

БЕЖИЧНА ДИСТРИБУЦИЈА ПОДАТАКА

Горан Воротовић
Часлав Митровић
Сара Бацић
Јела Буразер
Александар Бенгин
Милош Јанузовић



*Драга госпођо учитељице,
не зачудите се овом писму касном,
подсјетише ме на Вас двије мале птице,
двјије обичне птице на жици телеграфској.*

* * *

Витомир Николић, 1934 – 1994.

Универзитет у Београду
Машински факултет

Горан Воротовић, Часлав Митровић, Сара Бацић,
Јела Буразер, Александар Бенгин, Милош Јанузовић

БЕЖИЧНА ДИСТРИБУЦИЈА ПОДАТАКА

Београд, 2022.

Универзитет у Београду
Машински факултет

др Горан Воротовић, ванр. проф.

др Часлав Митровић, ред. проф.

Сара Баџић, М.Сс.

др Јела Буразер, научни сарадник

др Александар Бенгин, ред. проф.

Милош Јанузовић, М.Сс.

БЕЖИЧНА ДИСТРИБУЦИЈА ПОДАТАКА

– I издање –

Рецензенти:

др Иван Аранђеловић, ред. проф.

др Горан Лазовић, ред. проф.

Илустрација:

Миле Андрић

Техничка обрада:

Владан Трампа

Издавач:

Универзитет у Београду МАШИНСКИ ФАКУЛТЕТ

ул. Краљице Марије 16, Београд

тел. (011) 3370 760 факс. (011) 3370 364

www.mas.bg.ac.rs

За издавача:

Декан, др Владимир Поповић, ред. проф.

Уредник:

др Милан Лечић, ред. проф.

Председник комисије за издавачку делатност Машинског факултета у Београду

Тираж: 150 примерака

Штампање I издања одобрила:

Комисија за издавачку делатност Машинског факултета у Београду и
Декан Машинског факултета одлуком бр. 36/2022 од 02. 11. 2022. године

Штампа: "PLANETA - print", 11000 Београд, www.planeta-print.rs

ISBN 978-86-6060-145-4

Предговор

"Houston, we have a problem" јесте и биће оксиморон модерног начина комуникације у критичним тренуцима мисија које дефинишу људско битисање у космосу. Претходна реченица упућена са мисије Аполо 13 јесте суштина бежичних комуникација које је човечанство до данашњих дана остварило. Телеметрија као примарни циљ како бежичне, тако и вербалне комуникације у општем смислу изражава тежњу за комуникацијом која надвладава простор, а и време као константу универзума.

Материјал који следи јесте скроман допринос и пресек постојећих технологија бежичне дистрибуције података посебно са становишта WiFi технологије, сателитских комуникација, РАН мрежа и практичне употребе истих.

Предметни материјал је у протеклих 15 година изучаван на Машинском факултету Универзитета у Београду на Модулу за машинство и информационе технологије Катедре за Ваздухопловство у оквиру предмета Рачунарске мреже где је према представљеном намењен за студенте који у оквиру највеће гране технике "машинство" изучавају предметну проблематику.

Бежичне комуникације као део свакодневнице модерног друштва захваљујући Тесли и Марконију представљају основу даљег развоја и сугеришу да је ову проблематику захвално обрадити студентима машинства и широј стручној јавности а све у циљу разумевања и популаризације бежичне дистрибуције података као целине.

У Београду, новембра 2022. године

Аутори

Садржај

1	Увод	1
2	Појам бежичне комуникације	3
2.1	Употреба бежичне комуникације	3
2.2	Историјски развој	4
2.3	Основни елементи у бежичној комуникацији	5
2.4	Преносни пут	6
2.5	Канал	6
2.6	Пут пријема	7
3	Електромагнетни талас	9
3.1	Спектар електромагнетног таласа	10
4	Сателитски комуникациони систем	15
4.1	Сателитска орбита	16
4.2	Геостационарна орбита – GEO сателити	18
4.3	Средње земаљска орбита – МЕО сателити	19
4.4	Ниска земаљска орбита – LEO сателити	20
4.5	Глобални систем за позиционирање	20
4.6	Компоненте GPS система	22
4.6.1	Космички (Свемирски) сегмент	22
4.6.2	Контролни сегмент	23
4.6.3	Кориснички сегмент	26
4.7	Технике позиционирања локације	26
4.7.1	Триангулација	27
4.7.2	Мултилатерација	28
4.8	Одређивање позиције корисника	29
4.9	Грешке GPS позиционирања	31
4.9.1	Грешке које потичу са сателита	31
4.9.2	Грешке које потичу од пријемника	33
4.9.3	Грешке кретања сигнала, атмосферски ефекат	33

