

13. Бежичне рачунарске мреже

Бежичне рачунарске мреже предмет су великог интересовања произвођача, организација које се баве стандардизацијом и корисника. У зависности од растојања (као што је и код кабловских мрежа случај) оне су категоризоване у четири групе: бежичне личне мреже WPAN¹, бежичне локалне рачунарске мреже WLAN², бежичне рачунарске мреже градских подручја WMAN³ и бежичне рачунарске мреже ширих географских подручја WWAN⁴. Многе организације баве се стандардизацијом рачунарских мрежа нпр.: IEEE, ETSI⁵, ANSI, ISO, 3GPP⁶... Другу групу представљају регулаторна тела (нпр. FCC⁷, ETSI) која дефинишу стандарде везане за коришћење радио медијума. Трећу групу представљају асоцијације произвођача као што су на пример WiFi⁸ Alliance, WiMax⁹ Forum и Bluetooth SIG¹⁰. Намена ових асоцијација је да промовишу и сертификају могућност међусобног рада производа који су добили њихове сертификате. На слици 13.1 дат је приказ опсега брзина и растојања која покривају производи по стандардима, за које ове организације дају одговарајуће сертификате.

Слика 13.1 Домет и брзине IEEE802 серије стандарда

13.1 Бежичне локалне рачунарске мреже

Први експеримент бежичног повезивања рачунара реализован је 1970. године у лабораторијама IBM-а у Швајцарској. Та рачунарска мрежа заснивала се на преносу у инфрацрвеном¹¹ делу спектра. Исте године и Hewlett-Packard оформио је своју бежичну рачунарску мрежу користећи радио-таласе. Брзине које су достигнуте биле су 100kb/sec, али ниједан од тих производа није доживео комерцијалну примену.

Развој бежичних мрежа наставља се 1985. год. пошто је FCC одобрио коришћење опсега радио фреквенцијског спектра без посебних дозвола за потребе индустрије, научних

¹ *Wireless Personal Area Network*

² *Wireless Local Area Network*

³ *Wireless Metropolitan Area Network*

⁴ *Wireless Wide Area Network*

⁵ *European Telecommunication Standard Institute* - Европски институт за стандарде у телекомуникацијама.

⁶ *Third Generation Partnership Project* - усмерена је на стандарде у целуларним и мобилним системима треће генерације

⁷ *Federal Communications Commission* - Федерални комитет за комуникације Сједињених Америчких држава.

⁸ *Wireless Fidelity* - опрема која има ознаку WiFi је прошла тестове који указују њену усаглашеност са стандардима серије 802.11

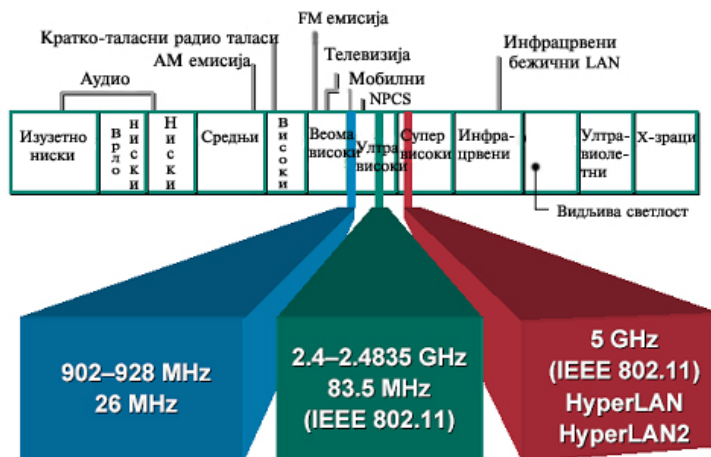
⁹ *Worldwide Interoperability for Microwave Access*. WiMax није технологија већ сертификат (потврда) да је та опрема прошла тестирање о усаглашености и могућности међусобног рада а у складу са скупом стандарда IEEE802.16.

¹⁰ *Special Interest Group*

¹¹ *Infra Red*

Бежичне рачунарске мреже

истраживања и медицине ISM¹. Овај опсег обухвата три групе фреквенција: 902–928 MHz, 2,4–2,4835GHz и 5,725-5,875GHz (слика 13.2).



Слика 13.2 ISM опсега који се користи за бежичне локалне рачунарске мреже

Модуларност и флексибилност бежичних локалних рачунарских мрежа чини их добрим решењем за поједине објекте као на пример: повезивање рачунара на сајмовима, у болницама, библиотекама, повезивање зграда које су раздвојене прометним саобраћајницама или реком зградама од историјске вредности у којима није дозвољена промена изгледа зграде, али и као допуна или проширење кабловских мрежа.

13.3 Топологије бежичних локалних рачунарских мрежа

Бежичне мреже пружају велику флексибилност и могућност комбиновања различитих начина повезивања. Искристалисале су се следеће топологије: само за ову прилику (*ad hoc*), инфраструктурна и тачка - тачка.



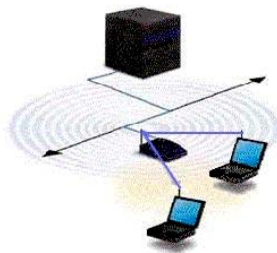
Слика 13.3 *Ad hoc* начин међусобног повезивања рачунара

¹ *Industrial Scientific Medical*

РАЧУНАРСКЕ МРЕЖЕ

Ad hoc локалне рачунарске мреже (слика 13.3) омогућавају корисницима успостављање везе „свако са сваким” без уређаја за приступ¹ AP. Као такве погодне су за комуникацију између мањих група корисника на малом растојању и углавном се примењују тамо где је потребно брзо успоставити привремену мрежу². Да би могла да се оствари међусобна комуникација потребно је да сваки рачунар буде у домету свих осталих рачунара, што ограничава покретљивост корисника на релативно мали простор.

Уколико станице нису у стању да комуницирају без посредства уређаја за приступ AP онда се примењује начин рада који захтева одговарајућу инфраструктуру (слика 13.4). Све станице које се налазе у зони покривања уређаја за приступ међусобно комуницирају преко њега.



Слика 13.4 Међусобно повезивање рачунара помоћу уређаја за приступ (инфраструктурни начин)

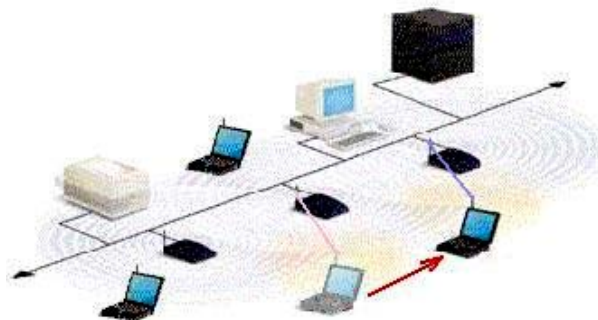
Домет једног уређаја за приступ зависи од примене и креће се од 100m у затвореним просторима до 300m на отвореном. Број корисника које може да опслужи један уређај за приступ зависи од произвођача и креће се од 15 до 50.

У случају да се жели повећати покривеност може се инсталирати више уређаја за приступ и формирати ћелијска (целуларна) мрежа (слика 13.5). У таквој мрежи станице не могу да комуницирају директно међу собом већ искључиво посредством уређаја за приступ међусобно повезаних кабловима у рачунарску мрежу. Одређеним бројем приступних станица може се покрити одређено подручје, при чему се зоне покривања појединих станица, тзв. ћелије, могу међусобно делимично и преклапати. У случају да је у одређеној ћелији велика густина саобраћаја могуће је исту површину покрити са више приступних станица које међусобно деле мрежни саобраћај и на тај начин омогућавају опслуживање већег броја корисника.

¹ *Access Point*

² Нпр. састанци, скупови, сајмови.

Бежичне рачунарске мреже



Слика 13.5 Ћелијски начин међусобног повезивања рачунара

Карактеристика ћелијских мрежа је да корисници могу бити покретљиви у току рада, мењајући приступне станице преко којих комуницирају са остатком мреже. Уређаји за приступ AP везују се на ожичену мрежу¹. Такође се по потреби могу и бежичним путем повезати на остатак мреже.

У одређеним ситуацијама погодне су и мреже типа тачка - тачка, на пример за повезивање две удаљене локалне мреже. Најчешће се изводе коришћењем усмерених радио - веза ако су ван објеката или употребом инфрацрвене технологије ако су везе унутар једне просторије. Ове везе најчешће су фиксног карактера, односно њихови корисници не могу бити мобилни.

13.1 Технологије бежичних локалних рачунарских мрежа

Бежичне локалне рачунарске мреже WLAN према техници преноса генерално се могу поделити на следеће категорије:

- технике преноса у инфрацрвеном делу спектра IR²,
- технике проширеног спектра SS³ и
- ускопојасне⁴ микроталасне технике.

Пренос у инфрацрвеном делу спектра

Инфрацрвени системи IR за пренос података користе веома високе фреквенције, нешто ниже од видљивог дела спектра. До сада су се користили за даљинско управљање уређаја у домаћинству. У скорије време користе се за повезивање у бежичним локалним рачунарским мрежама. Као и светлост, IR таласи не могу да прођу кроз саме објекте, тако

¹ Кичму - *backbone*

² *Infrared Technology*

³ *Spread Spectrum*

⁴ *Narrowband Microwave*

РАЧУНАРСКЕ МРЕЖЕ

да разликујемо усмерену (директну) и дифузну¹ технологију IR преноса. Усмерени системи (јефтинији) захтевају директну линију видљивости, тако да се користе углавном за личне локалне рачунарске мреже PAN². Дифузни IR WLAN системи не захтевају линију видљивости, али је величина ћелије одређена просторијом у којој систем ради. Због области покривености (једна просторија):

- обезбеђена је једноставна заштита од прислушкивања,
- не постоји интерференција између суседних ћелија.

Технике проширеног спектра

Тренутно најпопуларније врсте бежичних локалних рачунарских мрежа користе технике проширеног спектра³. У зависности од начина ширења спектра технике су подељене на системе са директном секвенцом DSSS⁴ и на системе са фреквенцијским скакањем FHSS⁵. Међусобно поређење ових система дато је у табели 13.1

Ускопојасни системи

Ускопојасни радио - системи користе се за пренос података од раних 80-их. Корисницима се додељују уски фреквенцијски опсези, о чему воде рачуна посебна тела на нивоу државе. Корисници шаљу и примају податке на тачно одређеној учестаности. Ширина фреквенцијског опсега је што је могуће ужа. Нежељена преслушавања између канала избегавају се фреквенцијским планирањем, а сигурност и избегавање интерференције постижу се употребом посебних радио - фреквенција. Филтер на пријемнику одстрањује све сигнале осим жељеног. Први произвођач који је направио ускопојасну бежичну рачунарску мрежу у нелиценцираном опсегу је RadioLAN 1995. год.

