



Concept models have been used successfully in automobile industry to test the reactions and opinions of customers to new design ideas. Now the same idea has been applied to the design and validation of the future media phone at the University of Oulu and VTT Electronics in co-operation with Nokia Mobile Phones, Sonera, Polar Electro, and Metsävainio Design. Recently, the first prototype, based on the concept model, has been constructed.

The prototype will be used as a development platform for personal broadband multimedia services in a mobile environment. The future phone will no longer be a bare communication device, but an intelligent assistant, which receives information from a numerous sensors in our environment and converts it to the form, which is easily understood by the user. CyPhone uses picocellular networks for the communication with the environment. The picocellular network provides a broadband access to terminals within a very limited coverage area, the diameter of which is typically some 10-100 meters. Collected information is processed by the CyPhone and presented to the user in an augmented reality display according to a currently active personal profile. The CyPhone prototype terminal is a wearable computer having a miniature video camera, see-through head-mounted-display, and a broadband access to Internet and ubiquitous services in the environment.

The most challenging research problems in the area of mobile augmented reality are the calculation and determination of communication and processing load models. Constraints reducing the feeling of immersion in a virtual environment are peer-to-peer object detection time, connection creation and communication delays, annotation fetch and synchronisation cycles, and local tracking. Peer-to-peer object detection time determines, how quickly the telepresence view changes according to user's head movements. Using omni-directional camera the telepresence view can be calculated locally in receiver's terminal and thus the peer-to-peer detection time can be reduced to zero.

Images and further information can be found in the URL www.ee.oulu.fi/projects/CyPhone. The team is led by professor Petri Pulli (petri.pulli@oulu.fi).

Tulevaisuuden mediapuhelin

CyPhone on todellisuutta

Konseptimalli CyPhonen hologrammikuvan heijastavasta näytöstä. A concept model of CyPhone's holo-graphic display.



Kuva: Metsävainio Design

Tietoliikenne on kasvamassa suurimmaksi liiketoiminnaksi ohi autoteollisuuden. Autoteollisuuden menestys on nojannut muotoilu- ja tekniikkatutkielmiin. Myös tietoliikenneala testaa markkinapalautetta ja valmistelee mielipidevaihtajia konseptimalleilla, kuten CyPhone. Siitä on nyt valmistunut myös toimiva prototyyppi.



Liikkuvan tietoliikenteen kehitys yhä laajakaistaisempiin solukoverkkoihin mahdollistaa lyhyen kantaman nopean tiedonsiirron ihmisen mukana kulkevassa henkilökohtaisessa solussa. Solu kommunikoi käyttäjän ympäristössä olevien älykkäiden antureiden kanssa muuttamalla visuaaliseen muotoon ympäristöstä saatavaa tietoa (esimerkiksi kahvikupin lämpötila tai auton polttoaineen määrä) lisätyn todellisuuden keinoin.

Älykäs elinympäristö

Oulussa tehtävä tutkimus keskittyy reaaliaikaiseen etäläsnäoloon ja lisätyn todellisuuden sovelluksiin sekä niiden reaaliaikavaatimusten toteutustekniikoihin. Tutkimus- ja kehitystyötä varten on rakennettu tulevaisuuden mediapuhelimen prototyyppi, joka on pienikokoinen digitaalisen stereokameran, silmikkonäytön, päällepuettavan tietokoneen ja laajakaistaisen matkapuhelimen yhdistelmä.

CyPhone-projektissa tutkimuksen ydinajatus on käyttää hyvin lyhyen kantaman radioliikenneverkkoa, joka liittyy käyttäjän älykkääseen ympäristöön. Älykkäässä ympäristössä on joukko aktiivisia anturi- ja laskentalaiteita, jotka voivat tunnistaa käyttäjän läheisyyden ja identiteetin sekä välittää tietonsa käyttäjälle. Erilaisten näyttöjen ja muiden käyttöliittymälaitteiden sijasta vuorovaikutus kaikkien älykkäiden laitteiden kanssa hoidetaan lisätyn todellisuuden avulla, esimerkiksi läpikatselevan silmikkonäytön ja mat-

kapuhelimen tai kaukosäätimen avulla.