4.10	Тачност позиционирања	34
4.10.1	Хоризонтална и вертикална тачност	35
4.10.2	Избор сателита и расипање прецизности (DOP) Из доктората	36
4.10.3	Типичан прорачун GDOP	40
4.11	Време и ГПС	40
4.11.1	Генерисање усаглашеног универзалног времена (УТЦ)	40
4.11.2	Прорачун позиције без укључења грешака	42
4.11.3	Прорачун брзине без укључења грешака	44
5	Бежична локална рачунарска мрежа	47
5.1	Стандард IEEE 802.11.	48
5.2	Архитектура WLAN-а	48
5.2.1	Инфраструктурни режим	49
5.2.2	Ad hoc режим	50
5.3	Слојеви стандарда 802.11	51
5.3.1	Физички слој	52
5.3.2	FHSS	52
5.3.3	DSSS	53
5.3.4	IR	55
5.3.5	OFDM	55
5.3.6	Слој података везе	56
5.3.7	MAC оквир	57
5.3.8	Протоколи MAC подслоја	58
5.3.9	Дистрибуиране координационе функције	59
5.3.10	Централизоване координационе функције	61
5.4	Остали стандарди	62
5.4.1	IEEE 802.11b	62
5.4.2	IEEE 802.11a	63
5.4.3	IEEE 802.11g	64
5.4.4	IEEE 802.11n	65
5.4.5	IEEE 802.11ac	67
5.4.6	IEEE 802.11ad	69
5.4.7	IEEE 802.11af	69
5.4.8	IEEE 802.11ah	70
5.4.9	IEEE 802.11ax	70
6	Бежичне персоналне мреже	71
6.1	Bluetooth	71
6.2	Архитектура Bluetooth мреже	71
6.3	Умрежавање	73

6.4	Формат пакет	75
6.5	Протоколи	77
6.5.1	Транспорт Протокол група	78
6.5.2	Радио слој	79
6.5.3	Основни слој	79
6.5.4	Управљач везом	80
6.5.5	Логичка контрола везе и адаптација	80
6.5.6	Интерфејс хост контролера	81
6.5.7	Middleware Протокол	81
6.5.8	Емулатор серијског порта	81
6.5.9	Пакетно базиране TCS	82
6.5.10	Протокол откривања услуга	82
6.6	Верзије Bluetooth-а	82
6.6.1	Bluetooth Classic	82
6.6.2	Bluetooth 4 и Bluetooth 5	83
7	Развој мобилних технологија	85
7.1	Прва генерација мобилних технологија - 1G	85
7.2	Друга генерација мобилних технологија – 2G	86
7.3	Трећа генерација мобилних технологија – 3G	87
7.4	Четврта генерација мобилних технологија – 4G	88
7.5	Пета генерација мобилних технологија – 5G	89
7.5.1	Архитектура 5G мреже	93
8	Примена бежичних мрежа у машинству	95
8.1	Аквизиција	96
8.2	Мехатронска анализа	97
8.3	Основна телеметријска компонента	99
8.4	Тест	100
	Литература	100

Увод

Бежичне технологије су постале једно од најзанимљивијих подручја у рачунарској техници и комуникацијама. Реч је о технологији која се најбрже развија и у коју се у будућности полаже пуно наде. Са једне стране, оне су постале предмет великог интересовања произвођача и корисника, а са друге стране, велики број организација које се баве стандардизацијом као и велики број истраживача који су стално давали и дају допринос на овом пољу, условио је да се ова технологија јако брзо мењала и развијала великом брзином. Телијски системи су доживели експоненцијални раст током последње деценије, а тренутно широм света постоји око две милијарде корисника. Мобилни телефони су постали неопходно пословно средство и део свакодневног живота. Многе нове апликације, укључујући бежичне сензорске мреже, аутоматизоване фабрике, паметне куће и уређаје, појављују се од истраживачких идеја до конкретних система. Развијено је јако много бежичних технологија које су омогућиле све веће брзине и све сигурнији пренос сигнала бежичним путем. Бежично повезивање великог броја уређаја постала је свакодневница и неопходна потреба. Срећемо га свуда: у хотелима, школама, факултетима, у индустрији, канцеларијама, јавним објектима као и на другим јавним местима. Као главни медијум који служи за пренос информација користи се ваздух или безваздушни простор по коме се на принципу електромагнетних таласа врши простирање сигнала. Основна идеја код бежичног преноса је да се изврши одговарајућа модулација информација које се преносе, које се сада путем одређене фреквенције преносе до другог бежичног уређаја.

