Virrankulutus mobiililaitteissa

Juha Tolvanen

Helsinki 7.11.2000

Ubicomp -tulevaisuudenkuvako? -seminaari

HELSINGIN YLIOPISTO
Tietojenkäsittelytieteen laitos

Virrankulutus mobiililaitteissa

Juha Tolvanen

Ubicomp -tulevaisuudenkuvako? -seminaari
Tietojenkäsittelytieteen laitos
Helsingin yliopisto
7.11.2000

Liikkuvissa päätelaitteissa akun jännite ratkaisee laitteen toiminta-ajan. Vaikka nykyiset akut ovatkin tehokkaita, laitteen toiminta-ajan pidentymiseen vaikuttavat myös erilaiset energiansäästötoiminnot.

Selvittämällä päätelaitteen virtaa kuluttavat osat voidaan energiankulutusta vähentää komponenttikohtaisesti. Tällöin voidaan suunnitella komponentteja, jotka kuluttavat mahdollisimman vähän virtaa. Toinen mahdollisuus vähäisen virrankulutuksen saavuttamiseksi on joutokäyntihetkien hyödyntäminen komponenttikohtaisesti. Energiansäästötoimintojen on kuitenkin sovellettava käyttäjien ja sovellusten tarpeisiin. Tämä ei ole kuitenkaan aina helposti ratkaistavissa.

Sisältö

1 Johdanto **1**

2 Mihin energiaa kuluu **1**

2.1 Virtaa kuluttavat komponetit 3

3 Radiosolukkoverkot **4**

3.1 Verkon rakenne 4

3.2 Virrankulutus 5

4 Energiankulutuksen hallintatekniikoita **6**

4.1 Esimerkkiprotokolla 7

4.2 Ajoitus 9

4.3 Energiansäästöprotokollan testaus 10

4.4 Testin tulokset 11

5 Yhteenveto **13**

Lähteet **14**

1 Johdanto

Kannettavissa tai liikkuvissa päätelaitteissa energiansäästö on merkittävä tutkimuskohde, sillä paristojen ja akkujen käyttöaika on rajallinen. Tietoliikenneyhteyden muodostus ja ylläpito on yleensä eräs suurimmista virrankuluttajista kannettavissa päätelaitteissa prosessorin lisäksi.

Selvittämällä päätelaitteen virtaa kuluttavat osat voidaan energiankulutusta vähentää komponenttikohtaisesti. Tällöin voidaan suunnitella komponentteja, jotka kuluttavat mahdollisimman vähän energiaa. Toinen mahdollisuus vähäisen virrankulutuksen saavuttamiseksi on sellaisten hetkien tutkiminen, jolloin päätelaitteella ei ole aktiivista toimintaa.

Langattomien päätelaitteiden yhteydenhallinta perustuu radiosolukkoverkkoihin. Näiden verkkojen tehokkaalla hyötykäytöllä vähennetään myös päätelaitteiden virrankulutusta.

Langaton liikkuva päätelaite toimii täsmälleen niin kauan kuin akussa riittää virtaa. Nykyiset laitteet ovat pieniä ja vähän virtaa kuluttavia. Vaikka laitteiden akut ovat pieniä, ne ovat entistä tehokkaampia. Tietojenkäsittelyssä suuntaus on kohti tietoliikenteestä riippuvia toimintoja ja langattomuutta. Monet tietoliikennelaitteet kuluttavat energiaa jatkuvasti. Langattoman tietoliikenteen energiankulutus riippuu langattomasta laitteesta, sen sovelluksista ja erityisesti laitteen tietoliikenneyhtetyttä ylläpitävästä järjestelmästä. Tietoliikenneyhteyden energiankulutus voi olla 50% kokonaisenergiankulutuksesta matkapuhelimissa ja PDA-laitteissa ja jotakuinkin 10% kannettavissa tietokoneissa. Näin ollen laitteiden tietoliikennealijärjestelmien kehittäminen virtaa säästäviksi on hyödyllistä kannettavien laitteiden kokonaisenergiankulutuksen kannalta.

2 Mihin energiaa kuluu

Kannettavissa tietokoneissa ja vastaavissa päätelaitteissa akun käyttöaika on ratkaiseva tekijä laiteiden käytettävyyden kannalta. Energian kulutuksen vähentämiseksi jokainen energiaa kuluttava osa järjestelmässä on ratkaisevassa asemassa. Akun käyttöaikaa voidaan lisätä suunnittelemalla ja käyttämällä komponentteja, jotka kuluttavat vähän energiaa. Toinen mahdollisuus on pyrkiä säästämään energiaa laitteen käyttöaikana. Kaikki laitteen komponentit eivät nimittäin ole välttämättä aktiivisia, kun laitetta käytetään. Näiden komponenttikohtaisten passivisten hetkien (*low-power states*) huomioiminen kannettavan päätelaitteen energiataloudessa vähentää virrankulutusta. Kaikki komponentit eivät tietenkään kuluta virtaa samalla tavalla. Osa kuluttaa hyvin vähän ja osa erittän paljon, joten kannattaakin huomioida lähinnä paljon virtaa kuluttavat komponentit energian säästöä suunniteltaessa. Yhden komponentin energiankulutus on huomioitava suhteessa koko laitteistoon. Jos tietyllä menetelmällä saavutetaan suuri virrankulutuksen säästö jossakin komponentissa, hyöty jää vähäiseksi, jos komponentti ei ole ratkaisevassa asemassa kokonaisenergiankulutuksen kannalta. Laitteen ja komponenttien käyttötiheydet on myös huomioitava energian kokonaiskulutusta suunniteltaessa. Harvoin käytetty laite ei kuluta virtaa juuri muuhun kuin valmiuden ylläpitoon. Harvoin käytössä oleva komponentti kuluttaa vähän virtaa suhteessa muuhun laitteistoon eikä sen energiankulutus ole ratkaisevaa. Toisaalta joidenkin komponenttien toiminta saattaa aktivoida muita komponentteja. Näin ollen vähän energiaa kuluttava ja harvoin aktiivisena oleva komponenttikin saattaa laukaista ketjun, joka kaiken kaikkiaan kuluttaakin huomattavasti energiaa [Lor95].

