

Tampereen teknillinen yliopisto
Fysiikan laitos

FYS-1700
Avaruustekniikka

Harjoitustyö
Planeettainvälinen internet
Loppudokumentti

22.4.2011

Riku Itäpuro (225178)
itapuro@tut.fi

Sisältö

| | |
|---|-----------|
| 1 Johdanto | 2 |
| 2 Haasteet | 3 |
| 2.1 siirto | 3 |
| 2.2 Tietoturva | 3 |
| 2.3 Kapasiteetti | 3 |
| 2.4 pakettihäviö | 4 |
| 2.5 Sijoittelu | 4 |
| 2.6 kommunikointiongelmia | 4 |
| 3 DTN ja Bundle-protokolla | 4 |
| 3.1 bundle protokolla BP RFC5050 | 5 |
| 3.2 sanastoa | 5 |
| 3.3 replikat | 5 |
| 4 erot TCP/IP:n kanssa koosteena | 6 |
| 5 Muut teknologiat | 6 |
| 6 DTN:n Solmut | 8 |
| 6.1 Esimerkki solmusta DTN reititin | 8 |
| 7 kokemukset | 9 |
| 7.1 Saratoga | 9 |
| 7.2 Deep Impact | 9 |
| 8 Hyödyt maan päällä | 9 |
| 9 Johtopäätökset, kooste | 10 |
| 10 Lähdeluettelo | 11 |

1 Johdanto

Työ käsittelee Planeettainvälisen Internetin käsitettä. Kommunikointi avaruuteen ylittää etäisyydet maapallolla. Fyysisiä kaapeleita ei voida vetää, joten tieto kulkee radioaalloilla. Etäisyys tuo haastetta viiveillä, kun jo Kuuhun kommunikoitaessa on viiveen osuus niin suuri, että se vaikeuttaa yhteydenpitoa. Marsiin asti matka valolta vie vähintään 3.5 minuttia tai pahimmillaan 22 minuttia[11]

Tänä päivänä internet-yhteydet maapallon ympäri tapahtuvat sekunteissa. Vaikka matkan varrella on monta solmupistettä, saavutetaan yhteys usein alle sekunnin kuluessa ja yhteyttä voidaan pitää ylhäällä tämän jälkeen vaikka väliltä katkeaisi joku solmupiste.

1970-luvun alussa Internetin alkuaajoilla solmuja oli vähän, etäisyydet lyhyitä, käyttäjiä vähän, laitekustannukset solmua ja linkkiä kohden suuret. Esitän tässä arvelun, että olemme nyt vastaavassa tilanteessa kuin tuolloin ja pyrin selvittämään miten tilanne eroaa avaruus-etäisyyksillä.

2 Haasteet

2.1 siirto

- radiokanavan ollessa jaettu, kapasiteetti ja tietoturva
- Etäisyys ja viive
- suuntaaminen; esteet ja liikkuva kohde
- häiriöistä toipuminen ja ruuhkautuminen
- reitin löytäminen

2.2 Tietoturva

Tapahtuuko kanvalla siirtotien vai pakettitason turvaamista? Radioväylällä on samoja ongelmia kuin jaetulla väylällä. Tieto kulkee kaikille väylää pitkin ja jos joku haluaa vastaanottaa viestejä, tämän tulee vain laittaa kuuntelu päälle.

Suojattu väylä tarkoittaisi kaapelia, joka estää signaalin leviämisen tai kapselointia, joka suojaa sisällä kulkevan viestin salaamalla sen. Oikea vastaanottaja osaa purkaa kapseloinnin. Salauskaan ei estä kuunteluyrityksiä, mutta kvanttisalaus tarjoaisi tähänkin aseet. Siinä kuunteluyritykset voidaan huomata helposti.

Avainten vaihto on vaikeaa koska yhteydet eivät ole pysyviä, eivätkä päästä päähän auki ts. yhteys muodostetaan aina uudestaan. Mikäli julkisen avaimen infra (PKI) on kunnossa, yhteydet ovat toimivampia. Tällöin avainvaihtoa ei tarvitse suorittaa protokollan kättelyvaiheessa tai kättelyä ei ylipäänsä käytetä.

