

Vizualizarea spațiului virtual geografic folosind algoritmi hibridi în contextul cluster-ului grafic

Cristinel Mihai Mocan

Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca

Str. G. Barițiu, Nr. 28, 400027, Cluj-Napoca, Romania
cristi.mocan@cs.utcluj.ro

REZUMAT

Modelarea și vizualizarea spațiului virtual geografic implică resurse cu putere mare de calcul și modele complexe. În acest articol am să descriu unele experimente realizate prin folosirea soluțiilor oferite de cluster-ul grafic Equalizer pentru a obține rapid procesarea distribuită și vizualizarea grafică la distanță. Performanța este evaluată folosind mai multe configurații ale cluster-ului grafic și mai multe modele de date spațiale. De asemenea este demonstrată eficiența și flexibilitatea algoritmilor hibridi în contextul cluster-ului grafic. Din punct de vedere al analizei teoretice și practice este realizată o comparație față de ce găsim în prezent în literatură.

Cuvinte cheie

Cluster grafic, trasare grafică paralelă, vizualizare la distanță, algoritmi hibridi.

Clasificare ACM

C.1.4 Parallel Architectures - Distributed architectures, H.5.2 User Interfaces – Benchmarking/Evaluation/ methodology I.1.2 Algorithms - Analysis of algorithms, I.3.1 Hardware Architecture - Graphics processors/Parallel processing, I.3.2 Graphics Systems - Distributed/network graphics/ Remote systems.

INTRODUCERE

Procesul de trasare grafică necesită putere mare de calcul pentru scenele complexe sau pentru imaginile de calitate superioară, presupunând miliarde de operații cu întregi și numere reale pentru fiecare imagine. Multe aplicații interactive sau în timp real (realitatea virtuală, simularea vehiculelor, vizualizarea datelor științifice) ridică pretenții și mai mari asupra puterii de procesare. Singura modalitate practică de obținere a capacității de calcul necesare este de a exploata unități de procesare multiple pentru a accelera trasarea grafică, concept care a devenit cunoscut ca trasare grafică paralelă. Modelarea și vizualizarea sistemelor de mediu implică costuri foarte mari (exemplu: ecosistemul). Modelul virtual de scenă implică împărțirea datelor și procesarea resurselor unei rețele mari de calculatoare. Datele pot fi menținute și furnizate cu ajutorul bazelor de date distribuite în locații geografice diferite. Mai mult de atât, modelul spațiului virtual geografic tinde să fie folosit în aplicații web și Grid fiind accesat de la distanță de utilizatori având la dispoziție mai puțină putere de calcul. Una dintre soluțiile promițătoare atât pentru procesarea și trasarea grafică cât și pentru împărțirea resurselor de calcul performante pare să fie cluster-ul grafic și Grid-ul. Experimentele evaluează impactul pe care-l au configurația cluster-ului, modelul de date, parametrul de vizua-

lizare, tehnicile de interacțiune și arhitectura aplicației asupra calității vizualizării și binențeles a procesării. Acest articol propune o soluție bazată pe cluster grafic care folosește diferite combinații de algoritmi în configurațiile de trasare grafică. Folosind algoritmi hibridi de trasare grafică, care permit vizualizarea rapidă a scenelor geografice mari, utilizatorul poate interacționa astfel mult mai repede având rezultate concrete în timp real. Acești algoritmi ne ajută să obținem rate de trasare grafică de ordinul a milioane de poligoane pe secundă. Pe de altă parte este definită o soluție pentru vizualizarea la distanță. Scopul acestei vizualizări la distanță este de a permite utilizatorului vizualizarea unor modele complexe pe o stație de lucru cu resurse grafice limitate și totodată de a interacționa rapid folosind interfața utilizator prin serviciul web. Toate aceste aspecte sunt posibile datorită sistemului de trasare grafică la distanță prin cluster grafic. De asemenea în acest articol este analizat atât din punct de vedere teoretic cât și din punct de vedere experimental un algoritm complex bazat pe sortarea-după care este mult îmbunătățit și mult mai flexibil, fiind foarte util în aplicațiile interactive folosite pentru vizualizarea la distanță - „trimitere directă” (*direct send*). Este realizată o comparație cu privire la performanțele acestui algoritm față de alt algoritm binar în timp ce acesta suportă orice număr de unități paralele de trasare grafică. În următoarele secțiuni, articolul prezintă câteva soluții pentru modelarea și vizualizarea spațiului virtual geografic din punct de vedere al interacțiunii om - calculator. Din punct de vedere al rezultatelor experimentale, sunt descrise scenariile experimentale și raporturile de evaluare.

