



**RĪGAS TEHNISKĀ UNIVERSITĀTE
DZELZCEĻA TRANSPORTA INSTITŪTS**



V.POPOVS, J.GOLOVINS, A.TORŠINS

**802.11 STANDARTA BEZVADU
LOKĀLO TĪKLI (WLAN)**

***INSTALĀCIJAS (802.11b WLAN)
UN EKSPERIMENTĀLO PĒTĪJUMI***

LABORATORIJAS PRAKTIKUMS

RĪGA 2006

UDK 681.3.07

**Popovs V., Golovins J., Toršins A. 802.11 standarta bezvadu lokālo tīkli (WLAN).
Instalācijas (802.11b WLAN) un eksperimentālo pētījumi. Laboratorijas praktikums.
Rīga: RTU Izdevniecība, 2006, 109.lpp.**

Laboratorijas praktikumā tiek apskatīti 802.11 standarta bezvadu lokālie tīkli, kuri mūsdienās plaši tiek izmantoti mobīlajos tīklos, kā arī telekomunikāciju tīklos uz dažādiem transporta veidiem.

Uzmanību pieverš uzstādīšanas principiem, instalācijai un WLAN pamatraksturojumu eksperimentālajiem pētījumiem.

Tiek apskatīti jautājumi par radioviļņu daudzstaru izplatīšanu apkalpošanās zonā, kā arī saistītām ar radio pārklājumu apkalpojamas teritorijas, ātrumu un ciparu informācijas pārraides drošumu.

Laboratorijas praktikumu varētu izmantot speciālisti kā metodējumu projektēšanā un WLAN monitoringā, kā arī studenti, kuri specializējas telekomunikāciju nozarē un tīklos.

ISBN.....

© Popovs V., Golovins J., Toršins A., 2006

Saturs

Ievads	6
1. 802.11 standarta bezvadu lokālo tīklu (WLAN) galvenās koncepcijas.	7
1.1. WLAN topoloģiju apskats.....	7
1.1.1. Neatkarīgas apkalpošanas bāzes zonas (IBSS).....	7
1.1.2. Apkalpošanas bāzes zonas (BSS).....	9
1.1.3. Paplašinātās apkalpošanas zonas (ESS)	10
1.2. WLAN galvenie komponenti.....	10
1.3. IEEE 802.11 izvietojums IEEE tīkla arhitektūras ietvaros.....	10
1.4. 802.11 fiziskais līmenis	11
1.5. 802.11 kanāla līmenis	12
1.6. DSSS tehnoloģija.....	12
1.7. Piekļuves pārraidīšanas videi pārvaldīšana saskaņā ar IEEE 802.11 specifikāciju.....	15
1.7.1. Piekļuves 802.11 standarta videi mehānisms	15
1.7.2. CSMA/CA apskats	15
1.7.3. Nesējas kontroles.....	16
1.7.4. Koordinācijas dalītā funkcija (DCF)	16
1.7.5. Apstiprinājuma kadrs.....	19
1.7.6. Slēptā mezgla problēma un RTS/CTS.....	20
1.7.7. 802.11 standarta kadru fragmentēšana	22
1.7.8. PCF(point coordination function) koordinācijas punktu funkcija.....	23
1.7.9. Periods, kas ir brīvs no konkurences	23
1.7.10. Koordinācijas punkta darbība	24
1.7.11. PCF darbības piemērs.....	25
1.8. Nestandarta iekārtas.....	25
1.8.1. Piekļuves punkti-atkārtotāji.....	26
1.8.2. Universālie klienti un darba grupu tilti.....	27
1.8.3. Bezvadu tilti.....	28
1.9. Operācijas, kas īstenojamas 802.11 standarta MAC līmenī.....	29
1.9.1. Staciju savienošanas iespēja	29

1.9.2. Zondēšanas process	29
1.9.3. Autentifikācijas process.....	32
1.9.4. Piesaistes process.....	32
1.9.5. Darbs energotaupības režīmā.....	33
1.9.5.1. Darbs ar viendresāta freimiem energotaupības režīmā.....	33
1.9.5.2. Plašraide energosaglabāšanas režīmā	34
1.10. Standarta 802.11 freimu formāti MAC.....	35
1.10.1. Standarta 802.11 freimu pārvaldītāji	38
1.10.2. Standarta 802.11 datu freimi	50
2. Lokālā tīkla ar bezvadu sadales sistēmu projektēšana.....	52
2.1. Tīkla aprīkojuma tehniskie parametri.....	53
2.1.1. IEEE 802.11b WLAN standarta aprīkojums	53
2.1.2. IEEE 802.3u Fast Ethernet standarta aprīkojums.....	55
2.2. Tīkla topoloģijas izvēle	57
2.2.1. Bezvadu sadales sistēma.....	57
2.2.2. Ethernet segmenti lokālā tīkla sastāvā.....	58
2.2.3. Piekļuves punkti kā “Ethernet-WLAN” tīkli un WDS atkārtotāji.....	58
2.3. Lokālā tīkla mezglu konfigurācija.....	59
2.3.1. Konfigurācijas parametri	59
2.3.2. Statistiskie parametri	61
2.3.3. TCP/IP uzstādījumi un slūžu ieregulēšana	62
3. Lokālā tīkla ar WDS eksperimentāls pētījums.....	64
3.1. Bezvadu linku lietderīgās caurlaides spējas novērtēšana	65
3.2. Radio-sigņāla atkārtotāju ietekme uz datu pārraides ātrumu.....	72
3.3. WDS caurlaides spējas sadalījums starp mezgliem pie pilnas tīkla slodzes	74
3.4 WLAN daudzstaru izplatīšanās īpatnības.....	76
3.5 Radiopārklājuma novērtējums lokālajam tīklam ar bezvadu sadales sistēmu	
Pielikums
Literaturas saraksts.....

IEVADS

Viens no galvenajiem mobilitātes kritērijiem, kā zināms, ir bezvadu tīkla ārējais interfeiss.

No paša sākuma mobilo iekārtu ražotāji izvēlējās bezvadu tehnoloģijas, kuras piedāvāja lietotāju savienošanas iespēju un pārraides sistēmas, un komutācijas bez vadu un saspraudņu izmantošanas.

Mūsdienās lielāku popularitāti mobilajās sistēmās ieguva protokoli Bluetooth un Wi-Fi (Wi-Fi - Wireless Fidelity). Tādu nosaukumu, atgadina Hi-Fi, ieguva bezvadu datu pārraides standarts pa radiokanāliem attiecībā uz IEEE 802.11b rekomendācijām.

Datu pārraidei Wi-Fi protokols izmanto 2,4 GHz frekvenci. Daudzās kompānijās eksperimentēja ar šo protokolu, mēģinājot palielināt datu pārraides ātrumu Wi-Fi tīklos, un kā standartus pieņēma tikai : 802.11a, 802.11b un 802.11g ar informāciju pārraides ātrumiem, attiecīgi, 54 Mbit/s, 11 Mbit/s un 54 Mbit/s.

*Pētījumu grupa - **High Throughput Study Group** – strādā ar augstātruma 802.11 protokolu, kurš vēl nav pieņemts kā standarts, bet nākotnē, varbūt iegūs 802.11n nosaukumu. Jauns protokols varēs nodrošināt datu pārraides ātrumu līdz 320 Mbit/s.*

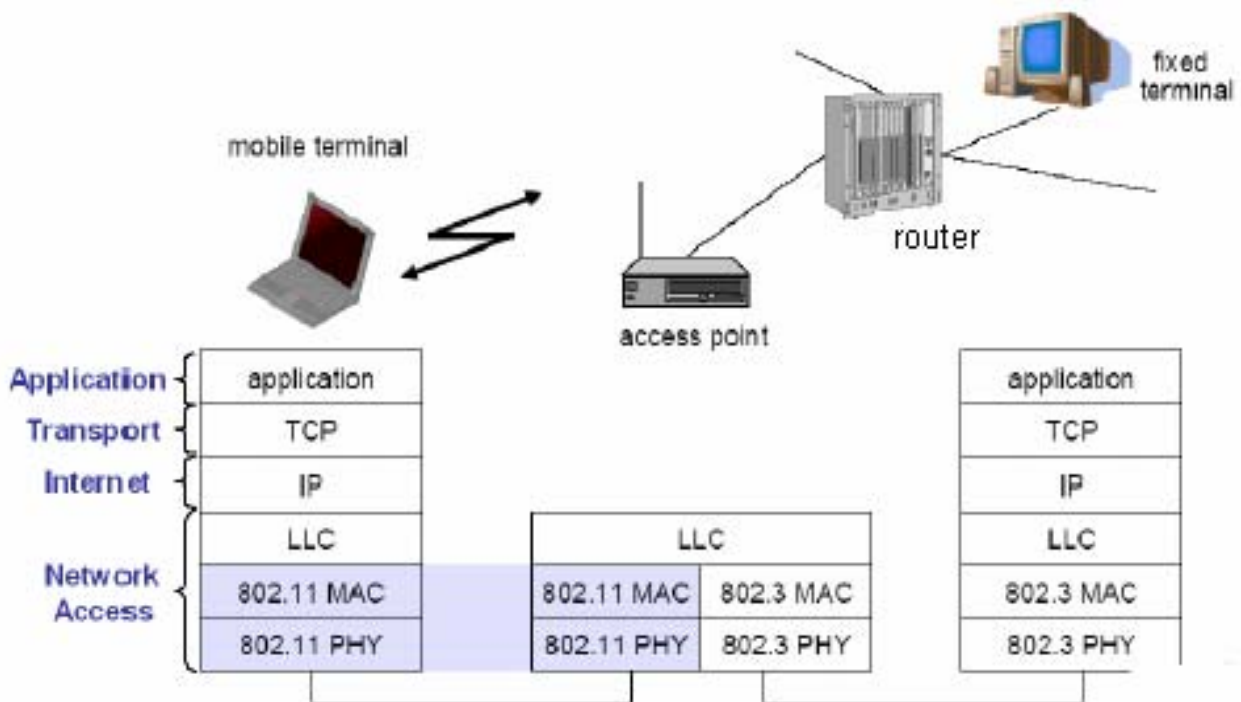
Šī laboratorijas praktikuma mērķis ir 802.11 standarta bezvadu lokālo tīklu projektēšana un eksperimentālie pētījumi.

Praktikumā ietilpst trīs daļas, kurās tiek apskatīti:

- 1. 802.11 standarta bezvadu lokālo tīklu (WLAN) pamata koncepcijas (vadīšanas pieejas līmenis pie pārraides vides (MAC, Media Access Control) 802.11b standarta un funkcijas, kuras tas izpilda.*
- 2. 802.11b standarta projekts Dzelzceļa Transporta Institutā.*
- 3. Eksperimentālo pētījumu pamata metodes un eksperimentu pēc 802.11b WLAN standarta parametru noteikšanas:*
 - caurlaides savienojumu spējas starp lokālo tīklu darba stacijām;*
 - bezvadu kanāla raksturojumu ietekme uz datu pārraides ātrumu pa apskatītu kanālu;*
 - TCP trafika noteikšana, pārraidīto starp pieejas punktiem;*
 - datu pārraides ātruma izmaiņas atkarībā no atkārtotā signāla skaita WDS iekšā;*
 - tīkla sumārās caurlaides iespējas sadalījums starp darba stacijām;*
 - apkalpotas teritorijas radiopārklājums.*

1. NODAĻA

802.11 STANDARTA BEZVADU LOKĀLO TĪKLU (WLAN) GALVENĀS KONCEPCIJAS



1. 802.11 STANDARTA BEZVADU LOKĀLO TĪKLU (WLAN) GALVENĀS KONCEPCIJAS

1.1. WLAN topoloģiju apskats.

802.11 standarta tīklus var konstruēt dažādi. Izstrādātājs var izvēlēties jebkuru no sekojošajām topoloģijām

- Neatkarīgas apkalpošanas bāzes zonas (independent basic service sets, IBSSs).
- Apkalpošanas bāzes zonas (basic service sets, BSSs).
- Paplašinātās apkalpošanas zonas (extended service sets, ESSs).

Apkalpošanas zona (service set) šajā gadījumā ir loģiski sagrupētas iekārtas. WLAN tehnoloģija nodrošina piekļuvi tīklam, pārraidot plašu ziņojumu signālus ēterā uz diapazonā nesošās frekvences. Uztverošā stacija var saņemt signālus vairāku pārraidīšanas staciju darba diapazonā. Pārraidīšanas stacija sākumā nodod apkalpošanas zonas identifikatoru (service set identifier, SSID). Uztvērēj-stacija izmanto SSID, lai filtrētu uztvertos signālus un lai noteiktu to, kurš tai vajadzīgs.

1.1.1. Neatkarīgas apkalpošanas bāzes zonas (IBSS).

IBSS ir staciju grupa, kas strādā atbilstoši 802.11 standartam un kuras viena ar otru sazinās tieši. IBSS sauc arī par speciālo vai neplānoto (ad-hoc) tīklu, jo tā pēc būtības ir vienkāršs viena ranga WLAN. 2.1.attēlā ir parādīts, kā divas 802.11 standarta stacijas, kas ir aprīkotas ar bezvadu tīkla interfeisa kartēm (network interface card, NIC) var veidot IBSS un tieši sazināties viena ar otru.



1.1.att. Neplānotais (ad-hoc) tīkls (IBSS)

Speciālais tīkls vai neatkarīgā apkalpošanas bāzes zona (IBSS) rodas tad, kad atsevišķas ierīces-klienti veido tīklu, kuru paši uztur, neizmantojot atsevišķu piekļuves punktu. Veidojot tādus tīklus, netiek izstrādātas nekādas tā sazarojuma vietu kartes un iepriekšējie plāni, tāpēc tie parasti nav īpaši lieli un tiem ir ierobežots tīkla garums, kas ir pietiekams kopīgi izmantojamu datu pārraidīšanai, ja rodas tāda nepieciešamība. Atšķirībā no varianta, kad tiek izmantota paplašinātā apkalpošanas zona (ESS), klienti izveido tiešu savienojumu viens ar otru, kā rezultātā izveidojas tikai viena apkalpošanas bāzes stacija (BSS), kurai nav interfeisa, lai pieslēgtos pie vadu lokālā tīkla (t.i. nav nekādas sadales sistēmas, kas ir nepieciešama BSS apvienošanai un ESS organizēšanai tādā veidā). Neeksistē nekādi standartos atrunāti ierobežojumi uz iekārtu skaitu, kas var ietilpt vienā neatkarīgā apkalpošanas bāzes zonā. Taču, tā kā katra iekārta ir klients, bieži vien noteikts IBSS biedru skaits nevar sazināties viens ar otru, slēptā mezgla problēmas rezultātā (hidden node issue). Neskatoties uz to, IBSS neeksistē nekāds mehānisms retranslēšanas funkcijas īstenošanai.

Tā kā IBSS nav piekļuves punkta, laika sadale (timing) īstenojas necentralizēti. Klients, kas ir sācis pārraidīšanu IBSS, uzdod signāla (to vēl sauc arī par bākas) intervālu (beacon interval), lai radītu bākas signāla pārraides laika momentu kopumu (set of target beacon transmission time, TBTT). Kad TBTT beidzas, katrs IBSS izpilda sekojošo.

- Uz laiku apstādina visus nestrādājošos aiztures taimerus (backoff timer) no iepriekšējā TBTT.
- Nosaka jaunu nejaušu aizturi.
- Ja bākas signāls ienāk līdz nejaušas aiztures beigām, atjauno uz laiku apstādinātos aiztures taimerus. Ja nekāds bākas signāls neienāk līdz nejaušas aiztures beigām, sūta bākas signālu un atjauno uz laiku apstādinātos aiztures taimerus.

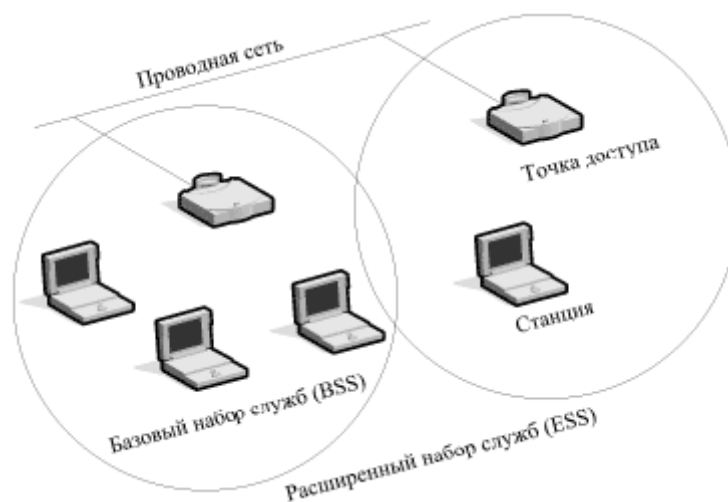
Jūs redzat, ka laika sadalījumu bākas signālu pārraidīšanai speciālajos tīklos neīsteno piekļuves punkts un to nedara arī neviens no klientiem. Tā kā tādai sakaru shēmai piemīt slēptā mezgla problēma, ir pilnīgi iespējams, ka signāla intervāla laikā tiks nodots liels daudzums bākas signālu no dažādiem klientiem un citi klienti saņems lielu daudzumu bākas signālu. Tomēr standarts visumā pieļauj šādu situāciju un nerodas nekādas problēmas, jo klienti gaida tikai pirmā bākas signāla uztveršanu, kurš attiecas uz viņu pašu nejaušās aiztures taimeri.

Bākas signālos ir iebūvēta taimera sinhronizācijas funkcija (timer synchronization function, TSF). Katrs klients salīdzina TSF bākas signālā ar savu paša taimeri un, ja iegūtā vērtība ir lielāka, tad uzskata, ka pārraidīšanas stacijas pulkstenis iet ātrāk, un atbilstoši piemēro savu taimeri ar iegūto vērtību. Tam ir ilglaicīgs visas neplānotā tīkla darba sinhronizācijas efekts

pēc klienta ar visātrāko taimeru. Lielos neplānotos sadales tīklos, kad daudzi klienti nevar sazināties tieši, var būt nepieciešams kāds laiks, lai panāktu visu klientu sinhronizāciju.

1.1.2. Apkalpošanas bāzes zonas (BSS).

BSS ir pēc 802.11 standarta strādājošu staciju grupa, kuras sazinās viena ar otru. BSS tehnoloģija paredz īpašas stacijas esamību, kuru sauc par piekļuves punktu (access point). Piekļuves punkts ir centrālais sakaru punkts visām BSS stacijām. Klientu stacijas nesazinās tieši viena ar otru. Tā vietā tās sazinās ar piekļuves punktu, bet tas, savukārt, arī nosūta kadrus adresāt-stacijai. Piekļuves punktam var būt augšējā kanāla pieslēgvietā (uplink port), caur kuru BSS pieslēdzas vadu tīklam (piemēram, augšējais kanāls Ethernet). Tāpēc BSS dažreiz tiek saukta par BSS infrastruktūru. 2.2.attēlā ir sniegta tipiska BSS infrastruktūra.



1.2.attēls BSS bezvadu lokālā tīkla infrastruktūra.

1.1.3. Paplašinātās apkalpošanas zonas (ESS).

Divas un vairāk BSS, kas veido vienu apakštīklu, veido paplašinātu pakalpojumu kopumu (ESS - Extended Service Set). Augšējam kanālam pie sadales sistēmas nav obligāti jāizmanto vadu savienojums. 2.3.attēlā ir sniegts piemērs praktiskai ESS īstenošanai. 802.11 standarta specifikācija atstāj iespēju šo kanālu realizēt bezvadu veidā. Taču biežāk augšējie kanāli pie sadales sistēmas ir vadu Ethernet kanāli.

1.2. WLAN galvenie komponenti.

IEEE 802.11 standarts nosaka divus galvenos aprīkojuma tipus:

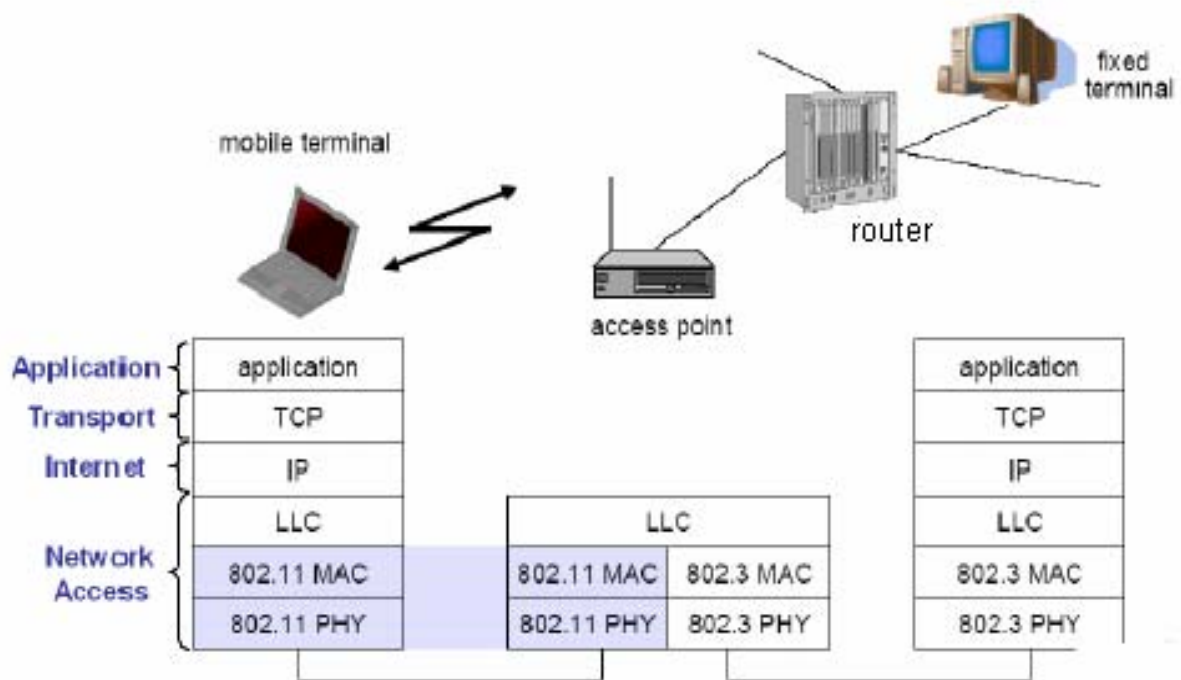
- 1) klienta stacija (Client Station), kas parasti ir dators, kurš nokomplektēts ar bezvadu tīkla adapteri (Wireless NIC – Wireless Network Interface Card);
- 2) piekļuves punkts (AP - Access Point), kas spēlē tilta lomu starp bezvadu un vadu tīkliem.

Tīklā 802.11 stacija ir komponents, kas ir pieslēdzams pie bezvadu vides. Stacija var būt mobila vai stacionāra. Katra stacija atbalsta visus klientu dienestus, kuri ietver sevī autentifikāciju, šifrēšanu un datu piegādi.

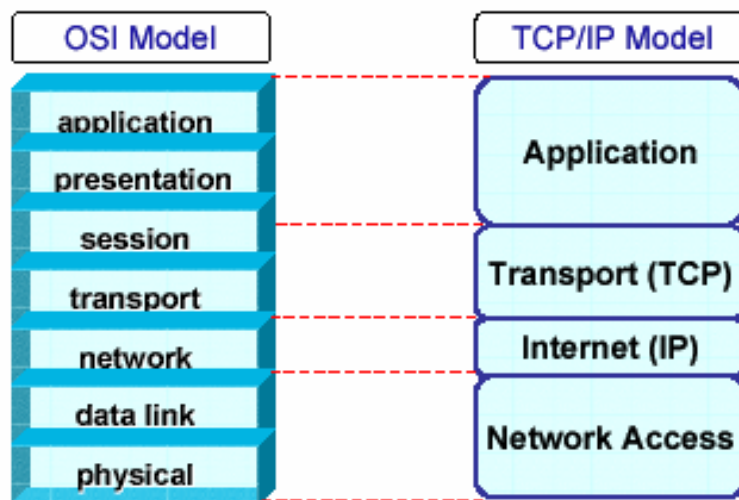
Piekļuves punkts ietver sevī WLAN uztverēju-pārraidītāju, vadu tīkla interfeisu (802.3 Ethernet), kā arī programmatūras nodrošinājumu, kas nodarbojas ar datu apstrādi. Tas izpilda klientu dienestu centralizētās administrēšanas funkciju.

1.3. IEEE 802.11 izvietojums IEEE tīkla arhitektūras ietvaros

IEEE 802.11 standarts iekļauj sevī veselu standartu apkopojumu, kas ir izklāstīti IEEE WLAN specifikāciju noteikšanai. Šī standarta īstenošana nodrošina lokālos, liela ātruma bezvadu savienojumus WLAN ietvaros fiksētajām un mobilajām darba stacijām. Tāpat kā citi IEEE standarti, kas nosaka tīkla protokolus (piemēram, 802.3 Ethernet un 802.5 Token Ring), 802.11 ietver sevī visu fizisko līmeni (Physical Layer) un kanāla līmeņa (Data Link Layer) piekļuves MAC (Media Access Control) videi pārvadīšanas apakšlīmeni OSI (Open Systems Interconnection) arhitektūras ietvaros. Tas nozīmē, ka, lai arī šie tīkla protokoli atšķiras savā starpā, tos var apvienot vienā LLC (Logical Link Control) - loģiskā kanāla pārvades apakšlīmenī, kas izvietots virs MAC apakšlīmeņa. 1.3.attēlā tiek sniegts piemērs 802.11 WLAN un 802.3 Ethernet tīklu integrēšanai vienā LCC apakšlīmenī. Pateicoties tādām caurspīdīgumam, dienesti augstākos OSI arhitektūras līmeņos nevar noprast atšķirības tīkla zemāko līmeņu struktūrā. 1.4.attēlā ir parādīta OSI arhitektūras atbilstība TCP/IP tīkla arhitektūrai.



1.3.attēls Vadu un bezvadu tīkla integrācija kopējā LLC apakšlīmenī



1.4.attēls OSI un TCP/IP arhitektūru salīdzināšana

1.4. 802.11 fiziskais līmenis

Fiziskais līmenis nosaka divas platjoslu radiofrekvenču pārraides metodes un vienu – infrasarkanajā diapazonā. Šajā darbā izskatītā radiofrekvences metode strādā 2.4 GHz diapazonā un izmanto 83.5 MHz joslu. Platjoslu signāla tehnoloģijas, kas tiek izmantotas radiofrekvenču metodēs, palielina drošību, caurlaides spēju, ļauj daudzām savstarpēji nesaistītām iekārtām dalīt vienu frekvences joslu ar minimāliem traucējumiem vienam priekš otra.

Lai uzturētu ļoti trokšņiem piepildītu vidi, kā arī darbam lielos tīkla attālumos, 802.11 izmanto dinamisko ātruma nobīdi, kas ļauj automātiski mainīt datu pārraidīšanas ātrumu atkarībā no radiokanāla īpašībām. Piemēram, 802.11b tīkla lietotājs var pieslēgties ar maksimālo ātrumu 11 Mbit/s, taču gadījumā, ja paaugstināsies traucējumu līmenis, vai arī ja lietotājs attālināsies uz lielāku attālumu, mobilā iekārta sāks pārraidīt ar mazāku ātrumu – 5.5, 2 vai 1 Mbit/s. Tajā gadījumā, ja kļūs iespējama stabila darbība lielākā ātrumā, mobilā iekārta automātiski sāks pārraidīt ar lielāku ātrumu. Ātruma nobīde ir fiziskā līmeņa mehānisms un tā ir caurskatāma augstāk stāvošajiem līmeņiem un lietotājam.

1.5. 802.11 kanāla līmenis

Kā jau tika teikts, 802.11 kanāla līmenis sastāv no diviem apakšlīmeņiem - LLC un MAC. 802.11 izmanto to pašu LLC un 48-bitu adresāciju, kuru izmanto arī citi 802 tīkli, tomēr MAC līmenim ir kardinālas atšķirības.

802.11 MAC-līmenis ir ļoti līdzīgs 802.3 īstenotajam, kur tiek atbalstīts liels lietotāju skaits kopējā nesējā, un lietotājs pārbauda nesēju pirms piekļūšanas pie tās. 802.3 Ethernet tīkliem tiek izmantots daudzskaitlīgas piekļuves protokols ar nesošās atpazīšanu un kolīziju noteikšanu (CSMA/CD - Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection), kas nosaka, kā Ethernet stacijas iegūst piekļuvi pie vadu līnijas un tās atklāj un apstrādā kolīzijas, kuras rodas gadījumā, ja vairākas iekārtas mēģina tīklā vienlaicīgi nodibināt sakarus. Lai noteiktu kolīziju, stacijai ir jāpiemīt spējai vienlaicīgi gan pieņemt, gan pārraidīt.

IEEE 802.11 standarts paredz pusduplekso uztvērēj-pārraidītāju izmantošanu, tāpēc 802.11 bezvadu tīklos stacija nevar noteikt kolīziju pārraidīšanas laikā. Lai ņemtu vērā šo atšķirību, 802.11 pielieto modificētu protokolu, kurš ir pazīstams kā daudzskaitlīgā piekļuve ar nesošās atpazīšanu un izvairīšanos no kolīzijām (CSMA/CA - Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance). CSMA/CA mēģina izvairīties no kolīzijām, izmantojot skaidru paketes apstiprinājumu, kas nozīmē, ka uztverošā stacija sūta speciālu signālu, lai apstiprinātu to, ka pakete ir saņemta nesabojātā veidā.

802.11 MAC nodrošina funkcionēšanu, kas nepieciešama, lai veidotu lietotāja datu uzticamu piegādes mehānismu pa bezvadu kanālu. WLAN MAC pirmā funkcija ir datu pārraidīšanas drošuma garantija, izmantojot kadru apmaiņas protokola palīdzību MAC līmenī.

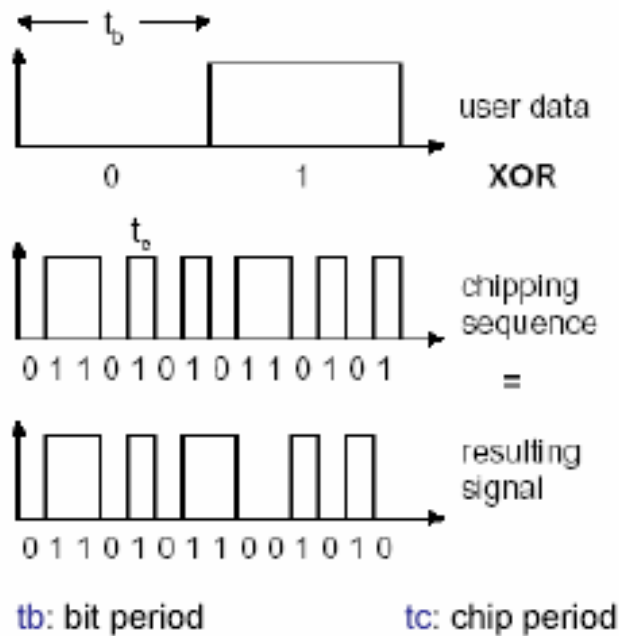
Otra WLAN MAC funkcija ir piekļuves kvalitatīvas kontroles nodrošināšana pie kopējās bezvadu pārraidīšanas vides. Šo funkciju realizē divi dažādi mehānismi: mehānisms, kas ir balstīts uz konfliktu atrisināšanu; kuru sauc par sadales koordinēšanas funkciju (DCF – Distributed Coordination Function), un piekļuves mehānisms ar centralizētu pārvaldi ar nosaukumu punkta koordinēšanas funkcija. (PCF – Point Coordination Function).

Trešais WLAN MAC uzdevums ir pārraidāmo datu aizsardzība pret nesankcionētu piekļuvi. Tas tiek īstenots ar WEP (Wired Equivalent Privacy) dienesta palīdzību, kurš šifrē datus pirms to pārraidīšanas bezvadu vidē. Šī funkcija dotajā darbā netiek apskatīta.

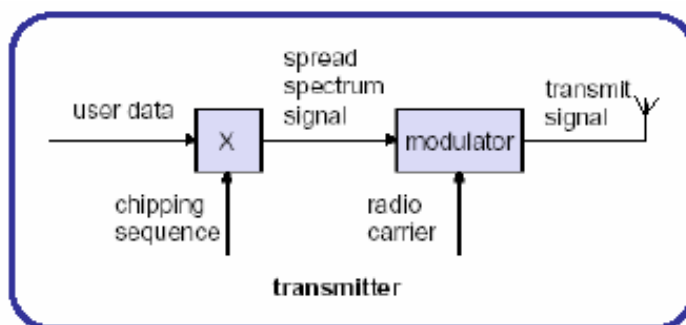
1.6. DSSS tehnoloģija

Viena no problēmām, kas piemīt pārraidīšanai pa radiokanālu, ir tā, ka šaurā joslā sakoncentrēts signāls tiek pakļauts frekvences selektīvajai rimšanai un kropļojošu traucējumu ietekmei, kas arī ir sakoncentrēti šaurā frekvences joslā. Šīs problēmas atrisinājums, kuru piedāvā IEEE 802.11b standarts, sastāv no tā, lai sadalītu šaurjoslas signālu platākā frekvences joslā ar speciāla modulācijas koda palīdzību. Šī tehnoloģija ir ieguvusi nosaukumu tiešās secības spektra paplašināšana (DSSS – Direct Sequence Spread Spectrum).

DSSS paplašina signāla spektru pieļaujamās robežās, izmantojot 11-bitu elementāro signālu secību (chipping sequence) – Barkera kodu: $\{+1, -1, +1, +1, -1, +1, +1, +1, -1, -1, -1\}$. Barkera kods summējas pēc 2 moduļa ar katru datu bitu, kā rezultātā iznāk jauna secība ar tādu pašu garumu, kā sākotnējā datu secība. Rezultējošais kods modulē radio nesēju 2.4 GHz diapazonā un tiek nosūtīts ēterā. Spektra paplašināšana dod līdz 10.4 dB vinnestu uztvērēgalā atjaunojamā signāla līmenī salīdzinājumā ar pārraidi šaurā joslā. (Tas tiek panākts traucējumu pavājināšanas rezultātā un trokšņa pavājināšanas rezultātā, apstrādājot signālu ar lietotāja DSSS-demodulatoru.)

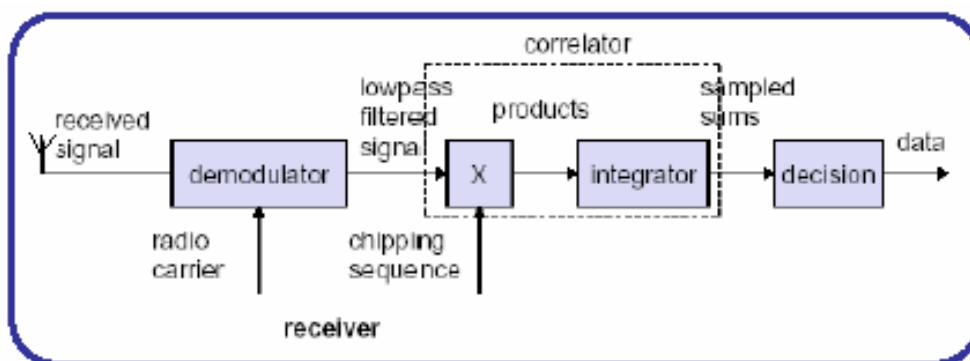


1.5.attēls Tiešās secības kodēšana



1.6.attēls Ciparu signāla pārvešana uz radio nesēju

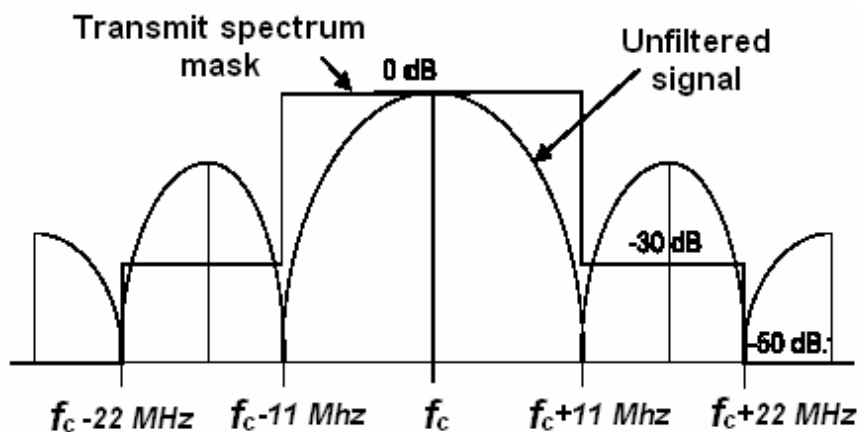
Radio uztvērējā nesēja demodulējas un tiek nofiltrētas zemās frekvences. Sākotnējais signāls summēšanas rezultātā tiek norestaurēts pēc 2 moduļa ar tādu pašu Barkera secību, ka pārraidītājā.