Näyttää siltä, että ainakin alkuvaiheessa planeettainvälisen internetin käyttö sallitaan vain salatuille ja tunnistetuille noodeille, jotta voidaan taata sallituille ja maksaville käyttäjille yhteys. Ehkä tässä kuljetaan samaa linjaa kuin WLAN-verkoissa aiemmin. Ensialkuun WLAN-yhteyden tarjoamisessakin oli tavoitteena saada siihen sijoitettu kustannus kuoletettua. Yhä useammin WLAN-yhteys tarjotaan kuitenkin kuin vesi tai sähkö julkisissa rakennuksissa ja liikennevälineissä.

2.3 Kapasiteetti

Nyt käyttäjiä on vähän, entä tulevaisuudessa? Verkon kapasiteetin määrää siirrossa käytettävän radioaallon (infrapuna, radioaalto, mikroaalto) aallonpituus. Avaruudessa käytettävät linkit eivät varmasti kykene välittämään tämän päivän suurimpia dataja kuten teräväpiirtoelokuvia tai esim. Cernin Large Hadron Colliderin tuottamaa dataa, jotka kulkevat gigayhteyksien yli ns. valo-poluilla.

2.4 pakettihäviö

Avaruuden ilmiöiden datan voisi kuvitella olevan arvokkaampia kuin maanpäällä, jossa data on tallessa monessa paikassa ja uudelleenlähetykset on aina vaihtoehto, paitsi reaaliaikaisissa videolähetyksissä. Paketin uudelleenlähetykset ei edes ole aina mahdollista joko siksi, että sitä ei rajallisissa laitteissa ole enää tallella tai siksi, että sen tuoma ruuhkautus karsii muuta lähetystä.

2.5 Sijoittelu

Matkan varrella voi olla esteenä taivaankappaleita kuita, planeettoja, asteroideja, lokaaleja maanmuotoja ja jopa muita aluksia.

2.6 kommunikointiongelmia

Jos miehitetyt lennot pääsevät tulevaisuudessa Marsiin, muille kuille tai vaikka Plutoon asti, kohdataan vaikeus keskusteluyhteyden vaihe-erosta. Marsin etäisyys maasta on enimmillään 23 minuttia ja vähimmillään 3 minuttia. Keskusteluyhteys ei ole reaaliaikaista, joten dialogin käyntiin täytyy keksiä jotain muuta. Yksi ehdotettu tapa pitkiin viiveisiin on jatkuva-aikainen puhe, jossa molemmat osapuolet jatkavat puhumista. Kysymykset ja vastaukset tavoittavat toisensa, tosin vaihe-ero voisi olla tunteja Jupiteriin tai jopa Plutoon keskusteltaessa. [3] (Asimov: My Son, the Physicist)

Tähän ei bundleprotokollakaan tuo taattua ratkaisua, sillä bundle voi viipyä matkalla kauan.

3 DTN ja Bundle-protokolla

Häiriöstä tai viiveestä toipuva verkko, Disruption/Delay Tolerant Networking (DTN), on 1990-luvun lopulta tutkimuksen alle otettu verkkomalli, jolla pyritään varautumaan pidempiin etäisyyksiin ja niiden aiheuttamiin virheisiin. Perinteinen TCP/IP on suunniteltu nopeisiin vasteisiin ja sen tuhlailtava ja löpöttelevä käytäntö ei ole kärsinyt tästä pienillä etäisyyksillä. Internet-pioneeri Vint Cerf 1970-luvulta sai vuosituhannen vaiheessa toimeksiantoa sekä Googlelta, että NASAlta uuden protokollan työstämiseen [2].

