

MINISTERUL EDUCAȚIEI ȘI CERCETĂRII



UNIVERSITATEA TEHNICĂ
DIN CLUJ-NAPOCA

Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca
Facultatea de Automatică și Calculatoare, Catedra de Calculatoare

Medii de dezvoltare a aplicațiilor distribuite pe arhitecturi Grid

Conducător științific

Prof.Dr.Ing. Dorian Gorgan

Autor

Băcu Victor Ioan

-2013-

Rezumat

Contextul și motivația

Cerințele tot mai mari legate de putere de calcul și de stocare au condus în ultimii ani la o creștere semnificativă a cercetărilor în domeniul infrastructurilor de calcul distribuite, fie că ne referim la infrastructuri de tip Cluster, Cloud sau Grid. Aceste infrastructuri au ca și punct comun oferirea de resurse de calcul distribuite și de servicii specializate. Infrastructurile de tip Grid s-au dezvoltat în special în instituțiile academice și de cercetare, într-o manieră colaborativă, în vreme ce infrastructurile de tip Cloud s-au dezvoltat mai ales pe un model economic, în care utilizatorii plătesc pentru utilizarea resurselor sau a serviciilor. Accesul la resurselor de calcul și la bazele de date distribuite se bazează în cazul infrastructurilor Grid la apartenența utilizatorilor la una sau mai multe Organizații Virtuale (VO). O astfel de Organizație Virtuală constă dintr-o colecție sau grup de utilizatori care partajează aceleași resurse (prin termenul generic de resurse ne referim în principal la date, componente software și componente hardware). Deși o infrastructură Grid oferă o soluție pentru prelucrările masive și intense apar și o serie de probleme. Aceste probleme sunt legate de gestiunea platformelor eterogene (atât la nivel hardware cât și la nivel software), planificarea proceselor, monitorizare, fiabilitate, securitate, scalabilitate etc.

În diferite domenii de cercetare este nevoie de resurse de calcul distribuite datorită volumului mare de date care trebuie prelucrate sau a complexității prelucrărilor. Large Hadron Collider (LHC) este cel mai mare accelerator de particule existent la ora actuală. Experimentele derulate în cadrul acestui proiect generează un volum de date foarte mare care trebuie procesat într-un timp rezonabil. Un alt domeniu de cercetare care poate valorifica potențialul oferit de infrastructurile distribuite este acela al studiului mediului. Prelucrarea imaginilor satelitare poate oferi informații importante legate de mediu (cum ar fi crearea de hărți tematice, detecția schimbărilor climaterice produse într-o anumită zonă geografică etc.), dar și în acest caz apar probleme legate de volumul mare de imagini satelitare care trebuie prelucrate. Simularea unor modele hidrologice la scară mare necesită de asemenea resurse de calcul importante.

În acest context al infrastructurilor de calcul distribuite și al aplicațiilor pentru care este

nevoie de aceste resurse de calcul este încadrată tema acestei lucrări. Mediile de dezvoltare fac legătura între nivelul infrastructură (reprezentat în cadrul acestei lucrări de infrastructura Grid) și nivelul aplicație. Un astfel de mediu presupune un ansamblu de servicii care oferă o platformă de dezvoltare a aplicațiilor distribuite. O caracteristică importantă este aceea de flexibilitate în definirea aplicațiilor complexe. Funcționalitățile unui asemenea mediu de dezvoltare sunt legate și de gestiunea datelor pe Grid, monitorizarea execuțiilor, tratarea și prevenirea erorilor care pot apărea etc. Un astfel de mediu ascunde complexitatea sistemului Grid către diferiți utilizatori, oarecum în aceeași măsură în care un middleware Grid oferă un acces omogen și transparent la diferitele resurse oferite de către sistemul distribuit.

Direcția de cercetare abordată în lucrarea de față are ca și obiectiv analiza unor posibile soluții de descriere a unor aplicații distribuite (bazate pe prelucrări ale unor seturi mari de date sau care pot fi descompuse în sub-procese). Soluția aleasă se bazează pe definirea aplicațiilor sub forma unor fluxuri de procese. Prin flux de procese se înțelege o descriere a proceselor componente împreună cu legăturile dintre acestea. Această abordare facilitează definirea rapidă de prototipuri, extensibilitatea proceselor existente prin dezvoltarea unora noi, creșterea performanțelor prin execuția distribuită și în paralel a unora dintre procese etc. Printre avantajele aduse de această abordare se pot enumera:

- utilizarea resurselor (datelor) distribuite într-un mod transparent;
- reducerea timpului de prelucrare prin optimizarea execuției pe Grid;
- nivelul de abstractizare care se poate obține prin combinarea (statică sau dinamică) diferitor resurse distribuite.

