

Földrengéshullámok terjedésének modellezése

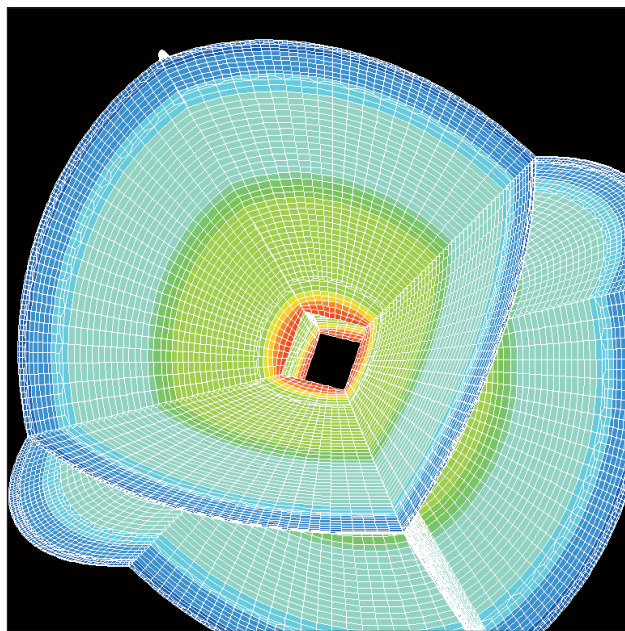
A Kaliforniai Műszaki Tudományok Intézete irdatlan méretű, 156 linuxos gépből álló, ikerprocesszoros fürtöt épített.

A hatalmas földrengések a sűrűn lakott területeken végetesek lehetnek, és az érintett területek gazdasága számára óriási károkat okozhatnak. Az utóbbi nagy földrengések – El Salvadorban 2001. január 13-án 7,7 erősségű, Indiában 2001. január 26-án 7,6 erősségű és Seattle-ben 2001. február 28-án 6,8-as erősségű földmozgás – miatt nagy szükségünk van rá, hogy minél jobban megértsük a földrengések fizikáját, és a földrengések előrejelzésére és a veszélyeztetett épületek, valamint a háttérágazat meghatározására tett kísérletek is sürgetőekké váltak.

A földrengések során tapasztalható erős földmozgásokat a mozgáskiegyenlítőds alakítja, amely három hullámfajtnál jelentkezik: nyomásnál, illetve hanghullámnál, nyíróhullámnál (shear) és a felszíni hullámoknál. A földrengéshullámok terjedését numerikus módszerek használatával háromdimenziós összetett modelleken le lehet vezetni. A földrengéstudományban a nehézségek két fő csoportba sorolhatók: egyrészt a térségi folyamatok utánzása, úgymint a földrengések terjedése a sűrűn lakott, földrengésre hajlamos üledékes medencékben, amilyenre Los Angeles vagy Mexikóváros példa, másrészt a földrengéshullámok terjedése a Föld teljes tömegében. Az összes földrengés folyamán a földgolyó több pontján mindössze néhány rengéssjelző laboratórium rögzíti ezeket a Föld belső szerkezetéről árukkodó rengéshullámokat.

A numerikus módszer

A Kaliforniai Műszaki Tudományok Intézetének (California Institute of Technology) Földrengéssjelző Laboratóriumában a kutatók nagy pontosságú numerikus módszert fejlesztettek ki: a spektrumelemes módszert a földrengéshullámok terjedésének háromdimenziós modellezésére. Az eljárás a mérnöki tervezésben már általánosan elterjedt véges elemes módszeren alapul. Minden elem néhány száz pontot tartalmaz, és a földrengéshullámok lefutását helyi hálózszemekre képezi le, a számítási eredményeket pedig a szomszédos hálózszemeknek közvetíti. A Földön terjedő földrengéshullámok modellezéséhez az egész földgömböt hálózszemekre, majd azokat további nagyszámú szeletre bontottuk (1–2. kép). Minden egyes szelet nagyszámú elemet tartalmaz, általában több tízezeret. A cél az, hogy a számítási műveleteket párhuzamos gépen végezzük, minthogy a feladat mérete nem teszi lehetővé, hogy programunkat osztott táras gépen vagy munkaállomáson futtassuk. A fent leírtak miatt a módszer fürtözött gépeken tökéletesen kivitelezhető, vagyis olyan elrendezésben, amikor egy-egy gép a hálózszemhez tartozó részhalmaz összes elemét kezeli. A számítások eredményének számítógépek közötti közvetítésére a hálózaton belül üzenetküldő módszereket alkalmazunk. A Linux-rendszeren történő párhuzamos feldolgozás alapgon-dolata a tudományos társadalomban gyorsan kifejlődött (bővebb adatok a megadott irodalomjegyzékből nyerhetők: *M. Konchady és R. A. Sevenich* cikkei). A nagy gépfürtök tudományos célú felhasználásának kutatása 1994-ben a NASA (Az Egyesült Államok Űrkutatási Hivatala)