Kannettavan laitteen tehokkuus yleensä kärsii, kun virrankulutusta pyritään säästämään huomioimalla komponenttien passiiviset hetket. Esimerkiksi, kun kiintolevyn pyörimishetkiä vähennetään, saantiaika vähenee. Tässä suhteessa jonkinlainen tasapaino on saavutettava. Tasapaino riippuu yleensä komponentista, laitteesta itsestään ja sen käyttötarkoituksesta.

Energiaa voidaan säästää liikkuvassa päätelaitteessa joko ohjelmallisesti tai laitteistoa kehittämällä. Monet ohjelmistoihin perustuvat tekniikat keskittyvät muihin komponentteihin kuin tietoliikennealijärjestelmään. Näyttö voidaan asettaa energiansäästötilaan tietyn ajanjakson kuluttua. Prosessori voidaan pysäyttää tai sen toimintaa voidaan hidastaa riippuen työmäärästä. Kiintolevyn pyörimisaikaa voidaan laskea samoin työmäärästä riipuen. Kaikki menetelmät, joilla näitä alijärjestelmiä voidaan hallita, perustuvat ainakin jossain määrin arvioihin siitä, milloin alijärjestelmiä ei käytetä, ja ne voidaan siten pysäyttää. Samoin kuin muutkin alijärjestelmät, kuten näyttö ja kiintolevy, tietoliikennealijärjestelmäkin kuluttaa virtaa koko ajan, ellei sitä välillä voida sammuttaa.

Pysäytetty kiintolevy tai näyttö voidaan helposti käynnistää uudelleen, kun sitä tarvitaan. Tietoliikenneyhteyden kohdalla asia ei ole aivan yhtä yksinkertainen. Jos kannettavan laitteen tietoliikennealijärjestelmä on pysäytetty, laite on käytännössä suljettu pois verkosta. Kannettava laite voi vain yrittää arvata, milloin verkon muilla solmuilla on lähetettävänä dataa sille. Tällainen tilanne saattaa aiheuttaa verkon solmujen puskureiden täyttymisen. Jos verkon muut solmut eivät voi tietää, milloin jonkin tietyn päätelaitteen tietoliikenneyhteys on suljettu, suljetun päätelaitteen tilan selvittämiseen kuluu turhaan resursseja.

2.1 Virtaa kuluttavat komponetit

Langattomassa tietoliikenteessä prosessori, tietoliikenne ja kiintolevy kuluttavat suurimman osan laitteen akun tarjoamasta tehosta. Sarjaliikenne, hiiri ja näppäimistö kuluttavat niin vähän laitteen kokonaistehosta, ettei niiden energiansäästön tarkastelu ole tarpeellista. Nykyaikaiset LCD-näytöt (*Liguid Crystal Display*) eivät myöskään ole energian suurkuluttajia. LCD-näytöt kuluttavat vain puolet CRT-näytön (*Cathode Ray Tube*) tarvitsemasta energiasta. Säteilemättömät näytöt tosin kuluttavat enemmän energiaa kuin säteilevät, sillä ne tarvitsevat erillisen valonlähteen.

Kuvan 1 taulukossa on esitetty kannettavan Macintosh-tietokoneen komponenttien tehonkulutus ja niiden suhteellinen osuus laitteen kokonaisenergiankulutuksesta. Vaikka taulukko on vuodelta 1995, ja sen jälkeen tietokoneissa ja digitaalielektroniikassa on tapahtunut suurta kehitystä, se antaa kuitenkin suuntaa eri komponenttien energiankulutuksesta.

Component	**Duo 270c**
Processor	1.15 W (11.41%)
Hard drive	1.22 W (12.10%)
Backlight	3.21 W (31.85%)
Display	0.75 W (7.44%)
Modem	0.51 W (5.06%)
Sound	0.19 W (1.88%)
FPU	0.46 W (4.56%)
Video	0.46 W (4.56%)
Power management	0.12 W (1.19%)
Memory	0.06 W (0.60%)
Reducible miscellaneous	1.23 W (12.24%)
Nonreducible miscellaneous	0.72 W (7.11%)
Total	10.08 W

Kuva 1: Macintosh PowerBook Duo 270c. Kannettavan tietokoneen virtaakuluttavat komponentit.

