

A hihetetlen Hulk erejétől az ILM Halálcsillagáig

A július elejétől a magyar mozikban is bemutatott Hulk című film szintén az ILM linuxos leképezőtelepén készült.

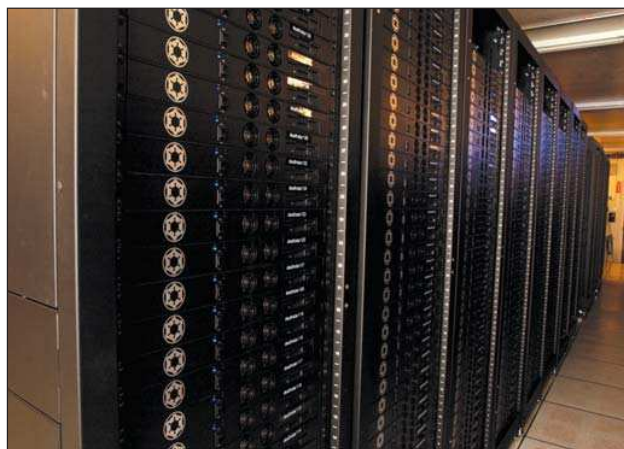
A Linux Journalban (és a Linuxvilág 2002. augusztusi számának 32. oldalán) megjelent történet – amelynek témája az Industrial Light & Magic (ILM) Linuxra való átállása volt asztali gépeiken és leképezőtelepükön – rekordmennyiségű olvasói visszajelzést váltott ki. A Csillagok háborújának Halálcsillaga mégis létezik! Bár nem mint fenyegető, bolygókat megsemmisítő fegyver, hanem mint az a leképezőtelep, ami az Industrial Light & Magic műhelyében készülő számos mozifilm háttérben húzódó számítási teljesítményt adja.

„A Linux folytatja töretlen fejlődését” – állítja *Cliff Plumer*, az ILM műszaki igazgatója. „Leképezőtelepünk jelenleg több mint 1500 processzorral bír, és az asztali gépek révén minden este csaknem 1000 továbbival gyarapszik.” A leképezőtelep mind a kizárólag erre a célra használt processzorokat, mind pedig az üresjáratban dolgozó asztali gépek teljesítményét. kiaknázza

A Halálcsillag leképezőtelep

„Leképezőtelepünk szinte teljes egészében linuxos gépekből áll, amióta csak SGI gépeinket lecseréltük” – tájékoztat *Mike Thompson* rendszertervező. „A telep körülbelül 750 csomópontból, azaz 1500 processzorból áll.” A leképezőtelep 1U kétprocesszoros, keretszerelésű sorba kötött számítógépekből áll. Hagyományos értelemben véve ez nem egy szuperszámítógép – mindegyik félig függetlenül, hálórendszerbe kötve működik, nincs meg az egyetlen munkafolyamat futtatásának kötöttsége, mint egy szuperszámítógép esetén. Itt az ILM-nél egy saját, parancsfájl-ütemező program, az ObaQ vezérli az egyes gépekre jutó munkát.

Ahogy a rendszerek nyers teljesítménye növekszik, egyre nagyobb az ILM géptermének elektromosság- és hűtésigénye. „Fontos, hogy csökkentsük a fogyasztást és a hőmérsékletet – világít rá Thompson. Mi AMD Athlon 1600-as processzorok mellett döntöttünk, olyan alacsony fogyasztású változat mellett, amit nem könnyű beszerezni.” Mindegyik csomópont 2 GB memóriával rendelkezik, ami 4 GB-ra bővíthető, és a csomópontok a két processzor kihasználása végett egyszerre két munkafolyamatot futtatnak, de ez néha egy folyamatra csökken, amikor a teljes memóriát ki szeretnénk aknázni. Az AMD-vel felszerelt csomópontok a RackSaver cég RS-1100-s egységei. A RackSaver a National Association of Broadcasters (NAB, azaz Műsorszóró Társaságok Nemzeti Egyesülete) kongresszusán keltette fel az ILM figyelmét, és kapta meg azt a lehetőséget, hogy ajánlatot tegyen a leképezőtelep megépítésére. A RackSaver legnagyobb ellenfele a nehézsúlyú IBM és a Dell. A cég elnöve *David Diggers* vezérigazgató szerint abban áll, hogy a versenytársakéhoz képest kétszeres sűrűségű kiszolgálókat képesek gyártani. „A piacnak ebben a szeletében az ILM, Pixar és Warner Brothers stúdiókkal kötött üzleteink révén nagyon erősek vagyunk” – büszkélkedik David. A RackSaver telep kiszolgálói 100BASE-TX csatlókon keresztül csatlakoznak egy Foundry 8000 hálózati kapcsolóhoz, amely ezeket a kapcsolatokat egy gigabites központi hálózati köte-