”Cerfin mukaan Google tajusi jo vuonna 1998, että perinteiset internetin tekniikat eivät toimi avaruudessa. Perinteisessä tiedonsiirrossa yhteydet ovat kohtuullisen luotettavia ja viiveet lyhyitä.” [1]

NASAlla osasto nimeltään Space Communication and Navigation, SCaN kertoo DTN:stä näin:

”DTN enables an end-to-end NASA space communications architecture where SCaN evolves from being a space link access service provider to a space internetworking service provider across the solar system.” [4]

DTN:n perustana on tiedon välittäminen pakettien sijaan bundleina, joissa on paljon paketteja ja joita siirretään itsenäisesti etapeittain, ei päästä päähän, kuten perinteisessä TCP/IP:ssä. Tämän hyötyjä käydään seuraavaksi läpi.

3.1 bundle protokolla BP RFC5050

Sovelluksen ja siirtokerroksen välissä, tarjoaa jatkuvan lähetyksen lisäksi ajastetun, aiemman perusteella ennustetun ja opportunistisen lähetyksen mahdollisuuden. [9] s.13,

- Ajastettu: Lähetetään paketteja tietyllä aikaikkunalla, muulloin ollaan hiljaa.
- Ennustettu: Todettu aiemman perusteella paras lähetyshetki ja liikekuvio, käyttäen jotain heuristiikkaa Samaa aluetta tutkii langattomien verkkojen Ad-Hoc käytänne.
- Opportunistinen: Kun havaitaan mahdollinen vastaanottajan liikerata, lähetetään varoittamatta.

3.2 sanastoa

DTN Delay/Disruption Tolerant Network: Verkkojen verkko, jossa käytetään protokollia, jotka toipuvat pitkistä viiveistä ja osittaisesta välityksestä. Häiriö- tai viiveestä toipuva verkko

Bundle Yhdellä kertaa kokonaisuena siirrettävä data. Esim. video. Bundlen sisällä ei esiinny tällöin viiveitä, joita virtaavassa lähetyksessä voisi esiintyä.

Bundle Protocol menetelmä, jolla bundleja välitetään, kuitataan ja säilötään.

EID Endpoint Identifier. Bundleja välittävä asema.

OSI-kerros 7 kerroksen tietoliikenteen malli, tässä käsitellään kerroksia 3 ja 4(Transport)

DTN kerros Bundle, joka on Transport layerin yläpuolella DTN:ssä.

DTN alue transport, network, link, physical; domain

Custody Transfer Reitittimessä on Custody Transfer (CT) capability, joka hoitaa tarvittaessa bundlejen uudelleenlähetykset yhden DTN alueen sisällä. Joku solmu toimii tässä roolissa.

Pakettikoko Yksittäinen nykyisessä TCP/IP:ssa kuljetettu pakettikoko voi olla 1504 – 9000 tavua.

Store-and-forward Paketit tallennetaan solmuihin, kuten kytkimissä, joissa paketit kootaan fragmenteissa ja lähetetään vasta sen jälkeen eteenpäin.

Store-carry-forward Esim. avaruusalus voi kuljettaa mukanaan bundleja ja purkaa ne saatuaan sopivan lähetyshetken.

Reititin (engl. gateway) lähettää bundleja toisiin DTN alueisiin. Kuten Internet reititin.

Tavoitteena on planeettainvälisen runkoverkon rakennus, johon voi liittyä paikallisin internetein. Huomaa, että työ on jo alkanut ja paikallinen internet alue on maanpäällinen Internet.

3.3 replikat

Bundlesta voidaan tehdä monta kopiota, jotka kulkevat eri reittejä pitkin perille. Tämä parantaa virheen sietoa. Perinteisissä verkossa kopioita lähetetään vain yksi kerrallaan. Solmuja voi olla useita, jotka käsittelevät kopioita, kuten BP:ssakin, mutta dataa kulkee vain yksi kopio kerrallaan.