Појам бежичне комуникације

Медијум који се користи за ширење сигнала може бити вођени и неупућени медијум. Вођени медијум нуди физичку путању, дуж које се сигнал шири (нпр. везе оптичких каблова, коаксијални каблови итд.). С друге стране, неупућени медијум нема такав физички пут и сигнал се шири кроз отворен простор. Отворени простор дозвољава ширење сигнала, али не води сигнал. Овај облик комуникације се назива бежична комуникација. У бежичној комуникацији два краја (предајник и пријемник) нису повезана било којом жицом или каблом, али су нужно потребне антене. Антена трансформише електричне сигнале у електромагнетне таласе и обратно. Дакле, бежична комуникација, пренос и пријем сигнала остварују се помоћу антена. Пошто је медијум отворен простор, овакав вид комуникације има висок степен несигурности. Стога је одређивање снаге преносног сигнала у бежичној комуникацији много теже у поређењу с жичаном комуникацијом [1, 2].

Бежична комуникација обухвата различите уређаје и системе са различитим услугама/апликацијама и мрежама. Много услуга попут преноса гласа и података, приступа Интернету и видео конференцијама, размењивање порука, управљање залихама, здравствена заштита и дистрибуирана контрола доступни су данас захваљујући бежичној комуникацији [1].

2.1 Употреба бежичне комуникације

Бежична комуникација постаје све популарнија због флексибилности и мобилности коју нуди. Омогућује већу флексибилност у имплементацији и пружању услуга. Може бити доступна кадгод и гдегод је то потребно. Мобилност је главна предност бежичне комуникације, стога број претплатника и пружаоца услуга бежичне комуникације све више расте. Бежичне комуникације су јефтиније и њихово инсталирање је брже него код жичаних комуникација [1, 2].

Бежичне комуникације нуде неколико предности у односу на жичану комуникацију, али је потребно размотрити неколико важних аспеката бежичне комуникације. Највећи проблем је ширење сигнала у отвореном простору [1].

Бежични сигнал је веома склон сметњама због присуства других преноса у близини. Осим буке и сметњи, остали ефекти ширења (попут слабљења сигнала)

у бежичној комуникацији имају тенденцију да бежични пренос флукутирају, изобличе и деградирају у широком опсегу. Због тога је бежична комуникација много неповољнија у поређењу са жичаном комуникацијом. Ово доводи до ниског квалитета примљеног сигнала, што резултира перформансама високе брзине грешке (енг. Bit Error Rate - BER). Снага сигнала у бежичној комуникацији опада много брже, јер се шири дужином у односу на жичану комуникацију. Практично, у погледу поузданости и перформанси брзине преноса података, бежична комуникација једноставно не може бити конкуренција жичаној комуникацији. Међутим, друге предности бежичне комуникације, као што су практичност, флексибилност и мобилност, обично је чине преферираним избором комуникације. Разматрање дизајна за бежични комуникациони систем разликује се од система жичане комуникације, углавном због природе бежичног канала, што повећава сложеност у дизајну бежичних система. Одређени систем бежичне комуникације функционише преко одређеног фреквенцијског опсега[1].

Учестаност се сматра оскудним ресурсом. Ово је својеврсно ограничење бежичне комуникације. У бежичној комуникацији сигурност је такође битна брига. Захваљујући отвореном простору као медијумом, врло је склоно пресретању и изложености безбедносним претњама[1, 3].

Тренутно постоји све већа забринутост за биолошке утицаје ширења бежичног сигнала. Радиофреквентно зрачење велике снаге има штетне биолошке ефекте. Стално излагање зрачењу при ниском нивоу енергије такође може да изазову штетне ефекте и опасност по здравље. Због тога је постало важно утврдити подношљиви ниво непрекидног преноса бежичних сигнала. Тренутно су у току студије специфичне брзине апсорпције (енг. Specific Absorption Rate - SAR), а односи се на количину радиофреквентног зрачења подношљивим у људским ткивима [1, 3].

2.2 Историјски развој

Модерна ера бежичних комуникација почиње са математичком теоријом електромагнетних таласа коју је формулисао James Clark Maxwell. Он је објаснио да се електромагнетни талас формира из различитих електричних и магнетних поља, где убрзани набој ствара магнетно поље у зависности од времена, што заузврат производи временско променљиво електрично поље. У његову част, скуп једначина који се односи на постојање и ширење електромагнетног таласа познате су као Максвелове једначине [1, 4].

Постојање ових таласа је касније демонстрирао Heinrich Hertz, 1887. године, када је по први пут радио предајник генерисао варницу у пријемнику постављеном на удаљеност од само неколико метара. У његову част, SI фреквенцијска јединица назива се Hertz (Hz) [1, 4].

1894. године Jagadish Chandra Bose запалио је барут и зазвонио звоно на даљину

користећи електромагнетни талас (у милиметарској таласној дужини), на јавној демонстрацији у Калкути (Индија). Успешно је могао да произведе електромагнетне таласе таласне дужине у распону од 5 mm до 25 mm. Oliver Lodge је демонстрирао бежичну комуникацију на малој удаљености (150 m), на основу рада Maxwell-a и Hertz-a [1].