1. kép Az ILM RackSaver linuxos leképezőtelepe jelenleg 1500 processzorral bír, és a Star Wars Episode III elkészítéséhez ez a szám a kétszeresére fog emelkedni

lékké összesíti. „Nemrégiben bővítettük ki a hálózati központot egy 10 gigabites összeköttetéssel, ami nagyon sokat segített – meséli Thompson. Egy fájlkiszolgáló-maggal és 2500 leképezőközponttal rendelkezünk, ez napi mintegy 70 TB összesített forgalmat jelent.”

Mitől rettenetes a zöld szín?

„A Hulk nem egy szokványos képregény-mozi” – világosít fel *Doug Sutton* műszaki igazgató. „Évek óta ez jelentette az egyik legnagyobb kihívást a munkáink közül. Egy 15 láb magas fickót élethűen megalkotni – ez igazi erőpróbát jelent.” A Hulk egy számítógéppel előállított digitális színész, bonyolult érzelmekkel és zöld színű bőrral.

„A filmetek úgy gyártják, hogy az emberek ne nézzenek ki zöldnek, vagyis a zöld színt eltolják – magyarázza *Rod Bogart*, a vezető programmérnök. „Mi Kodak Premiere nyomtatókészletet használunk, ennek mélyebbek a színei, mint a Kodak Visionnek. Ha a szereplő zöld, ahogy Hulk is, elég nehéz olyan látványt létrehozni, ahol a bőr színe tényleg zöldnek hat. A Jurassic Park zöld dinoszauruszai könnyebb feladatot jelentenek. A dinoszauruszoknak nincsenek olyasfajta fényfoltjaik a bőrükön, mint az embereknek.” A nézők kevésbé megbocsátóak az emberi arccal kapcsolatban – főleg ha az még zöld is. „A zöld a fehérhez közelítve sárgás árnyalatot vesz fel – teszi hozzá Sutton. Muszáj egy megjelenítőn is ellenőrizni, mielőtt az ember elfogadná vagy elvetné”.

Az élő jeleneteket San Francisco utcáin rögzítették. *Jennifer Connelly* egy utca közepén áll, és egy nagy zöld fickónak játszik, aki nincs is ott. Egyetlen segédeszköze egy pózna, a tetején egy zöld fejfel. „Készítettek néhány igazán jó valós hatást, robbanást, de főleg számítógépes grafikáról van szó – magyarázza Sutton –, a Maya és a Softimage keverékéről”.

A Cineon és az OpenEXR

Egy film képeinek a rögzítése nagyobb dinamikatartományt igényel, mint amit a JPEG vagy a PNG támogat. A Kodak Cineon hosszú ideje a digitalizált film szabványos formátuma. A Cineon 10 bites logaritmikusan szemben a JPEG-gel, ami 8 bites lineáris (azaz 24 bites RGB), így a Cineon nagyobb dinamikával és – különösen a fekete közelében – gazdagabb színekkel rendelkezik. Ahogy növekedett a számítási teljesítmény, és a legtöbb számítás a lebegőpontos ábrázolásra



2. kép Az ILM saját ObaQ ütemezője éppen egy Linux-parancsfájllal vezérelt leképezést futtat a Hulk című film készítése során



3. kép Michael Thompson az ILM-től a 20 terabájtos EMC fájlkiszolgálóval

váltott át, a 10 bites logaritmikusan való munka vált korlátozó tényezővé. Az OpenEXR egy új, lebegőpontos képformátum.

„Az OpenEXR formátum egy film jobb digitális ábrázolását biztosítja, mivel több mint 30 f-egység dinamikatartománnyal rendelkezik, anélkül, hogy veszítene a pontosságából – fejt ki a véleményét Plumer. A korábbi 8 bites fájlformátumok csak körülbelül 7–10 f-egységgel rendelkeztek, és különösen nagy kontrasztú képeket már nem voltak képesek megfelelő módon megjeleníteni.”

Az ILM 2000 nyarán alkotta meg az EXR formátumot, és olyan filmek elkészítése során használta, mint a *Harry Potter és a bölcsék köve*, a *Men in Black II*, a *New York bandái*, a *Jelek* (Signs), az *Álomcsapda*, a *Hulk*, a *Van Helsing*, a *Peter Pan*, az *Idővonal* és a *Karib-tenger kalózái*.