1.7.attēls Signāla atjaunošanas process uztveršanas galā

Tas pats process pavājina traucējumu un trokšņa līmeni, kas veicina tālāku to nospiešanu. Iekārtu, kas veic norādīto procesu, sauc par saskaņotā filtra korelatoru. Pēc viņa stāv sliekšņa iekārta, kas atjauno ciparu signālu.

Viens DSSS-kanāls aizņem 22 MHz joslu, turklāt signāla spektrs šajā joslā satur vienu galveno un divas malējās lapiņas. (1.8.attēls).



1.8.attēls 802.11b DSSS signāla spektrs

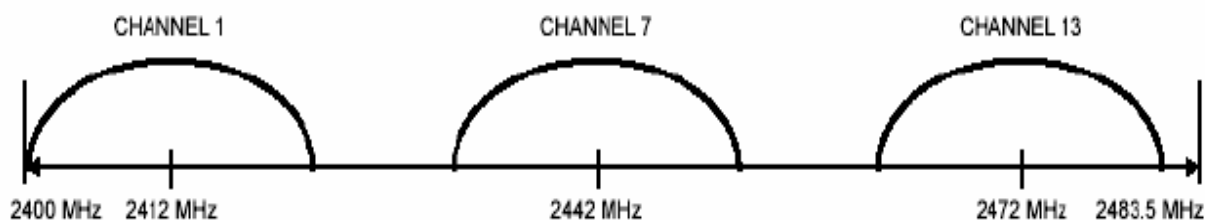
Malējās lapiņas tiek izslēgtas no darbojošās kanāla caurlaišanas joslas, jo tās parasti ir zem trokšņa sliekšņa. ISM 2.4-2.4835 GHz diapazons sniedz 13 pārsedzošus 22 MHz kanālus. To centrālo frekvenču sadalījums ir attēlots 1.1.tabulā.

1.1.tabula

WLAN kanālu frekvenču sadalījuma Eiropas plāns

Channel ID	Frequency (MHz)
1	2 412
2	2 417
3	2 422
4	2 427
5	2 432
6	2 437
7	2 442
8	2 447
9	2 452
10	2 457
11	2 462
12	2 467
13	2 472

Blakusesošie standartizētie kanāli ir 5 MHz atstatumā viens no otra. Ņemot vērā DSSS 22 MHz kanāla joslas platumu, ISM diapazonā maksimāli ir iespējami 3 kanāli, kuri nepārsedzas, (1.9.attēls) un 5 kanāli, kuri pārsedzas, ar pieņemamu interferences līmeni starp blakuskanāliem. Tādā veidā minimālajam kanālu sadalījumam ir jābūt 3 un ieteicamais ir 6.



1.9.attēls Kanālu, kas nepārsedzas, izlase

1.7. Piekļuves pārraidīšanas videi pārvaldīšana saskaņā ar IEEE 802.11 specifikāciju.

1.7.1. Piekļuves 802.11 standarta videi mehānisms.

Bezvadu tīkli izmanto mehānismu, kuru sauc par „daudzskaitlīgo piekļuvi ar nesējas kontroli un kolīziju novēršanu” (carrier sense multiple access with collision avoidance, CSMA/CA). CSMA/CA pārstāv „klausīšanās pirms pārraides” (listen before talk, LBT) mehānismu. Pārraidītāj-stacija pārbauda, vai vidē ir nesējas signāls un, pirms sākt pārraidi, gaida tās atbrīvošanos.

Vadu Ethernet spēj pārraidīšanas vidē noteikt kolīzijas. Divas stacijas, kas vienlaicīgi pārraida datus, palielina signāla līmeni vadā, un tas kalpo par signālu pārraidīšanas stacijai, ka ir radusies kolīzija. 802.11 standarta bezvadu stacijām nepiemīt šāda iespēja. 802.11 standarta piekļuves mehānismam ir jāpieliek visas pūles, lai kolīzija vispār nerastos.

1.7.2. CSMA/CA apskats.

CSMA/CD tiek salīdzināts ar selektoru apspriedi. Katram dalībniekam, kas vēlas kaut ko pateikt, ir jāpagaida, kamēr cits beidz runāt. Ja līnija ir brīva, dalībniekam jāmēģina runāt. Ja divi dalībnieki sāk runāt vienlaicīgi, abiem ir jāapklust un jāatkārto mēģinājums.

Izmantojot CSMA/CA, kārtība ir vēl stingrāka. Ja pievēršamies pie tās pašas analogijas ar selektoru apspriedi, tās sarīkošanas scenārijā ir jāienes dažas izmaiņas.

- Pirms tam, kad kāds no dalībniekiem sāk runāt, viņam ir jāpaziņo, cik ilga būs viņa runa. Šis paziņojums dod potenciālajiem uzstāšanās veicējiem priekšstatu par to, cik ilgi viņiem būs jāgaida, lai tiktu pie iespējas runāt.
- Dalībnieki nevar runāt līdz brīdim, kamēr neaiziet laiks, kuru ir savai runai rezervējis iepriekšējais dalībnieks.

- Dalībnieki nezina, vai viņu balss ir sadzirdēta, kad viņi runā, līdz kamēr viņi nesaņem apstiprinājumu runas beigās.
- Ja divi dalībnieki ir sākuši runāt vienlaicīgi, viņi nezina, ka mēģina viens otru pārkliegt. Runājošie nosaka, ka runā vienlaicīgi, pēc tā fakta, ka nesaņem apstiprinājumu, ka viņu runa ir sadzirdēta.
- Dalībnieki nogaida kādu nenoteiktu (nejaušu) laiku un atkal mēģina runāt, ja nesaņem apstiprinājumu, ka ir sadzirdēti.

Kā redziet, CSMA/CA tehnoloģija pielieto daudz stingrākus noteikumus, nekā CSMA/CD. Tie palīdz izvairīties no kolīzijām. Kolīziju novēršana ir atslēgas moments bezvadu tīkliem, jo tiem nav skaidra mehānisma, kā tās atklāt. Izmantojot CSMA/CA tehnoloģijas kolīzija tiek atklāta tikai tad, kad pārraidīšanas stacija nesaņem gaidīto apstiprinājumu.

802.11 standarts īsteno CSMA/CA tehnoloģiju ar koordinācijas dalītās funkcijas palīdzību (distributed coordination function, DCF). Pirms aprakstīt CSMA/CA darbu, ir svarīgi sākumā aprakstīt 802.11 komponentus, kas ir svarīgi priekš CSMA/CA.

- Nesējas kontrole.
- Koordinācijas dalītā funkcija.
- Apstiprinājuma kadri.
- Vides rezervēšana ar „gatavības pārraidīšanai/gatavības uztveršanai” mehānisma palīdzību (RTS/CTS).

Bez tam, piekļuvei videi ir raksturīgi citi divi mehānismi pēc 802.11 standarta, taču tie nav tieši saistīti ar CSMA/CA tehnoloģiju.

- Kadru fragmentēšana.
- Koordinācijas punktu funkcija (point coordination function, PCF).

1.7.3. Nesējas kontroles.

Stacijai, kura gatavojas īstenot pārraidīšanu vadu vidē, sākumā ir jāpārbauda, vai nesēja tiek izmantota. Ja tas tā ir, stacijai ir jāatliek pārraide līdz vides atbrīvošanās momentam. Stacija nosaka vides stāvokli ar divu metožu palīdzību.

- Fiziskā līmeņa pārbaude PSY (līmenis 1) uz nesējas klātesamības faktu.

- Nesējas kontroles virtuālās funkcijas izmantošana, tīkla sadalījuma vektora izmantošana (network allocation vektor, NAV).

Stacija var pārbaudīt fizisko līmeni un pārlicināties par to, ka nesēja ir brīva. Taču dažos gadījumos vidi vēl joprojām var būt aizņēmusi cita stacija caur tīkla sadalījuma vektoru. Tas ir taimeris, kura nozīme atjaunojas ar kadru datiem, kuri tiek pārraidīti vidē. Piemēram, pieņemsim, ka BSS infrastruktūrā Marta sūta Džordžam kadru (1.10.attēls). Tā kā bezvadu vide ir kopīgi izmantojama vide ar pārraidīšanu pa radio, Vivjena arī saņem šo kadru. 802.11 standarta kadri satur garuma lauku (duration field). Garuma vērtība ir pieliekami liela tam, lai īstenotu kadra pārraidīšanu un lai saņemtu apstiprinājumu pār tā saņemšanu. Vivjena atjauno savu tīkla sadalījuma vektoru ar garuma lauka vērtību un nemēģina sākt pārraidīšanu, kamēr tīkla sadalījuma vektors nav samazinājies līdz nullei.

Pievērsiet uzmanību tam, ka šī stacija atjauno tīkla sadalījuma vektoru tikai tad, kad saņemtā lauka garuma vērtība pārsniedz to, kas glabājas viņas tīkla sadalījuma vektorā. Tādējādi, apskatāmajā gadījumā, ja Vivjenas stacijas tīkla sadalījuma vektora vērtība sastāda 10 ms, viņa nesāks atjaunot savu tīkla sadalījuma vektoru, ja saņems kadru ar garuma lauka vērtību 5 ms. Viņa atjaunos tīkla sadalījuma vektoru, ja saņems kadru ar garuma lauka vērtību 20 ms.

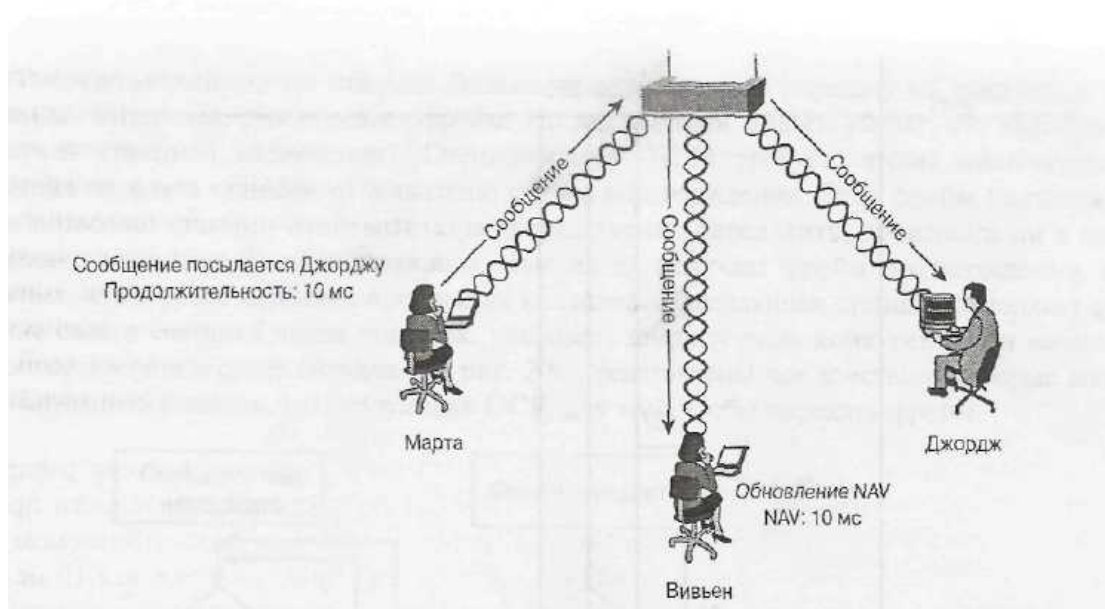
1.10.attēls Tīkla sadalījuma vektora atjaunošanas process



1.7.4. Koordinācijas dalītā funkcija (DCF).

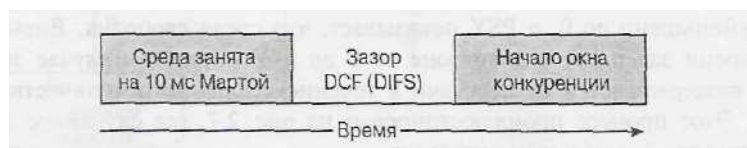
Piekluves mehānisms, kuru iedibinājis IEEE, 802.11 standarta tīkliem ir koordinācijas dalītā funkcija (DCF), t.i. piekluves mehānisms videi, kas balstīts uz CSMA/CA metodi. Pirms uzsākt DCF darbības aprakstu, mēs ieviesīsim dažus jēdzienus. 1.12.attēlā ir sniegta laika diagramma scenārijam, kas parādīts 1.11.attēlā.

Darbojoties, izmantojot DCF, stacijai, kas vēlas nodot kadru, ir jānogaida noteikts laiks pēc tam, kad vide ir atbrīvojusies. Šo laika intervālu sauc par DCF starpkadru atstarpi (DCF interframe space. DCF). Kad DCF laika intervāls ir iztecējis, stacija var piedalīties sacensībās par tiesībām iegūt piekļuvi videi.



1.11.attēls Piekluves videi laika diagramma, izmantojot koordinācijas dalīto funkciju (DCF)

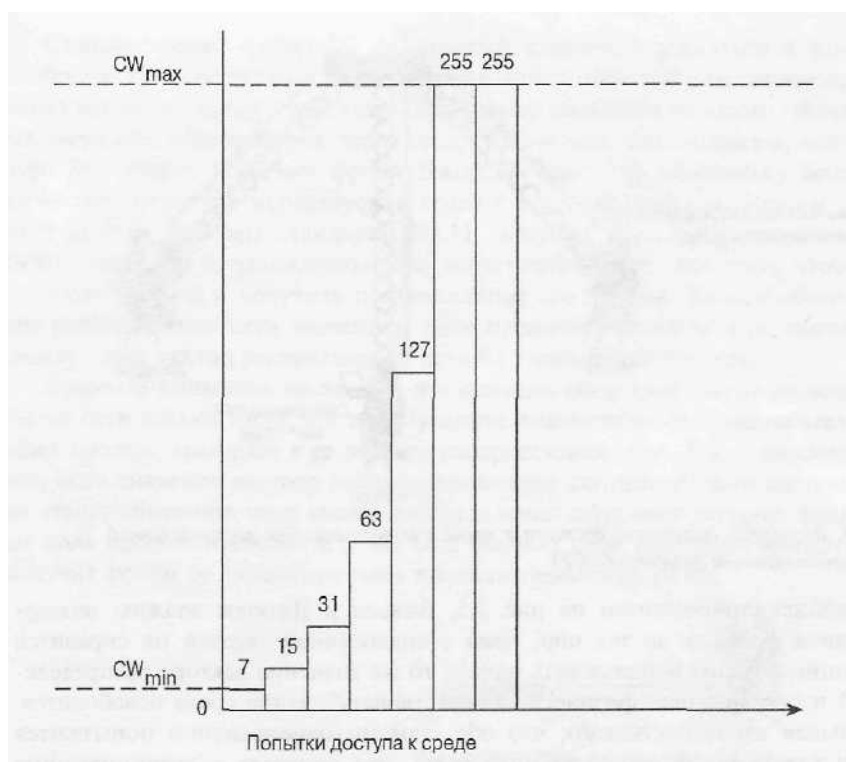
Gadījumā, kas ir ilustrēts 1.11.attēlā, Vivjenai un Džordžam ir jāatturas no kadru pārraidīšanas līdz tam laikam, kamēr ar analogisku uzdevumu būs tikusi galā Marta. Abām stacijām ir jāizmanto viena un tā pati tīkla sadalījuma vektora vērtība (NAV) un abām ir fiziski „jāsajūt”, kad vide atbrīvosies. Pastāv liela iespējamība, ka abas stacijas vienlaicīgi mēģinās sākt pārraidīšanu mirklī, kad atbrīvosies vide, un tas novedīs pie kolīzijas rašanās. Lai izvairītos no šādas situācijas, DCF izmanto nejaušās aiztures taimeris (random backoff timer).



1.12.attēls Piekļuves videi laika diagramma, izmantojot DCF

Izmantojot aiztures nejaušu algoritmu, nejaušā veidā tiek izvēlēta vērtība diapazonā no 0 līdz vērtībai, kas atbilst konkurences loga platumam (contention window, CW). Pēc noklusēšanas CW vērtību uzstāda ražotājs, un tā glabājas stacijas tīkla kartē. Nejaušās aiztures vērtību diapazons sākas ar 0 un beidzas ar maksimālo vērtību, t.i. atrodas robežās no CW_{min} līdz CW_{max} . Pieņemsim, ka mūsu aprakstītajā gadījumā CW_{min} ir vienāda ar 7, bet CW_{max} vērtība ir 255. 1.13.attēlā ir parādītas CW_{min} un CW_{max} vērtības nejaušai aizturei, kura tiek uzdots divējādā veidā.

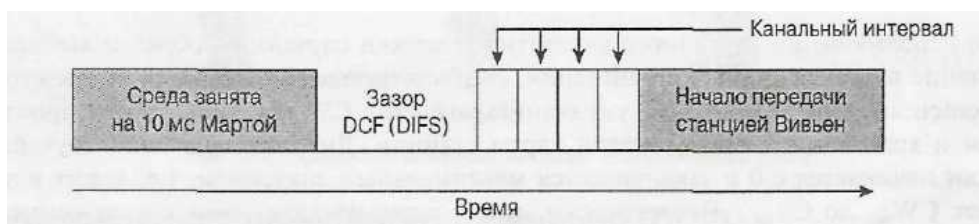
Stacija nejaušā veidā izvēlas vērtību no 0 un tekošo CW vērtību. Nejauša vērtība ir kanālu intervālu skaits pēc 802.11 standarta, kuru laikā stacijai, jau pēc vides atbrīvošanās konkurences logā, ir jāatturas no pārraidīšanas. Kanālu intervāls (slot time) ir laika vērtība, kuru nosaka fiziskā līmeņa parametri, kas balstīti uz BSS radiofrekvenču kanāla īpašībām.



1.13.attēls Nejauša aizture pieejai videi, izmantojot DCF

Atgriezīsimies pie mūsu piemēra. Vivjena ir gatava sākt pārraidīšanu. Viņas NAV taimera vērtība ir samazinājusies līdz 0, bet PSY rāda, ka vide ir brīva. Vivjena izvēlas nejaušu aiztures laiku diapazonā no 0 līdz CW (šajā gadījumā CW ir vienāds ar 7) un atturas no

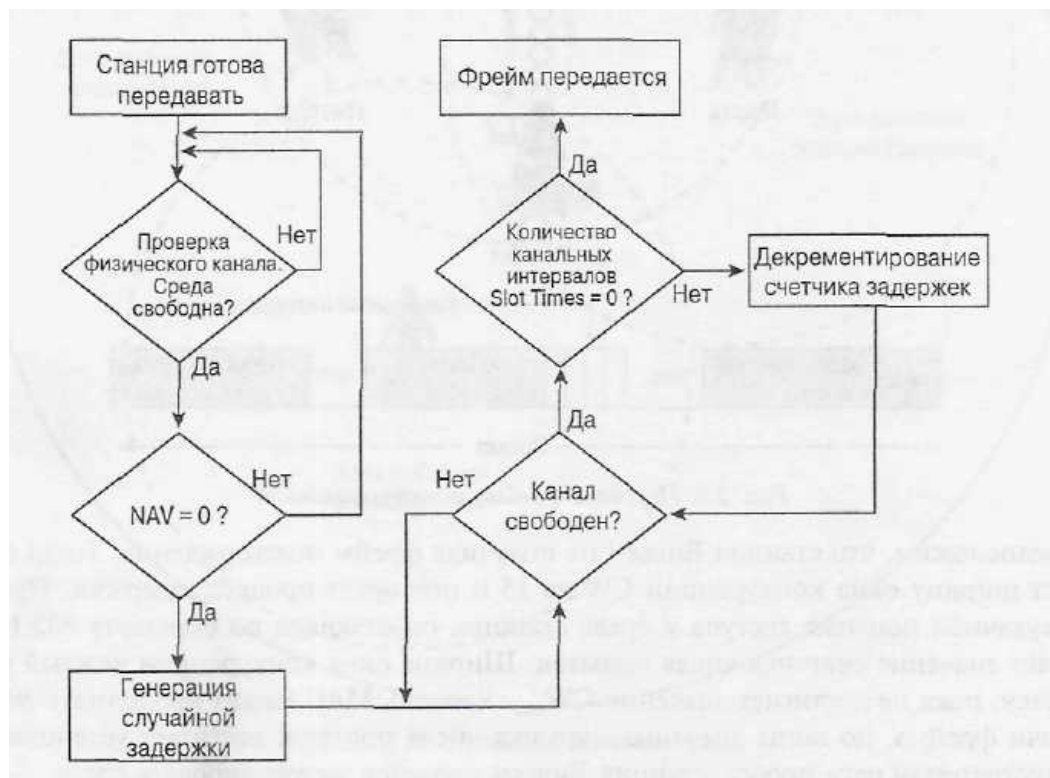
pārraidīšanas izvēlētajā kanālu intervālu skaita laikā. Šis process ir ilustrēts 1.14.attēlā, kur nejaušā aiztures vērtība sastāda 4 kanālu intervālus.



1.14.attēls Kadra pārraidīšana pēc nejaušas aiztures laika iztecēšanas

Pēc četrus kanālu intervālu paiešanas Vivjena var sākt pārraidīšanu. Bet kas notiks, ja Džordža stacijai ir nejaušais aiztures laiks, kas vienāds ar diviem kanālu intervāliem? Vivjena saņem jaunu garuma lauka vērtību no Džordža stacijas kadra, kad viņa sāk pārraidi, un atjauno savu NAV, piedodot tam jaunu vērtību. Vivjenas stacijai, pirms viņa atjaunos savu nejaušo aizturi, ir jāpagaida, kamēr viņas NAV samazināsies līdz 0 un viņas PSY paziņos, ka vide atkal ir brīva. (Dotajā piemērā Vivjenas stacijai ir jāpagaida papildus divi kanālu intervāli, pirms uzsākt mēģinājumu sākt pārraidīšanu.)

Pieņemot, ka Vivjenas stacija var atlikt pārraidīšanu uz visiem četriem intervāliem, viņa nodod kadru. Taču kā Vivjenas stacija uzzinās, ka šo kadru mērķa stacija ir saņēmusi? 802.11 specifikācija pieprasa, lai uztverošā stacija nodotu nosūtītāj-stacijai apstiprinājuma kadru. Šis apstiprinājuma kadrs ļauj stacijai-nosūtītājai tieši noteikt, vai pārraidīšanas vidē ir notikusi kolīzija. Ja pārraidītāj-stacija nesaņem apstiprinājuma kadru, tā uzskata, ka pārraidīšanas vidē ir notikusi kolīzija. Pārraidītāj-stacija atjauno sava mēģinājumu skaita skaitītāja vērtību, divkārtšo konkurences loga platumu un sāk piekļuves pie vides procesu no sākuma. 1.15.attēlā ir sniegtas visas darbības, kuras stacijai ir jāizpilda, kas izmanto DCF, lai pārraidītu kadru.

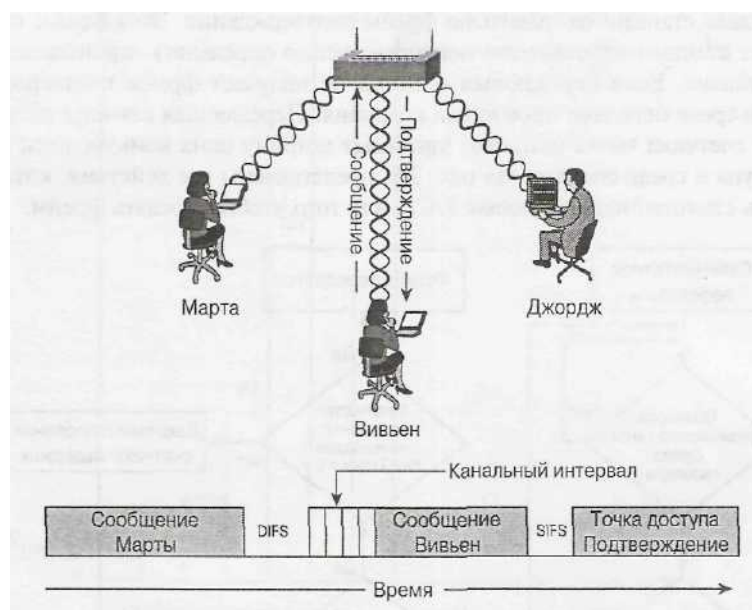


1.15.attēls Piekļuves videi process, izmantojot DCF

1.7.5. Apstiprinājuma kadsrs.

Stacija, kas saņēmusi kadru, apstiprina tā saņemšanu bez kļūdām, nosūtot pārraidītājstacijai apstiprinājuma kadru. Uzzinot, ka uztvērēj-stacijai ir jāiegūst piekļuve videi un jānodod apstiprinājuma kadsrs, Jūs varētu izdarīt pieņēmumu, ka apstiprinājuma kadra pārraide var aizkavēties tā rezultātā, ka stacijas konkurē par vidi. Tomēr apstiprinājuma kadra pārraidīšana ir īpašs gadījums. Apstiprinājuma kadriem ir atļauts nepiedalīties nejaušās aiztures procesā, tāpēc nenākas ilgi gaidīt iespēju nodot apstiprinājumu pēc kadra saņemšanas. Īso laika sprīdi, kuru uztvērēj-stacija pavada, gaidot tādu iespēju, sauc par *īso starpkadru atstarpi* (short interframe space, SIFS). SIFS intervāls ir īsāks, kā DIFS intervāls par diviem kanāla intervāliem. Tas garantē uztvērēj-stacijai lielāku iespēju, salīdzinot ar citām stacijām, iegūt pārraidei nepieciešamo piekļuvi pie vides.

Atgriežoties pie gadījuma, kad notiek informācijas pārraide no Vivjenas Džordžam, atzīmēsim, ka pirmā stacija atlika pārraides mēģinājumu par četriem kanāla intervāliem. Vide kļuva pieejama, tāpēc viņa nodeva savu kadru Džordžam (1.16.attēls). Piekļuves punkts saņem kadru un, pirms apstiprinājuma kadra nodošanas, gaida laika sprīdi, kas vienāds ar SIFS intervālu.



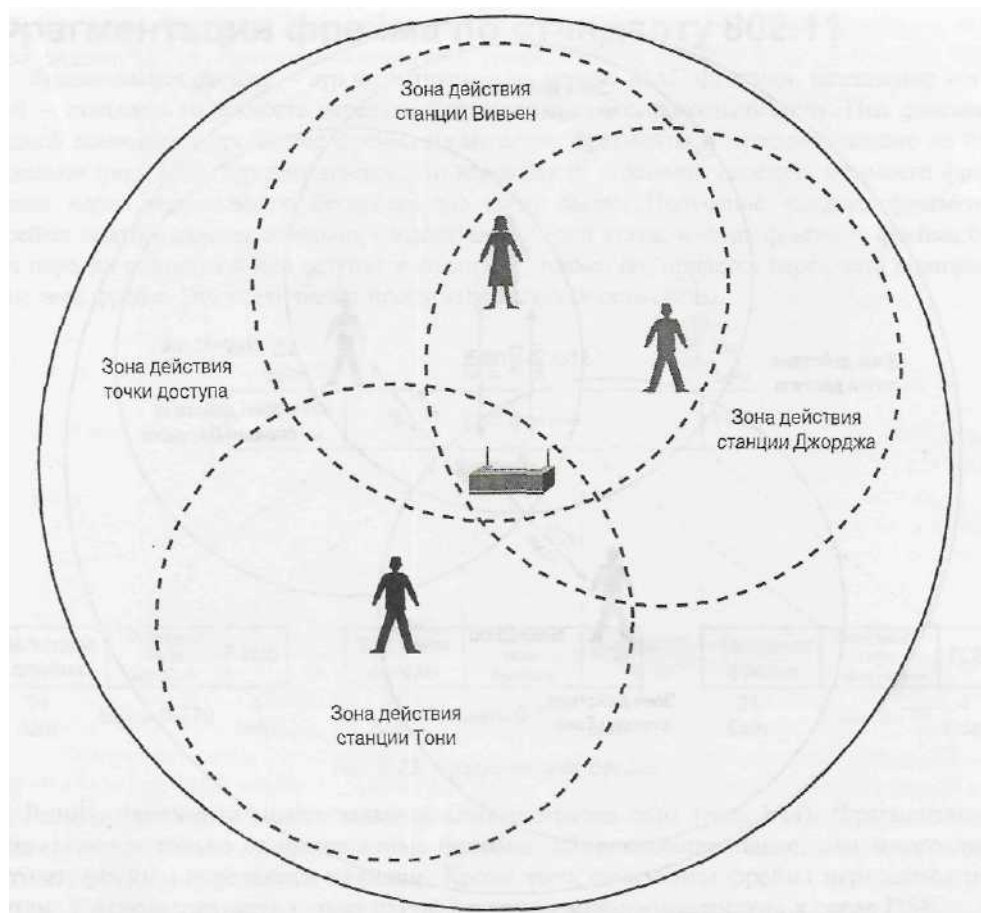
1.16.attēls Kadra un apstiprinājuma nodošana

Pieņemsim, ka Vivьenas stacija nesaņēma apstiprinājuma kadru. Tad viņa divkārsšo konkurences loga CW līdz 15 un atkārtu aiztures procesu. Ar katru neveiksmīgu piekļuves videi mēģinājumu stacija, kas strādā pēc 802.11 standarta, palielina mēģinājumu skaita skaitītāja vērtību. Konkurences loga platums katru reizi divkārsšojas, līdz kamēr tas sasniedz CW_{max} vērtību. MAC līmenis var turpināt mēģinājumus pārraidīt kadru, taču, kad mēģinājumu skaita skaitītāja vērtība sasniedz tīkla administratora uzstādīto sliekšni, Vivьenas stacija mēģina rezervēt vidi.

1.7.6. Slēptā mezgla problēma un RTS/CTS.

Var izrādīties, ka Vivьena nevar saņemt piekļuvi videi citas stacijas dēļ, kura atrodas aiz piekļuves punkta sasniedzamības robežām, taču atrodas Vivьenas stacijas sasniedzamības robežās. Šī situācija ir parādīta 1.17.attēlā. Vivьenas un Džордža stacijas atrodas viena otras darbības zonā un piekļuves punkta zonā. Turklāt neviena no tām neatrodas Tonija stacijas darbības zonā. Taču Tonijs atrodas piekļuves punkta darbības zonā un arī mēģina īstenot pārraidi vidē. Šī situācija ir pazīstama kā slēptā mezgla problēma, jo Tonija staciju Vivьenas un Džордža stacijas neredz.

Vivjena mēģina norezervēt vidi ar speciāla pārvaldes kadra palīdzību, kuru sauc par RTS kadru (pārraidīšanas gatavības kadrs). RTS kadrs tiek nosūtīts piekļuves punktam, un visi, kas atrodas Vivjenas stacijas darbības zonā, gaida laika brīdi, kas norādīts garuma laukā, kadru apmaiņai ar Vivjenas staciju. Kadru apmaiņa ietver to kadru, kuru Vivjenas stacija taisās pārraidīt, kā arī apstiprinājuma kadru, kuru tā gaida.

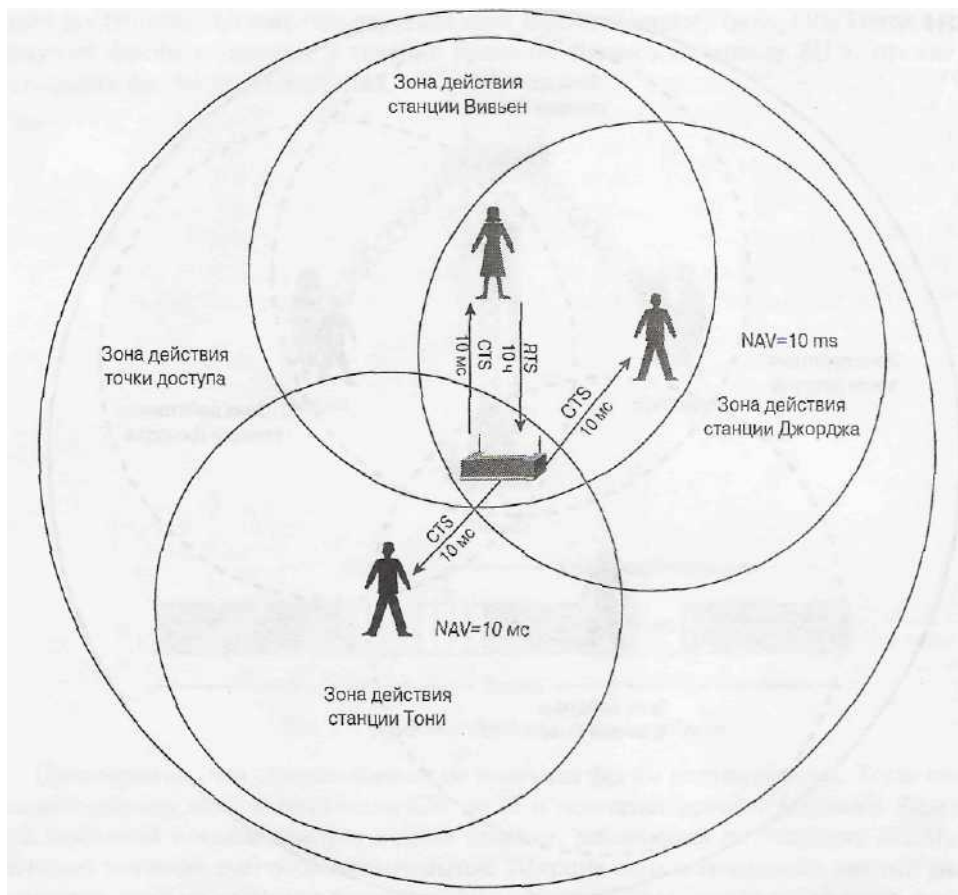


1.17.attēls Slēptā mezgla problēma

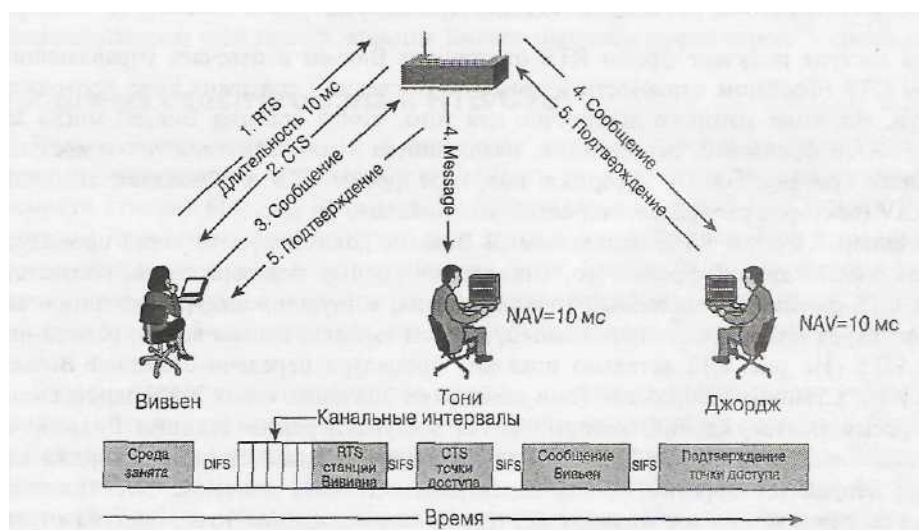
Piekļuves punkts saņem no Vivjenas stacijas RTS kadru un atbild ar CTS pārvaldes kadru (uztveršanas gatavības kadrs). Pēdējais satur garuma lauku, kura vērtība ir pietiekama tam, lai Vivjenas stacija varētu pabeigt kadru apmaiņu. Visas stacijas, kas atrodas piekļuves punkta darbības zonā, ieskaitot Tonija un Džordža stacijas, saņem CTS kadru un atjauno savu NAV vērtības (tīkla sadalījuma vektoru) kā parādīts 1.18.attēlā.

