

Teknillinen korkeakoulu
Sähkö- ja tietoliikennetekniikan osasto
Teletekniikan laboratorio

S-38.201 ATM- JA MULTIMEDIA- SEMINAARI, SYKSY 1996

Liikkuvat ATM-järjestelmät

Marko Halme

S 39784V

Marko.Halme@hut.fi

SISÄLLYSLUETTELO

TIIVISTELMÄ	2
1. JOHDANTO	2
2. LANGATTOMAN JA LIIKKUVAN ATM:N TARVE	2
3. TEKNIIKAN HAASTEET	4
3.1 JÄRJESTELMÄSUUNNITTELU KRITTEERIT	4
4. VERKKOARKKITEHTUURI	4
4.1 NATIVE-MODE ATM VAI TCP/IP OVER ATM.....	5
4.2 PROTOKOLLAPINO	6
5. FYYSINEN KERROS	7
5.1 INFRAPUNA VAI RADIO.....	8
5.2 TOIMINTATAAJUUS	8
5.3 MODULOINTIMENETELMÄT.....	8
5.3.1 Hajaspektritekniikat.....	9
5.3.2 Ortogonaalinen taajuusjakokanavointi	9
6. VUORONVARAUSMENETTELY, MAC	9
7.DATAYHTEYSMENETTELY, DLC	10
8. LIIKKUVUUDENHALLINTA	10
8.1 VIRTUAALIYHTEYSPUU.....	11
8.2 PALVELUNLAATU, QOS	12
9. LANGATON ATM-PROJEKTEJA	13
10 YHTEENVETO	13
LÄHDELUETTELO	14

TIIVISTELMÄ

Tässä esitelmässä käsitellään langattomia ja liikkuvia ATM-järjestelmiä. Lähtökohdaksi on otettu tulevaisuuden tarpeet ja miten niihin vastaan. Tämän hetken tutkimusprojektit on jätetty esitelmän ulkopuolelle. Esitelmässä esitellään yleisen tason ratkaisuperiaatteita ja mainitaan jotakin tutkimustyön alla olevia ehdotuksia. Aiheen käsittely on jaettu protokollapinon mukaisiin kokonaisuuksiin ja liikkuvuudenhallintaosaan. Liikenteenhallinnan malliksi esitellään virtuaaliyhteyspuu.

1. JOHDANTO

Tässä esitelmässä tutkitaan niitä ratkaisuja, joita kirjallisuudessa esitetään langattoman liittymän luomiseksi kiinteisiin ATM-järjestelmiin. Olennaisena osana näitä ratkaisuja nähdään tulevaisuuden henkilökohtaisen viestiverkon, *personal communications network*; PCN, rakentaminen osaksi ATM-verkkoinfrastruktuuria. Se kuinka mahdollisesti liikkuva ATM ja PCN yhdistetään, ei vielä ole saanut selvää muotoa. Tulevaisuuden henkilökohtaisesta kommunikointiverkosta käytetään myös nimitystä kolmannen sukupolven matkaviestijärjestelmä.

Tällä hetkellä on olemassa useita koeprojekteja käynnissä, joissa tutkitaan liikkuvien ATM-järjestelmien rakentamista ja toimintakykyä. Projektit käsittelevät langattomia ATM-LAN:ja ja liikkuvia ATM-järjestelmiä. Usein lähtökohtina käytetään tiettyjä sovelluksia, joille halutaan luoda sopiva langaton ATM-tekniikka. Niiden antamia tuloksia tullaan käyttämään standardoinneissa, mutta vielä ei kuitenkaan nähdä, että yksinään niistä tulisi nousemaan standardoinnin moottoriksi. Näitä projekteja on esitelty esitelmän loppupuolella.

Langattoman ja liikkuvan liittymän luominen on monessa suhteessa ristiriidassa niiden alkuperäisten tavoitteiden kanssa, joita ATM-järjestelmälle on annettu sitä suunnitellessa. Yksi merkittävimmistä ristiriidoista on virhetasoltaan korkean radiotien yhdistäminen lähes virheettömään optiseen kuituun. Toinen on kuinka kaistarajoitetussa ympäristössä voidaan hallita monipääsymenetelmät samalla turvaamalla palvelunlaatu.

Esitelmässä keskitytään liikkuvan, monimegabitin ATM-järjestelmän arkkitehtuuriin, radiopääsykerrokseen; fyysisen kerros ja vuorottelunhallinta, MAC, ja langattoman ATM:n protokollan laajennuksiin; paikan-, handoff- sekä reititys ja palvelunlaadunhallinta, QoS. Esityksessä tulisi tulla ilmi, miten edellisessä kappaleessa esille tulleita ja myöhemmin esitettäviä ongelmia pystytään ratkaisemaan nykyisillä ja tällä hetkellä tutkimuksen ja kehitystyön alla olevilla tekniikoilla.

2. LANGATTOMAN JA LIKKUVAN ATM:N TARVE

Langattomien ja liikkuvien laajakaistaisen verkkojen tarve nousee kahdesta nykyisestä trendistä; matkapuhelinpalveluiden erittäin voimakas kasvu ja kehitystyö sekä uusien kiinteiden laajakaistaisen verkkojen syntyisestä ATM-tekniikan myötä. Matkapuhelinpalvelut ovat toteuttaneet haaveet yhdistettävyydestä missä ja milloin tahansa. ATM-verkot ovat mahdollistaneet usean liikennetyypin, data, puhe, video, yhdistämisen samaan verkkoon ja todellisen multimedian siirron tietoverkoissa. Näiden kahden yhdistämistä voidaan pitää luonnollisena jatkeena kehitykselle. Tulevaisuuden tavoitteena voidaan nähdä standardoidun ATM-yhteensopivan liityntätekniiikan käyttämisen PCN-arkkitehtuurin osana. Langattoman ATM:n standardointi mahdollistaa sekä kiinteällä että langattomalla liittymällä liikennöinnin päästä-päähän homogeenisellä tavalla.

Langattomille ATM-järjestelmille löytyy useita potentiaalisia sovellusalueita. Kotikäyttöön liittyvät ajanvietepalvelut, joissa tiedonsiirto vaatii suuria kapasiteetteja, kuten

tilausvideot, vuorovaikutteiset pelit, ostosten teko, elektroniset sanomalehdet ja Internet-palvelut; WWW, FTP jne. Toimistokäytössä sopivia sovelluskohteita ovat nopean yhteyden lähiverkot ja videoneuvottelut. Julkisella sektorilla käyttökohteita ovat lähiverkot, kirjastot ja etäopiskelu. Yhtenä mielenkiintoisena keskustelun aiheena ovat ns. sairaalasovellukset, joissa usein joudutaan käsittelemään suuria määriä informaatiota, kuten röntgenkuvia. Yhtenä tärkeänä voisi olla hankalasti lankaverkolla verkoistettavissa olevat rakennukset ja tilat, joissa kuitenkin tarvitaan, kuten tehdassalit./9,10/

