უკვე არაეფექტურია.

მზის გამოსხივებამ შეიძლება გავლენა მოახდინოს მისაღები სიგნალის ინტენსივობაზე. მან შეიძ-

ლება გამოიწვიოს მიღებული სიგნალის შესუსტება, მზის ფოტონები ზემოქმედებას ახდენს გადასაცემი სიგნალის ფოტონებზე და შეიძლება შთანთქმას ან გაფანტოს ატმოსფეროში.

მზის გამოსხივების სიმძლავრის ტალღების სიგრძეზე დამოკიდებულების გრაფიკი (ვატებით კვადრატულ მეტრზე) მოცემულია მე-4 სურ-ზე.



სურ.4. მზის გამოსხივების სპექტრი

სურათიდან ჩანს, რომ 1300 ნმ ტალღის სიგრძეზე მზის გამოსხივება $R=300 \frac{\text{ვტ}}{\text{მ}^2 \cdot \text{მკმ}}$.

ფოტოდიოდის მიერ მიღებული მზის სინათლის ჯამური ინტენსივობის გამოთვლის შედეგად, მზის გამოსხივების დამოკიდებულებით ტალღის სიგრძეზე, ფოტომგრძნობიარე ელემენტის ფართობზე და ფოტოდიოდის მგრძნობელობის დიაპაზონის გათვალისწინებით ვიღებთ, რომ სიგნალის ინტენსივობა არის 76,5 მკვტ.

მზის გამოსხივების ინტენსივობა – $I_{\text{ჯამური}}$ ფოტოდიოდის მგრძნობელობის მთელ დიაპაზონში არ იმოქმედებს შუქდიოდის სიგნალის გადაცემაზე მიმართულ რეჟიმში მუშაობისას, ვინაიდან მზის

გამოსხივების ინტენსივობის მნიშვნელობა გაცილებით ნაკლებია სიგნალის ინტენსივობაზე, ხოლო გაფანტული გავრცელების რეჟიმში მზის გამოსხივების მიერ წარმოქმნილი ხელშეშლები მნიშვნელოვანია, 20 მეტრზე მეტ მანძილზე მთლიანად ფარავს შუქდიოდის სიგნალს. მანძილის ზრდასთან ერთად სიგნალის ინტენსივობა მცირდება [5-6]. ჯერჯერობით, Li-Fi ტექნოლოგიის მომავალი კითხვის ნიშნის ქვეშ დგას. მზის სინათლის დიდი რაოდენობის გამო, ტექნოლოგია ღია სივრცეში არ მუშაობს. თუმცა „ჭკვიანი შუშის“ გამოყენების შემთხვევაში შესაძლებელია დღის სინათლის მართვა.

დასკვნა

Li-Fi მონაცემთა გადაცემის ახალი ტექნოლოგია 100-ჯერ გადააჭარბებს Wi-Fi ქსელის მონაცემთა გადაცემის სიჩქარეს. Li-Fi ტექნოლოგიამ მომავალში რადიკალურად უნდა შეცვალოს ბიზნესი. რამდენიმე წელიწადში იგეგმება, რომ ეს ტექნოლოგია გამოყენებული იქნება ფართომასშტაბური კომერციული მიზნებისთვის. Li-Fi ტექნოლოგიის 5G-სთან ერთად გამოყენებამ შესაძლოა ღრმად შეაღწიოს ჩვეულებრივი მომხმარებლის ყოველდღიურ ცხოვრებაში და დაიკავოს თავისი ადგილი ციფრული სერვისების ბაზარზე.

Wi-Fi ვერ დააკმაყოფილებს მობილური მონაცემების გადაცემის მოთხოვნებს, რასაც საგნების ინტერნეტის კონცეფცია აწესებს. ერთ მომხმარებელზე დაახლოებით სამი და მეტი ქსელური მოწყობილობა მოვა. რეალურ მაჩვენებლებში ეს არის დაახლოებით 20,8 მილიარდი კავშირი. თუ ყველა მოწყობილობა გამოიყენებს ერთსა და იმავე Wi-Fi სიხშირეებს, ქსელში წარმოიქმნება ხელშეშლები, რაც უარყოფითად აისახება მონაცემთა გადაცემის სიჩქარეზე. მესამე ათწლეულის მეორე ნახევარში სიტუაცია უფრო დამძიმდება. ეფექტური გამოსავალი შეიძლება იყოს Light Fidelity ტექნოლოგია, რომლის საშუალებითაც ნებისმიერ ადაპტირებულ ნათურას შესაძლებლობა ექნება გაავრცელოს სიგნალი. Grand View Research-ის მიერ კვლევების თანახმად 2024 წელს სინათლის ტექნოლოგიის მონაცემთა გადაცემის ბაზარი გაიზრდება 100 მილიარდ დოლარამდე.

Li-Fi-ს განვითარებისა და პოპულარიზაციის კვლევაში ჩართული მთავარი კომპანიაა PureLiFi, რომელიც დააარსა ჰარალდ ჰაასმა. სხვა კომერციული სტრუქტურებიც დაინტერესებული არიან

ამ ტექნოლოგიით. Li-Fi-ს გამოცდა მოახდინა Beamcaster-მა, მონაცემთა გადაცემის სიჩქარემ მიაღწია 1,25 გიგაბიტი/წმ, კომპანია Sisoft-ის მიერ ჩატარებული გამოცდით მონაცემები გადაიცა 10 გიგაბიტი/წმ-ით.