Sākotnējam RTS kadram, kuru nodod Vivjena, ir jāiziet caur DCF procedūru, kā ikvienam citam kadram. Bet analogiski apstiprinājuma kadram atbilstošais CTS-kadrs, kuru nodod piekļuves punkts, neiet cauri nejaušās aiztures procedūrai, un pirms tā pārraidīšanas tam ir jānogaida tikai tas laiks, kas vienāds ar SIFS intervālu. 1.19.attēlā ir detalizēti parādīta procedūra, kā Vivjenas stacija nodod RTS kadru. Džordža un Tonija stacijas atjauno savu

NAV vērtības vienlaicīgi, bet apstiprinājuma kadrs, kuru piekļuves punkts nodod Vivjenas stacijai nekavējoties nosūta atpakaļ apstiprinājuma kadru. Kaut arī Džordža stacijas NAV vērtība nav vienādā ar 0, tā tomēr sūta apstiprinājuma kadru piekļuves punktam pēc laika brīža, kuru uzdod SIFS intervāls.



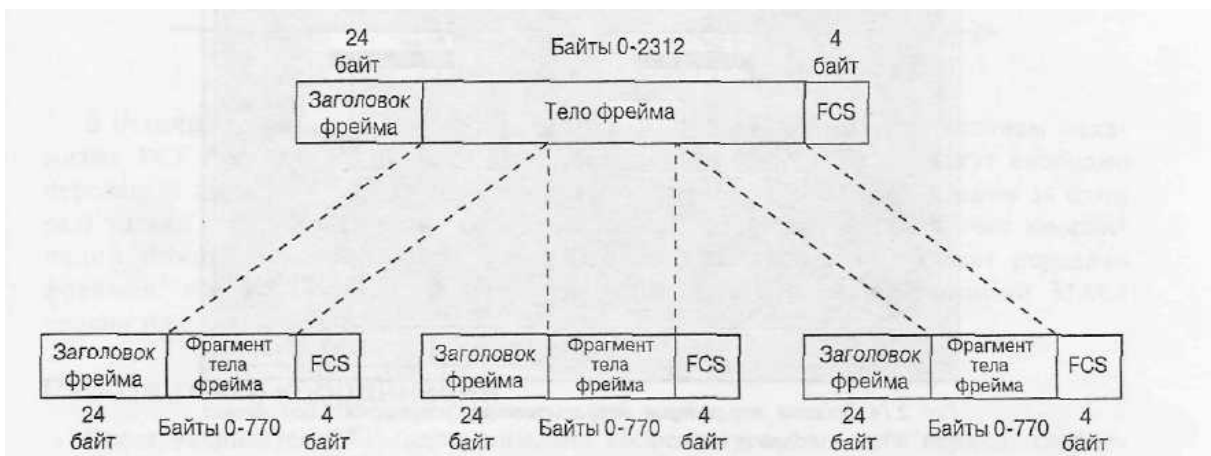
1.18.attēls Vides rezervēšana ar RTS/CTS kadru palīdzību.



1.19.attēls RTS/CTS kadru apmaiņas piemērs.

1.7.7. 802.11 standarta kadru fragmentēšana.

Kadra fragmentācija ir funkcija, kas tiek veikta MAC līmenī un kuras uzdevums ir paaugstināt kadru nodošanas drošumu bezvadu vidē. Ar fragmentāciju tiek saprasta kadra sadalīšana uz mazākiem fragmentiem un to katra fragmenta atsevišķa pārraidīšana (1.20.attēls). Tiek pieņemts, ka mazāka fragmenta veiksmīgas pārraidīšanas iespējamība trokšņainā bezvadu vidē ir lielāka. Katra kadra fragmenta saņemšana tiek apstiprināta atsevišķi; sekojoši, ja kāds no kadra fragmentiem tiks nodots ar kļūdām vai nonāks kolīzijā, tad nāksies nodot atkārtoti tikai šo fragmentu nevis visu kadru. Tas palielina vides caurlaides spēju.



1.20.attēls. Kadra fragmentēšana

Fragmenta izmēru var uzstādīt tīkla administrators. Fragmentācijai tiek pakļauti tikai viena adresāta kadri. Apraides, vai daudzadresātu kadri tiek nodoti kā veseli. Turklāt kadra fragmenti tiek pārraidīti paketē, izmantojot tikai vienu piekļuves DSF videi mehānisma iterāciju. Lai gan uz fragmentācijas rēķina var paaugstināt kadru pārraides drošumu lokālajos bezvadu tīklos, tā noved pie 802.11 standarta MAC protokola „papildus izdevumu” palielināšanās. Katrs fragments ietver informāciju, kura iekļauta 802.11 MAC galvenē, kā arī tā prasa attiecīgā apstiprinājuma kadra nodošanu. Tas palielina MAC-protokola dienesta signālu skaitu un samazina reālo bezvada stacijas produktivitāti. Fragmentācija ir līdzsvars starp drošumu un vides neproduktīvu noslogošanu.

1.7.8. PCF(point coordination function) koordinācijas punktu funkcija.

Koordinācijas punktu funkcija (point coordination function, PCF) ir opcionāls, neobligāts piekļuves videi mehānisms, kuru izmanto papildus pie DCF mehānisma. PCF mehānisms nodrošina kadru pārraidīšanu pie piekļuves punkta un no tā, nepakļaujot to konkurencei par vidi. Vairums ražotāju nenodrošina PCF mehānisma atbalstīšanu savās iekārtās, jo tas palielina slodzi (nododamo dienesta, t.i. neinformatīvo signālu skaitu) uz BSS protokolu. Rezultātā tā izplatība ir neliela. Tiek pieņemts, ka ar datu pārraides piedāvāto pakalpojumu kvalitātes un klases paaugstināšanu (Quality of Service, QoS) 802.11 standarta nākamajā specifikācijā tiks izmantots kāds cits mehānisms.

Šajā sadaļā tiek stāstīts par PCF mehānisma darbību, un konkrētāk par koordinācijas punkta darbību (point coordinator, PC) un to staciju darbību, kuras īsteno PCF mehānismu (802.11 specifikācijā tās tiek sauktas par CF-Pollable stacijām, kuras aptaujā koordinācijas punkts).

1.7.9. Periods, kas ir brīvs no konkurences.

Periods, kas ir brīvs no konkurences (contention free period, CFP), ir laika logs, periods, kura laikā īstenojas PCF mehānisma darbība. CFP periods sākas ar intervālu savākšanu, kas seko signāla (bākas) kadram (beacon frame), kurš satur informatīvo elementu ar trafika maršruta karti (delivery traffic indication map, DTIM) (tas ir aprakstīts zemāk šajā nodaļā). CFP periodu secības biežumu nosaka tīkla administrators. Pēc CFP perioda sākuma piekļuves punkts sāk spēlēt koordinācijas punkta lomu (un tas nozīmē, ka PCF darbība ir iespējama tikai BSS infrastruktūrās). Katrs 802.11 klients uzstāda NAV vērtību, kas vienāda ar CFPMaxDuration (garuma maksimālā vērtība CFP mehānismam). Šī vērtība tiek iekļauta informatīvajā elementā, kurš ietver koordinācijas funkcijas parametru kopumu (kas aprakstīts zemāk šajā nodaļā). CFPMaxDuration lielums nosaka laika vērtību, kura ir maksimālā vērtība CFP garumam. Koordinācijas punkts var pabeigt darbību saskaņā ar CFP mehānismu agrāk, pirms ir iztecējis laiks, kuru uzdeva CFPMaxDuration vērtība. Piekļuves punkts nodod signāla kadrus regulārās laika atstarpēs, bet signālu kadrus, kuri nododami CFP laikā, satur CFPDurationRemaining lauku (CFP atlikušais garums), ar kura palīdzību stacijas NAV atjauno vērtību, kas atbilst CFP atlikušajam garumam. 1.21. attēlā ir sniegta CFP laika un konkurences perioda diagramma

(contention period, CP).



1.21.attēls CFP un CP laika diagramma.

Atšķirībā no darbības saskaņā ar DCF, darbojoties zem PCF mehānisma pārvaldes, stacijām nav brīvas piekļuves videi un tās nevar brīvi nodot datus. Stacijas var nodot datus (pa vienam kadrām vienā reizē) tikai tad, kad koordinācijas punkts veic to aptauju. Koordinācijas punkts var sūtīt kadrus stacijām, aptaujāt tās uz pārraidīšanai esošajiem kadriem, apstiprināt kadru saņemšanu saskaņā ar MAC līmeņa prasībām vai pabeigt CFP.

1.7.10. Koordinācijas punkta darbība.

Kad sākas CFP (atgādināsim, ka šī abreviatūra nozīmē „periods, kas ir brīvs no konkurences”), koordinācijas punktam ir jāsaņem piekļuve videi tādā pašā veidā, kā to dara DCF stacija. Taču atšķirībā no DCF stacijas, koordinācijas punkts mēģina iegūt pieeju videi pēc laika intervāla, kuru sauc par *galvenais starpkadru intervāls* (priority interframe space, PIFS). PIFS intervāls ir par vienu kanāla intervālu ilgāks, ka SIFS intervāls, un par vienu kanāla intervālu īsāks kā DIFS intervāls, un tas ļauj PCF-stacijām iegūt pieeju videi ātrāk kā DCF stacijām. Pie tam vēl tās var izmantot tādus pārvaldes kadrus, kā apstiprinājuma kadri, lai nodrošinātu vislielāko pieejas videi iegūšanas iespējamību. 1.22.attēlā ir parādītas attiecības starp SIFS, PIFS, DIFS un kanālu intervālu.

Pēc gaidīšanas PIFS intervāla garumā koordinācijas punkts izsūta sākuma signāla kadru, kurš satur informatīvo elementu ar koordinācijas funkcijas parametru (CF). Koordinācijas punkts gaida viena SIFS intervāla garumā signāla kadrām sekojošo pārraidi un pēc tam nosūta CF-aptaujājamai stacijai vienu no sekojošajiem kadriem.

- Datu kadrs.
- Aptaujas kadrs (CF-Poll).

- Datu un aptaujas kadru kombinācija (Data+CF-Poll).
- CFP perioda beigu kadrs (CF-End).

Ja koordinācijas punktam nav kadru, kurus nepieciešams pārraidīt, un tam nevajag aptaujāt CF-Poll stacijas, CFP skaitās vienāds ar nulli un nekavējoties seko signāla kadrs. Koordinācijas punkts sūta CFP perioda beigu kadru, kas pabeidz CFP periodu.



1.22.attēls Attiecības starp SIFS, PIFS DIFS un kanālu intervālu

1.7.11. PCF darbības piemērs.

Turpinot mūsu piemēra izskatīšanu, pieņemsim, ka Vivjena, Marta un Džordžs sazinās caur piekļuves punktu API (1.23.attēls).

Piekļuves punkts API nodod signāla kadru, kas norāda uz CFP perioda sākšanos. CFP perioda garums ir noteikts vienāds ar 20 s. Vivjenas, Martas un Džordža stacijas atjauno savu NAV vērtības, lai tās atbilstu 20-sekunžu CFP. Pēc gaidīšanas, kas vienāda ar SIFS intervālu, API nodod kadru, kas atrodas tā buferī un ir paredzēts Vivjenas stacijai, kā arī, izmantojot datu un aptaujas kadru kombināciju (Data+CF-Poll), aptaujā Vivjenas staciju, vai viņai ir vai nav kadri, kuri paredzēti pārsūtīšanai. Vivjenas stacija saņem Data+CF-Poll kadru un nosūta vienu datu kadru un noderīgu informāciju nesaturošu apstiprinājuma kadru (Data+CF-ACK) pēc nogaidīšanas SIFS intervāla garumā. Pievērsiet uzmanību tam, ka Vivjenas stacija ignorē sava NAV vērtību nododot kadrus, kas ir atbilde uz CF-Poll kadra saņemšanu.

Piekļuves punkts API turpina savu darbu, sūtot aptaujas lapu Martai. API izmanto citu kadru kombināciju tam, lai nosūtītu Martas stacijas datu kadru, Vivjenas stacijas apstiprinājuma kadru un lai aptaujātu Martas staciju, vai viņai ir vai nav kadru nosūtīšanai (Data+CF-ACK+CF-Poll). Ievērojiet, ka šis kadrs, kas paredzēts Martas stacijai, satur arī pēdējo Vivjenas stacijas apstiprinājuma kadru. 802.11 standartā izmantojamā tehnoloģija daudzskaitlīgajai piekļuvei pilnībā ļauj rīkoties šādā veidā. Marta gaida SIFS intervāla laiku un nosūta Data+CF-ACK kadru.

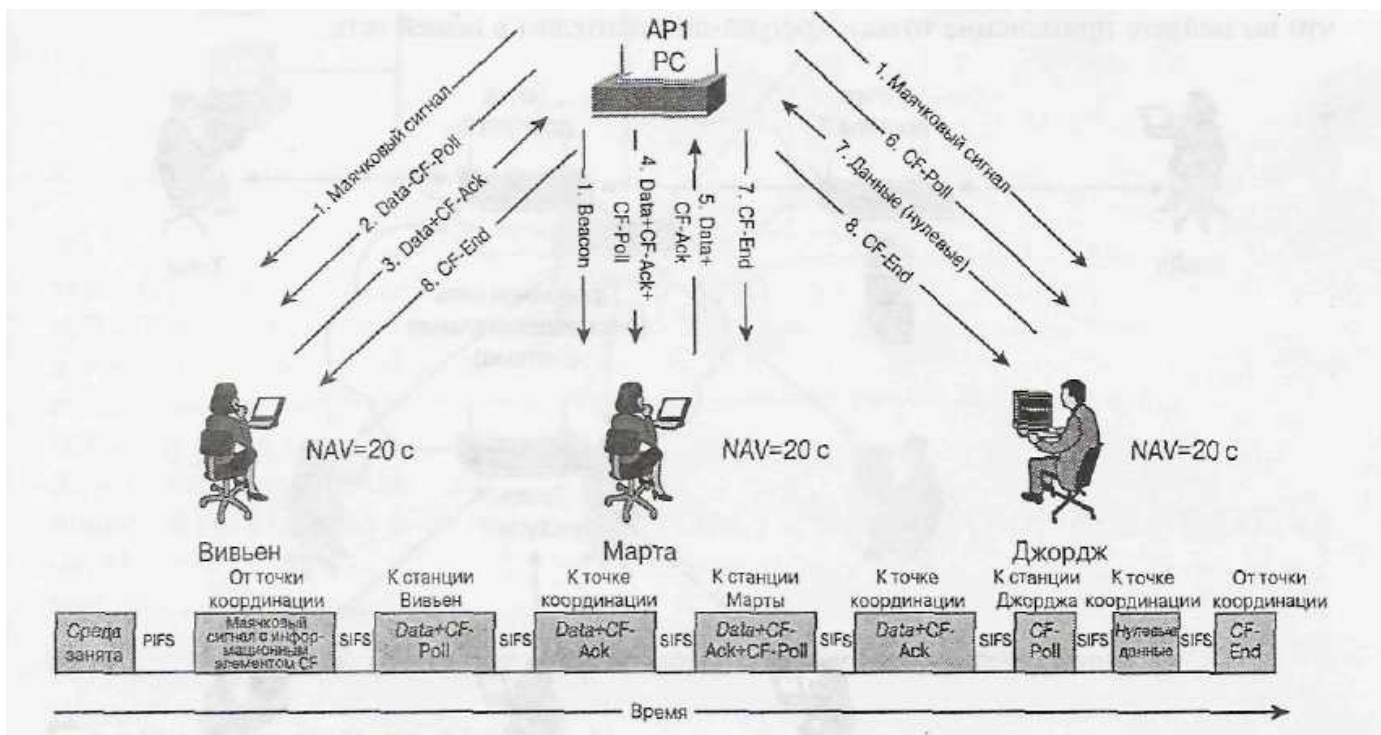
Visbeidzot, API pāriet pie darba ar Džordža staciju. Tā buferī nav datu, kas paredzēti šai stacijai, tāpēc tas sūta stacijai aptaujas kadru CF-Poll, lai uzzinātu, vai Džordža stacija taisās nodot kādus kadrus. Tā kā Džordža stacijas buferis ir tukšs, tā nosūta kadru ar nulles datiem (null data frame). Lai arī CFP vēl nav sasniedzis savu maksimāli pieļaujamo garumu, API sūta CF-End kadru (CF perioda beigas), lai pabeigtu periodu, kas ir brīvs no konkurences un pāriet pie konkurences perioda (CP) un normālas piekļuves videi DCF režīmā. Vivjena, Marta un Džordžs saņem CF-End kadru un atjauno savu NAV sākotnējās vērtības.

1.8. Nestandarta iekārtas.

Iepriekšējā sadaļā tika runāts par to, kā uz 802.11 standartu balstītās iekārtas iegūst pieeju pie bezvadu vides. Šajā sadaļā ies runa par iekārtām, kas neatbilst 802.11 standartam. Tās izmanto 802.11 tehnoloģiju veidos, kas noved pie standarta pārkāpšanas vai pie tā paplašināšanas, taču tās var izrādīties derīgas jūsu tīklam. Pie specifiskajām iekārtām, kuras tiek apskatītas zemāk, attiecas sekojošās.

- Piekļuves punkti-atkārtotāji(repeater aps).
- Universālie klienti (darba grupu tilti).
- Bezvadu tilti.

1.23.attēls Piekļuves operācija PCF videi

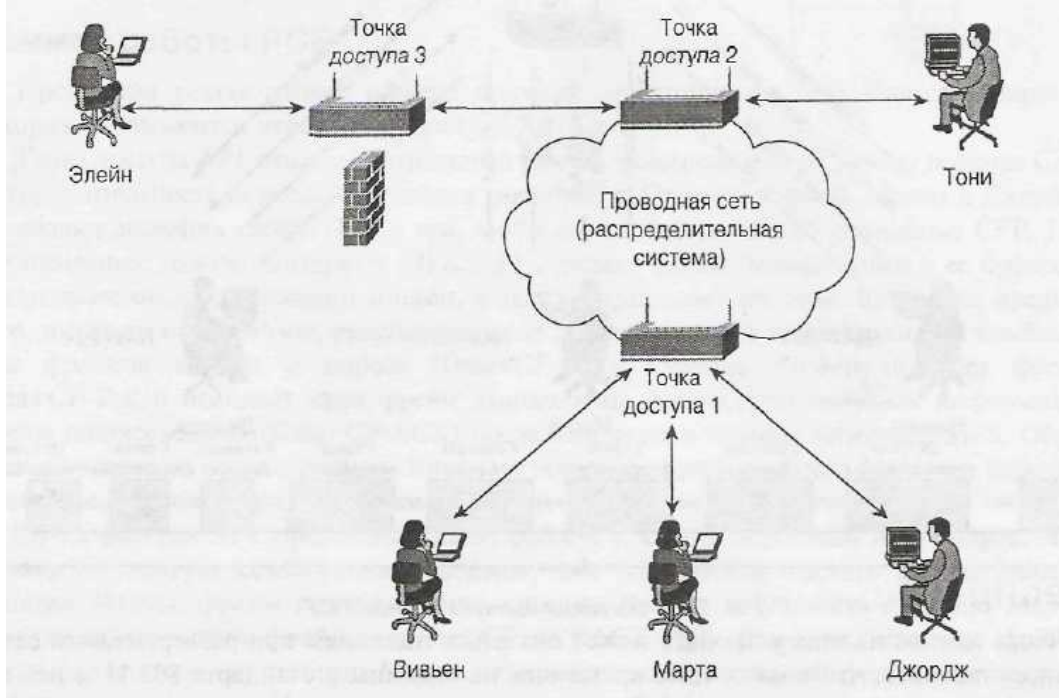


Lai arī katra no šīm ierīcēm var izrādīties derīga tīkla paplašināšanai, vajadzētu atcerēties, ka šobrīd tās nav aprakstītas 802.11 standartā un nav garantijas, ka viņas spēj sadarboties, jo dažādi ražotāji var orientēties un dažādiem to pielietojšanas veidiem. Lai garantētu tīkla drošumu, ja jau Jūs izvēlējāties tās izmantot, vajadzētu parūpēties par to, lai tās saslēgtos ar Jūsu izvēlētajā ražotāja iekārtām vai arī ar tām iekārtām, kurām ražotājs garantē to savienojamību.

1.8.1. Piekļuves punkti-atkārtotāji.

Var gadīties tā, ka izrādīsies neērti vai diezgan sarežģīti savienot piekļuves punktu ar vadu infrastruktūru, vai arī kaut kāds šķērslis apgrūtinās piekļuves punkta tiešu sakaru īstenošanu pie vadu tīkla ar bezvadu klientu-staciju izvietojuma vietu. Tādā situācijā var izmantot piekļuves punktu-atkārtotāju. Šeit aprakstītā iespēja ir parādīta 1.24.attēlā, kur Eleinas stacija neatrodas piekļuves punkta 2 (AP2) redzamības zonā, bet ir redzama piekļuves punktam 3 (AP3), kurš nav savienots ar vadu tīklu, bet var „redzēt” AP2. .

Gandrīz analogiski vadu atkārtotājam tā bezvadu brālis vienkārši retranslē visas paketes, kas ierodas viņa bezvadu interfeisā. Šī retranslācija īstenojas pa to pašu kanālu, pa kuru paketes tika saņemtas. Piekļuves punkts-atkārtotājs paplašina BSS, kā arī kolīziju domēnu. Lai arī viņš var izrādīties efektīvs līdzeklis, to izmantot vajadzētu uzmanīgi; apraides domēnu uzlikšana var novest pie kanāla caurlaides spējas divkārtas samazināšanās, jo sākuma piekļuves punkts arī „dzird” retranslēto signālu. Šī problēma var vēl vairāk saasināties, izmantojot piekļuves punktu-atkārtotāju ķēdītes. Bez tam, piekļuves punkts-atkārtotājs var ierobežot Jūs tādu klientu izmantošanā ar paplašinājumiem, kuri ļauj viņiem uzturēt piesaisti pie dienestiem un to izmantošanu caur piekļuves punktiem-atkārtotājiem. Neskatoties uz nosauktajiem ierobežojumiem, ir pilnīgi iespējams, ka Jūs atradīsiet pielietojumu piekļuves punktiem-atkārtotājiem Jūsu tīklā.

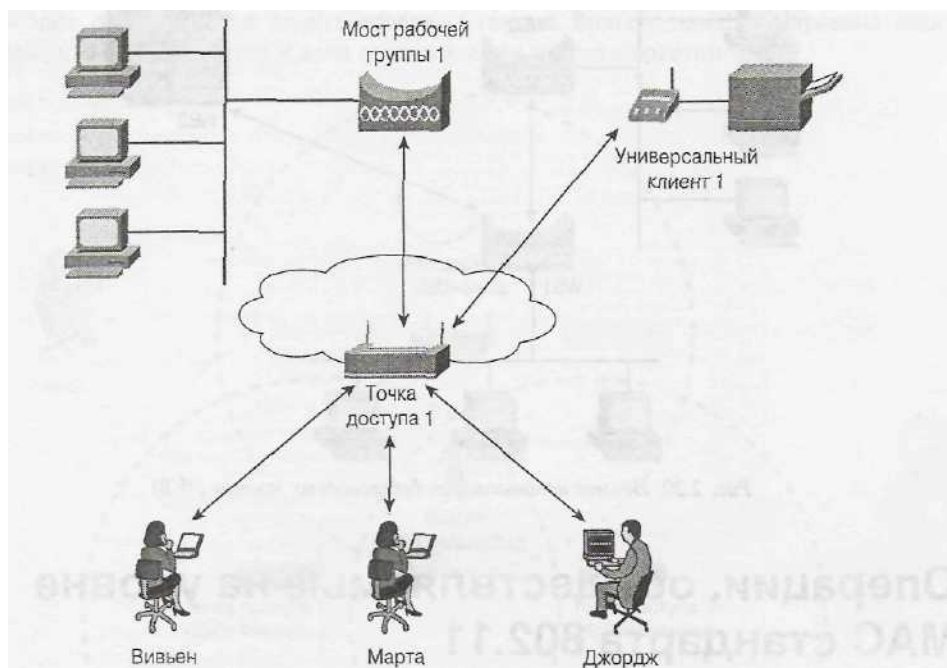


1.24.attēls Piekļuves punkta-atkārtotāja pielietošana.

1.8.2. Universālie klienti un darba grupu tilti.

Pārejā no vadu arhitektūras uz bezvadu Jūs varat atklāt, ka Jūsu esošās tīkla iekārtas uztur vadu Ethernet vai seriālo interfeisu, taču tiem nav interfeisu spraudņu priekš bezvadu NIC. Ja šīs iekārtas ir nepieciešamas Jūsu bezvadu tīklam, var izmantot universālo klientu vai darba grupas tiltu (1.25.attēls).

Kā iekārtu piemēri, kuras attiecas uz šo kategoriju, var kalpot veikalu kases termināli, printeri, novecojoši PK, kopējamās iekārtas un nelieli mobilie tīkli. Universālais klients vai darba grupas tilts iekapsulē saņemtās vadu tīkla paketes bezvadu paketēs un tādā veidā sniedz piekļuves punktam 802.11 standarta interfeisu. Termins universālais klients visbiežāk tiek izmantots, kad runa ir par vienas vadu iekārtas pieslēgšanu; termins darba grupas tilts tiek lietots, ja pieslēdzas neliels tīkls, kas sastāv no vairākām iekārtām. Neeksistē nekāda standarta pieeja iekapsulēšanai vai šo caur vadu interfeisu saņemto datu pārsūtīšanai, tāpēc bieži ir nepieciešams pārbaudīt, vai universālais klients vai darba grupas tilts ir sertificēts darbam ar Jūsu piekļuves punktu.

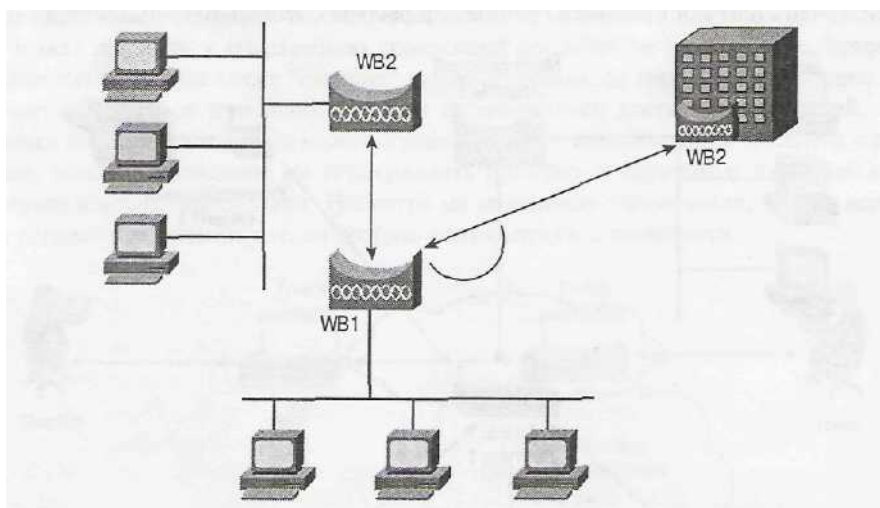


1.25.attēls Universālā klienta un darba grupas tilta pielietošana.

1.8.3. Bezvadu tilti.

Ja paplašināt darba grupas tilta koncepciju līdz punktam, kurā Jūs savienojat divas vai vairākas vadu tīklus, mēs nonāksim pie bezvadu tiltu koncepcijas. Analogiski vadu tiltiem, bezvadu tilti savieno tīklus savā starpā. Jūs varat savienot tos bez vadiem, jo savienojamie tīkli jau sākotnēji ir mobili. Tīkli, kuri ir jāsavieno, var būt izvietoti vienā teritorijā (co-located), tādā gadījumā bezvadu tiltu pielietošana dod veidu, kā savienot šādus tīklus. Galvenā atšķirība starp tiltiem un darba grupu tiltiem ir tā, ka pēdējie nodrošina bezvadu piekļuvi tikai pie nelielas ofisa tipa darba grupas, tai laikā kad pirmie no nosauktajiem spēj savienot lielus tīklus, kas izvietoti viens no otra tādā attālumā, kas ir daudz lielāks, kā tas, kas raksturīgs lokālajiem bezvadu tīkliem. Patiesībā daudzi piegādātāji piedāvā produktus, kas spēj darboties attālumos, kas būtiski pārsniedz 802.11 standartā atrunātos attālumus. 1.26.attēlā ir sniegts bezvadu tiltu izmantošanas piemērs.

Kā redzams zīmējumā, viens no tiltiem spēlē piekļuves punkta lomu pie lokālā bezvadu tīkla, pārējie uzstājas klientu lomās. Lai gan bezvadu tiltu pielietošanas gadījumā tiek pārsvarā izmantotas 802.11 standarta MAC un PHY apakšlīmeņu tehnoloģijas, atsevišķi ražotāji piedāvā pašu patentētas metodes vadu tīkla trafika iekapsulēšanai un diapazona paplašināšanai perspektīvā aiz standartu atrunātajām robežām MAC un PHY apakšlīmenī. Tāpēc Jums atkal nāksies pārbaudīt, vai bezvadu tilts ir sertificēts uz savienojamību.



1.26.attēls Bezvadu tiltu izmantošanas piemērs (WB).

1.9. Operācijas, kas īstenojamas 802.11 standarta MAC līmenī

Iepriekšējā sadaļā mēs stāstījām par to, kādā veidā stacija saņem pieeju un konkurē par bezvadu vides iegūšanu. Šajā sadaļā tiek apskatīti sekojoši jautājumi.

- Staciju savienošanas iespēja. Detalizēts apraksts par to, kā 802.11 standarta stacijas izvēlas piekļuves punktus un sazinās ar tiem.
- Darbība energoatēriņa ekonomijas režīmā. Detalizēts apraksts par kadru sadalīšanu energotaupīšanas stacijām.
- 802.11 standarta kadru formāti. Kadru formātu detalizēts apraksts, kuri aprakstīti iepriekšējās sadaļās.

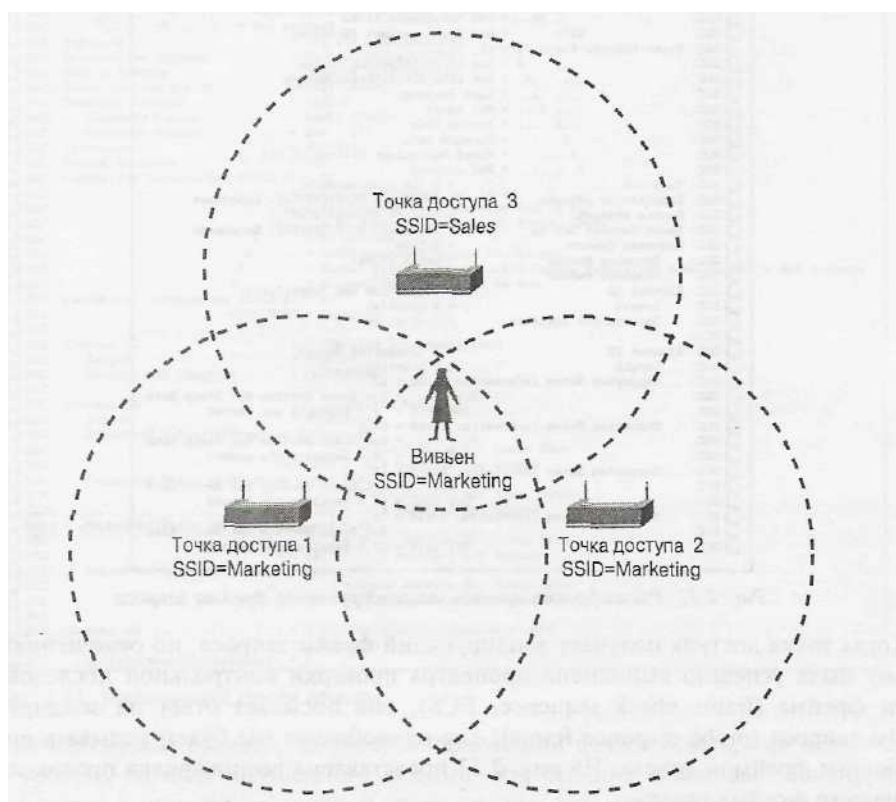
1.9.1. Staciju savienošanas iespēja.

Iepriekš šajā daļā mēs aprakstījām, kā Džordžs, Marta, Vivjena un Tonijs kopīgi izmanto sava BSS vidi. Šajā sadaļā mēs spersim soli atpakaļ un konkrēti aprakstīsim, kā 802.11 standarta bezvadu stacijas savienojas BSS. Notiek trīs apmaiņas seansi starp bezvadu staciju un piekļuves punktu.

- Zondēšanas process.
- Autentifikācijas process.
- Piesaistes process (asociēšanas process).

1.9.2. Zondēšanas process.

1.27.attēlā ir rādīts, ka Vivjēnas stacija atrodas trīs piekļuves punktu sasniedzamības robežās. Divi no tiem pieder mārketinga nodaļas apkalpošanas zonai, trešais – pārdošanas nodaļas apkalpošanas zonai. Vivjēnas stacija ir nokonfigurēta tādā veidā, ka tā pieder pie mārketinga nodaļas apkalpošanas zonas.



1.27.attēls Vivjēnas stacija un tuvākie piekļuves punkti.

Šī stacija-klients sūta 802.11 standarta zondējošo pieprasījuma kadru (probe request frame) Parasti 802.11 standarta stacija nosūta zondējošo pieprasījuma kadru pa katru tai pieejamo kanālu (Ziemeļamerikai tie ir kanāli no pirmā līdz vienpadsmitajam). Šis process nav atrunāts 802.11 standarta specifikācijā. Zondējošais pieprasījuma kadrs satur informāciju par 802.11 standarta bezvadu staciju – kādu datu pārraidīšanas ātrumu stacija uztur un kādai apkalpošanas zonai tā pieder. Zondējošā pieprasījuma atslēgas lauki ir sekojošie.

- **SSID elements.** Šis elements satur SSID, ar kura palīdzību ir nokonfigurēta stacija.
- **Atbalstāmo ātrumu elements.** Šis elements norāda visus datu pārraides ātrumus, kurus atbalsta klients.

Klienta stacijas akli nosūta zondējošos pieprasījuma kadrus, it kā viņi neko nezinātu par piekļuves punktiem, kurus zondē. Un, ja tā, tad daudzi pieprasījumi tiek nosūtīti ar vismazāko iespējamo datu pārraides ātrumu, kurš sastāda 1 Mbitu/s.

Kad piekļuves punkts saņem zondējošo pieprasījuma kadru, attiecībā uz kuru tika veiksmīgi izpildīta kadra kontroles secības pārbaudes procedūra (frame check sequence, FCS), tas nosūta atbildi uz zondējošo pieprasījuma kadru (probe response frame); vienveidībai mēs to sauksim par zondējošo atbildes kadru.