Tulevaisuudessa voidaan jo edellä mainittujen äänen, datan ja videon lisäksi löytää seuraavia sovelluksia; äänipuhelin, kuvapuhelin, videoneuvottelu, HDTV, sähköposti, asiakas-palvelin data ja digitaalinen ääni. Nämä palvelut kattavat melko monen bittinopeuden, palveluluokan ja palvelunlaadun, QoS. Palvelut voivat olla sekä yhteydellisiä, *connection-oriented*; CO, tai yhteydettömiä, *connectionless*; CL. Liikkuvan ATM-verkon tulisi tukea järkevää määrää sovelluksia, joilla on ominaisuuksina useita bittinopeuksia, joustava kaistan allokointi ja korkea palvelulaatu. Seuraavassa taulukossa on listattu yleisesti ryhmitellen sovelluksien vaatimuksia./6,7/

Taulukko 1; tyypillisiä sovelluksien vaatimuksia /6,7/

Sovellus	Palvelu- tyyppi	QoS	Bittinopeus (kbit/s)	Maksim i viive (ms)	Virhe- suhde
Äänipuhelin	CO/CBR	Puhelunesto sallittu; Alhainen/keskitason solunmenetys-t.n. Isokrooninen	2,4 - 32	30 - 40	10 ⁻³
Digitaalinen ääni	CO/CBR	Puhelunesto sallittu; Alhainen solunmenetys-t.n; Alhainen viivevaihtelu	128 - 512		
Telekonferenssit Multimedia viestintä Digitaalinen video	CO/CBR tai CO/VBR	Tilastollinen kanavointi (VBR); Puhelunesto sallittu; Alhainen/keskitason solunmenetys-t.n. Alhainen viivevaihtelu	64 - 348 (telekonf.) 1000 - 6000 (TV/VCR)	40 - 90 100	10 ⁻⁷
Digitaalinen HDTV	CO/CBR	Puhelunesto sallittu; Alhainen/keskitason solunmenetys-t.n. Alhainen viivevaihtelu	15000 - 20000		
Yleinen tietokone- data	CL, parhain yritys - paketti	Puhelunesto kielletty; Alhainen solunmenetys-t.n; Keskitason viive ja -vaihtelu sallittu	100 - 1000	30 - 300	10 ⁻⁶
Korkeanopeuksinen data (tiedostonsiirto, multimedia)	CL, purskeinen pakettidata	Korkea siirtonopeus; Hyvin alhainen solunmenetys-t.n; Keskitason viive ja -vaihtelu sallittu	1000 - 10000		
Sähköposti	CL		9,6 - 128	100	10 ⁻⁶

Langattomien ATM-järjestelmien maailmanlaajuinen optimoiminen näin laajan sovellusjoukon käyttöön ei katsota olevan mahdollista. Sitä vastoin aliverkkoja voidaan optimoida palvelemaan kullakin alueella käytettäviä sovelluksia. Jos tarvitaan useamman tyyppisiä sovellusprofiileja, voidaan aliverkkoja rakentaa osittain päällekkäin. Erilaiset palveluprofiilit saavat johtaa erilaisiin pääsytekniikoihin, päätelaitteisiin ja -tyyppeihin sekä useisiin taajuusalueisiin. Näihin asioihin viitataan myöhemmissä luvuissa ja pohditaan lisää yhteenvetoluvussa./7/

3. TEKNIKAN HAASTEET

Useita perusongelmia tulee ratkaista ennenkuin pystytään rakentamaan toimiva langaton ja liikkuva ATM-järjestelmä. Tässä muutamia tärkeimmistä:/6/

- Tulevaisuuden päätelitteisiin sopivien korkeanopeuksisten radioiden kehittäminen. Useimmat multimediasovellukset vaativat monen megabitin nopeuksia.
- Vuorottelumenettelyjä, MAC, jotka mahdollistavat jaetulla radiotiellä läpinäkyviä monipalveluita kiinteän ATM-verkon tapaan. Tämä tarkoittaa CBR:n, VBR:n ja pakettidatan siirtoa järkevillä QoS-parametreilla.
- Langattomia datayhteysprotokollia, jotka yhteenliittävät suhteellisen epäluotettavan radiotien ATM:än mahdollisimman pienellä protokollakäännöksellä.
- Signalointi- ja siirtoprotokolla muutoksia, joita tarvitaan liikkuvuuden tukemiseen.

3.1 Järjestelmäsuunnittelu kriteerit

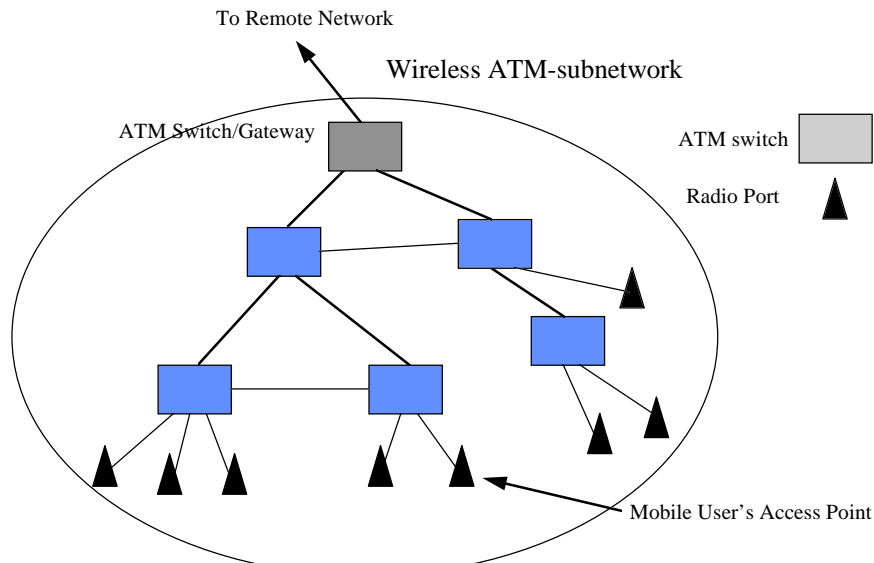
Suunnittelupäämäärien ja alijärjestelmävaihtoehtojen joukko on laaja ja jossain määrin ristiriitainen, joten sopiva tasapaino palvelusuorituskyvyn, verkon tehokkuuden ja päätteletehintojen väliltä joudutaan toteuttamaan subjektiivisten suunnittelupäätösten kautta ennemminkin kuin maailmalaaajuksen optimoinnin kautta. Seuraavana on joitakin yleisen tason järjestelmäsuunnittelun päämääriä:/6/

- Joustava kyky monipalveluihin; ääni, data ja video
- Hyvä palvelunlaatu, QoS, kaikenlaisille palvelutyypeille
- Korkea yhteensovitettavuus tulevien laajakaistaverkkojen kanssa; ATM, B-ISDN
- Alhainen päätelaite kustannus/monimutkaisuus/tehonkulutus
- Korkea alueellisen spektritehokkuuden; bit/s/Hz/Km²
- Tehokas, skaalattava ja kohtuullisen hintainen verkkoarkkitehtuuri
- Viranomaisäädösten rajaehdojen mukaisuus; kaistanleveydet, tehotasot

4. VERKKOARKKITEHTUURI

Perusajatus langattoman ATM-ehdotusten takana on käyttää standardi ATM-solua verkkotason toiminnoissa lisäämällä siihen langattoman osuuden otsikon ja lopun, *header and trailer*, kanavakohtaisia alikerroksia varten (*medium access control; MAC, data link control; DLC ja wireless network control*)./5/

Perusverkkoarkkitehtuuri rakentuu ATM-runkoverkosta ja liikkuvan ATM:n aliverkoista, joka muodostuu radioporteista, *radio port*, ja ATM-kytkimistä, joihin on lisätty liikkuvuuden hallintaa varten toiminnallisuutta. Langattoman verkon topologia on puu, jossa oksat voivat olla kytketty yhteen. Kuvassa 1 on kuvattu langattoman ATM-järjestelmän arkkitehtuuria.