Käyttäjä pystyy myös usein vaikuttamaan laitteensa virrankulutukseen. Monet komponentit tarjoavat säätömahdollisuuksia. Esimerkiksi näytön virransäästötilaan siirtymisen voi ajoittaa. Joissakin laitteissa muun muassa kiintolevyn pyörimiskertojen tiheyteen ja prosessorin suoritusnopeuteen voi vaikuttaa.

3 Radiosolukkoverkot

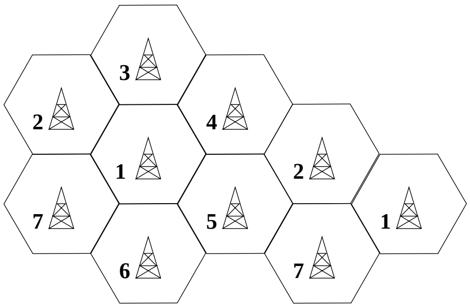
Radiosolukkoverkot muodostavat liikkuvien päätelaitteiden yhteydenhallinnan perustan. Esimerkiksi digitaalisen matkapuhelinverkon toiminta perustuu radiotaajuksien uudelleenkäyttöön ja taajuusalueiden solurakenteeseen. Solurakenne mahdollistaa puhelimen käytön pitkien etäisyyksien päästä.

3.1 Verkon rakenne

Radiosolukkoverkon kattama alue on jaettu nimensä mukaisesti soluihin. Vierekkäiset solut muodostavat solukon, jonka kattamalla alueella radioyhteyttä voidaan käyttää. Jokaisessa solussa on tukiasema. Solulla ja jokaisella sen naapurisolulla on eri taajuusalue. Matkapuhelinverkossa solun koko riippuu arvioidusta solun alueella olevien matkapuhelimien määrästä ja tukiaseman tehokkuudesta. Kaupunkien keskustoissa solun halkaisija voi olla muutama sata metriä ja maaseudulla useita kilometrejä.

Langattoman verkon kattaman alueen jakaminen soluihin tukiasemien avulla mahdollistaa radiotaajuusalueiden tehokkaan käytön, suuren liikenteen välityskapasiteetin ja laajan kaistanleveyden kanavaa kohden. Tällöin päätelaitteen esimerkiksi matkapuhelimen lähetysteho on alhainen, joten virrankulutus on vähäistä. Toisaalta tukiasemia tarvitaan paljon.

Soluverkkoon kytketyissä päätelaitteissa kuten matkapuhelimissa on matalatehoinen lähetin. Siten akulla varustetun matkapuhelimen tehonkulutus on vähäistä. Näin ollen matkapuhelimen ja tukiaseman välinen etäisyys ei voi olla kovin suuri, jotta lähetysteho riittää. Lähetystehojen ollessa matalia samoja taajuuksia voidaan käyttää soluissa, jotka eivät ole vierekkäisiä. Samoja taajuusalueita voidaan käyttää uudelleen, kuten kuvasta 2 ilmenee. Jokainen tukiasema voi lähettää ja vastaanottaa tietyllä taajuusalueella. Näin rajallisten taajuusalueiden käyttö saadaan hyödynnettyä mahdollisimman tarkasti eivätkä tukiasemien taajuusalueet sekoitu keskenään [Sco97].



Kuva 2: Solukkoverkko ja radiotaajuuksien uudelleen hyödyntäminen.

3.2 Virrankulutus

Matkapuhelimessa eniten virtaa kuluttaa kommunikointi tukiaseman kanssa data- tai puheliikenteen aikana. Matkapuhelimien toiminta-aikaa voidaan lisätä järjestelmän tukemalla paristonsäästötoiminnolla. Matkapuhelimissa on useita eri käyttöjännitteitä, jotka kytketään päälle ja pois tarvittavien toimintojen mukaan. Lähetyksen aikana ei siis vastaanotin toimi ja päinvastoin. Matkapuhelimen virrankulutus vähenee, kun osa laitteen toimintakomponenteista kytketään pois päältä hiljaisen liikenteen ajaksi. Matkapuhelinkeskus ohjaa laitteen lepotilaan. Jos puhelimelle tulee kutsu, kun se on lepotilassa, ei kutsua voida välittää, koska puhelimen vastaanotin ei ole toiminnassa. Tällöin matkapuhelinkeskus siirtää tulleen kutsun jonoon puhelimen heräämiseen saakka. Puhelin on lepotilassa vain matkapuhelinkeskuksen määrittämän ajan ja käynnistyy itsekseen, kun aika on kulunut umpeen [MT98].

Solukkoverkoissa eräs kapasiteettia rajoittava tekijä on naapurikanavien aiheuttamat häiriöt. Kapasiteetin ja akunkeston maksimoimiseksi laitteen tulee pyrkiä mahdollisimman alhaiseen lähetystehoon. Toisaalta pitkä välimatka tukiaseman ja matkapuhelimen välillä nostaa lähetystehoa. Matkapuhelimet pystyvätkin muuntamaan lähetystehoa tarvittaessa. Tukiasema voi määrätä matkapuhelimen vaihtamaan lähetystehoa. Lähetystehoon vaikuttaa etäisyyden lisäksi myös kohina. Lähetystehon nostaminen kohinan vaimentamiseksi kuluttaa energiaa ja häiritsee myös muita laitteita. Erilaisia menetelmiä lähetystehon sovittamiseksi kohinatason mukaiseksi häiriötehoa mittaamalla onkin tutkittu [RB97].