Никола Тесла је први приказао могућности електромагнетних таласа за пренос информација. Ипак, Guglielmo Marconi је познат као проналазач бежичног преноса, јер је први успео да 1895. године јавности прикаже пренос информација на даљину бежичним путем користећи дуготаласне преносе са врло великом снагом преноса. Открио је да ако је један од терминала варнице повезан на антену, а други терминал уземљен, тада се ствара електромагнетни талас који може ићи и до неколико километара. Од тада су бежичне комуникације бележиле стални напредак, али све до 1920. године, на овај начин, преношен је само Морзеоов код од 1901. године. Након преноса радио сигнала, 1920. године, и телевизијског сигнала 1929. године, уследиле су различити развоји мобилне телефоније. Лансирањем првог сателита почела је ера истраживања свемира и ера сателитских комуникација [1, 4, 5].

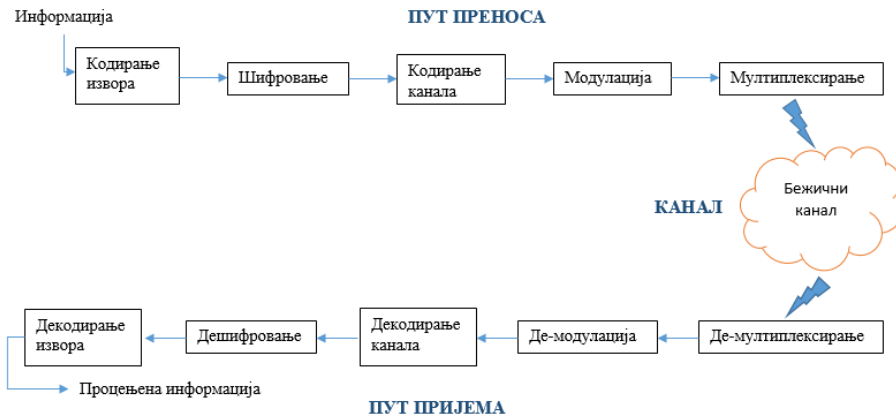
На самом почетку развоја бежичних комуникација, овај вид преноса података био је доступан само појединцима или специјалним службама (војска и полиција), а данас је незаобилазни део живота сваког човека. Интернет комуникација у току путовања, коришћење мобилног телефона за проверу банковних рачуна или даљинског плаћања, дељење посебних тренутака из нашег живота слањем фотографија или видео садржаја, само су неке од примена бежичних комуникација. Данас, човек има сталну потребу за већом количином података, за већом брзином преноса, што бољим квалитетом свих сервиса који му се пружају кроз бежичне мреже. Поред тога увек је присутна и тежња за смањењем цене сервиса, чиме би бежични сервис били доступни све већем броју људи. Данас се бежичне технологије састоје од мноштво стандарда и апликација који су настали у последњој деценији [1].

2.3 Основни елементи у бежичној комуникацији

У систему бежичне комуникације обично постоје три основна елемента, предајник, канал и пријемник [1, 3]. На слици 2.1 је приказан типични облик дијаграма за бежичне комуникације. Горња половина на слици приказује знак пута преноса и доња половина показује путању пријема. Пут преноса користи кодирање извора, шифрирање, кодирање канала, модулацију и мултиплекс (вишеструки приступ). Обрнуте операције се изводе на путу пријемника, који користи мултиплекс, демодулацију, декодирање канала и декодирање извора. Сигнал се преноси путем бежичног канала, а на крају пријемника се добија пренесени сигнал.

Сигнал који се преноси у бежичном каналу може бити аналогни или дигитални, и може се преносити редоследно или паралелно. Обрада бежичног сигнала може

се обављати у реалном времену или не. Преноси у бежичним мрежама могу бити једносмерни или двосмерни. Емитовање је пример једносмерног преноса, при чему у подручју покривања предајника сваки пријемник може примити пренос. Двосмерна комуникација обично формира бежичне мреже, где више корисника може разменити информације, делујући као предајник или пријемник наизменично [1].



Слика 2.1: Типичан облик дијаграма у бежичној комуникацији.

2.4 Преносни пут

Одашиљач преузима сигнал који носи сигнал произведен од извора информација и модификује га у облик погодан за пренос преко канала. Кодер претвара изворне информације у облик погодан за обраду сигнала. Циљ му је уклањање сувишних бита из информација, тако да се може користити минимални системски ресурс. Шифрирање се користи за пружање сигурности спречавањем неовлашћеног приступа и подржавањем приватности у комуникацији. Кодирање канала се бави техникама да сигнал постане отпорнији на оштећења канала (бука, сметње, слабљење...). Модулација пресликава сигнал поруче на таласне форме погодне за пребацивање података. Употребљава се маханизам вишеструког приступа како би се осигурало да више корисника дели ресурсе са минималним сметњама у фреквенцији, мање снаге, простора и кода. Овај поступак је неопходан у окружењу са више корисника, где је потребно приступити сваком кориснику појединачно, као што је мобилна (ћелијска) комуникација [1, 3].

