

RISTO RAHU

GRID JA ARVUTIVÕRGUD

Tartu 2003

SISUKORD

	<u>Sissejuhatus</u>	3
1.	<u>GRID tehnoloogia</u>	
1.1	<u>Ülevaade GRID võrkudest</u>	4
1.2	<u>Milleks on vaja GRIDE?</u>	5
1.3	<u>Lühiülevaade GRID ajaloost</u>	7
1.4	<u>GRID süsteemi koostisosad</u>	9
1.5	<u>Globus Toolkit tarkvarapakett</u>	14
2.	<u>Arvutivõrgud</u>	
2.1	<u>Lühiülevaade tänapäeva arvutivõrkudest</u>	16
2.2	<u>Arvutivõrkude liigid</u>	18
2.2.1	<u>Lokaalvõrgud</u>	18
2.2.2	<u>Lokaalvõrkudes kasutatav sidetehnika</u>	19
2.2.3	<u>Arvutisüsteemide võrgud</u>	20
2.2.4	<u>Linnaulatusega arvutivõrgud</u>	21
2.2.5	<u>Laivõrgud , kasutatav tehnoloogia ja võimalused</u>	22
2.3	<u>Arvutivõrkude sideprotokollid</u>	24
3.	<u>GRID Arvutivõrgud</u>	
3.1	<u>GRID arvutivõrkude ülevaade</u>	27
3.2	<u>GRID arvutivõrkude põhiprobleemid</u>	27
3.3	<u>Side latentsus</u>	29
3.4	<u>Sidekanali läbilase</u>	31
4.	<u>Näited – NorduGRID ja EENET</u>	
4.1	<u>NorduGRID</u>	33
4.2	<u>GridFTP test üle NorduGRID võrgu</u>	40
4.3	<u>EENET-i andmesidevõrk</u>	45
4.4	<u>GRID lahendused Eestis</u>	48
	<u>Kokkuvõte</u>	50
	<u>Kasutatud kirjandus</u>	51
	<u>Inglisekeelne resümee</u>	55
	<u>Lisa 1 - EENETi andmesidevõrgus toimunud katsete tulemused</u>	56

SISSEJUHATUS

Käesolev uurimustöö üritab anda väikese ülevaate tänapäeva arvutivõrkude ja andmeside võimalustest ning uurida tänapäeval erinevates valdkondades üha enam kasutamist leidva GRID tehnoloogia eripära ja vajadusi andmeside vaatevinklist. Selle ülevaate kirjutamisele on olnud väga suureks abiks Tartu Ülikooli Tehnoloogiainstituudi vanemteadur hr.Eero Vainikko ning doktorant hr. Konstantin Skaburskas.

Uurimuse peaesmärgiks on anda ülevaade selle temaatika põhiterminitest, põhilistest tehnoloogiatest ja ka probleemidest ning mitte püüda süveneda mõne teemavaldkonna detailidesse, aga sellest hoolimata tuli käesolev ülevaade üksjagu mahukas.

Materjali parema jälgimise ja arusaamise huvides oleks hea, kui lugejal on mingid üldteadmised arvutivõrkudest, andmeside toimimise põhiprintsiipidest ning arvutustehnika komponentidest. Käsitletavad teemad olen jaganud neljaks peatükiks, esimese teemana leiab käsitlemist sissejuhatus GRID tehnoloogiasse, väike ülevaade selle kasutamisest ja GRID süsteemi komponentidest. Teise suure teemaderingina leiavad lähemat vaatlemist arvutivõrkude liigid, nendes kasutatavad tehnoloogiad ja erinevatele võrkudele iseloomulikud probleemid. Kolmandas peatükis on uurimise all GRID süsteemide arvutivõrkude probleemistik ning neljandas peatükis on võetud vaatluse alla reaalsed laivõrgud ja GRID rakendused, toodud on lähem ülevaade põhjamaade ja Taani GRID projektist NorduGRID koos mõnede selle raames tehtud katsetega kaugvõrkude andmeside alal. Uurimuse lõpuosas olev ülevaade ja mõned katsed on tehtud koostöös Eesti Hariduse- ja Teaduse Andmesidevõrgu (EENET) spetsialistidega Tartus, kasutatud on kõigile vabalt kättesaadavaid võrgumonitoringu ja analüüsi tarkvarapakette ja programme.

Käesoleva ülevaate kirjutamisele aitas palju kaasa ka minu 7 aastane töökogemus arvutivõrkude ja andmeside valdkonnas ühes Eesti vanemas andmesideaparatuuri müügi ja konsultatsiooniga tegelevas eraettevõttes AS Vendomar.

Põhilise infoallikana olen kasutanud eranditult ainult interneti kaudu kättesaadavaid materjale, mis peaks soovijail tegema eriti lihtsaks esitatud materjalidega põhjalikuma tutvumise ja edasise uurimise, põhiosa kasutatud materjalist on ingliskeelne.

§1 – GRID TEHNOLOOGIA

1.1 – Ülevaade GRID tehnoloogiast.

Termin GRID (i.k *võrk/võre*) tuli arvutimaailmas kasutusele juba eelmise kümnendi alguses ning tähistab tark-ja riistvara mis tekitab hajutatud arvutusvõimsuse ühendamiseks vajaliku infrastruktuuri [16]. Arvutustehnika kiire areng ja selle hinnalangus viimasel kümne aasta jooksul ning seadmete laialdane levik on teinud võimalikuks saavutada suuremat arvutusvõimsust (ja salvestusmahtu) kasutades ära sadade (tuhandete või isegi miljonite) üksikute arvutusseadmete jõudlust mingi kindla ülesande lahendamiseks. Moodustades paljudest lokaalsetest, omavahel võrku ühendatud arvutitest koostöötava süsteemi, saame arvutiklastri, mis on üks lihtsamaid ja odavamaid võimalusi loomaks superarvuteid. Kuid tihtilugu jääb ka üksiku arvutiklastri jõudlusest või mingist teisest ressursist väheseks ning kasutamaks paremini ära olemasolevat riistvara (sõltumata selle asukohast) ning tagamaks ühest juurdepääsu nii moodustunud süsteemile, alustatigi eelmise aastakümne alguses GRID tehnoloogia arendamist.

GRID tehnoloogiat võiks võrrelda tänapäeval nii elementaarsena tunduva valgustusvooluvõrguga, mis võimaldab lihtsa liidese (seinapistik) abil saada ligipääsu (elektri)energiale. GRID idee on sarnane - luua struktuur ja vahendid võimaldamaks kasutada suurt arvutusvõimsust, salvestusmahtu ja muid arvutiressursse (ka informatsiooni ja tarkvara) ilma seda vahetult omamata, st.virtuaalselt, arvutivõrgu vahendusel. Arvutuslikke GRID võrke (ik. *Computational GRID*) nimetatakse tihti kirjanduses ka metakompuutriks.

Kõiki osalisi, kes moodustavad ülaltoodud ressursside (tavaliselt siiski mingil kindal eesmärgil) jagajaid ja kasutajaid nimetatakse Virtuaalseks Organisatsiooniks (VO) Üheks jagatud ressursse kasutava rakenduse näiteks on kontori- või kodukasutuses olevate personaalarvutite jõudeoleku ärakasutamise uurimuslikud/teaduslikud projektid nagu SETI@home [40], folding@home jpt, olemas on ka sama asja kommertsotstarbel tegevad firmad (nt.USA firma Entropia Inc [12]). PC jõudeoleku ärakasutamise-süsteemide puhul ei saa siiski rääkida GRID infrastruktuuri olemasolust, pigem on tegemist selle ühe komponendi realiseerimisega mingi kindla ülesande lahendamise jaoks. Samas, arvestades tänapäeva kontori- ja koduarvutite suurt jõudlust (3GHz protsessor tavaarvutis pole enam mingi haruldus) on ka sedalaadi

ettevõtmistel väga suur potentsiaal mitmesuguste arvutuslike ülesannete ja probleemide lahendamisel.

1.2 – Milleks on vaja GRIDe?

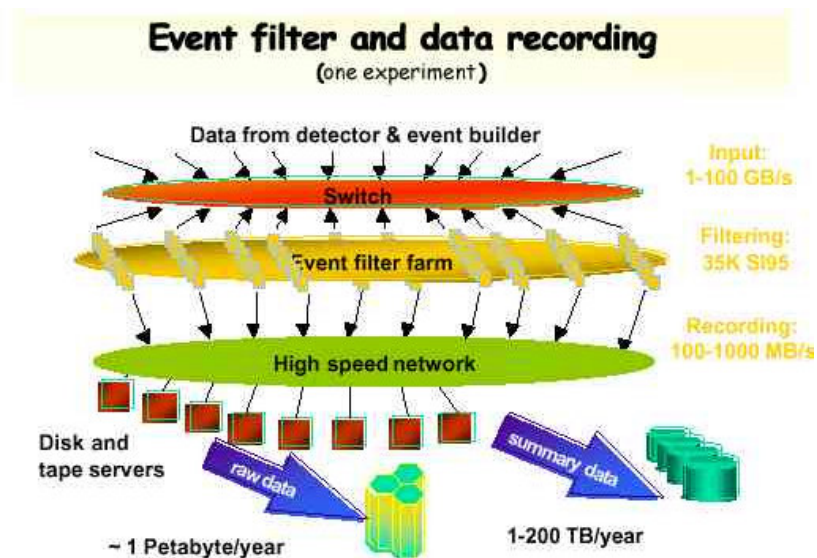
Sellele küsimusele on raske anda ühest vastust, kuid üheks põhiliseks motivaatoriks GRID kasutamisel on tehnoloogia kiire areng, mis on tänu kasvanud andmeside kiirustele, suurusjärgu võrra suurenenud protsessorite arvutusvõimsusele ja interneti väga laiale levikule teinud võimalikuks sellise efektiivse meetodi kasutuselevõtu suurte ülesannete või infohulkade töötlemiseks. Kui veel kümme aastat tagasi oli võimalik teha mingit suurt arvutusvõimsust nõudvat tööd ainult üksikutes superarvutites maailmas, siis tänapäeva GRID tehnoloogia areng võimaldab mõistlike kulutustega saada ligipääsu suurele arvutusvõimsusele juba suhteliselt suvalises maailma osas asudes.

GRID tehnoloogia põhikasutusvaldkonnad on:

- Teaduslik uurimistöö - näiteks elementaarosakeste kiirendi mõõtetulemuste töötlemine füüsikas, uute molekulide väljatöötamisel biokeemias või viirusevaktsiinide analüüs meditsiinis. Paljud seni vaid eksperimentaalselt uuritud ainevaldkonnad saavad tänu suure arvutusvõimsuse ja infosüsteemi olemasolule võimaluse simulatsioonideks (näiteks tuumaplahvatuse uurimine, ilmaennustamise mudelite väljatöötamine ja täpsustamine jpt.)
- Ettevõtlus - tööstuses uute mudelite katsetamise simulatsioonid (lennukid, laevad, autod), mitmesugused reaajas toimivad või keerulised arvutigraafika rakendused (eriefektide või animafilmi arvutigraafika filmitööstuses), sügava astme andmetöötluse rakendused (andmekaevandamine jms), keeruliste arvutisüsteemide, näiteks miljonite transistoritega mikroprotsessorite väljatöötamine ja modelleerimine enne tootmist.
- Riiklik sektor – saab kasutada süsteeme suurt jõudlust vajavate uuringute või planeerimistööde juures, suurte andmekogude töötlemisel jne.

Lisaks suurtele arvutus- ja salvestusressurssidele võimaldab GRID süsteem ka efektiivset kollektiivtöö haldust (ühtse autoriseerimise, andmevahetuse ja spetsiaalsete kollektiivtöövahendite kaudu).

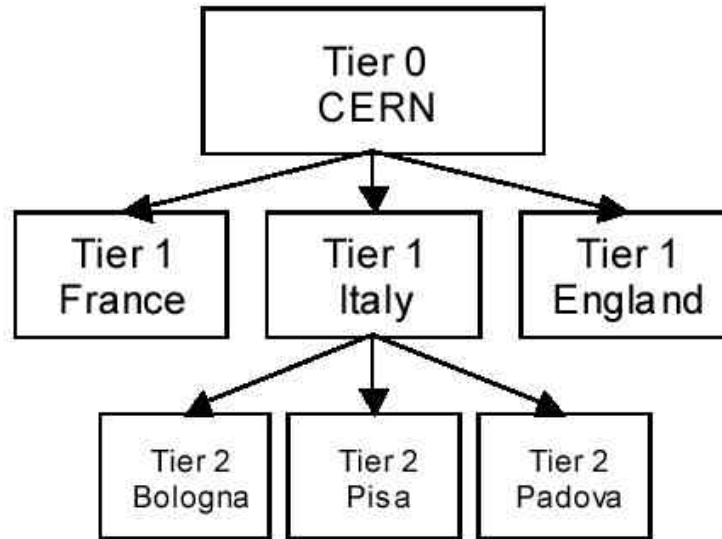
Et saada aimu tänapäevaste uurimistööde info- ja arvutusmahukusest vaatleme veidi lähemalt CERN labaratooriumis üles seatud kiirendi - LHC [6] andmete töötlemist. Selle andmete töötlemine on ka üheks *EU Data GRID* [13] ülesandeks. Praegu käivate eksperimentide infovoog detektorite väljundis on suurusjärgus mõned GB/s kuni TB/s (10^9 baiti/s kuni 10^{12} baiti/s). See on paraku väga suur infohulk isegi superarvutitel töötlemiseks, mistõttu läbib toores info esmalt mitmetasandilise filtreerimise, mis selekteerib sealt välja olulisema ning seda on võimalik juba edasiseks töötlemiseks salvestada (kiirused ~ 100 MB/s, vt. Joonis 1)



Joonis 1 – andmevood CERN kiirendis.

Nagu näha, on ka peale väga tugevat filtreerimist ja online-arvutuste kasutamist aastaga saadav infohulk päris suur ning selle töötlemine üksikute arvutite peal oleks ilmselgelt lootusetu ettevõtmine. Siinkohal tulebki appi GRID tehnoloogia, mis võimaldab saadud andmeid asuda töötleva paljudes eri kohtades asuvatel arvutitel, moodustades nii virtuaalse organisatsiooni, mis tegeleb eksperimendi andmetega. Sellisel andmetöötlusel on aga üks suur probleem – kuna andmekogu on väga suur (mõned terabaidid kuni petabaidid) ja nende kopeerimine iga arvuti juurde pole otstarbekas, tuleb kasutada arvutivõrgupõhist failipöördust, mis on aga jälle aeglane võrreldes kohapealsete salvestusseadmetega. GRID süsteemides kasutatakse probleemist ülesaamiseks andmepaljunduse (*data replication*) teenust, mis tekitab põhiandmetest koopiaid järgmise taseme (*tier*) vahemällu ning hoiab korras muutuste ja koopiade arvepidamise. Teiseks võimaldab GRID andmevahetus failide efektiivset

osalist kasutamist (pole vaja salvestada tervet 200TB faili, kui reaalselt vajatakse ainult 1GB) ning laivõrkudes (WAN) efektiivselt ja kiirelt toimivat failide ülekannet.



Joonis 2 • Andepidjunduse tasemed info edastamiseks GRID süsteemis.

Samas tuleb siiski tõdeda, et nagu ütleb vanasõna – “süües kasvab isu”, on ka GRID tehnoloogia võimalused siiski piiratud ning alati leidub selliseid ülesandeid ja probleeme, mille lahendamiseks ei piisa olemasolevate GRID võrkude võimsusest.

1.3 – Lühülevaade GRID ajaloost

Koos interneti ja arvutusvõimsuste arenemisega oli 1980-ndatel tekkimas huvi ja võimalus loomaks võrku arvutusvõimsuse, info ja teiste arvutiressursside jagamiseks ja kooskasutamiseks [8]. Üheks esimeseks GRID temaatikaga tihedamalt seotud projektiks oli 1988a. USA *Wisconsin-Madisoni* ülikoolis käivitatud projekt “Condor” [53]. Tarkvara võimaldas hallata süsteemi kuuluvate arvutite tööaega, mida kasutaja näeks lihtsalt ühise ressursina, *Condor* võis kasutada kõiki asutuses olevaid ja platvormilt sobivad arvuteid ning suutis tagada ka mõningase tõrkekindluse juhuks, kui keegi peaks mõne arvuti välja lülitama väljajagatud töötamise ajal. Esialgne versioon võimaldas tööd ainult lokaalvõrgus ning sisaldas paljusid teisi piiranguid (näiteks tihedalt seotud paralleeltöötamise algoritmide kasutamise keerukus). Aga GRID rakenduste jaoks oli tarkvara väga sobiv ning leiab edasiarendusena kasutamist ka *Globus* projekti raames (Condor-G).

Järgnevas verstapostiks GRIDi arengus võib lugeda WWW (HTTP ja HTML protokollid) kasutamise alguse 1991a. Tim Berners-Lee, CERN poolt.

1993.a käivitas USA Virginia ülikool projekti “Legion” [54] mille ülesandeks oli luua objekt-orienteeritud tarkvarasüsteem võimaldamaks kasutada hajutatud ressursse üle arvutivõrgu ühtse virtuaalse arvutina. Kõik süsteemi ressursid on kirjeldatud objektidena koos sinna juurde kuuluvate meetodite jms-ga. See aga tekitas probleeme süsteemi kasutamisel olemasolevate (mitte- objektorienteeritud) lahendustega, kuna enamasti ei ole võimalik olemasoleva süsteemi rakenduste täielik väljavahetamine. Tänapäeval tegeleb toote arendamisega aga projekti algataja Dr. Andrew Grimshaw loodud erafirma Avaki Corporation [5].

1994a. – projekt “Nimrod” mis võimaldas korraldada tööde jagamist ja manageerimist esialgu lokaalvõrgu piires, hiljem Nimrod/G täiendusena ka Globus paketi raames GRID lahendustes. Nimrodi üheks tugevamaks küljeks on paindlik ressursijagamissüsteem ning efektiivne tööde ja ressursside monitooring, oluline on ka töötaja arvestuse olemasolu (seda on vaja eriti superarvutite juures, mille tööaeg maksab päris suure hulga raha)

1995.a lõpus USAs San Diegos toimunud konverentsil SuperComputing '95 seati üles esimene suurem superarvuteid ühendanud andmesidevõrk I-WAY (*Information Wide Area Year*) mis ühendas kokku 17 arvutuskeskust, loodud võrgu abil demonstreeriti ja kasutati ligi 60 erinevat rakendust. I-way võrk oli esimene (edukas) tänapäevaste GRID süsteemide eelkäija [52], kõikidesse osalevatesse keskustesse installeeritud spetsiaaltarkvara I-POP (*I-WAY Point of Presence*) võimaldas kasutajate ühest autentimist ja autoriseerimist, tarkvara ja andmete vahetamist, kuid mõningad detailid tööde jaotamisel vajasisid veel siiski ka operaatori abi.

1996.a juulikuus alustati projekti SETI@home [40] mis kasutas raadioteleskoopide infot töötlemiseks kodu- ja kontoriarvutitesse installeeritava ekraanipäästja (*screensaver*) abi.

1997.a käivitus saksamaal projekt UNICORE (UNiform Interface to COmputing REsources) [33] mis oli paljude võimalustega rakendus (super)arvutite ressursside jagamiseks ning kasutamiseks üle interneti, sisaldades endas nii rakenduste vahetarkvara (i.k. *middleware*) kui ka kasutajaportaali osa. Süsteemiga suhtlemine käib UNICORE puhul läbi ühe punkti, kasutatakse Java rakendusi ning tugevaid autoriseerimisskeeme (näiteks X.509 sertifikaadid), sellest ühest keskkonnast on võimalik esitada / kompileerida programme kui esitada/saada andmeid.

Projekti juures on käivitatud Euroopa Ühenduse programm EU GRIP (*Grid Interoperability Project*) loomaks võimalusi UNICORE ja Globus põhiste GRID rakenduste kooskasutamiseks.