Zondējošā atbildes kadra galvenie lauki ir sekojoši.

Laika atzīmes lauks (timestamp field). Nosūtītāja kadra TSFTIMER vērtība.

Signāla intervāla lauks (beacon interval field). Taktu skaits (time units, TUs) starp bākas signāliem. Takts garums sastāda 1024 mks.

Informatīvās spējas lauks (capability information field). Norāda uz MAC un PSY līmeņa iespējām. Šis lauks tuvāk tiks aprakstīts vēlāk - sadaļā „802.11 standarta MAC kadru formāti”.

SSID elements. SSID, ar kuru nokonfigurēts piekļuves punkts.

Pārraides atbalstošo ātrumu elements. Visi datu pārraides ātrumi, kurus atbalsta piekļuves punkts.

PHY parametru kopuma elements (PHY parameter set element). Var norādīt vai nu uz spektra paplašināšanas tehnoloģiju frekvences lēcienveidīgas pārslēgšanas veidā (frequency hopping), vai arī uz platjoslas modulācijas tehnoloģiju ar tiešu spektra paplašināšanu (direct sequence). Šis elements nodrošina PHY līmeņa specifiskas informācijas sniegšanu klienta stacijai. Abi elementi tiek konkrētāk aprakstīti zemāk - sadaļā „802.11 standarta MAC līmeņa formāti”.

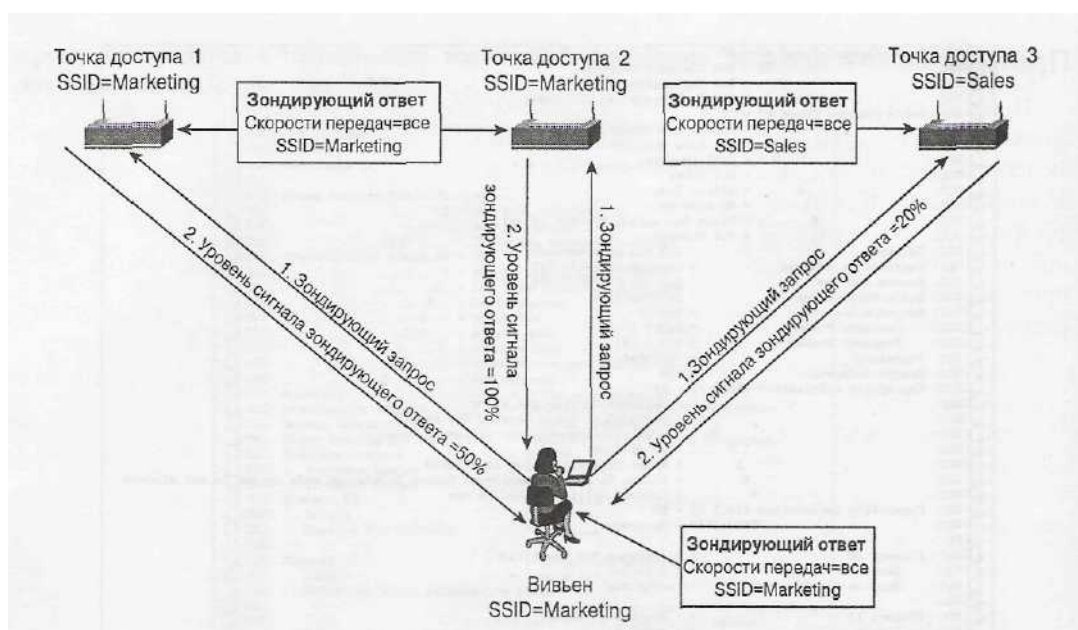
Kad klienta stacijas saņem zondējošo atbildes kadru, tā var noteikt saņemtā kadra signāla līmeni. Šī stacija salīdzina zondējošos atbildes kadrus un nosaka, uz kuru piekļuves punktu tie attiecas. Mehānisms, pateicoties kuram klienta stacija izvēlas piekļuves punktu piesaistei pie tā, nav aprakstīts 802.11 standartā, jo to piegādātājs realizē patstāvīgi. Vispārējā gadījumā piekļuves punkta izvēles kritērijs var iekļaut SSID saskaņošanu, signāla līmeņus un piegādātāja paša kritērijus.

Ņemot vērā tāda parauga trūkumu pieņemsim, ka kritēriji ir SSID saskaņošana, datu pārraides atbalstošie ātrumi un signāla līmenis (1.28.attēls).

2.1.tabulā ir apkopoti dati no zondējošajiem atbildes kadriem, kurus saņēmusi Vivjenas stacija.

2.1.tabula Informācija no zondējošajiem atbildes kadriem.

Piekļuves punkta nosaukums	Pārraides nodošanas ātrumi	Servisu kopuma ID	Signāla līmenis (%)
AP 1	Visi	Mārketinga	50
AP2	Visi	Marketinga	100
AP 3	Visi	Pārdošanas	20



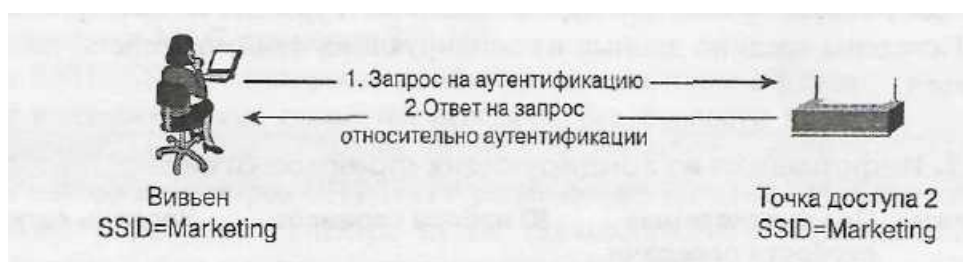
1.28.attēls Zondēšanas process.

Vivjenas stacija gatavojas piesaistīties pie piekļuves punkta 2 (AP2). AP2 ir piemērots SSID, uztur visus datu pārraides ātrumus un signāla līmenis ir 100%. Punkts API ir tuvs konkurents, taču tā signāla līmenis ir par 50% mazāks. Tagad, kad Vivjenas stacija ir noteikusi, ar kuru no piekļuves punktiem tai labāk asociēties, tā var ķerties pie nākošās staciju savienošanas iespēju nodibināšanas fāzes – autentifikācijas procesa.

1.9.3. Autentifikācijas process

Autentifikācijas procesu saskaņā ar standartu 802.11 var izpildīt divos režīmos: autentifikācija ar atvērto atslēgu (open authentication) un autentifikācija ar kopīgi lietoto mezglu (shared-key authentication). Šie abi režīmi tiek detalizēti apskatīti 4.daļā “Standarta 802.11 bezvadu lokālo tīklu drošība”. Autentifikācija saskaņā ar šo standartu orientēta pamatā

uz autentifikācijas iekārtām (bet ne uz lietotāju) un tās process izpaužas fakta, vai dotā ierīce pieder lokālajam tīklam, noteikšanā. Šajā sadaļā mēs pieskarsimies tikai autentifikācijas pieprasījumam un atbildei uz pieprasījumu attiecībā uz autentifikāciju (1.29.att).



1.29.att. Autentifikācijas process.

1.9.4. Piesaistes process.

Piesaistes process, saskaņā ar standartu 802.11, ļauj pieejas punktam iedalīt bezvadu stacijai loģisko pieslēgvietu vai piešķirt tai asociācijas identifikatoru (association identifier, AID). Piesaistes procesu bezvadu stacija uzsāk no pieprasījuma asociēšanai freima, kas satur informāciju par klienta iespējām, un noslēdz ar atbildes uz asociēšanu freimu, ko nosūta pieejas punkts. Atbilde uz asociēšanu var būt pozitīva vai negatīva un saturēt kodu, kas norāda uz atteikuma iemesliem. Pieprasījuma uz savienojumu freima atslēgas lauki ir sekojoši.

- **Noklausīšanās intervāls (listen interval).** Noklausīšanās intervāla lielums tiek izmantots energoatēriņa ekonomijas režīmā un klienta stacija to paziņo pieejas punktam. Tā informē pieejas punktu par to, cik bieži šī lapa “pamostas” (iziet no enerģijas ekonomijas režīma), lai iegūtu freimus, kas buferizēti pieejas punktā. Detalizētāk par to pastāstīts zemāk.
- **Elements SSID.** Apraksta klienta stacijas SSID pieejas punktam. Normālā režīmā pieejas punkts nepieņem pieprasījumus asociēšanai no stacijas ar SSID, kas atšķiras no pieejas punktā konfigurētajiem.
- **Uzturēto pārraides ātrumu elements.** Norāda pieejas punktam, kādus pārraides ātrumus nodrošina klienta stacija.

Atbildes uz asociēšanu freima atslēgas lauki.

- **Stāvokļa kods (status code).** Šis elements norāda stāvokļa kodu, kas nosakāms no atbildes uz asociēšanu freima. Visi stāvokļa kodi tiek aprakstīti zemāk, sadaļā “Standarta 802.11. freimu formāti MAC”.
- **Asociācijas identifikators (AID).** Var uzskatīt AID par līdzīgu fiziskajai pieslēgvietai haba vai komutatoram Ethernet. Klienta stacijai jāzina šis lielums, kad tā strādā energotaupības režīmā. Pieejas punkts nosūta paziņojumu freimam signālos, kas norāda, kādi AID satur buferizētus freimus. Sīkāk par to pastāstīts zemāk, sadaļā “Darbs energotaupības režīmā”.
- Nodrošināto pārraides ātrumu elements. Norāda, kādus pārraides ātrumus uztur pieejas punkts.

1.9.5. Darbs energotaupības režīmā.

Lai pagarinātu klientu portatīvo bezvadu lokālo tīklu kalpošanas laiku, standarts 802.11 paredz to darbu energopatēriņa taupības režīmā, vai energosaglabāšanas režīmā. Darbs pazemināta energopatēriņa režīmā tiek realizēts divos variantos.

- Darbs ar vienadresāta freimiem.
- Darbs ar plašraides/daudzadresātu freimiem.

Pieņēmumi, uz kuriem bāzējas darbs energotaupības režīmā, ir vienkārši. Klienta stacija pāriet energotaupības režīmā, kad atslēdz savu radiostaciju. Pieejas punkts buferizē freimus, kas paredzēti noteiktai stacijai, kas atrodas energotaupības režīmā. Pēc noteikta laika intervāla klients “pamostas” (aktivizējas) un pieņem signālu no pieejas punkta, kas parāda vai buferā ir freimi dotajai klienta stacijai.

Strādājot ar vienadresāta freimiem, noklausīšanās intervālu vai aktivāciju nosaka klients. Un otrādi, strādājot energotaupības režīmā ar plašraides/daudzadresātu freimiem, noklausīšanās intervālu nosaka pieejas punkts un paziņo to savos signālu freimos.

Klients aktivizējas un pieņem pieejas punkta signālfreimus, lai noteiktu, vai viņam ir buferizēti freimi. Ja tas tā nav, klients atgriežas pie *darba energotaupības režīmā un paliek tur līdz* noteikta “gulēšanas” perioda izbeigšanās.

1.9.5.1. Darbs ar vienadresāta freimiem energotaupības režīmā.

Kad klients sazinās ar pieejas punktu, viņš norāda noklausīšanās intervāla lielumu pieprasījuma asociēšanai freimā. Noklausīšanās intervāls – tas ir signāla freimu skaits, kurus

klients uzskaita, pirms pāriet aktīvā režīmā. Piemēram, noklausīšanās intervāls 200 nozīmē, ka klients aktivizējas pēc katriem 200 signāla freimiem.

Signāla freims ietver sevī informatīvo elementu, kas tiek saukts par trafika indikācijas karti (traffic indication map, TIM). Šis elements satur visu AID uzskaitījumu, kuriem ir trafiks, kas buferizēts ar pieejas punktu. Var būt līdz 2008 unikālu AID, tādēļ viena TIM elementa izmērs var sasniegt 251 bitus. Lai minimizētu slodzi uz tīklu, TIM izmanto saīsināto AID pārskaitīšanas metodi. Lai noteiktu klientu stacijas AID (vai staciju), nepieciešama sekojoša informācija:

- Lielumi garuma laukā (the value of length field).
- Lielumi nobīdītajā bitu kartē (the value of bitmap offset field).
- Lielumi daļējas virtuālās bitu kartes laukā (the value of partial virtual bitmap field).

Standarts 802.11 reglamentē trafika indikācijas virtuālās bitu kartes pielietošanu (traffic indication virtual bitmap) kā norādi, lai parādītu to, kādu staciju asociācijas identifikatoriem (AID) ir buferizēti freimi. Virtuālā bitu karte sākas ar AID 1 un noslēdzas ar AID 2007. AID 0 rezervēta plašraides/daudzadresātu pārraidei. Tab.1.3. sniedz priekšstatu par to, kam var būt līdzīga virtuālā trafika indikācijas bitu karte. Katrai stacijai ar freimiem, kas buferizēti pieejas punktā, ir karoga lielums, kas vienāds ar 1 priekš dotās stacijas AID. Stacija, kurai nav buferizētu freimu, izmanto karoga lielumu 0.

Tab.1.3. Trafika indikācijas virtuālās bitu kartes piemērs.

AID	1	2	3	...	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	2007
karogs	0	0	0	...	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0

Aizēnotie lielumi ir ietverti daļējā virtuālajā bitu kartē.

Daļējā virtuālā bitu karte izslēdz visus nebūtiskos karoga nulles lielumus, to summēšanas ceļā. Visas klienta stacijas, kurām ir buferizēti freimi (un attiecīgi, noteikti karoga lielumi, kas vienādi ar 1, virtuālajā trafika indikācijas bitu kartē), tiek ieļautas daļējā virtuālajā bitu kartē.

Visi AID ar karoga lielumu, vienādu ar 0, kas ir bijuši pirms daļējās virtuālās bitu kartes, tiek summēti ar noteiktu lielumu, kas zemāk dotajos piemēros apzīmēts ar burtu X.

Visi AID ar karoga lielumu, vienādu ar 0, kas ir bijuši pirms daļējās virtuālās bitu kartes, tiek summēti ar noteiktu lielumu, kas zemāk dotajos piemēros apzīmēts ar burtu Y.

Ja mēs pievērsīsimies 2.2.tabulai, tad tai AID no 1 līdz 15 summējas ar lielumu X, bet AID no 37 līdz 2007 summējas ar lielumu Y.

Lai izskaitļotu X un Y, sākumā jāaprēķina lielumus N1 un N2. Formulas, pēc kurām var izskaitļot X, Y, N1 un N2, dotas zemāk. $N1 = (\text{bitu kartes nobīde}) * 2 N2 - (\text{garums} - 4) + N1$
 $X - (N1 * 8) - 1 Y = (N2 + 1) * 8$

Atšifrēšanas piemērā, kas dots 2.28.att., $N1 = (1 * 2) = 2$ un $N2 = (5 - 4) + 2 - 3$. Lielums X sastāda $(2 * 8) - 1$, vai 15, bet Y — tas ir $(3 + 1) * 8$, vai 32. Lielums X norāda, ka visiem AID no 1-ā līdz 15-tajam ir karoga lielums, vienāds ar 0, bet lielums Y liecina par to, ka visiem AID no 32-tā līdz 2007-tajam ir karoga lielumi, arī vienādi ar 0.

Neaptverts paliek AID no 16-tā līdz 31-ajam, un tieši šeit iesaistās spēlē daļējā virtuālā bitu karte. Mūsu piemērā daļējās virtuālās bitu kartes lielums sastāda 2 baitus, 0x0020. Pirmais baits, 0x00, vai 00000000 divējādā ierakstā, parāda, ka visi sekojošie 8 staciju karogi, kas seko X (AID no 16 līdz 23), vienādi ar nulli. Otrs baits – tas ir 0x20, vai 00000000 divējādā ierakstā.

Tātad, izskatāmajā piemērā AID no 24-tā līdz 28-tajam ir karoga lielums, kas vienāds ar 0, bet AID 29 – karoga lielums, kas vienāds ar 1. Tā kā AID 29 – tas ir vienīgais AID ar karoga lielumu, kas vienāds ar 1, lapai ar AID 29 ir trafiks, kas buferizēts pieejas punktā.

Ja klients uzzina ka viņam buferizēti freimi, viņš nosūta dienesta (management) standarta 802.11 MAC līmeņa freimu, kas tiek saukts par *energosauglabāšanas režīma aptaujas freimu* (power save poll, PS-Poll). Jāpiezīmē, ka laukam AID ir lielums, kas vienāds ar 29, tieši tas tika noteikts AID, pamatojoties uz virtuālās bitu kartes TIM elementu analīzi.

Pieejas punkts atbild uz Ps-Poll freimu ar vienu no klienta buferizētajiem freimiem un norāda uz to, vai viņam ir paredzēti citi buferizēti freimi. Šim klientam jānosūta freims Ps-Poll pieejas punktam, lai iegūtu katru no buferizētajiem freimiem, kas ir paredzēti viņam pieejas punktā. Pievērsiet uzmanību, ka lauks AID norāda uz AID 29, kas atbilst mūsu izskaitļotajam iepriekšējā piemērā.

1.9.5.2. Plašraide energosauglabāšanas režīmā.

Plašraide energosauglabāšanas režīmā tiek realizēta pārsvarā tāpat kā vienadresāta pārraide energosauglabāšanas režīmā.

Atšķirības ir šādas.

- Administrators nosaka intervālu, pēc kura klientam jāaktivizējas un jāsaņem buferizētais trafiks plašraidei vai daudzadresu pārraidei.
- Īpašs informatīvais TIM elements, kas tiek saukts par DYTIM, parāda, vai pieejas punktā ir buferizētais trafiks plašraidei vai daudzadresātu izsūtīšanai.

- Plašraides vai daudzadrešu izsūtīšanas freimi, tiek buferizēti visām stacijām (ietverot enerģiju netaupošās), kas ietilpst BSS, ja viena vai vairākas stacijas ir asociētas ar pieejas punktu.

Informatīvajam TIM elementam ir divi lauki, kas parāda, vai plašraides/daudzadresātu izsūtīšanas trafiks ir buferizēts un cik ātri tas tiks izplatīts BSS ietvaros.

- DTIM uzskaites lauks (DTIM count field). Norāda, cik signāla freimu jānodod, pirms tiks izplatīti buferizētie freimi. Lielums 0 liecina par to, ka šis TIM informatīvais elements ir DTIM elements, un ja eksistē buferizēti freimi, tie jāpār raida nekavējoties, tūlīt aiz signāla freimiem.
- DTIM perioda lauks (DTIM period field). Norāda signāla freimu skaitu, kas tiek pārraidīti starp DTIM. Piemēram, lielums 10 norāda, ka katrs desmitais signāla freims saturēs DTIM.

1.10. Standarta 802.11 freimu formāti MAC.

Standarta 802.11 līmenī tiek izmantoti trīs kategoriju MAC freimi.

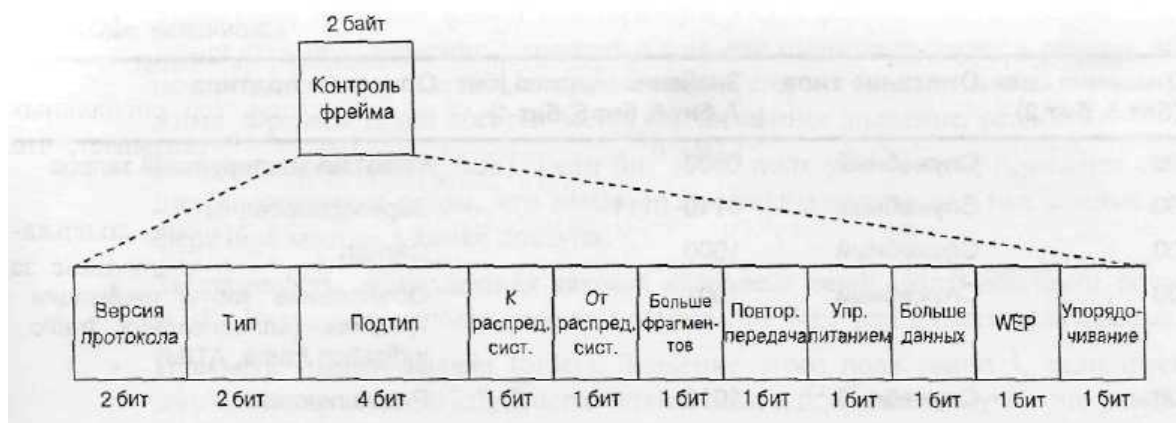
- Pārvaldes freimi (control frames). Veicina datu freimu pārraidi pie normālas informācijas apmaiņas starp standarta 802.11 stacijām.
- Dienesta freimi (management frames). Nodrošina bezvadu lokālo tīklu savienojumus, autentifikāciju un norāda stāvokli.
- Datu freimi (data frames). Pārnes lapas datus no pārraidītāja uz uztvērēju.

Visi standarta 802.11 freimi ir līdzīgi šī standarta pamatfreimam. Nosauktie trīs freima veidi paplašina un izmanto specifiskos pamatfreima MAC laukus saviem mērķiem. 1.30.att. parādīts MAC pamatfreims un tā lauki.



1.30.att. Standarta 802.11 pamatfreims MAC

- Freima kontroles lauks (frame control). Šī lauka izmērs ir vienāds ar 2 baitiem; tas sastāv no vienpadsmit laukiem. 1.3.att. parādīti freima kontroles lauka apakšlauki.



1.31.att. Freima kontroles lauka apakšlauki.

Zemāk uzskaitīti freima kontroles lauka vienpadsmit apakšlauki.

- Protokola versija (protocol version). Norāda protokola 802.11 MAC versiju. Uz šo brīdi eksistē tikai viena versija, tādēļ šim laukam ir taisnīgs tikai lielums 0. Visi pārējie lielumi ir rezervēti.
- Veids (type). Norāda freima MAC veidu: pārvaldes, dienesta vai datu freims. Ceturtais lielums ir rezervēts.
- Apakšveids (subtype). Norāda freima apakšveidu. Iespējamie šī lauka lielumi parādīti tabulā.

Tabula 1.4. Freima veidi un apakšveidi

Veida lielums (bits 3, bits 2)	Veida apraksts	Apakšveida lielums (bits 7, bits 6, bits 5, bits 4)	Apakšveida apraksts
00	Pārvaldes	0000	Pieprasījums savienošanai
00	Dienesta	0001	Atbilde uz savienošanas pieprasījumu
00	Dienesta	0010	Pieprasījums atkārtotai savienošanai
00	Dienesta	0011	Atbilde uz pieprasījumu atkārtotai savienošanai
00	Dienesta	0000	Zondējošais pieprasījums
00	Dienesta	0000	Atbilde uz zondējošo pieprasījumu
00	Dienesta	0110-0111	Rezervēti
00	Dienesta	1000	Signāls

00	Dienesta	1001	Trafika indikācijas kartes paziņošana (announcement traffic indication frame, ATIM)
00	Dienesta	1010	Atvienošana
00	Dienesta	1011	Autentifikācija
00	Dienesta	1100	Deautentifikācija
00	Dienesta	1101-1111	Rezervēti
01	Pārvaldes	0000-1001	Rezervēti
01	Pārvaldes	1010	PS-Poll
01	Pārvaldes	1011	RTS
01	Pārvaldes	1100	CTS
01	Pārvaldes	1101	Apstiprinājums (ACK)
01	Pārvaldes	1110	CF-end
01	Pārvaldes	1111	CF-End+CF-Ack
10	Dati	0000	Dati
10	Dati	0001	Dati+CF-Ack
10	Dati	0010	Dati+CF-Poll
10	Dati	0011	Dati+CF-Ack-f CF-Poli
10	Dati	0100	Nulles funkcija (datu nav)
10	Dati	0101	CF-Ack (datu nav)
10	Dati	0110	CF-Poll (datu nav)
10	Dati	0111	CF-Ack+CF-Poll (datu nav)
10	Dati	1000-1111	Rezervēti
11	Rezervēts	0000-1111	Rezervēti

- **Pie sadalošās sistēmas** (to DS). Norāda, vai freims paredzēts sadalošajai sistēmai.
- **No sadalošās sistēmas** (from DS). Norāda, vai freims ir saņemts no sadalošās sistēmas.
- **Vairāk fragmentu** (more fragments). Norāda, vai dotais freims ir tikai dienesta vai tikai datu freims, vai arī sagaidāmi citi fragmenti.
- **Atkārtota pārraide** (retry). Norāda, vai dotais freims tiek pārraidīts atkārtoti. Ļauj uztvērējam atgrūst dublējošos freimus.
- **Barošanas vadība** (power management). Norāda uz stacijas energopatēriņa režīmu. Lielums 1 liecina par to, ka stacija darbojas energopatēriņa ekonomijas režīmā, bet lielums 0 – ka tā atrodas aktīvā režīmā. Pieejas punkta freimiem vienmēr ir dotais lielums, kas vienāds ar 0.
- **Vairāk datu** (more data). Ja šis lauka bits ir uzstādīts, uztvērēja stacijai tiek paziņots par to, ka eksistē viņai paredzēti dati, kas buferizēti pieejas punktā.

- **Aizsargātība, kas pārraides tīklos ekvivalenta pastāvošajai** (wired equivalent privacy, WEP). Norāda, vai freima ķermeņa aizsardzībai tiek izmantota WEP šifrēšana.
- **Sakārtotības parametrs** (order). Šī lauka lielums vienāds ar 1, ja datu freims izmanto StrictlyOrdered service class, pretējā gadījumā tas vienāds ar 1.
- **Ilgums/ID** (Duration/ID). Šis lauks tiek izmantots dažādi, atkarībā no tā, vai tiek saņemta pieeja stacijas videi, kas strādā energotaupības režīmā, vai vide atrodas PCF perioda režīmā, kas ir brīvs no konkurences (CFP), un vai stacija DCF saņem pieeju videi. Tabulā 1.5. parādīti bitu lielumi dažādām stacijām.

Tabula 1.5. Ilguma lauka lielumi.

Bits 15	Bits 14	Biti 13-0	Kad tiek izmantoti
0	0-32 767		Freimu apmaiņas ilgums (msek) stacijām DCF
1	0	0	Lielumi, kas tiek izmantoti apmaiņas ar freimiem laikā periodā CFP
1	0	1-1683	Rezervēti
1	1	0	Rezervēti
1	1	1-2007	AID izmantošanai PS-Poll freimos
1	1	2008-16 383	Rezervēti

- **Adreses 1, 2, 3 un 4.** Šie lauki mainās atkarībā no freima veida un apakšveida.
- **Secības pārvalde** (sequence control). Šis lauks satur skaitli pēc kārtas un freima fragmenta numuru.
- **FCS.** Tā ir freima kontrolsumma. Dotajā laukā ir cikliskās pārpalikuma kontroles 32-ciparu lielums, kas izskaitļots visiem virsrakstu laukiem un MAC freima ķermenim.

1.10.1. Standarta 802.11 freimu pārvaldītāji.

Standarta 802.11 specifikācijā atrunāti seši unikāli freima pārvaldītāji.

- pazemināta energopatēriņa režīma aptauja (PS-Poll). RTS.
- CTS.
- AC K.
- Perioda, kas brīvs no konkurences, nobeigums (Contend on-free End, CF-End).
- CF-End + perioda, kas brīvs no konkurences, nobeigums un pēdējā freima saņemšanas apstiprinājums (contention-free acknowledgment, CF-End+CF-ACK).

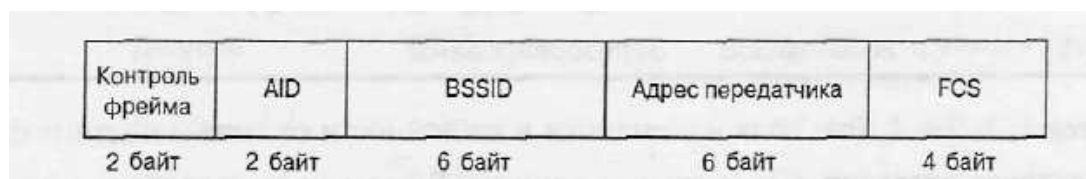
Pie pirmajiem četriem freimiem ir vērts apstāties detalizētāk. Freimi CF-End un CF-End+CF-ACK tiek izmantoti ar PCF un tādēļ netiek pielietoti bieži.

Freims PS-Poll

Freims PS-Poll norāda pieejas punktam uz to, ka bezvadu stacija, kas strādā energotaupības režīmā, prasa, lai tai tiktu piegādāti buferizēti freimi. Freimam PS-Poll ir šādas atšķirības no pamatfreima MAC.

- **AID**. Bezvadu klienta AID ar divām pašu vecāko daļu nozīmēm, kurām ir lielums 1.
- BSS identifikators (**BSSID**). Pieejas punkta tīkla infrastruktūrai MAC-adrese.
- Raidītāja adrese (transmission address, TA). Bezvadu energotaupošās stacijas MAC-adrese.

1.32.att. parādīts freima PS-Poll formāts.

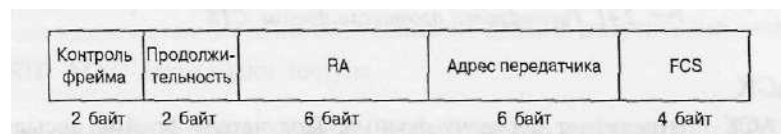


1.32.att. Freima PS-Poll formāts

Freims RTS

Freims RTS — tas ir pieprasījums vides rezervēšanai; tā ir daļa standarta 802.11 pieejas mehānisma.

- **Ilgums (duration).** Laiks, kas nepieciešams freimu apmaiņai starp stacijām. Tas ietver freima RTS pārraides laiku, freima CTS uztveršanas laiku (ietverot intervālu SIFS), datu freima pārraides laiku (ietverot intervālu SIFS) un freima ACK uztveršanas laiku (ietverot signālu SIFS). Tiek mērīts mikrosekundēs (msek).
- **Uztvērēja adrese (receiver address, RA).** Prognozētā freima saņēmēja MAC-adrese.
- **Pārraidītāja adrese (transmitter address, TA).** Stacijas-freima nosūtītāja MAC-adrese.



1.33.att. parādīts freima RTS formāts.

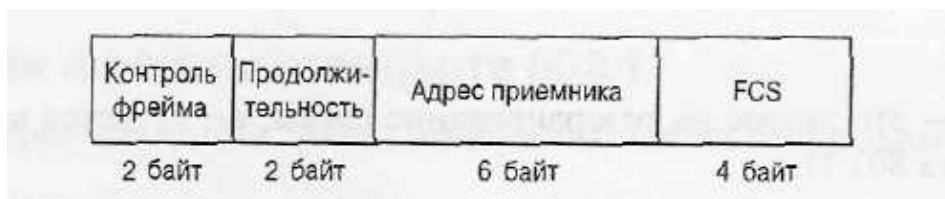
1.33.att. Freima RTS formāts

Freims CTS

Freims CTS — tā ir atbilde uz freimu RTS. Tas ir norādījums uztveršanas stacijai, lai vide tiktu rezervēta uz norādīto laiku.

- **Ilgums (duration).** Lielums, kas iegūts no lauka Duration iepriekšējā freima RTS, samazināts uz laiku, kas nepieciešams freima CTS pārraidei, un intervāls SIFS.
- **Uztvērēja adrese (receiver address, RA).** Prognozējamā freima saņēmēja MAC-adrese.

1.34.att. parādīts freima CTS formāts,

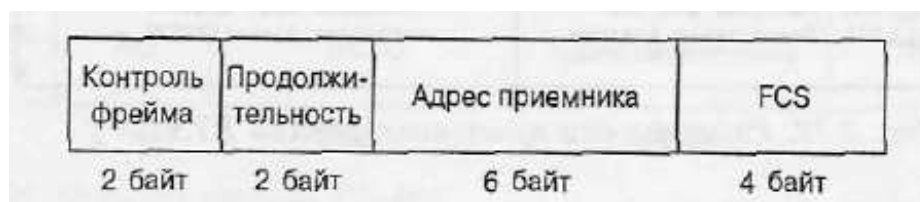


1.34.att. Freima CTS formāts.

Freims ACK

Freims ACK apstiprina freima pārraidi. Freima saņēmējs pārraida freimu ACK nosūtītājam, lai paziņotu par veiksmīgu uztveršanu.

- **Игумс** (duration). Šī lauka lielums freimiem ACK parasti ir vienāds ar 0, jo tieši šis apstiprinājuma freims satur pārraides laiku intervālam SIFS un freimam ACK savā laukā Duration.
- **Uztvērēja adrese** (receiver address, RA). Prognozējamā freima saņēmēja MAC-adrese.

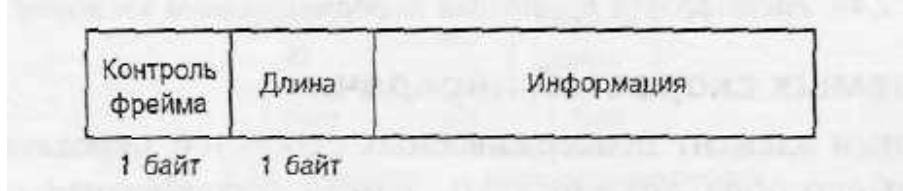


1.35.att. Parādīts freima ACK formāts

Freimi CF-End un CF-End+CF-ACK

Freimi CF-End un CF-End+CF-ACK ir specifiski darbam PCF režīmā. Tie norāda uz perioda nobeigumu, kas brīvs no konkurences, bet freims CF-End+CF-ACK tāpat ietver apstiprinājumu par to, ka koordinācijas punkts ir saņēmis pēdējo freimu. 1.36.att. parādīts freimu CF-End un CF-End+CF-ACK formāts, bet zemāk aprakstīti to atslēgas lauki.





1.36.att. Freimu CF-End un CF-End+CF-ACK formāts

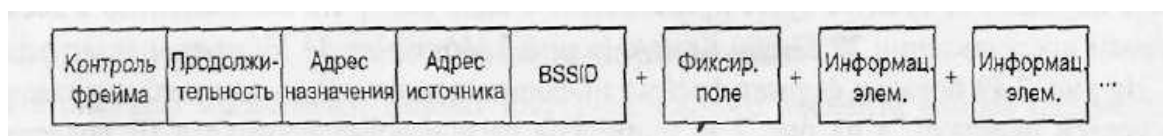
- **Ilgums** (duration). Noteikts vienāds ar 0.
- **Uztvērēja adrese** (receiver address, RA). Prognozētā freima saņēmēja MAC-adrese. Freimu CF-End gadījumā tā ir plašraides MAC-adrese, jo katrai apkalpošanas zonas stacijai jāsaņem šis paziņojums.
- **BSSID**. Pieejas punkta MAC-adrese.

Dienesta freima lauks un elementi saskaņā ar standartu 802.11

Dienesta freimi standartā 802.11 ir lauki, kas atšķiras no agrāk aprakstītā izejas freima MAC, un izmanto datu struktūras, kas tiek sauktas par *informatīvajiem elementiem* (information elements, IE) un *fiksētajiem laukiem* (fixed fields).

1.37.att. parādīts informatīvā elementa formāts. IE ieviešanas un fiksēto lauku ieviešanas mērķis – sagādāt elastīgas noteikšanas iespējas eksistējošiem freimiem un nodrošināt mērogojamu metodi dienesta freimu MAC funkcionālo iespēju paplašināšanai. Standarta 802.11 dienesta freimi konstruēti ar attiecīgu pamatfreima MAC formāta lauku izmantošanu, pievienojot piemērotus informatīvos elementus un fiksētos laukus (1.38.att)

1.37.att. Informatīvā elementa formāts



1.38.att. Dienesta freima struktūra, kas izmanto informatīvos elementus un fiksētos laukus.