ALTE REALIZĂRI ÎN DOMENIU

Au fost propuse mai multe scheme de paralelizare pentru realizarea soluției de compunere. Mai importante ar fi „trimiterea directă” (*direct send*) [1], „arborele binar” (*binary tree*), *binary swap* [2], „conducta paralelă” (*parallel pipeline*) [3], iar dintre acestea *binary swap* este algoritmul cel mai des folosit. Folosind un cluster grafic bazat pe Chromium pentru trasarea grafică a seturilor de date și vizualizare remote folosind streaming pe format MPEG, în [4] este prezentată o soluție pentru vizualizarea obiectelor 3D complexe pe dispozitive mobile cum ar fi PDA-uri, tablet PC-uri sau telefoane mobile. Framework-urile de trasare grafică paralelă cum ar fi Chromium și Equalizer [5], rezolvă defapt aceeași problemă, permițând aplicațiilor să folosească mai multe unități de procesare grafică. Binenteles că acestea au caracteristici și cazuri de utilizare diferite. O soluție web-browser pentru vizualizarea remote este descrisă în [6]. Bazându-se pe mediul virtual multi-utilizator existent, Manoharan a realizat în

[7] un prototip pentru un sistem de planificare urbană colaborativă printr-o analiză partajată de propuneri de planificare urbană, permițând vizualizarea și interacțiunea cu spațiul virtual.

PARALELISMUL ÎN PROCESUL DE TRASARE GRAFICĂ

În procesul de trasare grafică pot fi aplicate mai multe tipuri de paralelism, și anume: paralelismul funcțional, paralelismul de date, paralelismul temporal.

Unele tipuri de paralelism se aplică unor aplicații și metode de trasare grafică specifice, altele având o aplicabilitate mai largă. Aceste tipuri de bază pot fi de asemenea combinate în sisteme hibride ce exploatează mai multe forme de paralelism.

Abordări hibride

Bineînțeles că este posibilă încorporarea mai multor tipuri de paralelism într-un singur sistem. De exemplu, paralelismul funcțional și cel de date pot fi combinate prin replicarea unor părți sau a întregii conduite de trasare grafică. Un exemplu mai recent este Reality Engine de la Silicon Graphics, unde se folosesc unități multiple de transformare și rasterizare pentru a obține rate de trasare grafică de ordinul a milioane de poligoane pe secundă. Într-o manieră similară paralelismul temporal poate fi combinat cu alte strategii pentru a produce sisteme cu performanțe deosebite.

Probleme uzuale ale algoritmilor paraleli de trasare grafică

Indiferent de originea lor, majoritatea algoritmilor paraleli introduc întârzieri (*overheads*) care nu apar în corespondenții secvențiali. Aceste întârzieri pot rezulta din motive precum:

- comunicarea între procesoare,
- întârzieri datorate dezechilibrului încărcării procesoarelor,
- calcule adiționale sau redundante,
- necesități de stocare crescute pentru structurile de date auxiliare sau replicate.

Unele dintre aceste concepte (descompunerea sarcinilor și a datelor, granularitatea, scalabilitatea și echilibrarea încărcării) sunt specifice algoritmilor paraleli, în timp ce altele (coerența și maparea datelor din spațiul-obiect în spațiul-imagine) sunt specifice problemei randării.