Obiective

Analiza și definirea mediilor de dezvoltare a aplicațiilor distribuite pe infrastructuri Grid constituie tema principală abordată în lucrarea de față. În acest context am identificat o serie de obiective:

- definirea unui model formal de descriere a aplicațiilor distribuite folosind fluxuri de procese;
- definirea și validarea tehnicilor de optimizare a fluxurilor de procese cu scopul creșterii performanțelor de execuție;
- analiza, definirea și implementarea unui mediu de dezvoltare a aplicațiilor distribuite pe Grid bazat pe fluxuri de procese. Acest mediu înglobează un ansamblu de servicii care oferă o platformă de dezvoltare a aplicațiilor și de asemenea un mediu de gestionare a diferitelor funcționalități oferite de către Grid;

- identificarea și prezentarea sistematică a problemelor legate de planificarea și execuția fluxurilor de procese;
- analiza, definirea și implementarea unei arhitecturi software care suportă gestiunea și execuția unor modelelor hidrologice la scară mare;

Structura lucrării

Lucrarea este structurată în 7 capitole. **Capitolul 2** face o analiză a temelor abordate în cadrul acestei lucrări, printre care sistemele și aplicațiile distribuite. În acest sens prezentarea este axată pe descrierea generală a sistemelor distribuite și o motivare a alegerii făcute. Aplicațiile bazate pe procesări intense și pe un volum mare de date evidențiază avantajele aduse de o execuție distribuită. Studiile de caz pe care ne validăm conceptele definite în această lucrare se axează pe domeniul procesării imaginilor satelitare, tematică tratată de asemenea în cadrul acestui capitol.

Capitolul 3 este dedicat descrierii aplicațiilor distribuite sub forma unor fluxuri de procese. Prin flux de procese se înțelege o descriere a proceselor componente împreună cu legăturile dintre aceste procese și care conduce la rezolvarea problemei. Această abordare de definire a procesărilor distribuite permite încapsularea diferitelor funcționalități în elemente de bază, denumite procese și combinarea lor în vederea obținerii unei funcționalități complexe. De asemenea vom defini un model conceptual de definire a fluxurilor de procese și totodată un limbaj de descriere (denumit PDGL) a acestora. Limbajul propus în acest capitol permite definirea a două tipuri de fluxuri de procese, fluxuri abstracte și fluxuri instanțiate (concrete). Fluxurile abstracte sunt utilizate pentru definirea conceptuală a logicii procesărilor complexe, în vreme ce fluxurile instanțiate conțin informații necesare execuției lor. Metricile definite în cadrul acestui capitol vor fi folosite pentru evaluarea și validarea fluxurilor de procese și pentru definirea unor tehnici de optimizare a definirii și execuției fluxurilor de procese în vederea minimizării timpului de execuție și a resurselor de calcul utilizate.

În **Capitolul 4** prezentăm definirea și descrierea mediului de dezvoltare gProcess. Un mediu de dezvoltare a aplicațiilor distribuite pe Grid înglobează un ansamblu de servicii. Aceste servicii oferă o platformă de dezvoltare a aplicațiilor și de asemenea un mediu de gestionare a diferitelor funcționalități oferite de către Grid. Platforma gProcess permite definirea și execuția fluxurilor de procese complexe folosind resursele de calcul furnizate de infrastructurile Grid. Din punctul de vedere al utilizatorului final acest lucru duce la o flexibilitate sporită deoarece va putea reutiliza anumite fluxuri de procese pentru definirea unor noi fluxuri de procese prin integrarea acestora ca sub-grafuri în noua descriere. Prin definirea algoritmilor sub formă diagramatică se încearcă o optimizare a execuției acestora prin rularea în paralel a acelor proceduri (noduri / operatori din cadrul fluxului de procese) care sunt independente între ele. Un alt aspect tratat în acest capitol se referă la prevenirea și tratarea erorilor. În general erorile apar la două niveluri, la nivel de proces și la nivel de flux de procese. Tehnicile de eliminare a erorilor provenite

la nivel de proces încearcă să reducă sau să mascheze efectul unor erori de execuție a unora dintre procesele componente ale unui flux complex de procese. Evaluarea și validarea platformei gProcess este susținută prin prezentarea câtorva aplicații care utilizează această platformă.