1997a. alustati ka projekti “Globus” [48] arendamist, 1998a. juulis ilmus Ian Foster, Carl Kesselmanni raamat “The Grid: Blueprint for a New Computing Infrastructure” kus kirjeldati mitmeid olulisi GRID võrke puudutavaid teemasid, veidi hiljem, augustis tuli välja paketi Globus Toolkit (vt. dokumentatsiooni [47]) esimene versioon. See on maailmas enamkasutatavaim vahetarkvara (*middleware*) GRID võrgu realiseerimiseks ning sellele peatume põgusamalt käesoleva töö peatükis 2.3 Lühidalt kokkuvõttes võimaldab Globus toolkit luua GRID süsteemi toimimiseks kõik vajalikud komponendid nagu autoriseerimine/turvalisus (*GSI*), andmete juurdepääs ja ülekanne (*GASS*, *GridFTP*), ressursihaldus (*GIS*, *GRAM*) ning kaugtöö (*globusrun*). Globus toolkit on saadaval *open-source* litsensiga nende koduleheküljelt [47]. Alates aastast 1999 on toimunud konverentsid “Grid Forum” millest on tänapäevaks saanud üle 5000 liikmega (erisikud ja asutused/firmad) organisatsioon Global Grid Forum [14] mille ülesandeks on GRID tehnoloogiate arendamine, kasutamine ja tutvustamine.

2000a. juulis ostis arvutifirma SUN GRID lahenduste tootmisega tegeleva ettevõtte Gridware, sisenedes üha suurenevale GRID tehnoloogialahenduste turule – tooteperekond Sun Grid Engine [41].

2000a. oktoobris valmis USA-s NASA GRID projekti IPG (Information Power GRID) prototüüp [20].

2001a. käivitati euroopa s EU Data Grid projekt [22], aasta lõpu poole TeraGRID projekt USA-s [48] ning põhjamaades projekt NorduGRID [31].

Samal aastal tulid välja protokollid XML (*eXtensible Markup Language*) ja WSDL (*Web Services Description Language*). Euroopas käivitus projekti GEANT raames (multi)gigabit kiirusel andmesidevõrk.

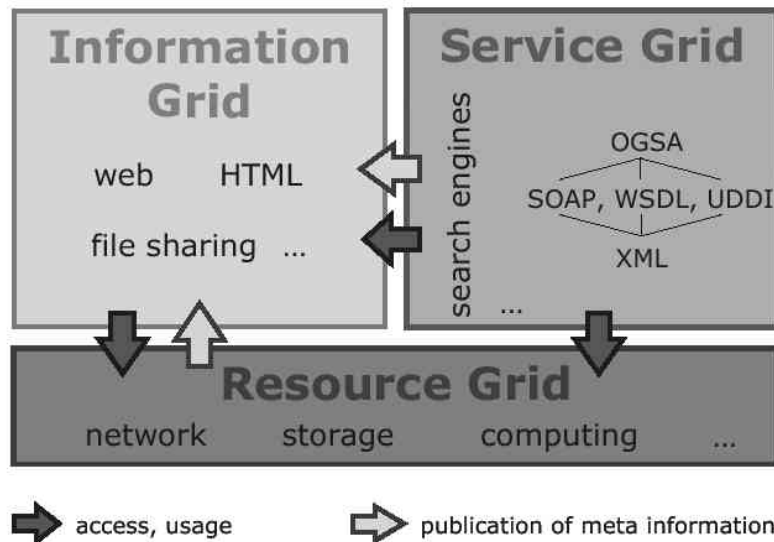
2002a. tõi projekti OGSA (*Open Grid Services Architecture*) mis ühendab Globus toolkiti ja WSDL võimalused

1.4 – GRID süsteemi koostisosad

GRID lahendustes võib vaadelda ka kolme alamjaotust [1] - informatsiooni (informational grid), ressursse (resource grid) ja teenuseid (services grid).

Informatsioon hõlmab kõikvõimalikku töödeldavat ja kogutavat osa andmeid, mis on kuidagi kättesaadavad, ressurssidena vaadeldakse arvutusvõimsust, salvestusmahtu, võrguühendusi, spetsiaalseidmeid jms ning teenustena asukohast, riisvarast ja lahendusest sõltumatuid operatsioone andmetega (vt ka Joonis 3).

Neid kahte viimast eristab põhiliselt just nende abstraktsioonitase - ressursid viitavad mingile konkreetsele arvutiseadmele samas kui teenused oleks kirjeldatud asukohast ja platvormist sõltumatud.



Joonis 3 – Kolm peamist GRID tüüpi.

GRID süsteemi arhitektuuri kirjeldamisel [16] on ühe põhilise asjana arvesse võetud nõuet, et selle süsteemi iga potentsiaalne kasutaja (Virtuaalse Organisatsiooni liige) saaks seda kasutada – ehk teisisõnu ühilduvust. Võrgumaailmas tähendab see suhtlusprotokollide paikapanemist, millega kirjeldatakse VO kasutajate ning ressursside omavahelise suhtlemise ning info/ressursside/teenuste jagamise/kasutamise korraldus. Lisaks tagab põhiliselt kasutusel olev, standarditel põhinev avatud süsteem ka vajaliku laiendatavuse, koostöö eri platvormide vahel ning programmide jagamise ning ühilduvuse.

Miks on ühilduvus oluline? Antud kontekstis on selleks vajadus tagada kõigi VO osaliste võimalus kasutada süsteemi võimalusi ning lisada süsteemi uusi liikmeid arvestamata nende kasutatavaid platvorme, programmeerimiskeeli ja keskkondi.

Ilma üldiseid/ühiseid suhtlemismehhanisme kirjeldamata tuleks kõik VO osalistevahelised sessioonid/ühendused kirjeldada ära kahe osapoole vaheliste kokkulepetena, mis ei taga, et samamoodi õnnestuks teostada ühendusi teiste

osapooltega või süsteemi laienemise korral. Selline olukord muudaks aga dünaamiliselt muudetava/hallatava/toimiva VO tegemise raskeks.

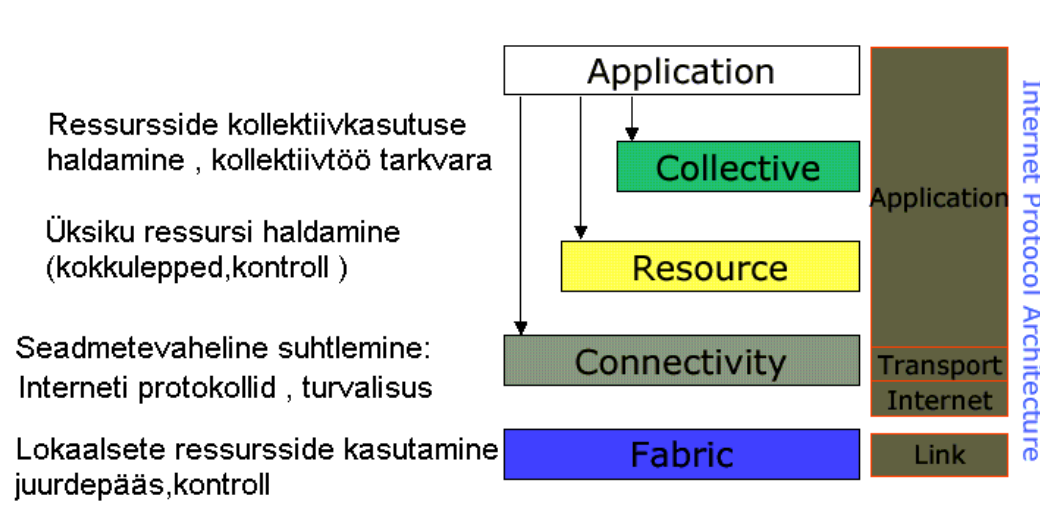
Ühe hea näitena ühtse suhtlusmeetodi kasutuselevõtt paljude osapoolte vahel võiks tuua HTTP protokoll ja HTML süntaksi kasutuselevõtu informatsiooni jagamisel internetis, mis on muutnud võimalikuks informatsiooni väga laialdase leviku ning leidnud kasutamise pea kõigis IT valdkondades.

Analoogiliselt tuleks ära kirjeldada ka protokollid ja süntaks ressursside jms. jagamiseks GRID võrkudes

Kõiki eelpooltoodut kokkuvõttes oleme saanud tarkvarapaketi, mida kutsutakse ka terminiga “*middleware*” (vahetarkvara ja teenused mis on vajalikud jagatud võrgu tööks) ning mis on GRID süsteemi põhikoostisosaks.

Üheks vahetarkvara näiteks on *GLOBUS toolkit* mis leiab kasutamist paljudes suuremates GRID projektides üle maailma.

Jaotades GRID arhitektuuri koostisosad erinevateks, üksteisega seotud hierarhilisteks kihtideks (vt Joonis 4) ning nendega seotud protokollideks võib sarnaselt Interneti Protokoll (OSI standard) arhitektuuriga eristada mõningaid põhikomponente (Interneti puhul näiteks TCP ja IP) mis tagavad kõrgema taseme kihtide jaoks vajaliku teenuse / töö mis aga jälle omakorda on vajalik veel kõrgema taseme kihi tööks.



Joonis 4 • GRID süsteemi teenustekihtid – võrrelduna IP arhitektuuriga.

Tagamaks süsteemi ühilduvust ning lihtsust peab põhiprotokollide/kihtide hulk olema väike. Toodud joonisel ongi süsteem jaotatud neljaks põhikomponendiks Ressursihaldus (*Resource layer*), Kollektiivtöö haldus (*Collective layer*), Ühenduste kiht (*Connectivity layer*) ning Aktiivosa (*GRID fabric*)

GRID aktiivosa on ressursid, mida süsteemis kasutatakse - näiteks

- arvutusvõimsus - kasutaja programmide käivitamine, monitooring ning vajalike ressursside haldus
- salvestusmaht - operatsioonid failidega, reeglina kasutatakse suure mahu ja jõudlusega spetsiaalseadmeid / tarkvara.
- programmid / teegid
- infokataloogid
- võrguseadmed ja ühendused
- mitmesugused välisseadmed .

Iga jagatav üksus võib olla nii üksik seade kui ka näiteks NFS failisüsteem või arvutiklaster, see aga ei oma GRID süsteemi kasutaja vaatevinklist erilist tähtsust. Aktiivosa tagab ka jooksva info jagatavate ressursside kohta (nt. protsessori koormus, kasutatav mälumaht, vaba salvestusmaht jne) ning võimaldab teostada selle info põhjal dünaamilist ressursijaotust ja reserveerimist.

GRID ühenduste kiht kirjeldab GRID võrguühenduste side ja autoriseerimise protokollid. Side hulka kuulub aktiivosa komponentidevahelise suhtlemise organiseerimine, põhilised funktsioonid on informatsiooni transport (põhiliselt IP), marsruutimine ja nimelahendus(DNS).

Autoriseerimise põhiülesandeks on krüptograafiliste meetoditega tagada süsteemi kasutajate ja ressursside identifitseerimine ning juurdepääsuõigused.

Mõned VO eripärased autoriseerimise tingimused on järgmised:

- kasutaja ühekordne süsteemi sisselogimine (mis oleks piisav kõigi süsteemi erinevate osade poole pöördumise jaoks)
- Õiguste delegeerimine – annab kasutajale võimaluse lasta programmil tema eest kasutada süsteemi ressursse, tavaliselt siiski mingis piiratud lõigul / õigustes
- Olemasolevate kohalike turvakeskkondade toetus – võimaldamaks kasutada ka olemasolevate seadmete turvasüsteeme (Unix, Kerberos jpt.)
- Kasutaja põhised usaldus-turvalahendused (*user-based trust relationships*), milles kasutajal on kogu süsteemi piires defineeritud õigused ega vaja iga üksiku komponendi puhul täiendavat turvaõiguste defineerimist.

GRID ressursihalduse ülesandeks on ühenduste kihi side- ja autoriseerimisprotokollide abil kirjeldada omakorda protokolle individuaalsetele ressursidele ligipääsuks. Ressursihalduse teemade hulka kuulub mingi kindla ressursi kasutuse läbirääkimine, alustamine, jälgimine, arvepidamine ja lõpetamine. Ressursiosa protokollid pöörduvad edasi juba konkreetse ressursi poole GRID aktiivosas.

Kaks ressursijaotuse põhilist protokolliliiki oleksid informatsiooniprotokollid (*Information protocols*) ja haldusprotokollid (*Management protocols*).

Informatsiooniprotokollide ülesannete hulka kuulub mingi konkreetse ressursi kohta struktuuri, oleku ja konfiguratsiooni edastamine, haldusprotokolli ülesandeks on tegeleda ressursile ligipääsu kokkuleppimisega, kirjeldades ära vajalikud nõudmised ja võimalused.

GRID süsteemi kollektiivtöö halduse kiht tegeleb, nagu juba nimetus viitab, kollektiivtöö koordineerimisega. Nende tegevuste hulka kuuluvad:

- mitmesugused kataloogiteenused – võimaldavad VO kasutajal leida mingit ressursi või saada mingit infot selle kohta.
- Mitme ressursi kooskasutamine, kasutusaja planeerimine võimaldavad VO kasutajal kasutada mingiks kindlaks tööks mitut süsteemi ressursi korraga ning vajadusel selle ressursi kasutust ette planeerida.
- Süsteemi monitooring ja diagnostika annab teavet vigade jms. juhtumite kohta ning võimaldab uurida üldist kasutust jne.
- Andmepaljundusteenused (*Data Replication*)– võimaldavad salvestatud infot (jms) paljundada / viia kasutajale lähemale tagamaks selle parem kättesaadavus (kiirus, aeg ja maksumus).
- GRID-toetusega programmeerimiskeskondade kasutamise võimaldamine.
- Tööaja- ja grupitöö haldussüsteemid (ka probleemide lahendamise keskkond, *Problem solving environments*) võimaldavad kirjeldada, kasutada ja manageerida mitmeetapilisi, asünkroonseid, paljudest alamülesannetest koosnevaid töid / projekte.
- Tarkvara otsiteenused võimaldavad leida antud probleemi jaoks parimat tarkvara ja riistvaraplatforni.
- Asutusesiseste autoriseerimise ja arvepidamise teenused võimaldavad hallata / kontrollida süsteemi ressurside kasutamist organisatsiooni liikmete poolt

- Grupitöö teenused võimaldavad kas sünkroonselt või asünkroonselt korraldada koordineeritud infovahetust potentsiaalselt väga suurtes organisatsioonides.

1.5 • Globus Toolkit tarkvarapakett

Üheks enamkasutatud *middleware* ehk GRID vahetarkvaraks maailmas on *Globus Toolkit* mis on välja töötatud *The Globus Project* nimelise organisatsiooni poolt, kuhu kuuluvad USA Argonne Rahvuslik Laboratoorium [51], Chicago ülikool ja Lõuna-Kalifornia Ülikooli Arvutiteaduse Instituut.

Pakett võimaldab modulaarselt (komponentide kaupa) realiseerida kõiki vajalikke komponente GRID võrgu loomiseks ja käigushoidmiseks, võimaldades edaspidist süsteemi laiendamist. Lisaoks on kõigile kättesaadav ka tarkvara lähtetekst *open_source* litsentsi alusel.

Vaadeldes eelpooltoodud GRID struktuurikirjeldust on paketi põhikomponendid alljärgnevad: (vt. ka joonis 4)

Aktiivkihi ehk “*Fabric*” moodustavad erinevad kasutatavad riist- ja tarkvaraüksused (arvutid, võrgufailisüsteemid, arhiiviseadmed, mitmesugused kataloogid, võrguseadmed, sisendseadmed jms).

Ühenduskihi moodustaksid internetiprotokollid (*IP, TCP, UDP, TLS, DNS* jpt) ning Grid Security Infrastructure (*GSI*) moodul, mille ülesandeks on tagada

- ühelaadne autoriseerimine kogu GRID ulatuses;
- sõnumitevahenduse autoriseerimine ja turvalisuse tagamine;
- ühekordse sisselogimine, õiguste delegeerimine ja märkimine süsteemis;
- PKI (public key infrastructure) kasutamine SSL, X.509 protokollid ning GSS-API;
- vajalikud tugiteenused sertifikaatide autoriseerimiseks (CA) ja manageerimiseks jt.

Ressursihalduse kihi moodustavad

- GRAM (*Grid Resource Allocation Management*), mille ülesandeks on hallata (kaugelt!) GRID võrgus kasutatavaid ressursse (arvutusvõimsus jms),
- GridFTP – GRID laiendused FTP protokollile, tagamaks suure jõudlusega (suure läbilaskeriba, paralleelse ning failide osalist töötlemist võimaldav andmevahetus),
- GRIS (*Grid Resource Information Service*) mis võimaldab saada informatsiooni ressursside struktuuri ja oleku kohta GRID süsteemis.

Lisaks on veel mitmesugused vahendid GRID võrguühenduste reserveerimiseks, kontrolliks ja üldiseks haldamiseks. Enamus ressursihalduse kihi komponente kasutab ühenduskihi protokolle (GSI, IP jne)

Kollektiivtöö halduse kihi moodustavad *Globus Toolkit* paketi näiteks

- mitmesugused indekseerimisserverid (MDS - *Meta Directory Service*) mis võimaldavad katalogiseerida süsteemi osasid ning esitada kasutajale sellest sobivaid vaateid. Indekseerimise ja kataloogiserverites leiavad põhiliselt kasutamist X.509 sertifitseerimine ja LDAP (*Lightweight Directory Access Protocol*) protokollid;
- ressursivahendusteenused (*resource brokers*) mille ülesandeks on otsida, vahendada ning reserveerida süsteemis olevaid ressursse;
- andmepaljunduse koopiade kataloogid (*Replica catalogs*);
- andmepaljunduse server (*Replica server*);
- ressursside kooskasutuse- ja reserveerimise teenused;
- tööaja- ja grupitöö haldussüsteemid.

Kasutajatega suhtlemiseks on *Globus Toolkitis* olemas teenus *Globus Gatekeeper* (GRID lüüs) mis võimaldab kasutajatel ühest kohast suhelda GRID süsteemiga ning sisestada, manageerida oma töid.

Lisaks on Globus Toolkiti juures olulised veel mõned teenused ja tarkvarapaketid, näiteks Condor-G – mis on edasiarendus / koostöö seni vaid lokaalselt hajutatud arvutite põhjal suure jõudlusega arvutusvõimsuse tööjaotustarkvara arendanud Condor project-i [53] ja Globus project-i vahel loomaks GRID süsteemi jaoks sobivat mehhanismi arvutusvõimsuse jagamiseks. Condor-G ühendub teiste GRID süsteemidega ning võimaldab efektiivselt teostada GRID võrgus tööde jaotamise ja haldamist mingi konkreetse GRID-i osa (domeeni) piires. Tarkvarapakett võimaldab rakendada tööde monitooringut, logimist, teavitamist, reeglistiku seadmist, veakindlust, identifitseerimist ja allkirjastamist ning võimaldab realiseerida ka keerulisi mitme töö vahelisi seoseid

§2 – ARVUTIVÕRGUD

2.1 • L ühiülevalde tänapäeva arvutivõrkudest

Arvutivõrgud ehk vahendid arvutite omavaheliseks sideks on viimastel aastatel väga jõudsalt levinud üle maailma, üha vähem arvuteid on ilma võrgu- või internetiühendusest ja tänu osaliselt tänu ka sellisele laiale levikule on arvutivõrkude tehnoloogia arenenud päris jõudsalt.

Ajaloo detailidel ei saa siin eriti pikalt peatuda, kuid ära võib tuua siiski esimese suurema saavutusena peale suhteliselt aeglase järjestikside kasutamist arvutite vahel, koaksiaalkaablil toimiva etherneti võrgu väljatöötamise ja standardi kasutuselevõtu 1970-ndate keskel (tehnoloogiale panid aluse Bob Metcalfe ja David Boggs Xerox Palo Alto Research Center-ist, kes demonstreerisid 1973 esimest etherneti lokaalvõrku (laiemale avalikkusele esitasid nad 1976a. oma töö ‘Ethernet: Distributed Packet Switching for Local Computer Networks’[37]), mis võimaldas tolle aja jaoks suurt, ~3Mbit/s sidekiirust ning lasi hakata arenema võrgutarkvaral ja tehnikal. Juba paaril järgneval aastal jõuti etherneti standardiseerimiseni (1979a. Digital Equipment Corporation, Intel, ja Xerox dokumenteerisid “etherneti sinise raamatu” – (*Ethernet Blue Book*) mis kirjeldas 10Mbit/s CSMA/CD (*Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection*) võrgu nn. jämedal-koaksiaalkaablil). Lisaks Etherneti standardile oli loomulikult kasutusel ka palju teisi meetodeid arvutite ühendamiseks võrku nagu IBM Token-Ring, apple localtalk jne, kuid need pole tänapäevaks enam eriti levinud. Kuni 1980-ndate aastate lõpuni ei olnud arvutivõrkudes arengus märkimisväärset arengut kiiruste osas. Sel ajal võiks tähelepanuväärsena välja tuua interneti kiire arengu (kui 1984 oli registreeritud ~1000 interneti hosti, siis 1990-ndate alguseks oli registreeritud ühenduste arv lähenemas juba miljonile), telekommunikatsioonifirmade sidevõrkudes üha enam kasutust leidva valguskaabli (füübertika) põhise side hulga suurenemise ning üha kiiremate sidekanalite kasutuselevõtu 1990.a tuli etherneti arvutivõrkude juures kasutusele lisaks koaksiaalkaablil põhinevale võrgule ka keerupaaril põhinev 10Base-T võrk, mis kasutas ka aktiivseadmeid (HUB, võrgusillad).