¹ Инфрацрвена светлост се дифузно рефлектује од светло обојених површина. Због тога је могуће искористити рефлексију да би се постигла покривеност целе просторије.

² *Personal Area Network*

³ Детаљно су обрађене у поглављу 7.11.

⁴ *Direct Sequency Spread Spectrum Technology* - проширени спектар са директном секвенцом.

⁵ *Frequency Hopping Spread Spectrum* - проширени спектар са фреквенцијским скакањем.

Бежичне рачунарске мреже

Бежични системи Карактеристике	IR системи		Системи са проширеним спектром		Радио системи
	Дифузни IR системи	Усмерени IR системи	FSSS системи	DSSS системи	Ускопојасни микроталаси
Брзина података [Mb/s]	1 до 4	1 до 10	1 до 3	2 до 50	10 до 20
Мобилност	Стационарни/ мобилни	Стационарни у линији видљивости	Мобилни	Стационарни/ мобилни	
Домет [m]	15 до 60	25	30 до 100	30 до 250	10 до 100
Таласна дужина/ фреквенцијски опсег	Од 850 до 950nm		902 до 928MHz 2,4 до 2,4835GHz 5,725 до 5,85GHz		902 до 928MHz 5,2 до 5,725GHz 18,825 до 19,205GHz
Модулациона техника	ASK		FSK	QPSK	FS/QPSK
Снага зрачења	–		< 1W		25mW
Метод приступа	CSMA	Прстен са жетоном/ CSMA	CSMA		ALOHA, CSMA
Да ли се захтева лиценца ¹ ?	Не		Не		Да ако не користе ISM

Табела 13.1 Поређење технологија бежичних локалних рачунарских мрежа WLAN

¹ Лиценца подразумева да се држави плаћа коришћење одговарајућег фреквенцијског опсега .

РАЧУНАРСКЕ МРЕЖЕ

13.5 Стандарди серије IEEE 802.11

Стандард IEEE802.11 (објављен 1997. год.) тренутно је најпопуларнији стандард у области WLAN мрежа. Локалне рачунарске мреже могу да раде у једном од два режима: са базном станицом и без базне станице (слика 13.3 и 13.4). Стандард IEEE802.11 узео је то у обзир. У овом поглављу биће анализиран скуп протокола¹ IEEE802.11, бежичне технике преноса физичког слоја, протоколи MAC подслоја, формат рама и понуђене услуге. Организација IEEE је од 1997. године до данас издала бројне стандарде² за бежичне локалне рачунарске мреже. Стандарди који су до сада нашли широку примену су: IEEE802.11, IEEE802.11a, IEEE802.11b и IEEE802.11g. Стандарди за које се сматра да ће се користити у будућности су: IEEE802.11i (сигурност³), IEEE802.11e (квалитет услуга⁴), IEEE802.11s (покретна возила⁵), IEEE802.11р и IEEE802.11n (велике брзине⁶).

13.6 Архитектура IEEE 802.11

Протоколи који се користе у серији IEEE802 имају заједничку структуру (слика 13.6). Стандард се односи на прва два слоја OSI архитектуре: физички слој и слој везе. Подслој MAC (слоја везе) одређује начин доделе канала. А подслој LLC (слоја везе) има задатак да заштити више слојеве од различитости техника IEEE802 серије.



Слика 13.6 Слојевита архитектура протокола у бежичним локалним рачунарским мрежама

¹ Protocol stack

² У табели 13.5 (на крају поглавља) дат је списак проширења IEEE802.11 стандарда. Један је стандарда: IEEE802.11 али се користи термин стандард и за проширење стандарда.

³ Enhanced Security

⁴ QoS (Quality of Service)

⁵ WAVE (Wireless Access for the Vehicular Environment) - на пример амбулантна возила.

⁶ High Speed

Бежичне рачунарске мреже

У општем случају мрежа IEEE802.11 састоји се од једне или више целина са базним сервисом BSS¹ које су повезане са дистрибуционим системом DS². Обично је дистрибуциони систем ожичена локална рачунарска мрежа која има функцију окоснице али може да буде и било која комуникациона мрежа. Целина са базним сервисом BSS основна је градивна целина архитектуре IEEE802.11. Група станица STA³ која је под директним управљањем једне координационе функције формира BSS целину. Координационе функције могу да буду: дистрибуиране координационе функције DCF⁴ и централизоване координационе функције PCF⁵.

Област коју покрива BSS целина означава се као област базног сервиса BSA⁶ и одговара ћелији у целуларним комуникационим мрежама. Све станице у BSS целини могу међусобно директно да комуницирају. Може се десити да неке станице постану невидљиве због слабљења сигнала као последице мултипутног фединга или због интерференције суседних станица.

Ad hoc мрежа представља груписање станица у једну BSS целину. Стандард IEEE802.11 користи назив независна BSS целина (IBSS⁷). Било која станица у BSS целини може да комуницира са било којом другом станицом без уређаја за приступ AP.

Када се за комуникацију између станица користи уређај за приступ AP онда стандард IEEE802.11 за такву мрежу користи термин инфраструктурна мрежа. Уређај за приступ AP омогућава проширење опсега и могућност комуникације више BSS целина. Проширени сервис EES⁸ састоји се од две или више BSS целина међусобно повезаних дистрибуционим системом. Проширени сервис појављује се као једна логичка локална рачунарска мрежа на подслоју слоја везе LLC.

На слици 3.17 уређај за приступ AP представљен је као део станице; представља логику у оквиру станице која омогућава и приступ дистрибуционм систему DS и саму станицу. Дистрибуциони систем DS (дефинисан стандардом IEEE802.11) је независан од имплементације. То значи да дистрибуциони систем може да буде кабловска IEEE802.3 локална рачунарска мрежа, или магистрала са жетоном IEEE802.4, или прстен са жетоном IEEE 802.5, или неки други IEEE 802.11 медијум.

За интеграцију IEEE802.11 архитектуре са традиционалним локалним рачунарским мрежама са жичаним трансмисионим медијумима⁹, или за повезивање на Интернет, користи се портал. Логика портала се уграђује у уређаје као што су мостови или рутери који су део кабловске рачунарске мреже и који су прикључени на дистрибуциони систем DS.

¹ Basic Service Sets

² Distribution System

³ Stations

⁴ Distributed Coordination Function

⁵ Point Coordination Function

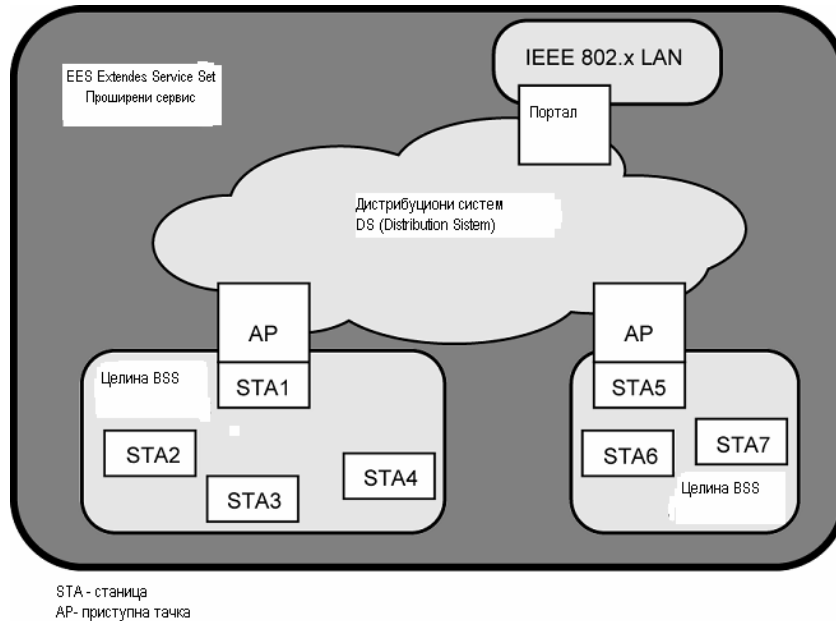
⁶ Basic Service Area

⁷ Independent Basic Service Area

⁸ Extended Service Set

⁹ Користи се и термин не-IEEE802.11.

РАЧУНАРСКЕ МРЕЖЕ



Слика 13.7 Архитектура IEEE 802.11

13.7 Протоколи MAC подслоја IEEE 802.11

Протокол на MAC подслоју стандарда IEEE802.11 значајно се разликује од протокола на MAC подслоју стандарда IEEE802.3 због веће сложености бежичних у односу на кабловске системе. Код IEEE802.3 система станица чека док се трансмисиони медијум не ослободи и тек онда започиње са слањем. Уколико не прими ометајући сигнал¹ (који указује да је дошло до колизије) скоро је сигурно да је рам успешно испоручен одредишту. Код бежичних система ситуација је мало другачија.

Постоји проблем невидљиве станице²: све станице нису једна другој у радио - домету па се може десити да се предаја у једном делу ћелије не може детектовати у другом делу исте ћелије. У примеру на слици 12.13 станица А шаље податке ка станици В. Станица А испитује канал и пошто је ван домета станице С погрешно ће закључити да је канал слободан и да може да започне са слањем података ка станици В.

Постоји и други проблем: станица В жели да пошаље податке станици С и испитује канал. Кад открије да постоји неки сигнал погрешно ће закључити да не може да започне са слањем ка станици С пошто станица А шаље податке ка станици Д. Многи радио - системи су полудуплексни што значи да не могу истовремено и да шаљу и да испитују (ослушкују) медијум на истој радио - учестаности. Као последица тога је да IEEE802.11

¹ После 64 бајта за брзине од 10Mb/s (12.2 поглавље).

² Поглавље 12.1.

Бежичне рачунарске мреже

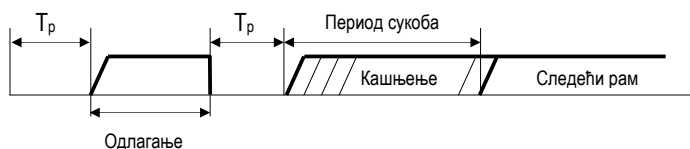
системи не могу да користе CSMA/CD протокол који се користи код IEEE802.3 система. Да би разрешио овај проблем IEEE802.11 је предвидео два начина рада:

- рад са дистрибуираним координационим функцијама DCF, код кога се не користи централизовано управљање,
- рад са централизованим координационим функцијама PCF, код кога базна станица управља свим активностима у ћелији.

Дистрибуиране координационе функције

Системи који примењују дистрибуирану координациону функцију користе протокол са избегавањем колизије CSMA/CA¹. Протокол се састоји у следећем (графички приказано на слици 13.8):

1. Станица која жели да шаље податке прво испитује трансмисиони медијум. Ако је слободан чека одређено време² T_p да види да ли ће и даље бити слободан. Уколико је и по истеку T_p времена медијум и даље слободан започиње са слањем;
2. Уколико је трансмисиони медијум заузет, било зато што је већ био заузет, било зато што је постао заузет после T_p времена, станица одлаже слање, чека да се заврши слање и да се медијум ослободи;
3. Када се текуће слање заврши станица чека још T_p времена. Уколико је медијум и тада слободан станица чека још неко случајно време³. Ово је период сукоба⁴ у коме станице могу да се „боре“ за медијум. Ако по истеку случајног времена нико није заузео медијум станица може да започне са слањем података.