Tabula 1.6. Informatīvie elementi, kas noteikti standartā 802.11

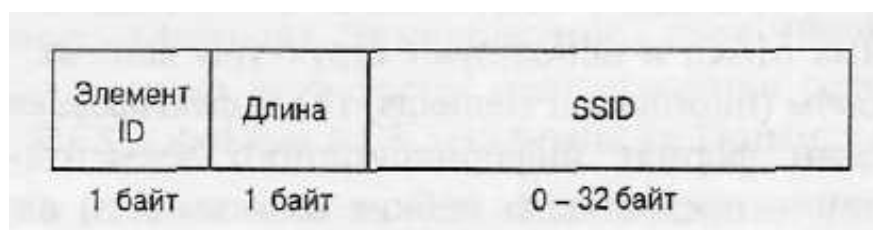
Informatīvais elements	Elements ID
SSID	0
Uzturētie pārraides ātrumi	1
Lēcienvēda frekvences pārslēgšanas parametru ievadīšana	2
Parametru DS ievadīšana	3
Parametru CF ievadīšana	4

Parametru IBSS ievadīšana	6
Rezervēti	7-15
Mainīgais teksts	16
Rezervēti mainīgā teksta paplašināšanai	17-31
Rezervēti	32-255

Informatīvais elements SSID

SSID var būt izmērs līdz 32 bitiem, bet ja tā izmērs ir vienāds ar 0, tad dotais SSID ir plašraides.

1.39.att. parādīts informatīvā elementa SSID freima formāts.

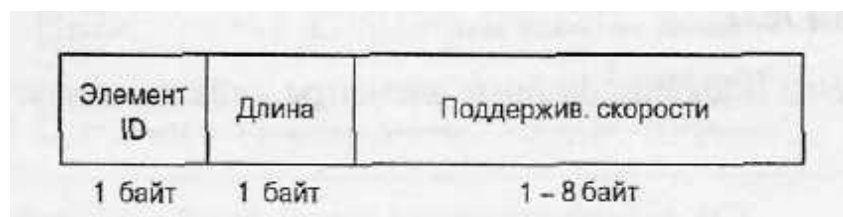


1.39.att. Informatīvā elementa SSID freima formāts

Uzturēto pārraides ātrumu IE

Uzturēto pārraides ātrumu informatīvais elements norāda, kādus pārraides ātrumus ir spējīga uzturēt dotā bezvadu stacija. Divējādi lielumi ataino pieaugumu par 500 Kbit/sek. Piemēram, uzturētais pārraides ātrums 11 Mbit/sek būs parādīts 0x16 veidā, kas ekvivalents desmitkārtīgā priekšstatam $22,22/500$ Kbit/sek (vai 0,5 Mbit/sek) = 11 Mbit/sek.

1.40.att. parādīts uzturēto pārraides ātrumu informatīvā elementa freima formāts.



1.40.att. Uzturēto pārraides ātrumu informatīvā elementa freima formāts.

Lēcienveida frekvences pārslēgšanas parametru ievadišanas IE

1.41.att. parādīts lēcienveida frekvences pārslēgšanas parametru ievadišanas informatīvais elements, bet zemāk aprakstīti tā atslēgas lauki.

- **Uzturēšanās laiks** (dwell time). Frekvences noteikta lieluma saglabāšanas laiks, tiek uzskaitīts taktīs (TU).
- **Lēcienu shēmu ievadišana** (hop set). Lēcienveida frekvences pārslēgšanas shēmu ievadišana.
- **Lēcienu shēma** (hop pattern). Individuālā frekvences lēcienveida pārslēgšanas shēma.
- **Kanāla indekss** (hop index). Esošā kanāla indekss no lēcienveida pārslēgšanas shēmas.

Sadales sistēmas parametru ievadišanas informatīvais elements

1.41.att. parādīts sadales sistēmas parametru ievadišanas informatīvā elementa formāts. Tekošā kanāla lauks norāda kanālu, ko izmanto bezvadu stacija, kas pielieto platjoslu modulācijas tehnoloģiju ar tiešu spektra paplašināšanu (direct-sequencing).



1.41.att. Sadales sistēmas parametru ievadišanas informatīvā elementa formāts

Parametru ievadišanas informatīvais elements CF

1.42. att. parādīts parametru ievadišanas informatīvā elementa CF formāts, bet zemāk aprakstīti tā atslēgas lauki.

- **CFP skaitītājs** (CFP count). DTIM uzskaitē (ietverot tekošo freimu), kas atlikuši līdz nākamā CFP sākumam.
- **CFP periods** (CFP period). Intervālu DTIM skaits starp periodiem, kas brīvi no konkurences (CFP).
- **CFP MaxDuration**. Maksimālais CFP ilgums, kas tiek mērīts taktīs (TU).

- **CFP Duration Remaining.** Ilgums (tiek mērīts TU), kas atlikušas līdz tekošā CFP nobeigumam.

Элемент ID	Длина	Счетчик CFP	Период CFP	Макс. продолжит. CFP (в тактах)	Оставш. продолж. CFP (в тактах)
1 байт	1 байт	1 байт	1 байт	2 байт	2 байт

1.42.att. Parametru ievadīšanas informatīvā elementa CF formāts

Informatīvais elements TIM

1.43. att. parādīts informatīvā elementa TIM formāts. Zemāk aprakstīti informatīvā elementa TIM freima atslēgas lauki.

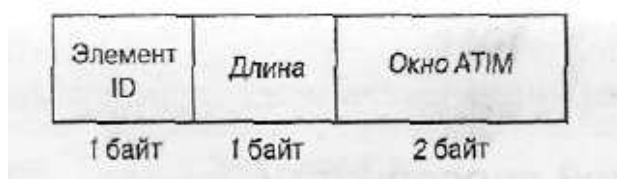
- **DTIM skaitītājs (DTIM count).** Uzskaita, cik signāla freimu paies (ieskaitot tekošo freimu), pirms pienāks nākamais DTIM. Lielums 0 liecina par to, ka tekošais freims arī ir DTIM.
- **DTIM periods (DTIM period).** DTIM intervālu skaits starp DTIM freimiem. Lielums 1 norāda uz to, ka visi TIM ir DTIM. Lielums 0 ir rezervēts.
- **Bitu kartes kontrole (bitmap control).** Šī lauka lādiņš 0 satur trafika indikatora bitu, kas saistīts ar AID 0. Šim bitam ir lielums 1 TIM elementiem ar lielumu 0 DTIM skaitītāja laukā, kad pieejas punktā buferizēti viens vai vairāki plašraides freimi vai daudzadresātu freimi. Atlikušie šī lauka 7 biti veido bitu kartes nobīdi (bitmap offset).
- **Daļēja virtuālā bitu karte (partial virtual bitmap).** Starpstaciju pieejas punkta freimu indikācija. Indikācija AID 0 norāda, ka buferizēti plašraides freimi vai daudzadresātu freimi.

Элемент ID	Длина	Счетчик	Период	Контроль битовой карты	Частичная виртуальная битовая карта
1 байт	1 байт	1 байт	1 байт	1 байт	1 — 251 байт

1.43.att. Informatīvā elementa TIM freima formāts

Parametru ievadīšanas informatīvais elements IBSS

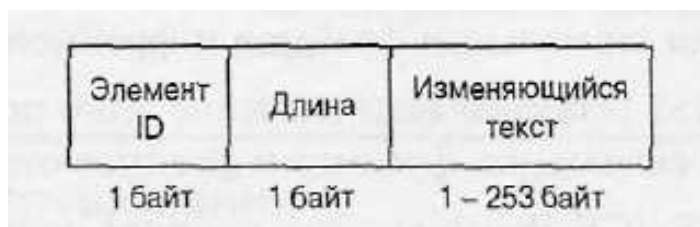
1.44. att. parādīts parametru ievadīšanas informatīvā elementa IBSS formāts. Loga ATIM lauks norāda loga ATIM platumu taktīs (TU).



1.44.att. Parametru ievadīšanas informatīvā elementa IBSS formāts

Mainīgā teksta informatīvais elements

1.45.att. dots mainīgā teksta informatīvā elementa formāts.



1.45.att. Mainīgā teksta informatīvā elementa formāts.

Mainīgā teksta lauks norāda mainīgo tekstu izmantošanai autentifikācijas freimos.

Standarta 802.11 fiksēto lauku elementi

Papildus informatīvajiem elementiem standartā 802.11 tāpat ir noteikti desmit fiksēto lauku elementi izmantošanai dienesta freimos (tab.1.7.).

Tabula 1.7. Standarta 802.11 fiksētie lauki

Veida "fiksētais lauks" elements	Izmērs (bit)
Autentifikācijas algoritma numurs	16
Autentifikācijas transakcijas kārtas skaitlis	16
Signāla intervāls	16

Informatīvā spēja	16
Pieejas punkta tekošā adrese	48
Uztveršanas intervāls	16
Cēloņa kods	16
AID	16
Stāvokļa kods	16
Laika atzīme (timestamp)	64

Autentifikācijas algoritma numura lauks

Lielums 0 šim laukam norāda uz autentifikāciju ar atvērto atslēgu (open authentication). Lielums 1 norāda uz autentifikāciju ar kopīgi lietotu atslēgu (shared-key authentication). Visi pārējie lielumi ir rezervēti.

Autentifikācijas transakcijas kārtas skaitļa numurs

Šajā laukā tiek norādīts tekošais etaps daudzstepu autentifikācijas procesā.

Signāla intervāla lauks

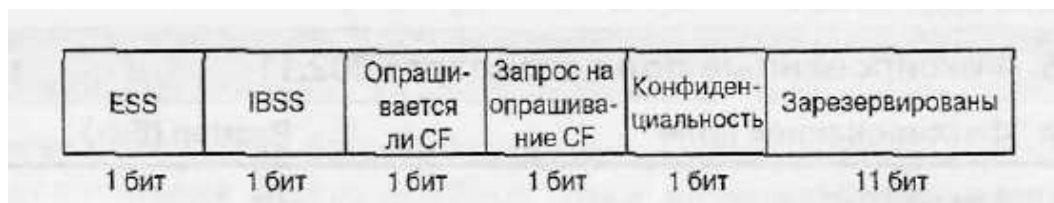
Šajā laukā tiek norādīts skaits taktīm starp signāla freima pārraidēm.

Informatīvās spējas lauks

Informatīvās spējas lauks ietver apakšlaukus, kas svarīgi tikai dienesta freimiem, kuriem noteikti pārraides noteikumi. 2.58.att. parādīts informatīvās spējas lauka formāts, bet zemāk aprakstīti atslēgas apakšlauki.

- **ESS.** Pieejas punkts nosaka šī apakšlauka lielumu vienādu ar 1, bet IBSS apakšlauka – vienādu ar 0 signāla freimiem un atbildes uz zondēšanu freimiem.
- **IBSS.** Stacija no IBSS nosaka šī apakšlauka lielumu vienādu ar 1 un apakšlauka ESS – vienādu ar 0 signāla freimiem un atbildes uz zondēšanu freimiem.
- **Nepieciešama aptauja CF (CF-Pollable).** Šo apakšstaciju izmanto pieejas punkti un bezvadu stacijas.
- **Atbilde uz pieprasījumu CF-PoH (CF-Poll request).** Šo apakšlauku izmanto pieejas punkti un bezvadu stacijas. Tabulās 1.8. un 1.9. aprakstīti šo apakšlielumu iespējamie lielumi.

- **Konfidencialitāte** (privacy). Šī lauka lielums ir noteikts vienāds ar 1, ja datu freimiem nepieciešams izmantot WEP-kodēšanu. Apakšlauks tiek iekļauts signāla freimā, atbildes uz zondēšanu, asociāciju un reasociāciju freimā. Ja nav nepieciešams pielietot WEP-kodēšanu, dotā apakšlauka lielums tiek noteikts vienāds ar 0.



1.46.att. Informatīvās spējas lauka formāts

Tabula 1.8. Atbildes uz CF-aptauju lauks freimos, kuru avots ir klienta stacija

Pakļautība aptaujai CF	Atbilde uz pieprasījumu CF-Poisl	Lielums
0	0	Stacija nav pakļauta aptaujai CF
1	0	Stacija ir pakļauta aptaujai CF un prasa, lai to iekļautu aptaujas sarakstā
0	1	Stacija ir pakļauta CF aptaujai, bet neprasa, lai to iekļautu aptaujas sarakstā
1	1	Stacija ir pakļauta aptaujai CF un prasa, lai to neiekļautu aptaujas sarakstā

Pieejas punkta tekošās adreses lauks

Šis lauks norāda pieejas punkta MAC-adresi, ar kuru dotajā momentā asociēta bezvadu stacija.

Tabula 1.9. Atbildes uz CF-aptauju lauks freimos, kuru avots ir pieejas punkts

Pakļautība aptaujai CF	Atbilde uz pieprasījumu CF-Poll	Lielumi
0	0	Pieejas punkts neuztur PCF un nav koordinācijas punkts (PC)
1	0	PC uztur tikai freimu sadali
0	1	PC uztur freimu sadali un veic aptauju
1	1	Rezervēts

Noklausīšanās intervāla lauks

Šis lauks norāda signāla intervālu skaitu, pēc kuriem energotaupošās stacijas aktivizējas, lai uztvertu signāla freimu.

Cēloņa koda lauks

Šajā laukā norādīts deautentifikācijas vai autentifikācijas freima pārraides pēc paša iniciatīvas cēlonis. Tabulā 1.10. uzskaitīti cēloņu kodi un to nozīmes.

Tabula 1.10. Standarta 802.11 cēloņu kodi

Cēloņa kods	Nozīme
0	Rezervēts
1	Cēlonis, kas nav iekļauts specifikācijā
2	Iepriekšējā autentifikācija vairs nav derīga
3	Deautentifikācija tādēļ, ka pārraidošā stacija pamet (vai jau ir pametusi) IBSS vai arī ESS
4	Dissociēta neaktivitātes dēļ
5	Dissociēta tādēļ, ka pieejas punkts nav spējīgs noturēt visas asociētās stacijas

6	Saņemts 2.klases freims no neautentificētas stacijas
7	Saņemts 3.klases freims no neautentificētas stacijas
8	Dissociēta tādēļ, ka pārraidošā stacija pamet (vai jau ir pametusi) BSS
9	Stacija, kas prasa (re) asociāciju, atbildošā stacija nav identificējusi
10-65 535	Rezervēti

Lauks AID

Dotais lauks norāda lielumus, ko noteicis pieejas punkts, lai stādītu priekšā 16-ciparu ID bezvadu stacijai. Šis lielums ir loģiskā pieslēgvietā bezvadu stacijām.

Stāvokļa koda lauks

Šis lauks dienesta atbildes freimos satur lielumu, kas norāda uz reaģēšanas uz dienesta pieprasījuma freimu veiksmīgumu vai neveiksmīgumu. Tabulā 1.11. uzskaitīti visi standarta 802.11 stāvokļa kodi un to nozīmes.

Tabula 1.11. Stāvokļa kodi

Stāvokļa kods	Nozīme
0	Veiksmīgi
1	Neveiksme, kas nav norādīta specifikācijā
2-9	Rezervēti
10	Nav spējīgs uzturēt visas pieprasītās iespējas, kas norādītas informatīvās spējas laukā
11	Reasociācija noraidīta, neiespējamības dēļ apstiprināt, ka asociācija eksistē
12	Asociācija noraidīta cēloņa dēļ, kas nav atrunāts dotajā standartā

13	Atbildošā stacija neuztur speciālo autentifikācijas algoritmu
14	Saņemts autentifikācijas freims ar autentifikācijas transakciju secības numuru, kas neatbilst sagaidāmajai secībai
15	Autentifikācija noraidīta neiespējamības dēļ atbildēt uz izsaukumu {challenge failure}
16	Autentifikācija noraidīta taim-auta dēļ, gaidot nākamo secības freimu
17	Autentifikācija noraidīta tādēļ, ka pieejas punkts nav spējīgs pārvaldīt papildus asociētās stacijas
18	Autentifikācija noraidīta tādēļ, ka pieprasošā stacija neuztur visus datu pārraides ātrumus, kas norādīti parametrā BSSBasicRateSet
19-65 535	Rezervēti

Laika atzīmes lauks (Timestamp)

Šis lauks norāda freima nosūtītāja lielumu TSFTIMER.

Standarta 802.11 dienesta freimi

Uz standarta 802.11 dienesta freimiem var attiecināt sekojošus.

- Signāla freims.
- Pieprasījuma zondēšanai freims.
- Atbildes uz zondēšanu freims.
- Autentifikācijas freims.
- Deautentifikācijas freims.
- Pieprasījuma asociēšanai freims.
- Atbildes uz asociēšanu freims.
- Pieprasījuma reasociēšanai freims.
- Atbildes uz reasociēšanu freims.
- Dissociēšanas freims.
- Izsludinātā trafika indikācijas freims (announcement traffic indication frame, ATIM).

Nākamajās sadaļās katrs dienesta freims aprakstīts detalizētāk.

Signāla freims

Signāla (bākas) freims — tas ir dienesta freims, kuru pieejas punkts (vai signāla nosūtītājs IBSS) pārraida ar biežumu, kuru nosaka signāla intervāls. Signāla freims (tas dotajā grāmatā bieži tiek saukts vienkārši par “bāku” (beacon)) nodrošina pagaidu sinhronizāciju starp pieejas punktu un bezvadu staciju, kā arī fiziskam kanālam specifisku parametru sinhronizāciju. Bez tam energosaglabājošajām stacijām tiek paziņots par to, ka pieejas punktam ir tām paredzēti buferizēti freimi. Papildinot standartā 802.11 noteiktos laukus un informatīvos elementus, signāla freimos tāpat var tikt iekļauti konkrētam ražotājam specifiski informatīvie elementi.

1.47.att. parādīts signāla freima formāts,

Контроль фрейма	Продолжи- тельность	Адрес назна- чения	Адрес источ- ника	BSSID	Управление очеред- ностью	Поле метки времени	Поле сигнального интервала	Поле информа- ционной способности	SSID IE	IE подде- рживаемых скоростей	IE с набором параметров FH/DFS (переключ. частоты/ прим. последов.)	IE с набором параметров CSF (опционально)	IE с набором параметров IBSS (опционально)	IE TIM (опционально)
--------------------	------------------------	--------------------------	-------------------------	-------	---------------------------------	--------------------------	----------------------------------	--	------------	-------------------------------------	--	---	---	-------------------------

1.47.att. Signāla freima formāts

Pieprasījuma zondēšanai freims

1.48.att. parādīts pieprasījuma zondēšanai freims,

Контроль фрейма	Продолжи- тельность	Адрес назна- чения	Адрес источ- ника	BSSID	Управление очередностью	SSID IE	IE поддержи- ваемых скоростей
--------------------	------------------------	--------------------------	-------------------------	-------	----------------------------	------------	--

1.48.att. Pieprasījuma zondēšanai freima formāts

Atbildes uz zondēšanu freims

1.49.att. parādīts atbildes uz zondēšanu freima formāts,

Контроль фрейма	Продолжи- тельность	Адрес назначе- ния	Адрес источ- ника	BSSID	Управление очередностью	Поле метки времени	Поле сигнального интервала	Поле информационной способности	SSID IE	IE поддержи- ваемые скорости	IE с набором параметров FH/DS (переключ. частоты/ прям. последов.)	IE с набором параметров CF (опционально)	IE с набором параметров IBSS (опционально)
--------------------	------------------------	--------------------------	-------------------------	-------	----------------------------	--------------------------	----------------------------------	---------------------------------------	------------	---------------------------------------	---	--	---

1.49.att. Atbildes uz zondēšanu freima formāts

Аутентификацияс freims

1.50.att. parādīts аутентификацияс freima formāts,

Контроль фрейма	Продолжи- тельность	Адрес назначе- ния	Адрес источ- ника	BSSID	Управление очеред- ностью	Номер алгоритма аутентификации	Номер транзакции в последова- тельности аутентификации	Поле код состояния	IE с изме- няющимся ТЕКСТОМ (опционально)
--------------------	------------------------	--------------------------	-------------------------	-------	---------------------------------	--------------------------------------	---	--------------------------	--

1.50.att. Аутентификацияс freima formāts

Deаутентификацияс freims

1.51.att. parādīts deаутентификацияс freima formāts,

Контроль фрейма	Продолжи- тельность	Адрес назначе- ния	Адрес источ- ника	BSSID	Управление очеред- ностью	Код причины
--------------------	------------------------	--------------------------	-------------------------	-------	---------------------------------	----------------

1.51.att. deаутентификацияс freima formāts

Pieprasījuma asociēšanai freims

1.52.att. parādīts pieprasījuma asociēšanai freima formāts,

Контроль фрейма	Продолжи- тельность	Адрес назна- чения	Адрес источ- ника	BSSID	Управление очеред- ностью	Поле информа- ционной способности	Интервал прослу- шивания	SSID IE	IE поддер- живаемых скоростей
--------------------	------------------------	--------------------------	-------------------------	-------	---------------------------------	--	--------------------------------	------------	-------------------------------------

1.52.att. pieprasījuma asociēšanai freima formāts

Atbildes uz asociēšanu freims

1.53. att. Parādīts atbildes uz asociēšanu freima formāts

Контроль фрейма	Продолжи- тельность	Адрес назна- чения	Адрес источ- ника	BSSID	Управление очеред- ностью	Поле информа- ционной способности	Код состояния	Поле AID	IE поддер- живаемых скоростей
--------------------	------------------------	--------------------------	-------------------------	-------	---------------------------------	--	------------------	-------------	-------------------------------------

1.53.att. Atbildes uz asociēšanu freima formāts

Pieprasījuma reasociēšanai freims

1.54.att. parādīts pieprasījuma reasociēšanai freima formāts

Контроль фрейма	Продолжи- тельность	Адрес назна- чения	Адрес источ- ника	BSSID	Управление очеред- ностью	Поле информа- ционной способности	Интервал прослу- шивания	Адрес текущей точки доступа	SSID IE	IE поддер- живаемых скоростей
--------------------	------------------------	--------------------------	-------------------------	-------	---------------------------------	--	--------------------------------	--------------------------------------	------------	-------------------------------------

1.54.att. pieprasījuma reasociēšanai freima formāts

Pieprasījuma reasociēšanai freims ir gandrīz identisks pieprasījuma asociēšanai freimam, bet tam ir papildus lauks, kas satur tekošo pieejas punkta adresi. Galvenais šī freima mērķis – informēt pieejas punktu par to, ka stacijai, kas asociējas ar to dotajā momentā, jau bija

asociācija agrāk. Jaunais pieejas punkts var pieprasīt vecajam pieejas punktam informāciju, vai tam ir šai stacijai buferizēti freimi ar klienta rouminga mērķi; šāda iespēju var realizēt arī ražotājs, bet tā nav aprakstīta standartā 802.11.

Atbildes uz reasociēšanu freims

1.55.att. parādīts atbildes uz reasociēšanu freima formāts

Atbildes uz reasociēšanu freims ir identisks atbildes uz asociēšanu freimam.

Контроль фрейма	Продолжи- тельность	Адрес назна- чения	Адрес источ- ника	BSSID	Управление очеред- ностью	Поле информа- ционной способнoсти	Код состояния	Поле AID	IE поддер- живаемых скоростей
--------------------	------------------------	--------------------------	-------------------------	-------	---------------------------------	--	------------------	-------------	-------------------------------------

1.55.att. Atbildes uz reasociēšanu freima formāts

Dissociēšanas freims

1.56.att. parādīts dissociēšanas freima formāts,

1.56.att. Dissociēšanas freima formāts

Контроль фрейма	Продолжи- тельность	Адрес назна- чения	Адрес источ- ника	BSSID	Управление очеред- ностью	Код причины
--------------------	------------------------	--------------------------	-------------------------	-------	---------------------------------	----------------

Freims ATIM

Freimam ATIM nav fiksētu lauku vai informatīvu elementu.

1.10.2. Standarta 802.11 datu freimi

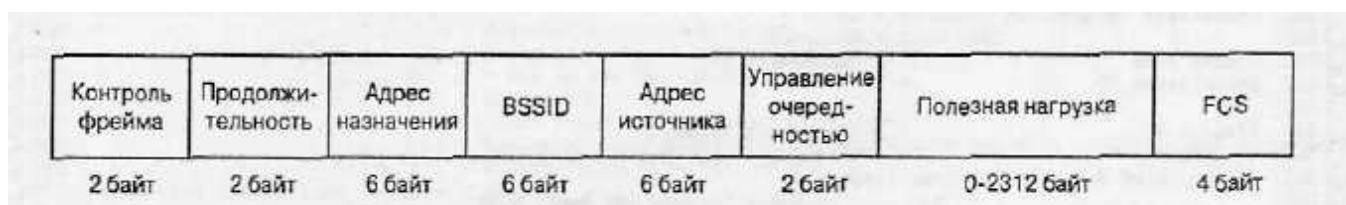
Standartā 802.802.11 aprakstīti astoņi unikāli datu freimi.

- Dati.
- Nulles dati.

- Dati+ C F-Ack.
- Dati+CF-Poll.
- Dati+CF-Ack+CF-Poll.
- CF-Ack. . C F-Poll.
- CF-Ack+CF-Poll.

Datu freims

1.57.att. parādīts datu freima formāts,



1.57.att. Datu freima formāts

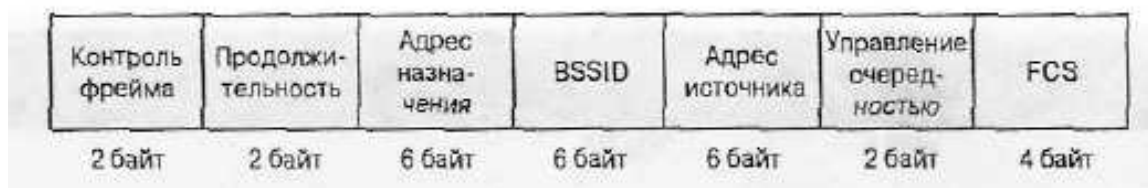
Freimi Dati+CF-Ack, Dati+CF-Poll un Dati+CF-Ack+CF-Poll

Šiem datu freimiem ir tāds pats freima ķermenis, kā standarta datu freimam. Apakšveidu lielumi atšķiras ar funkcionālo iespēju CF-Ack un (vai) CF-Poll realizācijas nodrošināšanu, kas nepieciešamas darbam PCF režīmā.

Nulles dati

1.58.att. parādīts nulles datu freima formāts,

Nulles datu freims ir nosaukts šādi, jo tam nav “derīgās slodzes lauka”. Tā uzdevums – norādīt uz energotaupības režīma bita izmaiņām freima kontrollaukā.



1.58.att. Nulles datu freima formāts

Freimi CF-Ack, CF-Poll un CF-Ack + CF-Poll

Šiem freimiem ir tāds pats ķermenis, kā standarta nulles datu freimam. Apakšveida lielumi ir atšķirīgi CF-Ack un/vai CF-Poll funkcionālo iespēju nodrošināšanā, kas nepieciešamas darbam PCF režīmā.

2. NODAĻA

LOKĀLĀ TĪKLA AR BEZVADU SADALES SISTĒMU PROJEKTĒŠANA

2. LOKĀLĀ TĪKLA AR BEZVADU SADALES SISTĒMU PROJEKTĒŠANA

2.1. Tīkla aprīkojuma tehniskie parametri

2.1.1. IEEE 802.11b WLAN standarta aprīkojums



att. 2.1.1.1. Nokia C110/C111 WLAN Card

Nokia C110/C111 – tie ir WLAN adapteri, kuriem ir Extended Type II PC Card formāts un kuri ir paredzēti uzstādīšanai portatīvajās darba stacijās ar atbilstošiem spraudņiem. C110/C111 pilnībā atbilst IEEE 802.11b specifikācijai un ir aprīkoti ar divām kompaktām iekšējām antenām.

Tabula 2.1. Nokia C110/C111 specifikācijas

Formāts	PC Card (Extended Type II)
Standarts	IEEE 802.11b
Kanālu skaits	13 (atkarībā no reģiona)
Pārraidīšanas ātrums	11, 5.5, 2 un 1 Mbit/s
Modulācijas tehnoloģija	DSSS
Antenas	2 antenas, kas integrētas platē (C111 ir arī spraudņi ārējām antenām)
Pārraidīšanās jauda	35 mW (iekšējo antenu gadījumā)
Uztvērēja jutīgums	Min. -84 dBm
Pārklāšanas zonas rādiuss	Atklātā vietā : maks. 400 m Telpā: 20-100 m
Drošība	WEP ar slepenās atslēgas garumu līdz 128 bit

Enepropatēriņš (3.3V/5V)	Sleep: 10mA/10mA Receive: 240mA/180mA Transmit: 360mA/310mA
--------------------------	---

Att. 2.1.1.2. Nokia A032 WLAN Access Point



Nokia A032 pieejas punkts pārstāv kompaktu bāzes staciju, kas paredzēta WLAN BSS veidošanai slēgtās telpās. A032 funkcionē arī kā tilts starp Ethernet un WLAN, kas ļauj mobilām stacijām, kas aprīkotas ar 802.11-savienojamiem adapteriem, iegūt pieeju pie vadu tīkla resursiem. Vairākus A032 pieejas punktus, kas integrēti ar Ethernet vadu segmentiem, var savstarpēji savienot ar bezvadu tiltu, lai izveidotu vienotu lokālo tīklu.

Kā radio moduli A032 izmanto Nokia C111 adapteri. Piegādes komplektā ietilpst arī viena neorientēta (omni-directional) vertikālās polarizācijas antena – Nokia C950, kas paredzēta radio pārklājuma zonas paplašināšanai.

Pievienojot lokālo apakštīklu ārējam tīklam, A032 aktivizē tīkla ekrānu (Firewall), kas aizsargā iekšējo tīklu no piekļuves tam no ārpuses.

Tabula 2.2. Nokia A032 specifikācija

Standarti	IEEE 802.11b (WLAN) IEEE 802.3 (Ethernet)
Radio interfeiss	Nokia C111 PC Card
Antena	Neorientēta iekšējā antena ar 2 m koaksiālo savienojošo kabeli
Ethernet-interfeiss	10BaseT (RJ-45): 10 Mbit/s
Secīgās piekļuves pieslēgvietā	DB9 konektors ar DCE interfeisa atbalstītāju
Dial-up Modem	9600-57600 bit/s
Mobilo staciju energotaupīšanas režīma uzturēšana	Power Save Poll uzturētājs atbilstoši 802.11 standartam
Piekļuves drošība	WEP šifrēšana ar atslēgas garumu 40 un 128 bit
Šifrēšanas atslēgas	Līdz 200 WEP-atslēgu glabāšana
DHCP (Dynamic Host Configuration Protocol) funkcija	Automātiska TCP/IP konfigurācija stacijām, kas pieslēgtas pieejas punktam (kā WLAN, tā arī Ethernet)
Maksimālais adrešu skaits DHCP bāzē	64
Pieslēgums Internetam	Tīkla ekrāna (Firewall) ieslēgšanās ar adrešu translāciju (NAT)
Vadības programmu interfeisi	Administrēšana ar Web-pārlūkprogrammas palīdzību; termināla pieslēgums caur secīgās piekļuves pieslēgvietu; Telnet; SNMP
LED-indikatori	Barošana, asociēto staciju skaits, utilizācija, radio un Ethernet-interfeisa statuss
Elektrobarošana	DC 12V, 1A
Patērētā jauda	5.1 W

2.1.2. IEEE 802.3u Fast Ethernet standarta aprīkojums

att. 2.1.2.1. Eusso UEC2200-S 10/100 Mbps PCI Fast Ethernet Card



UEC2200-S ir Fast Ethernet standarta tīkla adaptors, kas automātiski izvēlas vajadzīgo pārraides ātrumu (10 vai 100 Mbit/s), balstoties uz pārrunām ar savienojuma partneriem.

Tabula 2.3. Eusso UEC2200-S specifikācijas

LAN atbalstošie standarti	IEEE 802.3 10BASE-T IEEE 802.3u 100BASE-TX
Interfeiss	RJ45
Pārraidīšanas režīms	Full/Half duplex: 10 un 100 Mbit/s
Pārraidīšanas vide	10BASE-T: UTP Cat. 3, 4, 5 100Base-TX: UTP Cat. 5
Uzstādīšanas interfeiss	32-bit PCI kopne
Chipset	Realtek RTL8139
LED-indikators	Link/Activity

Att. 2.1.2.2. Eusso USH5005-XPB 5-Port 10/100 Mbps Nway Switch



USH5005-XPB ir Fast Ethernet komutators, kura visas 5 pieslēgvietas var automātiski, balstoties uz pārrunām ar tīkla iekārtām, izvēlēties pārraides režīmu (Full/Half Duplex) un ātrumu (10/100 Mbit/s). Visas pieslēgvietas atbalsta Auto MDI/MDI-X funkciju, kas ļauj savienot Ethernet komutatorus ar parastiem (ne crossover) UTP kabeļiem.

USH5005-XPB nodrošina iedalītu 10/100 Mbit/s savienojumu katrai tam pievienotajai stacija ar pilnvērtīgu caurlaišanas spējas izmantošanu (salīdzinot ar savienojumu ar koncentrāta palīdzību ar kopējo caurlaidības spēju visām pieslēgvietām). Dupleksā režīmā 100Base-TX vienmērīgi tiek iedalīti 100 Mbit/s uztveršanai un 100 Mbit/s pārraidīšanai.

Komutators satur MAC adrešu tabulu, kas sastāv no liela daudzuma ierakstu. Katrā ierakstā tiek glabāta informācija par mezgla adresi tīklā (MAC adrese, pieslēgvietas identifikators utt.). Uz šīs informācijas pamata tiek veikta filtrācija un pakešu pārdresēšana. MAC adrešu tabulas saturs dinamiski atjaunojas ar ienākošo pakešu avotu adrešu datiem.

Kad uz vienu no komutatora pieslēgvietām atnāk datu pakete, komutators meklē piegādes adresi MAC adrešu tabulā. Ja tāda adrese netiek atrasta, tad pakete tiek pārsūtīta uz visām pieslēgvietām, izņemot avota pieslēgvietu. Ja norādītā adrese ir tabulā, un tā pieslēgvietā atšķiras no avota pieslēgvietas, tad pakete tiek pārsūtīta uz tabulas ierakstā atbilstošo pieslēgvietu. Ja saņēmēj-adrese pieder pie tās pašas pieslēgvietas, pie kuras pieder avota adrese, tad pakete tiek nofiltrēta.

USH5005-XPB komutatora darbības princips ir balstīts uz starpglabāšanas tehnoloģiju (store-and-forward) ar zemu aizturi: komutators uztver kadru no ieejošā kanāla, uz laiku ienes to buferī, pēc tam novirza pa maršrutu attiecīgajā izejas kanālā. Šis mehānisms ļauj efektīvi cīnīties ar kļūdām, jo komutators pirms retranslācijas CRC kadrus pārbauda.

USH5005-XPB ir Plug-n-Play iekārta un tā neprasa programmas uzstādīšanu.

Tabula 2.4. Eusso USH5005-XPB specifikācijas

LAN atbalstošie standarti	IEEE 802.3 10BASE-T IEEE802.3u 100BASE-TX
Interfeiss	5 pieslēgvietas RJ-45 NWay
NWay protokola atblastīšana	Pārraides ātrums: 10/100 Mbit/s Pārraides režīms: Full/Half Duplex
Auto MDI/MDI-X atblastīšana	Visas 5 pieslēgvietas realizē Auto MDI/MDI-X funkciju
MAC adrešu tabula	2048 ierakstu
Sistēmiskā atmiņa	1 Mbit
Filtrācijas/pāradresēšanas ātrums (Filtering/Forwarding Rate)	10Mbps: 14880pps/14880pps 100Mbps: 148800pps/148800pps
Kabeļsavienojums	10BASE-T: UTP Cat. 3, 4, 5 līdz 100 m 100Base-TX: UTP Cat. 5 līdz 100 m
LED-indikatori	System: Power Port: 100M, Link/Activity
Elektrobarošana	External Power Supply: +12VDC 0.5A

2.1.2.3. Eusso USH5008-XL 8-Port 10/100 Mbps Nway Switch

USH5008-XL ir 8-pieslēgvietu Fast Ethernet standarta komutators, kura tehniskie parametri ir analogiski USH5005-XPB.