Mõned aastad enne seda, 1988a. standardiseeris ITU (International Telecommunications Union) eelkäija CCITT ATM (*Asynchronous Transfer Mode*)

tehnoloogia, mis võimaldas arvutivõrkude juures, eriti olulisena aga magistraalühenduste puhul ühendada ühtsesse võrku lisaks arvutisidele veel ka kõne, pildi ja muud digitaalset informatsiooni. ATM tehnoloogia põhiideeks on info edastamine väikeste, fikseeritud suurusega infopakettidena, suurtel kiirustel (25Mbit/s kuni 2.4Gbit/s). See võimaldas hüppeliselt suurendada linnade- ja asutustevahelise andmeside mahtu.

1995a. tuli välja etherneti edasiarendus *IEEE 802.3x* standard - *Fast-Ethernet* mis tõi kasutusele sidekiiruse 100Mbit/s mida 1997.a täiendati võimalusega kahekordistada läbilaset täisdupleks režiimi (*full-duplex*) kasutuselevõtuga. *Fast-ethernet* võis vastavate aktiivseadmete (hub ja switch) olemasolul toimida ka koos olemasoleva, tavalise 10Mbit etherneti võrguga. See asjaolu aitas paljuski kaasa etherneti tehnoloogia edasisele arengule / võidukäigule teiste tehnoloogiate seas.

Fiiberoptiliste kaablitega kasutati mõnikord ka FDDI (*Fiber distributed Data Interface*) protokollit toetavates kiiretes kohtvõrkudes, mis tagas oma ringstruktuuriga mõningaid lisavõimalusi.

Järgmisena, 1998 algas Gigabit-etherneti arendamine ja levik ning selleks ajaks oli ka veidi keerulisema (ja seega kallima) struktuuriga ATM võrgu kasutamine jäänud enamasti kaugvõrkudesse ning väga suure koormusega kohtvõrkudesse, kuigi sidekiirused 622Mbit/s ja 2.4Gbit/s olid saadaval ka ATM võrgus.

Gigabit-ethernet, mis tuli algselt välja ainult fiiberoptilise meedia jaoks, sai 1999a. standardi ka CAT-5 vask-keerupaarikaabli kasutamiseks ning on tänapäeval üks enamlevinud võrgumeediatüüpe koht-ja laivõrkude baasühenduste rajamisel, samas kui nn.töökoha tasemel kasutatakse palju veel ka 10Mbit/s ja 100Mbit/s ühendusi. 2002a. keskel on standardiseeritud juba ka 10Gigabit-etherneti kasutamine [18], selle tehnoloogia laiem kasutuselevõtt toimub ka Eestis tõenäoliselt juba lähiajal, kuid tänu oma hinnale, mis on siiski suurusjärgu võrra rohkem, kui Gigabit-ethernetil ei leia kohe loomulikult teed kõigisse arvutivõrgu osadesse.

2.2 • Arvutivõrkude liigid.

Meie teemaatikast lähtudes jaguneksid arvutivõrgud eelkõige nende geograafilise suuruse järgi arvutisüsteemide (koht)võrkudeks, lokaalseteks arvutivõrkudeks, linnaulatusega arvutivõrkudeks ja laivõrkudeks (kaugvõrkudeks.)

2.2.1 • Lokaalsed arvutivõrgud

ka kohtvõrgud, (i.k. LAN – *Local Area Networks*) tähistavad arvutivõrke, mis asuvad mingi ühe organisatsiooni piires / hoone vms territooriumil ning kus kaugused võrguseadmete vahel on enamasti väikesed. Sellistel tingimustel ei ole reeglina vaja kasutada võrgu väljaehitamiseks keerukat sideaparatuuri, enamasti piisab vaid võrgukaabelduse (põhiliselt CAT-5) ning võrgus jaotusseadmete (hub, võrgulüliti, raadiovõrgu juurdepääsupunkt jne) paigaldamisest. Enamlevinud tehnoloogiad tänapäevaste lokaalvõrkude ehitamisel on fast-ethernet ja gigabit-ethernet, väikest kasutamist leiab juba ka traadita kohtvõrk (IEEE 802.11b, 802.11g ja 802.11.a standarditel), teised tehnoloogiad (nn.tavaline 10Mbit ethernet, ATM, token-ring jne.) hakkavad vaikselt lokaalvõrkude rakendustest taanduma, kuigi leiavad siin-seal siiski veel kasutust.

Lokaalvõrgud olid ka ühed esimesed arvutivõrgud, mis leidsid laiemat kasutamist ärgitades tagant võrgutehnoloogia edasiarendamist ja odavnemist.

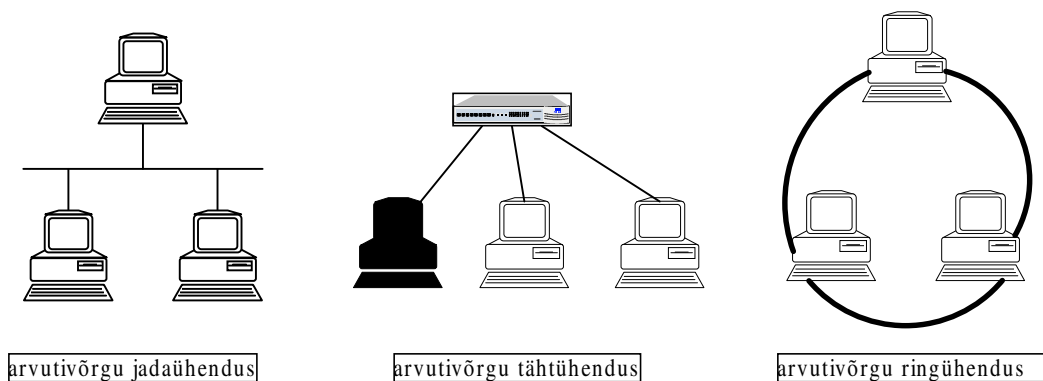
Lokaalvõrkude puhul on olulisel kohal ka termin VLAN ehk virtuaalne lokaalvõrk mis tähendab sama füüsilise arvutivõrgu infrastruktuuri piires mitme, reeglina teineteisest eraldatud võrkude olemasolu. Virtuaalvõrgud võimaldavad näiteks eraldada üksteisest firma erinevate osakondade arvutid jms.seadmed tagamaks paremat turvalisust ja läbilaset (vältimaks liigset broadcast-teadete hulka jne) Virtuaalvõrkude kasutamine ja tehnoloogia on tänapäevaks juba standardiseeritud (IEEE 802.1Q jpt) ning on toetatud pea-aegu igas manageeritavas võrgulülitis. Tänu fiiberoptiliste kaablite ja raadiolinkide laiemale levikule on ühe tendentsina hakanud viimastel aastatel hägustuma piir kaug- ja kohtvõrkude vahel, kuna ka suur osa kaugvõrkudest kasutab juba praegu fast-etherneti või gigabit-etherneti protokolle ning kohtvõrkudes kasutatavaid seadmeid mis kokkuvõttes küll lihtsustab üldist arvutivõrgu pilti kuid tekitab juurde ka mõningaid tehnilisi ja turvaprobleeme.

Lokaalvõrkude andmesidet iseloomustavad tavaliselt suur läbilaskeriba (üksiku seadme kohta 100Mbit/s või 1Gbit/s, tavalise keskmise võrgulüliti puhul summaarne 9Gbit/s) ja võrdlemisi väike latentsus (mõni millisekundid või veelgi vähem) ning võrgus olevate seadmete suur arv. Ka Eestis pole väga haruldased suuremate organisatsioonide mitmetuhande arvutiga lokaalvõrgud. Võrreldes teiste arvutivõrguliikidega, on lokaalvõrguseadmed tavaliselt suurusjärgu odavama hinnaga ning ka tootevalik on väga lai. Tänapäeva lokaalvõrgu seadmete hinnad algavad juba mõnesajast kroonist ning ulatuvad harva üle mõnekümne tuhande krooni piiri. Kui lokaalvõrgu protokollidest oli veel viis aastat tagasi kasutusel palju erinevaid OSI kolmanda taseme (L3) protokolle nagu IP, IPX, NETBEUI, SNA jne siis tänapäeval on jäämas põhiliseks kasutatavaks ühendusprotokolliks IP.(põhiliselt IPv4, kuigi lähiajal võiks oodata ka IPv6 laiemat kasutuselevõttu).Ka ei ole lokaalvõrgu struktuur reeglina väga keeruline ning ei ole tarvis kasutada keerulisemaid marsruutimisprotokolle nagu OSPF, BGP jne. Palju huvitavat lokaalvõrkude kohta võib leida TecFest internetileheküljelt [44].

2.2.2 • Lokaalvõrkudes kasutatav tehnoloogia, selle omadused / võimalused

Kohtvõrgud asuvad reeglina suhteliselt väikesel maa-alal ning tavaliselt saab nendes hakkama vaid mõne erineva võrgutehnoloogia kasutamisega.

Põhiliseks kasutatavaks võrgutüübiks on arvutivõrguseadmete tähtühendus, kusjuures võrgu sõlmedeks on aktiivseadmed – võrgulülid, marsruuterid, hubid jms.



Joonis 5 – arvutivõrkude enamlevinud ühendusviisid.

Kasutatakse põhiliselt CAT-5 UTP (varjestamata keerupaar) kaabeldust, mille puhul on tagatud töökaugus ühe kaabli puhul etherneti (ja ka teiste protokollide) võrgus olla kuni 100m. Pikemate ühenduste tegemiseks tuleb kasutada kas fiiberoptilist kaablit

koos vastavate liidestega või vaskkaabli korral spetsiaalset seadet (näiteks VDSL modem). Võrgu laiendamise ja suuruse seisukohalt on oluline ka kogu kohtvõrgu segmendi suurus ja seda põhiliselt kahel põhjusel: Etherneti võrgus on olulisel kohal kõigile võrgusegmetis olevatele seadmetele edastatavate *broadcast*-pakettide kasutamine mitmesuguste päringute tegemiseks (näiteks ARP, failisüsteemide nimelahendus jne) millede hulk on suuresti sõltuvuses võrgusolevate seadmete arvust – mida rohkem on võrgus seadmeid, seda rohkem kulub võrguressurssi broadcast-pakettide töötlemisele. Teine oluline kriteerium on kollisioonide esinemise sagedus võrgus. Kollisiooniks nimetatakse nähtust, kus kaks võrguseadet saadavad infot võrku samal ajal ning tulemusena läheb kaduma mõlema saadetud paketi info.

Kollisioonidega võitlemiseks on kasutusel spetsiaalne skeem, mis kontrollib esiteks paketi saatmise ajal, kas ei ole tekkinud kollisiooni, teiseks tagab kahe paketi saatmise vahelise minimaalse “vaikuseperioodi” olemasolu ning lõpus kirjeldab ka käitumise seadme võrguadapterile, mida tuleb teha kollisiooni esinemise korral. Lihtsustatult võiks seda käitumist kirjeldada kui kollisiooni tõttu saatmata jäänud infopaketi tsüklilist uuestiedastamist teatud, muutuva ajahetke järel niikaua, kui saatmine õnnestub (ei teki enam kollisiooni) või ületatakse maksimaalne lubatud katsete arv. Kollisioonid langetavad tuntavalt etherneti võrgu läbilaskevõimet, kui kahe seadme otsesuhtlusel saab kasulikuks ribalaiuseks enam-vähem 98% siis juba paari-kolme seadme lisandumisel võib kasutegur langeda 50%-ni (või allapoolegi)

Kollisioonid on lisaks signaalikadudele ülekandekaablites “šüüdi” ka piirangutes võrgukaablite pikkusele – nimelt on kollisioonitõrje planeerimisel kasutatud ajategurid seatud enamasti täpselt lubatud piirpikkuste järgi (või veidi suuremad) ning ei tuvasta enam pikemas kaablis liikuva info puhul kollisioonide teket.

Kuna tänapäevastes kohtvõrkudes on kasutusel juba põhiliselt võrgulülitel põhinev arhitektuur koos täisdupleks režiimiga, hakkab kollisioonide teema sellega aktuaalsust kaotama, olulisemaks hakkab muutuma võrgulüliti jõudlus, puhvrite suurus ja info prioritseerimise süsteemi olemasolu.

2.2.3 • Arvutisüsteemide võrgud

ka arvutiklastrite võrgud, (ik. *System Area Networks* – SAN) on tegelikult lokaalvõrkude alamliik mis jääb tavaliselt arvutivõrkude teemast väljapoole, kuid peatuksime sellel jaotusel siiski tänu nende kasutamisel mõningate GRID võrkude koostisosade juures. Arvutisüsteemi kohtvõrguna vaatlaks arvutite kohtvõrku, millel

on piiratud füüsiline leviala (tavalisel mõni ruum) ning nende põhieesmärk on tagada arvutisüsteemi kuuluvate seadmete väga kiire ning väikse latentsusega side tagamine, kusjuures ei ole oluline kasutatava tehnoloogia suur ühilduvus teiste arvutivõrguseadmetega (st. kasutatakse ka spetsiifilisi, näiteks ainult seda tüüpi lahenduste jaoks väljatöötatud tehnikat). Tavaliselt ei erine lihtsamate arvutisüsteemide või klastrite võrgud eriti nn. tavalisest lokaalvõrkudest, kuna põhiline kasutatav tehnoloogia tänapäeval on ka seal ethernet (fast-ethernet, gigabit-ethernet ja juba ka 10Gigabit-ethernet), tavaliselt kasutusel koos suure jõudlusega võrgulülitiga.

Lisaks ethernetile on arvutiklastrites (ja ka mujal) kasutusel veel teisi meetodeid kiirete ühenduste loomiseks, näiteks InfiniBand [19], MyriNet [25], SCI (Scalable Coherent Interface) [49] võrgud, mis on spetsiaalselt välja töötatud toimimiseks suure jõudlusega arvutivõrkudes ning kasutavad ühendustes võrreldes ethernetiga lihtsamat ja kiiremat protokollit ning on tihtilugu vaadeldavad rohkem arvuti sisemiste siinide laiendusena kui võrguliidesena. Tänu sellele ja kasutatavatel liidesekaartidel olevatele lisaprotsessoritele tagavad spetsiaalseadmed võrreldes Fast-etherneti ja ka gigabit-ethernetiga suurusjärgu võrra väiksema latentsuse, voo- ja veakontrolli võimaluse ning ühe olulise erinevusena ei ole ka väikest, 1500 baitist korraga saadetava infohulga (MTU – Maximum Transmission Unit) piirangut nagu see on etherneti puhul. Samas saab endiselt kasutada tänapäeval arvutivõrgus de-facto standardiks saanud TCP/IP protokollit. Spetsiaalriistvara on aga tihtilugu kordades kallim enamlevinud ka serveritele mõeldud gigabit-etherneti võrgukaartidest.

2.2.4 • Linnalaadusega arvutivõrgud

metroovõrgud, (ik *Metropolitan Area Networks* - MAN) tähistavad arvutivõrke, mis on realiseeritud ühe linna või linnaosa piires, kasutades kiireid andmesidekanaleid (tavaliselt fiiberoptiline kaabel, mikrolaine raadio- või laserlink või vasepaaril töötavad kiired xDSL seadmed) ning on sisuliselt väikese ulatusega laivõrk, milles on kasutusel laivõrkudega pea-aegu samad seadmed võrguseadmed (võrgulülitid, marsruuterid jt) ning sarnane struktuur. Kui lokaalvõrkudes on kasutusel palju erinevaid võrguprotokolle, siis metroovõrgud on enamasti IP põhised, nendes leiab kasutamist palju erinevaid alamvõrke ja aadresse ning marsruutmine ja turvapolitika on seetõttu üksjagu keerukas. Palju kasutatakse metroovõrkudes VLAN ja VPN (tihti

ka mõlemaid koos) tehnoloogiaid, mis võimaldab erinevates linna osades asuvaid ühe asutuse arvutivõrke ühendada üheks loogiliseks tervikuks.

Tagamaks võrgu toimimist võimalike aparatuuririkete ja lokaalsete sidekatkestuste tingimustes tehakse metroovõrgud reeglina ringtopoloogiast (vt joonis 5) lähtudes, kus ühendust kahe võrgu punkti vahel on võimalik alati teha kahte teed pidi, kui üks tee langeb ära siis kasutab süsteem (automaatselt) teist (või vajadusel ka kolmandat või neljandat) allesolevat sidekanalit.

Metroovõrke iseloomustab võrgu võrdlemisi suur ulatus ja kogupikkus ning suur läbilaskevõime. Kuna kasutatavate kaablite jms. andmesidekanalite maht on enamasti siiski piiratud on metroovõrkude läbilase siiski väiksem kohtvõrkude võimalikust läbilaskest, kus saab vajadusel mitme paralleelse sidekaabli kasutamisel (*Link Aggregation*, *Channel Bonding*) saavutada suuremaid kiiruseid.

Metroovõrkude andmeside latentsus jääb, samuti nagu läbilasegi tavaliselt kohtvõrkude omale alla, andmesidekanalis on kohtvõrguga võrreldes palju suurem arv võrguseadmeid milles igapähe kulub info (andmeside paketi) töötlemiseks teatav hulk aega. Kui kohtvõrgus on andmepakette töötlevaid seadmeid iga paketi teel tavaliselt ainult mõni, siis keskmises metroovõrgus võib (aga ei pea) ühest võrgu osast teise jõudmiseks pakett läbima ka üle kümne vahepealse seadme. Kuigi metroovõrkude aparatuur on põhimõtteliselt sama kui lokaalvõrkude puhul on kasutatavad seadmed oma suurema jõudluse ,täiendavate omaduste ja pikemate töödistside tõttu mõned korrad kallimad. Ka tootevalik ei ole enam nii suur kui lokaalvõrguseadmetel, tihtilugu tuleb mõne konkreetse omaduse / jõudlusparameetri vajalikkuse tõttu teha valik ainult paari firma seadmete hulgast.

2.2.5 • Laivõrgud , kasutatav tehnoloogia ja võimalused

Laivõrgud ehk kaugvõrgud, (ik. *Wide Area Networks* – WAN) on arvutivõrgu liik mida iseloomustavad suured vahemaad ning erinevate sidekanalite / seadmete kasutamine.

Laivõrgud on enamasti olemas ainult suurematel interneti teenusepakkujatel, sidefirmadel ning mõnedel teistel spetsiifilistel asutustel / ettevõtetel (näiteks raudtee, sõjavägi) kellel on selle omamiseks olemas võimalused ja vajalik infrastruktuur.

Samas võib kasutaja vaatevinklist laivõrguks lugeda ka interneti teenusepakkuja käest renditud sidekanalitest koosnevat võrku.

Laivõrgud kasutavad, nagu öeldud, erinevaid andmesidekanaleid nagu fiiberoptilised kaablid, vaskkaablid, mikrolaine raadio- või satelliitside lingid, millest maailma mastaabis on enamlevinud siiski fiiberoptilised kaablid.

Laivõrkude puhul on võrdlemisi tavaline ka võrgu mitmeotstarbeline kasutamine – samu sidekanaleid pidi toimib lisaks arvutisidele veel ka telefoni, televisiooni või ka mingite muude spetsiaalseadmete side, see lisab võrkude väljaehitamisele täiendavaid nõudmisi nende töökindluse ja ühilduvuse koha pealt.