4 Energiankulutuksen hallintatekniikoita

Langattomat päätelaitteet toimivat yleensä joko vastaanotto- tai lähetystilassa. Lähetystilassa (*transmit mode*) laite lähettää dataa ja vastaanottotilassa (*receive mode*) kuuntelee tukiasemaa tai vastaanottaa dataa. Suurimman osan ajasta laite on vastaanottotilassa ja silloinkin enimmäkseen vain kuuntelee tukiasemaa. Vastaanottotilassa laite kuluttaa vähemmän virtaa kuin lähetystilassa.

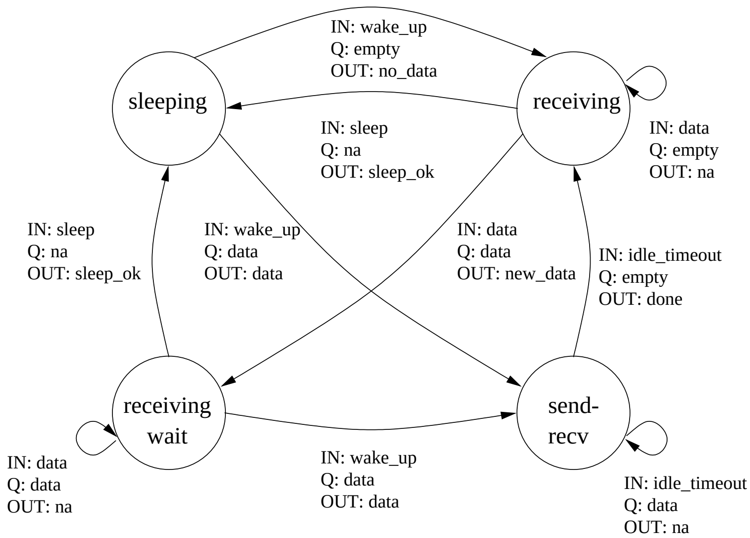
Energiankulutusta voidaan vähentää tietoliikenneyhteyden hallintaa parantamalla. Monet energian säästötekniikat perustuvat arvioihin hetkistä, jolloin energiaa kuluttavat laitteet eivät ole käytössä. Tässä luvussa esitellään eräs protokolla, joka noudattaa tätä periaatetta [KK98]. Energiansäästö saavutetaan katkaisemalla tietoliikenneyhteys sopivina ajankohtina. Tällaiseen menetelmään perustuvalla protokollalla voidaan saavuttaa jopa 83% energiansäästö tietoliikennealijärjestelmän osalta. Kannettavissa tietokoneissa tämä menetelmä säästää 6% - 9% kokonaisenergiankulutuksesta ja PDA-laitteissa 40%. Energiansäästöprotokolla aiheuttaa hieman viivettä tietoliikenteessä. Protokollan on selvittävä tiedon puskuroinnista yhteyden molemmissa päissä ja pääteltävä, milloin yhteys avataan jälleen. Protokolla ei saa myöskään aiheuttaa energiankulutuksen lisääntymistä tietoliikenneyhteyden muissa osissa. Tietoliikenneyhteyden energiankulutusta voidaan vähentää myös muilla tavoin, esimerkiksi vähentämällä siirrettävän datan määrää käytettäessä pakkausta, mutta tällöin prosessorin kuormitus ja energiankulutus kasvaa.

Kun tietoliikenneyhteys katkaistaan päätelaitteen ja tukiaseman väliltä tietyin aikavälein, mahdolliset datalähetykset täytyy pystyä varastoimaan puskureihin molemmissa päissä. Viiveen ja energiansäästön tasapainossa on ratkaisevaa, mihin ajankohtiin käynnistys-/sammutushetket ajoittuvat. Esimerkkinä käytettävän protokollan perusajatus on kerätä energiansäästö useista joutokäyntihetkistä, joita koko ajan päällä olevassa tietoliikenneyhteydessä esiintyy. Kuitenkin on huomioitava, ettei protokolla saa aiheuttaa päätelaitteen muissa osissa energiankulutuksen lisääntymistä tai liiallista kuormituksen lisääntymistä tukiasemassa. Tiedonsiirron vaikutuksesta myös prosessorin ja kiintolevyn virrankulutus kasvaa. Protokolla kuluttaa virtaa prosessorissa normaalia energianhallintaprotokollaa enemmän, mutta ei huomattavissa määrin.

4.1 Esimerkkiprotokolla

Tässä protokollassa päätelaite (*master*) antaa käskyjä tukiasemalle (*slave*). Protokollaa kutsutaan energiansäästöprotokollaksi. Kun päätelaite herää sleep-tilasta, se lähettää kyselyn tukiasemalle selvittääkseen onko tukiasemalla dataa lähetettävänä päätelaitteelle. Kannettavan päätelaitteen tietoliikennealijärjestelmän toiminnan keskeyttäminen aika ajoin aiheuttaa lisäviivettä datan lähetykseen, koska data on säilytettävä joko tukiasemassa tai päätelaitteessa tauon ajan. Päätelaite pystyy seuraamaan koko ajan lähtevän datan määrää tietoliikennealijärjestelmän tauoista huolimatta. Siten se pystyy käynnistämään alijärjestelmän ja lähettämään dataa tasaisesti tukiasemalle. Tukiasemalla puolestaan ei ole mitään keinoja käynnistää päätelaitteen tietoliikennealijärjestelmää. Päätelaitteen tauot eivät saa olla niin suuria, että tukiasemalle tulee vaikeuksia varastoida päätelaitteelle tulevaa dataa. Päätelaiteprotokollan on tiettyjen aikaväliherätysten lisäksi kyettävä myös tarvittaessa herättämään tietoliikennealijärjestelmä.