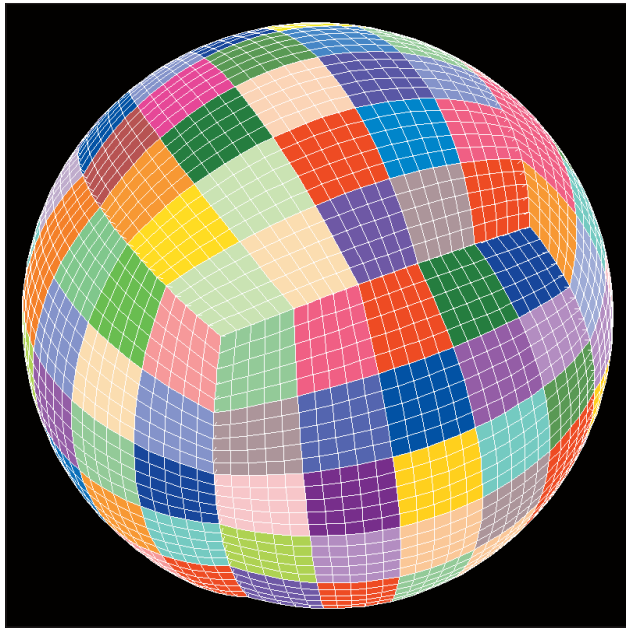
1. kép A Föld hálózszemekre bontva

Beowulf névre keresztelt vállalkozásával kezdődött (☞ <http://www.beowulf.org>), amelyet a Caltechnél a Hyglac és Los Alamosban a Loki-program követett (lásd *Tom Sterling* és munkatársainak *Hogyan építsünk Beowulf rendszert?* című könyvét és a ☞ <http://www.cacr.caltech.edu/resources/naegling> honlapot a Világhálón.) Az Egyesült Államokban *Hans-Peter Bunge* a Princeton Egyetemről az elsőők között használt geofizikai kérdések megoldására a most bemutatásra kerülőhöz hasonló fürtözött rendszert, Európából pedig *Emmanuel Chaljub* a párizsi Földtudományi Intézetnél (Institut de Physique du Globe) vezette be az üzenetküldés ötletét a földrengéshullámok tovaterjedésének tanulmányozására. A fürtözést jelenleg az ipar és a tudomány számos területén használják.

A rendszer alapját képező gépi berendezés

Elhatároztuk, hogy a feladat megoldására fürtöt újonnan építünk, szabványos számítógép-alkatrészek felhasználásával. A COTS (Commodity Off The Shelf) mozaikszó a kiskereskedelmi forgalomban kapható alkatrészekből való összeszerelést jelöli, s ezt az elnevezést mi magunk is gyakran használtuk módszerünk leírására. A legerősebb kényszerítő tényező az volt, hogy sok gépre volt szükségünk, ezenkívül rengeteg tárterületet igényeltünk modellünkhöz az általunk használni kívánt háló nagysága miatt. A ki- és bemenet, valamint a gépközi adatcsere számunkra nem volt fontos, mivel a gépek működési idejének legjavát a számítási tevékenység teszi ki, ugyanakkor a gépek közötti adatforgalom a fenti jellemzőhöz mérten állandóan kicsi. Ezen okból kifolyólag a mi hálózatunk

nem lenne képes különösebben kihasználni az olyan nagy teljesítményű hálózatokat, amilyen a Gigabit ethernet- vagy a Myrinet-hálózatok. Ehelyett szabványos, 100 Mb/s sebességű Fast ethernet-hálózatot építettünk. A szükséges processzorok nagy száma miatt – összesen 312 – ikerprocesszoros alaplapokat használtunk, hogy a számítógépházak számát 156-ra szorítsuk le és egyúttal a helyigényt is csökkentjük. Ez az elrendezés nagy lendületet ad a működéshez, mert a két processzor osztozik a közös memóriasínen, amely a sín telítettségéhez vezet,



2. kép A processzorokhoz rendelt szeletek

de egy füst alatt a gép költségeit is csökkentti, hiszen a két processzorhoz csak egyetlen számítógépház, alaplap, merevlemez stb. szükséges. A gépek keretbe szerelését – lényegében a költségcsökkentés érdekében – kizártuk, és végül a polcokra állított szabványos közepes toronyházak felhasználása mellett döntöttünk – amint az a 3. képen látható. Ezt az elrendezést időnként a LOBOS mozaikszóval jelöljük, utalva rá, hogy a polcokon sok gépet helyeztek el (Lots of Boxes on Shelves). A polcrendszer és a 156 gépes telepet olyan gépterembe helyezték, amelyben már nagy teljesítményű szellőztető berendezés működött.