Слика 13.8 Протокол CSMA/CA

Кашњење (случајно време) које се користи је бинарно експоненцијално и користи се код саобраћаја великог интензитета. Понављање неуспелих покушаја слања података доводи до све дужих одлагања слања што помаже да се саобраћај развуче у времену. Ако се не би користило случајно кашњење догодило би се следеће: две станице које покушају

¹ CSMA with Collision Avoidance - CSMA са избегавањем колизије.

² Ово време се означава као време између рамова.

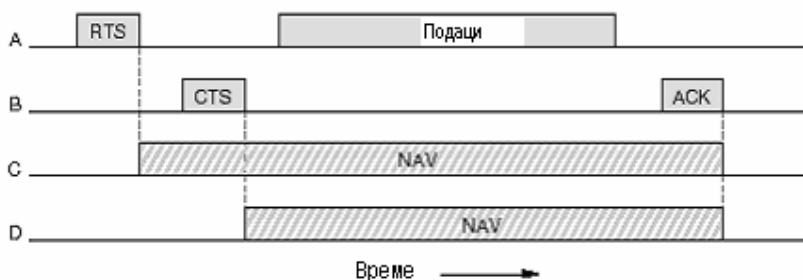
³ Користи се исти алгоритам са бинарним експоненцијалним кашњењем као код IEEE 802.3.

⁴ Contention time

РАЧУНАРСКЕ МРЕЖЕ

истовремено да шаљу податке дошле би у колизију. Уколико би без међусобно различитог кашњења покушале поново да шаљу поново би дошло до колизије.

Други начин који се користи код система са дистрибуираном координационом функцијом је заснован на протоколу MACAW и користи испитивање виртуелног канала као што је приказано на слици 13.8.



Слика 13.8 Употреба испитивања виртуелног канала са протоколом CSMA/CA

Анализирајмо опет пример станице А која жели да пошаље податке станици В. Она прво шаље RTS рам којим тражи дозволу од станице В да јој пошаље податке. Када станица В добије захтев RTS станице А, и ако жели да прими податке од ње, она шаље натраг дозволу - рам CTS. По пријему CTS рама станица А шаље рам са подацима и поставља на одређено време часовник за потврду ACK. Када станица В прими рам података она шаље рам потврде ACK и размена је окончана. Уколико време на које је часовник ACK постављен истекне пре него што стигне рам потврде ACK цела процедура се понавља.

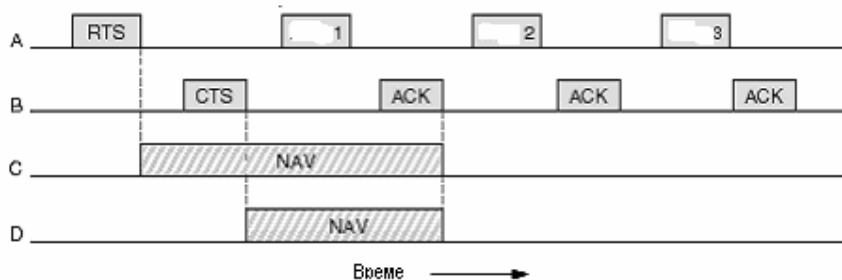
Посматрајмо како размену података виде станице С и D. Станица С је у домету станице А и може да прими RTS рам. Уколико га је примила она може на основу података из рама RTS да закључи да ће станица А бити заузета одређено време. На основу тога станица С поставља на одређену вредност индикатор заузетости канала NAV¹ (слика 13.8). Рам RTS не може да допре до станице D али може рам CTS, пошто је станица D у домету станице В. Станица D поставља на одређену вредност своју ознаку заузетости канала NAV. Треба уочити да ознаке о заузетости канала NAV нису рамови који се шаљу; они су само интерни показатељи који указују колико дуго станица не треба ништа да шаље.

За разлику од кабловских локалних рачунарских мрежа бежичне рачунарске мреже су непоуздане и са великим сметњама. Због тога је у IEEE802.11 рачунарским мрежама предвиђено дељење рамова у мање целине - фрагменте. Сваки фрагмент садржи свој контролни збир. Фрагменти су нумерисани и потврђују се помоћу протокола заустави се и чекај². Фрагменти се шаљу један за другим (слика 13.9).

¹ Network Allocation Vector

² Поглавље 7.

Бежичне рачунарске мреже



Слика 13.9 Слање фрагмената

Централизоване координационе функције

Други начин приступа медијуму код IEEE802.11 система је помоћу централизоване координационе функције PCF. Базна станица¹ шаље упит (полира) другим станицама у ћелији да би видела да ли имају податке за слање. Пошто редослед слања потпуно одређује базна станица до колизије не може да дође. Стандард прописује механизам полирања али не и учестаности, редослед или приоритете полирања.

Основни механизам састоји се у томе да базна станица шаље посебан² рам периодично (10 до 100 пута у секунди). Посебан рам садржи параметре система као што су учестаност скакања и такт за синхронизацију. Такође се позивају нове станице да се пријаве.

Пошто је трајање батерија значајно за бежичне системе стандард IEEE802.11 је понудио решење које води рачуна о томе. Базна станица може да обавести мобилну станицу да је у стању мировања³ све док је она или корисник експлицитно не активирају. Ово има за последицу да базна станица преузима на себе смештање свих података који се упућују ка станици која је у стању мировања. Станица у мировању податке може да покупи касније.

Временски интервали између рамова

Стандард IEEE802.11 је предвидео коегзистенцију оба начина рада: централизованог PCF и дистрибуираног DCF у једној ћелији. Један од механизма су дефинисана времена између рамова. Пошто се један рам пошаље чека се одређени временски интервал пре него што било која станица може да пошаље следећи рам. Дефинисана су четири временска интервала (слика 13.10):

1. Најкраћи интервал између рамова SIFS⁴ користи се код станица које су већ у међусобној вези. То значи да ће по истеку SIFS времена: бити послат рам CTS као одговор на пријем рама RTS или рам ACK као одговор на фрагмент или цео

¹ Централизовани координатор.

² Beacon - фар

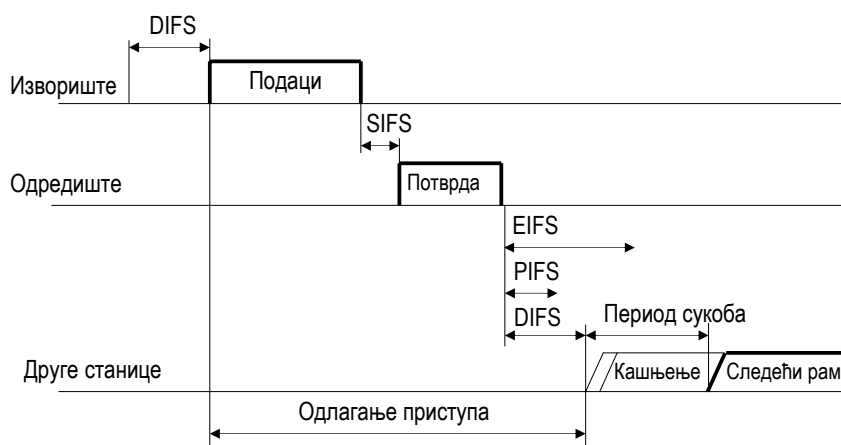
³ Sleep state - стање успаваности

⁴ Short Interframe Spacing

РАЧУНАРСКЕ МРЕЖЕ

рам податка. Постоји само једна станица која би требало да шаље по истеку времена SIFS.

2. Уколико станица не искористи канал у том временском интервалу (SIFS) базна станица може да пошаље свој посебан рам или упит PIFS¹. Овај механизам дозвољава да станица која шаље податке или секвенцу фрагмената заврши започето слање.
3. Уколико базна станица нема шта да пошаље по истеку временског интервала DIFS² било која станица може да покуша да приступи каналу и пошаље нови рам. Примењује се уобичајен начин за приступање каналу и бинарни експоненцијални алгоритми за кашњења уколико дође до колизије.
4. Последњи временски интервал EIFS³ користи станица која је управо добила рам са грешком или рам који није очекивала. Она шаље обавештење о грешци. Идеја да се додели најнижи приоритет овом обавештењу произлази из чињенице да треба дати времена предајнику који не зна да је дошло до грешке и да се на тај начин спречи интерференција.



Слика 13.10 Временски интервали између рамова код 802.11

13.8 Структура рама стандарда IEEE 802.11

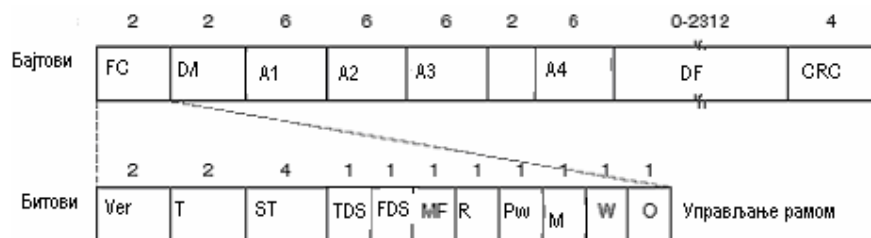
Стандард IEEE 802.11 дефинише 3 различите класе рамова: податак, управљање и надзор. За сваки од ових ових рамова дефинисана су поља унутар MAC подслоја. Формат рама података приказан је на слици 13.11

¹ Point Coordination Function Inter Frame Spacing - PCF размак између рамова.

² Distributed Coordination Function Inter Frame Spacing - DCF размак између рамова.

³ Extended Inter Frame Spacing - проширени размак између рамова.

Бежичне рачунарске мреже



Слика 13.11 Рам података 802.1

Прво поље за управљање рамом FC¹ садржи 11 потпоља:

- верзија протокола Ver² - дозвољава истовремени рад две верзије протокола у истој ћелији,
- тип T³ - указује да ли је рам података, управљања или надзора,
- подтип ST⁴ - указује да ли је рам RTS или CTS,
- ка DS (TDS⁵) и од DS (FDS⁶) - указује да ли рам одлази ка или долази од дистрибуционог система,
- бит MF - указује да постоји више фрагмената,
- бит поновни покушај R⁷ - означава ретрансмисију рамова који су већ раније послати,
- бит управљање напајањем Pw⁸ - користи базна станица за постављање мобилне станице у мирно или активно стање,
- бит M⁹ - указује да пошиљалац планира да пошаље још рамова примаоцу,
- бит W - указује да је садржај рама шифрован користећи WEP¹⁰ алгоритама,
- бит O¹¹ - указује примаоцу да рамови са постављеним битом на 1 треба да буду обрађени редоследом којим су и примљени.