Liikkuvan virtuaali- tai lisätyn todellisuuden perusta on langaton pikosoluverkko, kuten Bluetooth. Pienestä solukoosta on virtuaalitodellisuudessa paljon hyötyä. Pienessä solussa on vähemmän käyttäjiä, joten siirtokapasiteetti käyttäjää kohden kasvaa suuremmaksi. Lisäksi tiedonsiirrossa voidaan käyttää korkeampaa taajuutta, joka mahdollistaa laajakaistaisemman tiedonsiirron. Hyvin korkeita taajuuksia ei yleensä käytetä matkapuhelinverkoissa signaalien nopean vaimenemisen vuoksi, mutta jos siirtoäisyys on vain muutamia metrejä, vaimenemisen vaikutus on pieni. Henkilökohtaisen solun säde on kolmesta viiteen metriä, mikä mahdollistaa pienten hyvin matlatehoisten kädessä pidettävien päätelaitteiden valmistamisen.

Autoteollisuus on sovelnut pitkään menestyksekkäästi konseptimalleja, eli muotoilu- ja tekniikkatutkimuksia, joita esitellään autonäytelyissä ympäri maailmaa. Näiden avulla on mahdollista testata markkinapalautetta ja myös valmistella tiedotusvälineitä ja aktiivisia mielipidevaikuttajia tulevista malleista.

Konseptimallitekniikkaa voi soveltaa myös tulevaisuuden mediapuhelimen esittelyyn. Oulun yliopisto ja VTT Elektronikka ovat yhteistyössä tietoliikennealan huippuyritysten Nokian, Soneran ja Polar Electronin kanssa luoneet ja rakentaneet

tulevaisuuden mediapuhelimen konseptimallin. Tämän konseptin pohjalta on nyt valmistunut myös ensimmäinen toimiva prototyyppi. Prototyyppiä käytetään kehitysympäristössä tulevaisuuden mediapuhelimen lisätyn todellisuuteen perustuvien käyttöliittymä- ja palvelukonseptien suunnittelussa, kehittämisessä ja testauksessa.

Liikkuvan lisätyn todellisuuden haasteet

Tutkimusmielessä mielenkiintoisimpia ja haasteellisimpia tehtäviä ovat erilaisten lisätyn todellisuuden kommunikointi- ja laskentakuormamallien ja reaaliaikaisen käyttäytymisen selvittäminen ja ennustaminen. Etäläsnäolon ja virtuaalitodellisuuden sovelluksissa voidaan tunnistaa erilaisia reaaliaikaisuutta rajoittavia tekijöitä. Esimerkiksi sovellustenvälinen olion havaitsemisaika määrää, kuinka nopeasti etäläsnäönäkymä siirtyy vastaanottajan halumaan kohteeseen tai paikkaan.

Uusimmissa tutkimuksissa on kokeiltu reaaliaikaista näkymästä riippumatonta kuvan luomista ympärisuuntaavasta videokuvasta. Siinä videokamera on suunnattu kohtisuoraan ylös- tai alaspäin ja 360-asteinen donitsimainen kuva ympäristöstä saadaan pallopeilin tai hyperbolisen peilin avulla. Sama kuva voidaan siirtää kaikille vastaanottajille, joista kukin laskee itselleen paikallisesti oman normaalinäkymänsä.

Yhteyden luonti ja siirtoviiveet julkisessa verkossa määräävät etäläsnäoloyhteyden kytkentä- ja käyttönopeuden. Siirtoa voidaan tehostaa lähetyksenopeutta säätävillä kuljetusprotokollilla, jolloin vastaanottajan ei tarvitse ylläpitää suurta puskuria vastaanotettujen pakettien uudelleenjärjestykseen ja videonäytteen synkronointiin.

Annotaatiopalvelut, kuten henkilökohtainen navigointi ja

opastus, vaativat tiedon nopeaa päivitystä. Annotaatiohakusykli määrää, kuinka nopeasti päte-laite voi ottaa yhteyden virtuaalimaailman mallia ylläpitävään palvelimeen, joka sisältää tarvittavan älykkyyden maiseman luomiseen. Annotaation tahdistussykli määrää, kuinka nopeasti lisätyn todellisuuden annotaatiot päivittyvät suuntaformaation muuttuessa eli kuinka nopeasti ne pysyvät reaali-maailman tahdissa.