4 erot TCP/IP:n kanssa koosteena

| | TCP/IP | BundleProtocol |
|----------------------------|--|--|
| store&forward | delayn ja jonotuksen verran. | tallentuu levyille, flashille, kunnes koko bundle siirtynyt seuraavaan EID:een. |
| Yhteyden diagnosointi: | ICMP-protokolla, pingit ja traceroutet. | Bundle Status Reports (BSRs) and Custody signals diagnoosiin |
| Toipuminen | kuittausviestit, uudelleenlähetyse2e | Custody signalsin mukainen lähetyksen vain häiriötä sisältävien yhteyksien välillä |
| Siirtotien kehyskoko (MTU) | määrittelee pakettikokoa | solmu on vapaa tekemään oman arvionsa. |
| Levitysviestit/broadcast | sovelluksen tehtävä tai uudelleenlähetyksen virheissä | BP protokolla voi hoitaa, rinnakkaisia polkuja |
| Kohdenimi | kohdenimi tiedossa ennen lähetystä DNS:n kautta (early binding) | kohdenimi voi vaihtua alussa, matkalla ja lopussa (late binding) |
| SOLMUT | solmut kiinteitä, satelliittiyhteydet usein geostationaarisia | kiinteitä, liikkuvia ja kuljettavia(ferry, muuli) |
| Siirtokerros | IP tai ICMP, joka määrittää kohde ja lähdeosoitteet, | ei tarvitse olla IP. Eri siirtokerrokset sovitetaan convergence kerroksen avulla DTN-arkkitehtuurin viestinvälityskerrokseen.[9]. Siirtokerrosta kutsutaan ”Bundle Convergence”kerrokseksi |
| ClassOfService | IntServ,DiffServ ja IP Multicast eivät menestyneet, koska ne vaativat muutoksia kaikkiin verkon reitittämiin.) | BP on verkko verkon päällä ja tarjoaa CoS-laadunmäärittelyä sovellukselle samoin kuten Internet on overlay puhelinverkon päällä. |
| CoS verkot | | sovellus voi antaa bundlelle CoS toiveita Bulk, Normal, Expedited |
| Avaimen vaihto | voidaan vaihtaa yhteyden aikana | etukäteen sovittavu PKI |

5 Muut teknologiat

Tässä vaiheessa on selvää, että yhtäläisyyksiä voi nähdä esim. sähköposti (SMTP) ja Usenet News (NNTP) protokollille sekä modeemiaikakauden BBS-purkkien öiselle viestinvaihdolle. Jos sähköposti ei kulje palvelimelta toiselle, viivästetään sen uudelleenlähetyksen, kunnes vastaanottava palvelin pystyy ottamaan vastaan, etappi kerrallaan. NNTP puolestaan lähettää monta kopiota uutisviestistä hierarkisesti palvelimille.

Tosin sekä SMTP, että NNTP tarvitsevat toimiakseen nimipalvelimen (DNS) ja TCP yhteyden, joista kumpikaan ei ole tarpeen DTN protokollissa.

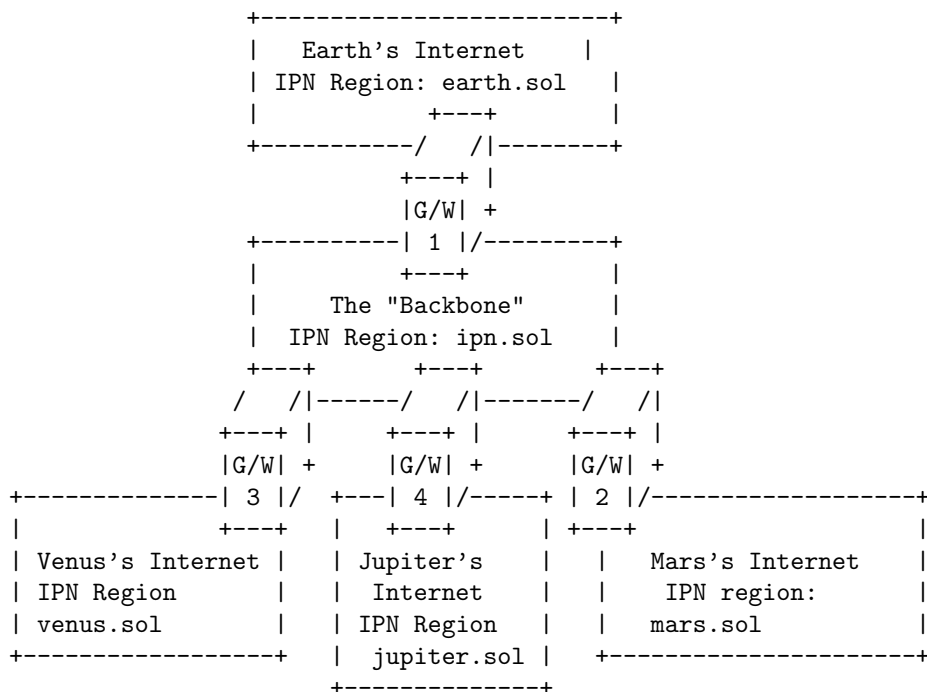
On myös selvää, että avaruusaluksista on kommunikoitu ennen vuotta 2009:kin. Tällöin käytettiin erilaisia tilanteeseen kehitettyjä suljettuja protokollia tai tuotiin data magneettinauhalla maan pinnalle.