Trasarea grafică paralelă – o problemă de sortare

Procesarea geometriei este de obicei paralelizată prin asignarea fiecărui procesor a unui subset din primitivele grafice (obiecte) din scenă. Rasterizarea este paralelizată prin asignarea fiecărui procesor a unei porțiuni din calculele pixelilor. Esența sarcinii de trasare grafică o reprezintă calcularea efectului fiecărei primitive asupra fiecărui pixel. Datorită naturii arbitrare a transformărilor de modelare și vizualizare, o primitivă se poate afla oriunde în spațiul ecran (sau în afara lui). Din acest motiv trasarea grafică poate fi privită ca o problemă de sortare a primitivelor pe ecran. Pentru sisteme complet paralele aceasta sortare implică o redistribuție a datelor între procesoare, deoarece responsabilitatea pentru fiecare primitivă și fiecare pixel este distribuită. Locul în care aceasta sortare are loc determină în mare măsură structura sistemului de trasare grafică paralelă rezultat. Sortarea

poate avea loc, în general, oriunde în procesul de trasare grafică:

- în timpul procesării geometriei (sortare-înainte),
- între procesarea geometriei și rasterizare (sortare-între)
- în timpul rasterizării (sortare-după) (Figura 1).

Fiecare dintre aceste variante conduce la o clasă separată de algoritmi paraleli de trasare grafică cu proprietăți distincte.



Figura 1 Vizualizarea la distanță a spațiului virtual geografic folosind algoritmul sortării-după

Avantajele și dezavantajele acestor tipuri de sortări

În ceea ce privește sortarea-înainte, concluzia este că există următoarele avantaje:

- necesități de comunicare scăzute atunci când gradul de divizare în poligoane este mare sau când poate fi exploatată coerența cadru-cu-cadru;
- procesoarele implementează întregul proces de trasare grafică pentru o porțiune de ecran.

Ca dezavantaje, amintim de expunerea mare la dezechilibrul încărcării procesoarelor: primitivele se pot concentra în anumite regiuni, cel mai mare efort de calcul revenind câtorva procesoare. Din punctul de vedere al sortării-între există următoarele avantaje: este o metodă generală și intuitivă, bine adaptabilă anumitor aplicații. Ca dezavantaje, se enumeră:

- costuri mari de comunicație dacă rata de divizare în poligoane este mare;
- expusă la dezechilibre ale încărcării între procesoarele rastru, atunci când primitivele sunt distribuite inechitabil pe ecran.

În ceea ce privește dezavantajele sortării-după trebuie menționat faptul că nivelul traficului în rețea poate fi extrem de ridicat. Pe de altă parte aici apar următoarele avantaje:

- procesoarele implementează întreg procesul de trasare grafică și lucrează independent până în faza de combinare a pixelilor;
- este mai puțin expusă dezechilibrelor încărcării procesoarelor;

STRATEGII DE TRASARE GRAFICĂ

Având la bază strategiile de trasare grafică fundamentale, se pot realiza strategii de trasare grafică mai complexe combinând sortarea-înainte cu sortarea-după. Un exemplu este atunci când sistemul folosește în primul rând algoritmul de sortare-înainte pentru definirea feliilor, iar apoi folosind sortarea-după randează seturile de obiecte pentru fiecare felie. O altă metodă este de a realiza un

prim subset de obiecte, iar apoi pentru fiecare din acest subset se aplică algoritmul de sortare-înainte. Aceste două metode corespund unui mediu de vizualizare compus dintr-un cluster pentru care numărul de noduri de trasare grafică poate crește foarte mult.

Din punct de vedere al vizualizării la distanță am definit un sistem compus din următoarele module:

- aplicație client – aici utilizatorul va folosi o aplicație desktop care va comunica cu sistemul de trasare grafică printr-un serviciu web instalat pe server. Aplicația va permite utilizatorului să încarce modelul 3D și să configureze parametrii de trasare grafică.
- un modul de trasare grafică – acesta este responsabil pentru trasare grafică bazată pe cluster a modelului solicitat
- un broker de serviciu web – acest modul este responsabil atât cu acceptarea cererilor de trasare grafică venite de la clienți, cât și cu partea de configurare a sub-sistemului de trasare grafică.
- un nod manager – folosit pentru administrarea cluster-ului grafic.

În ceea ce privește interfața cu utilizatorul, aceasta ne oferă posibilitatea de a iniția trei tipuri de sesiuni. Dacă alegem o sesiune publică, rezultatul trasării grafice va fi disponibil pentru toți utilizatorii, însă numai utilizatorul care a creat sesiunea are drepturi de control. Prin acest control înțelegem interacțiunea cu scena. Pe de altă parte dacă alegem o sesiune privată diferența constă în faptul că ceilalți utilizatori nu vor avea posibilitatea vizualizării rezultatelor.