¹ Frame control field

² Version

³ Type field

⁴ Subtype

⁵ To DS

⁶ From DS

⁷ Retry

⁸ Power management

⁹ More

¹⁰ Wired Equivalent Privacy

¹¹ Order

РАЧУНАРСКЕ МРЕЖЕ

Поље трајања D/I^1 указује на то колико ће дуго (изражено у микросекундама) рам и његова потврда заузимати канал. Ово поље постоји и у управљачким рамовима тако да на основу њега станице могу да поставе своје индикаторе NAV.

Заглавље рама садржи четири адресе. Све адресе су стандардног IEEE802 формата. Две адресе су изворишна и одредишна адреса мобилних станица. Преостале две адресе су изворишна и одредишна адреса базних станица када се саобраћај одвија између ћелија.

Поље за секвенчне SC^2 бројеве користи се за обележавање фрагмената. Од 16 битова који су на располагању 12 битова се користи за обележавање рамова а 4 бита за обележавање делова рама (фрагмената).

Поље података DF^3 садржи корисне податке⁴ од 0 до 2312 бајтова.

Поље контролног збира CRC^5 има уобичајену намену да открије грешке у преносу.

Рамови за надзор имају формат сличан формату рама података осим броја адреса. Пошто се рамови надзора размењују искључиво унутар једне ћелије адреса базне станице није потребна.

Управљачки рамови су краћи и имају само једну или две адресе. Не садрже поље за податке ни поље за секвенчне бројеве. Кључне информације у овим рамовима налазе се у потпољу подтип које указује да ли је рам захтев за успоставом везе RTS, потврда о успостави везе CTS или потврда о успешном пријему рама података ACK.

13.9 Услуге IEEE802.11

Стандард IEEE802.11 дефинише девет услуга које треба да пружи бежична локална рачунарска мрежа да би обезбедила функционалност еквивалентну оној која постоји у кабловским локалним рачунарским мрежама. Табела 13.2 приказује списак услуга и два начина на које оне могу да се систематизују.

Услуга	Ко обезбеђује	За шта се користи
Приступање (<i>Association</i>)	Дистрибуциони систем	MSDU ⁶ испорука
Одступање (<i>Dissassociation</i>)	Дистрибуциони систем	MSDU испорука
Дистрибуција (<i>Distribution</i>)	Дистрибуциони систем	MSDU испорука
Поновно приступање (<i>Reassociation</i>)	Дистрибуциони систем	MSDU испорука
Интеграција (<i>Integration</i>)	Дистрибуциони систем	MSDU испорука

¹ *Duration/Connection ID*

² *Sequence Control*

³ *Data Field*

⁴ *Pay load*

⁵ 32 - битни циклични код (*Cyclic Redundancy Check*).

⁶ *MAC Service Data Unit*

Бежичне рачунарске мреже

Пријава (<i>Authentication</i>)	Станица	Приступ и безбедност локалне рачунарске мреже
Одјава (<i>Deauthentication</i>)	Станица	Приступ и безбедност локалне рачунарске мреже
Приватност (<i>Privacy</i>)	Станица	Приступ и безбедност локалне рачунарске мреже
Испорука јединица података MAC подслоја (<i>MSDU delivery</i>)	Станица	MSDU испорука

Табела 13.2 Услуге IEEE802.11

Као што се у табели види пет дистрибуционих услуга, које обезбеђује базна станица, односе се на мобилност станице када она улази и напушта ћелију и повезује се и раскида везу са базном станицом:

- Услугу приступања користи мобилна станица да би се повезала са базном станицом. Уобичајено се обавља одмах пошто станица уђе у радио - домет базне станице. По доласку она објављује свој идентитет;
- Услугу одступања користи или мобилна или базна станица. Мобилна станица користи ову услугу када престаје са радом (искључује се) или када напушта ћелију. Ову услугу може да користи и базна станица када због текућег одржавања престаје са радом;
- Да би променила базну станицу мобилна станица може да користи услугу поновног приступања. Ова услуга користи се и при преласку мобилне станице из једне у другу ћелију. Уколико се правилно примењује неће доћи до губитка података код преузимања (хендовера);
- Услуга дистрибуције одређује како треба преусмеравати рамове који су послати базној станици. Уколико је одредиште у истој ћелији (локално) онда се рамови директно емитују кроз ваздух. Уколико одредиште није у истој ћелији онда се рамови усмеравају преко кабловског дела рачунарске мреже;
- Услуга интеграције обезбеђује пренос података између станица које су повезане бежичном локалном рачунарском мрежом IEEE802.11 са станицом која је на кабловској мрежи¹. Ова услуга води рачуна о превођењу адреса и других карактеристика које су везане за промену трансмисионог медијума.

Преостале услуге из табеле 13.2 су унутарћелијске:

- Услуга пријављивања је битна за бежичне рачунарске мреже да би се спречиле неауторизоване станице да шаљу податке. Пошто мобилна станица приступи ћелији базна станица јој шаље специјалан рам да би видела да ли мобилна станица зна шифру (сигурносни кључ) која јој је додељена. Станица шифрира специјалан рам и враћа га базној станици. Уколико је то добро урадила мобилна станица је потпуно прихваћена у ћелији;

¹ Станица које не користе стандард IEEE802.11 (non IEEE802.11).

РАЧУНАРСКЕ МРЕЖЕ

- Услугу одјављивања користи мобилна станица (претходно пријављена) када жели да напусти мрежу. После одјављивања она не може да користи мрежу.

За информације које се размењују бежичном мрежом користи се RC4¹ алгоритам за шифровање.

13.10 Физички слој стандарда IEEE 802.11

Као што се може видети из табеле 13.2 велика пажња поклања се побољшању свих карактеристика система са бежичним преносом. У овом одељку биће дата кратка анализа физичких слојева оригиналног стандарда IEEE802.11 и каснијих, побољшаних верзија IEEE802.11a, IEEE802.11b и IEEE802.11g.

Оригинални стандард IEEE 802.11

Предвиђена су три начина реализације физичког слоја стандарда IEEE802.11. Први користи пренос сигнала у инфрацрвеном опсегу а друга два омогућавају радио - пренос података употребом техника проширеног спектра², у опсегу од 2,4GHz до 2,4835GHz .

Први начин реализације стандарда IEEE802.11 користи дифузну инфрацрвену технологију преноса. Таласне дужине су од 850 до 950nm. Користи се импулсна позициона модулација PPM³ са 4 и 16 нивоа. Подржава пренос на брзинама од 1Mb/s и 2Mb/s. Може се користити на растојањима до 20m.

Други начин реализације стандарда IEEE802.11 користи пренос података техником проширеног спектра, употребом директне, Баркерове, секвенце. Број канала зависи од фреквенцијског опсега који одређују национална регулаторска тела. Распон је од дванаест канала колико се користи у САД-у, девет у већини европских земаља до само једног у Јапану. Сваки канал је ширине 5MHz. Примењују се дигиталне фазне модулације и то: DBPSK⁴ за проток од 1Mb/s и DQPSK⁵ за проток од 2Mb/s.

Трећи начин реализације стандарда IEEE802.11 користи пренос података техником проширеног спектра са фреквенцијским скакањем. Сигнал носиоца мења учестаност у зависности од псеудослучајне секвенце. Дефинисано је 78 секвенци за скакање. Растојање између учестаности два узастопна скока је 6MHz у САД-у и већини европских земаља, а 5MHz у Јапану. Коришћени опсег подељен је на 79 потканала ширине 1MHz чиме је брзина ограничена на 2Mb/s.

Стандард IEEE 802.11a

¹ Аутор је Роналд Ривст са MIT (*Massachusetts Institute of Technology*).

² Поглавље 7.11.

³ *Pulse Position Modulation*

⁴ *Differential Binary Phase Shift Keying*

⁵ *Differential Quaternary Phase Shift Keying*

Бежичне рачунарске мреже

Први у низу стандарда већих брзина у бежичним системима је IEEE802.11a. Користи се ISM опсег 5,4GHz и ортогонални фреквенцијски мултиплекс OFDM¹. Не користи се техника проширивања спектра већ потканали са носиоцима на различитим међусобно ортогоналним учестаностима. Подаци се деле у више токова а сваки се преноси помоћу свог подносиоца, кроз свој потканал. Могуће брзине су: 6, 9, 12, 18, 24, 36, 48 и 54Mb/s. Користе се до 52 носиоца који су модулисани са BPSK, QPSK, 16QAM, 64QAM у зависности од брзине која се захтева.

Стандард IEEE 802.11b

Циљ је био понудити стандард IEEE802.11b који подржава брзине преноса података као и (тадашњи) IEEE802.3 стандард. Понуђене су брзине 5,52Mb/s и 11Mb/s и рад у ISM опсегу од 2,4GHz до 2,4835GHz. Само повећање брзине преноса на 11Mb/s омогућено је употребом CCK² модулације, или такозване модулације са комплементарним кодовима. CCK се користе као кодна секвенца при процесу ширења спектра DSSS техником. Улазни подаци се посматрају као блокови од по 8³ (односно 4 бита) брзине 1,375MHz. Шест од осам битова повезује се једном од 64 кодне секвенце и модулише са QPSK. Да ли ће проток бити 11Mb/s или 5,5Mb/s зависи од стања у каналу, а уређај се сам томе прилагођава.

Стандард IEEE 802.11g

Стандард IEEE802.11g је побољшана верзија 802.11b. Користи OFDM модулацију али ради у 2,4GHz опсегу. Теоретски може да достигне брзине од 54Mb/s.

Стандард IEEE 802.11e

У стандарду IEEE802.11e унапређене су координационе функције MAC подслоја (дистрибуиране DCF и централизоване PCF) увођењем нове хибридне координационе функције HCF⁴. У оквиру хибридне координационе функције HCF дефинисана су два метода за приступ каналу (слична оригиналном IEEE802.11 MAC стандарду): побољшани дистрибуирани приступ EDCA⁵ и контролисани приступ HCCA⁶. Оба метода дефинишу класе саобраћаја, тако да се на пример е-пошти може доделити најнижи приоритет а говору⁷ највиши.

Код метода са побољшаним дистрибуираним приступом EDCA станица са већим приоритетом у просеку чека мало мање, пре него што пошаље свој рам, од станице ниже

¹ *Orthogonal Frequency Division Multiplexing*. Среће се и под називом дискретна вишетонска DMT (*Discrete Multitone*) и модулација са више носиоца MCM (*MultiCarrier Modulation*).

² *Complementary Code Keying*

³ $(8\text{b/sym} * 1,375\text{MHz}) = 11\text{Mb/s}$

⁴ *Hybrid Coordination Function*

⁵ *Enhanced DCF Channel Access*

⁶ *HCF Controlled Channel Access*

⁷ VoWIP (*Voice over Wireless*). Говор захтева пренос у реалном времену, тј. мања и равномерна кашњења.