2.5 Канал

Канал у бежичној комуникацији означава медијум кроз који пренесени сигнал доспева до пријемника. Бежични канал је по природи веома променљив и случајан.

Често показује варијације у времену и/или фреквенцији. У каналу мањег опсега, осим шума и сметњи, сигнал се може подвргнути вишеструким рефлексјама, распршењу, дифракцији и сенци, што резултира флукуацијама амплитуде. Постоји велика вероватноћа да се сигнал може примити са грешком и у искривљеном облику. То отежава предвиђање примљеног сигнала. Ово је главни извор разлике између жичне и безжичне комуникације [1, 3].

2.6 Пут пријема

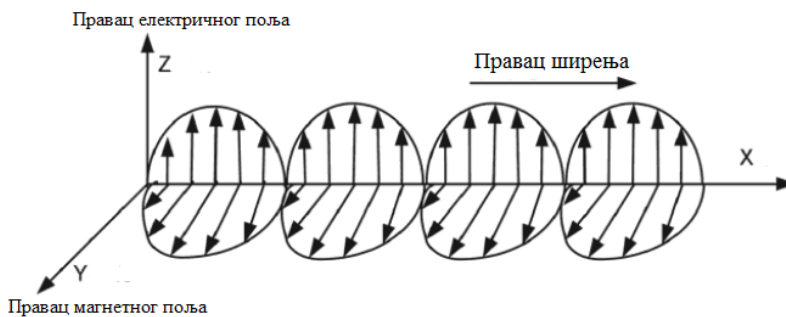
Пријемник прикупља сигнал који пролази кроз канал. Његов циљ је да одреди блиску процену одашиљаног сигнала. У безжичној комуникацији, пријемник мора непрестано процењивати временски различиту природу канала, како би направио приближну процену пренесеног сигнала. Мора да одржава сихорнизацију (и временску и фреквенцијску) под брзо променљивим условима канала [1].

На путу пријема, шема вишеструког приступа осигурава да се сигнал усмери према предвиђеном пријемнику. Демодулација мапира канал, оштећен примљени таласни облик да би се вратио пренесени сигнал. Понекад се термини демодулације и детекције употребљавају наизменично. Демодулација подразумева опоравак сигнала поруке из примљеног облика таласа, а детекција подразумева доношење одлуке да се произведе тачна секвенца бита. Секвенца се шаље у декодер канала, који уклања сувишне битове. Дешифрирање претвара шифрирани низ битова у обичан низ битова. Декодер извора коначно даје примљени излаз као процену послатих информација. Разлика у облику између процене и изворно пренетих информација сматра се изобличењем које канал уноси [1, 3].

Електромагнетни талас

Електромагнетни таласи се користе за пренос сигнала у бежичној комуникацији, што се математички може описати коришћењем Maxwell-ове једначине. Maxwell је представио теоријско објашњење електромагнетног таласа и Hertz га је експериментално потврдио у лабораторијским условима [1].

Електромагнетни талас се састоји од синусоидног времена које варира електричним и магнетним пољем, а која пак, делују под правим углом да би се слагали са другим, а правац ширења електромагнетног таласа је под правим углом у односу на обоје. На слици 3.1 је приказано простирање електромагнетног таласа у координатном систему [1].



Слика 3.1: Простирање електромагнетног таласа.

Вектор електричног поља E је дуж осе z , а вектор магнетног поља H дуж осе y . Смер у којем се електромагнетни талас шири је у смеру вектора $E \times H$ (тј. дуж осе x). Електромагнетни талас је попречан, јер су осцилације у електричном и магнетном пољу окомите на смер ширења. Енергија је подељена подједнако између оба поља [1].

Показивачки вектор електромагнетног таласа се дефинише као количина енергије коју емитује електромагнетни талас у секунди по јединици површине. Импулс електромагнетног таласа дефинисан је као однос између просечне густине енергије и брзине електромагнетног таласа у слободном простору. Због овог импулса, када електромагнетни талас удари у површину, на њега се врши притисак [1].