Paikallinen seuranta määrää, kuinka nopeasti ja tarkasti käyttäjän liikkeet ja sijainti voidaan todeta paikannusjärjestelmän avulla. Paikallisen seuranta on paikannustarkkuuden, näytteistystaajuuden, suodatuksen, saatavissa olevien etäisyysien sekä käyttäjän ja olioiden reaaliaikaneuvojen funktio. Tutkimushankkeessa pyritään syventämään ymmärrystä kuorman ja vasteaikojen ominaisuuksista ja niiden suhteesta aistittavaan palvelun laatuun. Tulokset ovat arvokkaita lisätyn todellisuuden palveluita, verkkoja ja päätelaitteita valmistaville yrityksille.

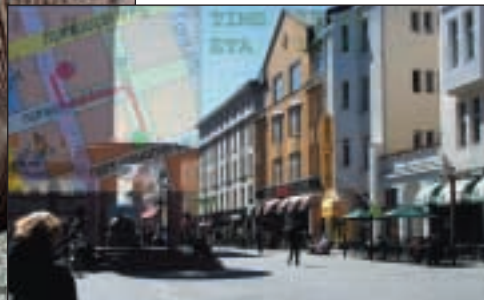
Lisätyn todellisuuden palveluita

Kirstyvä kilpailu vaatii suomalaiselta tietoteollisuudelta ja tietoliikenneoperaattoreilta erikoistumista ja uusien tuotekonseptien kehittämistä. Matkapuhelinjärjestelmien alalla lisäarvoa voidaan saada tarjoamalla asiakkaille räätälöityä laitteita ja uusia palveluita. CyPhone-konsepti toimii edelläkävijänä tarjoamalla testialustan monien mahdollisten lisäarvopalveluiden kokeilemiseen. Palvelut voidaan jakaa seuraaviin kategorioihin:

- annotaatiopalvelut (henkilökohtainen navigointi, opastus, elektroninen kaupankäynti)
- etäläsnäolopalvelut (turismi, sairaanhoito, teleoperointi)
- valvonta ja huolto (vanhusten seuranta ja omaisuuden turvaaminen sekä hälytysjärjestelmät)
- kotipalvelut (lasten ja vanhusten päivähoito)
- viihdepalvelut (ryhmäpelit, urheilu, harjoittelu)
- henkilökohtaiset palvelut (lemmit, virtuaalilemmikit, virtuaalinen perhe, virtuaaliset ystävät, cyber-seurustelu)

Henkilökohtainen navigointi

Yksi uusimmista ja lupaavimmista palvelukonsepteista on henkilökohtainen navigointi. Konferenssivierailija tai matkailija voi kysyä palveluntarjoajalta sijaintiaan tai reittiä oikeaan



Ulkotilojen navigointipalvelun koekäyttöä Oulun yliopiston alueella. Testing the outdoor navigation service in the University of Oulu campus area.

Käyttäjän silmikkonäytölle esitettävä kuva CyPhonen lisätyn todellisuuden navigointipalvelusta Oulun keskustasta. An example user's view of CyPhone's augmented reality based navigation service in the City of Oulu.

kohteeseen vieraassa kaupungissa.

Lisättyä todellisuutta voidaan soveltaa opastuksessa näyttämällä nuolilla ja teksteillä suuntaa ja etäisyystietoa käyttäjän virtuaalilasiensa tai tavallisten silmälasien näytöllä. Kukaan ei voi huomata henkilön olevan ulkopaikkakuntalainen, mikä auttaa häntä tuntemaan olonsa turvallisesti ja varmaksi. Navigointipalveluista tulee suurella todennäköisyydellä arvokas lisäpalvelu matkapuhelimiin viiden kymmenen vuoden kuluessa, kun GPS-vastaanottimista tulee matkapuhelimen vakiovaruste.

CyPhone-prototyypissä käyttäjää seurataan differentiaali GPS:llä ja elektronisella kompassilla. Kompassi antaa katseasuunta- ja -korkeusinformaatiota, jonka perusteella lisätyn todellisuuden annotaatiot kohdistetaan oikeaan paikkaan.