MODELUL SPAȚIULUI VIRTUAL GEOGRAFIC

O scenă virtual-geografică compune din punct de vedere virtual un mediu real printr-un subset de modele grafice care simulează obiectele fizice. În cele ce urmează se va defini un model conceptual și o reprezentare bazată pe XML. Componentele care definesc un spațiu geografic sunt modelele grafice care reprezintă obiecte din lumea reală și dependențele dintre acestea. Modelul bazat pe graf din (Figura 2) descrie modelul conceptual. Nodurile grafului reprezintă obiectele și arcele reprezintă dependențele între noduri. De exemplu, nodul rădăcină poate reprezenta un teren sau pământul în spațiul virtual care este populat cu diferite obiecte. Următorul nivel ar putea reprezenta un grup de obiecte cum ar fi de exemplu o pădure care este compusă la rândul ei de un set de obiecte diferite cum ar fi copacii, florile etc. Atributele care trebuie specificate pentru fiecare nod reprezintă numele nodului, o descriere text, o zonă în care sunt create obiectele și binențele unele restricții. Pentru a stoca această descriere folosim formatul bazat pe XML care permite descrierea nodurilor și arcelor. Este foarte important de menționat faptul că nodurile conțin informații despre obiecte și arcurile descriu dependențele între obiecte. Am ales reprezentarea prin modelul grafic 3D pentru definirea obiectelor virtuale. Reprezentarea poligonală a obiectelor împreună cu texturile asociate ne oferă o soluție foarte bună și totodată economică pentru reprezentarea mediului din lumea reală. Principalul dezavantaj al acestei soluții se referă la rezoluția mare. Dacă modelul este foarte complex din punct de vedere ale vârfurilor și al poligoanelor, vizualizarea poate fi problematică pe o singură stație de lucru. Pe de altă parte, într-un sistem de vizualizare bazat pe cluster grafic, soluția oferă o foarte bună performanță din punct de vedere al preciziei vizuale.

O altă caracteristică importantă constă în faptul că dinamicitatea poate fi integrată de către graful de scenă. Se pot descrie parametrii de animație și de simulare. Procesoarele fizice suportă simularea fenomenului natural din realitate (ex. vânt, mișcarea norilor, curgerea apei etc.)

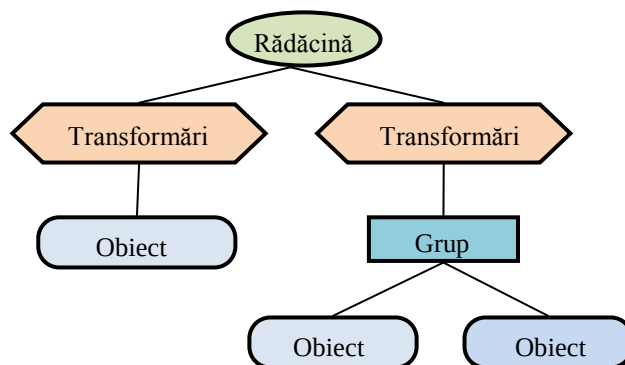


Figura 2 Modelul Spațiului Virtual Geografic - Structura unui graf

EXPERIMENTE ȘI REZULTATE

Vizualizarea cât mai rapidă a spațiului virtual geografic este în prezent o temă de cercetare foarte importantă din punct de vedere al interacțiunii om - calculator.

Pentru a obține o vizualizare eficientă și totodată bună din punct de vedere calitativ Equalizer-ul ne furnizează un echipament generic de unelte pentru paralelizare, trasare grafică multi-conductă scalabilă și este realizat pentru a putea fi folosit în mod transparent fie pe o singură stație de lucru, fie pe un sistem grafic multi-conductă cu memorie împărțită.

Performanța sistemului rezultat a fost testată pe un cluster grafic cu 10 noduri. S-au folosit diferite configurații de trasare grafică utilizând 2 modele având complexitate diferită și o rețea performantă cu transfer de 1 Gbit folosind 2 switch-uri Asus Gbit.