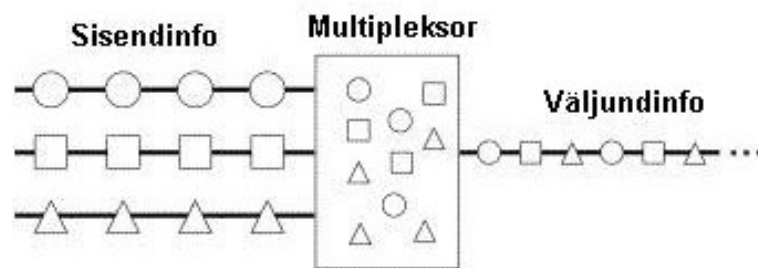
Laivõrkudes kasutatakse lisaks etherneti (fast-etherneti ja gigabit-etherneti) veel ka paljusid teisi andmesideprotokolle nagu näiteks PPP, HDLC, xDSL (VDSL, ADSL, HDSL, SDSL), ATM, SONET (*Synchronous Optical NETwork*) / SDH (*Synchronous Digital Hierarchy*) jpt.

Laivõrkude andmesidet iseloomustab tavaliselt võrreldes lokaalvõrkude andmesidega väiksem kiirus (kuigi, on olemas ka 10Gbit/s kiirusel ning DWDM (*dense wavelength division multiplexing*) tehnoloogia baasil kiired kaugvõrkude ühendused) ning suurem latentsus.

Laivõrkudes on olulisel kohal erinevate teenuste koostamine ehk multipleksimine (vt allpool), IP pakettide marsruutimine ja VPN lahendused, samas on võimalik ka laivõrkude tasemel teha VLAN ühendusi

Kaugvõrkudes kasutatakse info edastamiseks reeglina kas suure jõudlusega multipleksitud (mitmeotstarbelist) baasvõrku (*core network*) või harvematel juhtudel ka eraldi fiiberoptilist kaabeldust või DWDM eraldatud ühendust.

Esimesel juhul (multipleksitud võrk) on erinevatest allikates tulev sisendinfo mingi kindla reeglistiku alusel (prioriteedid, ajajaotus või ka FIFO (*first in first out põhimõttel*)) multipleksitud (lülitatud, tihendatud) ühte väljundkanalisse. Sidekanali teises otsas on sarnane teistpidine protsess, mis teeb tihendatud infovoost jälle esialgsed infovood.



Joonis 6 • informatsiooni multipleksimine

Kaugvõrkudes kasutatakse põhiliselt ajajaotuslikku multipleksimist (ik. *Time Division Multiplexing* • TDM) mingi sideprotokolliga, tavaliselt SDH / SONET või ATM abil.

Teine võimalus laivõrkude rajamiseks on isikliku fiiberoptilise kaabelduse kasutamine. Reeglina pole see aga siiski võimalik ning tuleb kasutada tuleb fiiberoptika rentimist nn. (*Dark Fiber services*) või DWDM tehnoloogia abil olemasoleva võrgu laiendamist

Laivõrkude seadmed on tavaliselt kohtvõrkude tehnikast suurusjärgu võrra kallimad kui lokaalvõrkudes kasutatavad seadmed sest nende funktsionaalsus erineb väga suurel määral. Tootjate valik on siiski küllalt suur, kuigi tiptasemel seadmete puhul võib jälle leida sobiva seadme ainult mõne tarnija toodete hulgast.

Kasulikku lugemist laivõrkude kohta võib leida TechFesti vastavalt leheküljelt [46]

2.3 • Arvutivõrkude sideprotokollid

Kaugvõrkudes kasutatakse väga suurt hulka andmesideprotokolle ja standardeid (vt näiteks leheküljele Protocols.com[35]) , alljärgnevalt kirjeldan neist mõningaid enamkasutatavaid:

Ethernet (sellel põhinevad ka paljuski ka FastEthernet, Gigabit Ethernet ja 10Gigabit ethernet [44]) – on väga laialt kasutatav andmesideprotokoll, mis loodi algselt toimimiseks lokaalvõrkudes ning võimaldab suurel kiirusel andmeülekannet.

Protokolli eripäraks on toimimine paljude seadmete poolt koos kasutuses olevas ülekandemeedias (näiteks koaksiaalkaabel, raadioeeter), Ethernet sisaldab endas võimalusi sellise kooskasutamise koordineerimiseks - CSMA/CD (*Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection*). Etherneti protokollid kasutatakse ka traadita kohtvõrkude juures (IEEE 802.11b, 802.11g ja 802.11a standardid).

Tänapäeval on algsel Etherneti standardile juurde lisatud palju täiendavaid võimalusi nagu näiteks etherneti sildamine (802.1d *bridging*), kahesuunaline (täisdupleks) andmeside, teenuse kvaliteedi tagamine (QoS – Quality of Service), virtuaalvõrgud (VLAN – Virtual LAN) jpt.

IP / TCP / UDP – (Internet Protocol / Transport Control Protocol / User Datagram Protocol) on põhilised protokollid enamuses tänapäeva arvutivõrkudes ühenduste loomisel. IP tegeleb pakettide adresseerimisega ja edastamisega andmesidevõrgus, TCP ja UDP on kaks enamlevinud protokollid võimaldamaks kasutaja andmete pakettidesse

paigutamist ja sihtjaamas nende väljavõtmist, mille tulemusena kasutaja vaatevinklist on kahe arvuti vahel lihtsalt üks andmete ülekandmise toru, millest ei paista välja vahepealsed marsruuterid ja pakettidega tehtud toimingud. TCP tegeleb ka vea- ja vookontrolliga, võimaldades tagada andmete terviklikku ülekannet, UDP seda ei taga, tagades lihtsalt andmete edastamise sihtkohta.

ATM (*Asynchronous Transfer Mode*) on välja töötatud eelkõige võimaldamaks pakattedastusega võrkudes korraga edastada erinevat informatsiooni (kõne, andmed, video jms) jagades edastatava informatsiooni väikesteks, 53 baitisteks (48 baiti andmeid+5 baiti päis) andmesideplokkideks, mis võimaldab edastamisel väga väikest latentsust. ATM oli edasiarendus 1980-ndateks juba laialt kasutust leidvatest Frame Relay ja X.25 protokollidest/võrkudest lisades nendele juurde mitmeid uuendusi. ATM on ühendustele orienteeritud protokoll - kogu info edastamine võrgus toimub reeglina kahe (*point-to-point*) või ühest allikast mitmesse sihtkohta (*point-to-multipoint*) rajatud virtuaalsete andmesidekanalite PVC / SVC (*Permanent Virtual Circuit / Switched Virtual Circuit*) abil, kõik teised protokollid ja teenused (näiteks IP paketid, digitaalselt edastatava telefonikõne paketid jne) jagatakse ATM pakettideks ning edastatakse järgmise ATM teeninduskihi informatsioonina (nt.AAL-5 ehk *ATM adaptation Layer 5*). ATM-is on defineeritud erinevad sideteenuse tagamise klassid ja kiirused, näiteks püsiva kiirusega kanal (*CBR-Constant bit rate*), muutuva suurusega andmesidekanal (*VBR-Variable bit rate*) jms. Algselt tuli ATM kasutusele ka kohtvõrkudes, kuid tänu protokoll ja vajaliku riistvara keerukusele ning eriti kohtvõrkudes kasutatud *broadcast*-tehnoloogia kasutamise keerukusele (selleks oli vaja tihti eraldi seadet) ei leidnud protokoll väga laia kasutamist ning on leidnud rakendust eelkõige sidefirmade baasvõrkudes ja multimeediavõrkudes.

SONET / SDH – (*Synchronous Optical NETWORK / Synchronous Digital Hierarchy*) [45] on loodud sideprotokolliks fiiberoptilisel kaablil põhinevatel andmesidevõrkudel. Protokollide eesmärgiks on tagada erinevate andmesidekiirustega sisenevate andmete (arvutiside, telefonikõne, videopilt) edastamine valguskaablitel põhinevas andmesidevõrgus kasutades multipleksimist.(vt ka Joonist 6). SONET standard kirjeldab kõik info ülekandeks vajalikud parameetrid alates standardsetest sidekiirustest, pakettide ja freimide tüüpidest kuni võimalustest veakontroll ja krüpteerimise tegemiseni. Ühe olulise omadusena on SONET/SDH juures ka ring-topoloogia kasutamise võimalus, kus ringi ühe osa katkemine lülitab süsteemi väga kiiresti (suurusjärk mõned ms) ümber teisele allesjäänud ringiosale, tagades nii võrgu

häireteta töö. Sarnaseid skeeme kasutatakse küll ka ATM ja etherneti võrkudes, kuid toimeaeg on seal reeglina sekundites.

SONET/SDH leiab kõige enam rakendust sidefirmade linnadevahelises

andmesidevõrkudes kui ka näiteks ATM võrkude füüsilise taseme sideprotokollina.

Tabelis 1 on toodud SONET /SDH standardsed kasutatavad andmesidekiirused koos kasuliku- ja mittekasuliku (ehk raisku mineva) admesideribaga.

Optiline liides	SDH liides	Liinikiirus (Mbps)	Kasulik riba (Mbps)	Mittekasutatav riba (Mbps)
OC-1	-	51.840	50.112	1.728
OC-3	STM-1	155.520	150.336	5.184
OC-12	STM-4	622.080	601.344	20.736
OC-48	STM-16	2488.320	2405.376	82.944
OC-192	STM-64	9953.280	9621.504	331.776
OC-768	STM-256	39813.120	38486.016	1327.104

Tabel 1 – SONET / SDH standardsed ülekandekiirused.

PPP ja HDLC (*Point-toPoint Protocol* ja *High Level Data Link Control*) protokollid

leiavad kasutamist põhiliselt aeglasemates (64kbit/s – 2Mbit/s) järjestikkanalites

(*serial data link*) ning on ette nähtud töötama enamasti punktist-punkti toimivates

lahendustes. Protokollid defineerivad kanalil vea- ja vookontrolli ning järgmise kihi

andmete (reeglina IP protokoll) edastamise parameetrid, samuti koos vastava

autoriseerimisprotokolliga (PAP, CHAP vms.) kasutaja autoriseerimise. PPP

protokolli kasutatakse interneti sissehelistamise (*dial-up*) andmesides, ISDN

telefonivõrgu korral leiab kasutamist ka MPPP (*Multilink PPP*) mitme kanaliga PPP

protokoll. ADSL internetiteenuse pakkumisel on laialdaselt kasutusel PPPoE (*PPP*

over Ethernet) protokoll, mis on PPP eriliik toimimaks etherneti võrgus ning mis

võimaldab luua kasutaja autoriseeritud ühendusi üle etherneti.

§3 GRID ARVUTIVÕRGUD

3.1 • Ülevaade GRID arvutivõrkudest

Igal GRID süsteemil on tavaliselt kahte sorti arvutivõrguühendusi:

- üksikute ressursside (arvutiklastrid, salvestusseadmed jne) sisene side;
- ressurssidevaheline side.

Esimene neist vastab enamasti lokaalvõrgu (LAN) või arvutisüsteemi (SAN) võrgule mis GRID lahendustes on oluline eelkõige arvutiklastri või salvestusseadme sisemise (kiire) toimimise seisukohast ning reeglina ei mõjuta kogu GRID võrku kui tervikut. GRID ressurssidevaheline andmeside, nagu eespool on juba pikemalt räägitud, on kasutusel reeglina üksteisest kaugel asuvate ressursside vahel ning seetõttu on enamasti tegemist kaugvõrkudega (WAN), oluliseks muutuvad kõik kaugvõrkude problemaatikat puudutavad küsimused.

3.2 GRID arvutivõrkude põhiprobleemid

Suuremate, laivõrkudel baseeruvate GRID arvutivõrkude juures ettetulevate jõudlusprobleemide [6] puhul on enamasti väga raske määratleda, millest konkreetne probleem seisneb ja kuidas sellest üle saada. Võimalikud probleemiallikad oleksid:

- kasutatavad rakendused;
- operatsioonisüsteemi probleemid;
- salvestusseadmete probleemid;
- võrguliideste probleemid;
- arvutivõrgu probleemid (sidekanalid, võrgulülitid, marsruuterid).

Lisaks nendele võivad mõju avaldada ka pahatahtlikud rüüdlused süsteemi osade vastu. Tihtilugu arvatakse, et kui arvutivõrgu abil ühendatud süsteem (nagu GRID seda on) ei toimi korralikult, on probleemid kohe kindlasti arvutivõrgus – see aga ei pruugi alati nii olla.

Näiteks on ühe uurimuse [6, lk 2] alusel jõudluse langust põhjustanud vead GRID süsteemi kasutamisel üle laivõrkude jaotatud järgmiselt

- arvutivõrgu probleemid – 30..40%;
- konkreetse serveri / tööjama probleemid – 20%;

- rakendustarkvara vead (“*bugid*”) 40..50% (seal omakorda jaguneb pool probleemidest kliendiosa poolele ja teine serveri poolele).

Põhilised probleemid arvutivõrkude juures on tavaliselt:

- arvutivõrgu ülekoormatus;
- mitmesugused ründed arvutivõrgu vastu;
- tehnilised rikked võrgu aparatuuris või konfiguratsioonis;
- kasutatavate protokollide ja võrguseadmete vilets koostöö / seadistus.

Kui esimesed kolm probleemi on tavaliselt lihtsalt leitavad ning parandatavad (vahetada seadmeid välja kiiremate vastu, paigaldada tulemüür ja IDS/IDP (*Intrusion Detection System / Intrusion Detection and Prevention*) või kasutada dubleeritud võrguarhitektuuri koos vastava protokolliga) siis viimase punkti probleemide avastamine võib olla tihti palju keerulisem.

Vaadeldes neid probleeme ülikiiretes arvutisüsteemides (*High-Performance Computing*) veidi lähemalt, siis põhilised raskused, mis tekivad kiire andmeside rakendamisega on:

A. Võrguliidesega seotud probleemid

- ♣ Opsüsteemi jõudlus – arvuti suudab edastada võrku ainult niipalju infot, kuipalju operatsioonisüsteem (OS) suudab töödelda.
- ♣ Riistvara – Andmesiini kiirus tundub olevat küll piisav (näiteks 64bitise, 66MHz PCI siini läbilaskeriba on 4,2Gbit/s) kuid probleemiks saavad siinihalduse tingimused (üks seade ei saa siini väga pikka aega enda käes hoida) ning katkestuste töötlemise latenstus. Näiteks 50µs katkestuse töötlusaja ning 1500baidise paketiiga on saavutatav läbilaskeriba $50\mu s \cdot 1500\text{baiti} = 30\text{MB/s} = 240\text{Mbit/s}$ (mis on aga vähem kui näiteks gigabit ethernet suudab edastada).
- ♣ Etherneti maksimaalne paketi suurus on 1500 baiti .
- ♣ Protsessori koormus suure hulga võrguliikluse töötlemisel on kõrge.

B. Voo- ja läbilaskekontrolli mehhanismid

- ♣ Standardsed võrgupaketid ei sisalda enamasti vahendeid vookontrolli teostamiseks.
- ♣ Tavaliselt kasutatakse väikeseid, staatiliselt määratud puhvreid TCP/IP pinus nii LAN kui WAN lahenduste jaoks, mis ei luba aga kasutada kogu

võrguribalaiust (näiteks mõnede opsüsteemide poolt vaikumisi seatud 32KB TCP puhvrid võimaldavad kasutada ainult mõnda protsenti ribalaiusest)

Lahendusena eelpooltoodud probleemidele saaks kasutada mõningaid meetodeid nagu näiteks:

- Vähendada võrguliidese katkestuste sagedust kas katkestuste koostöötlemisega ja/või koos opsüsteemist möödahiilimisega suhtlemisel võrguliidesega.
- Suurendada efektiivset paketisuurust, kasutades selleks katkestuste koostöötlemist või nn.Jumbogramme – kuni 9000 baidiseid, ebastandardseid etherneti pakette, mida osad võrguseadmed suudavad töödelda.
- Vähendada võrgukatkestuste töötlemise aega viies aeganõudvamad operatsioonid üle riistvara tasemele (näiteks kontrollsummad, paketi dekodeerimine).
- Vähendada keskprotsessori koormatust võrgutaseme töötlustega viies ka võrgutaseme paketitöötluste üle võrgukaardi riistvarale.

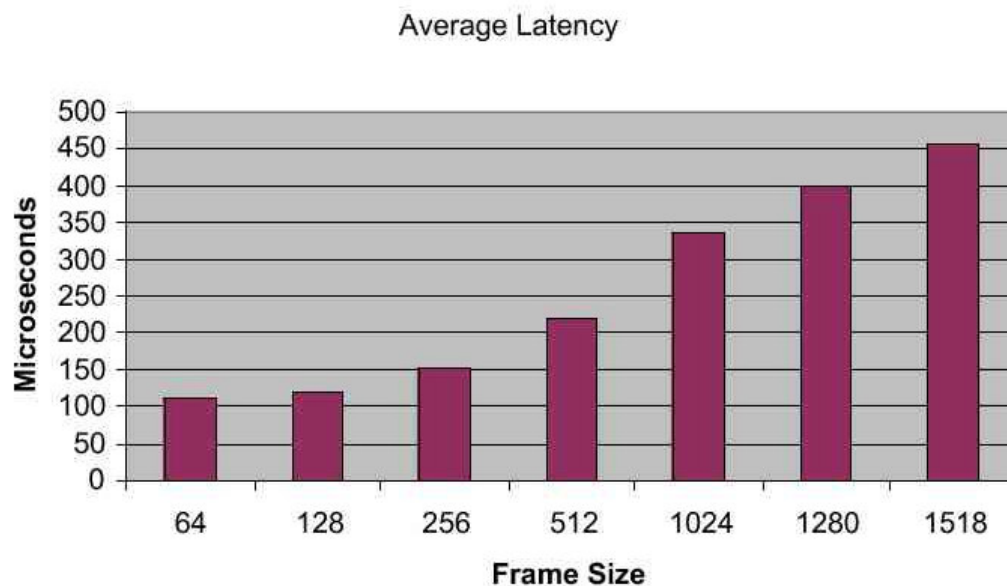
Kaugvõrkude korral (mille eripäraks on tavaliselt andmeside suur latentsus) on efektiivseks andmevahetuseks vaja üksjagu vaeva näha. Et saada maksimaalset läbilaset andmesidekanalil, on tarvis kanal hoida koguaeg ‘täis’ ning selle tingimuse täitmine on tihedalt seotud ka kanali latentsusega.

Kui näiteks kasutatava andmesidekanali maht on 155Mbit/s (kasulik maht 18MB/s) ning latentsus sellel on 50ms siis vajalik pidevalt kanalisse ‘topitava’ infovoo maht oleks $18\text{MB} * 0.05\text{s} = 0,9\text{MB}$. Sellise koguse informatsiooni kiireks edastamiseks kaugvõrkudes on oluline seada optimaalseks TCP saate- ja vastuvõtupuhvrite suurused. Kui need on valitud liiga väikesed, siis ei ole suure latentsusega side korral pea-aegu kunagi täies ulatuses avatud (kasutatav) TCP saatmistõkete akna (*congestion window*) puhver ning tulemusena protokoll ei saada piisavalt palju infot korraga teele. Kui puhvrid on liiga suured, võib tekkida olukord, kus korraga väljasaadetav infohulk ‘ujutab’ vastuvõtja üle (puhvrid täis, ei jõua infot piisavalt kiiresti edasi järgmisele tasemele saata) ning viimane pole võimeline infot vastu võtma.

Paljude TCP realisatsioonide puhvisuurused on, nagu juba eespool sai mainitud, ainult 64KB, 32KB või veelgi vähem, mis võimaldab suurema latentsusega kanalil saada kasutusse ainult mõned protsendid kogu olemasolevast ribalaiusest.

3.3 • Side latentsus

Latentsus ehk viide (i.k. *latency*, *delay*) on suure jõudlusega arvutivõrkudes üsna olulist rolli etendav parameeter, mis kirjeldab andmepaketi saatjast sihtkohani jõudmiseks kulunud aega. Latentsust mõõdetakse arvutimaailmas tavaliselt milli- või mikrosekundites ning enamasti on “parem” latentsus väike latentsus. Latentsust mõjutavad lisaks suurtele geograafilisele kaugusele (informatsiooni levikukiirus fiiberoptilistes kaablites on 0.6..0.8 valguse kiirust vaakumis, seega kulub näiteks 5000 km läbimiseks juba märgatav ~20ms aeg) seadmete vahel põhiliselt andmete töötlemisest tingitud viited, näiteks võtab aega andmepaketi läbimine igast laivõrgus olevast marsruuterist, palju aega kulub ka laivõrgus tekkivate paketikadude kompenseerimiseks (kaotsiläinud paketid tuleb uuesti saata..) ja vookontrolli toimimiseks (eriti TCP juures)



Joonis 7 – Cisco Systems Catalyst 3550 võrgulüliti/marsruuteri latentsuse sõltuvus paketsuurusest.