Kuva 1; Langaton ATM-verkko

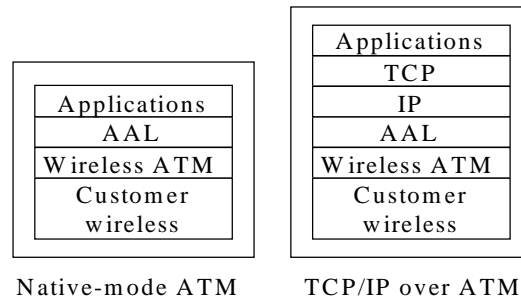
Langattoman verkon juuren muodostaa yhdyskäytäväkytkin, josta lähtevät yhteydet muihin verkkoihin ja verkon lehtiin, jotka ovat radioportteja, joita voidaan kutsua tukiasemiksi. Tilaajat eli liikkuvat päätelaitteet ovat yhteydessä verkkoon tukiasemien kautta, mitkä ovat toiselta puolelta kiinni kiinteässä verkossa ja toiselta puolelta tarjoavat kysynnän mukaan siirtoa tilaajiin. Oksina toimivat langattomuuden vaatimilla lisätoiminnallisuuksilla varustetut kytkimet. Kuten kuvasta nähdään, että jokaisessa kytkimessä voi olla useita radioportteja yhteydessä. Kapasiteetin kannalta pullonkaulana tulevat olemaan radioportit ja niiden rajoitettu kapasiteetti. Joissakin suunnitelmissa radioportit olisivat myös ATM-kytkimiä, mutta useimmiten ne nähdään erillisinä radiolaitteina./4/

ATM-kytkimissä toimii puhelunhallinta, *call processor*, joka sisältää normaalin pääsynhallinta, *admission control*, sekä liikkuvuudenhallintaa tarvittavan lisätoiminnallisuuden. Se vastaa yhteyksien hyväksymisestä ja luonnista verkkoon ja niiden liikkuvuuden hallinnasta. Puhelunhallinnan täytyy huolehtia yhteyksien muodostamisesta sekä kiinteä verkkoon että omaan verkkoon, jossa huolehtii, ettei yksitään yhteys tai solu ylikuormitu, ja että palvelulaatu kyetään pitämään yllä sekä uudelle että vanhoille yhteyksille.

Aliverkon hierarkisessa rakenteessa noudatetaan hajautettua prosessointia. Puhelunhallinta, reititys ja hallintatoiminnot on jaettu verkkoelementeille. Hajautus helpottaa resurssien jakoa kysynnän mukaan. Hajautettu prosessointi yksinkertaistaa suuren määrän pienien pikosolujen yhteenkytkemistä./7,6/

4.1 Native-mode ATM vai TCP/IP over ATM

Tällä hetkellä keskustellaan paljon siitä, millä toimintatavalla liikkuvat ATM-järjestelmät tulevat toimimaan. Vaihtoehtoina voimakkaimmin ovat tulleet esiin sovelluskerroksen suora yhdistäminen ATM:n AAL-kerrokselle, *Native-mode ATM*, ja TCP- ja IP-protokollien laittaminen AAL- ja sovelluskerrosten väliin, *TCP/IP over ATM*. Odotettavissa on, että suurin osa video- ja äänisovelluksista tulisivat toimimaan suoraan AAL-kerroksen päällä, kun taas datasovellukset saattaisivat käyttää kumpaakin. Esimerkiksi asutusaluevideopalvelut toimisivat suoraan "Native-mode":lla ja langattomat LAN:it toimisivat kummallakin. Kuvassa 2 on esitetty käytettävät protokollapinot./1/



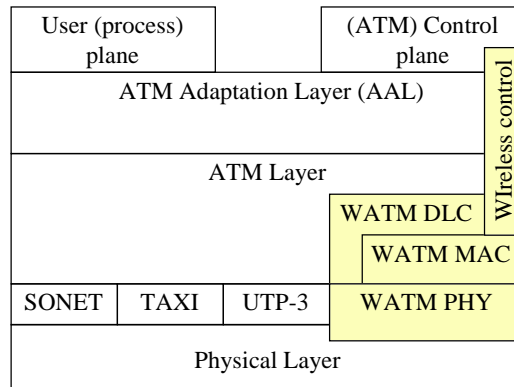
Kuva 2; "Native-mode ATM"- ja "TCP/IP over ATM"-protokollapinot /1/

Näillä kahdella toimintatavalla on kuitenkin huomattava ero käsiteltäessä liikkuvia ATM-järjestelmiä. Perusero on siinä, että ATM on yhteysperusteinen siirtotapa ja TCP/IP on yhteydetön, reitittävä protokolla. Liikkuvissa järjestelmissä tämä tarkoittaa sitä, että liikkuvia ATM-yhteyksiä, *virtual channel*, jotka muodostuvat segmenteistä, täytyy hallita joko puheluprosessorin, *call processor*, toimesta keskitetysti tai hajautetusti ATM-kytkimissä. Liikkuvan käyttäjän, *mobile user*, vaihtaessa solua täytyy vanhoja segmentejä purkaa ja uusia muodostaa. TCP/IP- yhteyksillä tiedonsiirto tapahtuu ainoastaan paketteja reitittämällä niissä olevan vastaanottajan osoitteen mukaan. Käyttäjän liikkuessa solusta toiseen yksinkertainen reititystaulukkojen paikkapäivitys riittää ylläpitämään liikkuvuudenhallintaa. Kiinteän verkon reititysprotokolla tarvitsee kuitenkin liikkuvuudenhallinnan takia uusia ominaisuuksia, joita on kehitetty Mobile IP:ssä./1/

Liikkuvien ATM-järjestelmien suunnittelussa on kuitenkin luovuttu "TCP/IP over ATM"-ideasta ja omaksuttu "Native-mode ATM", koska halutaan säilyttää sama geneerinen alusta, *platform*, ja homogeenisuus verkkoarkkitehtuurissa kuin kiinteissä ATM-verkoissa. Lisäksi QoS:lla luokiteltavia virtuaaliyhteyksiä pidetään hyvin käyttökelpoisina langattomissa ja liikkuvissa ympäristöissä. Tämä ei kuitenkaan estä rakentamasta TCP/IP-protokollilla toimivia sovelluksia. Toinen syy ATM:n on omien liikkuvuudenhallintajärjestelmien kehitys, joihin palataan myöhemmin. Kolmantena syynä luopumiseen on Internet-protokollien soveltuvuus muille liikennetyypeille kuin datalle kyseenalaisuus./1,3/