Електромагнетни талас настаје убрзаним наелектрисањем. Амплитуде електричног и магнетног поља су истовремено са истим магнитудама, па је однос амплитуда електричног и магнетног поља једнак брзини електромагнетног таласа. Брзина електромагнетног таласа у слободном простору (тј. у вакууму) изражена је као:

$$c = \frac{1}{\sqrt{\mu_o \varepsilon_o}}, \quad (3.1)$$

где су $\mu_o = 4\pi \times 10^{-10} \text{ H/m}$ и $\varepsilon_o = \frac{1}{36\pi} \times 10^{-9} \text{ F/m}$ апсолутна диелектрична константа и апсолутна магнетна пермабилност (пропустљивост) слободног простора. Брзина електромагнетног таласа у слободном простору једнака је брзини светлости у слободном простору ($3 \times 10^8 \text{ m/s}$) [1, 6].

Брзина простирања таласа у некој средини која није вакуум представљена је једначином:

$$v = \frac{1}{\mu\varepsilon}, \quad (3.2)$$

при чему су μ и ε диелектрична константа и магнетна пермабилност те средине [1].

Количник брзине светлости у вакууму и брзине светлости у посматраној средини назива се индекс рефракције (преламање) те средине:

$$n = \frac{c}{v} = \sqrt{\frac{\mu\varepsilon}{\mu_o\varepsilon_o}} = \sqrt{\mu_r\varepsilon_r}, \quad (3.3)$$

где су $\mu_r = \frac{\mu}{\mu_o}$ и $\varepsilon_r = \frac{\varepsilon}{\varepsilon_o}$ релативна диелектрична константа и релативна пермабилност материјалног медијума [1]. Релативна диелектрична константа материјала показује колико је пута електрично поље јаче у некој средини него у вакууму. Релативна магнетна пермабилност средине или материјала која показује колико је пута магнетна индукција у некој средини већа у тој средини него у вакууму [7].

3.1 Спектар електромагнетног таласа

Основни принцип бежичне комуникације је пренос електромагнетног таласа између предајника и пријемника. За сигнале су карактеристичне њихове фреквенције које користе. Вишеструки сигнали или шумови исте фреквенције узроковаће сметње на пријемнику. Да би се избегле сметње, разне бежичне технологије користе различите фреквентне опсеге са добро контролисаном снагом сигнала, који су делови такозваног фреквенцијског спектра. Владе земаља широм света строго регулишу фреквентни спектар као оскудни јавни ресурс. У Сједињеним Државама, Федерална комисија за комуникације (FCC) је одговорна за регулисање цивилне

радиодифузне и електронске комуникације, укључујући употребу фреквенцијског спектра, а Национална управа за телекомуникације и информације (NITA) управља фреквенцијском употребом савезне владе. У Европи се фреквенцијским спектром управља на националној основи, а чланице Европске уније (EU) координирају путем Европске конференције поштанских и телекомуникационих администрација (ЕСРТ) и Одбора за електронске комуникације (ЕСС). Разноврсност регулација бежичне комуникације широм света разумљиво је тешко усагласити из различитих технолошких, економских и политичких разлога. У том циљу, Међународна унија за телекомуникације (ITU) формирана је као међународна организација Уједињених нација. ITU омогућава владама и приватном сектору да координирају развој телекомуникационих система, услуга и стандарда. У скоро свим земљама, делови фреквенцијског спектра означени су као „нелиценцирани“, што значи да за бежичне системе који раде у тим опсезима није потребна владина дозвола. У ствари, од произвођача бежичних система и пружалаца услуга се тражи да од регулаторних тела добију лиценцу за фреквенцијски опсег или прибегавају коришћењу нелиценцираног спектра. У оба случаја, емитована снага бежичних система мора бити у складу са ограничењима снаге која су повезана са предметним прописима. Поред тога, алокација фреквенције неке земље може се временом мењати [8].

Ради практичности, цео електромагнетни спектар је широко категорисан као радио и оптички спектар. Радијски спектар се шири од 3 kHz до 300 GHz и укључује разне опсеге: екстремно ниска фреквенција (Extremely Low Frequency - ELF), веома ниска фреквенција (Very Low Frequency - VLF), ниска фреквенција (Low Frequency - LF), средња фреквенција (Medium Frequency - MF), висока фреквенција (High Frequency - HF), врло висока фреквенција (Very High Frequency - VHF), ултра висока фреквенција (Ultra High Frequency - UHF), супер висока фреквенција (Super High Frequency - SHF) и изузетно висока фреквенција (Extremely High Frequency - EHF). Оптички спектар укључује инфрацрвени, видљиви фреквенцијски опсег, ултраљубичасти, X-зраке, гама и космичке зраке [1].

Таласна дужина и фреквенција електромагнетног зрачења су повезани брзином светлости, тако да је таласна дужина једнака односу брзине светлости и фреквенције, односно таласна дужина у метрима једнака је количнику 300 и фреквенције у MHz [1, 8].