Un prim exemplu ar fi testarea folosind un model mai puțin complex, adică Modelul 1 având :

665847 vertices; 1331575 faces; 30MB

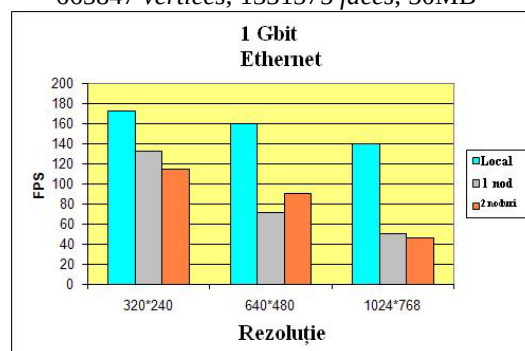


Figura 3 Model 1 într-o rețea de 1 Gbit

În cazul randării primului model (Figura 3) am obținut o performanță mai bună pe un singur nod, în comparație cu execuția distribuită pe clusterul grafic.

Motivul pentru care avem acest rezultat este complexitatea modelului. Acest model nu este destul de complex și astfel nu este nevoie de trasarea grafică distribuită.

Un alt exemplu este testarea folosind un model mult mai complex, adică Modelul 2 având :

4.999.996 vertices; 10.000.000 faces; 183MB

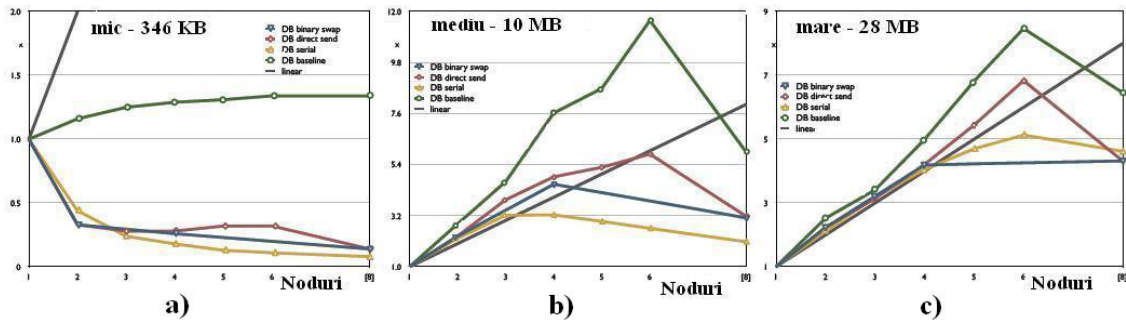


Figura 7 Viteza Paralelă pentru serial, binary swap și trimiterea directă în compunerea modelului a) mic, b) mediu și c) mare

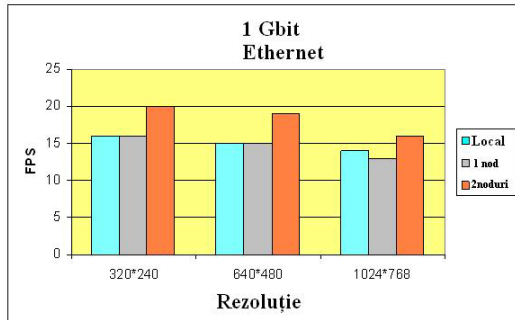


Figura 4 Model 2 într-o rețea de 1 Gbit

În cazul modelului 2, folosind rețeaua de 1 Gbit Ethernet putem observa în (Figura 4) performanțe considerabile. Evident că nu avem o diferență de performanță între o trasare grafică locală și una bazată pe cluster grafic în cazul în care folosim doar un singur nod. De asemenea se poate observa faptul că performanța la o rezoluție mare, cum este (1024*768), este mai mică dacă o comparăm cu o rezoluție medie (640*480). Cauza poate fi aici viteza de comunicare mai mare între nodurile cluster-ului grafic. Dacă luăm în considerare un cluster grafic format din 10 noduri și testăm același model 2 – complex, în contextul algoritmului sortare-înainte avem următoarele rezultate deosebite evidențiate în (Figura 5). După analizarea tuturor rezultatelor obținute se poate concluziona faptul că performanțele foarte bune pot fi obținute în cazul în care modelul testat este destul de complex și rezoluția de trasare grafică este medie.