Az Open EXR veszteségmentes tömörítést használ, mint a PNG, nem pedig a JPEG-hez hasonló veszteséges tömörítést.

Valójában létezik egy kihasználatlan Piz12 veszteséges tömörítési lehetőség is. A PNG-vel és JPEG-gel ellentétben az OpenEXR hullámkódolást használ, ami lényegében egy olyan faszerkezet, ami a képpontok közti előjeles különbségeket tárolja. Mivel a számok nagyságrendje kisebb és kevesebb egyedi érték fordul elő, a Huffman-kódolás nagyobb hatékonysággal tudja összetömöríteni az adatokat. Az EXR támogatja a 32 bites lebegőpontos, a 32 bites egész és 16 bites lebegőpontos ábrázolást, tetszőleges számú csatorna esetén. Az egyes csatornák különböző színmélységgel rendelkezhetnek, például az RGBAZ képek esetén nagyobb Z-mélységre van szükség – a jellemző érték a 16-16-16-16-32. A Z-csatorna fizikai mélységet jelöl, nem pedig egy szín- vagy alfamászkot, képzeljük el inkább úgy, mint valami szonárt. 2003 januárjában az ILM kibocsátotta a nyílt forrású OpenEXR-t. Az első olyan nyílt forrású program, ami támogatta ezt a formátumot, a CinePaint volt.

A CinePaint

A CinePaint, amit a közelmúltig FilmGimp néven emlegettek, egy képenként haladó mozgófilm-retusáló rendszer, ami 1998-ban vált ki a Gimpből. Számomra is váratlan módon lettem a CinePaint-projekt vezetője, miután a Linux Journal számára írtam néhány cikket a FilmGimpről. A megszokott állókép-formátumokon túl a CinePaint támogatja a filmgyártásban elterjedten használt fájlformátumokat is. Ezek között található a Cineon, az RnH 16 bites lebegőpontos formátum (a Rhythm & Hues által létrehozott formátum, ami a 32 bit felének a levágásával jött létre), a Radiance HDR, a LogLuv Tiff és most már az Open EXR. A CinePaint OpenEXR bővítése az ILM munkája.

Az SDev, a LUT és a rácsvonalak

„Soha nem akarunk egy képet a megfelelő SDev nélkül megnézni” – jelenti ki Sutton. Nagyon fontos, hogy azt lássuk, amit a folyamat végén eredményként kapunk. Az SDev egy szimulációs eszköz, amivel a monitorra hasonlatossá tudjuk tenni. Az OpenEXR-re való áttérés óta nem használunk LUT-okat többé, de SDev-eket igen.” A LUT egy keresési tábla, amelyet egy kép gammájának a kijavításához használtunk korábban. A monitorok fényereje nem arányos a bemeneti feszültséggel, inkább a bemeneti feszültség valamelyik hatványával. Ezt a kitevőt nevezzük gammának, amelynek az értéke a kijelzőtől függ. A Macintosh gépek jellemző értéke 1,8, ami a PC-k esetén 2,2 körüli.

„A LUT-ok működésének elve leginkább a kontraszt változtatására épül – magyarázza Bogart. A LUT ellenben nem képes a színtelítettség növelésére vagy csökkentésére.” A LUT helyett az ILM-nél egy összetettebb rácsvonalas számítási módot alkalmaznak. A rácsot 13×13×13 méretű térbeli kockáknak kell elképzelnünk – tulajdonképpen háromdimenziós indexelt tömbről van szó. Egy páratlan számot használnak, a középpont szürke. A rácsvonalas ábrázolásban minden RGB érték leképezésre kerül, szemben a LUT-tal, ami csatornánkénti leképezést végez. Három egymástól független keresési tábla alkalmazása nem megfelelő egy film látványának visszaadásához – különösen telített zöld szín esetén nem. A rács egy 64 K bejegyzést tartalmazó számított tábla segítségével állítja be a 12 pontos filmgörbének megfelelő értéket. Egy 0 és 1 közé eső rácsindex háromvonalas vagy négyoldalú interpoláció alkalmazásával és az ezt követő gammakorrektúrával szolgáltatja a három értéket. A folyamat lassabb, mert minden egyes képpontot a többivel együtt kell kezelni, de élethűbb, mint az RGB-

A lebegőpontos számábrázolási formátumok összehasonlítása

Formátum	Összes bitek száma	Előjel	Kitevő	Mantissza
IEEE 754 Double	64	1	11	52
IEEE 754 Float	32	1	8	23
nVidia/ILM Half	16	1	5	10
RnH Float16	16	0	8	8

csatornákon alapuló kikeréses. „A rácsos módszer nem csak a Hulk esetén alkalmazható eredményesen” – mutat rá Bogart. A *Minority Report* esetén egy színtelenítő folyamat látványát szimuláltuk a rácsmódszerrel. A LUT színtelítetlenség előidézésére sem alkalmas.”