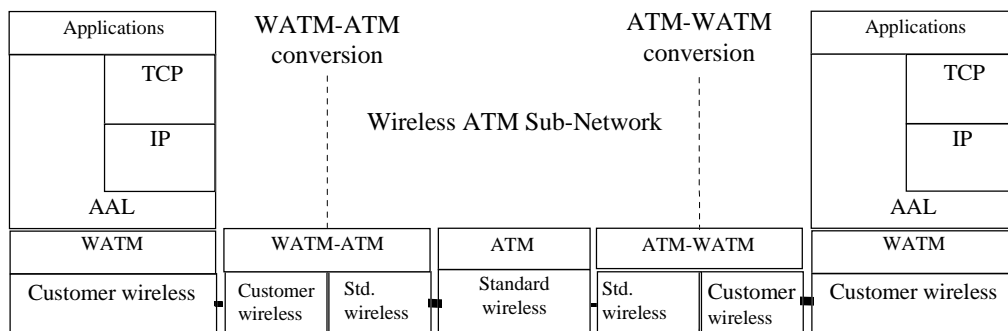
4.2 Protokollapino

Ehdotetuilla langattomilla ATM-järjestelmillä on täysin standardi ATM:än harmonisoidut protokollapinot. Ideana on integroida uusi radiokanavakohtainen, vuoronvarausmenettelyn, kehysrakenteen ja langattoman hallinnan alikerrokset ATM-protokolla pinoon. Tämä tarkoittaa, että normaaleja ATM-verkkokerroksen ja hallintatason palveluja, virtuaaliyhteyksien kanavoitinta, solujen priorisointia, ruuhka/QoS-hallintaa ja jne tullaan käyttämään liikkuvissa palveluissa. Kuten aikaisemmin mainittu joitakin lisäyksiä tehdään liikkuvuudenhallinnan hoitamiseksi. Kuvassa 3 on langattoman ATM:n protokollapino./5/



Kuva 3; Langattoman ATM:n protokollapino

Kuvassa 4 on vielä esitetty päästäpäähän yhteyden protokollapinot, kun päät ovat langattomia ja yhteys kulkee langattoman ATM-aliverkon kautta. Kuvassa ATM-kerroksen alikerrokset on yhdistetty WATM-kerrokseksi./1/



Kuva 4; Langattomat ATM-yhteyden protokollapino

5. FYYSINEN KERROS

Fyysinen kerros käsittelee itse tiedonsiirron yli fyysisen tien tässä tapauksessa radioiden tai optisen lähetin-vastaanotinparin kanssa. Päähaaste radiotiellä on voittaa paikka- ja aikavaihtelevan kanavan tuomat haitat, mikä johtuvat monitie-etenemisestä. Monitie-etenemisen haitat pystytään tällä hetkellä kompensoimaan lähettämällä oppimisjaksoja, *training sequence*. Tämä aiheuttaa turhaa kuormaa, *overhead*, joka alentaa järjestelmän suorituskykyä ja tehokkuutta. Turhan kuorman minimoiminen voi tapahtua kehittyneillä modulointi- ja korjaintekniikoilla. Lisäkysymyksiä löytyy kantoaallon palauttaminen, *carrier recovery*, joka heikentää suorituskykyä, ja kanavakoodaus, jolla voidaan parantaa järjestelmän peittoaluetta.

Monitiekanavan kulkuaikaviiveistä johtuvan symbolien keskinäisvaikutus aiheuttaa häipymiä. Häipymiä voidaan kompensoida korjaimilla, jotka vaativat suorituskykyä alentavia opetusjaksoja. Purskelähetykselle ajoituksen (synkronisointi) ja kantoaallon palauttaminen täytyy ratkaista, mikä osaltaan kuluttaa lisää aikaa ja alentaa tehokkuutta.

Toinen tärkeä haaste on kehittää yli 20 Mbit/s:n purske- ja monipääsyradioita, joita voidaan liittää ja jakaa kysynnän mukaan. Tällä hetkellä ei ole kaupallisesti saatavilla.

Huolimatta tutkimuksista ja useista vaihtoehdoista yksikään tekniikka ei ole noussut vielä muiden edelle. Seuraavissa luvuissa esitellään näkökohtia, niiden vaihtoehtoja, perurajoituksia, oleellisia toteutusnäkökulmia ja johtopäätöksiä./1,2/

5.1 Infrapuna vai radio

Infrapunajärjestelmät ovat lisenssiömättöminä suhteellisen halpoja, niitä on helppo rakentaa, yhteyksien kuuntelu on vaikeaa ja pystytään helposti välttämään taajuuteen ja vaiheeseen liittyvät ongelmat vastaanotossa. Hajoittamalla infrapunasäde voidaan rakentaa samanlaisia peittoalueita sisätiloissa kuin radiojärjestelmillä.

Infrapuna kärsii kuitenkin samanlaisista monitie-etenemis- ja synkronisointiongelmista sekä lyhyemmistä kantomatkoista samalla siirtonopeudella kuin radiot. Monipääsyn järjestäminen ja suurien peittoaluiden rakentaminen on vaikeampaa kuin radiojärjestelmillä.

Monitie-etenemisen välttämiseksi voidaan käyttää suunnattuja säteitä, mikä mahdollistaa suuret siirtonopeudet, mutta ne vaativat näkösuorayhteyksiä (= säteen suuntaaminen) ja suurta tarkkuutta suuntaamisessa. Viimeksimainittu on vaikeata toteuttaa ulko- ja kansoitetuissa sisätiloissa. Ensiksimainittu on merkityksellinen toiminnan kannalta ja jonka toteuttamista vaikeuttaa usein toistuvat korjaukset. Suunnatuilla säteillä toteutetuissa ratkaisuissa monipääsyn järjestäminen olisi vaikeata, mikä voisi rajoittaa käyttöalueen pisteeksi. Ulkotiloissa auringonsäteily rajoittaisi vastaanottokulmia.

Yhteenvedona voidaan todeta, että langattomassa pakettiverkossa radio on parempi vaihtoehto sekä ulko- että sisätiloihin, koska se ei vaadi näkösuoraa, eikä suuntausta ja sillä on helpompi järjestää monipääsy./1/

5.2 Toimintataajuus

Toimintataajuudelle voidaan löytyä useita vaihtoehtoja. Tämän hetken trendi on nostaa taajuuksia, mutta kustannuksien kannalta 10 GHz on raja. Sen yläpuolella joudutaan käyttämään kalliita kalliiumarseniidikomponentteja, GaAs. Taajuuksien noustessa on huomattava, että radioaaltojen eteneminen muuttuu ja joudutaan siirtymään pienempiin solukokoihin. Taajuuksien nostamista puoltaa siellä olevat laajemmat taajuuskaistat, jotka mahdollistavat suurempia kapasiteetteja. Taajuuskaistoista löytyy lisenssiöityjä alueita, joissa on tiukat viranomais säännökset ohjaamassa toimintaa, ja lisenssiömättömiä alueita, joissa ei ole tiukkoja säännöksiä. Lisenssiöidyillä taajuuksilla voidaan suorituskyky helpommin taata, koska käyttäjät ovat ainoita, kun taas lisenssiömättömillä taajuuksilla löytyy useita vapaasti toimivia järjestelmiä. Lisenssiöidyt taajuudet ovat erityisesti tarpeen ulkotilojen sovelluksissa. Taajuuksia käyttöönotettaessa on huomioitava, että taajuuskaistoja voidaan paljon helpommin saastuttaa kuin puhdistaa.