РАЧУНАРСКЕ МРЕЖЕ

приоритета (слика 13.8). Сваком од нивоа приоритета додељен је период времена TXOP¹ у коме станица или уређај за приступ могу да пошаљу одједном² више рамова. Уређаји за приступ са WMM³ сертификатом морају да имају ову опцију (остале не морају).

Код начина рада са контролисаним приступом HCCA интервал између рамова - фарова, које PCF шаље станицама, подељен је у два дела. У првом делу користе се централизоване координационе функције. У другом делу може се користити побољшани дистрибуирани приступ EDCA. У зависности од приоритета неким станицама може се доделити чешћи приступ медијуму. Станицама се у зависности од класе услуга додељује и различита дужина њиховог приступа.

Квалитет услуга QoS може се подешавати према захтевима корисника. На тај начин су обезбеђени услови за квалитетан пренос говора и видеа.

Стандард IEEE 802.11i

IEEE802.11i (познат и као WPA2⁴) је проширење IEEE802.11 стандарда који специфицира сигурност у Wi-Fi мрежама. Претходна спецификација (WEP) показала се недовољно сигурном. Спецификација WPA2 примењује AES⁵ стандард за шифрирање. Поред тога могућа је и примена других метода заштите као што су провера приступа на основу портова⁶, RADIUS или виртуелне приватне мреже.

Стандард IEEE 802.11n

У јануару 2005. године IEEE је формирао радну групу 802.11TG⁷ чији је задатак да развије проширење IEEE802.11 стандарда за бежичне локалне рачунарске мреже. Очекује се да ће се достићи брзине веће од 100Mb/s. Предвиђа се коришћење OFDM и MIMO⁸ преноса. Технологија MIMO користи више антена (просторно распоређених) и мултипутно простирање сигнала. Користи QAM са 64 и 256 консталационих тачака. Потканали су ширине 40MHz у односу на садашњих 20MHz (у државама у којима регулаторска тела то дозвољавају).

Стандард IEEE 802.11p

Стандард IEEE802.11p означава се и као стандард за бежични приступ покретних возила WAVE⁹. Намена му је да обезбеди бежичну везу између возила у покрету и уређаја на путевима. Возила могу добити информације о условима на друму (метеоролошки преглед, саобраћај) или неки од напредних сервиса нпр. интелигентно навођење возила.

¹ *Transmit Opportunity*

² Блок (*Burst*)

³ *Wi-Fi Multimedia*

⁴ *Wi-Fi Protected Access*

⁵ *Advanced Encryption Standard*

⁶ 802.1x

⁷ *Task Group*

⁸ *Multiple Input - Multiple Output*

⁹ *Wireless Access for the Vehicular Environment*

Бежичне рачунарске мреже

Домет је око 300m и ради у лиценцираном опсегу од 5,96GHz а брзине је 6Mb/s. Реализација је сложена пошто се возила брзо крећу.

Стандард IEEE 802.11s

Међусобно повезане мреже¹ постају све популарније у великим градовима пошто је могуће повезати локалне рачунарске мреже без постављања додатних каблова. Да би се испоручио саобраћај који је на другом крају мреже предлаже се рутирање и на MAC и на IP слоју.

Слика 13?. Међусобно повезане мреже

13.11 Бежичне персоналне мреже

Под појмом персоналне мреже PAN² подразумева се повезивање рачунара, телефона и PDA³ које користи једна особа (лично). За повезивање ових уређаја могу се користити и радио или инфрацрвени таласи па је онда реч о бежичној персоналној мрежи WPAN⁴. Велики број технологија и произвођача присутан је на тржишту бежичних персоналних мрежа WPAN. У овом поглављу биће детаљно анализиран стандард Bluetooth SIG.

13. 12 Стандард Bluetooth

Bluetooth⁵ је стандард за бежичне везе, који је 1994. год. промовисао Ericsson. Првобитно је био намењен за бежично повезивање мобилних телефона и уређаја, као нпр. PDA, а тек касније за међусобно повезивање рачунара. Организација произвођача која развија и унапређује ову технологију позната је под називом Bluetooth SIG⁶.

Архитектура Bluetooth мрежа

Основна јединица Bluetooth система је пиконет⁷ мрежа. Пиконет мрежа састоји се од два или више уређаја који користе исти физички канал, што значи да су синхронизовани на заједнички такт сигнал и да користе исту секвенцу скакања. Заједнички такт пиконета је идентичан такт сигналу главног⁸ уређаја (станице). Сви остали уређаји (станице) који се синхронизују са главном станицом су пратећи⁹ уређаји (станице). Само једна станица може да буде главна а све остале су пратеће. Комуникација се одвија само између

¹ Mesh Network

² Personal Area Network

³ Personal Digital Assistant

⁴ Wireless Personal Area Network

⁵ Добила је име по викиншком краљу Харалду II Блатану који је у X веку ујединио зараћена викиншка племена. Значење имена Блатан су плави зуби (енг. *bluetooth*).

⁶Special Interest Group - Ericsson, IBM, Nokia, Toshiba и Intel. Од када је 1998. године ова група издала проглас о званичном почетку развоја ове технологије преко 2000 компанија је потписало споразум који им даје за право да развијају, производе и продају Bluetooth уређаје.

⁷ Piconet

⁸ Master

⁹ Slave

РАЧУНАРСКЕ МРЕЖЕ

главне и пратећих станица. Директна комуникација између пратећих станица није могућа у оквиру канала пиконета.

На једној локацији може да постоји више независних пиконет мрежа. Свака од тих пиконет мрежа ради на различитим физичким каналима (различита главна станица, независни такт пиконет мреже и секвенца скакања). Bluetooth станица може да буде главна само у једној пиконет мрежи. Разлог је следећи: пошто је пиконет мрежа дефинисана преко синхронизације са главним Bluetooth тактом није могуће бити главна станица у више од једне пиконет мреже. Bluetooth станица може да буде пратећа станица у више независних пиконет мрежа користећи временски мултиплекс.

Bluetooth станица која је члан више пиконет мрежа укључена је у разбацану мрежу¹. Укључење у разбацану мрежу не значи да је омогућено и преусмеравање саобраћаја. Језгро Bluetooth протокола не нуди такву опцију већ се сматра да је то у надлежности протокола виших слојева и ван је Bluetooth спецификације.

Слика 13.12 Пример Bluetooth технологије

На слици 13.12 приказан је пример топологије. Станица А је главна станица у пиконету (осенчена област и означена као пиконет мрежа А) са станицама В, С, D и Е као пратећим станицама. Пиконет мрежа А за рад користи два канала: један за везу са станицама В и С и други за везу са станицама D и Е. Приказане су и две друге пиконет мреже: једна са станицом F као главном (означена као пиконет мрежа F) и станицама Е, G и H као пратећим и друга са станицом D (означена као пиконет мрежа F) као главном и станицом J као пратећом.

Поред активних станица (главне и пратеће) Bluetooth дефинише и неактивну станицу². Када пратећа станица нема потребе да ради (учествује у пиконет каналу), а још увек је синхронизирана са тим каналом, она улази у неактивно стање. Повремено, када јој главна станица пошаље одговарајући сигнал (фар³) неактивна станица се због синхронизације укључује. Неактивно стање омогућава уштеду напајања (батерије) и могућност да је у пиконет мрежи присутно више од седам пратећих станица.

Начин функционисања пратеће станице веома је једноставан па су једноставни и ниске цене чипови који те функције реализују.

Примена Bluetooth мрежа

Да би станица користила Bluetooth мрежу мора бити у стању да интерпретира одређене дефинисане профиле. Профили представљају специфичне апликације од којих свака подржава различит скуп протокола⁴ (слика 13.13). У табели 13.3 приказано је 13 профила⁵.

¹ *Scatternet*

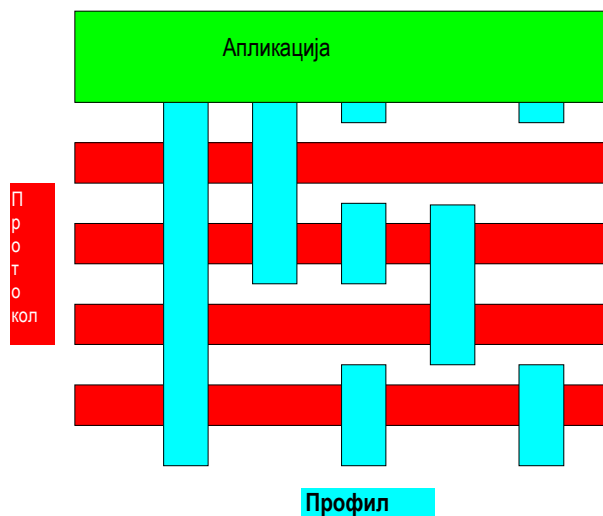
² *Parked*

³ *Beacon*

⁴ *Protocol stack*

⁵ За сада (2006. год.) су дефинисана 33 профила.

Бежичне рачунарске мреже



Слика 13.13 Веза апликације протокола и профила код Bluetooth система

Ознака профила	Опис
GAP (<i>Generic Access</i>)	Процедуре за надзор везе
SDAP (<i>Service Discovery Application Profile</i>)	Протокол за откривање понуђеног сервиса
CTP (<i>Cordeless Telephone Profile</i>)	Повезује слушалицу са локалном базом станицом
IP (<i>Intercom Profile</i>)	Дигитални воки-токи
SPP (<i>Serial Port Profile</i>)	Замена за кабл за серијски порт
HSP (<i>Headset Profile</i>)	Омогућава употребу телефона без држања апарата у руци
DUNP (<i>Dial Up Networking Profile</i>)	Омогућава да се преносиви рачунар повезује преко мобилног телефона
Fax Profile	Омогућава да се преносиви факс уређај повезује преко мобилног телефона
LAP (<i>LAN Access Profile</i>)	Протокол између мобилног рачунара и кабловске локалне рачунарске мреже
GOEP (<i>Generice Object Exchange Profile</i>)	Дефинише клијент-сервер релације између објеката у покрету
OPP (<i>Object Push Profile</i>)	Обезбеђује начин за размену једноставних објеката
FTP (<i>File Transfer Profile</i>)	Обезбеђује пренос датотека
SP (<i>Synchronization Profile</i>)	Дозвољава PDA уређају да се синхронизује са другим рачунаром

Табела 13.3 Неки од профила Bluetooth мрежа

Профил за генерички приступ GAP у ствари није апликација већ основа на којој су све апликације направљене и од које зависе. Њен основни задатак је да обезбеди процедуре за откривање Bluetooth станица, успостављање и одржавање сигурне везе (канал) између станица. Поред GAP профила и профили SPP, SDAP и GOEP сматрају се генеричким.

РАЧУНАРСКЕ МРЕЖЕ

Изнад профила за генерички приступ GAP налазе се серијски профил SPP, профил за генеричку размену објеката GOEP и профил за синхронизацију SP. Многи често коришћени профили су: приступ фиксној локалној мрежи LAP, профил за везу слушалице и базе станице HSPи профил Fax Profile који су изнад серијског профила SPP.