Joonisel 7 on esitatud ühe Eestis palju kasutust leidva keskmise jõudlusega võrgulüliti, firma Cisco Systems toote Catalyst WS-3550-24 latentsuse sõltuvus paketsuurusest [27], nagu jooniselt näha, on 1500 baidise paketi töötlemiseks kuluv aeg ~0,4 ms, valgus jõuaks kiirusel $2 \cdot 10^8$ m/s (selline on umbes levikukiirus fiiberoptilises kaablis) levida selle ajaga ~80km kaugusele.

Latentsuse mõju kiirusele võiks vaadelda järgneva lihtsa näite varal:

Kujutame ette täislastis konteinerveokit, mis on pilgeni täis laaditud mingeid olulisi arvutisalvestusmeedia vahendeid (lindid, kettad ,DVD-d) kogumahuga 100TB (10^{12} baiti) ning saadame selle sõitma 500km kaugusel asuvasse linna. Veok sõidab sinna 10h jooksul ning lihtsa arvutuse tulemusena saame sellise ühenduse andmeedastuskiiruseks 2,7 GB/s mis on iseenesest väga suur kiirus, puuduseks on ainult väga suur latentsus (10 tundi!!).

Latentsus ei ole alati probleemiks, rolli hakkab ta mängima alles andmesidekanali suure läbilaskeriba ning juhtumitel kui infoühiku edastusaeg andmesidekanalis on palju väiksem kui latentsus. Näiteks kui meil on aeglane sidekanal (kiirus bitti/s on väike) pole väga oluline, kaua kulub paketi jõudmiseks punktist A punkti B, samas suure läbilaskega sidekanali korral tekitab latentsus juba aga tõsiseid probleeme - efektiivseks sideks peab andmesidekanal olema koguaeg täidetud, kusjuures saatja ei pruugi samas iga saadetud paketi kohta koheselt saada mingit tagasisidet vastuvõtjalt info kättesaamise kohta)

3.4 • Sidekanali läbilase

Läbilase - (i.k. *throughput*) näitab, kui palju infot on mingi võrk või seade võimeline ajaühiku jooksul edastama, tavaliselt mõõdetakse läbilaset bittides/sekundi või baitides sekundi kohta (või ka Kilobaiti/s, Megabait/s jne). Arvutivõrgu, eriti aga mingi arvutivõrgu jaotusseadme läbilase võib olla antud tihti ka kõigi tema liideste läbilasete summana, näiteks kui meil on 24 liidesega etherneti võrgulüliti (*switch*), mille iga pordi sidekiirus on täisdupleks režiimis 2x100Mbit/s ning siis võib switchi summaarne läbilaskeriba olla ka 4,8Gbit/s.

Läbilase määrab GRID lahendustes tavaliselt lähteandmete edastamise kiiruse, arvutusliku info või teadetevahetuse(*message passing*), mille puhul infomaht on väike, ei mängi ta eriti suurt rolli. Näiteks on 100GB infoploki edastamisel oluline vahe, kas sidekanali läbilaskeriba on 100Mbit/s (siis kulub aega ~2,5h) või 2Mbit/s (siis kuluks sama info edastamiseks 4,6 päeva!) Kui aga vaatleme 2KB faili edastamist üle laivõrgu, siis ei ole vahet ,kas kulus 20µs või 1 ms, sest tulemus on kaugvõrgu puhul niikuinii väiksem paketedastuse latentsusest).

Läbilase on tavaliselt probleemiks kaugvõrkudes, ja seda eriti linnadevahelistelt ‘peamagistraalidelt’ kõrvalejäävates kohtades. Arvestades tänapäeva tehnoloogia arengut ei ole aga probleem enam mitte kasutatavas tehnoloogias (fiiberoptika abil

võiks suvalisse maailma punkti ehitada kasvõi näiteks 100GB/s sidekanali) vaid hoopis kasutajate rahaliste võimalustes ja sidefirmade hindades.

Läbilaske puhul tuleb alati silmas pidada ka kanali füüsilist läbilaset ning reaalselt läbilaset koos muu andmesidekiiklusega (kui meil pole tegemist just spetsiaalselt kahe asutuse vahele tellitud privaatkanaliga), sest reeglina ei ole sidekanalid tavaliselt just eriti vähekasutatud (näiteks Joonised 12 ja 18) ning kui tekib vajadus sealt korraga suur hulk infot läbi saata, võib tulemus olla etteplaneeritust hulga kesisem.

Sidekanalite läbilaske osas on Eestil võrreldes lääne-euroopa ja skandinaaviaga veel kõvasti arenguruumi (meil on baasvõrgud veel enamasti 100Mbit või juba ka 1Gbit/s, kuid euroopas leiab kasutamist juba ka 10Gbit/s kiirusel toimiv andmeside baasvõrk). Samas on vajalik infrastruktuur (valguskaablid jms) meil siiski olemas ning küsimus on rohkem rahade ja kasutamise taga.

§4 NÄITED – NORDUGRID JA EENET

4.1 • NorduGRID

NORDUGRID - *Nordic Testbed for Wide Area Computing and Data Handling* (internetilehekül <http://www.nordugrid.org>) on Taani, Norra, Rootsi ja Soome ülikoolide ja teadusasutuste projekt Nordunet2 programmi raames rajamaks kaugvõrkudel põhinevat GRID infrastruktuuri.

NorduGRID on ka üks Eestile lähedalasuvamaid GRID süsteeme ning tõenäoliselt on ka Eestil võimalik projektiga liituda.

NorduGRID moodustavad

- Taani Tehnikaülikool (*Danmarks Tekniske Universitet*),
- Kopenhaageni Ülikooli arvutiteaduse instituut (Department of Computer Science University of Copenhagen),
- Niels Bohr instituut ,
- Helsingi Ülikooli ja Helisingi tehnoloogiaülikooli Füüsika instituut (*The Helsinki Institute of Physics*),
- Bergeni Ülikool,
- Oslo ülikool,
- KTH – Rootsi Kuninglik Tehnoloogiainstituut,
- Stokholmi ülikool,
- Lundi Ülikool,
- Uppsala ülikool.

Üheks NorduGRID kasutusala on osalemine CERN (Euroopa tuumafüüsika laboratoorium)-i poolt Sveitsi rajatava ühe maailma suurima kiirendi LHC (*Large Hadron Collider*) [23] andmete töötlemisel. Praeguseks on LHC kiirendiga seotud mitmed projektid, näiteks ATLAS (*A Toroidal LHC ApparatuS* [4]) projekti eesmärgiks on uurida aine põhiomadusi ja põhilisi mõjujõude aines), ALICE [2] (Projekti eesmärgiks on ehitada spetsiaalne raskete ionide detektor, uurimaks tuumadevahelisi interaktsioone LHC projektis kasutada olevate energiate juures mis on praegu juba kuni 7 TeV), LHCb [24] (Projekti ülesanne on uurida *CP Violation* nimelist elementaarosakeste füüsika probleemi, mis lühidalt seisneb

asjaolus, et elementaariosakese kujutamisel märgi muutmine, vaadeldav peegelpildi tekitamisena, kui koordinaatide (x , y , z) asemele panna ($-x$, $-y$, $-z$) muutuvad märgatavalt osakese omadused, CERNi LHC kiirendi abiga. Plaanitaval valmimisajal 2005a ,peaks saama kasutada ühte maailma tundlikumat instrumenti eristamaks imeväikesi erinevusi aine ja antiaine vahel), CMS [7] (*Compact Muon Solenoid*) ja TOTEM [50] (projekt läbikostvuse (*Cross Section*), hajumise difraktsiooninähtuste uurimiseks LHC kiirendis).



Joonis 8 • NordGRID laivõrgu ühenduste skeem 2002a.oktoobrikuu seisuga.

Nagu jooniselt 8 näha, on laivõrguühendused kõigi GRID projekti asutuste vahel võrdlemisi laiaribalised (põhiliselt 2.5Gb/s), samas on sellel aastal NORDUNETil plaanis uuendada kõik 2.5Gbit sidekanalid 10Gbit kanalite vastu ning välja on kuulutatud ka vastav hange seadmete soetamiseks.

NorduGRID süsteemi põhiressursid mai 2003a. seisuga [30, 32] olid alljärgnevad:

Taanist osalevad projektis mõned PC klastrid (kokku ~50 CPU-d) Niels Bohri instituudis, Norrast PC klastrid Bergenis, Oslo ning Parallab IBM klaster (~70 CPU-d) Rootsi põhilised ressursid tulevad läbi SNIC (*Swedish National Infrastructure for Computing*) [42] mis sisaldab endas HPC2N (*High Performance Computing Center North* [38]) Super Cluster nimega ‘Seth’ (236 CPU-d), NSC (*National Supercomputer Centre in sweden*, Uppsala ja Linköpingi ülikool) juures Monolith HPC Linux klaster [39] (~400 CPU-d), SGI 3800 klaster (128 CPU-d), klaster ‘Grendel’ (17 CPU -d) ,klaster ‘Ingvar’ (33 CPU -d) nendele lisandub SWEGRID testvõrgu raames veel umbes 6 klastrit (128 CPU-d + 40 TB salvestusmahtu). Lisaks on rootsis mitmeid väikseid PC klastreid erinevate uurimisasutuste juures Uppsalas, Stockholmis and Lundis (~20 CPU-d). Projektis osaleb arvuteid ja klastreid ka teistest riikidest, näiteks Soomest, Sveitsist, Kanadast ja isegi Jaapanist.

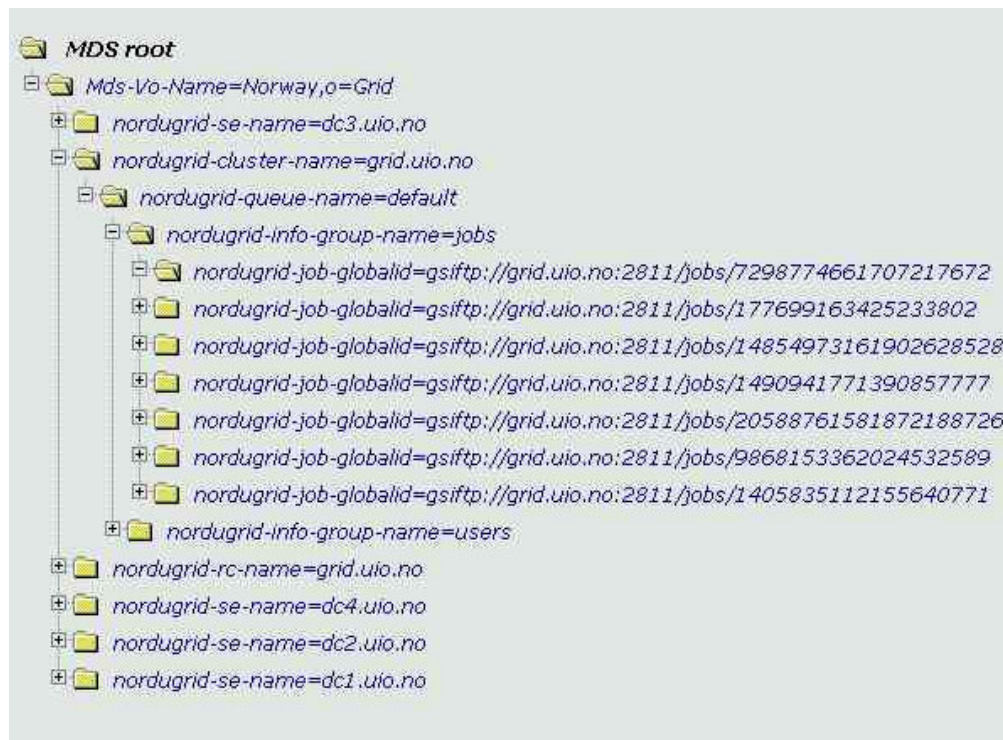
Täpsed andmed leiab viidatud kirjanduse [32] võrguleheküljel olevast tabelist.

NorduGRID arhitektuur [29] põhineb *Globus Toolkit* vahetarkvara kasutamisel. GRID komponendid võiks jagada kuude olulisse ossa:

- Arvutuslik üksus (ik. *Computing Element* – CE). See on ressurss, millel toimub rakenduste töö. Üksus võib olla kas ühe protsessoriga PC või keeruline arvutiklaster, oluline on vaid see, et sellele saab edastada töötlemiseks ülesandeid. NorduGrid üheks põhiideeks on mitte esitada erinõudeid kohalikele süsteemidele, niimoodi saab kasutada ära olemasolevaid arvutiklastreid jms. Kuna enamasti ei ole arvutiklastritesse kuuluvatel komponentidel otsest ligipääsu internetile, tuleb kõik GRID ühendused nendeni teha läbi spetsiaalselt ülesseatava vahendusarvuti.
- Salvestusüksus (ik. *Storage Element* — SE). See on teine GRID põhiressurss, mis võib olla realiseeritud failisüsteemi või ka andmebaasina. Sellele ligipääsuks kasutatakse GRID süsteemi kontekstis, tavaliselt sertifikaatide abil. Salvestusüksus võib olla nii arvutusüksuse juures (lokaalne, näiteks) kui ka eemalasuv (*remote*) ,üle arvutivõrgu kättesaadav failiserver, tavaliselt

GridFTP server. Salvestusüksuse tarkvara tegeleb ka andmepaljundusteenuse (*data replication service*) osutamisega.

- Andmekoopiate kataloog (ik.*Replica Catalog* – RC) , sisaldab endas katalogiseeritud infot dubleeritud andmefailide kohta.
- Informatsioonisüsteem – on GRID võrgu keskne osa ning tegeleb süsteemi ressursside, tööde ja muu info haldamisega ning võimaldab sellele ligipääsu. NorduGRID infosüsteem baseerub *Globus MDS (Metacomputind Directory Service)* tarkvarapaketi kasutamisel. Globus paketi infosüsteemile on NorduGRID juurde lisanud vahendid arvutiklastrite info haldamiseks (varasemad Globus paketid olid rohkem üksikute arvutite kasutamisele orienteeritud). Kõik ressursid on sellises informatsioonimudelil paigutatud hierarhilisse MDS puusse. Iga niimoodi kirjeldatud NorduGRID ressurss on eraldi kättesaadav läbi tema GRIS (*Grid Resource Information Service*).

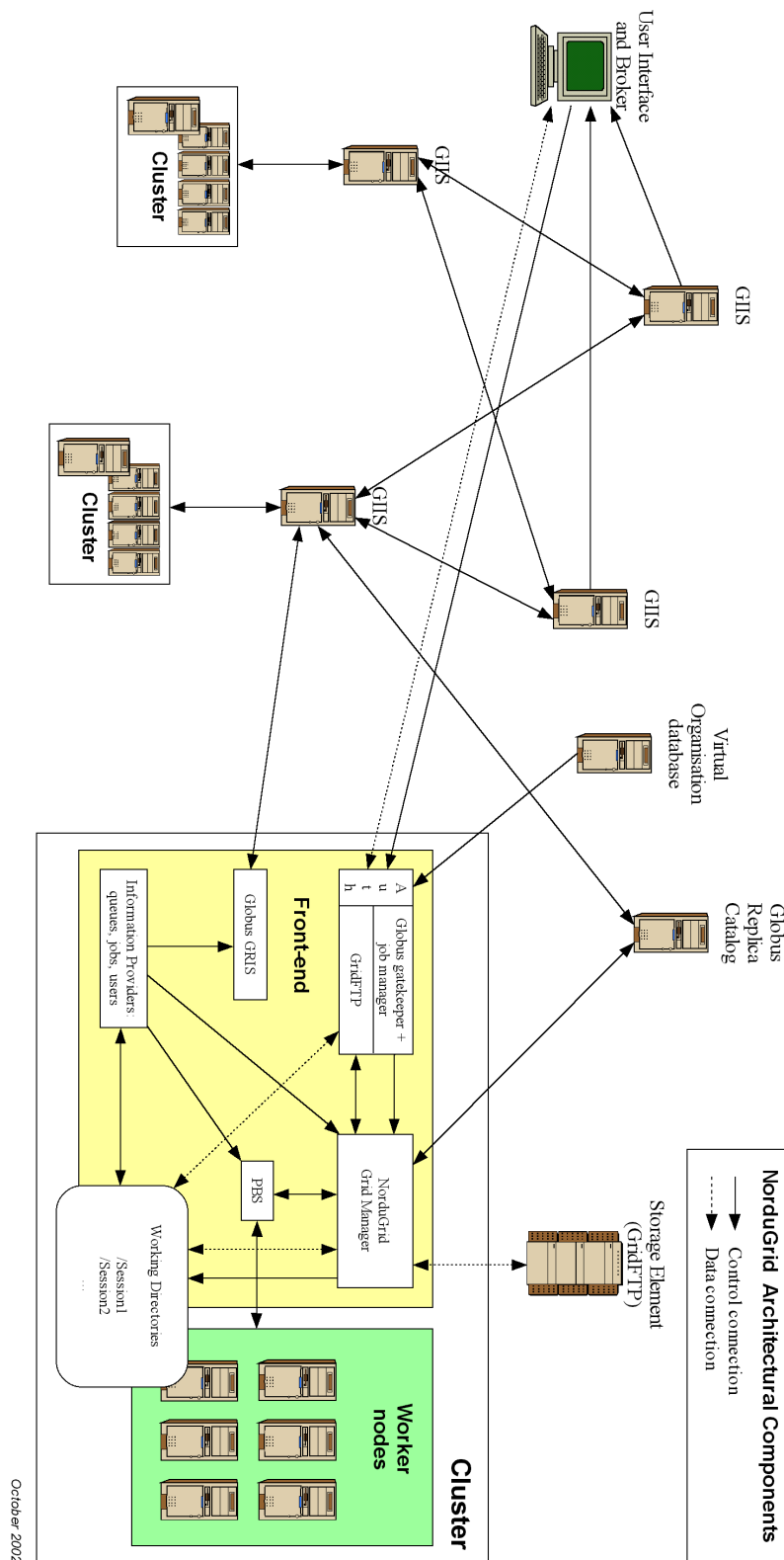


Joonis 9 – Näide NorduGRID MDS väljavõttest Norra kohta.

Erinevate ressursid (GRIS-d) on omakorda grupeeritud osalevate maade järgi VO-deks (Virtuaalne Organisatsioon) kasutades GIIS (*Grid Index Information Service*) teenust, mis võimaldab efektiivselt hallata informatsiooni kõigi VO-s kasutatavate ressursside kohta. Infosüsteemi koostamisel on arvestatud, et

oleks võimalik efektiivselt ja sobivalt edastada informatsiooni nii kasutajaliidese kaudu inimestele, ressursijaotamisteenuse jaoks (*resource broker*) tööde planeerimisel ning ka LDAP-päringu kaudu GRID süsteemi kasutajale.

- GRIDi haldur (ik.*Grid Manager* – GM) tegeleb kasutajate tööde ettevalmistamise ning edastamisega arvutusüksustele (CE) ning nende monitooringuga. NorduGRID GM toimib sarnaselt Globus *job-manager* programmiga ning võimaldab koostööd ka teiste tööde haldamise süsteemidega. GM suhtleb arvutiklastrite tööjaotussüsteemidega - PBS (*Portable Batch System*) [34] ning tegeleb vajalike failide organiseerimisega ning registreerimisega RC-s.
- Kasutajaliides (ik.*User Interface* – UI) on NorduGRID süsteemi olulise tähtsusega komponent, see sisaldab lisaks kasutaja autoriseerimise ja tööde sisestamise mehhanismile endas ka ressursijaotuse (*resource broker*) funktsiooni. Sellisele otsusele tuldi NorduGRID juures põhiliselt sellepärast, et vältida ühte kriitilise tähtsusega kohta GRID võrgus (erinevalt näiteks EU DataGRID [13] lahendusest, kus ressursijagamine toimub ühes kindlas kohas ning selle töö võimalik häiritus mõjutab väga tugevalt kogu süsteemi tööd) ning tagada süsteemi laiendatavus. NorduGRID kasutajaliides on praegu [32, 2003a. maikuu andmetel] käsuraapõhine, kuid käimas on arendustöö veebiliidese või vastava portaali käivitamiseks [30]. Kasutajaliidese ülesandeks on sisestatava informatsiooni põhjal koostada RSL (*Resource Specification Language*) keeles päring, mille põhjal toimub töö esitamine süsteemile täitmiseks. Tähtsamad esitatavad parameetrid on:
 - vajaminev protsessoriaeg,
 - tööks vajalik platform/süsteem,
 - vajalik salvestusmaht,
 - vajalik mälumaht,
 - vajalikud sisendandmed salvestuselementidest,
 - vajalikud rakendusprogrammid / teegid jms.