Jo 1,9 GHz kaistalla pystytään rakentamaan monimegabittijärjestelmiä. Käytännössä voi käydä niin, että langattomat ATM-järjestelmät ottavat käyttöönsä useita taajuusalueita, joissa toiminta riippuu sovellusprofiileista ja niiden nopeusvaatimuksista sekä kulloisenkin verkon sijainnista, astusalueet, toimistot, tehdashallit jne./1/

5.3 Modulointimenetelmät

Rajallisella kaistanleveydellä toimittaessa edistykselliset modulointimenetelmät ovat keino parantaa bit/Hz-hyötysuhdetta, mutta ne usein lisää merkittävästi radiolaitteiden monimutkaisuutta ja siten hintaa. Käytössä olevia modulointimenetelmiä ovat BPSK, *binary phase shift keying*, QPSK; *quaternary PSK*, DPSK; *differential PSK*, ja QAM, *quadrature amplitude modulation*. Korkeasti kohinasuhteesta ja monimutkaisista korjaimista johtuen monitasoisia signaalikonstellatioita on vaikea saada aikaan. Edellä mainitut modulaatiot heikkouksia ovat voimakkaan korjauksen tarve ja signaalin vahvistamisen vaikeus. Vakioamplitudimenetelmillä kuten MSK, *minimum shift keying*, ja GMSK, *gaussian MSK*, vahvistaminen pystytään ratkaisemaan epälineaarisilla vahvistimilla.

Kokeissa on selvitetty, että QPSK, MSK ja QAM soveltuvat korkea siirtonopeuksiin mikro- ja pikosoluympäristöihin. Korjaamattomilla QAM:illa ja QPSK:illa päästään 0,1 -4 Msym/s baudnopeuksiin, jotka vastaavat pikosoluissa 16-QAM-modulaatiolla 8 -16 Mbit/s nopeuksia.

QPSK:ta tai GMSK:ta käyttävät 25 Mbit/s:n radiot ovat toteutettavissa. Kahdessa seuraavassa luvussa käsiteltävistä kahdesta muusta modulointimenetelmästä OFDM vaikuttaa lupaavalta./1,6/

5.3.1 Hajaspektritekniikat

Viime aikoina on paljon puhuttu hajaspektritekniikasta, *spread spectrum*, uusissa matkaviestijärjestelmissä. Silloin puhutaan koodijakoisista monipääsymenetelmistä, *code division multiple access; CDMA*, jotka voidaan jakaa kahteen luokkaan; suorasekoitus, *direct spread*, ja taajuushyppely, *frequency hopping*. Monimegabittisen järjestelmän rakentaminen suorasekoitushajaspektritekniikalla vaatisi koodinopeuden nostamisen niin korkealle että se olis hankalaa ja siten kallista. Samanlaisiin ongelmiin kohdattaisiin myös taajuushyppelyssä. Lisähankaluutena on lähi-kauko, *near-far*, -ongelman vaatiman tehonsäädön lisäämä monimutkaisuus toteutuksessa. Tämän takia ollaan luovuttu hajaspektrin käytöstä langattomissa ATM-järjestelmissä./1,6,3/

5.3.2 Ortogonaalinen taajuusjakokanavointi

Ortogonaalinen taajuusjakokanavoinnilla, *orthogonal frequency division multiplexing; OFDM*, on useita suotuisia ominaisuuksia; yksinkertaistaa korjausta, vähäisen toimintakyvyn alenemisen ja korjauksen puuttuessa alemman monimutkaisuuden. OFDM:llä on pystytty jo 155 Mbit/s siirtonopeuksiin. OFDM muodostuu useista ortogonaalisista (kapeista) matalan siirtonopeuden alikantoaloista, joissa käytetään sopivaa modulointia kuten QAM. Symbolit lähetetään rinnakkain perinteisen sarjan sijasta. OFDM pystyy kompensoimaan motie-etenemisen haittoja ja parantaa impulsiivisen kohinan sietokykyä sekä säästää siirtokaistaa. OFDM on kuitenkin monelta osalta vielä kokeellista ja vaatii lisätutkimuksia ennenkuin se voidaan tuoda massatuotantoon./1,6,3/

6. VUORONVARAUSMENETTELY, MAC

Langattomissa ATM-järjestelmissä siirtoyhteyskerros tai ATM-kerros on jaettu kahteen alikerrokseen kuvan 3 mukaisesti; vuoronvarausmenettelyyn, *Medium Access Control; MAC*, ja datayhteysmenettelyyn, *Data Link Control; DLC*. Näistä ensin käsittelemme MAC:tä.

MAC-kerroksen tehtävä on tukea radiokanavan jaettua käyttöä. Kerroksen täytyy tukea standardi ATM-palveluluokkia; ABR, VBR, CBR ja UBR, ja niiden QoS-hallintaa. Merkittävä tekijä MAC:n valinnassa on löytää protokolla, joka pystyy tukemaan edellä mainittuja palveluita järkevillä QoS-tasoilla ja samalla pystyy ylläpitämään kohtuullista tehokkuutta radiokanavassa. On kuitenkin huomioitava, että kaikissa aliverkoissa ei löydy täyttä valokoimaa palveluluokkia, mikä helpottaa protokollan valintaa.

MAC-protokollat voidaan jakaa viiteen luokkaan; kiinteä jako; TDMA ja FDMA, satunnaispääsy; ALOHA ja CSMA, keskitetysti ohjattu kysynnän ohjaama jako, kysynnän ohjaama jako hajautetulla hallinnalla sekä adaptiiviset tavat ja useat moodit. Tekniikoista PRMA, *packet reservation multiple access*, TDMA/TDD ja CDMA näyttävät lupaavimmilta. Näistä CDMA kuitenkin tällä hetkellä tarjoaa alhaisen kapasiteetin, kuten edellä on todettu. Useista vaihtoehtoista todennäköisin kysyntään perustuva adaptiivinen protokolla, jolla on ominaisuuksia kaikiasta viidestä luokasta. Protokollan siirtokehys yleensä jakaantuu hallinta- ja ATM-osiin. Hallintaosassa siirretään tietoa tilaajien ja tukiasemien välillä koskien ATM-

osan käyttöä. ATM-väli voidaan dynaamisesti jakaa kysynnän mukaan eri palveluluokille. Esimerkiksi CBR saa kiinteän jaksollisen osuuden ja ABR:lle voidaan loppua ATM-osaa jakaa dynaamisesti aikaväli kerralla jokaisessa siirtokehyksessä. Lähteestä 1 löytyy esimerkki tehokkaasta kysyntään perustuvasta MAC-protokollasta nimeltä DQRUMA, *distributed - queuing request update multiple access*. Siinä liikkuvat tilaajat varastoivat lähetettävät solut ja radiot palvelevat niitä halutun siirtokäytännön mukaisesti. Joidenkin palveluokkien ei tarvitse edes lähettää siirtopyyntöjä, vaan niitä palvelee ennalta ohjelmoidulla tavalla tukiasemalla./1,5/