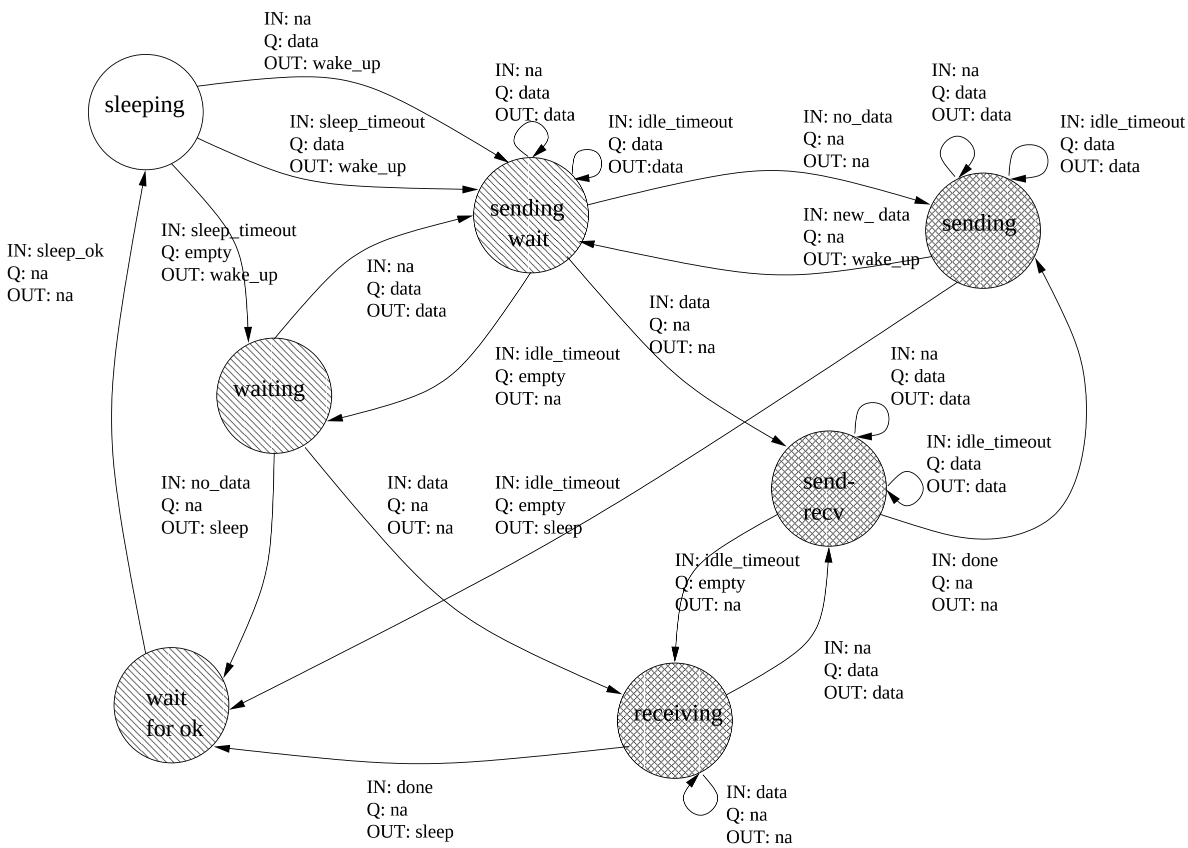
Tukiasema pystyy lähettämään dataa päätelaitteelle vain niinä hetkinä jolloin päätelaitten tietoliikennealijärjestelmä on hereillä. Muina aikoina tukiasema varastoi puskuriin ja mahdollisesti kiintolevylle päätelaitteelle saapuvan datan. Kuvissa 3 ja 4 on esitetty tukiaseman ja päätelaitteen tilakaaviot. Kaavioissa IN tarkoittaa input-tapahtumaa, joka merkitsee saapuvaa sanomaa. Q ilmaisee puskurin tilan ja OUT tarkoittaa lähtevää vastaussanomaa.



Kuva 3: Tukiasemaprotokollan tilakaavio.

Kuvassa 3 tukiasema on aluksi SLEEPING-tilassa. Tästä tilasta se voi siirtyä ainoastaan silloin, kun päätelaite lähettää WAKE_UP-viestin. Jos tukiasemalla on dataa lähetettävänä päätelaitteelle, se siirtyy SEND-RECV-tilaan. Tukiasema pysyy tässä tilassa, kunnes sillä ei ole enää dataa lähetettävänä. Kun data on lähetetty, tukiasema lähettää DONE-viestin päätelaitteelle ja siirtyy RECEIVING-tilaan. Se pysyy tässä tilassa, kunnes se saa päätelaitteelta SLEEP-viestin. Jos tukiasemalle tulee lisää lähetettävää RECEIVING-tilan aikana, se lähettää NEW_DATA-viestin päätelaitteelle ja siirtyy RECEIVING WAIT -tilaan. Tukiasema voi alkaa lähettää dataa päätelaitteelle, kun se saa päätelaitteelta WAKE_UP-viestin. Jos tukiasema saa SLEEP-viestin, data jää puskuriin odottamaan seuraavaa kierrosta.