Usein käy niin, että pitkään hiottu, raskas protokolla jää kakkoseksi kevyemmälle ja myöhemmin kehitetylle. Tästä on esimerkkinä nähty, SGML:n yksinkertaistus HTML ja hakemistoprotokollan X.400 kevytversio Lightweight Directory Access Protocol LDAP. Myös DTN Bundle-protokolla on testattu ajettavaksi HTTP:n päällä "HTTP-DTN" kevytversiona. Koska HTTP on yhteydetön protokolla, ts. jokainen pyyntö ja vastaus suoritetaan itsenäisesti, on se pelkästään jo osoittautunut toimivaksi vaikka yhteys katkeaisi. Voi olla, että tulevaisuudessa tämä ratkaisu saa kannattajia resurssiköyhissä tilanteissa.

6 DTN:n Solmut

- planeettoja kiertävät satelliitit
- avaruusaluukset
- radioantennit
- kuu-asemat
- maa-asemat
- olemassa olevat verkot, Internet
- liikkuvat solmut, jotka toimivat bundlekantajina

6.1 Esimerkki solmusta DTN reititin



Kaavio 1. ”An Interplanetary Internet of Five IPN Regions” lähde: <http://www.ipnsig.org/reports/memo-ipnrg-arch-00.pdf> s.26

Kaaviosta 1 näkyy IPN verkon rakenne ja aliverkot, sekä nimeämiskäytäntö aurinkokunnan sisällä (.sol), joka vastaa DNS nimenselvitystä Internetissä.

Esimerkki Maasta Marsiin lähetykselle kulkisi noodilta `src.jpl.nasa.gov,earth.sol` noodille `dst.jpl.nasa.gov,mars.sol`

kulkien reitittimien IPN G/W1 ja IPN G/W2 kautta. Reitittimet yhdistävät eri ipn-alueet toisiinsa. GW1 yhdistää Maan Internetin ja IPN runkoverkon sekä GW2 yhdistää IPN runkoverkon ja Marsin Internetin.

7 kokemukset

7.1 Saratoga

LEO-radalla oleva Disaster Monitoring Satellite oli ensimmäinen avaruudesta DTN:n bundle-protokollaa testaava laite. Siinä käytettiin UDP/IP:n päällä Saratoga nimistä tiedonsiirto-protokolla, joka oli sovitettu DTN:n bundleja välittäväksi.

7.2 Deep Impact

Deep Impact avaruusalus on testannut 2008 vuoden syksyllä DTN:ää. Projektin nimi oli DINET (Deep Impact DTN experiment) ja siihen osallistui aluksen lisäksi Jet Propulsion Labsin maa-asemia, jotka simuloivat asemia Maassa, Marsissa ja Marsin kuussa Phoboksessa. Osa datasta kulki suoria maareittejä pitkin, osa käytti Deep Impact alusta reitittimenä. Myös katkoja simuloitiin. Koe oli onnistunut, sillä dataa ei hävinnyt. Maa oli tuolloin 32 miljoonan kilometrin etäisyydellä Deep Impactista. [7] Jatkossa Deep Impact matkasi Hartley 2 nimisen komeetan ohi marraskuun 4. 2010. Sieltä testattiin 80 valosekuntin etäisyydellä BP:aa.[8]