Capitolul 5 tratează tematica planificării și execuției fluxurilor de procese. Un aspect important al oricărui sistem de gestiune și execuție a fluxurilor de procese pe Grid este acela de planificare. Având în vedere caracterul eterogen și dinamic al unei infrastructuri Grid este importantă strategia de planificare aleasă. În cadrul acestui capitol vom prezenta contribuția legată de planificarea și execuția fluxurilor de procese folosind resursele de calcul furnizate de infrastructurile Grid. Componenta de planificare a fluxurilor de procese și componentă de execuție a proceselor sunt unele dintre cele mai importante componente ale sistemului, influențând performanța sistemului (reprezentată în principal ca și timp de execuție). Erorile de la nivelul fluxului de procese poate avea un impact semnificativ la momentul execuției. Aceste erori pot conduce la generarea unei specificații incorecte sau chiar la eșecul execuției de la început. Validarea descrierii fluxului de procese trebuie efectuată atât la momentul creării cât și la momentul execuției. Deși la momentul creării fluxul de procese este valid este posibil ca execuția să eșueze. Asta deoarece un operator care era disponibil la momentul creării fluxului de procese devine indisponibil la momentul execuției, sau parametri de intrare sunt diferiți. Execuția fluxurilor de procese presupune execuția proceselor componente. Fluxurile de procese instanțiate conțin informații necesare execuției, de exemplu implementarea unei operații, datele de intrare necesare acelu proces etc. Procesul de execuție este specific infrastructurii Grid care este utilizată. Execuția trebuie să țină cont și de limitările impuse de platformele Grid. Experimentele au ca scop validarea funcționalității și eficienței platformei gProcess. Acestea au pornit de la aplicațiile dezvoltate pe baza platformei gProcess și anume GreenView și GreenLand.

În **capitolul 6** vom prezenta un studiu de caz care evidențiază avantajele aduse de infrastructurile de calcul distribuite, cum este infrastructura Grid de exemplu, pentru execuția unor procesări complexe. Studiul de caz abordează tema calibrării distribuite a unor modele hidrologice la scară mare folosind infrastructura Grid. Modelele hidrologice sunt utilizate pentru a evalua cantitatea și calitatea apei într-o anumită zonă geografică. Arhitectura software pe care o propunem în cadrul acestui capitol suportă execuția distribuită a simulărilor necesare calibrării modelelor hidrologice. Această arhitectură software conține module de gestiune a unor modele hidrologice, de planificare și execuție a proceselor pe Grid, de monitorizare și de alocare eficientă a resurselor. Modulul de gestiune a modelelor este specializat pe acest caz particular, dar ideile generale se pot aplica și în cazul altor aplicații. Modulul de monitorizare permite atât informarea utilizatorilor despre starea execuției cât și luarea de decizii necesare execuției. Aplicația care validează arhitectura software propusă se numește gSWAT și permite diferitelor categorii de utilizatori un acces transparent la resursele (de calcul și de stocare) a unei infrastructuri Grid. Evaluarea și validarea aplicației gSWAT este susținută de o serie de experimente și teste care sunt prezentate în cadrul acestui capitol. Aceste experimente încearcă să determine o modalitate optimă de planificare a execuției cu scopul micșorării timpului total

de execuție și totodată o folosire cât mai optimă a resurselor Grid. Vom prezenta în ce măsură numărul de resurse de calcul sau numărul de utilizatori ai sistemului influențează performanțele. Totodată vom determina dependența dintre complexitatea modelelor care trebuie executate și performanțele care pot fi obținute.

Capitolul 7 sintetizează concluziile, principalele realizări și direcții de dezvoltare ale acestei lucrări.