Úgy hírlik, az Athlon gyorsabb a lebegőpontos számításoknál, amely a legtöbb tudományos számításban a fő művelettípus, beleértve a miénket is. A telep építésének idején semmilyen ikerprocesszoros, az Athlon központi egység fogadására alkalmas alaplap sem volt kapható. Mint már fentebb említettük, a közönséges csomópontok építése növelte volna a fűrtépítés költségeit, éppen emiatt a Pentium III-ra esett a választásunk. A gépek összeszerelésekor nagy a kísértés, hogy a legújabb műszaki megoldásokat használjuk fel, viszont az új processzorok a fél éve piacon levő eszközöknél jóval drágábbak, és csak csekély teljesítménybeli növekedést nyújtanak. A 3–6 hónapos processzorok ár, illetve teljesítményaránya a legkedvezőbb. Amikor 2000 nyarán összeszereltük a rendszert, a gépekre 733 MHz-es órajelű processzorokat építettünk.

A 4. kép a Pentium III processzor ár-teljesítmény arányát mutatja. A feltüntetett árak az egyesült államokbeli kiskereskedőknél jellemző árak. Mint látható, a régi processzorok olcsók,

ezzel szemben viszonylag lassúk. Az új processzorok gyorsabak, viszont sokkalta drágábbak. A megfelelő ár-teljesítmény arányt a két véglet között kellett megtalálni. Úgy döntöttünk, hogy az alaplapokon minden tárfoglalatot kitöltünk, vagyis gépenként 1 GB memóriát zsúfoltunk a foglalatokba, amely a teljes fűrtre nézve 156 GB tárterületet képezett. Minden gépre csomópontként vagy inkább számítási csomópontként (node) hivatkoztunk. Fontos megjegyezni, hogy a memóriaköltségek a teljes telep költségének több mint felét teszik ki. A többi számítógép-alkatrész már szinte teljesen átlagos: minden gép 20 GB-os merevlemezzel, Fast ethernet hálózati kártyával és 1 MB-os PCI-sínes videokártyával rendelkezik, utóbbi ahhoz kell, hogy a gép az operációs rendszert helyesen be tudja tölteni, és amikor éppen szükséges, a gép működését figyelemmel lehessen kísérni. Jó minőségű, középmagas, golyós tengelycsapágyas házventilátorral ellátott toronyházakat használtunk, mert a fűrt mechanikus alkatrészei – mint például a tápegységek és a ventilátorok – hajlamosak a leginkább a meghibásodásra. Érdemes figyelmet fordítani a fűrt hihetetlenül nagy lemezkapacitására, amely 156×20 GB, azaz 3×120 GB = 3 TB (terabájt). A fűrtépítés költségeinek további csökkentése és a felhasznált alkatrészek minőségének teljes körű ellenőrzése érdekében az előreszerelt számítógépek megrendelése helyett az alkatrészek különböző kereskedőktől való beszerzése és a gépek saját összeszerelése mellett döntöttünk. A teljes fűrt összeállítása három ember hozzávetőlegesen egyheti munkáját vette igénybe. Az egyik gép, a felhasználói felület szerepét betöltő vezetőgép a fűrtön belüli különleges szereppel bírt: ez tartalmazta az egyes felhasználók saját állományrendszerét, a SCSI-meghajtókat, az önműködő befűző (automounter) által a többi csomóponton elérhetővé tett NFS-t, a fordítóprogramokat, az üzenetküldő könyvtárakat és sok minden másit is. A modellezési folyamatokat erről a gépről indítottuk, majd innen követtük nyomon. A vezetőgép a csomóponti gépeken karbantartási céllal naplót vezet. A csomópontokat a Cisco cég által gyártott 192-kapus Catalyst 4006-os hálózati kapcsolóval kötöttük össze, amelynek a hátlapi sávszélessége 24 Gb/s.

A rendszer beállítása és a programkódfejlesztés

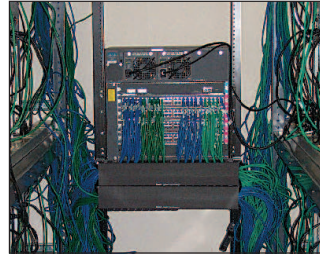
A fűrtön belüli összes gép Red Hat 6.2-es Linux-változattal üzemel. A Linux tökéletesen megfelel az alkalmazásokkal szemben támasztott elvárásainknak: nagyfokú rendelkezésre állást követelünk meg, mert a gépet tudósok használják, és számukra az a legfontosabb, hogy úgy végezhesék a munkájukat, hogy ne kelljen a gépek összeomlása miatt aggódniuk. Kilenc hónapja, vagyis a rendszer telepítése óta egyetlen rendszerösszeomlásunk sem volt. Az operációs rendszert a legnagyobb teljesítmény eléréséhez a berendezés jellemzőinek megfelelően kell hangolni; a nyílt forrás alapelveit követve a rendszermag újrafordítását el tudtuk végezni – a mi gépünkre jellemző néhány alapvető beállítással kiegészítve. A közelmúltban telepítettük a 2.4.1-es rendszermagot, amely a kétprocesszoros SMP-gépeket sokkal jobban támogatja, mint a 2.2. rendszermag. A gép csodálatosan működik: a 2.2-es rendszermagról a 2.4.-re való átállás után a felhasználói programok központi-egység-lekötési ideje 25 százalékkal csökkent. Hálózati szempontból a fűrt az 192.168.1.x címre van befűzve. Biztonsági okok miatt a telep nincs a külvilággal összekötve; a teljes üzenetfeldolgozás és elemzés a vezérlőgépen, helyben történik. A cron táblában beállítjuk, hogy az `rdate` paranccsal a csomóponti gépek óráit napi egyszeri alkalommal a vezérlőgép órájához igazítsuk. A számítógéptelep használatáért a legsúlyosabb árat a meglévő soros programkód üzenetküldési elven alapuló