GPU-programozás az nVidia Cg-vel

A nyers 16 bites OpenEXR adatformátumot Halfnak (fél) is nevezik – utalva a 32 bites lebegőpontos ábrázolás megfelezésére. A Half adatformátum az nVidia grafikus kártyák belső adatformátuma. Jó lenne, ha a rácsmódszer számításai, amik jelenleg a központi feldolgozó egységet terhelik, közvetlenül a videokártya processzorán (GPU) futhatnának. Ennek megvalósítása a grafikus kártyák fejlődésével egyre közelebb kerül. „Már nagyon várjuk, hogy ez lehetővé váljon” – vallja be Bogart. A képpel kapcsolatos számításokat a GPU képpontáryaló rendszerére szeretnénk átkerelni.” Az nVidia egy új, C-szerű fordítót, illetve programkönyvtárat kínál, a Cg-t, képpontkódok – közkedvelt nevükön „árnyalók” (shaders) – futtatására a GPU-n. Az ATI hasonló technológiát kínál High Level Shading Language (magas szintű árnyaló nyelv) néven, a 3Dlabs pedig az OpenGL Shading Language fejlesztésén dolgozik. A GPU programozása hasonló a beágyazott rendszerek programozásához, ahol a kódot a gazdafelületen fordítjuk, majd ezt töltjük le a beágyazott rendszerre. A GPU-programok futásidőben fordíthatók és tölthetők át a grafikus kártyára. A fordítóprogram (compiler) a futásidejű programkönyvtár részét képezi. Néhány 3D-programcsomag, például a Softimage és a Maya már kezdi használni a Cg-t a leképezési teljesítmény növelésére.

Modellezés és leképezés

Az Alias/Wavefront Mayát korábban a részek (particles) és néhány szereplőmozgási modell kidolgozására használták. A Pixar RenderMan és a Mental Images cég Mental Ray programja végezte a leképezést. A sugárkövető leképezők tükröződő felületei jobbak, de az előállításuk hosszabb időt vesz igénybe. Hála a gyorsabb és olcsóbb Linux-rendszereknek, a módszer gyakorlati alkalmazása egyre egyszerűbbé válik. Mind a RenderMan, mind pedig a Mental Ray támogatja az árnyaló programozást a képek egyedibbé tételére. A RenderMan könnyen elsajátítható saját árnyaló nyelvvel rendelkezik. A Mental Ray a C nyelvet használja, ami több munkát igényel, de hatékonyabb. Hogy melyik programot használjuk, azt jelenetenként eldönthetjük, minden jelenet leképezése egy ütemező parancsfájl vezérlése szerint történik.

Az ObaQ ütemező parancsfájl

„Florian Kines – aki az OpenEXR megalkotásának háttérében is áll – írta az ütemező parancsfájlunkat, sok más mellett, amit az SGI Irix óta alkotott – tudatja velünk Hess. Jó hasznát vettük a nagygépeknek és az asztali számítógépeknek. Amikor elkezdtük a Linuxra való átállást, jobb erőforrás-gazdálkodást szerettünk



4. kép Az ILM-nél készült Hulk weboldala



5. kép Az ILM-nél készült Terminátor 3 weboldala

volna megvalósítani.” Az ObaQ első változata jelenetek szerint különválasztotta a gépeket – ez bizony nem túl hatékony erőforrás-kezelés.