8 Hyödyt maan päällä

Tavallista on, että avaruustutkimukseen sijoitettu dollari tai rupla kantaa hedelmää myös maan päällä. Niin DTN:kin tapauksessa. Kun kyseessä on esimerkiksi vaikea maasto-olosuhde, autiomaa, vuoristo, kriisitilanne tai kehittymätön infra voi olla taloudellisempaa rakentaa runkoverkko hyväksyen sen, että viiveitä syntyy.

On jo olemassa vastaavia verkkoja Intiassa, joissa kylästä kylään kulkeva matkustajabussi kuljettaa kahdesti päivässä myös datapaketteja (bundleja). Öiseen aikaan puhelinliikenne on halvempaa kuin päivällä. Kylän ainoata satelliittiyhteyttä voi toki käyttää, mutta se on kallista. Näitä eri kaistoja yhdistämällä voidaan valita edullisin tai varmin vaihtoehto tai yhdistää vaikka kaksi kanavaa aivan BP:n tapaan. [9]

9 Johtopäätökset, kooste

Viiveitä kestävä protokolla on varmasti tärkeä tulevien pitkien etäisyyden kommunikoinnin mahdollistajan. DTN:n avulla pyritään saamaan rakennettu runkoyhteys samaan tapaan kuin maanpäällistä Internetiä rakennettaessa. Kun tähän asti jokainen sovellus on kehittänyt omat suljetut protokollat, yleisillä standardeilla säästetään paljon [9]

DTN:n Perusidea

- BUNDLE
- Uudelleenlähetys reitin välissä
- monilähetys
- reitti voi muuttua matkan varrella

10 Lähdeluettelo

Viittaukset tarkistettu 22.4.2011.

Viitteet

- [1] 2011. URL: http://www.tietokone.fi/uutiset/google_rakentaa_planeettojen_valista_internetia.
- [2] V. Cerf et al. *Interplanetary Internet (IPN): Architectural Definition*. Toukokuuta 2001. URL: <http://www.ipnsig.org/reports/memo-ipnrg-arch-00.pdf>.
- [3] Isaac Asimov. *My Son, the Physicist*. Scientific American, 1962.
- [4] NASA Space Communications ja Navigation. *Disruption Tolerant Network (DTN)*. Maaliskuuta 2011. URL: <https://www.spacecomm.nasa.gov/spacecomm/programs/technology/dtn/>.
- [5] Jayes Prakash Gupta. *Delay Tolerant Network - Protocol of intraplanetary internet*. Maaliskuuta 2011. URL: <http://www.authorstream.com/Presentation/zeeshanchd-228680-inter-planetary-internet-science-technology-ppt-powerpoint/>.
- [6] Will Ivancic et al. *Delay/Disruption-Tolerant Network Testing Using a LEO Satellite*. 2008. URL: <http://info.ee.surrey.ac.uk/Personal/L.Wood/publications/>.
- [7] K.Fall. *EPOXI mission status reports*. Marraskuuta 2008. URL: <http://epoxi.umd.edu/1mission/status.shtml>.
- [8] *NASA Mission Successfully Flies by Comet Hartley 2*. Marraskuuta 2010. URL: <http://www.jpl.nasa.gov/news/news.cfm?release=2010-371>.
- [9] Seppo Syrjanen. *Viivesietoisten verkkojen nykytila ja tulevaisuuden haasteet*. Marraskuuta 2007. URL: <http://urn.fi/URN:NBN:fi-fe20072129>.
- [10] wikipedia. *Bulletin board system*. Maaliskuuta 2011. URL: http://en.wikipedia.org/wiki/Bulletin_board_system.
- [11] wikipedia. *MiehitettyMars – lento*. Huhtikuuta 2011. URL: http://fi.wikipedia.org/wiki/Miehitetty_Mars-lento.