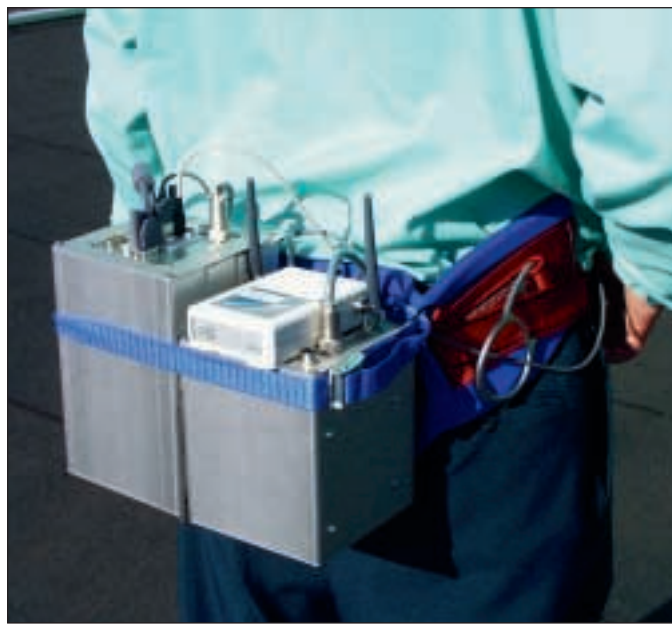
Etäläsnäolo, teleoperointi ja kaupankäynti

Toinen uusi palvelukoncepti on liikkuva etäläsnäolo. Sitä voidaan hyödyntää kokouksissa ja uusissa työtaimissa, vartiointissa, valvonnassa, ohjauksessa ja turvallisuuspalveluissa. Tulevaisuudessa etäläsnäolo voi edesauttaa vanhusten kotona asumista turvallisuuden parantamisessa.

Etäläsnäoloa voidaan hyödyntää myös virtuaalitourismissa. Turisti voi tunnistaa ja tallentaa taidetta maailman kuuluisimissa museoissa ja lähettää kokemuksensa kotiin reaaliajassa Internetin välityksellä. Etäläsnäolo on enemmän kuin pelkkä videoneuvotteluyhteys, koska se mahdollistaa älykkään ympäristötiedon välittämisen käyttäjälle videokuvan lisäksi.

Teleoperointi mahdollistaa etäläsnäolon lisäksi vuorovaikutuksen älykkäiden laitteiden kanssa. Esimerkiksi kotona päälle unohtunut kahvinkeitin voidaan käydä sammuttamassa puhelimella työmatkalla.

Elektronisessa kaupankäynnissä ja viihdepalveluissa on suuri mahdollisuus lisätyn todellisuuden hyödyntämiseen. Perusajatus on liittää tuotetietoa ja linkkejä fyysisiin reaali maailman olioihin. Linkkien avulla kuluttaja voi saada lisätietoa tuotteen käytöstä, huollosta tai tavoittaa helposti tuotteen valmistajan. Hyödyntämällä päälaitteen sijaintitietoa voidaan kehittää paikkasidonnaisia palveluita. Käyttäjä voi esimerkiksi ilmaista etsivänsä syötävää, jolloin läheisten ravintoloiden tarjoukset, ruokalistat ja sijainnit



CyPhonen päälaitteprototyyppi on puettava tietokone, jota voidaan käyttää lukuisien eri sovellusten kehitysalustana. Tukevaan vyöhön on mahdollista kiinnittää esimerkiksi kameroita tai DGPS-vastaanotin, jotka voidaan myös liittää suoraan suoritusyksikköön. The prototype of the CyPhone terminal is a wearable computer which can be used as a platform in testing several applications. Auxiliary devices, such as video cameras or DGPS navigator, can be attached to the sturdy belt and connected to the processing unit of the prototype.

näkyvät matkaviestimessä. Sopivan paikan löydyttyä pöytävarausta onnistuu myös omalla matkaviestimellä.

CyPhonen ensimmäinen prototyyppi

Tutkimushanke edistyy portaittain konseptimallien testauksesta ja visualisoinnista, virtuaaliprototyyppeihin ja lopulta todellisiin laitteisiin. Tällä hetkellä CyPhone-mediapuhelimesta on luotu kolme konseptimallia ja yksi laiteprototyyppi.

Tulevaisuuden matkaviestin-konseptista on viime keväänä toteutettu ensimmäinen prototyyppi. Se on nopeilla tietoliikenneyhteyksillä, riittävällä laskentakapasiteetilla, silmikkönäytöllä ja paikannusjärjestelmällä varustettu puettava tietokone.