Навешћемо један пример: ако треба синхронизовати¹ PDA и рачунар да би преко серијског порта размењивали податке онда оба уређаја морају да подржавају профиле GAP, SPP, GOEP и SP. Остали профили нису потребни.

Скуп протокола² код Bluetooth система

Језгро Bluetooth система обухвата четири најнижа слоја и одговарајуће протоколе који су у Bluetooth спецификацији, као и заједнички протокол за откривање услуга SDP³ и свеобухватни генерички профил приступа GAP⁴. Комплетна Bluetooth апликација захтева додатне услуге и протоколе виших слојева који су дефинисани али превазилазе обим овог уџбеника. Општи дијаграм Bluetooth система може се представити сликом 13.13. На слици су обележени слојеви са одговарајућим протоколима:

- нижи слојеви са одговарајућим протоколима: радио слој RF⁵, слој основног опсега BAW⁶, аудио слој, протокол за управљање везом LC⁷, протокол за надзор везе LM⁸, протокол за управљање и прилагођавање везе L2CAP⁹,
- виши слојеви: подаци DT¹⁰, слој са различитим протоколима везаним за различите интерфејсе (TCS¹¹, RFCOMM¹², SDP¹³) и апликације AP¹⁴, и
- управљање CN¹⁵.

¹ Користи се и термин *Bluetooth Enabled*.

² *Protocol stack*

³ *Service Discovery Protocol*

⁴ *Generic Access Profile*

⁵ *Radio*

⁶ *Baseband*

⁷ *Link Control Protocol*

⁸ *Link Manager*

⁹ *Logical Link Control and Adaptation Protocol*

¹⁰ *Data*

¹¹ *Telephony Control Protocol Spec* - бит оријентисани протокол који дефинише сигнализацију при успостави/раскидању позива између станица.

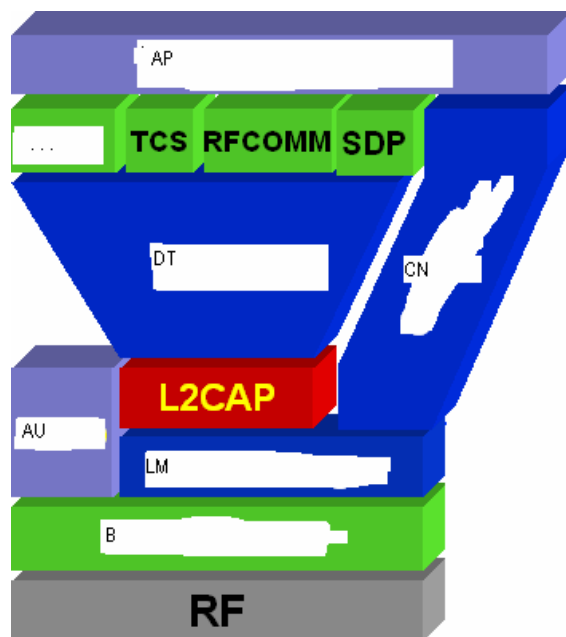
¹² *Serial cable emulation protocol* - протокол за емулацију серијског кабла.

¹³ *Service Discovery Protocol* - протокол за откривање сервиса.

¹⁴ *Application*

¹⁵ *Control*

Бежичне рачунарске мреже



Слика 13.14 Поређење архитектуре OSI, IEEE802 и Bluetooth система

Детаљнија архитектура језгра Bluetooth система представљена је на слици 13.14. Најнижа три слоја груписана су у подсистем који се среће под називом Bluetooth контролер. Остатак система укључујући L2CAP¹ сервис и више слојеве означава се као Bluetooth хост.

Станице комуницирају користећи протоколе дефинисане Bluetooth спецификацијом. Језгро протокола чини: језгро система које нуди услуге преко бројних тачака приступа SAP². Услуге могу бити разврстане у две групе: управљачке, које се означавају као C³ раван, и корисничке које се означавају као U⁴ раван. Прва група води рачуна о успостављању и раскидању канала и веза, а друга о подацима који се том везом размењују.

Сервисни интерфејс ка подсистему контролера дефинисан је на такав начин да се Bluetooth контролер може сматрати стандардним делом. У оваквој конфигурацији контролер ради на најнижа три слоја, а L2CAP слој садржи остатак апликације хост система. Стандардни интерфејс назива се интерфејс хост - контролер HC⁵. Његове приступне тачке сервиса означене су на горњој ивици контролера подсистема. Имплементација ових стандардних интерфејса сервиса је опциона.

¹ Logical Link Adapatacion Protocol

² Service Access Point

³ Control

⁴ User

⁵ Host to Controller Inteface

РАЧУНАРСКЕ МРЕЖЕ

Слој основног опсега BAV¹ на неки начин је сличан MAC подслоју али садржи и елементе физичког слоја. Води рачуна о томе како главна станица управља временским целинама и како су оне груписане у рамове.

Слој L2CAP може опционо да обезбеди додатну детекцију грешке и поновљено слање јединица протокола L2CAP PDU². Ова опција препоручује се апликацијама које у корисничким подацима захтевају малу вероватноћу неоткривених грешака. Следећа опција слоја L2CAP је контрола тока применом механизма клизајућег прозора³.

Слика 13.15 Архитектура језгра Bluetooth система

У тексту који следи биће укратко објашњена функција сваког од модула са слике:

- модул за надзор канала CM⁴ задужен је за успостављање, управљање и раскидање L2CAP канала укључујући управљање напајањем, проверу идентитета и квалитет сервиса. Протокол између парњак целина је L2CAP;
- модул за управљање ресурсима L2CAP_RM⁵ води рачуна о редоследу пријема сегмената. Такође води рачуна и о томе да ли апликације примају податке у складу са договореним квалитетом услуга QoS;
- модул за надзор станице DM⁶ управља општим радом Bluetooth станице. Задужен је за све операције које нису директно везане за пренос података као што су испитивање присуства суседних станица, повезивање са тим станицама итд.;
- модул за надзор везе LM⁷ задужен је за успостављање, модификовање, раскидање логичке везе и иновирање параметара везаних за физичку везу између уређаја. За комуникацију са модулом за управљање везом и удаљеном станицом користи се протокол за управљање везом LMP⁸;
- модул за управљање везом LC⁹ задужен је за кодирање и декодирање Bluetooth корисних података¹⁰ као и параметара везаних за физички канал,
- модул за управљање ресурсима основног опсега BAV_RM¹¹ одговоран је за приступ медијуму;
- радио RF модул задужен је за предају и пријем рамова на физичком каналу.

¹ Baseband Layer

² Protocol Data Unit (3. поглавље).

³ Детаљније у поглављу 7.

⁴ Channel Manager

⁵ L2CAP Resource Manager

⁶ Device Manager

⁷ Link Manager

⁸ Link Management Protocol

⁹ Link Controller

¹⁰ Payload

¹¹ Baseband Resource Manager

Бежичне рачунарске мреже

Радио - слој Bluetooth система

Радио - слој преноси битове од главне станице до пратеће и обрнуто. Систем ради у 2,4GHz опсегу (ISM) као и IEEE802.11 системи тако да се међусобно преклапају. Опсег је подељен на 79 канала од по 1MHz а модулација је GFSK¹. Користи се фреквенцијско скакање са 1600 скокова у секунди. Време између два скока је 625µs .

Домет Bluetooth везе је 1m са предајником снаге 0dBm, 10m са предајником снаге 4dBm и 100m са предајником снаге 20dBm. Могу се достићи брзине од 723,1kb/s код верзија 1.1 и 1.2 и 2,1Mb/s код верзије 2.0.

Слој основног опсега Bluetooth система

Овај слој претвара ток битова у рамове и дефинише формате од значаја. У најједноставнијем облику главна станица у свакој пиконет мрежи дефинише серију временских целина величине 625µs. Главна станица шаље у непарним временским целинама а пратећа станица у парним. Ово је традиционалан временски мултиплекс у коме је главној станици додељена половина временских целина а пратеће станице деле другу половину. Рамови могу бити дугачки 1, 3 и 5 временских целина (слика 13.16).

Слика 13.16 Размена пакета између главне и пратеће станице

Сваки од рамова шаље се преко логичког канала - везе². Постоје две врсте везе:

- асинхрона без успоставе везе ACL³, и
- синхрона са успоставом везе SCO⁴.

Код ACL врсте користи се пакетска комутација и примењује се на податке који пристижу у неравномерним временским интервалима. Подаци пристижу са L2CAP слоја на предајној страни и предају се L2CAP слоју на пријемној страни. Саобраћај се испоручује на најбољи могући⁵ начин али не постоји гаранција да су подаци успешно стигли на одредиште. Пратећа станица може са главном станицом да успостави само ACL врсту везе.

Друга врста - SCO везе користи се за апликације у реалном времену, као што су телефонске везе. За овакав тип канала додељују се тачно одређене временске целине у оба правца. Због природе апликација у реалном времену - критична су временска кашњења - не користе се поновна слања већ корекција грешака унапред FEC⁶. Пратећа станица може да има до три SCO везе са главном станицом. Свака SCO веза може да пошаље 64000b/s кодирани PCM аудио сигнал.

Слој L2CAP

¹ Gaussian Frequency Shift Keying

² Link

³ Asynchronous ConnectionLess

⁴ Synchronous Connection Oriented

⁵ Best effort - термин који се користи код система без успоставе везе као што су Интернет слој, Етернет и сл.

⁶ Forward Error Correction

РАЧУНАРСКЕ МРЕЖЕ

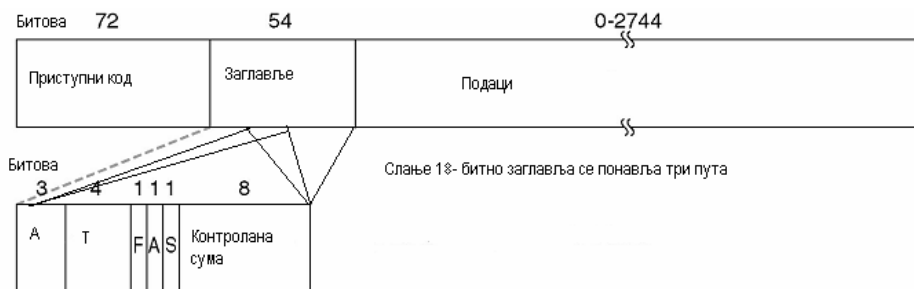
Слој L2CAP има три важне функције:

- прво, прима пакете до величине од 64kB од виших слојева и дели их на рамове погодне за пренос. На одредишту рамови се поново повезују у пакете;
- друго, води рачуна о мултиплексирању и демултиплексирању пакета из различитих извора. Када се пакети поново повезују L2CAP указује ком од виших слојева су упућени;
- треће, L2CAP руководи захтевима за квалит услуге и у фази успоставе везе и за време нормалног тока података. Такође води рачуна и о усаглашавању величине пакета између станица. Ово је важно пошто нису све станице у могућности да раде са пакетима величине 64kB.