Li-Fi-ს მონაცემთა გადაცემის დიდი სიჩქარე და Wi-Fi-სთან კომბინაცია უზრუნველყოფს ქსელის გაცილებით უკეთეს მახასიათებლებს, ვიდრე ცალკე აღებული რომელიმე უსადენო ტექნოლოგია. Li-Fi-სა და Wi-Fi-ს შერწყმა მნიშვნელოვნად გააუმჯობესებს უსადენო ლოკალური საკომუნიკაციო ქსელების მუშაობას.

Li-Fi არის ტექნოლოგია, რომელსაც ხშირ შემთხვევაში შეუძლია შეცვალოს Wi-Fi და რადიოსიხშირული კომუნიკაციის სხვა სახეები. ზოგიერთ შემთხვევაში, Li-Fi-ს გამოყენება უფრო უსაფრთხო ალტერნატივა იქნება; სხვა შემთხვევაში, Li-Fi იქნება ერთადერთი მაღალსიჩქარიანი კომუნიკაციის მეთოდი. ვინაიდან Li-Fi არ უშლის ხელს რადიოსიხშირულ მოწყობილობებს, Li-Fi შეიძლება უსაფრთხოდ იყოს გამოყენებული სხვადასხვა სფეროში. შუქდიოდის მუშაობის სხვადასხვა რეჟიმის შერჩევისას უმჯობესია შუქდიოდის მიმართულ რეჟიმში მუშაობის ვარიანტი, რადგან სიგნალის ინტენსივობა უფრო ძლიერია. გაფანტული რეჟიმის შემთხვევაში მანძილის ზრდასთან ერთად სიგნალის ინტენსივობა მცირდება, რადგან მზის სინათლეს აქვს უარყოფითი გავლენა სიგნალის გავრცელებაზე.

Li-Fi-ს აქვს საფუძვლიანი პერსპექტივა იმისა, რომ გამოყენებულ იქნეს ქსელის გარკვეულ უბნებზე და უზრუნველყოს მონაცემთა გადაცემა უსადენოდ, დიდი სიჩქარით, უსაფრთხოდ.

ლიტერატურა

1. Shavgulidze S., & Ugrelidze N. (2021). Wi-Fi: Modern Standards and Development Trends (1st ed.). Georgia, ComCom.
2. Ahmad R., Soltani M. D., Safari M., & Srivastava A., and Das A. (2020). Reinforcement learning based load balancing for hybrid Li-Fi Wi-Fi networks, IEEE Access, 8, 132273–132284.
3. Chassagne L. (2018). Li-fi Network: Opportunities and Prospects, Modern lighting technology, 1, 47-49.
4. Gorozheev M., & Pirogov R. (2023). Prospects for of Li-Fi Technology in the aspect of ensuring information security, A collection of scientific articles, 1, 740-746.
5. Siddique I., Awan Z., Yousaf Khan M., & Mazhar A. (2019). Li-Fi the Next Generation of Wireless Communication through Visible Light Communication (VLC). Technology, International Journal of Scientific Research in Computer Science, Engineering and Information Technology, 5, no 1, 30-37.
6. Solar Radiation (2004) Photosynthetically Active Radiation, Fundamentals of Environmental Measurements, Retrieved March 30, 2024.
<https://www.fondriest.com/environmental-measurements/parameters/weather/photosynthetically-active-radiation/>.

UDC 004.9

SCOPUS CODE 1705

<https://doi.org/10.36073/1512-0996-2024-4-107-118>**Assessment of the influence of sunlight on a network built using Light Fidelity (Li-Fi) technology**

Salome Makharadze	Department of Digital Telecommunication Technologies, Georgian Technical University, Georgia, 0160, Tbilisi, 77, M. Kostava str. E-mail: s.makharadze@gtu.ge
Ia Tskvitinidze	Department of Digital Telecommunication Technologies, Georgian Technical University, Georgia, 0160, Tbilisi, 77, M. Kostava str. E-mail: ia.tskvitinidze@gtu.ge
Tatiana Burkadze	Department of Digital Telecommunication Technologies, Georgian Technical University, Georgia, 0160, Tbilisi, 77, M. Kostava str. E-mail: t.burkadze@gtu.ge
Elvira Bzhinava	Department of Digital Telecommunication Technologies, Georgian Technical University, Georgia, 0160, Tbilisi, 77, M. Kostava str. E-mail: e.bzhinava@gtu.ge

Reviewers:**S. Shavgulidze**, Professor, Faculty of Informatics and Control Systems, GTU

E-mail: s.shavgulidze@gtu.ge

G. Giorgadze, LTD HR Recruitment Agency-Project LTD “Huawei Technologies Co”, RF Engineer

E-mail: giorgadze92@gmail.com

Abstract. In the modern world are many challenges in meeting the increasing demands which is related to the use of wireless technologies, which includes the integration of high and low frequency bands, guaranteed quality of service provision, energy management and others. When using Wi-Fi (Wireless Fidelity), the frequency range allocated for transmitting signals and the number of channels that can be used at the same time are limited, similar problems are excluded, when light is used as the means of transmission. Compared to radio waves, light has an unlimited bandwidth. In this case, the number of channels is more and increases according to the transmitted data. Li-Fi (Light Fidelity) is a wireless form of mobile communication using visible light. This technology provides on both sides high-speed wireless communication using light-emitting diodes. Binary data is transmitted by the light stream. Integrating Li-Fi access points with existing lighting infrastructure creates a dual purpose system, which provides lighting and communication simultaneously. The mentioned system can be considering the impact of sunlight on it, it's possible to determine the transmitted signal's power intensity.

Keywords: LED, Li-Fi; Optical spectrum, Photodetector, Visible light wave, Wi-Fi, Wireless connection.

განხილვის თარიღი 20.05.2024

შემოსვლის თარიღი 24.05.2024

ხელმოწერილია დასაბეჭდად 25.12.2024