Опсег фреквенција и одговарајуће таласне дужине различитих опсега унутар радио и оптичког спектра наведени су у табели 3.1 [9] и табели 3.2 [1], односно оптички спектар укључује електромагнетне таласе који путују од Сунца до Земље.

Видљиви део је само мали део оптичког спектра. Ултраљубичасте, рендгенске, гама и космичке зраке људско око не може видети. Инфрацрвена веза се може користити за бежичну комуникацију која је близу видљивог региона и има бројне карактеристике сличне видљивом електромагнетном таласу. Па зато нуди низак

Табела 3.1: Фреквенце и опсег таласне дужине у радио спектру.

Спектар	Ранг фреквенције	Опсег таласне дужине
Екстремно ниска фреквенција	3 kHz	$\lambda > 100 \text{ km}$
Врло ниска фреквенција	3 – 30 kHz	$10 \text{ km} \leq \lambda < 100 \text{ km}$
Ниска фреквенција	30 – 300 kHz	$1 \text{ km} \leq \lambda < 10 \text{ km}$
Средња фреквенција	300 kHz – 3 Hz	$100 \text{ m} \leq \lambda < 1 \text{ km}$
Висока фреквенција	3 Hz – 30 Hz	$10 \text{ m} \leq \lambda < 100 \text{ m}$
Врло висока фреквенција	30 Hz – 300 Hz	$1 \text{ m} \leq \lambda < 10 \text{ m}$
Ултрависока фреквенција	300 MHz – 3 GHz	$10 \text{ cm} \leq \lambda < 1 \text{ m}$
Супер висока фреквенција	3 GHz – 30 GHz	$1 \text{ cm} \leq \lambda < 10 \text{ cm}$
Изузетно висока фреквенција	30 GHz – 300 GHz	$1 \text{ mm} \leq \lambda < 10 \text{ mm}$

Табела 3.2: Фреквенце и опсег таласне дужине у оптичком спектру.

Спектар	Ранг фреквенције	Опсег таласне дужине
Инфрацрвени	$3 \times 10^{11} - 4 \times 10^{14}$	$1 \text{ mm} - 0.75 \times 10^{-2} \text{ mm}$
Видљиви	$4 \times 10^{14} - 8 \times 10^{14}$	$0.75 \times 10^{-2} \text{ mm} - 0.375 \times 10^{-2} \text{ mm}$
Ултраљубичасти	$8 \times 10^{14} - 8 \times 10^{16}$	$0.375 \times 10^{-2} \text{ mm} - 0.375 \times 10^{-4} \text{ mm}$
X-зрак	$8 \times 10^{16} - 3 \times 10^{19}$	$0.375 \times 10^{-4} \text{ mm} - 10^{-8} \text{ mm}$
Гамма-зрак	$3 \times 10^{19} - 5 \times 10^{20}$	$10^{-8} \text{ mm} - 0.6 \times 10^{-9} \text{ mm}$
Космички зрак	$> 5 \times 10^{20}$	$< 0.6 \times 10^{-9} \text{ mm}$

распон, не може да продре кроз зидове и зато остаје ограничен унутар простора. Инфрацрвено коришћење захтева ширење директне линије вида (LOS), али у неким случајевима је могућа и дифузна комуникација. Дифузна комуникација зависи од рефлексивних инфрацрвених сигнала [1].

За инфрацрвену везу су потребни емитер и детектор. Обично се као емитер користи ласерска диода или светлећа диода (LED). Инфрацрвена веза користи модулацију интензитета за пренос. Фреквенције у радио спектру, радио талас је појам који се обично користи да укључује фреквенције од 20 kHz до 300 GHz. Унутар радио таласа сматра се да се микроталасне фреквенције шире од 300 MHz до 300 GHz. Милиметарски талас у подручју микроталасне фреквенције шири се од 40 GHz до 300 GHz. Радио таласи могу да продру у предмет и могу да путују на већој удаљености, за разлику од инфрацрвеног. Микроталасне фреквенције упућују на тачку комуникације. Радио талас сматра се да почиње на 20 kHz [1]. Неке типичне карактеристике и примене радио таласа су наведене у наставку [1, 9, 10].

VLF подржава веома дуго ширење таласа, показује високу атмосферску буку и пригушење дуж површине земље. Користи се за радионавигациони систем, поморски командни ситем, међуконтиненталну радио-телеграфију и електротермију (индукационо загревање око 10 kHz).

LF по карактеристикама ширења је врло слично VFL, али су мање поуздани. Поред тога што се користе за радионавигационе системе и електротермију користе се и за радиокомуникације.

MF излаже значајну количину атмосферске буке и показује слабо пригушење током

Табела 3.3: IEEE фреквенцијског опсега.