Структура рама у Bluetooth системима

Постоји неколико формата рамова. Један од њих приказан је на слици 13.17 и чине га:

- приступни код који идентификује главну станицу тако да пратеће станице које се налазе у радио - опсегу две главне станице могу да одреде који од саобраћаја је за њих,
- заглавље дужине 54 бита које садржи поља типична за MAC подслој,
- поље корисничких података величине до 2744 бита. Ова величина одговара трајању од пет временских целина.



Слика 13.17 карактеристичан рам података у Bluetooth системима

Заглавља сачињавају следећа поља:

- поље адресе А (дужине 3 бита) - указује којој од осам активних станица је рам упућен;
- поље типа Т (дужине 4 бита) - указује на врсту рама (ACL, SCO...), врсту корекције грешке која се користи и на то колико временских целина је рам дугачак;

Бежичне рачунарске мреже

- поље тока F^1 (дужине 1 бит) - поставља пратећа станица када је њен меморијски простор попуњен и не може да прими више података;
- поље потврде А (дужине 1 бит) - користи се да се пошаље потврда преко рама података²;
- поље секвенце S^3 (дужине 1 бит) - користи се за обележавање рамова. Пошто се користи протокол заустави се и чекај⁴ довољан је један бит;
- поље контролног збира⁵ (дужине 8 битова) - користи се за детекцију грешке.

Дужина заглавља од 54 бита постиже се троструким слањем 18-битне целине која се састоји од претходно описаних поља. Вишеструким слањем повећава се поузданост преноса у радио - медијуму.

Код ACL веза за поље података користе се различити формати. Формати рамова у SCO везама су једноставнији: поље података је увек дужине 240 битова. Постоје три верзије: 80, 18 и 240 стварне дужине података. Остатак се користи за корекцију грешке. У најпоузданијој верзији (80 битова података) садржај се три пута шаље.

Пратећа станица може да користи само непарне временске целине, тј. 800 временских целина у секунди. Са 80-битним подацима капацитет канала пратеће и главне станице је по 64000b/s што одговара капацитету PCM говорног канала. То и јесте био разлог да се одабере брзина скакања од 1600. Уколико се користи мање поуздана варијанта (без редундансе) могуће је реализовати истовремено три говорне везе што и представља максимум за SCO пратеће станице.

13.13 Стандарди за персоналне мреже IEEE организације

Организација IEEE формирала је радне групе које се баве бежичним персоналним мрежама. Прва радна група радила је на прилагођавању стандарда Bluetooth SIG и издала 2002. године стандард IEEE802.15.1 који се односи само на физички слој и слој везе (слика 13.14). Као што смо видели у претходним поглављима Bluetooth⁶ спецификација обухвата цео систем, од физичког слоја до апликационог (слика 13.18). Без обзира што ове верзије нису идентичне конвергирају ка истом стандарду. Стандард 802.15 покрива релативно кратка растојања а односи се на бежичну комуникацију уређаја малих димензија као што су PDA, преносиви рачунари, мобилни телефони, MP3 уређаји...

Слика 13.18 Стандард IEEE802.15.1

¹ Flow Control

² Piggy back

³ Sequence

⁴ Stop and wait - поглавље 11.

⁵ CRC

⁶ По верзији 1.1.

РАЧУНАРСКЕ МРЕЖЕ

Рад друге групе (IEEE802.15.2) односи се на могућност истовременог рада бежичних персоналних мрежа по стандардима серије IEEE802.15 и бежичних локалних рачунарских мрежа по стандардима серије IEEE802.11. Генерално, пошто и бежичне персоналне мреже и бежичне локалне мреже користе ISM опсег од 2,4GHz може да дође до интерференције у раду ових уређаја. Да би се разрешио овај проблем радна група је развила механизам за истовремени рад¹.

Трећа радна група издала је стандард IEEE802.15.3 за рад персоналних уређаја на релативно великим брзинама (већим од 20Mb/s) као и дефиницију нових карактеристика као што су мала потрошња и квалитет услуга који одговара мултимедијалним апликацијама. Постоји више радних група: IEEE802.15a за пренос у изузетно широком опсегу UWB², IEEE802.15e везана за квалитет услуга и IEEE802.15i за сигурност.

Четврта радна група издала је стандард IEEE802.15.4 за релативно мале брзине (испод 250kb/s). Минимизирањем потрошње батерије у овим уређајима могу дуго да трају. Овај стандард развијен је за мреже са сензорима, за даљинско управљање и аутоматизацију у домаћинствима итд.

13.14 Стандарди за широкопојасне мреже

Радна група за стандардизацију широкопојасних мрежа у оквиру IEEE организације издала је 2002. године стандард³ који носи ознаку IEEE802.16 и предвиђа рад у опсегу. Области које покривају спадају у категорију мрежа градског подручја MAN. Сматрају се алтернатива кабловским xDSL системима у делу претплатничке петље⁴.

Радна група је проширила стандард (IEEE802.16a) за коришћење у нижем фреквенцијском опсегу од 2-11GHz и верзије 802.16b у ISM опсегу 5GHz које не захтевају линије видљивости. У току је рад на проширењима овог стандарда везаним за мобилне телефоне и PDA уређаје као и за повезивање рачунарских мрежа.

Стандард је рађен по угледу на OSI модел (слојеви, примитиве, терминологија) и веома је сложен.

Скуп протокола стандарда IEEE802.16

Скуп протокола IEEE802.16 је представљен на слици 13.17. Сличан је општем моделу 802 архитектуре протокола али са мало више подслојева. Најнижи послој се односи на сам пренос. Ускопојасни радио сисетем користи модулационим шемама QPSK, 16QAM и 64QAM. Изнад трансмисионог подслоја налази се подслој⁵ чији је задатак да заштити слој везе од различитости технологија преноса. Поред ових модулационих шема IEEE је

¹ *Coexistence Mechanizam*

² *Ultra Wide Band - WiMedia*

³ WiMAX Forum је индустријска асоцијација чији су 320 компанија међу којима су и Intel, Samsung, Cisco, Nokia и Motorola. WiMAX Alliance помовише и потврђује међусобни рад производа за широкопојасн бежичне системе који користе IEEE802.16 и ETSI HiperMAN спецификације.

⁴ Последњи километар (*Last mile*)

⁵ *Transmission Convergence Sublayer*

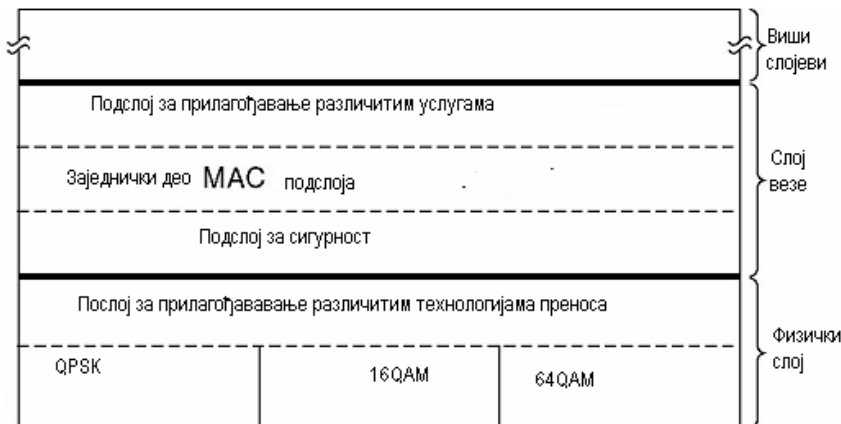
Бежичне рачунарске мреже

објавио и верзије 802.16а са OFDM технологијом у опсегу 2-11GHz опсегу и верзије 802.16b у ISM опсегу 5GHz.

Слој везе чине три подслоја. Најнижи се бави сигурношћу¹ која је веома значајна за система ван затворених објеката. Овај подслој води рачуна о шифровању, дешифровању и заштитним кључевима.

Средњи подслој се означава као заједнички MAC део². У овом делу се налази главни протокол за надзорор канала. Модел је конципиран тако да главна станица управља целим системом. Она може да одреди када се шаљу подаци од главне станице ка кориснику и од корисника ка главној станици. Неуобичајено у односу на остале MAC подслојеве је да подржава рад са успоставом везе да би обезбедила квалитетану услугу за телефонски саобраћај и мултимедијални саобраћај.

Подслој који зависи од услуга³ има исту функцију као и LLC подслој код осталих 802 архитектура: његова функција је да заштити мрежни слој од различитих имплементација нижих слојева. 802.16 је пројектован тако да подржава рад и протокола без успоставе везе (IP, Етернет, PPP⁴) и са успоставом везе ATM⁵.



Слика 13.17 Скуп протокола стандарда IEEE802.16

Физички слој стандарда IEEE802.16

Као што и сам назив указује широкопојане бежичне мреже захтевају широк фреквенцијски опсег за свој рад. Одабран је опсег од 10GHz до 66GHz. Ови таласи се простиру праволинијски па главна станица може да има више антена од којих је свака усмерена у одређеном правцу који покрива једну групу корисника.

¹ Security sublayer

² MAC sublayer common part

³ Service specific convergence sublayer

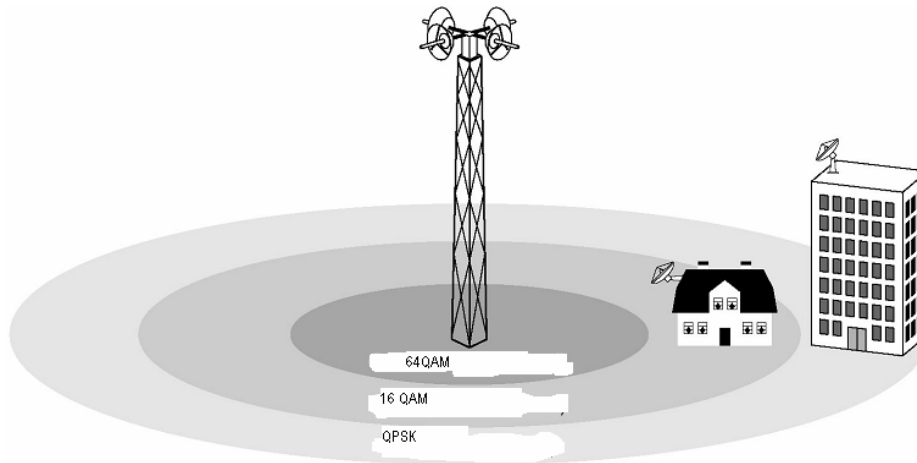
⁴ Point To Point - тачка тачка протокол.

⁵ Мрежа са комутацијом ћелија (Asynchronous Transfer Mode).