Joonis 10 – info liikumine NorduGRID süsteemis.

Joonisel 10 on kirjeldatud informatsiooni liikumine NorduGRID süsteemis. Proovime seda detailsemalt kirjeldada alljärgneva näite abil:

Olgu kasutajal soov käivitada GRID süsteemis mingi oma protsess, millel on vaja teatud sisendfaile ja tulemused tarvis kirjutada ühte väljundfaili.

Töökäik näeks välja alljärgnev:

1. – Kasutaja sisestab soovitud päringu (töö andmetega) kasutajaliidese abil (UI), mis kõigepealt küsib GIIS serveri käest infot vajalike sisendfailide asukohta (GRID võrgu GIIS serverid on omavahel ühendatud ning päring hõlmab seega kogu lubatud GRID osa), saadud tulemuste põhjal (sõltub ka ressursijaotusalgoritmist) valib süsteem sobivad ressursid töö tegemiseks.
2. – Kasutajaliides (UI) edastab RSL keelde kodeeritud info soovitud protsessi ja eelnevalt valitud ressursside kohta väljavalitud GRID sõlme lüüsarvutile (*Globus Gatekeeperile*)
3. – *Globus Gatekeeper* teeb vajalikud autoriseerimistoimingud ja selle eduka läbimise korral edastab töö sooviavalduse GRIDi haldurile (*Grid Manager*).
4. – GRIDi haldur loob vajalikud sessioonikataloogid ja salvestab/kopeerib vajalikud failid salvestusüksusest (SE) sinna.
5. – Kasutajaliides salvestab sisendinfo ja programmifailid GridFTP abil eelpoolkirjeldatud sessioonikataloogi.
6. – Kui kõik eeltöö on tehtud, edastab GRIDi haldur (GM) ettevalmistatud töö kohalikule tööjaotussüsteemile (PBS).
7. – PBS planeerib ja täidab programmi Tööjaamades (*Worker Nodes*).
8. – Kindlatel aegadel kogub Informatsiooniüksus (*Information Provider*) infot konkreetse töö seisundi, kasutajate, tööjärjekordade, kettamahu ja arvutiklasti kohta ning edastab selle MDS-le salvestamiseks.
9. – Kui MDS-i jõuab info meie töö kohta, kontrollib kasutajaliides selle seisundid päringutega GRID infosüsteemist. Vajadusel võib süsteem erinevate töö staatuste kohta edastada teavet omaniku e-mailile vms.
10. – Kasutajaliides võib peatada täidetava töö vastava teate saatmisega läbi lüüsarvuti (*Globus gatekeeper*) GRID haldurile, kes tegeleb töö lõpetamisega arvutiklastis ning kustutab vajadusel loodud sessioonikataloogid jms.
11. – Kui töö lõpeb, kopeerib GRIDi haldur (GM) tulemused (väljundfailid) ettenähtud salvestusüksustesse (SE) ja teeb soovi korral vajalikud märkmed koopiade kataloogi (RC). GRIDi halduri ülesanne on ka tööaja lõppedes kustutada tekitatud sessioonikataloogid.

4.2 • GridFTP test üle NorduGRID võrgu

Kuna seoses NorduGRID projekti käivitamisega aastal 2001 avanes võimalus ja vajadus katsetada kiiret ja suuremahulist andmevahetust üle põhjamaade andmesidevõrgu (vt. joonist 8).

Alljärgneva peatüki materjal võtab kokku tähtsamad tulemused B.Kónya, O.Smirnova artiklist [28] ‘Performance evaluation of the GridFTP within the NorduGrid project’.

Balázs Kónya, Oksana Smirnova kirjeldatud uurimuse peaesmärk oli katsetada paralleelsete failiülekannete jõudlust GridFTP tarkvara abil NorduGRID olemasoleval infrastruktuuril. Tolleaegse NorduGRID andmesidevõrgu skeem on alljärgneval joonisel:



Joonis 11 – NorduGrid andmesideühendused sept.2001a GridFTP testi ajal.

Katsed tehti nelja NorduGRID projektis osalenud asutuse vahel, asukohtadega Kopenhaagen, Lund, Uppsala ja Oslo. Linnadevahelised andmesidekanalid olid realiseeritud NorduNET baasvõrgu vahendusel, kanalid olid erineva pikkusega ning sisaldasid pakettide teel algpunktist sihtpunktini erineva arvu marsruutereid / vahehüppeid:

- Lund – Kopenhaagen andmesidekanal, 15 marsuuterit / hüpet,

- Lund – Uppsala andmesidekanal, 9 marsruuterit / hüpet,
- Lund – Oslo andmesidekanal, 11 marsruuterit / hüpet.

GridFTP serveritena toimisid kõigis asutustes kohalike GRID võrkude seatud Linux operatsioonisüsteemiga GRID-lüüsarvutid (*Globus Gatekeeper*), kasutatud riistvara kirjeldus on toodud tabelis 2:

GridFTP server	Protsessor	Mälu	Võrguliides
Lund	1GHz Pentium III	512 MB	100 Mbit LAN
Uppsala	866Mhz Pentium III	512 MB	100 Mbit LAN
Kopenhaagen	Dual Pentium III 933Mhz	512MB	1 Gbit/s LAN
Oslo	866Mhz Pentium III	128MB	10 Mbit/s LAN

Tabel 2 – NorduGRID GridFTP katses kasutatud serverite andmed.

GRID vahetarkvara versioon oli 1.1.3 ning GridFTP serverina toimis *gsi-wuftp* server (versioon 0.5), kliendina kasutati tarkvara *globus-url-copy*.

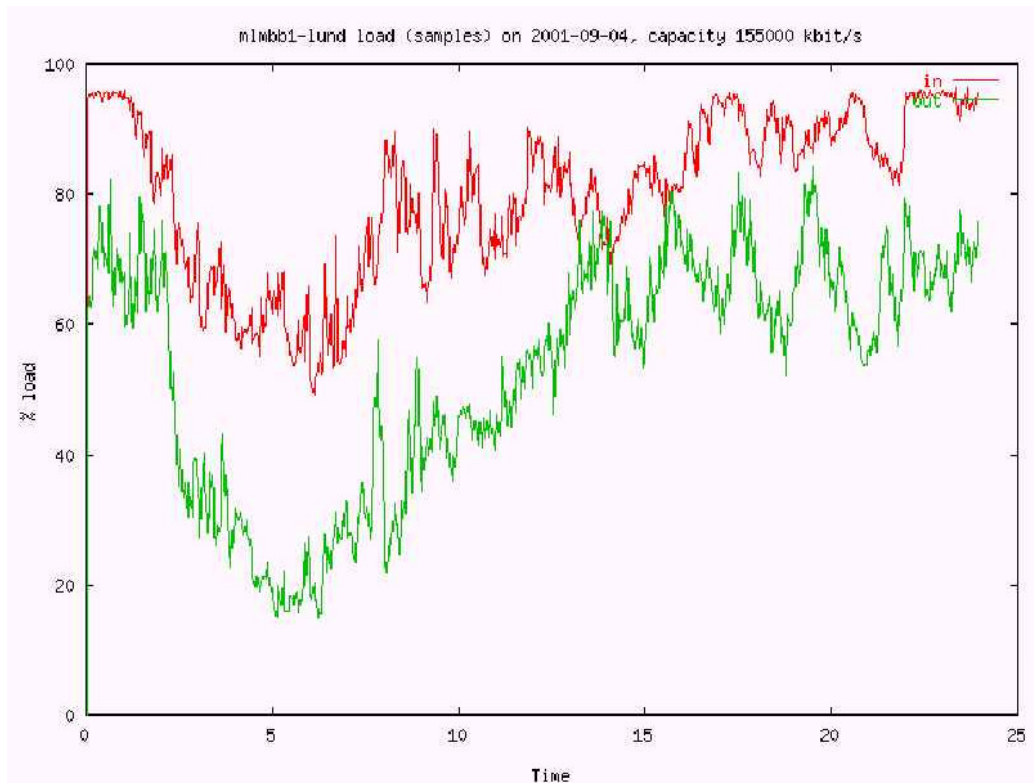
Testides kasutati andmefaili suurusega 100MB, testide käigus ei muudetud võrgu- ega ka serverite TCP parameetreid.

Reaalsetel katsetel selgus, et andmesidevõrgu taustakoormusel on väga suur mõju testi tulemusele (ehk faili ülekande kiirusele), kui väikse koormuse ajal varahommikul oli Lund–Uppsala vahelise failiülekande aeg ~64s siis õhtuse võrgu “tipptunni” ajal suurenes see isegi kuni 290s-ni. Seevastu võis võrguliikluse kõikidel kasutatud andmesidekanalitel lugeda stabiilseks kuni umbes pooletunnise ajavahemiku jooksul, mille kestel esines ainult kuni 5% muutuseid ülekandekiiruses.

Tulemused Uppsala – Lund andmesidekanalil

Joonisel 12 on toodud katses mõõdetud tulemused Uppsala - Lund vahelisel andmevahetusel, esitatud on mõõtetulemused nii hommikuse (andmesidekanali keskmine kasutuskooormus, ~40%) kui ka õhtuse (andmesidekanali suur kasutuskooormus, 90..100%) jaoks. Andmesidekanal oli realiseeritud 155Mbit ja 622Mbit laivõrguühendustega, mis isegi ületavad mõlema testiserveri kohtvõrgu sidekiirust (100Mbit/s) .

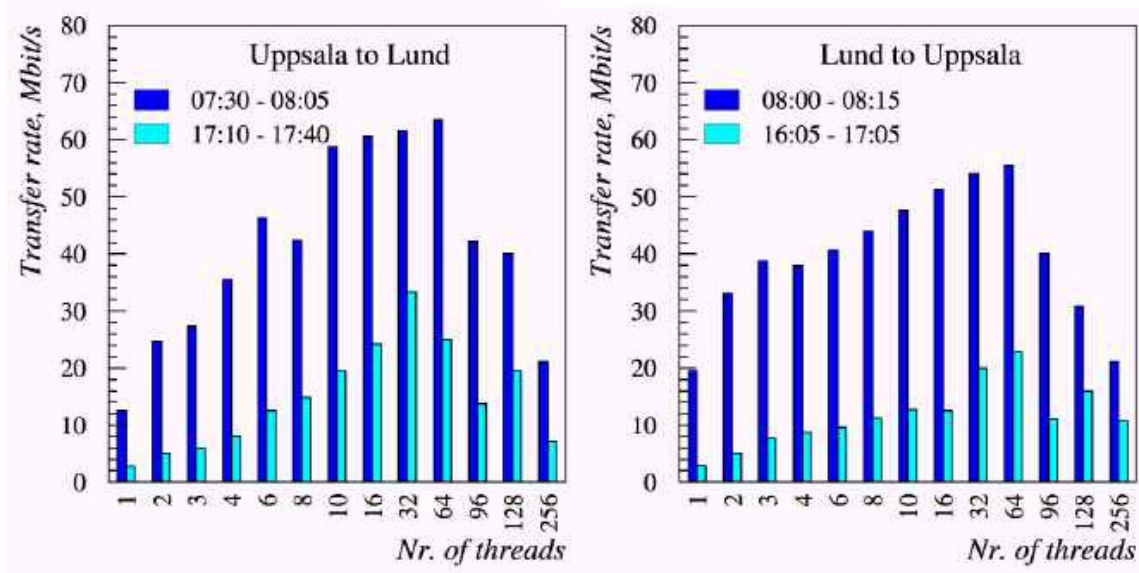
Kõige problemaatilisemaks osutus kogu võrgus siiski Lund – Malmö 155Mbit/s andmesidekanal, mille koormus on tipphetkedel ligi 100%.



Joonis 12: Lund – Malmö sidekanali (155Mbit/s) koormus GridFTP testide ajal.

GridFTP katsete tulemused on toodud joonisel 13:

Balázs Könyv, Oxana Smirnova, september 2001a.



Joonis 13 – GridFTP testi tulemused Uppsala-Lund andmesidekanalil.

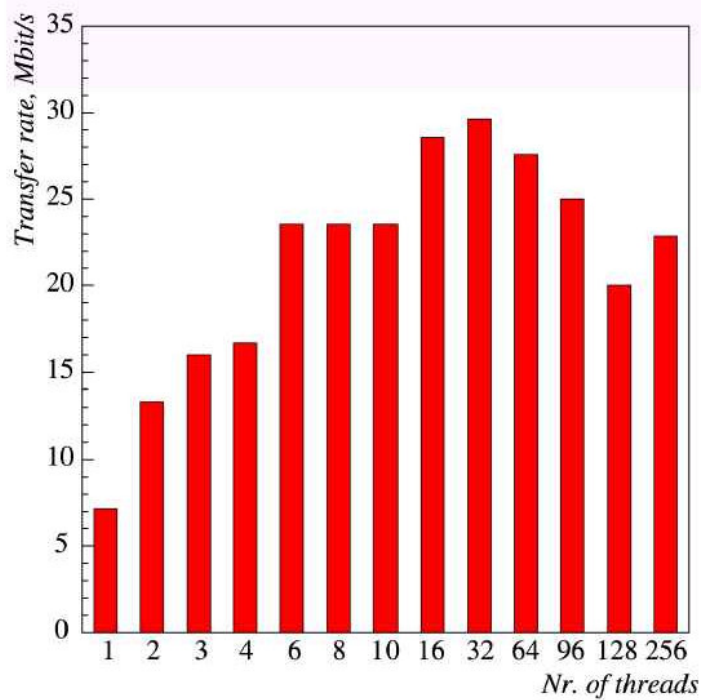
Nagu näha, annab paralleelsete sessioonide (*multithreaded*) kasutamine GridFTP juures väga märgatavat tulemust (koormatud võrgu korral isegi kuni 780% !!) Koormamata võrgu korral saavutas GridFTP failivahetus paralleelse infovahetusega sidekiiruse kasvu ~10Mbit/s kuni ~60Mbit/s mis läheneb juba 100Mbit kohtvõrgu maksimaalsele läbilaskevõimele.

Katsest tulenevalt on optimaalne paralleelsete sessioonide arv 20..30, üle 64 sessiooni korral hakkab koguläbilase langema ning tekivad probleemid ka sessioonide lõpetamisel jms.

Lund – Oslo andmesidekanali moodustasid 155 Mbit/s Lund-Malmö, 2.5 Gbit/s Malmö-Stokholm ja 2.5 Gbit/s Stokholm-Oslo ühendused ,kusjuures ilmselgeks pudelikalaks oli 10Mbit/s ühendus Oslo serveris. Katse tulemustena saavutas andmevahetuse sidekiirus oma maksimumi juba ka ühe sessiooni kasutamise korral (~7.2Mbit/s), paralleelsete sessioonide kasutamise tulemusena tõusis kiirus vaid veidike, andes maksimaalseks tulemuseks 7.7Mbit/s, mis on 10Mbit/s võrgu puhul lähedane reaalse ühenduskiiruse maksimumile.

Lund – Kopenhaagen andmesidekanal koosnes paljudest erineva kiirusega võrgulõikudest (100Mbit vaheühendused Taanis, 2.5Gbit NorduNET baasvõrk ja 155Mbit kanal Lundi ja Malmö vahel, (mis on tavaliselt üsna koormatud, vt joonist 12) kusjuures vaatamata oma geograafilisele lähedusele (~100 km) oli see andmesidekanal kogu katseseeria pikem ning sisaldas vahepeal 15 marsruuterit / hüpet. Tulemused on toodud joonisel 14, nagu näha saavutas GridFTP paralleelsete failiülekande sessioonidega kiiruse kasvu 7 Mbit/s kuni 30Mbit/s kasutades 32 paralleelset sessiooni.

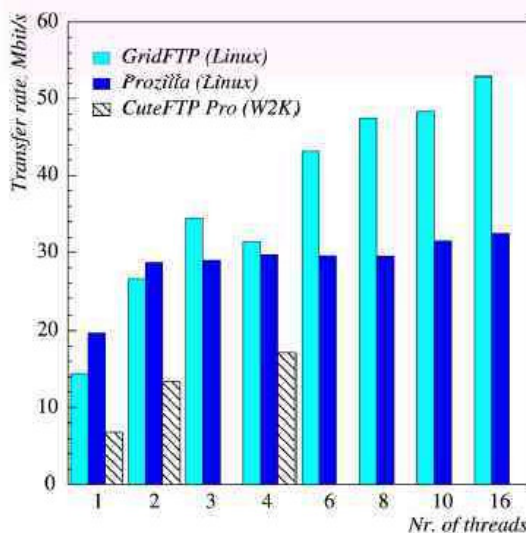
Balázs Kónya, Oxana Smirnova, september 2001a.



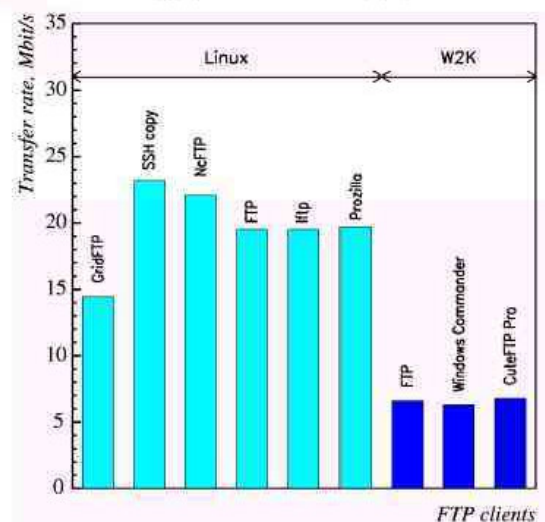
Joonis 14 – GridFTP testi tulemused Lund – Kopenhaagen andmesidekanalil.

Lisaks käsitleti Balázs Kónya ja Oksana Smirnova raportis erinevate failiülekandeprogrammide kiirust. Katsed tehti kahe operatsioonisüsteemiga

Balázs Kónya, Oxana Smirnova, september 2001a.



Andmevahetuse kiiruse sõltuvus kasutatavate sessioonide arvust



Erinevate failiülekandeprogrammide võrdlus

Joonis 15 – Erinevate failiülekandeprogrammide võrdlus

(Windows 2000 ja Mandrake 8.0 Linux) Pentium-III / 1Ghz protsessoriga arvutil, kasutades võrdlemiseks juba eelpoolkirjeldatud Uppsala – Lund andmesidekanalit ja

100MB testfaili. Katse tulemustest tuli selgelt välja ,et juba mõne paralleelse sessiooni kasutamine võimaldab saavutada mitmekordset ühenduskiiruse kasvu laivõrgu ühendustes ning GridFTP pakett võimaldab veel omakorda, võrreldes teiste programmidega, saada täiendavat kiirusevõitu failiülekannetes.