3. kép

A 156 ikerprocesszoros fürt. A gépek 100 Mb/s sebességű Fast ethernethálózatra vannak fűzve (zöld és kék kábelek). A háttérben a 192-kapus Cisco hálózati kapcsoló látható.

A polcrendszer elérte a 2 m 64 cm-es magasságot



4. kép

Cisco 4006 típusú hálózati kapcsoló

az üzenetközvetítő elv jelentette, vagyis hogy a vezérlőgépnek avagy a főgépnek a munkát szükségszerűen egyenlő mértékben kell elosztania a többi elem, vagyis számítási pont között. Mint-hogy a csomópontoknak a munkát minden időlépésben össze kell hangolniuk, egy-egy gépnek a számítási műveleteket nagyjából azonos idő alatt kell befejeznie.

Amennyiben a terheléelosztás egyenlőtlen, azaz rossz a munkaelosztás, a gépek a leglassabb csomópontokhoz fognak igazodni, ez pedig a legkedvezőtlenebb forgatókönyv szerinti működéshez vezet.

Akadályt jelenthet az az eset, amely ellehetetleníti a gépek közötti adatcserét. Jó példa erre, amikor A gép adatot vár B géptől, de ugyanekkor B gép is adatot vár A-tól. Az ilyen holtponthoz elkerülésére használandó a mester, illetve szolga programozási módszer.

Az üzenetváltásra a beszédes nevű Message Passing Interface (MPI) programkönyvtárat használjuk, nevezetesen az Argonne National Laboratoryban kifejlesztett MPICH megvalósítást telepítettük (lásd *W. Gropp* és munkatársainak 1996-ban megjelent cikkét, amely a <http://www-unix.mcs.anl.gov/mpi/mpich> címen olvasható). Ez a csomag Linux-rendszeren rendkívül megbízhatónak bizonyult. Az MPI a párhuzamos programozási-közösségen belül egyre inkább szabvánnyá válik. Az MPI számos szolgáltatása a korábbi, párhuzamos feldolgozást megvalósító PVM (Paralell Virtual Machine) programkönyvtárhoz hasonlít, amelyet 1998-ban *R. A. Sevenich* mutatott be a Linux Journalban.

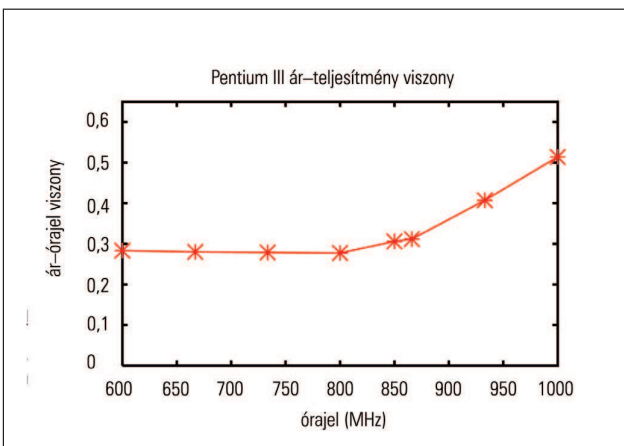
Nehézséget jelentett feladatunk megoldásánál az örökségül ránk maradt régi programkód, amellyel mindenképp foglalkozniunk kellett. Sok korszerű programkód alapul olyan programkönyvtárakon, amelyekben még 1970-es, 1980-as évekbeli régi programkódok lelhetők fel. Szinte mindegyik programkód-könyvtár Fortran77-ben íródott, tehát az akkori idők közkedvelt nyelvének; a C nyelv pedig az idő tájt még nem terjedt el.

Olyan döntést hoztunk, hogy a több mint 40 000 sornyi forráskódot nem írjuk át C nyelvre, inkább a fordítóprogramot frissítjük Fortran77-ről Fortran90-re. Az új változatban már létezik dinamikus tárfoglalás, mutatók stb., ráadásul visszafelé együttműködik a Fortran77-tel. Készítettünk egy Perl-héjprogramot, hogy a kódátalakítást önműködővé tegyük: néhány részlet kézzel kiegészítve, a tárfoglalást pedig statikusról dinamikusra változtattuk. Ismereteink szerint ingyenes Fortran90-es program Linux-rendszerre sajnos még nem érhető el. A GNU g77 és f2c csomagok szerényen csak a Fortran77 fordítóprogramot támogatták. Így jobb híján kereskedelmi terméket, a pgf90-et kellett megvásárolnunk a Portland Grouptól (<http://www.pggroup.com>).