„Az ObaQ kiváltására indított IMP projektünk, ami egy központosított erőforrás-kezelő rendszert állított volna az ObaQ helyére, nem járt sikerrel – mondja Hess. Visszatértünk az ObaQ-hoz és ennek Linuxra való átültetéséhez, ami körülbelül két hétig tartott. Három vagy négy hónappal ezelőtt Florian úgy döntött, megoldja, hogy bármelyik jelenet bármelyik gépet használhassa.” Az ObaQ egyenrangú (peer to peer, P2P) ütemező rendszer. Ennek az az előnye, hogy egy esetleges kiszolgálóhiba esetén az egész rendszer nem kerül kapcsolat nélküli állapotba. Az ObaQ2 a teljes ütemezés megvalósítására egyetlen gépet használ – a futtatására tanácsos egy független gépet használni. Az ObaQ2 kiszolgáló elvesztése nem jelenti az egész géppark leállítását. Léteznek más ütemező rendszerek is, mint a népszerű zárt forráskódú termék, a Platform LSF, vagy a nyílt forrású Condor és OpenPBS ütemezők, de az ILM az ObaQ használatának a folytatását tervezi. Az SGI a folyamatok megfigyelhetősége céljából hozzáadott néhány képességet az Irix-rendszermagjához, ezáltal a processzoridő és az ideiglenes helyek követhetővé váltak. Ezekről az értékektől függ, hogy az ILM gépeidejét hogyan

adja vissza a központi elszámolás a projektek számára. Az ILM azt tapasztalta, hogy a Linux */proc* fájlrendszer nem biztosítja maradéktalanul ezeket a statisztikákat, vagy az rendkívül sok többletmunkával jár, és az ObaQ-t sem támogatja változtatások nélkül.

A Halálcsillag rendszermagjának módosítása

„Florian arra kért, hogy foglalkozzam a Linux-rendszermag néhány kérdésével – meséli Hess. Az egyik dolog, hogy a Linux nem ad módot a futási szálak (thread) és a folyamatok (process) megkülönböztetésére. A *ps* minden szálat külön folyamatként tüntet fel.” Néhány munkafolyamat, amilyen a Mental Ray is, keretként több szálat is képes futtatni egymással párhuzamosan. A Linux *top* vagy *ps* parancsa minden szálat úgy mutat, mintha 1 GB RAM-ot foglalna le, pedig az csak olyan osztott memória, ami többszörösen lett figyelembe véve. A Linux arról sem képes adatokat szolgáltatni, hogy melyik munkafolyamat nyit ideiglenes fájlokat. Az ObaQ-nak szüksége van ezekre az ismeretekre ahhoz, hogy egy munkafolyamat félbeszakításakor ezeket az ideiglenes fájlokat is törölhesse. Hess egy linuxos magmodult hozott létre, hogy csapdát állítson a nyitott állományoknak, elágazásoknak, másolatoknak, kijáratoknak és átnevezéseknek, abból a célból, hogy lehetővé váljon a pontos kimutatás elkészítése. A rendszermagmodul a munka nagy részét elvégzi, de a hurkolt (hooked) hívásoknak minden olyan munkafolyamatot figyelmen kívül kell hagyniuk, amit nem az ObaQ futtat. Ehhez a rendszermag módosítására van szükség. „A *ptrace* zászló (flag) egyik használaton kívüli bitjét használtam fel – magyarázza Hess. Minden x86 munkafolyamat rendelkezik egy 32 bites *ptrace*-vektorral. A 2.4.20-astól kezdve 10 bit jelzi a *ptrace* módot, mint amilyen a lépésenkénti végrehajtás. Valamikor a múlt év folyamán a Linux vagy a glibc megváltoztatta a *ptrace* zászló működését, így az elágazásoknál törölődik. Azt tapasztaltam, hogy a rendszermag törli ezeket a biteket, és megtartja a 32. bitet.” Hess elmondása szerint a 2.5 rendszermagban az *OPROFILE* tulajdonság továbbfejlesztett elszámolási (accounting) képességekkel rendelkezik, így esetleg nincs szükség a módosítására. A *ptace* zászló (flag) használaton kívüli bitjének felhasználása gyors módja annak, hogy a munkafolyamatokat az ObaQ-feladatokhoz tartozónak tüntessük fel. „Ez az egyik nagyszerű dolog a Linuxban – lelkenedik Hess. Mivel rendelkezünk a forráskóddal, saját magunk is kieszközhethetjük ezt a módosítást, ez pedig nagyon gyors megoldás. Nem kell a fejlesztőt egy ilyen egyedi műszaki megoldás fejlesztésébe bevonnai, mint azt az Irix esetében meg kellett tennünk.”