Tietotekniikan kehitys mahdollistaa jatkuvasti suuremman suorituskyvyn pakkaamisen pienempään tilaan. Se mikä kymmenen vuotta sitten vaati lipaston kokoisen kotilon, mahtuu nyt 3,7 litran tilavuuteen ja on tulevaisuudessa nykyisten matkapuhelinten kokoinen. Nyt rakennettu prototyyppi pohjautuu Intelin suoritinarkkitehtuuriin ja on toteutettu kaupallisilla PC/104+ -moduuleilla. Tällä tavoin saadaan kohtuullisin kustannuksin toteutettua riittävän pienikokoinen kannettava laite, joka soveltuu tulevaisuuden matkaviestimen prototyypiksi ja mukautuu helposti erilaisiin koesovelluksiin.

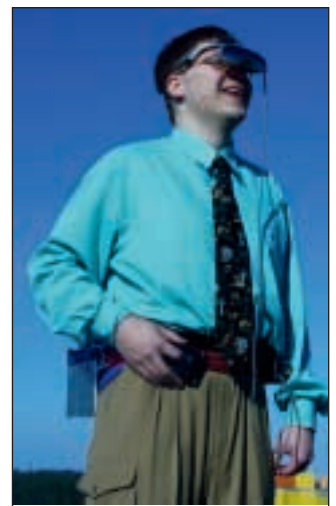
Liikkuvan lisätyn todellisuuden laitevaatimukset

Lisätty todellisuus tarkoittaa, että todellisen maailman näkymän sekaan on lisätty keinotekoisia tietokoneen tuottamia osia, esimerkiksi tekstiä, kuvaa tai ääntä. Lisätty todellisuus, ja erityisesti liikkuva lisätty todellisuus, jonka käyttäjä voi kulkea vapaasti, asettavat laitteistolle vaatimuksia, joita nykyiset matkaviestimet eivät täytä.

Jotta lisätty informaatio voidaan kohdistaa oikein, on käyttäjän sijainti ja katseasuunta tai matkaviestimen osoitussuunta tiedettävä. Tämä edellyttää kaikkialla toimivaa paikannusjärjestelmää. Ulkotiloissa paikannuksessa voidaan helposti hyödyntää satelliitteja, esimerkiksi GPS-järjestelmää, mutta sisätiloissa on käytettävä muita menetelmiä riittävän tarkan paikkatiedon saamiseksi.

Mikään nykyisistä paikannusjärjestelmistä ei täydellisesti täytä liikkuvan lisätyn todellisuuden vaatimuksia, mutta eri järjestelmiä yhdistämällä voidaan toteuttaa riittävät ominaisuudet tarjoava kokonaisuus. Prototyypilaitteen suoritusyksikkö on varustettu suurella määrällä liityntöjä, joihin eri paikannuslaitteet, esimerkiksi satelliittipaikannin ja elektroninen kompassi, voidaan kytkeä.

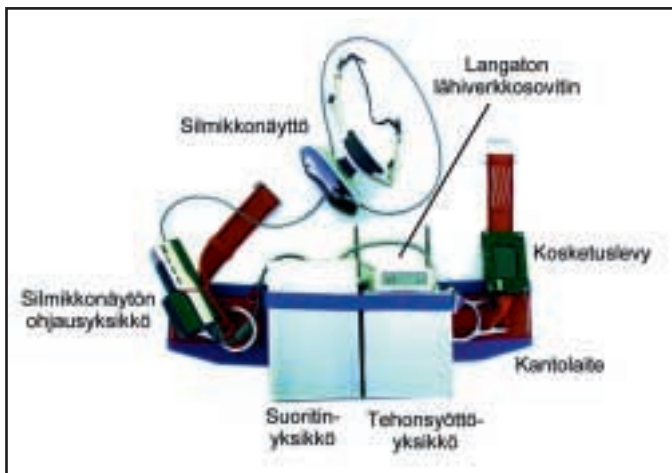
Visuaalisen lisätyn todellisuuden informaation hyödyntämiseksi ja sijoittamiseksi oikeaan paikkaan käyttäjän näkö-