Ez lett számítógéptelepünk egyetlen nem nyílt forrású eleme.

A géptelemek korlátja a rendszerfelügyelet és -karbantartás. A gépek százsámra való használatával együtt növekszik a gép- és programhiba lehetősége. Géphiba felmerülése esetén a gépekre nézve kifejezetten előnyös, hogy alkatrészeik csereszabatosak, órákon belül beszerezhetők és kicserélhetők. Ezért a karbantartással kapcsolatos költségek alacsonyak azokhoz a karbantartási szerződésekhöz képest, amelyeket a kutatók a szupergépek üzemben tartására kötnek.

Sokkal izgatóbb kérdés a programkarbantartás: egy 156 gépes

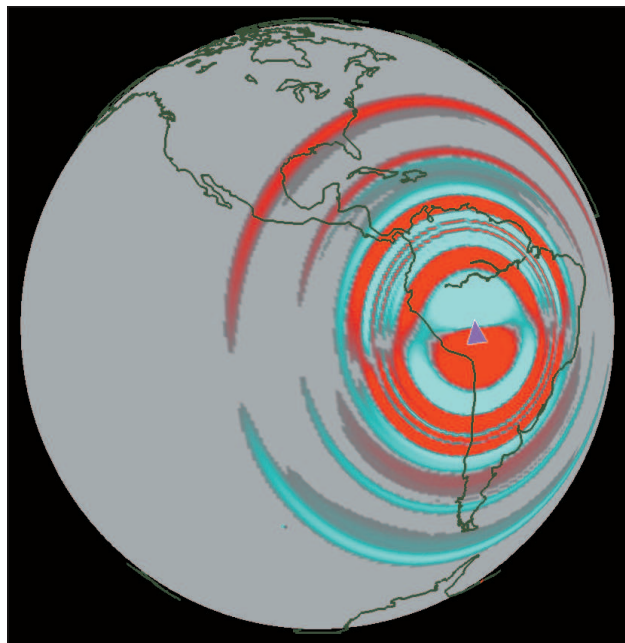


2. ábra Az ár-teljesítmény aránya a Pentium III processzorra vonatkozóan

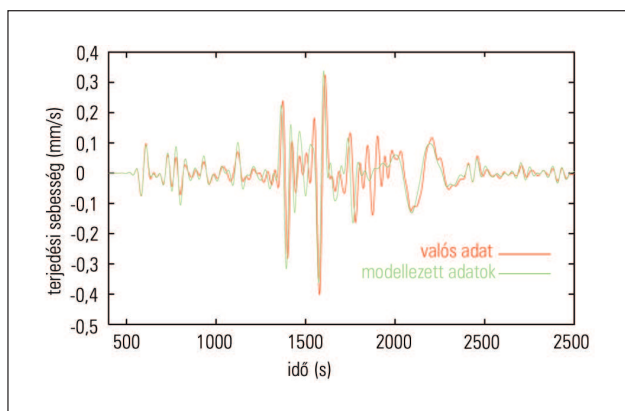
párhuzamos kóddá alakításáért kellett fizetnünk. Esetünkben ez az ár tetemes volt, hiszen csapatunk kutatókból áll, nem pedig hivatásos programozókból. Ez a helyzet számunkra azt jelentette, hogy a több tízezer sornyi soros programkód átirására rá kellett szánnunk néhány hónapot. A fő nehézséget