Tabula 2.5. Eusso USH5008-XL specifikācijas

LAN atbalstošie standarti	IEEE 802.3 10BASE-T IEEE802.3u 100BASE-TX
Interfeiss	8 RJ-45 NWay pieslēgvietas
NWay protokola atblastīšana	Pārraides ātrums: 10/100 Mbit/s Pārraides režīms: Full/Half Duplex
Auto MDI/MDI-X atbalsts	Visas 8 pieslēgvietas realizē Auto MDI/MDI-X funkciju
MAC adrešu tabula	8192 ierakstu
Bufera atmiņa	2 Mbit
Filtrācijas/pāradresēšanas ātrums	10Mbps: 14880pps/14880pps

(Filtering/Forwarding Rate)	100Mbps: 148800pps/148800pps
Kabeļsavienojums	10BASE-T: UTP Cat. 3, 4, 5 līdz 100 m 100Base-TX: UTP Cat. 5 līdz 100 m
LED-indikatori	System: Power Port: Speed, Link/Activity, FDC/Collision
Elektrobarošana	External Power Adapter: +12VDC 1A

2.2. Tīkla tehnoloģijas izvēle

1. Pielikumā ir sniegta projektā pārstāvētās profesorgrupas TCIS (“Transport Communication and Information Systems”) lokālā tīkla shēma. Katrai darba stacijai tīklā tiek iedots vārds un IP adrese, kas tiek izmantota adresācijai tīkla iekšienē un kas viennozīmīgi translējas MAC adresē, lai nodibinātu savienojumu kanālu līmenī. Piekļuves punktiem ir viena IP adrese (izņemot R6 slūžas ar divām atšķirīgām IP adresēm – iekšējo un ārējo), kas nepieciešama piekļuvei pie to uzstādījumiem administrēšanas nolūkos, un pa MAC adresei katram interfeisam – vadu vai bezvadu.

2.2.1. Bezvadu sadales sistēma

TCIS tīklā A032 piekļuves punkti veido bezvadu sadales sistēmu (WDS – Wireless Distribution System) daudzkomponentu tīkla tilta veidā, kas nodrošina savienojumu «punkts-punkts» jebkurām divām darba stacijām, kas pievienotas tīklam (wireless point-to-point bridge). Šis bezvadu tīkls kalpo kā ESS maģistrāle un apvieno savā starpā Ethernet segmentus, kas iziet uz atsevišķiem piekļuves punktiem.

Attiecībā uz bezvadu tilta konfigurāciju ir jāsniedz vairākas svarīgas piezīmes:

1) Visiem ESS komponentiem ir jāstrādā vienā un tai pašā frekvences kanālā (TCIS tīklā tas ir Channel 1, kas funkcionē uz 2412 MHz).

2) Bezvadu sadales sistēmai ir jābūt kokveida topoloģija.

Lai izveidotu daudzkomponentu EES bezvadu tīklu, nepieciešams katras pieejas punkta uzstādījumos norādīt, kādas citi pieejas punkti būt tā tilta partneri (viņu MAC adreses). Piemēram, TCIS tīklā R1 partneris ir R2, R5 partneri ir R2, R3, R4 un R6 (skat. shēmu). Pirms tam tiek sastādīta topoloģijas tīkla karte. Tai obligāti ir jābūt kokveidīgai struktūrai. Ir jāizvairās veidot cilpas, kurās nepārtraukti cirkulēs dati, bloķējot sakarus.

2) Ir iespējams, taču nav ieteicams bezvadu klientu roumings no viena pieejas punkta pie cita.

Daudzu segmentu infrastruktūras gadījumā ESS bezvadu klienti automātiski pievienojas pie tā pieejas punkta, kura signāla jauda ir vislielākā. Lai novērstu roumingu vajadzētu noteikt katram pieejas punktam EES ietvaros unikālu BSS tīkla vārdu (Network Name vai BSSID), kurā tas ir centrālais mezgls. Pēc tam klienta uzstādījumos var norādīt, pie kura pieejas punkta pievienoties (piemēram, TCISx, kur x ir pieejas punkta kārtas numurs TCIS tīklā).

2.1. tabulā ir dota secība, kā paketes iziet caur pieejas punktiem, kad notiek datu pārsūtīšana no vienas darba stacijas uz otru.

2.6. tabula

Kadru secība caur WDS mezgliem

		Kadra mērķa stacija					
		Aud309	Aud318	Aud319	Aud320	Aud320-x (x=1...4)	Popovs (iekšējā tīklā)
Stacija - kadra izejavots	Aud309	-	R7-R6-R5-R4	R7-R6-R5-R3	R7-R6-R5-R2-R1	R7-R6-R5-R2	R7-R6
	Aud318	R4-R5-R6-R7	-	R4-R5-R3	R4-R5-R2-R1	R4-R5-R2	R4-R5-R6
	Aud319	R3-R5-R6-R7	R3-R5-R4	-	R3-R5-R2-R1	R3-R5-R2	R3-R5-R6
	Aud320	R1-R2-R5-R6-R7	R1-R2-R5-R4	R1-R2-R5-R3	-	R1-R2	R1-R2-R5-R6
	Aud320-x (x=1...4)	R2-R5-R6-R7	R2-R5-R4	R2-R5-R3	R2-R1	-	R2-R5-R6
	Popovs (iekšējā tīklā)	R6-R7	R6-R5-R4	R6-R5-R3	R6-R5-R2-R1	R6-R5-R2	-

2.2.2. Ethernet segmenti lokālā tīkla sastāvā

Nokia A032 piekļuves punkti ir aprīkoti ar 10BaseT Ethernet interfeisu savienojumam ar LAN vadiem. Šis interfeiss nodrošina maksimālu pārraides ātrumu 10 Mbit/s duplexā režīmā, kas ir pietiekams, ievērojot ierobežoto 11 Mbit/s kopējo WLAN 802.11b caurlaišanas spēju, kas reālos gadījumos ir divas vai vairāk reižu mazāka par norādīto lielumu.

Ir iespējami divu veidu 802.3 Ethernet segmenti, kas pieslēdzami pie pieejas punkta caur 10BaseT interfeisu:

- 1) Tiešais savienojums ar darba staciju pa UTP 5 cat. kabeli, kam ir crossover vadu sadale (piemēram, Aud320-R1, Aud319-R3 savienojumi utt.);
- 2) Savienojums pa parasto UTP 5 cat. kabeli ar koncentrētāju vai komutatoru (piemēram, R2 savienojums ar 8-pieslēgvietu komutatoru Eusso USH5008-XL), kas ir centrālais ķēdes posms Ethernet lokālajā tīklā, kas savākta pēc zvaigžņveida topoloģijas.

Datu pārraide caur Fast Ethernet standarta komutatoru, kura viena no pieslēgvietām ir savienota ar piekļuves punktu A032, ir iespējama ar ātrumu vairāk kā 10 Mbit/s (līdz 100 Mbit/s). Tamdēļ failu apmaiņā ir jāpiedalās stacijām, kuru tīklu adapteri atbilst Fast Ethernet specifikācijai.

TCIS tīklā datu pārraide starp Aud320-1, Aud320-2, Aud320-3 un Aud320-4 darba stacijām notiek maksimālā ātrumā 100 Mbit/s, pateicoties 8-pieslēgvietu komutatora Eusso USH5008-XL četriem vienlaicīgiem 100 Mbit/s savienojumiem. Tai pat laikā caurlaišanas spēja savienojumam ar piekļuves punktu R2 nepārsniedz 10 Mbit/s.

2.2.3. Piekļuves punkti kā “Ethernet-WLAN” tīkli un WDS atkārtotāji

Parastā nozīmē “wireless bridge” (bezvadu tīkls) ir iekārta, kas paredzēta LAN vadu segmenta savienošanai ar pārraides bezvadu vidi. Piemēram, pieejas punkts R2 ar tiltu savieno bezvadu maģistrāli un Eusso USH5008-XL komutatoru (sk. TCIS tīkla shēmu). Turklāt no vadu Ethernet-segmenta, kas pieslēgts pie R2, pa tiltu tiek pārraidītas tikai tās paketes, kas adresētas stacijām citos vadu segmentos. Tai pat laikā dati, kuri šajā segmentā lokāli ir jānodod starp stacijām Aud320-1, Aud320-2, Aud320-3 un Aud320-4, netiek pārsūtīti uz radio-ēteru. Tas ļauj nenoslogot bezvadu linku un nodot datus vadu Ethernet segmenta robežās ar daudz lielāku ātrumu kā tas, kādu uztur radio savienojums.

Kad sadales sistēmā ir liels skaits piekļuves punktu, tas var negatīvi atsaukties uz datu pārraides ātrumu. Tā kā izejošais pieejas punkts izsūta katru saņemto apraides vēstījumu individuāli visām tīkla sastāvdaļām, tad, jo vairāk ir tādu paziņojumu, jo lēnāk strādā tīkls. Tādējādi, izmantojot vairāk kā 3-4 pieejas punktus EES sastāvā, ir nepieciešams pārdomāt tīkla topoloģiju. Turklāt, ir jāņem vērā, ka daži nelieli lokālā tīkla segmenti bieži dod daudz lielāku produktivitāti, ja iekārtas sadala grupās tā, lai trafīks segmenta iekšpusē būtiski pārsniegtu datu apmaiņu starp segmentiem.

Tiltam ir jābūt ar pietiekamu bufera apjomu, lai strādātu sastrēguma pieprasījumu iespējamības apstākļos, kad īsa laika sprīdī kadri ienāk ātrāk, nekā tiek pārraidīti.

Darbam ar adresēm un maršrutiem tilts tiek aprīkots ar maršrutēšanas līdzekli, kas ievēro tīklu apvienošanas topoloģiju. Retranslācijas tilta pieejas punktam, pieņemot kadru, ir jāizlemj, nodot to tālāk vai nē, un ja nodot, tad kuram mezglam.

A032 realizē visvienkāršāko fiksētās maršrutēšanas algoritmu bez cikla atrisē. Šī metode ir piemērota nelieliem tīklu apvienojumiem. Pēc manuālas partneru noteikšanas tilta savienojumā visiem pieejas punktiem, katram tiltam tīkla funkcionēšanas procesā dinamiski veidojas maršrutu tabula. Katrai iespējamajai mērķa MAC-adresei tabula parāda, uz kuru nākamo mezglu tiltam kadrs ir jānosūta.

Nokia A032 blakus bezvadu tilta funkcijai var strādāt arī kā bezvadu atkārtotāji (wireless repeaters), palielinot tīkla radio-pārklājuma tālumu. TCIS tīklā kā radiosignāla atkārtotājs kalpo pieejas punkti R2, R5 un R6 (turklāt R2 un R6 vienlaikus izpilda tilta un atkārtotāja funkcijas). Piemēram, ja notiek paketes pārraide no darba stacijas Aud320 uz staciju Aud309, tad to vispirms sūta tilts R1 ar atkārtotāju R2, pēc tam R2 pārsūta to uz R5 un pēc tam pakete tiek nodota uz atkārtotāju R6, kurš savukārt nosūta to uz tiltu R7, kas savienots ar darba staciju Aud309.

Pieslēdzot klienta bezvadu staciju pieejas punktam, tas kalpo kā atkārtotājs datu nodošanā starp klientiem un citiem ESS infrastruktūras komponentiem.

Ir nepieciešams atzīmēt, ka, jo vairāk atkārtotāju tiek izmantoti, jo būtiskāk krītas pārraidīšanas ātrums. Saskaņā ar Nokia ieteikumiem:

pārraides ātruma samazināšanās = linka caurlaidības spēja / (atkārtotāju skaits + 1), t.i., pie viena atkārtotāja ātrums samazinās uz pusi, pie diviem – 3 reizes. Ir jāatzīmē, ka tāda pieeja WDS produktivitātes novērtēšanā ir patiesa tikai tajos gadījumos, kad bezvadu savienojumu caurlaidības spēja starp atkārtotājiem ir aptuveni līdzīga. (TCIS tīkla caurlaidības spējas detalizēts aprēķins dots 3.nodaļā)

2.3. Lokālā tīkla mezglu konfigurācija

Nokia A032 programmu aprīkojums piedāvā ērtu pieeju pie vairuma uzstādījumu, izmantojot standarta pārlūkprogrammu jebkurā klienta stacijā (vadu vai bezvadu). Paplašināta konfigurācija ir pieejama caur komandu rindas interfeisu, pieslēdzoties pieejas punktam caur secīgo pieslēgumvietu vai savienojoties ar Telnet protokola palīdzību.

2.3.1. Konfigurācijas parametri

2.2. tabulā ir norādīti WLAN iekārtu (pieejas punktu un darba staciju) konfigurācijas parametri, kuru iestatīšana ir nepieciešama, lai izveidotu lokālo tīklu.

2.7.tabula

WLAN pamatparametri

Parametrs	Nozīme (TCIS tīklam)	Paskaidrojumi
Regulatory Domain	ETSI	Reģiona (valsts) izvēle, kurā tiek izveidots bezvadu tīkls
Radio Channel	1	Frekvences kanāla uzstādīšana
Network Name	TCISx (x=1...7 – pieejas punkta numurs)	Identifikators BSS (BSSID)
IP Address	192.168.0.1- 192.168.0.254	Iekārtas IP adrese apakštīklā
IP Subnet Mask	255.255.255.0	Apakštīkla IP maska, pie kura ir pieslēgta stacija
IP Gateway	192.168.0.206	Apakštīkla slūžu adrese, kuras ved uz iekšējo tīklu

2.3. tabulā ir aprakstīti paplašinātās konfigurācijas opciju parametri, kas palīdz optimizēt WLAN produktivitāti.

2.8.tabula

802.11 bezvadu savienojuma optimizācijas parametri

Parametrs	Nozīme (Nokia default)	Skaidrojumi
RTS Threshold	2301 bytes	Nosaka sliekšņa vērtību, lai noteiktu, vai ir vajadzīga RTS/CTS kadru apmaiņa konkrētajam datu kadram. Ja šī MAC (MSDU – MAC Service Data Unit) servisa datu modulim, kas iegūts no augstākiem protokolu steka līmeņiem, ir lielāks izmērs kā RTS Threshold, tad ir nepieciešama RTS/CTS pārraides vides rezervēšanai. Pēc noklusēšanas šī vērtība netiek uzrādīta, t.i. neatkarīgi no MSDU izmēriem netiek noteikta RTS/CTS apmaiņa. Kad RTS/CTS kadru apmaiņa ir ieslēgta, tad kadru nodošanā ir papildus pieskaitāmie izdevumi. Lai arī RTS/CTS apmaiņa uzlabo datu pārraides drošumu, kanāla rezervēšanas laiks datu kadra pārraidei var pieaugt.
Short Retry Limit	15	Šis parametrs uzrāda maksimālo pārraides mēģinājumu skaitu līdz kamēr kadrs tiks atmests atpakaļ. Šo ierobežojumu var pielietot datu kadriem, kuru MSDU izmērs ir mazāks vai vienāds ar RTS Threshold (t.i. kadrs, kuram nav vajadzīga RTS/CTS apmaiņa). Pēc noklusēšanas IEEE 802.11 šī vērtība ir uzstādīta uz 7 mēģinājumiem.
Long Retry Limit	15	Šis parametrs izpilda to pašu funkciju, ko iepriekšējais, bet tiek pielietots datu kadriem, kuru MSDU izmērs ir lielāks kā RTS Threshold (kadrs, kuram ir vajadzīga RTS/CTS apmaiņa). Pēc noklusēšanas 802.11 ir 4 mēģinājumi.
SIFS Time	0 (10 μs)	Starpkadru atstarpes garuma uzstādīšana (SIFS – Short InterFrame Spacing). Šim rādītājam ar 802.11-savienojamiem WLAN ir jābūt standarta (10 μs).
Fragmentation Threshold	2346 bytes	Uzstāda sliekšņa vērtību lēmuma pieņemšanai par MSDU fragmentācijas nepieciešamību pirms nodošanas, kas saņemts no augstāka līmeņa. Kadri, kuru izmērs ir lielāks kā Fragmentation Threshold, tiek nodoti pa daļām. Fragmentu skaits tiek izrēķināts, izejot no MSDU izmēra un fragmentācijas sliekšņa. Saņēmējstacija saņems šos fragmentus un glabās tos savākšanas buferī, kamēr visi fragmenti tiks saņemti. Pēc noklusēšanas fragmentācija ir atslēgta (2346 bytes – maksimāli pieļaujamais MPDU izmērs). Liela izmēra pakešu fragmentācijas izmantošana palielina datu apmaiņas drošumu starp stacijām. Tā kā katrs datu fragments prasa apstiprināšanu, tad kadru skaits, kas piedalās apmaiņā ir lielāks, kā bez fragmentācijas. Tādējādi, zemas Fragmentation Threshold vērtības var palielināt

		lietderīgo caurlaides spēju sliktos radio signāla izplatības apstākļos, taču tās samazina lietderīgo caurlaides spēju stabilu sakaru apstākļos.
--	--	---

2.3.2. Statistiskie parametri

A032 ir detalizēta atskaite tīkla aktivitātes statistikā, kas tiek savākta gan radio-interfeisā, gan arī 10BaseT Ethernet-interfeisā. Uz šo datu pamata ir iespējams novērtēt lokālā tīkla sadales sistēmas produktivitāti.

Statistikas tabulās ir norādīti periodi sekundēs, kuru laikā tika ievākti dati (tas ir nepieciešams, lai izrēķinātu vidējās vērtības) un skaitītāju noņemšanas laiks (tas parasti ir atkārtotas stacijas ielādēšanas moments, kaut gan ir arī paredzēta noņemšana manuāli).

Uzskaitīsim dažus statistikas parametrus, kuri tiek izmantoti tīkla darba novērtēšanai.

Ethernet-interfeisa A032 statistiskie rādītāji uzskaitīti 2.4. tabulā.

2.9.tabula

Ethernet-savienojuma statistika

Parametrs	Paskaidrojumi
Frames Transmitted	Kadru skaits, kurus pārsūtījis Ethernet LAN pieejas punkts.
Bytes Transmitted	Baitu skaits pārsūtītajos kadros
Total Frames Seen	Ethernet LAN nodoto kadru skaits, kurus redz pieejas punkts
Frames Accepted	Kadru skaits, kurus pieejas punkts ir saņēmis no Ethernet LAN
Data Bytes Rcvd	Baitu skaits saņemtajos kadros

2.5. tabulā rādīti bezvadu savienojuma A032 rādītāji.

2.10.tabula

WLAN-savienojumu statistika

Parametrs	Paskaidrojumi
Frames Transmitted	Nosūtīto datu kadru un administratīvo kadru skaits
Bytes Transmitted	Nosūtīto datu baitu skaits
Frames Received	Saņemto datu kadru un administratīvo kadru skaits
Data Frames Rcvd	Datu kadru skaits, kuri saņemti pa radio-savienojumu
Data Bytes Rcvd	Saņemto datu kadru baitu skaits

Ir svarīgi atzīmēt, ka norādītā statistika tiek savākta starp A032 procesoru PCMCIA radiokarti. Ja radiokarte saņem kadrus ar CRC kļūdām, tad tie tiks ietverti MIB (Management Information Base), taču tie netiks nodoti apstrādei galvenajā modulī A032.

2.11. tabula atspoguļo informāciju no MIB saskaņā ar IEEE 802.11 standarta specifikāciju.

2.12.tabula

Radiokartes statistika

Parametrs	Paskaidrojumi
aTransmitted_MPDU_Count	MPDU (MAC Protocol Data Unit) skaits, kas nodoti radio-ēterā
aTransmitted_MSDU_Count	MSDU (MAC Service Data Unit) skaits, kas nodoti radio-ēterā
aMulticast_Transmitted_Frame_Count	Grupu paziņojumu skaits, kas nodoti radio-ēterā
aFailed_Count	Kadru skaits, kurus nav izdevies nodot, ieskaitot atkārtotus mēģinājumus, un tos, kuri tika atmesti
aRetry_Count	Kadru skaits, kas nodoti atkārtoti (viens mēģinājums)
aMultiple_Retry_Count	Gadījumi, kad ir bijuši nepieciešami vairākkārtēji mēģinājumi nodot kadru
aFrame_Duplicate_Count	Saņemto (un atmesto) dublējošo kadru skaits
aRTS_Success_Count	CTS skaits, kas saņemti atbildē uz RTS
aRTS_Failure_Count	RTS skaits, kas nav saņēmuši atbildi
aACK_Failure_Count	Reižu skaits, kad atbildot uz pārraidi apstiprinājums (ACK) netika saņemts
aReceived_Frame_Count	Saņemto kadru skaits
aMulticast_Received_Count	Saņemto grupas paziņojumu skaits
aFCS_Error_Count	Kadru skaits, kas saņemti ar kontroles summas kļūdām

2.3.3. TCP/IP uzstādījumi un slūžu ieregulēšana

TCIS lokālais tīkls savieno 8 stacionāras darba stacijas, kas ir sadalītas 5 segmentos, savā starpā un ar ārējo tīklu, kas sniedz pieeju Web un FTP pakalpojumiem. Bez tam pie

jebkura TCIS sadales sistēmas mezgla ir atļauts atvērts pieslēgums līdz 32 mobilām stacijām, kas atbilst IEEE 802.11 specifikācijai.

TCIS apakštīkla adrešu telpa maksimāli uztur 254 mezglus (IP maska - 255.255.255.0). IP adrešu izplatība starp iekārtām ir izveidota sekojošā kārtībā (sk. shēmu 11.pielikumā). Adreses 192.168.0.1-192.168.0.10 ir iedalītas darba stacijām, kas ietilpst Fast Ethernet segmentā uz Eusso USH5008-XL komutatora bāzes, kam nav nepieciešams norādīt individuālu IP adresi (komutatora un staciju mijiedarbība notiek MAC līmenī). Pārējām stacionārajām darba stacijām (pa vienai uz auditoriju) IP adreses tiek iedalītas pēc likuma: 192.168.0.1xx, kur xx ir divi pēdējie cipari auditorijas numurā (piemēram, stacijas Aud309 adrese ir 192.168.0.109). Pieejas punktiem tiek iedalītas adreses 192.168.0.20y, kur y ir pieejas punkta numurs (piemēram, R1 IP adrese ir 192.168.0.201). Mobilās stacijas var iegūt adreses, kuras nav aizņēmušas stacionārās iekārtas (vislabāk diapazonā no 192.168.0.210-192.168.0.254).

Nokia A032 slūžas (ar iekšējo IP adresi 192.168.0.206) nodrošina iekšējā apakštīkla drošību, novēršot nevēlamu piekļūšanu pie tā resursiem no Interneta. Šiem mērķiem kalpo tīkla ekrāns(Firewall) ar NAT (Network Address Translation) adrešu translāciju, kas pārveido visas IP adreses iekšējā lokālajā tīklā vienā IP adresē Internet lietošanai. Lietotāji no tīkla ekrāna ārpusē neredz reālo lokālā tīkla IP adresi Tādējādi, slūžas pārsūta pieprasījumus no vietējā apakštīkla uz ārējo adresi Internetā, un pārsūt jebkurus tiešas piekļuves mēģinājumus no ārējā tīkla uz iekšējo.

Gadījumā, ja lokālajam tīklam ir statistiska iekšējā IP-adrese, ir iespējama lietotāju piekļuves organizācija no ārējā tīkla iekšējā tīkla resursiem, piemēram, FTP un Web-serverim. Šim nolūkam uz slūžām tiek uzstādīti NAT holes katram atsevišķam tīkla darbam, kas nosaka maršrutu caur tīkla ekrānu pie konkrētās LAN ierīces.

TCIS apakšstacijas slūžas ir savienotas ar reālo IP adrešu ārējo tīklu caur 10BaseT Ethernet interfeisu. NAT tīkla ekrāna ārējās puses konfigurācija:

External IP address	159.148.161.2
External DNS IP address	159.148.108.1
External Gateway	159.148.161.30
External Subnet Mask	255.255.255.224.

FTP serverim Popovs ir tieša izeja ārējā tīklā (viņam ir piešķirta reāla IP adrese - 159.148.161.15). Pieeja servera resursiem no iekšējā tīkla tiek realizēta caur R6 slūžām un Eusso USH5005-XPB komutatoru.

3. NODAĻA

LOKĀLĀ TĪKLA AR WDS EKSPERIMENTĀLO PĒTĪJUMI

LOKĀLĀ TĪKLA AR WDS EKSPERIMENTĀLO PĒTĪJUMI

Pie galvenajiem šī pētījuma uzdevumiem attiecas:

- savienojumu caurlaidības spēju noteikšana starp lokālā tīkla darba stacijām;
- bezvadu kanāla raksturojumu ietekmes izpēte uz datu pārraidi caur šo kanālu;
- TCP trafika mērīšana, kurš tiek nodots starp pieejas punktiem;
- datu pārraides ātruma samazinājuma aprēķins, atkarībā no signāla atkārtotājiem WDS;
- tīkla kopējās caurlaides spējas sadalījuma novērtējums starp darba stacijām;
- teritorijas radiopārklājuma novērtēšana.

3.1. Bezvadu linku lietderīgās caurlaides spējas novērtēšana

Šajā etapā tiek veikta atsevišķi ņemta savienojuma datu pārraides ātruma novērtēšana starp divām darba stacijām, kas pieslēgtas TCIS tīklam, citu staciju tīkla aktivitātes pilnīgas neesamības apstākļos.

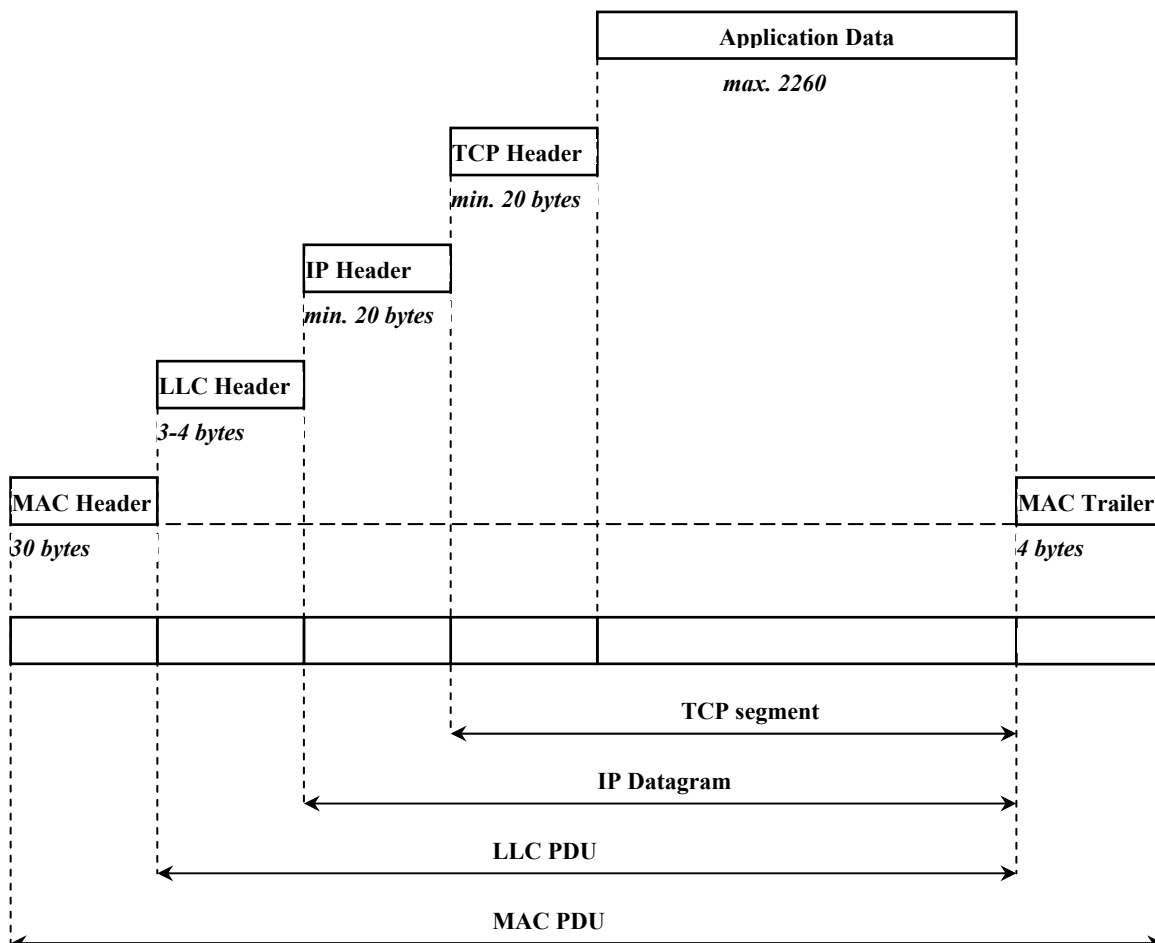
Lai izmērītu caurlaides spēju tika izvēlēta tipisks resursu-ietilpīgs uzdevums – failu nodošana pa FTP (File Transfer Protocol) protokolu. Turklāt uz darba stacijas, kura ir datu avots, tika uzstādīts FTP-serveris, bet uz otras stacijas – klienta programma (fail-menedžeris), kas realizē pieeju FTP darbam. Eksperimenta gaitā pa savienojumu tika nodots arhīva fails ar izmēru 21.4 Mbytes. Šo izvēli noteica nepieciešamība nodrošināt vienveidīgu trafika raksturu visa eksperimenta laikā. Datu pārraides ātrums tika vērtēts, pamatojoties uz vidējiem FTP-servera monitoringa utilīta rādītājiem. Tāpat tika ņemts vērā faila-menedžera pārraides momentālā ātruma indikācija, kurai atradās mediānas vērtība. Tālāk no šiem diviem lielumiem tika ņemts mazākais. (Vairumā gadījumu rādījumi sakrita, kas apstiprina mērījumu precizitāti.)

FTP bāzējas uz loģiskā savienojuma uzstādīšanas darba, kuru piedāvā TCP protokols TCP (Transmission Control Protocol). Kad tīkla lietotājs pieprasa faila pārraidi, FTP protokols izveido TCP savienojumu ar mērķa sistēmu vadības ziņojumu apmaiņai. Tas ļauj nodot identifikatoru un paroli, kas nepieciešami lietotāja autentifikācijai, kā arī ļauj norādīt vajadzīgo failu un nepieciešamās darbības. Pēc piekrišanas saņemšanas par faila pārraidi tiek izveidots otrs TCP savienojums datu pārraides izpildīšanai. Fails tiek nodots caur izveidoto savienojumu, pie tam tajā neieslēdzas nekādas „piekares” galvenes veidā vai citas vadošās informācijas veidā pielikumu līmenī. Pēc pārraides beigām tiek izveidots kontrollsavienojums, lai paziņotu par pārraides beigām un gatavību saņemt jaunas failu pārraides komandas.

TCP pārraides vadības protokols sniedz drošas tiešas datu pārraides pakalpojumu, tai pat laikā slēpjot no pielikuma līmeņa datus par tīklu, uz kura ir izveidots savienojums. TCP mehānismi segmentē FTP datu plūsmu, pievienojot datu blokiem galvenes, kas nepieciešamas atkārtotai savienojuma radīšanai un vadībai, un nodot to uz tīkla līmeni, kur katram segmentam arī tiek pievienota IP (Internet Protocol) galvene, kas nepieciešama pakešu adresācijai un maršrutēšanai.

Deitagramma IP pārraidei pa tīklu iekapsulējas kanāla līmeņa protokolu (PDU) datu moduļos, no sākuma veidojot LLC (Logical Link Control) PDU, bet pēc tam arī MAC kadru.

FTP datu bloku secīga iekapsulācijas procedūra ir parādīta 3.1. attēlā. Ir jāatzīmē, kā kopējais TCP un IP galveņu vadošās informācijas apjoms sastāda k minimums 40 baitus. Turklāt pārraidei pa 802.11 standarta tīkliem tīkla arhitektūras zemākajos līmeņos tiem pievienojas vēl 31-38 PDU vadības baitu.



3.1.attēls FTP datu bloka iekapsulēšanās MAC 802.11 kadrā.

Datu pārraides intensitāte pieejas līmenī videi (MAC bit rate) nosaka tīkla savienojuma caurlaides spēju. Tai pat laikā lietderīgā caurlaides spēja ņem vērā tikai tiros

datu, bez „piekarēm”, kas tiek nodotas pielikumu līmenī. Tieši šis lielums indicējams vairumā programmu, kas sniedz FTP pakalpojumus, un rāda maksimāli iespējamo lietotāju datu pārraides ātrumu savienojumā.

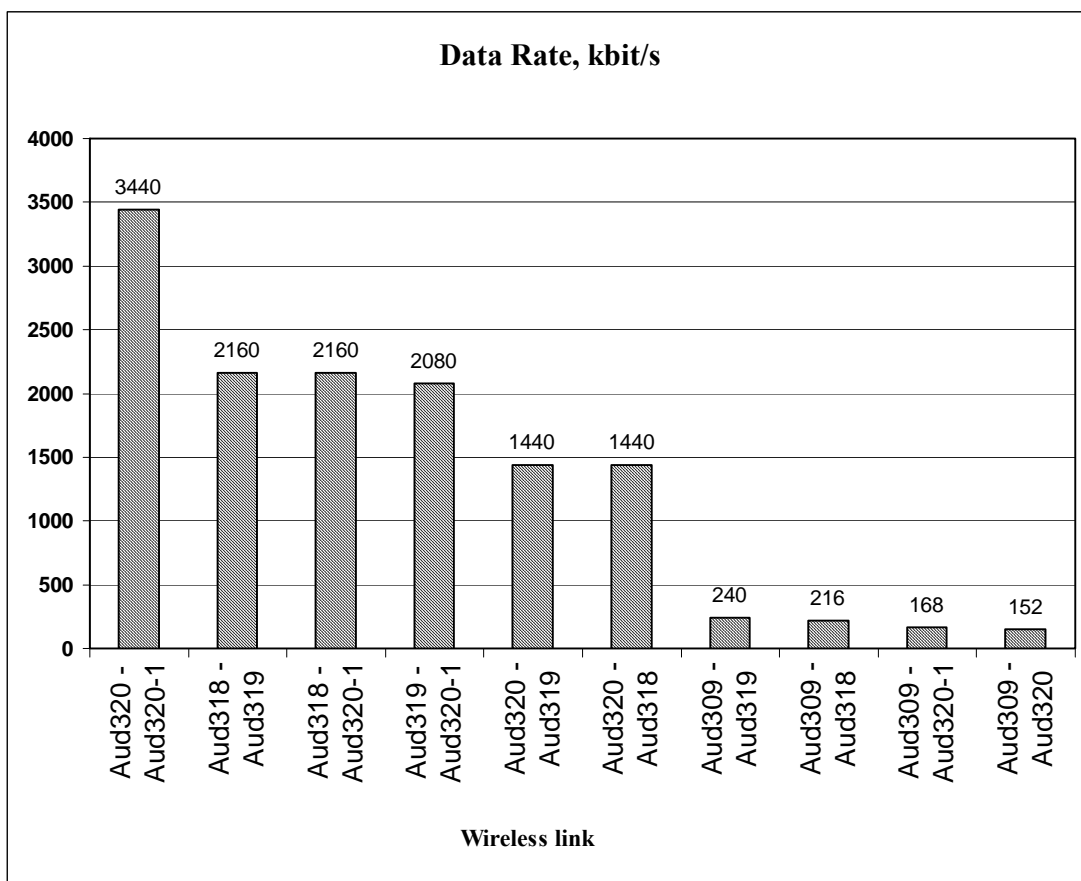
3.1.tabulā ir sniegts lietderīgās caurlaides spējas novērtējums savienojumiem starp tīkla TCIS darba stacijām pie apstākļiem, kad nav svešas slodzes uz sadales sistēmu. FTP-apmaiņas ātrums starp stacijām tika mērīts atsevišķi abos pārraides virzienos. Turklāt tika novērots, ka viena fiziskā savienojuma lietderīgā caurlaides spēja dažādiem virzieniem bija aptuveni vienāda.