Kuvassa 4 olevat tilat voidaan ryhmitellä kolmeen osaan. Ensimmäisessä ryhmässä on SLEEPING-tila kuvaten päätelaitteen suljettua tietoliikennealijärjestelmää. Päätelaite herää, kun sillä on dataa lähettettävänä tai ajastin laukeaa. Jos ajastin laukeaa, päätelaite lähettää WAKE_UP-viestin tukiasemalle. Jos päätelaitteella on dataa lähetettävänä ennen ajastimen laukeamista, se voi päättää, lähettääkö datan heti vai vasta ajastimen lauettua.



Kuva 4: Päätelaiteprotokollan tilakaavio.

Kuvan 4 toisessa ryhmässä ovat SENDING WAIT -, WAITING- ja WAIT FOR OK -tilat.

Tämä ryhmä kuvaa tilannetta, jossa päätelaite odottaa vastausta tukiasemalta. Tukiasema lähettää vastauksen, josta ilmenee onko sillä dataa lähetettävänä päätelaitteelle. SENDING WAIT -tilassa päätelaite välittää dataa. WAITING-tilassa sillä ei ole dataa välitettävänä. Kun päätelaite saa vastauksen tukiasemalta DATA- tai NO_DATA-viestinä, se siirtyy johonkin kolmannen ryhmän tiloista. Jos päätelaitteella ei ole dataa lähetettävänä SENDING WAIT -tilassa, se siirtyy WAITING-tilaan ja odottaa vastausta tukiasemalta. WAIT FOR OK -tilassa päätelaite on ilmoittanut tukiasemalle sulkevansa tietoliikenneyhteyden ja odottaa SLEEP_OK-viestiä.

Kolmannessa ryhmässä, johon kuuluvat SENDING-, SEND-RECV- ja RECEIVING-tilat, päätelaite lähettää ja/tai vastaanottaa dataa. SENDING-tilassa päätelaite saattaa saada NEW_DATA-viestin tukiasemalta. Päätelaite vastaa WAKE_UP-viestillä ja siirtyy SENDING WAIT -tilaan. Kun päätelaitteella ja tukiasemalla ei ole enää lähetettävää, päätelaite lähettää SLEEP-viestin ja siirtyy WAIT FOR OK -tilaan.

4.2 Ajoitus

Tietoliikenneyhteyden avaamisen ja sulkemisen ajoitus on ratkaiseva tekijä tehokkuutta ja energiansäästöä suunniteltaessa. Jos tietoliikenneyhteys on suljettu liian usein, käyttäjä huomaa sen datan siirron heikentymisenä. Toisaalta, jos yhteyttä ei suljeta riittävän pitkäksi ajaksi, säästöä ei synny.

Milloin tietoliikenneyhteys pitäisi sulkea?

Päätelaitteen tietoliikenteen joutokäyntihetket voidaan havaita kahdella tapaa. Sovellukset voivat ilmoittaa, milloin niillä ei ole dataa välitettävänä. Tämä menetelmä vaatii, että sovellukset pystyvät jollain tapaa luomaan selkeän tietoliikenteen toimintamallin. Toinen mahdollisuus on ajastimen käyttö. Yhteys suljetaan, jos ajastimen vanhenemiseen mennessä ei ole tapahtunut tiedonsiirtoa.

Kuinka pitkäksi aikaa yhteys pitäisi sulkea?

Kun päätelaite pyytää tukiasemalta esimerkiksi jotakin tiedostoa, monet ohjelmistot pystyvät määrittelemään melko tarkasti päätelaitteelle saapuvan datan määrän ja sen siirtoon kuluneen ajan päätelaitteen tukiasemalle lähettämän pyynnön perusteella. Tällaisia ohjelmistoja ovat esimerkiksi sähköpostiohjelmat, selaimet ja tiedostonsiirto-ohjelmat. Jos päätelaitteessa toimivat sovellukset pystyvät antamaan ohjeita tietoliikennealijärjestelmälle tulevista datan siirroista, tietoliikenneyhteyden katkaisu ja käynnistys voidaan ajoittaa hyvin optimaaliseksi.

Sovellusohjelmien osallistuminen laitteen energianhallintaan vaatii rajapinnan laitteiston ja sovellusohjelmien välille. Sovellusohjelmien on myös osattava sovittautua käyttäjien ja laitteiden tarpeisiin. Standardeilla ja määritelmillä on pyritty laitteisto- ja ohjelmistotason energianhallintarajapintojen kehittämiseen ja yhtenäistämiseen. Suurten laitevalmistajien kuten Compaq, Intel, ja Toshiba suunnittelema ACPI-määritelmä (*Advanced Configuration and Power Interface*) tarjoaa yhtenäisen laite- ja ohjelmistorajapinnan muun muassa langattomien päätelaitteiden energianhallinta-alijärjestelmien kehittämiseen [CIM00].