7. DATAYHTEYSMENETTELY, DLC

DLC-kerroksen tehtävä on lieventää radiokanavan aiheuttamia virheitä. Koska ATM:n päästäpäähän suorituskyky on herkkä soluhukalle, tarvitaan voimakkaita virheenkorjauskoodeja. Vaihtoehtoina on joko uudelleenlähettävät, ARQ, ja virheenkorjaavat, FEC, protokollat. Ongelmana on löytää tarpeeksi yksinkertainen ja ylimääräisen kaistan ja viiveen minimoiva ja samalla QoS-vaatimukset täyttävä. Kumpikaan yksinään ei riitä täyttämään tarvetta, vaan niitä yhdistellään ja räätälöidään ATM-palveluluokille sopiviksi. ARQ-koodeista selektiivinen toisto on käyttökelpoisin liikkuviin ATM-järjestelmiin. Siinä virheen sattuessa pyydetään toistamaan lähetetty solu. ARQ-menetelmät vaativat aina nopean palautekanavan ja että lähetyskanavaan voidaan palata välittömästi, mikä tarkoittaa, että lähetettyjä soluja täytyy varastoida jonkin aikaa. FEC-koodeja käytetään, kun pakettien siirtoaika on suhteessa pienempi kuin siirtoviive ja kaistaa on vapaammin kulutettavana. Silloin vastaanotossa on aikaa havaita ja korjata virheitä. FEC:llä on yksinkertainen aikahallinta, ei vaadi kopioita lähetetyistä soluista tai palautekanavaa. Ongelmana on monimutkaisuus, jonka voidaan hoitaa piiritasolla, ja jatkuva kaistan ylimääräinen kulutus. Lähteestä 1 löytyy esimerkki FEC ja ARQ yhtäaikaan käyttävästä DLC-protokollasta./1,5/

Toinen tärkeä ja keskustelua herättävä toiminto, joka voidaan lisätä DLC-protokollien toimintaa, on VCI- ja VPI-kenttien kompressointiin. Tämä perustuu siihen huomioon, että ATM-solun otsikkokentät vievät huomattavan osan siirtokapasiteettia, ja että tukiasemassa pystyy olemaan vain rajallinen määrä tilaajia, joilla kullakin voi olla vain rajoitettu määrä VCI-yhteyksiä. Tällöin olisi viisasta kompressoida VCI- ja VPI-osoitteiden kokoa. Tällöin (de)kompressointi tapahtuisi tukiasemassa. Myös otsikkokentän CRC-bittien poistamista on ehdotettu, koska DLC kuitenkin käyttää virheenkorjauskoodeja. Lähteestä 1 löytyy esimerkki DCL-protokollasta, jossa VCI/VPI-kenttät voidaan poistaa kokonaan, jos solulla kenttien arvot ovat samat kuin edellisen lähetetyn solun arvot.

Kumpaakin virheenkorjauskoodia tullaan käyttämään rinnakkain. Viiveille epäherkissä datasovelluksissa voidaan käyttää ARQ:ta ja reaaliaikaisissa sovelluksissa FEC:tä. Otsikon kompressointi tulee jäämään vapaaehtoiseksi, verkon operaattorin valinnanvaraan jääväksi./1/

8. LIKKUVUUDENHALLINTA

Liikkuvuuden hallitsemiseksi langattomassa ATM-järjestelmässä täytyy huolehtia seuraavasta kolmesta perusasiasta:/1/

- Paikanhallinta
- Reitityksen ja palvelunlaadun hallinta
- Handoff:ien hallinta

Liikkuvuudenhallinnan protokollat ovat kiinteän ATM:n vaatimia protokolla laajennuksia. Luvussa 4 esitetyn mallin mukaan ne muodostavat pääsynhallinnan kanssa puhelunhallinnan.

Paikanhallinnalla on kaksi tehtävää; seurata liikkuvan tilaajan paikkaa ja vastata tilaaja paikkaa koskeviin kyselyihin. Hallinta voidaan jakaa kahteen vastakkaiseen malliin. Ensimmäinen esimerkiksi GSM-järjestelmän mukainen rekistereihin, HLR ja VLR, pohjautuva keskitetty malli, toinen on pelkästään reititystaulukkojen seurantaan perustuva hajautettu malli. Keskitetyssä mallissa yhteyksien kytkeminen aina vaatii aina rekisterien käyttöä ja uudelleen reitityksen tapahtuessa niiden päivittämistä. Hajautettu malli liittyy olennaisena osana myöhemmin esitettävään virtuaaliyhteyspuuhun, *virtual connection tree*, silloin ei tarvita rekistereitä, mikä mahdollisesti alentaa yhteyksien kytkentäaikoja. Tärkeä toteutuskysymys on, missä määrin paikanhallintapalveluita integroidaan olemassa oleviin ATM puhelunhallinta- ja reititysohjelmistoihin./1,5/

Reitityksen hallintaa tarvitaan hallitsemaan reittien muutoksia ja handoff:ien optimoimiseen. Handoff saattaa aiheuttaa merkittäviä muutoksia jokaisen virtuaaliyhteyden optimaaliselle reitille. Tämä johtaa uudelleen reititykseen, jossa muodostetaan uusia reittejä ja puretaan vanhoja. Reitityksen hallintamenetelmät voidaan jakaa kolmeen kategoriaan; ankkuriuudelleen reititys; käytetään GSM:ssä, dynaamisesti uudelleen reitittävät ja valmiiksi luodut puureitit. Jälkimmäisistä esitellään virtuaaliyhteyspuu, jota on ehdotettu liikkuviin ATM-järjestelmiin.IP-maailmassa vältytään kokonaan yhteyksien hallinnalta, koska pakettien reititys tapahtuu vastaanottajan osoitteen mukaan, jolloin ei tarvita yhteyksien hallintaa./5,1/