3.1.tabula

TCIS savienojumu lietderīgā caurlaides spēja

Link	Data Rate, kbit/s
Aud320 - Aud320-1	3440
Aud318 - Aud319	2160
Aud318 - Aud320-1	2160
Aud319 - Aud320-1	2080
Aud320 - Aud319	1440
Aud320 - Aud318	1440
Aud309 - Aud319	240
Aud309 - Aud318	216
Aud309 - Aud320-1	168
Aud309 - Aud320	152

3.2. attēls salīdzina dažādu savienojumu caurlaides spējas, ļaujot noteikt tīkla infrastruktūras vājos posmus.



3.2.attēls TCIS savienojumu caurlaides spēju salīdzinājums

Lai izanalizētu iegūtos rezultātus, tika mērīta bezvadu vides lietderīgā caurlaides spēja ideālos apstākļos. Raidītājs un uztvērējs atradās tiešā tuvumā viens pie otra, tā, lai būtu maksimāls uztvertā signāla līmenis. Nosūtītāja un saņēmēja iekārtas darbības zonā nefunkcionēja citi radiosignāla raidītāji 2.4 GHz diapazonā. Mēģinājums parādīja, ka datu apmaiņa starp aparāturu ar 802.11b-savienojamām Nokia C110/C111 radiokartēm var notikt ar maksimālo ātrumu 540 kbytes/s (4320 kbit/s). Turklāt saskaņā ar tehnisko specifikāciju ir iespējama MPDU pārraide ar ātrumiem 1, 2, 5.5 un 11 Mbit/s. (Faktiski fiziskā caurlaides spēja ir mazāka, kā norādīts standartos, jo starp MPDU pārraidi notiek kā minimums PLCP preambulas un galvenes ģenerēšanas intervāls – 192 μs - un SIFS laiks - 10 μs (sk. 1.nodaļu).)

Kā redzams 3.1.attēlā, neviens savienojums nenodrošina maksimālu lietderīgo caurlaides spēju. Bezvadu linku caurlaides spējas pazemināšanās iemesli tiks apskatīti vēlāk. Tomēr ir jāatzīmē, ka faktors, kas visvairāk ietekmē maksimāli iespējamo pārraides ātrumu, ir signāla līmenis uztveršanas punktā. To apstiprina savienojumu novērtējumi, kuri notiek caur bezvadu kanālu ar vislielāko ilgumu – R5-R6. 3.2.tabulā tiek uzrādīts aptuvenais novērtējums

uztveramai signāla relatīvajai kvalitātei pieejas punktu ieejā, kas veido WDS TCIS tīklā. Kā redzams tabulā, signāla uztveres kvalitāte vissliktākā ir linkam R5-R6.

3.2.tabula

A032 līdzekļu uztvertā signāla kvalitātes novērtējums

<i>Link</i>	R1-R2	R2-R5	R3-R5	R4-R5	R5-R6	R6-R7
<i>Qual</i>	80%	30%	40%	90%	10%	90%

Izskatīsim problēmu tuvāk par signāla izplatīšanās apstākļu ietekmi uz bezvadu savienojuma caurlaides spēju. Šiem mērķiem tika izmērīti statistiskie MIB parametri (sk. 2.nodaļu) pieejas punktos trīs savienojumu variantos: R5-R2, R5-R3 un R5-R6. Turklāt, laikā kad strādāja viens no šiem savienojumiem, pārējās WLAN iekārtas nedarbojās.

Datus, kas nonāca tīklā, ģenerēja FTP serveris, kas bija pieslēgts vienam no trijiem pieejas punktiem - R2, R3 vai R6 – caur Ethernet interfeisu, kam bija caurlaides spēja 10 Mbit/s katrā virzienā. Klienta stacija tika pieslēgta pie uztveres pieejas punkta R5 pa vadu kanālu. Statistiskie dati tika nodoti uz staciju-avotu un mērķa terminālu pa Ethernet – savienojumu, tādējādi, neiejaucoties informācijas pārraidē pa bezvadu kanālu.

Pirmkārt fiziskā savienojuma reālās produktivitātes noteikšanai ir nepieciešams izanalizēt ejošo pa viņu trafiku. Šajā mēģinājumā, tāpat kā iepriekšējā gadījumā, lai saņemtu FTP protokola statistiku, tika pārraidīts fails ar izmēru 21.4 Mbytes. Kā tika paredzēts, šo apjomu TCP protokols sadalīs aptuveni vienādos datu blokos, jo staciju savienojuma parametri eksperimenta procesā netika mainīti. Iekapsulēšana MAC kadrā pārraidei Ethernet vidē uzliek ierobežojumu MSDU izmēram (vai LLC PDU – 3.1.att.) - 1500 bytes (salīdzinājumam – 802.11 kadsr pieļauj MSDU uz 2304 bytes), kas atbilst 1456-baitu datu blokam, atskaitot TCP, IP un LLC galvenes. Nodrošanas pieejas punktā Ethernet MAC noslēgums tika noņemti un pie MSDU tika pievienota 802.11 galvene un noslēgums.

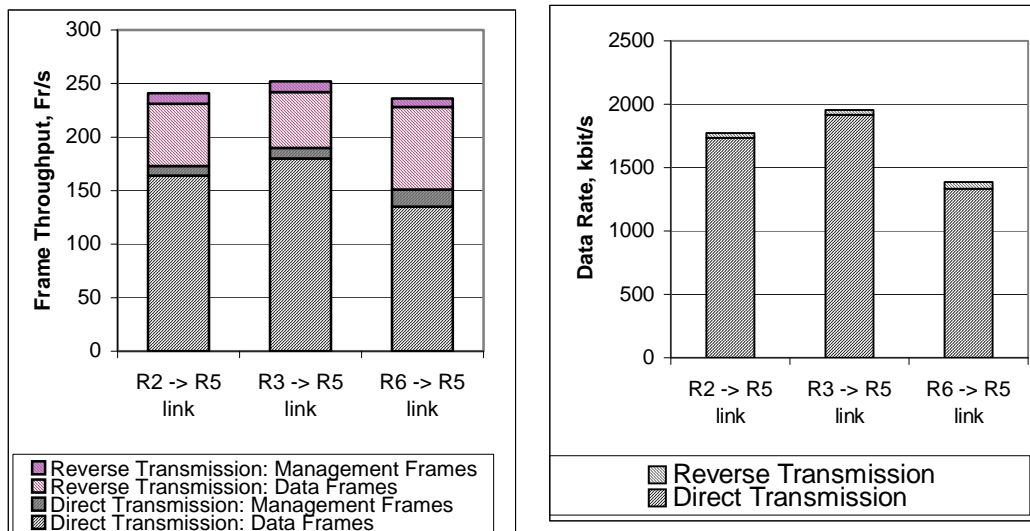
Organizējot TCP pieslēgumu pa bezvadu kanālu, saņemto datu apstiprināšana notiek vairākos tīkla arhitektūras līmeņos. Pirmkārt, 802.11 datu drošas piegādes mehānisms paredz ACK vadības kadra nosūtīšanu (sk. 1.nodaļu), atbildot uz katra datu kadra saņemšanu, kas arī ieiet kopējā katra TCP-segmenta piegādes laikā. Otrkārt, laiku pa laikam TCP protokols sūta kopējus apstiprinājumus, kas veidojas augšējos līmeņos, un kas informē avota-staciju par to, ka mērķa stacija ir veiksmīgi saņēmusi noteiktu datu secību. Tādējādi, bezvadu kanāla caurlaides spēju ar pa to pārraidāmo TCP-trafiku ir jāaprēķina, ņemot vērā datu plūsmā esošos

sekojošus papildus izdevumus: TCP, IP, LLC un MAC galvenes gan lietotāja datu kadriem, gan arī TCP apstiprinājumiem, kas tiek nosūtīti atpakaļejošā virzienā (atšķirībā no Ethernet WLAN strādā Half Duplex režīmā); ACK 802.11 kadrus datu pārraides laikā abos virzienos. 3.3. tabulā un 3.2. attēlā ir doti apstrādāti statistiskie lielumi no MIB pieejas punktiem, kas piedalās datu apmaiņā FTP protokolā.

3.3.tabula

Bezvadu interfeisu statistika datu pārraidē R2→R5, R3→R5, R6→R5

		R2 ->R5 link	R3 ->R5 link	R6 ->R5 link	R5 ->R2 back-link	R5 ->R3 back-link	R5 ->R6 back-link
Receiver statistics	Data & Management Frame Rate, Fr/s	164	180	135	58	52	77
	Data Frame Rate, Fr/s	155	170	119	48	42	69
	Data Bitrate, kbit/s	1736	1920	1336	38	35	50
	aFCS_Error_Count, % of all received frames	0.035	0.023	85.39	1.374	0	77.62
	aFrame_Duplicate_Count, % of all received frames	0	0	0.147	0	0	0.143
Transmitter statistics	aRetry_Count, % of all sent frames	0.014	0.011	47.2	3.775	2.306	49.48
	aMultiple_Retry_Count, % of all resent frames	2.632	2.162	100	100	100	100
	aACK_Failure_Count, of all sent frames %	1.408	1.137	91.24	4.665	3.388	85.6



3.3.attēls Bezvadu linku R2-R5, R3-R5, R6-R5 caurlaides spēja

Izejot no saņemtajām statistiskajām vērtībām, var secināt, ka katra piegādes drošums ir atkarīgs no attāluma starp raidītāju un uztvērēju, kā arī no radioviļņu izplatības apstākļiem. Piemēram, R5-R6 kanāls atrodas gara un šaura koridora telpā, kur ir spēcīgi izteikta signāla pavājināšanās sakarā ar viļņu daudzstaru atstarošanos no sienām, grīdas un griestiem. Saskaņā ar 3.2. tabulu saņemamā signāla kvalitāte starp pieejas punktiem R5 un R6 nav lielāka par 10%, kas arī izskaidro lielo kļūdu skaitu: pārraidīšanas procesā ir sabojāti 85% kadru, tai pat laikā, kad citiem savienojumiem šis rādītājs nepārsniedz 1.4%. Pusei no visiem nosūtamajiem pa bezvadu kanālu kadriem bija jābūt pārsūtītiem atkārtoti, pie kam 100% gadījumu bija nepieciešams vairāk kā viens mēģinājums. 90% kadriem netika nofiksēta apstiprinājuma katra saņemšana (ACK), ko varēja radīt 2 faktori: nosūtāmais kadrs vispār netika saņemts, vai arī tas tika saņemts ar kļūdām; ACK no saņēmēja nosūtītājs nevarēja noteikt. Augstāk minētie faktori pierāda, ka lietderīgās caurlaides spējas pazemināšanās ir saistīta ar vāju signāla līmeni saņēmējgalā. Šī tīkla posma optimizācija ir apgrūtināta sakarā ar aparatūras montāžas ierobežojumiem koridora rajonā, tāpēc signāla jaudas pastiprināšanai ir iespējams izmantot tikai aktīvās virzītā tipa antenas. Noteiksim maksimāli iespējamo fizisko caurlaides spēju Nokia C110/C111 radiokaršu bezvadu interfeisam. Priekš tā mēs novērtēsim vidējo lietotāja datu MAC-kadra un tā apstiprinājuma TCP līmenī garumu 21.4 Mbytes faila pārraides procesā FTP protokolā starp pieejas punktiem (3.4.tabula).

3.4.tabula

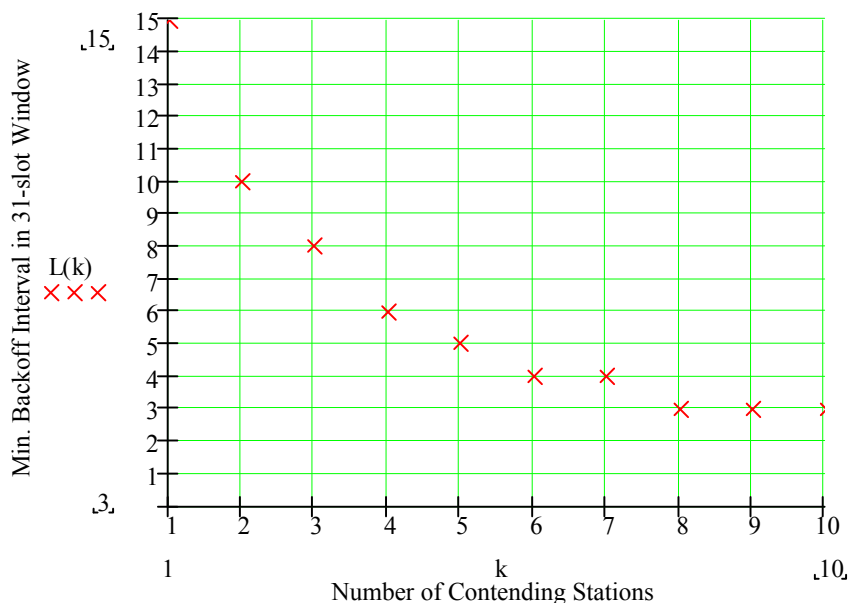
Kadru, kas ietver TCP segmentus, vidēja garuma novērtējums

		Data Frame Rate, Fr/s	Data Rate		Bytes per Frame (MPDU Size)
			Kbit/s	bytes/s	
TCP Data	R2 -> R5 link	155	1736	222208	1434
	R3 -> R5 link	170	1920	245760	1446
	R6 -> R5 link	119	1336	171008	1437
<i>Average:</i>					1439
TCP Ack.	R5 -> R2 link	48	38	4864	101
	R5 -> R3 link	42	35	4480	107
	R5 -> R6 link	69	50	6400	93
	<i>Average:</i>				100

TCP datu segmentam: MPDU ar izmēru 1439 bytes veido MPDU galveni un noslēdzēju (34 bytes), LLC PDU galveni (4 bytes), IP galveni (20 bytes), TCP galveni (20 bytes) un datu bloku, kas ir pārraidāmi ar ātrumu 540 kbytes/s. Zinot datu bloka izmēru – $1439-34-4-20-20 = 1361$ bytes, atrodam laiku, kurā notiks katra piegāde: $1361/(540 \cdot 1024) = 2461 \mu\text{s}$. Blakus paša MPDU ilgumam, šis laiks iekļauj: PLCP preambulas un galvenes ilgumu (24 bytes - 192 μs), SIFS (10 μs) un DIFS (50 μs) intervālus, ACK ar savu preambulu (14 bytes) un PLCP galvenes (192 μs) ilgumu, sacensības slotu skaitu, kas vienāds vidēji ar 15 (15·20 μs), ievērojot vienmērīgu slotu sadalījumu normāla izmēra logā (3.3.attēls) (sk. 1.nodaļu). (Aprēķinot sagaidāmo sacensības slotu skaitu, tiek uzskatīts, ka atpakaļejošajā virzienā sūtāmo datu kadru skaits ir niecīgi mazs.) Izplatības vidē laiks netiek ņemts vērā, jo tas ir $\leq 1 \mu\text{s}$. Atradīsim viena baita pārraides ilgumu:

$$T_{\text{byte}} = (2461-192 \cdot 2-10-50-14 \cdot T_{\text{byte}}-20 \cdot 15)/1439;$$

$$T_{\text{byte}} = (2461-192 \cdot 2-10-50-300)/1453 = 1.182 \mu\text{s}.$$



3.4.attēls Vidējā lieluma normāla izmēra sacensību logā pieejas aiztures videi atkarība no konkurējošo staciju skaita

TCP apstiprinājumam: MPDU vidējais izmērs ir 100 bytes, turklāt tas tiek pārraidīts $1.182 \cdot 100 + 192 \cdot 2 + 1.182 \cdot 14 + 10 + 50 + 20 \cdot 15 = 879$ μ s laikā kopā, kā iepriekšējā gadījumā, ar pavadošo PLCP preambulu un galveni, SIFS un DIFS intervāliem, ACK ar savu preambulu un PLCP galveni, un sacensību slotiem. Ņemot vērā, to, ka TCP apstiprinājumu apjoms aizņem aptuveni 2.5% no lietderīgās slodzes, iegūstam izteiksmi pieejas punkta A032 maksimāli iespējamajai fiziskai caurlaides spējai :

$$(1439 + 24 \cdot 2 + 14) / 0.002461 + 0.025 \cdot (100 + 24 \cdot 2 + 14) / 0.000879 = 600 \text{ kbytes/s} = 4800 \text{ kbit/s} = 4.7 \text{ Mbit/s}.$$

Datu pārraides gadījumā starp divām 802.11b-savienojamām darba stacijām MPDU izmēru var palielināt līdz 2346 bytes. Turklāt pieaug caurlaides spējas izmantošanas efektivitāte, jo samazinās vadošās informācijas kopējais apjoms, kas pavada lietotāja datus. Izskaitļosim fiziskās un lietderīgās caurlaides spējas paaugstināšanos bezvadu FTP-savienojumam maksimāla izmēra 802.11 MAC kadru pārraidē:

$$(2346 + 24 \cdot 2 + 14) / (1.182 \cdot 2346 + 192 \cdot 2 + 1.182 \cdot 14 + 10 + 50 + 20 \cdot 15) \cdot 10^{-6} + 0.025 \cdot (100 + 24 \cdot 2 + 14) / 0.000879 = 670 \text{ kbytes/s} = 5360 \text{ kbit/s} = 5.2 \text{ Mbit/s} - \text{fiziskā caurlaides spēja};$$

$$(2304 - 4 - 20 - 20) / (1.182 \cdot 2346 + 192 \cdot 2 + 1.182 \cdot 14 + 10 + 50 + 20 \cdot 15) \cdot 10^{-6} = 624.6 \text{ kbytes/s} - \text{lietderīgā caurlaides spēja}.$$

Izskaitļotais minimālais viena baita pārraides ilgums(1.182 μ s) atbilst plūsmas ātrumam $8/0.000001182 = 6768190 \text{ bit/s} = 6.5 \text{ Mbit/s}$. Šī vērtība ir būtiski mazāka par galējiem 11 Mbit/s, kas norādīti specifikācijas. Bez tam, reālas fiziskās caurlaides spējas maksimums sastāda 5.2 Mbit/s.

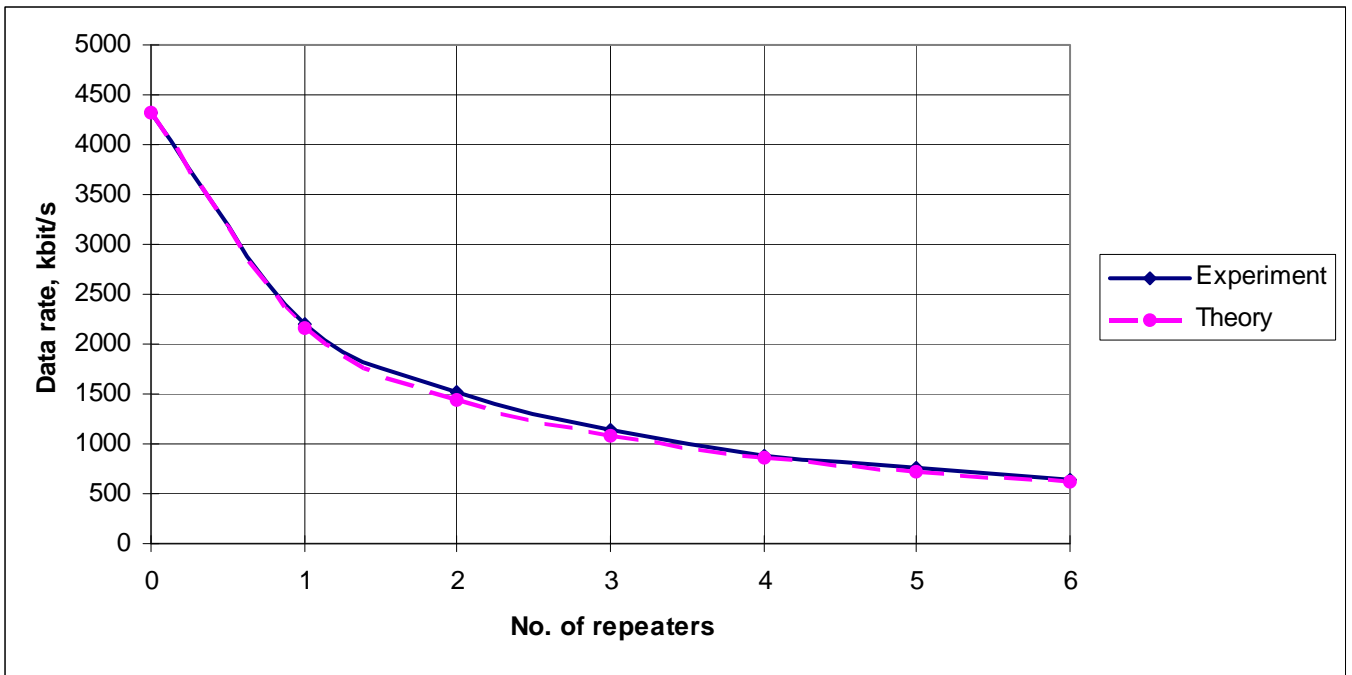
3.2. Radio-siņņāla atkārtotāju ietekme uz datu pārraides ātrumu

Pēc iekārtas nosacījumiem 802.11b tīkli var strādāt tikai Half Duplex režīmā. Tas nozīmē, ka katrā laika momentā kadru pārsūtīt var tikai viena bezvadu stacija (vai pieejas punkts). Tādā veidā, ja visu linku caurlaides spēja ir vienāda, tad ētera laiks vienādi sadalās starp raidītājstacijām. Atkārtotāju izmantošanas gadījumā katrs no tiem retranslē sākuma nosūtītāja datu straumi un caurlaides spēja dalās uz aktīvo raidītāju skaitu (sk. 2.nodaļu). Lai pierādītu šo apgalvojumu tika veikts eksperiments, kurā starp raidītāj- un saņēmējstaciju tika uzstādīti Nokia A032 atkārtotāji un tika mērīta lietderīgās caurlaides spējas samazināšanās salīdzinājumā ar maksimumu. Eksperimenta gaitā visas WLA iekārtas atradās viena otrai tuvumā un nodrošināja pārraidīšanu ar maksimāli iespējamo ātrumu. 3.5.tabulā un 3.4.attēlā tiek doti salīdzinošie aprēķina un eksperimenta dati.

3.5.tabula

Lietderīgās caurlaides spējas atkarība no atkārtotāju skaita

No. of Repeaters	Data Rate, kbit/s (Theoretical)	Data Rate, kbit/s (Experimental)
0	4320	4320
1	2160	2200
2	1440	1520
3	1080	1140
4	864	880
5	720	760
6	617	640



3.5.attēls Lietderīgās caurlaides spējas atkarība no atkārtotāju skaita

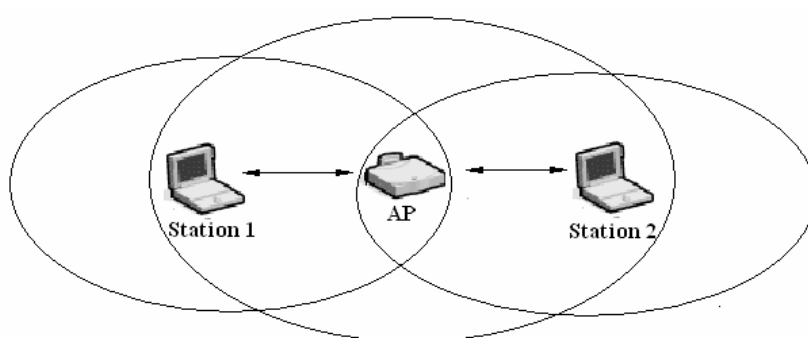
Kā redzams 3.5. attēlā teorētiskā un eksperimentālā līkne praktiski sakrīt, kas liecina par uzticamu CSMA/CA mehānisma darbību. Nelielās datu atšķirības, izmantojot 2-3 atkārtotājus, var izskaidrot ar vidējā sacensšanās pieejas pagarinājuma intervāla samazinājumu (3.3.attēls), pieaugot raidītājstaciju skaitam.

Galvenais secinājums, kas izriet no šī eksperimenta ir tas, ka, jo vairāk ir bezvadu ierīču, kas darbojas vienotā WLAN tīklā, jo sliktāka ir tā produktivitāte. Tāpēc atkārtotāju ieslēgšana tīklā nav vēlama. Ieteicams būtu izmantot virzītās antenas, kas noteiktā virzienā dod lielāku uztveramā signāla jaudu.

3.3. WDS caurlaides spējas sadalījums starp mezgliem pie pilnas tīkla slodzes

Saskaņā ar 3.1. tabulu visšaurākā vieta tīkla infrastruktūrā ir R5-R6 kanāls, kura savienojumiem, kas iet pa šo posmu, ir vismazākā caurlaides spēja. 3.4. tabula parāda, ka pārraides maksimālais ātrums pa šo savienojumu ideālos apstākļos sastāda 1336 kbit/s. Taču, lietderīgās caurlaides spējas mērījumi starp Aud309 vienā kanāla pusē un pārējām darba stacijām otrā pusē rāda daudz zemākus rezultātus. Viens no skaidrojumiem būtu tas, ka starp stacijām Aud309 un Aud318, Aud309 un Aud319, Aud309 un Aud320-1–Aud320-4 atrodas 2 atkārtotāji, bet starp Aud309 un Aud320 – 3 atkārtotāji, kas, protams, pazemina caurlaides spējau attiecīgi 3 (445 kbit/s) un 4 (334 kbit/s) reizes. Taču 3.4.tabulā dotās vērtības tik un tā ir zemākas. Tādu neatbilstību var radīt "slēptā termināla" problēmas ietekme, kas rada traucējumus CSMA/CA kolektīvās piekļuves mehānismam.

„Slēptā termināla” problēma ir parādīta 3.5.attēlā: divas bezvadu stacijas dzird pieejas punktu, bet tai pat laikā katra no tām atrodas ārpus otras stacijas radiopārklājuma zonas robežām. CSMA/CA mehānisma uzticama darbība ir iespējama tikai tad, ja katra stacija dzird pārējos mezglus: ja pārraida viena iekārta, citas saglabā klusēšanu. Lai 1.stacija 3.5.attēlā izpilda datu pārraidi uz pieejas punktu. Tāpat pārraidi plāno 2.stacija. Nosakot uz izejas nesošās antenas esamību, 2.stacija pieņem lēmumu sākt datu pārraidi bezvadu vidē. Ja ēterā nav pieejas punkta signāla, tad 2.stacija sūta tai kadrus. Pie pieejas punkta radiointerfeisa ieejas abu staciju signāli pārklājas viens uz otra, izraisot kolīziju. Tā rezultātā pieejas punkts nevar atpazīt pieņemamos datus un novērtē derīgo signālu kā troksni.



3.6.attēls „Slēptā termināla” problēmas ilustrācija

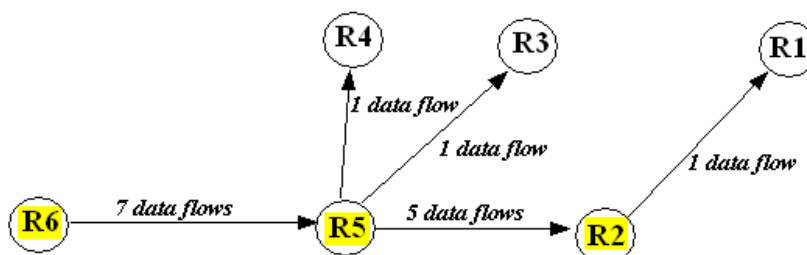
Lai atrisinātu „slēptā termināla” problēmu, tiek pielietota RTS/CTS kadru apmaiņa. Turklāt pirms pārraidīšanas sākšanas 1.stacija sūta pieejas punktam RTS pārvaldes kadru, kas paziņo par datu kadra ilgumu, kurš tiek gatavots nosūtīšanai. Pieejas punkts atbild ar CTS kadru, kuru dzird visas WLAN iekārtas pieejas punkta radiopārklājuma zonā un aizkavē

pieeju videi uz laiku, kas uzrādīts CTS. Tādējādi, 2.stacija gaidīs, kamēr 1.stacija pabeigs pārraidi.

TCIS tīklā (sk. shēmu) „slēptā termināla” problēma var parādīties, kad pieejas punkti R5 un R6 uztver signālus. Mezgli R2, R3 un R4 neredz R6, un tās pārraides var tikt pakļautas kolīzijām ar pārējo signāliem. R5 nedzird R7, tāpēc pie R6 ieejas var gadīties R5 un R7 signālu kolīzijas. Kolīzijas traucē gan kadru pārraidīšanai, tā arī to apstiprinājumu saņemšanai, divkārt palielinot iespējamību, ka būs nepieciešama atkārtota pārraidīšana.

Lai novērtētu tīkla lietderīgo caurlaides spēju tika veikts eksperiments, kurā visas darba stacijas vienlaicīgi lejupielādēja liela apjoma failu no FTP-servera ārējā R6 slūžu pusē. Aud309 stacija un R7 pieejas punkts, pie kura tā ir pieslēgta, eksperimentā nepiedalījās, lai samazinātu kolīziju iespējamību.

3.6. attēlā parādīta datu plūsmu pārraidīšanas pa tīklu shēma. Par ziņojumu avotu kalpo R6 slūžu radiointerfeiss. R5 un R2 pieejas punkti izpilda atkārtotāju funkcijas. Tādā veidā, ētera laiks sadalās starp R2, R5 un R6, taču nevis vienādos intervālos, kā iepriekšējā eksperimentā (3.5.attēls), bet proporcijās attiecībā uz bezvadu kanālu caurlaides spējām.



3.7.attēls Shēma datu plūsmu pārraidīšanai no ārējā tīkla

Mēģināsim novērtēt TCIS tīkla lietderīgo caurlaides spēju, ja nav kolīziju un nav kadru ar kļūdu pieņemšanas. Izskaitļosim laiku, kas nepieciešams viena kadra piegādei, kura izmērs ir vidēji 1439 bytes:

Priekš R6 – $1439/[1336 \cdot 1024/8] = 0.008415$ s, kur 1336 kbit/s ir R6-R5 savienojuma lietderīgā caurlaides spēja ;

Priekš R5 – $1439/[2006 \cdot 1024/8] = 0.005604$ s, kur 2006 kbit/s = $(5 \cdot 1736 + 1920 + 3340)/7$ ir R5 savienojuma ar R2, R3 un R4 vidējā lietderīgā caurlaides spēja;

Priekš R2 - $1439/[3440 \cdot 1024/8] = 0.003268$ s, kur 3440 kbit/s ir R5-R2 savienojuma lietderīgā caurlaides spēja.

Tā kā R2, R5 un R6 ir vienlīdzīga pieeja bezvadu videi, tad uzskatīsim, ka tās kadrus nodod pēc kārtas, pie kam R2 izmanto vidi tikai viena kadra pārraidīšanai no 7, kuri tiek piegādāti kopējā plūsmā pa R6-R5 kanālu. Tad iegūstam, ka kolektīvas R2, R5 un R6 pieejas gadījumā viena kadra ar izmēru 1439 bytes piegādāšanas laiks ir vienāds ar $0.008415+0.005604+0.003268/7 = 0.014486$ s. Pie tam tiek uzskatīts, ka R1, R3 un R4 aktivitāti ierobežo tikai apstiprinājumu nosūtīšana.

Tādējādi sanāk, ka TCIS tīkla kopējā caurlaides spēja, neņemot vērā kolīzijas un kadrus ar kļūdām, ir vienāda ar $1439 \cdot 8 / (0.014486 \cdot 1024) = 776$ kbit/s, t.i. 1.72 (nevis 3) reizes mazāka kā R6-R5 linka lietderīgā caurlaides spēja. R5 pieejas punktam ir jāsadala šis lielums aptuveni 7 vienādās daļās: $776/7 = 111$ kbit/s. Turklāt R5 pārraides sadalās tā, ka galvenā plūsma $5 \cdot 111 = 555$ kbit/s notiek pa R5-R2 savienojumu, bet R5-R3 un R5-R4 linki pārraida datus ar ātrumiem 111 kbit/s. Datu pārraide pa R2-R1 savienojumu arī notiek ar ātrumu 111 kbit/s.

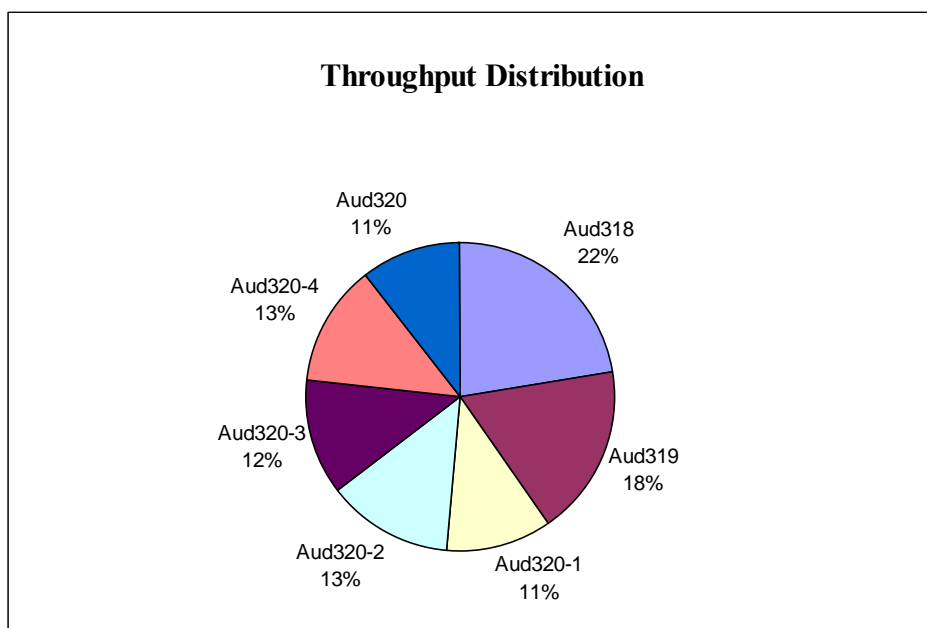
3.5.tabulā un 3.7.attēlā ir parādīts reālos apstākļos izmērītais caurlaides spējas sadalījums. Rezultāti rāda to, ka pārraidot pa R6-R5 kanālu kolīziju un daudzo kļūdu rezultātā ir vērojama būtiska lietderīgās caurlaides spējas pazemināšanās – aptuveni $776/236 = 3.3$ reizes.

3.5.tabula

TCIS tīkla lietderīgās caurlaides spējas sadalījums pārraidot datus no ārējā tīkla

Destination	Data Rate, kbit/s
Aud318	53
Aud319	42
Aud320-1	26
Aud320-2	31
Aud320-3	29
Aud320-4	30
Aud320	25

Total: **236**



3.8.attēls lietderīgās caurlaides spējas sadalījums starp darba stacijām

3.4. WLAN daudzstaru izplatīšanās īpatnības.

WLAN apkalpošanas izlīdzināta radiopārklājuma teritorijas zonas organizēšanai ir nepieciešams ņemt vērā tā saucamo radioviļņu daudzstaru izplatīšanās efektu, kura rašanās ir saistīta ar to, ka lietderīgais signāls sasniedz notebuka uztvērēja antenas (vai pieejas punkta AP(Access Point) antenas) pa dažādiem ceļiem (attēls), piedzīvojot laika aiztures un uzsūkšanos trasē.