4.3 Energiansäästöprotokollan testaus

Aliluvussa 4.1 selostetusta protokollasta on saatavilla testituloksia, jotka on suoritettu kannettavalla tietokoneella ja langaton lähiverkkokortti-tukiasema-yhdistelmällä.

Protokollan toimintaa on testattu kolmella eri tyyppisellä simuloiduilla käyttäjäryhmällä. Ensimmäinen testimalli (WEB) kuvaa selausohjelman käyttäjää. Tässä tapauksessa lähetetyn datan määrä on huomattavasti pienempi kuin vastaanotetun. Toinen testimalli edustaa työntekijää ryhmätyöprojektissa (JW). Tällöin päätelaite lähettää ja vastaanottaa sattumanvaraisina aikoina eri määriä dataa. Kolmas malli simuloi käyttäjää, joka enimmäkseen lähettää ja vastaanottaa sähköpostia (EMAIL). Tässä tilanteessa lähetetyn ja vastaanotetun datan määrä on suhteellisen pientä, ja suurin osa ajasta menee joutokäyntihetkiin.

Kuvassa 5 on esitetty lähetettyyn ja vastaanotettuun dataan liittyviä lukuja, jotka kuvaavat kunkin käyttäjäryhmän tiedonsiirron tyypillisiä piirteitä. Kuvassa 6 on lukuja kunkin ryhmän päätelaitteen ajankäytöstä.

Pattern	Data transmitted				Data received			
	Min	Max	Avg	Count	Min	Max	Avg	Count
WEB	5kb	30kb	17,5kb	1	300kb	1,2Mb	750kb	10
JW	5kb	500kb	227,5kb	1	5kb	500Mb	227,5kb	1
Email	5kb	300kb	152,5kb	1	5kb	300kb	152,5kb	1

Kuva 5: Tiedonsiirtomäärät erilaisissa simuloiduissa tilanteissa.

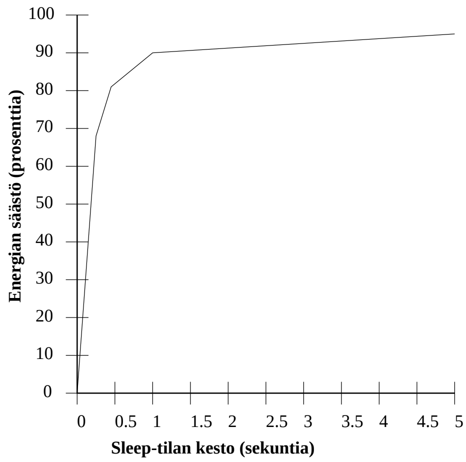
Pattern	User sleep time			Average time			Avg percent sleeping
	Min	Max	Avg	Transmitting	Receiving	Sleeping	
WEB	10s	300s	155s	0,116s	50s	104,9s	67,7%
JW	10s	300s	155s	1,52s	1,52s	151,96s	98%
Email	10s	600s	305s	1,02s	1,02s	302,96s	99%

Kuva 6: Ajankulutus eri tilanteissa.

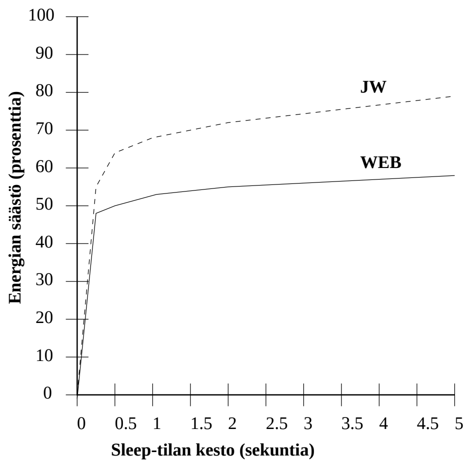
4.4 Testin tulokset

Energiansäästöprotokollalta kuluu energiaa tietoliikenneyhteyden avaamiseen ja sulkemiseen. Tämä on kuitenkin vähäistä saavutettuun kokonaissäästöön nähden, vaikka hetket yhteyden ollessa suljettuna olisivat hyvinkin lyhyitä. Ensimmäisessä testissä on vertailtu energiansäästöprotokollan joutokäyntihetkiä tavalliseen energianhallintaprotokollaan, jossa tietoliikenneyhteys on päällä koko ajan niin kauan kuin päätelaitekin on päällä. Energiansäästöprotokolla on joutohetkinä sammuksissa ja herää tietyin ajanjaksoin tarkistamaan, onko lähetettävää tai vastaanotettavaa. Kuvassa 7 näkyy tietoliikenneyhteyden katkoksissa oloaika ja siten saavutettu energiansäästö prosentteina verrattuna tilanteeseen, jossa energiansäästöprotokollaa ei käytetä. Alhaisilla katkosajoilla energiansäästöä ei saada, koska energiaa kuluu yhteyden yhtämittaiseen avaamiseen ja sulkemiseen. Toisessa testissä mukaan on otettu simuloidut käyttäjäryhmät. Tässä yhteydessä dataa ei puskuroida päätelaitteeseen, vaan yhteys avataan heti, kun dataa on lähetettävänä. Kuvassa 8 nähdään tulokset, kun päätelaitteen ja tukiaseman välillä kulkee dataa erilaisissa tilanteissa. WEB-tapauksessa saavutetaan 48% - 57% energiansäästö tavalliseen menetelmään verrattuna ja JW-tapauksessa 54% - 78% säästö. Varsinaisen tiedonsiirron aikana energiansäästöä ei synny, vaan ainoastaan päätelaitteen joutokäyntihetkinä.