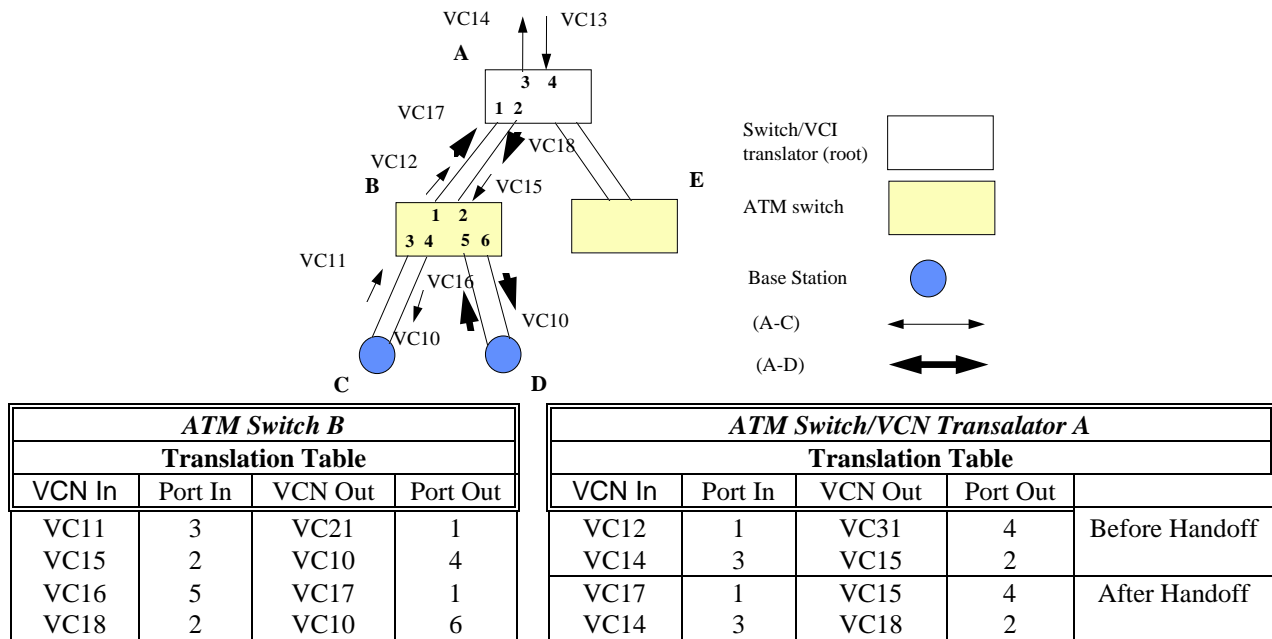
Handoff-hallinnassa huolehditaan tilaajan siirtymisestä tukiasemien välillä. Handoff-hallinnan tulisi huolehtia, että solut saapuvat lähetysjärjestyksessä tilaajalle. Pikosoluympäristössä handoff:ja tapahtuu usein ja siten lisää merkittävästi signaloinnin tarvetta verkossa. Handoff-hallinnan tulisi ylläpitää palvelunlaatua ilman, että se kuormittaisi pääsynhallintaa.Tätä ongelmaa selvittää seuraavan kappaleen esimerkkimenetelmä./1/

8.1 Virtuaaliyhteyspuu

Virtuaaliyhteyspuu on konsepti, jossa handoff:it tapahtuvat ilman pääsynhallinnan palveluita. Virtuaaliyhteyspuu täydellisesti hajauttaa handoff-operaatiot aliverkkoon. Siinä jokainen tilaaja itse huolehtii omista handoff:eista. Virtuaaliyhteyspuussa olevat tukiasemat luovat naapuroivan liikkuvanpääsyn alueen, *neighboring mobile access region*, jossa handoff:it eivät tarvitse pääsynhallinnan palveluita liikkueensa alueella.

Puheluhallinta myöntäessään yhteyden luo sille kuvan WQ mukaisessa verkossa juureen eli ATM-yhdyskäytävään joukon virtuaaliyhteyksiä, VCN eli virtuaaliyhteyspuun, joka määrittelee kaikki reitit juuresta jokaiseen lehteen eli radioporttiin. Eli jokainen VCN määrittelee yhden reitin juuresta lehteen. Tilaaja valitsee yhden virtuaaliyhteyden käyttöönsä ainoastaan lähettämällä ATM-solun tarkoituksenmukaisella VCN:llä varustettuna. Tämän jälkeen solu virtaa jossakin vaiheessa juuren kautta vastaanottajalle joko kiinteän verkkoontai toiseen virtuaaliyhteyspuuhun. Juuressa VCN käännetään kiinteän verkon koko yhteyden ajan kiinteälle VCN:lle.

Toiseen suuntaan liikuttaessa juuri kääntää päinvastoin VCN:t, jolloin solu automaattisesti virtaa oikean radioportin kautta liikkuvalla tilaajalle. Viimeisin liikkuvalla tilaajalta lähetetyn solun päivittää juuren reititystaulukon. Vaikka jokaiselle yhteydessä olevalle liikkuvalla tilaajalle on luotu joukko VCN:iä, ainoastaan yhtä kerrallaan käytetään yksitaisella yhteydellä. Siten virtuaaliyhteyspuun luonti ja VCN-joukon antaminen ei syö radiokanavakapasiteettia eikä kiinteän verkon kapasiteettia. Tukiaseman vaihto eli handoff tapahtuu yksinkertaisesti vaihtamalla lähetetyn solun VCN:ää, käytännössä pitää muitakin toimintoja kuten radiokanavan vaihtoa; MAC-tasolla lähetyksen pyytämistä jne. Kuvassa 5 on esimerkki liikkuvan yhteyden uudelleen reitityksestä virtuaaliyhteyspuussa.



Kuva 5; Esimerkki liikkuvan yhteyden uudelleen reitityksestä

Puhelunhallinnan olennainen etu on siinä, että pääsynhallintaa tarvitaan vain yhteyden muodostukseen ja purkamiseen, liikkuvuudenhallinta on hajautettu kokonaan liikkuville tilaajille. Tämä vähentää olennaisesti pikosoluympäristössä usein tapahtuvan handoff:n tarvitsemää signalointia. Tilaaja usein pysyy koko yhteyden ajan naapuroivan liikkuvanpääsyn alueella. Pääsynhallintaa tarvitaan vain silloin, kun liikkuva tilaaja vaihtaa naapuroivan liikkuvanpääsyn aluetta. Koska virtuaaliyhteyspuussa tilaajat voivat liikkua vapaasti tukiasemalta toiselle ja siten aiheuttaa ylikuormitusta soluissa eli ruuhkaa, on kehitetty kaksi uutta palvelunlaatuparametria; ylikuormitustilassa olemisen todennäköisyys ja ylikuormitustilan keskimääräinen kestoaika. Pääsynhallinnan tehtävänä on huolehtia hyväksytyjen yhteyksien määrästä rajoittamisesta tasolle, jolla yhteyksien palvelulaatu voidaan taata riittävillä parametriarvoilla. Esimerkkitapauksessa 8 tukiaseman; joissa kussakin mahdollista 130 yhteyttä kerralla, käytettäessä 860 yhteyttä 1040 mahdollisesta ylikuormitustilantodennäköisyys oli 1 %./2, 4/

8.2 Palvelunlaatu, QoS

Palvelunlaadun säilyttämisen ongelma on olennainen osa liikkuvan ATM-järjestelmän problematiikkaa. Kiinteissä verkoissa palvelunlaadunhallinnan tehtävänä on puhelunhallinnan tasolla jakaa verkon välitys- ja siirtoresursseja ennalta sovitun politiikan mukaan. Liikkuvat tilaajat kohinaisella radiokanavalla siirtotienä sotii monessa paikassa alkuperäisen lähes virheettömän valokuidun kanssa. Palvelunlaadun säilyttämisen puolesta joudutaan toimimaan useilla tasoilla. Fyysisellä tasolla etsitään parempia modulointi-, antenni- ja korjaintekniikoita. Protokollakerroksilla on omat keinonsa havaita ja korjata virheitä, jakaa rajoitettua kapasiteettia kaikille käyttäjille palvelutarpeen mukaan ja liikkuvuudenhallinta edesauttaa sovittujen palvelunlaatuksien täyttämistä. Puhelunhallinnalla on olennainen tehtävä verkkoresurssien jaossa. Se määrittelee omalla puhelunhyväksymispolitiikallaan aliverkon kyvyn toteuttaa pääsynhyväksynnässä myönnettyä palvelunlaatua. Tämän työn helpottamiseksi on määritelty uusia laatuparametreja kuten edellisessä luvussa esitettiin./1,2,3,4,5,6,7,8/

9. LANGATON ATM-PROJEKTEJA

Seuraavaan taulukoon on koottu tällä hetkellä käynnissä olevia projekteja teknisine tietoineen./9/.