Спектар	Ранг фреквенције	Опсег таласне дужине
HF	3 MHz – 30 MHz	100 m – 10 m
VHF	30 MHz – 300 MHz	10 m – 1 m
UHF	300 MHz – 1 GHz	1 m – 30 cm
L-band	1 GHz – 2 GHz	30 cm – 15 cm
S-band	2 GHz – 4 GHz	15 m – 7.5 cm
C-band	4 GHz – 8 GHz	7.5 cm – 3.75 cm
X-band	8 GHz – 12 GHz	3.75 cm – 2.5 cm
Ku-band	12 GHz – 18 GHz	2.5 cm – 1.67 cm
K-band	18 GHz – 26 GHz	1.67 cm – 1.15 cm
Ka-band	26 GHz – 40 GHz	1.15 cm – 0.75 cm
Millimeter wave	40 GHz – 300 GHz	0.75 cm – 1 mm
Sub-millimeter wave	> 300 GHz	< 1 mm

ноћи и велико пригушење током дана. Обично се користи за радио-емитовање средњег таласа (нпр. 520 – 1605.5 kHz). Поред тога користи се за остваривање радио везе у поморској мобилној служби (радио везе бродовима) и поморској фиксној служби (лучне радио везе).

HF излаже ниску атмосферску буку и показује својство рефлексије из иносфере. Обично се користи за радиоemisију кратког таласа (нпр. 5.9 – 26.1 MHz). Такође се користи за поморски радио, аматерски радио, војну комуникацију, ваздухопловство и бродску комуникацију. Користи се још и за диелектричко загревање (загревање и сушење дрвета, текстила, лепљење пластичних маса и др.), полимеризацију и рдиоастрономију.

VHF показује карактеристике ширења готово видне линије (LOS). Не одржава се из иносфере. Користи се у конвенционалном аналагном ТВ-у (174 – 230 MHz), FM преносу (87.5 – 108 MHz) радионавигацији и медицинској дијагностици (урађаји за магнетну резонанцу).

UHF такође показује карактеристике видне линије ширења. Фреквенцијски опсег на 800 MHz сматра се најприкладнијим за целуларну мобилну комуникацију, јер има довољно кратке таласе дужине, лако се одржава и има теденцију да показује линију карактеристике ширења. Користи се у конвенционалном аналагном ТВ-у (470 – 790 MHz), телекомуникацији, комуникационим системима у радионавигацији, радарској комуникацији, микроталасним везама, прехранбеној индустрији и личним комуникацијским услугама.

SHF такође показује карактеристике видне линије ширења вида. Међутим, има таласне дужине довољно кратке да их знатно ослабе кишне капи (обично за фреквенције веће од 10 GHz). Користи се за сателитску комуникацију, радарску комуникацију и микроталасне везе.

EHF показује карактеристике ширења готово сличне SHF. Користи се за радарске експерименте, нуклеарну физику и технологију, истраживање космоса и сателитске

комуникације.

Институт инжењера електротехике и електронике (IEEE - Institute of Electrical and Electronics Engineers) даје фреквенцијеске опсеге који су представљени у табели 3.3. Ова класификација углавном укључује фреквенцијски опсег који се користи у практичне сврхе бежичне комуникације [1].

За бежичну комуникацију, употребљиви фреквенцијски спектар чини врло мали део електромагнетног спектра. Сматра се да је фреквенцијски спектар за бежичну комуникацију оскудан. Стога, иако је природни ресурс, коришћење фреквенцијског спектра је регулисан на међународном нивоу и унутар земље. Регулатори дају дозволу у облику лиценце да користе контролу за избор технологије, услуге и апликације и име постану одговорни за управљање одређеним опсегом фреквенцијског спектра [1].

ИЗВОДИ ИЗ РЕЦЕНЗИЈА

У публикацији је детаљно описан процес дистрибуције података „безичним“ путем. На логичан и разумљив начин аутори пажљиво уводе читаоца у простор безичне дистрибуције података посебно са теоретског, и посебно са практичног аспекта. У публикацији је детаљно објашњена дистрибуција података у складу са историјским развојем безичних комуникација. Дат је посебан осврт на сателитске комуникације као и на безичне локалне и глобалне рачунарске мреже. Аутори су на јасан и читљив начин описали актуелне стандарде безичних мрежа са посебним освртом на физичке слојеве који подразумевају комбинацију хардверских и софтверских компоненти. Сходно претходном описани су и остали стандарди који представљају „кичму“ безичних комуникација на данашњи дан. Аутори су се осврнули и на проблематику персоналних безичних мрежа где су на јасан и недвосмислен начин описали начин функционисања истих које се примењују у свакодневном животу. Описивањем генерација развоја мобилних технологија, аутори су јасно указали на значај 5G мрежа посебно са аспекта коришћења истих у машинству као највећој области технике.

проф. др Иван Аранђеловић
проф. др Горан Лазовић