Energiansäästö ei kuitenkaan ole ilmaista. Tässä tapauksessa hintana on vastaanottoviive.



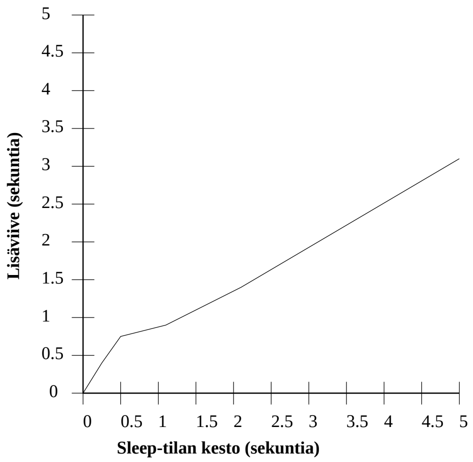
Kuva 7: Energiansäästöprotokollan vaikutus energiankulutukseen.



Kuva 8: Energiansäästöprotokollan vaikutus energiankulutukseen simuloiduissa tilanteissa.

Lähetysviivettä ei ole, sillä päätelaitehan ei puskuroi dataa. Viive aiheutuu yleensä kaistanleveyden puutteesta, pullonkauloista ja muusta vastaavasta, mutta tässä yhteydessä on kiinnitetty huomiota ainoastaan energiansäästöprotokollan aiheuttamaan vastaanottoviiveeseen. Kuvan 9 kaavio näyttää lisäviiveen yhteydenkatkoshetken pituuteen verrattuna WEB-tapauksessa. Viive on 0.4 - 3.1 sekuntia.

Energiansäästöprotokollalla saavutettu säästö päätelaitteen koko energiankulutuksesta on 6% - 9% riippuen päätelaitteesta. Tässä testissä päätelaitteeet olivat kannettavia tietokoneita (NEC Versa 6320, Toshiba Libretto 60 ja HP Palmtop PC 320LX).



Kuva 9: Viiveen lisäys yhteydenkatkoksen pitkittyessä.

5 Yhteenveto

Hyväksyttävän toiminta-ajan saavuttaminen ja parantaminen kannettavissa ja liikkuvissa päätelaitteissa on täysin riippuvaista virrankulutuksen minimoinnista ja rajallisista energiaresursseista. Näiden resurssien käyttöaikaa voidaan lisätä erilaisilla energiansäästömenetelmillä.

Liikkuvasta päätelaitteesta riippuen eniten energiaa kuluttaviin komponentteihin kuuluvat prosessori, kiintolevy ja tietoliikenneyhteys. Esimerkiksi tietoliikenneyhteyden energianhallinnalla voidaan lisätä akun käyttöaikaa. Ongelmaksi osoittautuu kuitenkin energiansäästöprotokollien sovittaminen käyttäjien ja sovellusten tarpeisiin. Ideaalinen energiansäästöprotokolla sulkee yhteyden, kun dataa ei ole saatavilla tukiasemalta, mutta herää välittömästi saapuviin pyyntöihin. Sopeutuvien energiansäästötekniikoiden tavoite on pystyä ennustamaan täsmälleen, milloin dataa on välitettävänä jommallekummalle osapuolelle.

Hyvissä energianhallintaprotokollissa säästö merkitsee vain osittaista ellei jopa hyvin vähäisistä suorituskyvyn laskua. Sovellustasolla toteutettavissa olevat energiansäästötekniikat perustuvat yleensä jollakin tapaa joutokäyntihetkien hyödyntämiseen. Laitetasolla voidaan tuottaa elektroniikkakomponentteja ja -materiaaleja, joiden virranvastus ja energiankulutus on vähäistä.

Lähteet

CIM00 Compaq Computer, Intel, Microsoft, Toshiba Corporations and Phoenix Technologies Ltd., *Advanced configuration and power interface specification.* Revision 2.0, 27.7.2000, luvut 1-3. http://www.teleport.com/ acpi/spec.htm. [10.10.2000].

KK98 Kravets R., Krishnan P., *Power Management Techniques for Mobile Communication.* The Fourth Annual ACM/IEEE International Conference on Mobile Computing and Networking, MobiCom'98, 1998. http://www-sal.cs.uiuc.edu/ rhk/papers/html/power/power.html. [10.10.2000].

Lor95 Lorch J., *A Complete Picture of the Energy Consumption of a Portable Computer.* Masters thesis, Computer Science, University of California at Berkeley, 1995. http://golem.cs.berkeley.edu/ lorch/papers/masters.ps. [10.10.2000].

MT98 Mansikkaviita J., Talvo M., *Johdatus solukkopuhelin tekniikkaan.* Hakapaino Oy, Helsinki, 1998.

RB97 Rulnick J., Bambos N., *Mobile Power Management for Wireless Communications Networks.* Wireless Networks vol 3, 1 (1997), 3 - 14.

Sco97 Scourias J., *Overview of the Global System for Mobile Communications.* University of Waterloo, 14.10.1997. http://www.gsmdata.com/overview.htm. [10.10.2000].