Host Name	Up Time Since Reboot	Linux Kernel Type	Processor Frequency	System Clock	1 min Load	5 min Load	15 min Load	Processes Running	Total Memory	Free Memory	Free Swap
h001	25 days 00h03	2.4.1 i686	733	0301 1432	1.61	1.53	1.51	3	1004 Mb	283 Mb	515 Mb
h002	12 days 17h17	2.4.1 i686	733	0301 1432	1.68	1.53	1.48	3	1004 Mb	283 Mb	460 Mb
h003	29 days 23h38	2.4.1 i686	733	0301 1432	1.62	1.50	1.45	1	1004 Mb	282 Mb	514 Mb
h004	30 days 00h09	2.4.1 i686	733	0301 1432	1.43	1.47	1.44	3	1004 Mb	284 Mb	445 Mb
h005	30 days 00h09	2.4.1 i686	733	0301 1432	1.42	1.50	1.45	1	1004 Mb	282 Mb	177 Mb
h006	30 days 00h09	2.4.1 i686	733	0301 1432	1.58	1.48	1.45	3	1004 Mb	283 Mb	515 Mb
h007	30 days 00h09	2.4.1 i686	733	0301 1432	1.40	1.46	1.44	1	1004 Mb	284 Mb	441 Mb
h008	29 days 22h42	2.4.1 i686	733	0301 1432	1.42	1.50	1.45	3	1004 Mb	282 Mb	514 Mb
h009	29 days 23h39	2.4.1 i686	733	0301 1432	1.42	1.46	1.44	3	1004 Mb	282 Mb	488 Mb
h010	30 days 00h09	2.4.1 i686	733	0301 1432	1.61	1.53	1.46	1	1004 Mb	284 Mb	440 Mb
h011	29 days 23h38	2.4.1 i686	733	0301 1432	1.46	1.45	1.44	3	1004 Mb	283 Mb	453 Mb
h012	30 days 00h09	2.4.1 i686	733	0301 1432	1.46	1.43	1.43	3	1004 Mb	283 Mb	514 Mb
h013	30 days 00h09	2.4.1 i686	733	0301 1432	1.57	1.54	1.54	3	1004 Mb	283 Mb	515 Mb
h014	29 days 23h38	2.4.1 i686	733	0301 1432	1.47	1.54	1.53	3	1004 Mb	283 Mb	446 Mb
h015	29 days 23h32	2.4.1 i686	733	0301 1432	1.66	1.61	1.56	3	1004 Mb	283 Mb	489 Mb
h016	30 days 00h09	2.4.1 i686	733	0301 1432	1.38	1.52	1.53	3	1004 Mb	283 Mb	290 Mb
h017	29 days 23h38	2.4.1 i686	733	0301 1432	1.71	1.62	1.56	3	1004 Mb	283 Mb	454 Mb
h018	29 days 23h38	2.4.1 i686	733	0301 1432	1.62	1.51	1.51	3	1004 Mb	283 Mb	514 Mb
h019	29 days 23h38	2.4.1 i686	733	0301 1432	1.68	1.52	1.48	3	1004 Mb	284 Mb	462 Mb
h020	30 days 00h09	2.4.1 i686	733	0301 1432	1.72	1.59	1.53	3	1004 Mb	284 Mb	438 Mb
h021	29 days 22h47	2.4.1 i686	733	0301 1432	1.59	1.61	1.55	3	1004 Mb	283 Mb	465 Mb
h022	30 days 00h09	2.4.1 i686	733	0301 1432	1.61	1.57	1.55	3	1004 Mb	284 Mb	465 Mb
h023	29 days 23h38	2.4.1 i686	733	0301 1432	1.67	1.59	1.55	3	1004 Mb	283 Mb	515 Mb
h024	30 days 00h09	2.4.1 i686	733	0301 1432	1.47	1.55	1.54	3	1004 Mb	283 Mb	514 Mb
h025	30 days 00h09	2.4.1 i686	733	0301 1432	1.57	1.56	1.54	3	1004 Mb	283 Mb	489 Mb
h026	29 days 23h38	2.4.1 i686	733	0301 1432	1.76	1.73	1.71	3	1004 Mb	283 Mb	515 Mb
h027	30 days 00h08	2.4.1 i686	733	0301 1432	1.69	1.67	1.69	3	1004 Mb	283 Mb	515 Mb
h028	30 days 00h09	2.4.1 i686	733	0301 1432	1.61	1.69	1.65	3	1004 Mb	283 Mb	515 Mb
h029	30 days 00h09	2.4.1 i686	733	0301 1432	1.68	1.69	1.65	4	1004 Mb	284 Mb	489 Mb
h030	30 days 00h09	2.4.1 i686	733	0301 1432	1.76	1.76	1.72	3	1004 Mb	283 Mb	515 Mb
h031	30 days 00h09	2.4.1 i686	733	0301 1432	1.76	1.76	1.70	3	1004 Mb	283 Mb	515 Mb
h032	29 days 22h40	2.4.1 i686	733	0301 1432	1.72	1.68	1.63	3	1004 Mb	283 Mb	515 Mb
h033	30 days 00h09	2.4.1 i686	733	0301 1432	1.57	1.70	1.67	3	1004 Mb	283 Mb	515 Mb
h034	30 days 00h08	2.4.1 i686	733	0301 1432	1.70	1.65	1.64	3	1004 Mb	283 Mb	515 Mb
h035	29 days 23h39	2.4.1 i686	733	0301 1432	1.62	1.70	1.70	3	1004 Mb	283 Mb	515 Mb
h036	30 days 00h09	2.4.1 i686	733	0301 1432	1.73	1.69	1.64	3	1004 Mb	283 Mb	515 Mb
h037	30 days 00h09	2.4.1 i686	733	0301 1432	1.67	1.63	1.62	2	1004 Mb	283 Mb	515 Mb
h038	29 days 23h39	2.4.1 i686	733	0301 1432	1.58	1.55	1.50	3	1004 Mb	282 Mb	464 Mb
h039	29 days 23h39	2.4.1 i686	733	0301 1432	1.48	1.53	1.53	1	1004 Mb	283 Mb	515 Mb

5. kép A programrendszer működésének megfigyelése a Ganglia-programmal



6. kép A 8,2 magnitúdójú bolíviai földrengés rengéshullámai



2. ábra A függőleges sebesség – ahogyan Pasadena-ban érzékelték

The Portland Group

Home About PGI Support Documentation News Jobs Y2K

Products

- PGI Workstation Fortran / C / C++
- PGI Server Fortran / C / C++
- PGI CDK® Cluster Development Kit
- PGHP® High Performance Fortran

Pricing and Purchase

- Business / Commercial
- Academic / Education
- Government
- Purchase or Quote Online

Resellers

- Locate a PGI reseller
- Become a PGI reseller
- Reseller accounts

OpenMP

- Useful links
- Benchmarks and tutorials

HPF

- Useful links
- Benchmarks and tutorials

Extreme Linux

- Useful links
- Cluster software
- Cluster hardware

National Compiler Infrastructure

- NCI Web Site

PGI Workstation

v3.3 Now Available!