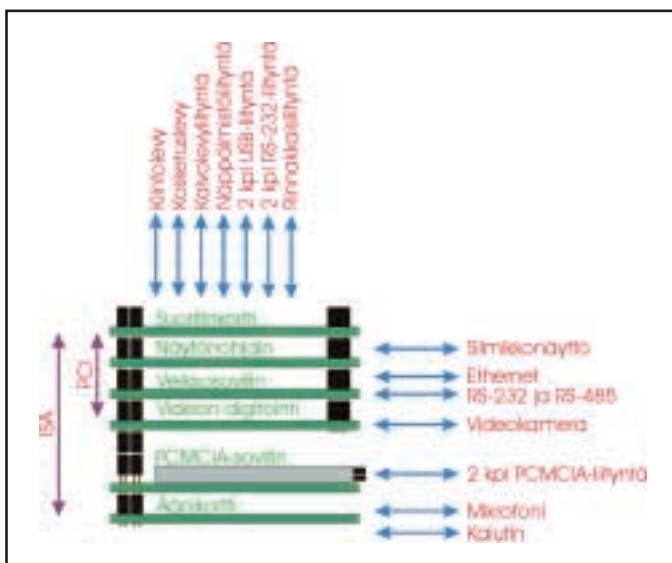
Prototyyppi on päällepuettava laite, joten käyttäjän kädet ovat vapaina muihin tehtäviin. The prototype is a wearable device that enables the user to perform other tasks while using the terminal.

kentässä käytetään useimmiten kevyttä läpikatseltavaa silmikonäyttöä. Prototyypilaitteessa käytetään optisesti läpikatsottavaa näyttöä, jossa keinotekoiset osat havaitaan todellisen maailman päällä. Toinen tapa toteuttaa läpikatsominen on kuvata maailmaa kameralla ja yhdistää lisättävä informaatio digitoitun kuvaan ennen sen esittämistä käyttäjälle. Tällöin kuitenkin tarvitaan enemmän laskentatehoa ja kamera, sekä stereonäkemisen mahdollistavassa järjestelmässä kaksi kameraa.

Paikkatietojen, videokuvan, äänen ja käyttäjän tietojen lähettämiseksi tulevaisuuden matkaviestimet tarvitsevat nopeat tietoliikenneyhteydet. Prototyypilaitteelle asetettiin vaatimuksiksi vähintään 100 kbit/s tiedonsiirtonopeus. Tietoliikenneyhteydeksi valittiin langaton lähiverkko, joka tarjoaa suuren siirtokapasiteetin ja vastaa useilta ominaisuuksiltaan matkavies-



CyPhone-päätelaitteen prototyyppi koostuu erillisistä yksiköistä, jotka kiinnittyvät vyöhön. The prototype implementation of the CyPhone terminal consists of several units that are connected to a belt.



Suoritusyksikön elektronikka on toteutettu PC/104+ -arkkitehtuurilla, joka mahdollistaa moduulien helpon lisäämisen ja poiston. The electronics of the processing unit are implemented using the PC/104+ architecture, which provides easy installation and removal of modules.

tinverkkoihin tulevaa GPRS-palvelua. Langattoman lähiverkon rajallisen kuuluvuuden vuoksi prototyyppilaitteessa voidaan käyttää myös muita tiedonsiirtovälineitä, esimerkiksi GSM-dataa, jolloin nopeus tosin jää huomattavasti langatonta lähiverkkoa hitaammaksi.

Prototyyppilaitteen rakenne ja ominaisuudet Kaupallisesti saatavat puuttavat tietokoneet eivät sovellu tulevaisuuden matkaviestimen prototyyppiin, koska niiden laajennettavuus ja mukautuvuus erilaisiin sovelluksiin ei ole riittävä. Suoritusyksikkönä ei voitu hyödyntää myöskään kannettavia tietokoneita niiden rajallisen laajennettavuuden vuoksi. Laitteiston arkkitehtuuriksi valittiin pienikokoinen ja modulaarinen PC/104+, joka mahdollistaa

erittäin hyvän laajennettavuuden. Moduulit on pakattu Parvoksen valmistamiin alumiinikoteloihin ja kiinnitetty tukevaan vyöhön. Laitteisto on siten kestävä sekä helppo pukea päälle ja kantaa mukana.

PC/104+-standardin mukaisissa moduuleissa on PC- ja ISA-väylien lisäksi PCI-väylä, joten niiden suorituskyky on riittävä myös videokuvan käsittelyn vaatimaan tiedonsiirtoon. Moduulien koko on vain 90 x 96 mm ja korkeus 15 mm, ja ne pinotaan päällekkäin ilman taustalevyä.

Arkkitehtuurin etuna on laitteiston päivityksen helppous. Haluttaessa voidaan koko suoritusyksikkö vaihtaa nopeampaan – vain yksi kortti vaihdetaan toiseen ja laitteiston laskentateho kaksinkertaistuu. PC/104+ -moduulit on useimmiten suunniteltu

tu mahdollisimman vähän tehoa vaativiksi. Tämä on erittäin tärkeä ominaisuus kannettavassa laitteessa, jossa kaikki energia täytyy joko kuljettaa mukana tai tuottaa itse.