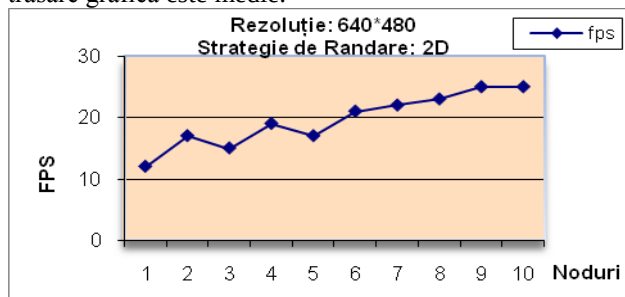


Figura 5 Model 2 într-o rețea de 1 Gbit

Algoritmul de „trimitere directă” (*direct send*) împarte imaginea finală în n felii pentru a permite schimbul de imagini întregi între cele n canale compuse. Fiecare felie este asociată unui canal, iar feliile compuse sunt asamblate pentru a forma imaginea finală (Figura 6).

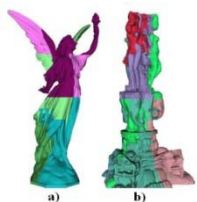


Figura 6 Imagine finală a modelului a) mare și b) mediu cu o configurație de sortare-după culori pentru fiecare nod în parte

În (Figura 7) este evidențiată o comparație între anumite modele din (Figura 6) având o complexitate diferită și folosind strategii de trasare grafică diferite.

CONCLUZII

Calculatoarele sunt din ce în ce mai integrate în aproape toate aspectele vieții noastre. Actualmente, asistăm la o trecere a interacțiunii om-calculator la ceea ce am putea numi „dincolo de desktop” și pătrunderea lor în aproape orice mediu. În prezent, factorii umani sunt considerați decisivi în proiectarea unui sistem ușor de înțeles și utilizat, atractiv și care să susțină sarcinile în cel mai eficient mod. Soluția bazată pe cluster grafic pentru vizualizarea modelelor grafice complexe, cum ar fi spațiul virtual geografic, este o soluție foarte bună pentru a crește performanțele de vizualizare, adică numărul de frame-uri pe secundă. Soluția este robustă din punct de vedere a interfeței utilizator. Sistemul de vizualizare la distanță este flexibil adaptat pentru orice tip de utilizator. Luând în considerare aceste aspecte se poate spune că sistemul propus are un înalt grad de utilizabilitate din punct de vedere al vizualizării. În viitor, următoarele etape sunt legate de experimente cu diferite configurații de trasare grafică, tehnici noi de interacțiune a utilizatorului, analiza distribuirii bazelor de date spațiale în contextul grid-ului și a cluster-ului grafic, colaborarea între clustere pe grid cu scopul de a construi aceeași scenă geografică virtuală.

REFERINȚE

1. Stompel A., Ma K.-L., et al., SLIC: Scheduled linear image compositing for parallel volume rendering. In Proceedings IEEE Symposium on Parallel and Large-Data Visualization and Graphics (2003), pp. 33–40.
2. Ma K.-L., Painter J. S., et al., Parallel Volume Rendering Using Binary-Swap Image Composition. IEEE Computer Graphics and Algorithms (July 1994).
3. Lee T.-Y., Raghavendra C. S., Nicholas J. N.: Image composition methods for sort-last polygon rendering on 2-d mesh architectures. In Proceedings of the IEEE Symposium on Parallel Rendering (1995), pp. 55–62.
4. Lamberti, F. Sanna, A., A Streaming-Based Solution for Remote Visualization of 3D Graphics on Mobile Devices, Visualization and Computer Graphics, IEEE Transactions, on March-April 2007
5. Equalizer graphics cluster, www.equalizergraphics.com
6. Vickery, R.J. Martin, J. Fowler, e Web-Based High Performance Remote Visualization J., DoD HPCMP Users Group Conference, 2007, June 2007
7. T. Manoharan, H. Taylor, P. Gardiner, A Collaborative Analysis Tool for Visualization and Interaction with Spatial Data, ACM Web3D'02, Tempe, Arizona, USA, 2002, pp. 75–83.