Get a free 15-day trial of PGI's parallel Fortran, C and C++ compilers and tools for your Intel processor-based Linux, NT or Solaris86 workstation or server.

PGI Workstation v3.3 Now Available!

The PGI Workstation v3.3 release is now available for download. Click on the appropriate download pages, register and follow directions for details on how to download. For download information, access our [registration page](#).

The PGI CDK v3.3 will be

Cluster

Build your own supercomputer with the PGI CDK™ Cluster Development Kit™, Parallel Fortran, C and C++ Compilers and Tools for Building and Programming a Linux Cluster.

Acquires The Portland Group

➔ <http://www.pgroup.com>

rendszerrel hogyan ellenőrizhető, hogy minden gép megfelelően dolgozik-e? Miként telepíthetünk új programokat? Hogyan kísérhetjük figyelemmel egy futó munka végrehajtását? A fűrt telepítésekor héjprogramot készítettünk, amely rsh parancsok küldésével adatokat gyűjtött az egyes gépekről. Azóta az olyan egyetemek, mint például a Berkeley, valamint vállalatok, mint például a VA Linux, hatékony programcsomagokat fejlesztettek ki a telep működésének megfigyelésére, és végül ezeket nyílt forrású programokká nyilvánították. A VA Linux SystemImager nevű gépklónozó csomagját használjuk a programfrissítések elvégzésére. Ezzel a csomaggal csak a vezetőgép frissítését kell kézzel elvégeznünk. Ezt követően a csomag a rsync és ftp parancsok alkalmazásával a változásokat a további 155 gépre átmásolja, vagy ha úgy tetszik, klónozza. A telep működésének és a futó programok állapotának figyelésére *Matt Massie*, a Berkeley Egyetem munkatársa által készített Ganglia-csomagot használjuk. Ez egy olyan gyors és könnyen kezelhető program, amely a csomóponti gépekről a vezérgépre történő adatküldéshez rendszerdémonokat használ. A kapott adatokat a fő gép összegyűjti és megjeleníti. A 6. képen a Ganglia-csomaghoz kapcsolódó Tcl/Tk-felületet mutatjuk be. Az általunk használt grafikus felület egy további nyílt forrású csomagon, a *Jacek Radajewski* által készített bWatchon alapszik (➔ <http://www.sci.usq.edu.au/staff/jacek/bWatch>). A szabványos rsh parancsok helyett a Ganglia programot használjuk, a forráskódot ennek megfelelően módosítottuk. A VA Linux is megjelentette VACM (VA Cluster Management) elnevezésű fűrtkezelő csomagját, ezt azonban eddig még nem telepítettük.

A bolíviai földrengések és földrengések

1994. június 9-én irtózatos, a nyílt végű Richter-skála szerinti 8,2 erősségű rengés pattant ki a földfelszín alatti 641 km-es, azaz 400 mérföldes mélységben. A legtöbb földrengés a föld-

© Kiskapu Kft. Minden jog fenntartva



Intel Pentium Pro Beowulf Cluster (naegling)

- [Configuration](#)
- [How to Get an Account](#)
- [Getting Started](#)
- [Status](#)
- [What's New](#)
- [Connectivity](#)
- [Other Related Links](#)

The system is configured as two front-end systems and 114 compute nodes. Naegling is the primary front-end system for access to the 64 n-nodes and the 16 h-nodes. Wealthweo is the second front-end system which is used for development work. A cluster of 13 dual-processor Pentium-II-nodes is available on request.

Configuration

Hardware

- Venus motherboard with 200 Mhz Pentium Pro
- 128 MB RAM
- 3.1 GB EIDE disk
- 100 Mb/s Ethernet adapter
- Front-end machine has 128 MB extra RAM and 8 GB extra storage space.

➔ <http://www.cacr.caltech.edu/resources/naegling/>

felszínhez sokkal közelebb zajlik le, rendszerint 30 km-nél sekélyebb tartományban jön létre. Ez utóbbi bolíviai rengés a valaha feljegyzett legnagyobb mélységi rengések egyike volt. Szokatlan jellemzői miatt e földrengést a földrengéstudományi szakmai közösségen belül máris nagyon sokan választották írásuk témájául. Ezekután számítógéptelepünkön mi is megpróbáltuk utánozni az eseményt.