Kogu artikli kokkuvõtteks leiavad autorid ,et GridFTP kasutamine annab suurte andmehulkade ülekandel suurt, kuni 8x võitu ühenduskiiruses võrreldes tavalise, ühe andmesessiooniga failiülekandemehhanismiga ning GridFTP tarkvarapakett oli vaatamata oma katsetamisjärgus olemisele töötanud ilma tõrgeteta. Lisaks juhtisid autorid tähelepanu ka toonase GRID andmesidevõrgu kitsaskohtadele (Norra 10Mbit/s ühendus ja 100Mbit/s LAN ühendus, samas kui laivõrgu kanalid võimaldasid juba >100Mbit andmesidekiiruseid)

4.3 • EENET andmesidevõrk

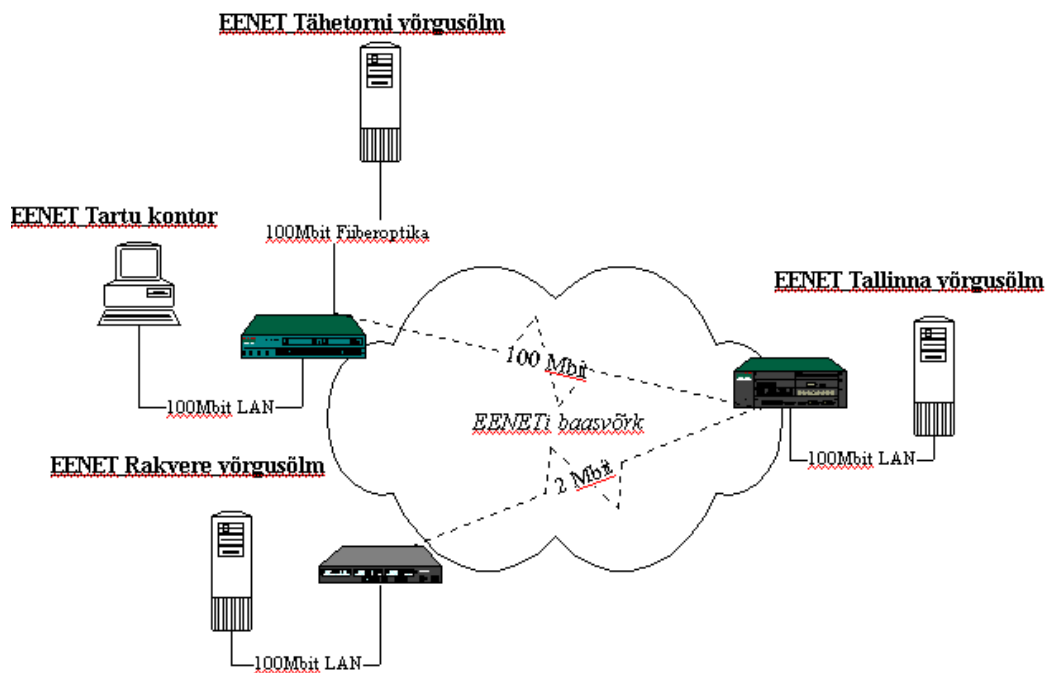
Eesti Hariduse ja Teaduse Andmesidevõrk EENET [10] üheks eesmärgiks on olnud alates selle loomisest 1993.a hallata ja arendada Eesti haridus- ja teadusasutuste riigisisest andmesidevõrku ja pakkuda neile ka interneti välisühendust. Oma linnadevahelist andmesidevõrku EENET välja ehitanud siiski ei ole ning magistraalvõrgu teenused ostetakse riigihanke korras mõnelt telekommunikatsiooni-ettevõttelt, seevastu haldab EENET võrgusõlmede marsruutereid ning omab ja haldab mitmeid linnadesiseseid ühendusi. Põhiline hulk magistraalühendusi [11] Eesti sees toimib praegu (veel) kiirusel 2Mbit/s, kiirema sidega on ühendatud ainult 100Mbit/s Tartu-Tallinn kanal ja Haapsalu 10Mbit/s andmesidekanal. Enamasti on Eestisised andmesidekanalid suuresti koormatud näiteks Tallinn-Tartu kanali keskmine koormus on ~60%, Tallinn-Haapsalu kanalil 40%), GEANT võrku mineva välisühenduse koormus on aga ~25%.

Koostöös EENETi spetsialistidega (hr.Urmas Lett jt.) viisin läbi ka väikesed katsed uurimaks EENETi kaugvõrgu andmesideparameetreid ja nende mõju reaalsele infovahetusele mõnede võrgusõlmede vahel, katsed sai teostatud EENETi Tartu kontoris asuva PC tööjaama (mis oli läbi 100 Mbit/s kohtvõrgu ja 100 Mbit fiiberoptilise kaabli ühendatud EENETi laivõrgusõlmega) ning teiselt poolt Tallinnas asuv PC server (ühendatud kiirusel EENETi baasvõrguga).Lisaks veel üks PC server



Joonis 16 – EENET-i andmesidevõrgu skeem 2003a. alguses.

Rakvere võrgusõlmes ja Tartu Tähetorni võrgusõlmes. Katse skeem on alljärgneval joonisel:



Joonis 17: EENETi võrgus läbiviidud katse skeem.

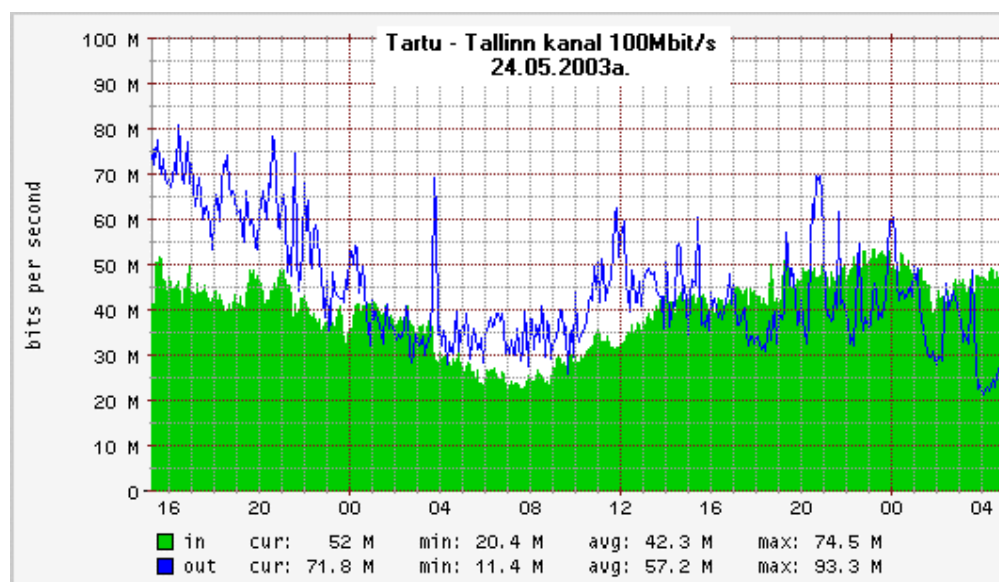
Võrguparameetrite hindamiseks kasutasin tarkvarapaketti NCS (*Network Characterization Service*) [43], paketti Netperf [26], Unix utiliiti Ping ning tarkvarapaketti failide allalaadimiseks HTTP protokolliga - WGET [15]. Katse käigus uurisin erinevate andmesidekanalite põhiparameetreid ja toimimist kaasa arvatud Tallinn-Tartu andmesidekanalit, kus suure tõenäosusega hakkaks toimima ka Eesti GRID võrgu liiklus. Katsete tulemused on toodud alljärgnevas tabelites (kasutatud tarkvara väljundid on toodud töö lisas nr.1)

Kanali nimetus	kanali pikkus	Marsruuterite	andmesidekanali füüsiline	
		Arv	min läbilase	max.läbilase
Tartu – Tallinn	~200 km	4	100 Mb/s	1000 Mb/s
Tähetorn – EENET	~1 km	3	100 Mb/s	100 Mb/s
Tähetorn – Tallinn	~200 km	4	100 Mb/s	1000 Mb/s
Tartu – Rakvere	~350 km	5	2 Mb/s	100 Mb/s
Tähetorn - Oslo GRID	~1200 km	10	100 Mb/s	2500 Mb/s

Tabel 3 – EENETi võrgus tehtud katsete andmesidekanalite andmed.

Kanali nimetus	kesmine RTT	max läbilase			
		WGET (tcp)	Netperf	Netest UDP	Netest TCP
Tartu – Tallinn	4,700 ms	33,76 Mbit/s	4,14 Mbit/s	62,17 Mbit/s	13,24 Mbit/s
Tähetorn – EENET	0,700 ms	-	-	89,85 Mbit/s	87,34 Mbit/s
Tähetorn – Tallinn	5,400 ms	25,36 Mbit/s	8,80 Mbit/s	59,57 Mbit/s	-
Tartu – Rakvere	16,600 ms	-	-	0,85 Mbit/s	1,85 Mbit/s
Tähetorn - Oslo GRID	21,405 ms	11,04 Mbit/s	-	-	-

Tabel 4 – EENETi võrgus tehtud katsete tulemused.



Joonis 18 — Tartu – Tallinn andmesidekanali koormus testi tegemise ajal (24.mail)

Katsete tulemused näitavad, et põhiliseks sidekiiruse piirajaks Eestisesel andmesidel on (nagu oli ka arvata) baasvõrguühenduste väike läbilaskeriba. Tartu – Tallinn vahelise kanali kaudu on võimalik küll saavutada arvestatavaid sidekiiruseid, kuid teistesse suurematesse linnadesse on praegu võimalik kasutada ainult kuni 2Mbit/s kiirusega andmesidet. Linnadesisestes ühendustes on praktiliselt probleemidevabalt võimalik kasutada kogu saadaolevat andmesidemahut, samas pikematel vahemaadel tuleb tavaoludes arvestada vaid osalise (Tartu – Tallinn kanalis WGET programmi abil maksimaalselt 35 Mbit/s, Tartu – Oslo kanalis ~12Mbit/s) andmesidemahu kasutamisega. Tulemused on siiski võrdlemisi head, võimaldades päevas edastada infot vastavalt ~370GB ja ~120GB ulatuses. Paralleelse failiülekande ja TCP puhvrite abil sidekiiruse tõstmist ma antud katse raames ei uurinud.

Katsetest tuli välja ka latentsuse sõltuvus pakettide läbitavate seadmete arvust, kuigi samas füüsilises asukohas asuvate seadmete side latentsuste erinevus ei ole tavaliselt väga suur (0.1 ms kuni mõni ms), jäädes alla pikemate andmesidekanalite poolt tekitatud latentsusele. Põhiosa andmesidekanali latentsusest (vt tabeleid 3 ja 4) moodustabki tõenäoliselt sidekanalite koormusest tingitud nähtused (multipleksimise aeg, paketi järjekorrad, uuestisaatmised) mitte aga füüsiline kaugus – 2500 km Eestist Norrasse ja tagasi võiks valgus jõuda ca 12 ms jooksul, kuid andmesidevõrgus kulub selleks ca 21 ms. Samas ka Tartu-Tallinn-Rakvere vaheline (~350 km fiiberoptikat) side võtab läbi 2Mbit/s kanali aega ca 16 ms.

Kasutatud võrgutestimise tarkvarapakettidest osutusid kõigil olevat omad puudused Netperf [26] näitas kaugvõrgu puhul olulisemalt madalamat läbilaset kui NCS [43], samas kohtvõrgus oli ka netperf tulemus adekvaatne. NCS paketti kuuluv programm “*pipechar*”, mis on ette nähtud laivõrgu analüüsimiseks ja sidekiiruse kirjeldamiseks ei andnud enamasti Eesti raskestikoormatud kanalite korral õigeid tulemusi (programmi väljundis võis korduvalt näha viiteid gigabit etherneti (GigE) linkidele, kuigi tegelikult oli ühenduskiiruseks võrgusõlmede vahel ainult 100Mbit/s).

4.4 • GRID lahendused Eestis

Kuna GRID tehnoloogia on piisavalt uus lahendus (esimesed reaalsed süsteemid on laiemas kasutuses olnud ainult paar aastat) ning Eestis puudub tugev superarvutite baas pole GRID veel seni Eestis kasutamist leidnud. Ka Põhjamaade nõukogu poolt läbiviidud uurimuse [36, lk 14] järgi ei olnud veel 2002 aastal küsitletud Eesti IT ja

teadusringkondades väga suur – tehnoloogiast oli huvitatud 19% küsitletutest, kuid ühtegi konkreetset projekti uurimuses välja ei toodud, kuid võimalike huvilistena mainiti töös meditsiini valdkonnas Tallinna ja Tartu teleradioloogia spetsialiste ning astrofüüsika poolt Tõravere observatooriumit.

Eestis on olemas ka mõned lokaalsed arvutiklastrid ja sellealased teadmised.

Kuna tehnoloogia rakendamine võib eeldada (sõltuvalt püstitatavast eesmärgist) suuremaid kulutusi infrastruktuurile ja seadmetele, tuleb kindlasti nii projekti tegijate kui ka rahastajate tarvis täpsustada soovitavad rakendusvaldkonnad ja kasutajategrupid, GRID võrgu loomise jaoks vajalik infrastruktuur on põhimõtteliselt olemas praegu ainult Tallinnas ja Tartus (mingil määral ka teistes suuremates linnades), samas vajab kiire andmeside rajamine teistes Eesti osades veel täiendavaid investeeringuid andmesidevõrkudesse. Põhiprobleemiks pole reeglina mitte linnadevaheline andmeside (Eestis on praktiliselt igal pool olemas võimalus kasutada kiiret andmesidet Eesti Telefoni, Eesti Energia jt teleoperaatorite baasvõrkude abil) vaid pigem just motivatsioon ja suutlikkus tasuda nende andmesidekanalite püsikulusid. Samas saab tõdeda ka, et ka väljaspool Tallinna ja Tartut on käimas metroo-tüüpi võrkude väljaehitamine kohalike arvutifirmade ja omavalitsuste toel (näiteks Võru, Viljandi, Kuressaare.)

Arvestades viimasel ajal toimunud konkurentsi tugevnemist Eesti andmesideturul võib oodata ka mõningast hinnalangust suuremate linnadevaheliste laivõrguühenduste osas ning ka linnade sees suureneb võimalus kiire andmeside kasutamiseks fiiberoptilise võrgu vahendusel (näiteks kasvõi nn. “dark fibre” lahendu sed mis seisnevad kiudoptiliste kaablite seni kasutamata olnud kiudude rentimises kasutajatele mõistliku hinna eest.)

2003a. alguses kutsuti EENETi juures kokku initsiatiivgrupp loomaks Eesti GRID keskkonda, initsiatiivgrupi liikmeteks on spetsialistid EENETist, Tartu Ülikoolist, Tallinna Tehnikaülikoolist, firmast Mikrolink jpt. Käesolevaks hetkeks on peetud esimesed koosolekud ja käimas on uurimistöö antud teemal ning projekti finantseerimisallikate otsimine (nii Euroopast kui ka Eestist) ning millalgi lähitulevikus võiks oodata juba mõne reaalse GRID süsteemi käivitamist Eestis.

KOKKUVÕTE

Käesoleva uurimuse raames leidsid äramärkimist GRID tehnoloogia lühiajalugu, põhimõisted ja kasutusvaldkonnad, selgemaks sai ka tehnoloogia suur tähendus tänapäeva teaduse ja arendustöö valdkonnas, tagamaks vajalikke vahendeid arvutusvõimsuse, salvestusmahu ja kollektiivtöö organiseerimisel. Maailma mastaabis on GRID tehnoloogia areng olnud viimaste aastate jooksul üsna kiire, igal aastal on tehnoloogia arendamisega asunud tegelema üha rohkem ettevõtteid ja organisatsioone ning rajatud on üha kiiremaid ja suuremaid GRID süsteeme. Tehnoloogia on leidnud rakendamist nii USA-s, Euroopas kui ka Aasias nii teadusliku uurimistöö (näiteks tuuma- ja elementaarosakeste füüsikas, meteoroloogias) kui ka suurfirmade (Cisco, IBM, Intel jpt) juures. Kuna GRID tehnoloogia põhineb arvutivõrkude, eriti aga kiirete laivõrkude kasutamisel, sai tehtud põgus pilguheit ka arvutivõrkude hetkeolukorda ning kasutatavatele tehnoloogiatele. Eraldi tasub äramärkimist linnasiseste fiiberoptiliste metroovõrkude areng mis lubab kiiret andmesideühendust kasutada juba arvestatavas osas Tallinnas ja Tartus.

GRID arvutivõrkude jaoks oluliste parameetritena vaatlesin lähemalt andmesidekanali latentsuse ja ribalaiuse probleemistikku ning pikkade laivõrguühenduste andmeside probleeme (näiteks TCP puhvrite parameetrite seadistamine), reaalse näitena vaatlesin NorduGRID arhitektuuri ning seal tehtud katseid pikkade (kuni 1000km) andmesidekanalite kasutamise osas suurte failide ülekandeks, mis näitasid küllalt häid tulemusi eraldiasuvate GRID üksustevahelise side teostamiseks.

Uurimuses kirjeldasin lühidalt ka Eesti teaduse- ja hariduse andmesidevõrgu (EENET) hetkeolukorda ning tõin välja mõnede EENETi andmesidekanalite katsetulemused, mille põhjal võib andmeside läbilaskekiirust ja latentsust põhikanalitel lugeda piisavaks ühendamaks omavahel nii loodava Eestis GRID üksuseid kui luua näiteks sidet ka põhjamaade NorduGRID võrguga. Lootust selle realiseerumiseks annab ka mõne kuu eest käivitunud Eesti GRID arendamise initsiatiivgrupi moodustamine ja töö Tartus EENETi juures.

Lisaks käesolevas uurimuses toodud materjalile on kasutatud kirjanduse viidete loetusel palju huvitavaid GRID ja arvutivõrguteemalisi artikleid ja materjale, millest saab ülevaate kindlasti ka mõnest töös käsitlemata jäänud teemast või valdkonnast.

KASUTATUD KIRJANDUS

Kõik viidatud veebilehid on olnud toimivad seisuga 26.mai 2003a.

1. Alexander Reinfeld, Florian Schintke 2002a. artikkel
“Concepts and Technologies for a Worldwide Grid Infrastructure”
<http://www.zib.de/reinefeld/Publications/Euopar2002.pdf>
2. ALICE - A Large Ion Collider Experiment at CERN LHC
<http://alice.web.cern.ch/Alice>
3. Arie van Praag, CERN/IT seminar 9.mai 2001a. “High Performance Networking as Sign of its Time”
<http://wwwseminars.web.cern.ch/wwwseminars/2001/2001-OtherFormats/t-010509.ppt>
4. ATLAS - A Toroidal LHC Apparatus <http://atlas.web.cern.ch/Atlas>
5. Avaki Corporation • <http://www.avaki.com>
6. Brian L. Tierny seminar “High Performance Networking for Wide Area Data Grids Overview “2000a. 25.oktoobril
http://wwwinfo.cern.ch/seminars/2000/2000_OtherFormats/t_001025.pdf
7. CMS - The Compact Muon Solenoid - <http://cmsinfo.cern.ch/Welcome.html>
8. Dr Rob Baxter, Software Development Group Manager, University of Edinburgh
artikkel “A complete history of the GRID”, oktoober 2002a.
<http://umbriel.dcs.gla.ac.uk/NeSC/general/talks/sdmiv/SDMIV-25Oct2002-Baxter.pdf>
9. DutchGRID – Large scale distributed computing in Netherlands -
<http://www.dutchgrid.nl>
10. Eesti Hariduse ja Teaduse Andmesidevõrk EENET - <http://www.eenet.ee/EENet>
11. EENETi magistraalvõrk - <http://www.eenet.ee/EENet/vorgukaart.html>
12. Entropia, Inc • PC Grid computing • <http://www.entropia.com>
13. European Data Grid project (EDG) - <http://eu-datagrid.web.cern.ch/eu-datagrid>
14. Global Grid Forum • <http://www.gridforum.org>
15. GNU wget homepage - <http://www.gnu.org/software/wget/wget.html>
16. Ian Foster, Carl Kesselman, Steven Tuecke artikkel “The Anatomy of the Grid”
International Journal of High Performance Computing Applications, 15 (3).
200-222. 2001. www.globus.org/research/papers/anatomy.pdf
17. Ian Foster, Carl Kesselman, Jeffrey M. Nick, Steven Tuecke
artikkel “The Physiology of the Grid: ... ”
<http://www.globus.org/research/papers/ogsa.pdf>