Gondok az NFS-sel

„Ekkora tűzerővel, amivel a leképezőtelepünk rendelkezik, bármelyik fájlkiszolgálót hanyatt lehetne dönteni” – vélekedik Thompson. A nukleáris robbanások leképezése a Hulkban elég dőcögős – ez a fő oka későbbi bánatunknak. Egy grafikusnak könnyű felprocesszoroznia a leképezést (vagyis több processzort hozzárendelnie a feladathoz) egészen addig a pontig, amikor is a fájlkiszolgáló végleg megadja magát. Hétszázszor annyi adatot kell elosztanunk, mint korábban.” Az ILM Sun T3-as lemezegység-tömböket használ az NFS kiszolgálására. A Linux NFS-ügyfélként való üzembe helyezése számos kérdést vetett fel, amikor másfél évvel ezelőtt működni kezdett. A Linux NFS UDP-csomaghíbjája miatt (a 2.4.18-as változattól javítva) a Sun Solaris kiszolgáló néhány órással működés után száz százalékra pörgött fel, és használhatatlanná vált. A Sun saját Solaris rendszermagmoduljával és IP-verem-

fortjával sietett a segítségünkre a Linux-hiba behatárolásában. A Linux NFS UDP választásának másik gyötrő kérdése a forgalomvezérlés hiánya. „Amikor túlterhelési gondok kezdenek jelentkezni a fájlkiszolgálónkon, a leképezőtelep szolgáltatmegtadást indít a fájlkiszolgálón – kesereg Thompson. Ismét megpróbáljuk a TCP NFS-t egy Linux-ügyfélgépen, most, másfél évvel később. Jövő héten indul a kipróbálása.” A TCP körülbelül öt százalékos többletterhelést jelent. Az ILM mostani 20 TB-os tárolókapacitását a jövő évben a kétszeresére emeli. „A Csillagok háborúja III. epizódjára leképezőtelepünket duplájára növeljük – dicsekszik Thompson. Ezt a RackSavertől rendelt 3000 új csomóponttal könnyen megtehetjük, de tönkretelhetné a fájlkiszolgálónkat.” Thompson azt tervezi, hogy az NFS-kiszolgáló összeomlását egy fűrtözött fájlkiszolgálóval fogja megakadályozni – egy Sestina GFS-sel vagy valami hasonlóval; a fájlkiszolgálás így nem korlátozódik kizárólag az ILM berendezéseire.

Napi digitális munkaanyagok (dailies)

Az ILM a világ minden tájára küldi napi munkaanyagait az ILM Conduiton (ILM-csatorna) keresztül, ami egy titkosított SSL-protokollt használó, szabadalmazott fájlküldő rendszer. A Blowfish segítségével mindent kétszeresen rejtjeleznek. Az ILM lejátszóit futtathatók Windowson, Macintoshon és létezik egy webalapú Java kisalkalmazás-változat is, ami mindenütt futtatható. „Az MJPEG-A QuickTime a fő mozgófilmtároló formátumunk – mondja Thompson –, de a Conduit bárminek az átvitelére alkalmas, így illesztési adatok (match-move data), digitális képek, napi munkaanyagok is továbbíthatók. A felhasználók a napi munkaanyagokat szabályos hálózati kapcsolataikon keresztül, linuxos gépeiken játszhatják vissza. Ez valóban lenyűgöző, ehhez korábban SGI berendezésre volt szükség.” A napi munkaanyagok számára az ILM 20 TB tárterülettel rendelkezik EMC Clarrion FC4700-as tömbökben, amelyek előterében négyprocesszoros Sun 420R kiszolgálók állnak 4 GB memóriával és gigabites hálózati csatlakozással.

Zöld jelzés a Linuxtól

„A Linux használata számunkra annyit jelent, hogy bármilyen feladat megoldásához hihetetlen mennyiségű számítási teljesítmény áll a rendelkezésünkre – jelenti ki Sutton. A Hulkban a haj és bőr megjelenítésére már nem is tudom, hány mintázatréteget használtunk. Félelmetesen összetett jelenetek megalkotására vagyunk képesek a Linux használatával.” A stúdiók tevékenysége a rendelkezésre álló pénz és idő függvénye – a gyorsabb és olcsóbb Linux több film elkészítését teszi lehetővé.

Köszönetnyilvánítás

Köszönet *Jimmy Perry*-nek (jimmy@racksaver.com), a RackSaver, Inc. marketingszervezőjének az elgondolásáért és az írás kidolgozásában nyújtott segítségével.

Linux Journal 2003. augusztus, 112. szám



Robin Rowe (robin.rowe@movieeditor.com)

A MovieEditor.com internetes és televíziós videoalkalmazásokat készítő cég egyik partnere. Írásai a Dr. Dobb's Journalban, a C++ Reportban, a C/C++ Users Journalban, a Data Based Advisorban jelentek meg, és számos tanácskozás anyagában megtalálhatók.