A 7. kép egy ilyen földlökést mutat be – a föld elmozdulását adott helyen, amely a földrengés által keltett hullámok miatt létrejött elmozdulást ábrázolja. A bolíviai rengés epicentrumát a képen lila háromszög jelöli. A földrengések a felszín alatt és mentén haladnak. Látható például az is, amint az Egyesült Államok területén szétterjednek. Az állandó elmozdulás Bolívia körül a Föld felszínén is látható, északon egészen az Amazonasig terjed. Ezt a jelenséget statikus eltolódásnak nevezik és több bolíviai földrengésjelző állomás is rögzített effélet. A földrengés olyan erősségű volt, hogy a földet állandó jelleggel több milliméteres kitéréssel mozgatta meg. A függőleges elmozdulás déli irányban elérte a 7 mm-t. Mindezt programkódunkkal teljes pontossággal képesek voltunk megismételni. Ez annak köszönhető, hogy a rengéshullámok a Föld teljes tömegében szétterjednek, a bolíviai földmozgásokat a többi országbeli földrengésjelző állomások is érzékelni tudták.

A 2. ábra a pasadenai (Kalifornia) állomás által rögzített adatokat mutatja, mellette pedig a modellező módszerünk létrehozta idevonatkozó adatokat. Ismételten megállapíthatjuk, hogy az egyezés kielégítő. Ez a modellezési folyamat minden egyes időlépésben egy 500 millió ismeretlenes egyenletrendszer – az ismeretleneket a rendszer szabadságfokaként szokás emlegetni – megoldását követelte meg. A rengéshullámok terjedésének modellezéséhez a fűrt 48 órára működésére volt szükség – a csomópontok felének felhasználása mellett (150 processzor). Talán nem is szükséges megemlíteni, hogy a most bemutatott kutatásunk mekkora teljesítményt és megbízhatóságot merített a Linuxból és a nyílt forrás filozófiájából. Nagyméretű géptelep

használatával tudtuk utánozni a pusztító földrengések nyomán fellépő rengéshullámokat, és modellezésükre példa nélkül álló megoldást találtunk.

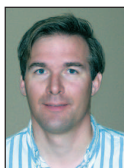
Köszönetnyilvánítások

Luis Rivera a vállalkozáshoz felbecsülhetetlenül fontos adatokkal és a segítségével járult hozzá. Köszönetet mondunk **Jan Lindheim**-nek, **Tom Sterling**-nek, **Chip Coldwell**-nak, **Ken Ounak**-nak, **Jay Nickpour**-nak és **Genevieve Moguilyn**-nek a fűrt szerkesztését érintő viták során tett építő megjegyzéseikért. **Matt Massie** több szolgáltatással egészítette ki egyébként is kitűnő Ganglia-csomagját, hogy gépfűrtünk minél több jellemzőjének megfigyelését tegye lehetővé a számunkra. **Rusty Lusk** pedig hasznos ötleteket adott a nagy fűrtön való MPICH-működést illetően.



Dr. Dimitri Komatitsch

a Kaliforniai Műszaki Tudományok Intézete Föld- és Bolygótudományi Osztályának vezető kutatója. Érdeklődési területei az alkalmazott matematika, a numerikus analízis és a számítógéptudomány alkalmazása geofizikai és szeizmológiai feladatok megoldásánál.



Dr. Jeroen Tromp

a Kaliforniai Műszaki Tudományok Intézete Föld- és Bolygótudományi Osztályának professzora. Érdeklődési területe az elméleti, különösen az egész Földre kiterjedő szeizmológia. Az utóbbi időben figyelmét a földrengéshullámok terjedésének numerikus modellezésére összpontosította.

Irodalomjegyzék

T. J. R. Hughes: The Finite Element Method, (A véges elemes módszer), Prentice-Hall, 1987.

W. Gropp, E. Lusk, N. Doss és A. Skjellum: A High-Performance, Portable Implementation of the MPI Message Passing Interface Standard (Az MPI üzenetküldő rendszer nagy rendelkezésre állású, hordozható megvalósítása), Parallel Computing, 22. évf., 1996. szeptember.

T. L. Sterling, J. Salmon, D. J. Becker és D. F. Savarese: How to Build a Beowulf (Hogyan építsünk Beowulf rendszert?), MIT Press, 1999.

D. Komatitsch és J. Tromp: Introduction to the Spectral-Element Method for Three-Dimensional Seismic Wave Propagation (Bevezetés a spektrumelem-módszer alkalmazásába a háromdimenziós földrengéshullám-terjedés elemzésnél), Geophysical Journal International, 139 évf., 1999.

M. Konchady: Parallel Computing Using Linux (Párhuzamos programozás Linux-rendszerben), Linux Journal, 45. szám, 1998. január.

by R. A. Sevenich : Parallel Processing Using PVM, (Párhuzamos feldolgozás PVM alkalmazásával), Linux Journal, 45. szám 1998. január

M. Lucas: Remote Sensing with Linux (Távérzékelés Linux-rendszerrel), Linux Journal, 82. szám, 2001. február