Suoritusmoduulina on tällä hetkellä Ampron valmistama 133 MHz:n Pentium-kortti, joka päivitetään lähiaikoina 266 MHz:n Pentium MMX -korttiin. Päivityksen myötä laskentateho kasvaa, jolloin esimerkiksi videokuva kyetään pakkaamaan tehokkaammin. Tietoliikenneyhteytenä on BreezeComin 3 Mbit/s nopeuteen kykenevä SA-10D Pro langaton lähiverkkosovitin, joka on yhdistetty Ampron 10/100 Mbit/s Ethernet-sovittimeen. 10 Mbit/s tiedonsiirtonopeuteen kykenevien langattomien lähiverkkojen tullessa markkinoille vaihdetaan nykyinen sovitin nopeampaan PCMCIA-korttiin.

Silmikkonäyttö on Sonyn valmistama optisesti läpikatsottava Glasstron, jossa voidaan esittää 800x600 pisteen kuva molemmille silmille. Näytönohjaimena on 4 Mt:n muistilla ja CT65555-piirillä varustettu Adastra VGA104plus. Kuvandigitointikorttina on Imagenation PCX200, audiokorttina Ampron ESM ja ohjainlaitteena Interlink Electronicsin valmistama Versapad VP8000 -kosketuslevy.

Massamuistina käytetään IBM:n DTCA-24090 kiintolevyä, joskin massamuistin tehonkulutus voidaan pienentää neljäsosaan käyttämällä kalliimpaa Flash-muistia. Teholähdekorttina on Symmetricin DCP104-moduuli, josta saadaan + 5 V ja + 12 V jännitteet. 12 V jännitettä tarvitaan nykyiselle digitaalkameralle, mutta seuraavassa versiossa tullaan siirtymään pelkästään 5 V akkujännitteeseen, koska siten tehonkulutusta voidaan pienentää entisestään. Samalla akku toteutetaan aiempaa helpommin puettavaksi, pienikokoisemmaksi ja kevyemmäksi. Nykykokoonpanolla laitteiston toiminta-aika ilman tehonsäästötiloja on 2,5 tuntia. Tehonsäästötiloja hyödyntämällä toiminta aika kaksinkertaistuu viiteen tuntiin.

Lopullisen päätelaitteen koosta koelaitetta ei palveluiden ja sovellusten testaamiseksi kannata valmistaa, sillä pieni koko asettaa aina rajoituksia laajennettavuudelle, muunneltavuudelle ja laitteen ominaisuuksille. Tulevaisuuden palveluiden, esimerkiksi henkilökohtaisen navigoinnin, testaaminen käytännössä on kuitenkin välttämätöntä niiden kehittämiseksi ja käyttökelpoisuuden arvioimi-



Konsepti CyPhonen lisälaitteesta, jolla voidaan siirtää tietoa langattomasti puhelimesta silmikkonäyttöön. A concept of a CyPhone accessory that enables wireless information transfer from the terminal to the head mounted display.

seksi. Tässä esitelty CyPhonen prototyyppilaitteisto on kehitetty tähän tarkoitukseen ja se soveltuu siihen hyvin.

Cyphone-konseptimallin toiminnallinen prototyyppi selkäreppuversiona, Sonyn silmikoilla ja opastussovelluksella varustettuna vietiin kenttäkokeisiin Oulun kävelykadulle alkusyksyllä. Opastussovellusta tullaan esittelemään myös kansainvälisessä IST'99-konferenssissa Helsingin messukeskuksessa 22.-24.11 osana Finnish Showroom näyttelyä. ●

Aiheesta enemmän
CyPhone-projekti:
www.ee.oulu.fi/CyPhone.
VTT Elektronikka: www.vtt.fi

Taustat

Kirjoittajat: Petri Pulli on professori Oulun yliopistossa. Tino Pyssysalo työskentelee tutkijana Oulun yliopistossa. Tuukka Turunen työskentelee tutkijana Oulun yliopistossa.

Yhteystieto: petri.pulli@oulu.fi

Tutkimus: CyPhone

Yhteistyössä: Nokia Mobile Phones, VTT Elektronikka ja Oulun Yliopisto.

Teknologiaohjelma:
ETX, Telectronics