РАЧУНАРСКЕ МРЕЖЕ

Због мале таласне дужине снага сигнала значајно опада са удаљеношћу а самим тим и однос сигнала и шума. Имајући то у виду IEEE802.16 стандард је предвидео у зависности од растојања три различите кодне шеме и три различите брзине (слика 3.18) и то:

- за најближе кориснике кодну шему 64QAM и брзину од 150Mb/s,
- за средње удаљене кориснике кодну шему 16 QAM и брзину од 100Mb/s и
- за најудаљеније кодну шему QPSK и брзину 50Mb/s.



Слика 3.18 Преносни системи стандарда IEEE802.16

Да би се постојећи спектар искористио што ефикасније предвиђена су два метода: фреквенцијско дуплирање FDD¹ и временско дуплирање TDD². Код TDD система рамови се шаљу у временским целинама. Прва група временских целина резервисана је за директни саобраћај тј. од базне станице до корисника. Намена друге групе временских целина је да омогуће пребацивање са једног правца на други. Трећа група временских целина је за одлазни правац. Број временских целина који се додељују сваком од параваца може се динамички мењати у зависности од потреба.



Слика 3.19 Додељивање временских целина рамовима код система са временским дуплирањем

¹ Frequency Division Multiplexing

² Time Division Duplexing

Бежичне рачунарске мреже

Протоколи на слоју везе IEEE802.16

Као што је на слици 3.17 приказано слој везе је подељен у три послоја. Први подслој - за сигурност обезбеђује шифрирање података користећи алгоритме 3DES, AES и SHA-1 а за аутентификацију корисника са базном станицом користи се RSA шифрирање са јавним кључем.

Други слој је заједнички MAC подслој. Као што се види на слици 13.19 сваки рам заузима одређени број временских целина на физичком слоју. Сваки рам се састоји од подрамова. Прва два подрамова садрже информације о томе која од временских целина је слободна, параметре система (када се нови корисник укључује у мрежу)...

Долазни канал је једноставан. Базна станица одлучује о томе шта и у који подрам поставља. Одлазни канал је много сложенији и због различитих потреба различитих корисника. Дефинисане су четири класе:

- услуга са константном битском брзином,
- услуге битском брзинама које задовољавају системе у реалном времену,
- услуге битском брзинама за системе који не раде у реалном времену и
- најбоља могућа услуга.

Услуге са константном битском брзином предвиђене су за некопримован говор као што је онај који се преноси преко Е1/Т1 системима. За овакве системе потребно је послати унапред одређену количину података у унапред дефинисаним интервалима времена.

Услуге битском брзинама које задовољавају системе у реалном времену се односе на компримоване мултимедијалне апликације и апликације у реалном времену. Базна станица шаље упит кориснику у тачно одређеним интервалима да би сазнала колики опсег му је потребан.

услуге битском брзинама за системе који не раде у реалном времену се односе на пренос велике количине података. Базна станица шаље упит кориснику али није неопходно да то буде у тачно одређеним интервалима времена

Најбоља могућа услуга се односи на све друге палиације осим ових које су описане. Станице надмећући се у слободним временским целинама за приступ могу да дођу у колизију. Да би се колизија минимизирала користи се кашњење по бинарно експонцијалном алгоритму.

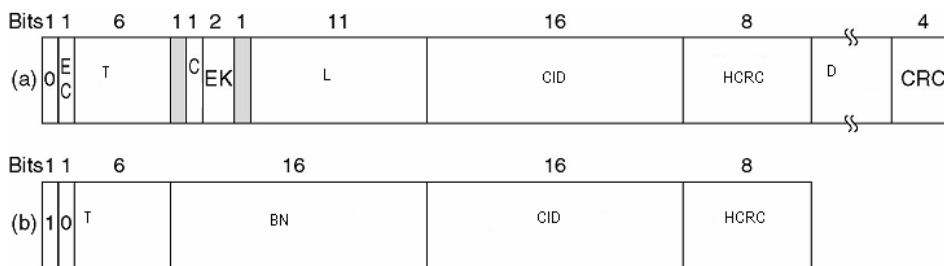
Структура рама IEEE802.16

Постоје два врсте рамова на MAC подслоју IEEE802.16: генерички и захтев за опсегом. Генерички рамов састоји се од заглавља, корисничких података и контролног збира. (слика 3.20а). Заглавље чине следећа поља:

- прво поље има вредност 0 што указује да је то генерички рам,

РАЧУНАРСКЕ МРЕЖЕ

- поље о шифрирању EC¹ (дужине 1 бит) - указује да ли јесу (или нису) подаци шифрирани
- поље тип Т (дужине 6 битова) - одређује врсту рама,
- поље C² (дужине 1 бит) - указује да ли постоји поље контролног збира,
- поље EK³ (дужине 2 бита) - указује који кључ за шифрирање се користи (ако се користи било који),
- поље о дужини рама L (дужине 11 битова) - указује на укупну дужину рама укључујући заглавље,
- поље CI⁴ (дужине 16 битова) - указује којој вези рам припада,
- поље HCRC⁵ (дужине 8 битова) - контролни збир заглавља користећи полином: $x^8 + x^2 + x + 1$.
- поље D - поље података
- поље CRC⁶ (поље дужине 4 бита) - поље за контролну суму.



Слика 13.20 Структура IEEE802.16 рамова: а) генерички б) захтев за опсегом

Рамови којима се захтева опсег не садрже корисничке податке. Његово заглавље (слика 3.20 б) састоји се од следећих поља:

- прво поље има вредност 1 што указује да је реч о захтеву за опсегом,
- поље тип Т (дужине 6 битова) - одређује врсту рама,
- поље BN⁷ (дужине 16 битова) - колики фреквенцијски опсег је потребан за пренос осдоварајућег броја бајтова,
- поље CI⁸ (дужине 16 битова) - указује којој вези рам припада,

¹ Encrypted - шифриран

² Checksum - циклични код (CRC), али је опционо пошто се не врши поновно слање.

³ Encryption Key - кључ за шифрирање

⁴ Connection identifier - ознака везе

⁵ Header CRC - циклични код заглавља

⁶ Cyclic Redundancy Check

⁷ Bytes needed - потребно број бајтова

⁸ Connection identifier - ознака везе

Бежичне рачунарске мреже

- поље HCRC¹ (дужине 8 битова) - контролни збир заглавља.

Као што смо видели постојећи стандарди и они чије је усвајање у току односе се на различите фреквенцијске опсеге и покривају различита растојања што је систематизовано у табели 13.4. У табели је назначен и још један параметар а то је покретљивост² о којој се све више води рачуна. Мобилни системи друге (2G) и треће генерације (3G) превазилазе оквире овог уџбеника али су битни за међусобно упоређивање сисетма па су зато приказани у табели 13.4.

Мрежа	Стандард	Брзина	Фреквенцијски опсег	Покретљивост
WLAN	IEEE802.11b	1; 2; 5,5; 11Mb/s	ISM 2,4GHz	Мала
	IEEE802.11a	До 54Mb/s	ISM/UNI 5GHz	Мала
	IEEE802.11g	До 54Mb/s	ISM 2,4GHz	Мала
Bluetooth	IEEE802.15.1	1Mb/s	ISM 2,4GHz	Мала
WMAN	IEEE802.16	134Mb/s	10-66GHz	Мала
	IEEE802.16a	70Mb/s	2-11GHz	-
2G	GSM ³	9,6 / 57,6 kb/s	900/1800/ 1900MHz	Велика
	GPRS ⁴	115kb/s		Велика
	EDGE ⁵	384kb/s		Велика
3G	UMTS ⁶ /WCDMA ⁷	До 2Mb/s	1900-2025MHz	Велика
UWB	IEEE802.15.3a (?) или неки <i>de facto</i>	До 400Mb/s	3,1-10,6GHz ⁸	-
Сензори, ..	IEEE802.15.4	5 - 200kb/s	433; 866; 916MHz 2,4 GHz (ISM)	Велика
Нова генерација WLAN		До GHz (у прострији) и 150 - 250MHz (напољу)	-	Велика

Табела 13.4 Бежичне технологије: постојеће и оне које долазе

¹ Header CRC - циклични код заглавља

² Mobility

³ Global System For Mobile Communicatio - користи се у већини земаља осим САД-а.

⁴ General Packet Radio Service - пакетска мрежа на врху GSM-а .

⁵ Enhanced Data Rates for GSM Evolution- назива се и 2,5G.

⁶ Universal Mobile Telecommunication System - ETSI стандард за 3G у Европи

⁷ Wideband Code Division Multiple Access - широкопојасни приступ са кодним мултиплексирањем (један од UMTS стандарда).

⁸FCC

РАЧУНАРСКЕ МРЕЖЕ

Стандард	Опис
IEEE 802.11	Оригинални стандард опсег 2,4GHz, брзине 1Mb/s и 2Mb/s (1999)
IEEE 802.11a	Брзине 54 Mbit/s, опсег 5,4GHz standard (2001)
IEEE 802.11b	Опсег 2,4GHz, брзине 5,5 и 11 Mb/ (1999)
IEEE 802.11c	Премошћавање, укључен је у стандард IEEE 802.1D (2001)
IEEE 802.11d	Интернациоални држава - дражава роминг (2001)
IEEE 802.11e	Побољшање квалитета услуга QoS ¹ (2005)
IEEE 802.11f	Протокол између приступних тачака (2003)
IEEE 802.11F	Станадрд 54 Mbit/s, 2.4 GHz () (2003)
IEEE 802.11g	Прилагођавање 802.11a за Европски стандард радио канала (2004)
IEEE 802.11h	Прилагођавање 802.11a за Европски стандард радио канала (2004)
IEEE 802.11i	Побољшање сигурности (2004)
IEEE 802.11j	Проширење за Јапан (2004)
IEEE 802.11k	Побољшања у мерњу радио ресурса (<i>Radio resource measurement enhancements</i>)
IEEE 802.11l	Резервисан и неће се користити
IEEE 802.11m	Одржавање стандарда (Maintenance of the standard; odds and ends)
IEEE 802.11n	Побољшања протока (Higher throughput improvements)
IEEE 802.11o	Резервисан и неће се користити
IEEE 802.11p	Приступ WAVE - Wireless Access for the Vehicular Environment (such as ambulances and passenger cars)
IEEE 802.11q	Резервисан и неће се користити
IEEE 802.11r	Брзи роминг (<i>Fast roaming</i>)
IEEE 802.11s	Међусобно повезане мреже (<i>ESS Mesh Networking</i>)
IEEE 802.11T	Бежичне перформансе и предвиђања (<i>Wireless Performance Prediction WPP - test methods and metrics</i>)
IEEE 802.11u	Рад са не 802 мрежама (Interworking with non-802 networks (e.g., cellular))
IEEE 802.11v	Бежични надзор мрежа (Wireless network management)
IEEE 802.11w	Заштићени рамови за надзор Protected Management Frames
IEEE 802.11x	Резервисан и неће се користити
IEEE 802.11y	3650-3700 Operation in USA

Табела 13. 5 Стандарди проширење стандарда IEEE 802.11

¹ Quality of Service