Elektriskajam laukam EL(WLAN radiolīnijās tiek lietotas vibratorantenas) rezultējošo vektoru var atrast no izteiksmes:

$$\mathbf{E} = \mathbf{E}_{\text{LOS}} + \sum \mathbf{E}_i \quad (3.4.1)$$

Kur \mathbf{E}_{LOS} ir elektriskā lauka intensitātes vektors tiešās redzamības zonā(LOS Line of Sight) – savienojuma NB1 un NB2 ar AP(NB-notebook) gadījumam

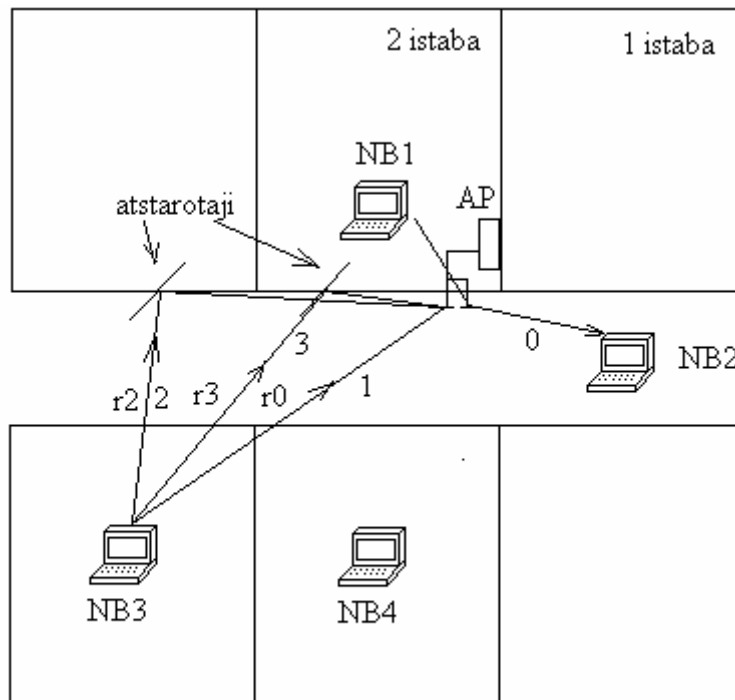
$\sum \mathbf{E}_i$ ir daudzo EL komponentu ģeometriskā summa, kas rodas saistībā ar pārstarošanu (NLOS-Non LOS netiešā redzamība).

Ļoti bieži atstaroto signālu EL intensitātes līmeņi var pārsniegt tiešo viļņu signālu līmeņus, kuri var tikt uzsūkti spēcīgi uzsūcošās vidēs.

Tādā veidā pat pie nekustīgiem AP un NB stāvokļiem, ja rodas vides kustēšanās (piemēram, atveras durvis uz koridoru, cits tīkla lietotājs pārvietojas pa teritoriju utt.), nejaušā veidā mainās atstaroto signālu fāzes, kā rezultātā rezultējošais EL vektors izdzīvo

sastingšanu(kustībā uz $\Delta r = \lambda/2$ fāze mainās $\Delta\varphi = (2\pi/\lambda) \cdot (\lambda/2)=\pi$), t.i. rodas sastingums, pie $\Delta r = \lambda$ - $\Delta\varphi = 2\pi$ - saņemamā signāla līmeņa pieaugšana.

Ja abonents ar notebuku (piemēram, NB2) kustās pa koridoru, tad analogiski augstāk izskatītajam, radīsies radiosignālu sastingums gan pieejas punktā AP, gan NB1.



3.4.1. att.

Tādā veidā, WLAN radioviļņu izplatību var raksturot ar sekojošiem efektiem:

- sastingšanas daudzstaru izplatīšanās dēļ (lēnas un ātras)
- zaudējumi izplatīšanās gaitā

Radioviļņu sastingšana daudzstarainības dēļ tiek aprakstīta caur apliecējsastingšanām (kas nav atkarīgas no amplitūdas izmaiņu biežuma), doplerizkļiedēm(kas ir selektīvas laikā vai ar laiku mainīgais fāzes troksnis $\psi(t)$), īslaicīga izkliede (izmantojot trašu garuma laikā, atstaroto signālu izplatīšanās izsauc īslaicīgas pašu signālu izmaiņas).

Apliecējsastingšanas

Izskatīsim vienkāršotu EL intensitātes mirkļa vērtības varianta noteikšanu, kuru izstaro AP radiolinka antena sekojošā veidā:

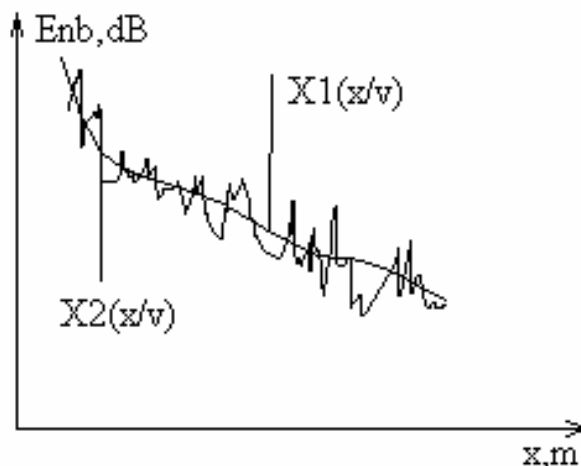
$$E_T(t) = E_{0t}(r) \exp \{j[\omega t + \varphi_T(t)]\}, \quad (3.4.2)$$

Kur ω – darba frekvence, T-Transceiver AP, $\varphi_T(t)$ - modulējošo frekvenču signāla mirkļa fāze (pie fāzu manipulācijas), $E_{0t}(r)$ - EL intensitātes amplitūda, kuru izstaro AP antena (pastāvīgs apliecējatkarīgais no attāluma).

Ieviešim izplatības vides pārraides funkcijas jēdzienu

$$K(t) = K_1(t) \exp [j(\varphi_K(t))], \quad (3.4.3)$$

Kur $K_1(t)$ - apliecēja, kas mainās laikā, $\varphi_K(t)$ - izplatības vides nejauša fāze, kas mainās laikā (3.4.2.att.).



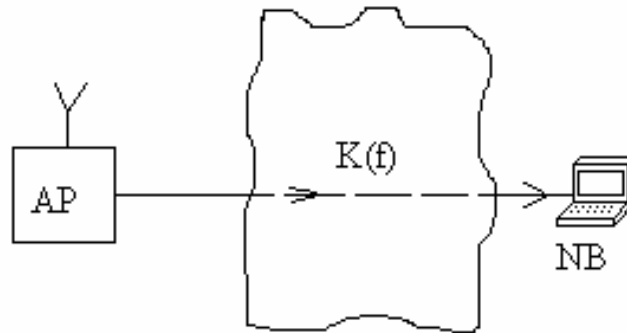
3.4.2. att. .

Pieņemsim, ka signāls uztveršanas punktā NB (3.4.2.att.) atradīsies sekojoša veidā (turklāt izmantojam sastingšanas multiplikatīvo modeli):

$$\begin{aligned} E_{NB} &= E_t(t) \cdot K(t) = E_{0t}(r) \cdot \exp \{j[\omega t + \varphi_T(t)]\} \cdot K_1(t) \cdot \exp [j(\varphi_K(t))] = \\ &= E_{0t}(r) \cdot K_1(t) \cdot \exp [j[\omega t + \varphi_T(t) + \varphi_K(t)]] , \end{aligned} \quad (3.4.4)$$

Turklāt $K_1(t) = \alpha_1(t) \cdot \alpha_2(t)$, kur $\alpha_1(t)$ - ilglaicīgā (vidējošā) sastingšanu komponente, $\alpha_2(t)$ - īslaicīgā komponente, kuru nosaka ātras sastingšanas daudzstarainības dēļ, turklāt vidējā vērtība $\langle \alpha_2(t) \rangle = 1$ t.i.

$$E_{NB} = E_{0t}(r) \cdot \alpha_1(t) \cdot \alpha_2(t) \cdot \exp [j[\omega t + \varphi_T(t) + \varphi_K(t)]] , \quad (3.4.5)$$



3.4.3.att.

Iegūtā izteiksme rāda, ka priekš EL pieņemšanas punktā amplitūdas vērtība izdzīvo ātras un lēnas sastingšanas, bet apliecējas fāze ir atkarīga gan no modulējošo frekvenču joslas signāla mirkļa fāzes, gan arī no izplatības vides nejaušās fāzes .

Vajadzētu atzīmēt, ka pie NB pārvietošanas rodas apliecējas fluktuācijas, jo $t = x/v$, t.i. $x=vt$ (v - NB kustēšanās ātrums), a $\alpha_1(x/v) \cdot \alpha_2(x/v)$ (att.3.4.3).

Sastingšanas ar 20 dB dziļumu, salīdzinot ar signāla apliecējas vidējo kvadrāta vērtību, gadās pie daudzstaru izplatības aptuveni 1% no visa mērījumu laika, 30 dB – aptuveni 0,1%, bet 40 dB – mazāk kā 0,01% no mērījumu laika.

WLAN radioviļņu izplatīšanās zaudējumi.

Radiosignāla sastigšanas izsauc arī zaudējumu izmaiņas laika gaitā uz izplatīšanās trases, kurus rada jebkādu objektu pārvietošana radiopārklājuma un AP darba zonā, ieskaitot paša Notebuka NB pārvietošanu.

Piemēram, lietotājs ar NB uz ceļiem var atrasties n1 auditorijā un strādāt pa AP pieejas punktu, kas izvietots koridorā.

Ja kāds aizvērs auditorijas durvis, tad zaudējumi trasē pieaugs un signāls NB punktā samazināsies.

Īslaicīga izklīde radioviļņu daudzstaru izplatības gadījumā.

Radiosignālu izplatības trasē tiešās redzamības zonā LOS r_0 , kuram izplatības laiks ir , parasti stipri pavājinā telpu sienas un citi objekti, kas atrodas tiešās izplatības ceļā.

Lai pavājinātā radiosignāla jauda LOS trasē sastāda - 100 dB . Lai lietotāja NB pieņem tādus pārveidotus radiosignālus, kas iziet trasi r_1+r_2 , trasi r_3+r_4 , trasi r_k+r_e un daudz citu

trašu. Ja, piemēram, trasei r_1+r_2 radiosignāla līmenis sastādīs -100 dBm, t.i. vienādu ar LOS līmeni, tad tādā gadījumā būs īslaicīga aizture trasē (vai īslaicīga izkliede), kas vienāda ar:

Noēnošana un zaudējumi radioviļņu daudzstaru izplatības gadījumā.

Noēnošanas iemesli pārsvarā ir neviendabīguma īpatnības radiosignālu izplatības trases garumā. Šī parādība izraisa lēnas relejsastingšanu vidējo parametru izmaiņas.

Līdz šim brīdim noēnošanas efekta aprakstīšanai netiek piedāvāts adekvāts matemātisks modelis, kura izskatīšana vislabākajā veidā atbilst eksperimentālajiem datiem pilsētas telpu apstākļos, tam var atzīt logaritmiski normālo sadalījumu ar dispersiju no 5 līdz 12 dB.

Izplatības zudumi ir normālās noēnošanas vidējā vērtība.

Pasākumi, kuri tiek pielietoti daudzstaru un zudumu efektu samazināšanai.

Lai pieejas punktos AP samazinātu radiosignālu sastingšanu, parasti izmanto uztveršanu uz divām nošķirtām antenām, kas novietotas attālumā, kas lielāks par viļņa garumu. Turklāt, ja radiosignāli ir nekorelēti, tad radiosignāla sastingšanas gadījumā, kas krīt uz vienu antenu, otra uztvers signālu bez izmaiņām un izkropļojumiem.

Tādējādi, AP pastāv iespēja uzlabot radiopārraidīšanas un uztveršanas apstākļus, bet priekš NB, kuros, kā likums, izmanto vienu antenu, tāda iespēja nepastāv.

3.5. Radiopārklājuma novērtējums lokālajam tīklam ar bezvadu sadales sistēmu

Teritorijas radiopārklājuma novērtējums ir balstīts uz eksperimentāli iegūtiem datiem ar notebook palīdzību, kurā iebūvēta tīkla radiokarte un programnodrošinājums, kas uz ekrāna dod datus par pieejas punktu, pie kura esat piesaistīti, radiosignālu (procentos). Radiosignāla pazaudēšanas gadījumā programma piedāvā jums pārslēgties uz citu pieejas punktu ar augstāku signāla līmeni.

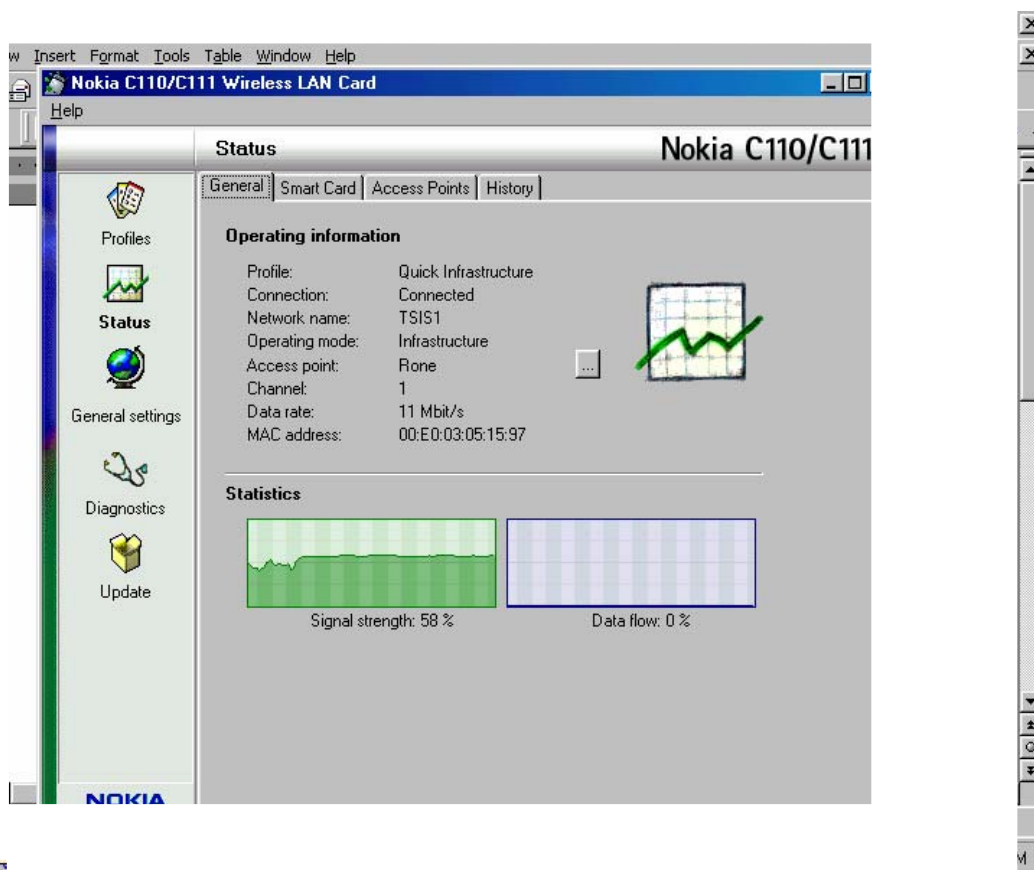
Visi eksperimenta rezultātā iegūtie dati nav precīzi, jo, tā kā pastāv radioviļņu daudzstaru izplatība, radiopārklājums var mainīties atkarībā no daudziem faktoriem, tādiem kā:

4. Cilvēku skaits auditorijās un koridoros
5. Atvērtu durvju, skapju utml. Esamība
6. Radioiekārtu darbība, kuras atrodas tai pašā diapazonā, ka pieejas punkti
7. Ieslēgto pieejas punktu skaits (pieejas punkti ietekmē viens otru)

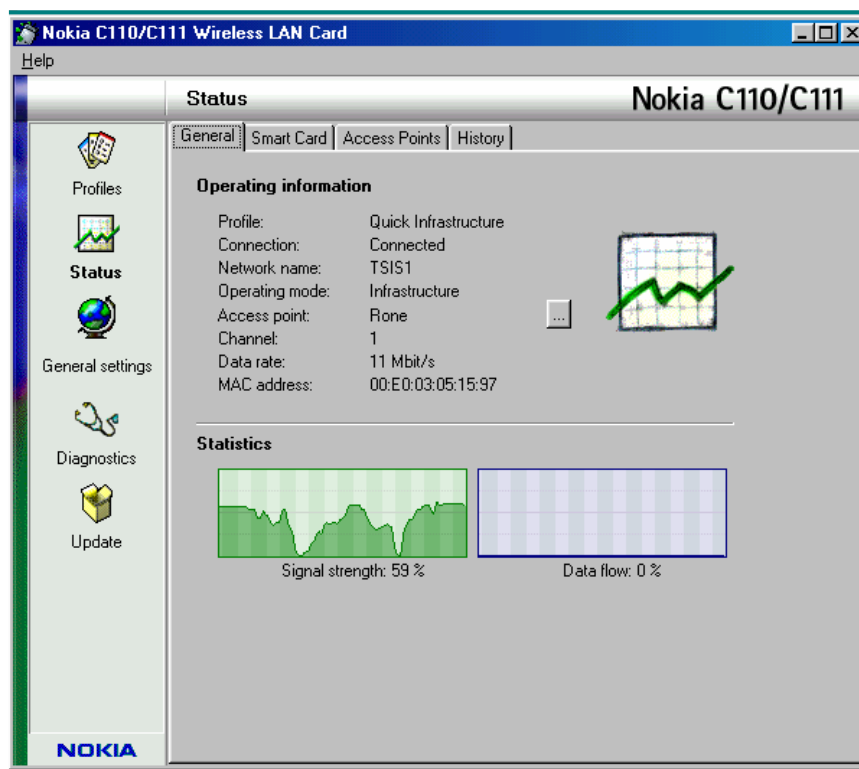
Šis eksperiments tika veikts apstākļos, kad augstākminēto faktoru skaits, kas ietekmē teritorijas radiopārklājumu, bija minimāls. Radiosignāla līmenis tika mērīts atsevišķos telpas punktos, uz kā pamata tika izdalītas trīs kopējās radiopārklājuma zonas:

8. Radiosignāla līmenis no 80 līdz 50% attēlos apzīmēts ar -----
9. Radiosignāla līmenis no 50 līdz 30% attēlos apzīmēts ar -----
10. Radiosignāla līmenis no 30 līdz 10% attēlos apzīmēts ar -----

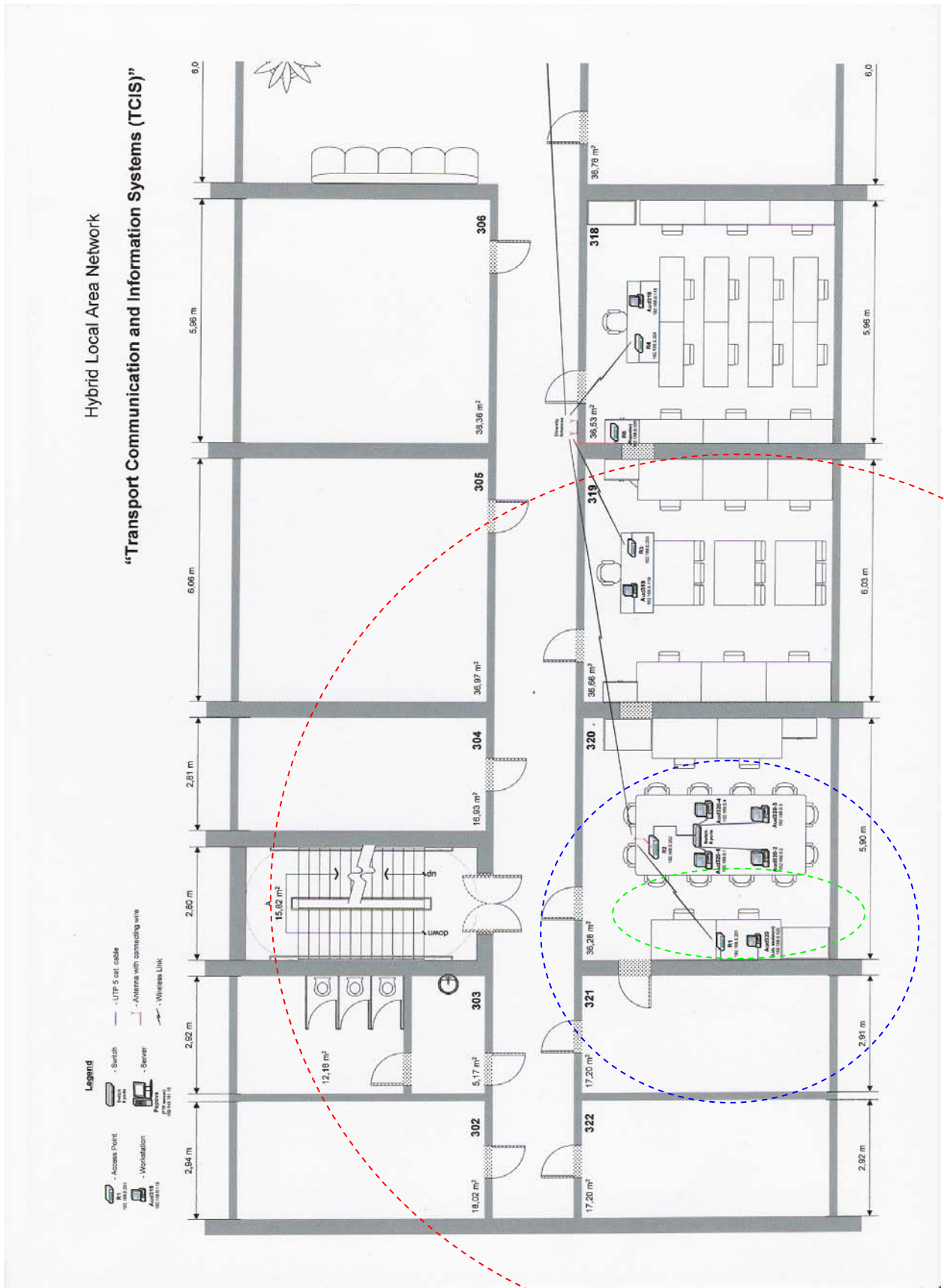
Noskaidrojās, ka visaugstākais signāla līmenis ir 2 metru robežās no pieejas punkta, pieejas punktu pārklājuma rādiuss ir divreiz mazāks kā norādīts standartā. Papildus antenu esamība palielina to vidēji par 30%.

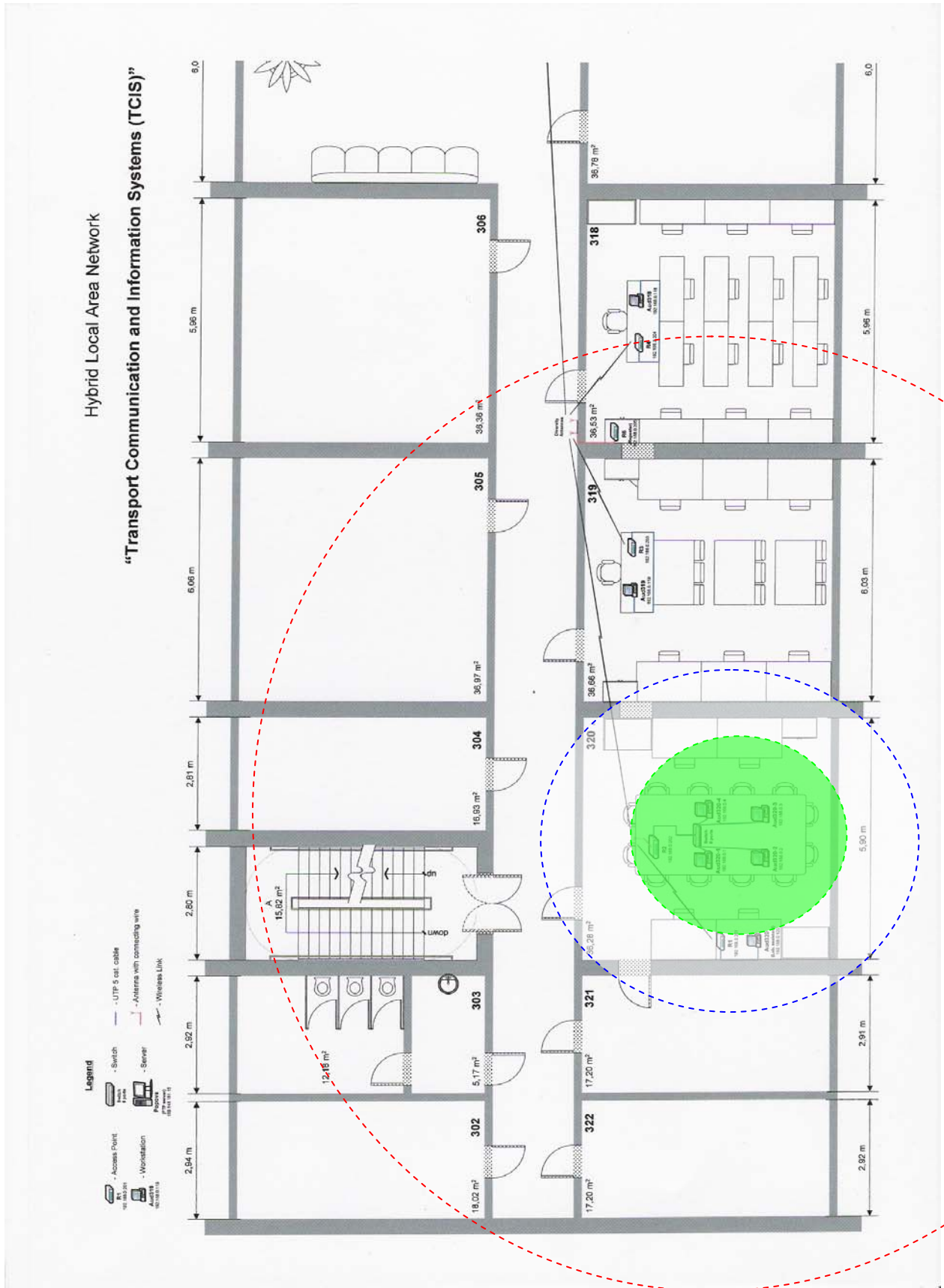


3.5.1. att.. Signāla līmeņa laika diagramma.

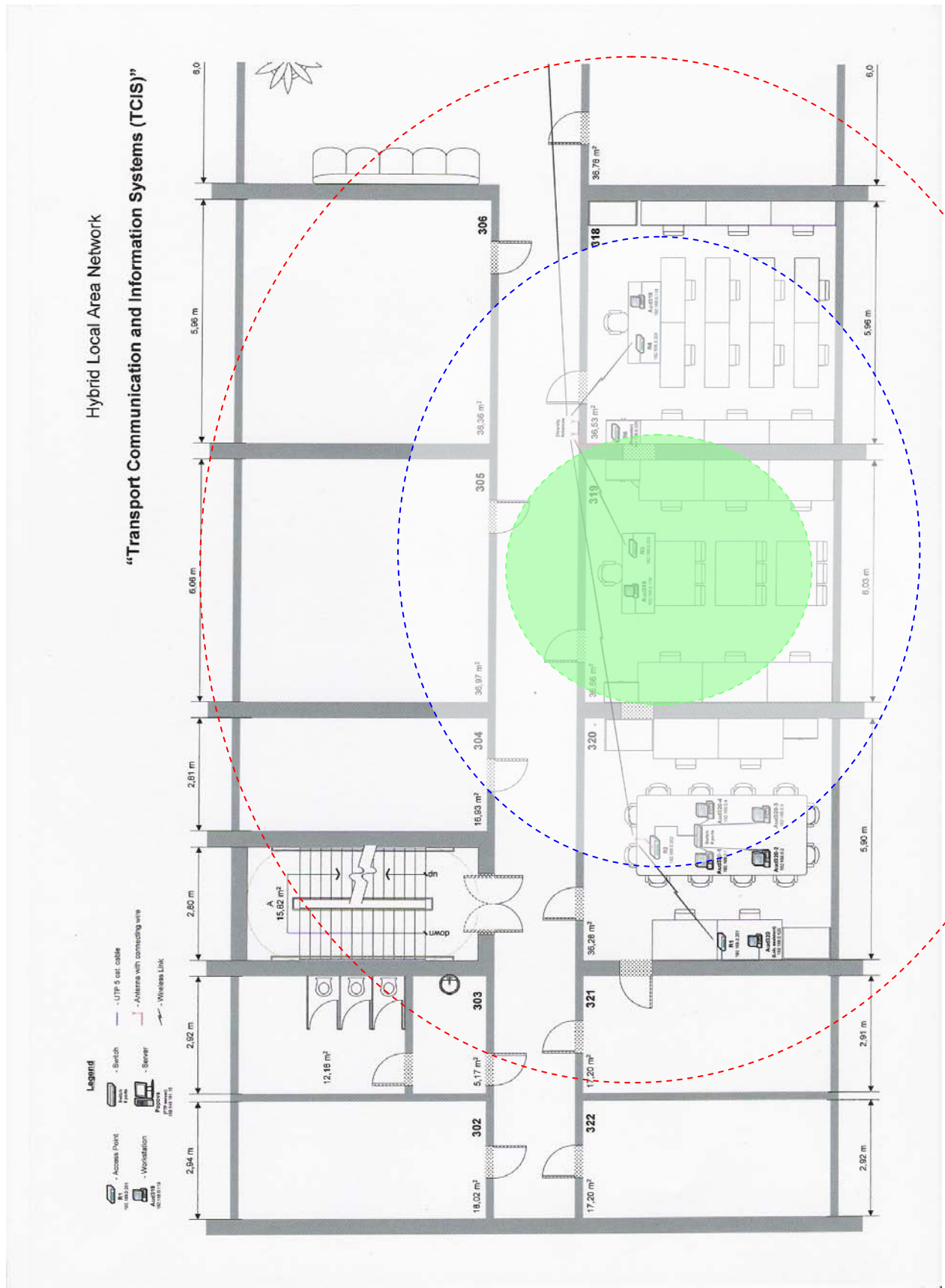


3.5.2. att. Signāla līmeņa laika diagramma.

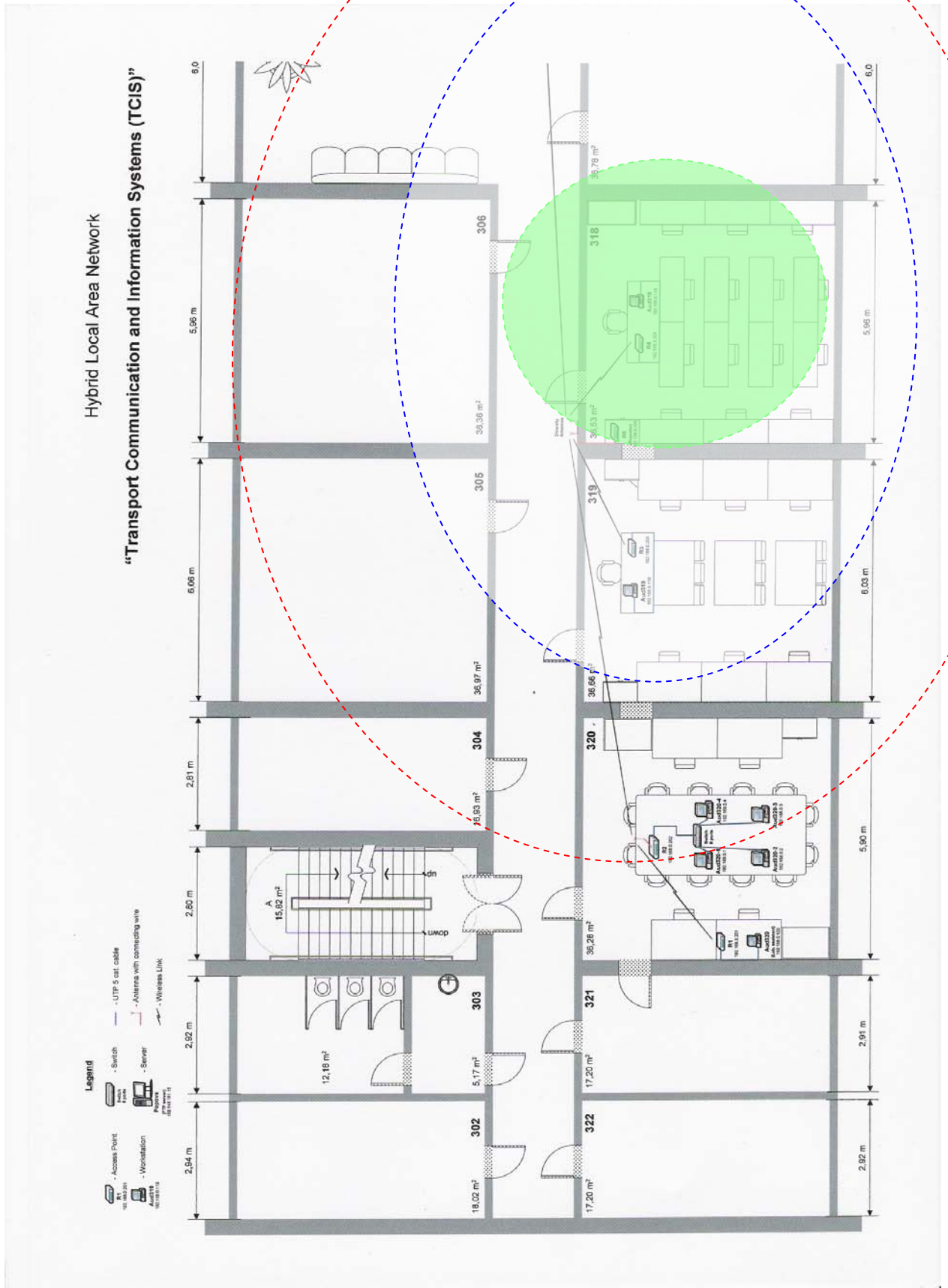




3.5.5.att. AP R3.



3.5.6.att. AP R4.



Literatūra

1. Popovs V. GSM standarta šūnu mobilo sakaru sistēma. Projektēšanas problēmas. Rīga: RTU DzTI, 2003, 362.lpp.
2. Попов В.И. Многолучевое распространение радиоволн в WLAN (рукопись, CD-ROM). Рига: РТУ ИЖТ, 2005, 10 с.
3. Попов В.И. Основы сотовой связи стандарта GSM. М.: Эко-Трендз, 2005, 296 с.
4. Головин Е. Локальная сеть с беспроводной распределительной системой. Проект. Рига: РТУ ИЖТ, 2005, 75 с.
5. Feher K. Wireless Digital Communications. New Jersey: Prentice-Hall PTR, 1995.
6. Roshan P., Leary J. 802.11. Wireless LAN. Fundamentals. Cisco Press.2004, (www.williamspublishing.com)
7. Рошан П., Лиэри Дж. Основы построения беспроводных локальных сетей стандарта 802.11. Пер.с англ.- М.: Издательский дом « Вильямс», 2004, - 304 с.
8. Forshini G. Bans M. Wireless Personal Communications, v.6, No.311, 1998.
9. Simon S.H., Moustakas L., Stoytchev M., Safar H. Communication in a disordered World. Physics Today, September 2001, p.38-43.
10. NOKIA. A032 Wireless LAN Access –Point. Advanced User Guide. (www.nokia.com).
11. Невдяев Л. Стандарты 802.11 и - Bluetooth- технология будущего. М.: Мобильный мир, №4, 2002, с.36-43.
12. www.academy.ciscopress.ru
13. Ю.Горностаев. В поисках формулы будущих сетей. М.: Мобильный мир, 4, 2002, 44-51 с.
14. www.ciscopress.ru, www.ciscopress.com