Taulukko 2; Käynnissä olevat langattomat ATM-projektit

Koejärjestely	Arkkitehtuuri	Liitäntä (MAC)	Modulointi	Taajuus	Kaistat
ACTS MEDIAN Project	Sisätilan langaton LAN	Multiple Access Method Adaptive TDD	OFDM	RF/IF 60 GHz	155 Mbit/s
Lucent Wireless ATM System for Platinum (WASP)	Langaton modeemi	Tukiasemaohjattava, TDD-operointi, vaihteleva bittipituus	DQPSK	2,4 GHz	2 Mbit/s
NEC/USA WATMnet	Mikrosolut	Räätälöity MAC, DLC ja langaton ohjaus vain langattomalle segmentille		2,4 GHz	8 Mbit/s
NTT/Japani ATM Access System (AWA)	Mikro- ja pikosolut (<100m)	TDMA-TDD	QPSK/ Differential detection	SFH-kaista 3-30 GHz	80 (50) Mbit/s
Olivetti Radio ATM (RATM)	Langaton LAN (ATM) -liitäntä	Slotted ALOHA		2,4-2,5 GHz	10 (6) Mbit/s
Magic WAND Radio Subsystem Project	Rakennuksen sisäinen, 1 watin teho, 50 m:n peitto	Mobile Access Scheme based on Contention and Reservation for ATM (MASCARA)	OFDM, 16 kantaaaltoa	5 GHz (17 GHz)	20 Mbit/S, (50 Mbit/S)

10 YHTEENVETO

ATM-pohjaisten matkaviestijärjestelmien kehittymisen moottorina toimii ATM:n generisyys. Rakentamalla langattomat liittymät ATM-pohjaisina pystytään helpommin ottamaan pakettivälityksen hyödyt käyttöön. Erilaisiin tarpeisiin rakennetut verkot tullaan optimoimaan käytettävien palveluiden ja sovellusten mukaan. Suuret liikkuvat ATM-verkot tulevat rakentamaan edellä kuvatuista aliverkoista. Suurnopeuksiset verkot eivät tule kattamaan maantieteellisesti yhtä suuria alueita kuin tämän hetken matkaviestiverkot. Alueelliset kattavat verkot tulevat käyttämään muunlaisia liityntäteknikoita, mutta ovat samalla ATM-yhteensopivia, kun verkkoihin rakennetaan yhdyskäytäviä, protokollakonverttereitä. Verkkoja tulevat rakentamaan sekä perinteiset operaattorit että yritykset, yhteisöt ja julkishallinto.

Liittymien rakentamiselle on vielä paljon teknisiä esteitä, mutta useissa ongelma-kohtissa on jo päästy etenemään. Kehitystyö saattaa johtaa myös toisiinsa yhteensopimattomia liityntäteknikoihin, mutta yhteensopiviin verkkoihin. Eriytymistä saattaa edistää verkkojen optimointi. Kuten edellä olevissa luvuissa on todettu, erilaiset palveluluokat voivat toimia erilaisilla ratkaisuilla. Kaikkien tässä esitelmässä esiteltyjen ratkaisuiden yhteisenä piirteinä on pyrkimys tukea kaikkia palveluluokkia ja -laatuvaatimuksia. Koska palveluvaatimukset ovat usein ristiriitaisia, niille löytyy eri ratkaisutapoja, joita on vaikea yhdistää yhdeksi kokonaisuudeksi. Sitä varten useimmat ehdotetuista malleista sisältävät valinnanvaraisia vaihtoehtoja kulloisenkin ympäristön vaatimuksille optimoitavaksi. Liittymissä ja verkoissa on huomioitava myös päätelaitteet. Puhutaan ns. älykkäistä ja tyhmistä päätelaitteista, jotka

kummatkin toimivat omanlaisissa sovelluksissa ja toimintaympäristöissä, mikä aiheuttaa liittymille omat vaatimuksensa.

Hallitseva piirre tulevissa verkkoratkaisuissa on hajautettu hallinta ja prosessointi. Nykyisistä ratkaisuista poiketen virtuaaliyhteyspuun tapaisilla ratkaisulla pystytään pikosoluympäristöissä vähentämään merkittävästi signaloinnin ja prosessoinnin tarvetta.

Tulevaisuuden matkaviestiverkkojen yleispiirre on moninaisuus; on monenlaisia päätelaitteita, verkkopalveluita, verkkoja, palvelulaatuja, sovelluksia jne , ja adaptiivisuus; järjestelmät ja päätelaitteet sopeutuvat erilaisiin ympäristöihin.

LÄHDELUETTELO

- /1/ Ayanoglu E.; Eng K.; Karol M., Wireless ATM: Limits, Challenges, and Proposals, IEEE Personal Communications, 4, August 1996, s 18-34
- /2/ Acampora, A., Wireless ATM: A Perspective on Issues and Prospects, IEEE Personal Communications, 4, August 1996, s 8-17
- /3/ Agrawal, P.; Hyden, E.; Krzyzanowski, P.; Mishra, P.; Srivastava, M.; Trotter, J., SWAN: A Mobile Multimedia Wireless Network, IEEE Personal Communications, 3, April 1996, s 18-33
- /4/ Acampora, A.; Naghshineh, M., An Architecture and Methodology for Mobile-executed Handoff in Cellular ATM Networks, IEEE Selected Areas in Communications, 8, October 1994, s 1365-1374
- /5/ Raychaudhuri, D., Wireless ATM Networks: Architecture, System Design and Prototyping, IEEE Personal Communications, 3, April 1996, s 42-49
- /6/ Raychaudhuri, D., ATM Based Transport Architecture for Multiservices Wireless Personal Communications Networks, Conference Record - International Conference on Communications, IEEE, 1, 1994, s 559-565
- /7/ Barton, M.; Hsing, T., Architecture Wireless ATM Networks, IEEE International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio, IEEE, 2, 1995, s 778-782
- /8/ Geiji, R., Mobile Multimedia Scenario Using ATM and Microcellular Technologies, IEEE Transactions on Vehicular Technology, 3, August 1994, s 699-703
- /9/ Hänninen, V., Langaton ATM, Prosessori, 10, 1996, s 35-37
- /10/ Lagus, A., Langaton ATM, Tietoverkko, 8, 1996, s 62-64