18. IEEE P802.3ae 10Gb/s Ethernet Task Force -
<http://grouper.ieee.org/groups/802/3/ae/index.html>
19. Infiniband arhitektuuri kirjeldus - InfiniBand™ architecture - bandwidth without barriers – technology overview: <http://www.infinibandta.org/ibta>
20. Information Power GRID – NASA’s Computing and data Grid
<http://www.ipg.nasa.gov>
21. Kors Bos artikkel 27.11.2002a ja 10.12.2002a DutchGrid arenduskoosolekul
 “NorthEuropeanGrid EGEE Memorandum” -
<http://www.nikhef.nl/~bosk/documents/docs2002/NorthEuropeanGrid-EGEE-Memo.pdf>
22. Kors Bos ettekanne Brüsseli Vrije ülikoolis 20.jaanuaril 2003a. -
<http://www.nikhef.nl/~bosk/presentations/2003/Brussel.pdf>
23. LHC at CERN – Large Hadron Collider
<http://lhc-new-homepage.web.cern.ch/lhc-new-homepage>
24. LHCb - The Large Hadron Collider beauty experiment
<http://lhcb.web.cern.ch/lhcb>
25. Myrinet overview - <http://www.myri.com/myrinet/overview>
26. Netperf – Network Benchmark utility – <http://www.netperf.org>
27. Network Fusion: Cisco’ s Catalyst 3550 midrange switch
<http://www.nwfusion.com/reviews/2002/0325rev.html>
28. NorduGRID documents - B.Kónya, O.Smirnova artikkel “Performance evaluation of the GridFTP within the NorduGrid project” 15.oktoobril 2001a. -
http://www.nordugrid.org/documents/gridftp_report.pdf
29. NorduGRID documents - A. Wäänen, M. Ellert, A. Konstantinov, B. Kónya, O. Smirnova artikkel “An overview of an Architecture Proposal for a High Energy Physics Grid” 02.05.2002a. <http://www.nordugrid.org/documents/nordarch.pdf>
30. NorduGRID documents - Oksana Smirnova ettekanne 15.märtsil 2003a. ATLAS Software Workshop-il 12-16 mail 2003a, CERNis - “DC1 Reconstruction at NorduGRID” <http://www.nordugrid.org/documents/slides/20030515-oxana.ppt>
31. NorduGrid Documents - <http://www.nordugrid.org/papers.html>
32. NorduGRID hardware - <http://www.nordugrid.org/hardware.html>
33. Projekt UNICORE - UNiform Interface to COmputing Resources
<http://www.unicore.de>
34. Portable Batch System - <http://www.openpbs.org>
35. Protocols for WAN, LAN, ATM data communications and telecommunications
<http://www.protocols.com>

36. Põhjamaade nõukogu aruanne 2002a - “Northern E-Dimension Action Plan: High-Speed Research Networks, Internet -Related Technologies and E-Skills in the Baltic Countries and Northwest Russia”
http://www.riso.ee/en/nordic/NeDAP_Feasability_study_Final.pdf
37. Robert M. Metcalfe and David R. Boggs artikkel “Ethernet: Distributed Packet Switching for Local Computer Networks “Xerox Palo Alto Research Centers 1976a. - <http://www.acm.org/classics/apr96>
38. Rootsi *High Performance Computing Center North* - <http://www.hpc2n.umu.se>
39. Rootsi NSC:Cluster Monolith - <http://www.nsc.liu.se/systems/monolith>
40. SETI@home project - the Search for Extraterrestrial Intelligence
<http://setiathome.ssl.berkeley.edu>
41. Sun Microsystems • Software Solutions for Grid Computing
<http://www.sun.com/software/grid>
42. Swedish National Infrastructure for Computing - <http://www.snac.vr.se>
43. Tarkvarapakett “NCS - Network Characterization Service” - Computational Research Division of Lawrence Berkeley National Laboratory –
<http://www-didc.lbl.gov/NCS>
44. TechFest - Local Area Networks (LAN) -
<http://www.techfest.com/networking/lan.htm>
45. Techfest: SONET / SDH Technical Summary -
<http://www.techfest.com/networking/wan/sonet.htm>
46. TechFest – Wide Area Networks (WAN) -
<http://www.techfest.com/networking/wan.htm>
47. The Globus Projekt TM, technical papers
<http://www.globus.org/research/papers.html>
48. The TeraGrid project • <http://www.teragrid.org>
49. The Scalable Coherent Interface – Dolphin ICS corp
<http://www.dolphinics.no/corporate/scitech.html>
50. TOTEM - Total Cross Section, Elastic Scattering and Diffraction Dissociation at the LHC - <http://totem.web.cern.ch/Totem>
51. USA Argonne Rahvuslik Laboratoorium • <http://www.anl.gov>
52. USA NSCA (The National Computational Science Alliance) 1990-ndate ajalugu
<http://www.ncsa.uiuc.edu/About/NCSA/History/90s.html>

53. USA Wisconsin-Madisoni ülikool - The Condor® Project Homepage
<http://www.cs.wisc.edu/condor>
54. Virginia ülikool - The Legion Project - <http://legion.virginia.edu/index.html>
55. Wu- chun Feng ettekanne “Is TCP a n Adequate Protocol for High- Performance Computing Needs?” SC 2000: High - Performance Networking & Computing Dallas, Texas, USA, November 4- 10, 2000
<http://www.lanl.gov/radiant/pubs/hptcp/sc00-panel.pdf>



Risto Rahu’s

“GRID and computer networks”

RESUME

In this work we have studied GRID technology, its brief history, main concepts and main application areas. We have demonstrated clearly big impact of the technology on economy and science of today. The development of the GRID technology has been quite rapid during the last years. More and more new GRID systems are being built by commercial and non-commercial organisations in Europe, Asia, USA and also with worldwide scope for different application areas like elementary particle research, meteorology, material sciences, biotechnology etc.

Because the GRID technology is depending on computer network architectures, we have given a brief overview of nowadays state of the art network technology.

Two main parameters affecting GRID data communications are the network bandwidth and latency, we have referred to some examples of these parameter verification tests in NorduGRID environment and we have carried out some similar tests in Estonian Science and Educational Network (EENET).

We have briefly mentioned a work of an initiative group in Estonia for forming a national GRID that will be connected to other European GRID projects.

Risto Rahu

risto@vendomar.ee

30-may-2003

LISA 1 – EENETi andmesidevõrgus toimunud katsete tulemused

1.1 Katsete tulemused EENET Tartu kontori ja Tallinna võrgusõlme vahel:

pakett NCS (netest ja pipechar programmid)

```

root@nulutaja:/var/src/NCS# ./pipechar 193.40.133.134
0: localhost [4 hops] () min forward time, min RTT, avg RTT
1: 18.1s kontor-gw.eenet.ee (193.40.0.1) 0.10 0.10 0.53ms
2: 18.1s lai-gw.eenet.ee (193.40.10.241) 0.13 0.50 1.37ms
3: 31.7s tkj-c7200.eenet.ee (193.40.133.25) -0.00 3.70 5.68ms
4: 24.1s cache.eenet.ee (193.40.133.134) 1.37 3.70 7.46ms

PipeCharacter statistics: 67.22% reliable
From localhost:
| 742.268 Mbps GigE (1019.3851 Mbps)
1: kontor-gw.eenet.ee (193.40.0.1 )
| hop analyzed: 404.49 : 200.28
|
| 961.508 Mbps GigE <59.5506% BW used> May get 100.56% congested
2: lai-gw.eenet.ee (193.40.10.241)
| hop analyzed: 87.48 : 21.13
|
| 99.270 Mbps 100BT <12.5151% BW used> May get 78.37% congested
3: tkj-c7200.eenet.ee (193.40.133.25)
| 43.732 Mbps *** static bottle-neck 100BT (100.8339 Mbps)
4: cache.eenet.ee (193.40.133.134)

```

```

root@nulutaja:/var/src/NCS# ./netest -t 193.40.133.134
===== Testing results: to 193.40.133.134 =====
--- General statistics ---
Average bandwidth used in testing: 3.0382 Mb/s in 226.4710 sec
Maximum throughput 62.169 Mb/s
TCP transf rate: min 2.5087 / avg 4.9060 / max 7.5170 Mb/s

--- General section ---
Round Trip Time (RTT): 4.7000 ms
Maximum burst size: 316480 Bytes (pkt size 1472)

--- UDP section ---
Single stream UDP throughput: 62.1694 Mbps
Multi- stream UDP throughput: 62.1694 Mbps
Use of multiple streams to gain UDP throughput is not recommended

--- TCP section ---
Optimal TCP Window size: 76596 Bytes
Single stream TCP throughput: 13.2335 Mbps
Use of parallel TCP streams: not recommended
Unreliable result: re-test is recommended
if results persist, path is possibly highly used

--- Advisory section ---
Network status:
usable : True
reliable: True
performance: 0x4: need system buffer tunning

```

Transient Peak throughput is 62.169 Mb/s limited by network

Pakett Netperf

```
root@nulutaja:/usr/local/netperf# ./tcp_stream_script cache.eenet.ee
/usr/local/netperf/netperf -l 10 -H cache.eenet.ee -t TCP_STREAM -i 10,2 -I 99,5 -- -m 32768
-s 32768 -S 32768
```

TCP STREAM TEST to cache.eenet.ee : +/-2.5% @ 99% conf. : histogram

!!! WARNING

!!! Desired confidence was not achieved within the specified iterations.

!!! This implies that there was variability in the test environment that

!!! must be investigated before going further.

!!! Confidence intervals: Throughput : 51.9%

!!! Local CPU util : 0.0%

!!! Remote CPU util : 0.0%

Recv Send Send

Socket Socket Message Elapsed

Size Size Size Time Throughput

bytes bytes bytes secs. 10^6bits/sec

32768 32768 32768 10.32 4.14

Pakett WGET

```
root@nulutaja:/tmp# wget http://cache/10m
```

```
--19:16:00-- http://cache/10m
```

```
=> `10m'
```

Resolving cache... done.

Connecting to cache[193.40.133.134]:80... connected.

HTTP request sent, awaiting response... 200 OK

Length: 10,485,760 [text/plain]

100%[=====>] 10,485,760 4.36M/s ETA 00:00

19:16:03 (4.36 MB/s) - `10m' saved [10485760/10485760]

```
root@nulutaja:/tmp# wget http://cache/100m
```

```
--19:16:08-- http://cache/100m
```

```
=> `100m'
```

Resolving cache... done.

Connecting to cache[193.40.133.134]:80... connected.

HTTP request sent, awaiting response... 200 OK

Length: 104,857,600 [text/plain]

100%[=====>] 104,857,600 4.22M/s ETA 00:00

19:16:32 (4.22 MB/s) - `100m' saved [104857600/104857600]

1.2 Katsete tulemused EENETi Tähetorni võrgusõlme ja EENETi kontori vahel:

pakett NCS (netest ja pipechar programmid)

```
[root@Tähetorn-gw ncs]# ./pipechar -s 193.40.0.207 193.40.0.207
```

0: localhost [3 hops] () min forward time, min RTT, avg RTT

1: 6.8s tt-gw.eenet.ee (193.40.40.65) 0.25 0.10 0.88ms

2: 18.4s kontor-gw.eenet.ee (193.40.10.121) 0.10 0.50 1.52ms

3: 18.4s kontor-gw.eenet.ee (193.40.10.245) 0.14 0.30 1.27ms

PipeCharacter statistics: 70.87% reliable

From localhost:

| 284.585 Mbps GigE (1019.3851 Mbps)

1: tt-gw.eenet.ee (193.40.40.65)

| 961.508 Mbps GigE <61.6601% BW used>

2: kontor-gw.eenet.ee (193.40.10.121)

| 500.000 Mbps GigE (1039.2457 Mbps)

3: kontor-gw.eenet.ee (193.40.10.245)

```
[root@Tähetorn-gw ncs]# ./netest -t 193.40.0.207
```

===== Testing results: to 193.40.0.207 =====

--- General statistics ---

Average bandwidth used in testing: 1.1258 Mb/s in 154.1826 sec

Maximum throughput 89.854 Mb/s Estimated Capacity 100.000 Mb/s

TCP transf rate: min 0.3286 / avg 37.4442 / max 76.7315 Mb/s

--- General section ---

Round Trip Time (RTT): 0.7000 ms

Maximum burst size: 1404928 Bytes (pkt size 28672)

--- UDP section ---

Single stream UDP throughput: 89.8537 Mbps

Multi- stream UDP throughput: 89.8537 Mbps

Use of multiple streams to gain UDP throughput is not recommended

--- TCP section ---

Optimal TCP Window size: 65536 Bytes

Single stream TCP throughput: 87.3434 Mbps

Use of parallel TCP streams: not recommended

--- Advisory section ---

Network status:

usable : True

reliable: True

performance: 0x4: need system buffer tuning

Transient Peak throughput is 93.457 Mb/s limited by network

1.3 Katsete tulemused EENETi Tähetorni võrgusõlme ja Tallinna võrgusõlme vahel:

pakett NCS (netest ja pipechar programmid)

[root@Tähetorn-gw ncs]# ./pipechar cache.eenet.ee

0: localhost [4 hops] () min forward time, min RTT, avg RTT

1: 9.7s tt-gw.eenet.ee (193.40.40.65) 0.23 0.10 0.94ms

2: 12.1s kontor-gw.eenet.ee (193.40.10.121) 0.16 0.50 1.48ms

3: 91.3s tkj-c7200.eenet.ee (193.40.133.25) 0.20 3.70 5.87ms

4: 20.0s cache.eenet.ee (193.40.133.134) 1.01 3.80 7.62ms

PipeCharacter statistics: 78.15% reliable

From localhost:

| 314.410 Mbps GigE (1019.3851 Mbps)

1: tt-gw.eenet.ee (193.40.40.65)

| 614.388 Mbps OC12 <31.8777% BW used>

2: kontor-gw.eenet.ee (193.40.10.121)

| 614.239 Mbps OC12 <42.4101% BW used> May get 22.39% congested

3: tkj-c7200.eenet.ee (193.40.133.25)

| 71.217 Mbps *** static bottle-neck 100BT (100.8339 Mbps)

4: cache.eenet.ee (193.40.133.134)

[root@Tähetorn-gw ncs]#./netest -t cache.eenet.ee

===== Testing results: to cache.eenet.ee =====

--- General statistics ---

Average bandwidth used in testing: 1.8726 Mb/s in 92.0022 sec

Bandwidths: Available 35.735 Capacity 622.000 Mb/s

UDP transf rate: min 8.5957 / avg 27.8189 / max 59.5746 Mb/s

--- General section ---

Round Trip Time (RTT): 5.4000 ms

Maximum burst size: 91264 Bytes (pkt size 1472)

Transient Peak throughput is 69.182 Mb/s limited by network

Pakett Netperf

```
[risto@Tähetorn-gw netperf]$ ./netperf -l 60 -H cache.eenet.ee -t TCP_STREAM
-- -s 65536,65536
TCP STREAM TEST to cache.eenet.ee
Recv Send Send
Socket Socket Message Elapsed
Size Size Size Time Throughput
bytes bytes bytes secs. 10^6bits/sec
57344 131070 131070 60.09 8.80
```

Pakett WGET

```
[risto@Tähetorn-gw proov]$ wget wget http://cache.eenet.ee/100m
--19:20:07-- http://cache.eenet.ee/100m
=> dm'
Lahendan cache.eenet.ee... tehtud.
Loon ühendust serveriga cache.eenet.ee[193.40.133.134]:80... ühendus loodud.
HTTP päring saadetud, ootan vastust... 200 OK
Pikkus: 104,857,600 [text/plain]
100%[=====>] 104,857,600 3.17M/s ETA 00:00
19:20:39 (3.17 MB/s) - dm' salvestatud [104857600/104857600]
LÕPETATUD --19:20:39--
Alla laetud: 104,857,600 baiti kokku 1 failis
```

1.4 Katsete tulemused EENETi Tartu kontori ja Rakvere võrgusõlme vahel:

pakett NCS (netest ja pipechar programmid)

```
root@nulutaja:/var/src/NCS# ./pipechar 193.40.216.35
0: localhost [5 hops] () min forward time, min RTT, avg RTT
1: 18.1s kontor-gw.eenet.ee (193.40.0.1) 0.10 0.10 0.54ms
2: 18.4s lai-gw.eenet.ee (193.40.10.241) 0.14 0.50 1.31ms
3: 51.0s tkj-c7200.eenet.ee (193.40.133.25) 0.13 3.70 5.74ms
4: 67.2s rakvere-ser0-0.bb.eenet.ee (193.40.133.98) 0.09 7.80 16.00ms
5: 4.7s cache.rakvere.eenet.ee (193.40.216.35) 36.33 7.60 86.36ms
PipeCharacter statistics: 82.72% reliable
From localhost:
| 757.895 Mbps GigE (1019.3851 Mbps)
1: kontor-gw.eenet.ee (193.40.0.1 )
| 1038.492 Mbps GigE <9.8262% BW used>
2: lai-gw.eenet.ee (193.40.10.241)
```

```

| 436.979 Mbps unKnown link ??? congested bottleneck <55.2240% BW used>
3: tkj-c7200.eenet.ee (193.40.133.25)
| hop analyzed: 153.72 : 6.53
| 159.374 Mbps OC3 <0.8263% BW used> May get 65.67% congested
4: rakvere-ser0-0.bb.eenet.ee (193.40.133.98)
| 1.982 Mbps *** static bottle-neck T1 (1.4732 Mbps)
5: cache.rakvere.eenet.ee (193.40.216.35)
root@nulutaja:/var/src/NCS# ./netest -t 193.40.216.35
===== Testing results: to 193.40.216.35 =====
--- General statistics ---
Average bandwidth used in testing: 0.8409 Mb/s in 166.2271 sec
Maximum throughput 0.852 Mb/s Estimated Capacity 45.000 Mb/s
TCP transf rate: min 0.3901 / avg 1.3437 / max 1.8524 Mb/s
--- General section ---
Round Trip Time (RTT): 16.6000 ms
Maximum burst size: 105984 Bytes (pkt size 1472)
--- UDP section ---
Single stream UDP throughput: 0.5600 Mbps
Multi- stream UDP throughput: 0.8518 Mbps
Use of multiple streams to gain UDP throughput is recommended
--- TCP section ---
Optimal TCP Window size: 32768 Bytes
Single stream TCP throughput: 1.8524 Mbps
Use of parallel TCP streams: not recommended
--- Advisory section ---
Network status:
usable : True
reliable: True
performance: 0x4: Caution: slow pipe

```

1.4 Katsete tulemused Tähetorni võrgusõlme ja Oslo GRID vaheserveri vahel: pakett NCS (pipechar programm)

```

[root@Tähetorn-gw ncs]# ./pipechar grid.uio.no
0: localhost [10 hops] () min forward time, min RTT, avg RTT
1: 6.4s tt-gw.eenet.ee (193.40.40.65) 0.24 0.20 0.90ms
2: 18.4s kontor-gw.eenet.ee (193.40.10.121) 0.15 0.50 1.48ms
3: 42.6s tkj-c7200.eenet.ee (193.40.133.25) 0.14 4.00 6.70ms
4: 30.2s eenet.se1.se.geant.net (62.40.103.125) 0.03 9.80 12.47ms

```

```
5:117.8s sw-gw.nordu.net      (62.40.103.118)    0.25  9.80 13.22ms
6: 21.0s no-gw.nordu.net      (193.10.68.30)     0.10 17.10 20.80ms
7:135.1s oslo-gw1.uninett.no  (193.10.68.50)     0.20 16.90 20.55ms
8: 24.9s uio-gw7.uio.no       (128.39.3.94)      0.06 17.50 20.89ms
9: 23.4s abel-gw.uio.no       (129.240.100.126)  0.10 17.50 21.85ms
10: 94.1s fys-gw.uio.no       (129.240.100.138)  0.13 17.50 20.87ms
```

PipeCharacter statistics: 69.48% reliable

PING utiliit , 1000 baidised paketid

```
risto@Tähetorn-gw proov]$ ping grid.uio.no -i 0.2 -l 3 -s 1000
```

PING grid.uio.no (129.240.86.18) from 193.40.40.75 : 1000(1028) bytes of data.

--- grid.uio.no ping statistics ---

199 packets transmitted, 196 received, 1% loss, time 39582ms

rtt min/avg/max/mdev = 19.212/21.405/32.216/2.215 ms

Pakett WGET

```
[risto@Tähetorn-gw proov]$ wget http://grid.uio.no/nordugrid_snapshot/tagged/ng-
current.tar.gz
```

```
--16:13:54-- http://grid.uio.no/nordugrid_snapshot/tagged/ng-current.tar.gz
```

```
=> `ngcurrent.tar.gz'
```

Lahendan grid.uio.no... tehtud.

Loon ühendust serveriga grid.uio.no[129.240.86.18]:80... ühendus loodud.

HTTP päring saadetud, ootan vastust... 200 OK

Pikkus: 2,634,749 [application/x-gzip]

```
100%[=====>] 2,634,749 1.38M/s ETA 00:00
```

```
16:13:55 (1.38 MB/s) - `ngcurrent.tar.gz' salvestatud [2634749/2634749]
```