Lista lucrărilor

Articole jurnale

- D. Gorgan, **V. Bacu**, T. Stefanut, D. Rodila, and D. Mihon. Earth observation application development based on the grid oriented esip satellite image processing platform. *Computer Standards and Interfaces*, 34(6):541 – 548, 2012.
- D. Gorgan, **V. Bacu**, D. Mihon, T. Stefanut, D. Rodila, P. Cau, K. Abbaspour, G. Giuliani, N. Ray, and A. Lehmann. Software platform interoperability throughout envirogrids portal. *Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, IEEE Journal of, 5(6):1617–1627, dec. 2012.
- D. Gorgan, **V. Bacu**, D. Mihon, D. Rodila, K. Abbaspour, and E. Rouholahnejad. Grid based calibration of SWAT hydrological models. *Natural Hazards and Earth System Science*, 12(7):2411–2423, 2012.
- D. Rodila, **V. Bacu**, and D. Gorgan. Comparative parallel execution of SWAT hydrological model on multicore and grid architectures. *International Journal of Web and Grid Services* 8, 3, 304-320, 2012.
- D. Gorgan, **V. Bacu**, D. Rodila, F. Pop, D. Petcu, Experiments on ESIP - Environment Oriented Satellite Data Processing Platform, in *Earth Science Informatics Journal*, Springer, Vol.3/4, December 2010, ISSN: 1865-0473, pages 297-308, 2010.
- D. Mihon, **V. Bacu**, D. Gorgan, R. Meszaros, and G. Gelybo. Practical considerations on the greenview application development and execution over SEE-GRID. *Earth Science Informatics Journal*, Springer, 3(4):247–258, 2010.
- D. Gorgan, T. Stefanut, **V. Bacu**, D. Mihon, D. Rodila, Grid based Environment Application Development Methodology, in *Large-Scale Scientific Computing*, Springer Journal LNCS 5910, ISBN 978-3-642-12534-8, pages 499-506, 2010.
- D. Gorgan, T. Stefanut, and **V. Bacu**. Grid based Training Environment for Earth Observation, 2009. Publicat de Springer-Verlag in N. Abdennadher si D. Petcu (Eds.): GPC 2009, LNCS 5529, pages 98–109, 2009.

Articole conferință

- **V. Bacu**, and D. Gorgan, Grid application oriented computational resource allocation strategy, *High Performance Computing and Simulation (HPCS)*, 2012 International Conference on, pp.581-587, 2-6 July 2012.
- **V. Bacu**, D. Mihon, T. Stefanut, D. Rodila, D. Gorgan, P. Cau, and S. Manca. Grid based services and tools for hydrological model processing and visualization. In *Symbolic and Numeric Algorithms for Scientific Computing (SYNASC)*, 2011 13th International Symposium on, pages 291–298, sept. 2011.
- D. Gorgan, K. Abbaspour, P. Cau, **V. Bacu**, D. Mihon, G. Giuliani, N. Ray, and A. Lehmann. Grid based data processing tools and applications for black sea catchment basin. In *Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems (IDAACS)*, 2011 IEEE 6th International Conference on, volume 1, pages 223–228, sept. 2011.
- **V. Bacu**, D. Mihon, D. Rodila, T. Stefanut, D. Gorgan, Grid Based Architectural Components for SWAT Model Calibration. *HPCS 2011 - International Conference on High Performance Computing and Simulation*, 4-8 July, Istanbul, Turkey, ISBN 978-1-61284-381-0, pages 193-198, 2011.
- **V. Bacu**, D. Mihon, D. Rodila, T. Stefanut, and D. Gorgan. gSwat platform for Grid based hydrological model calibration and execution. In *Parallel and Distributed Computing (ISPDC)*, 2011 10th International Symposium on, pages 288 –291, july 2011.
- **V. Bacu**, D. Gorgan, Componente interactive in cadrul unui mediu de dezvoltare a aplicatiilor Grid. *RoCHI2010 - Conferinta Nationala de Interactiune Om-Calculator*, 3-5 Sept. Bucuresti, ISSN 1843-4460, pages 109-114, 2010.
- D. Mihon, **V. Bacu**, T. Stefanut, D. Gorgan, Tehnici de interacțiune utilizator în aplicațiile de prelucrare a imaginilor satelitare – exemplificare pe baza aplicațiilor GreenView și GreenLand. *RoCHI2010 - Conferinta Nationala de Interactiune Om-Calculator*, 3-5 Sept. Bucuresti, ISSN 1843-4460, pages 37-44, 2010.
- **V. Bacu**, D. Rodila, D. Mihon, T. Stefanut, and D. Gorgan. Error prevention and recovery mechanisms in the ESIP platform. In *Intelligent Computer Communication and Processing (ICCP)*, 2010 IEEE International Conference on, pages 411–417, aug. 2010.
- D. Gorgan, T. Stefanut, M. Mărginean, **V. Bacu**, Dezvoltarea si utilizarea materialelor educationale in mediul eGLE. *Revista Română de Interacțiune Om - Calculator*, Volumul 3 (2), Decembrie 2010, ISSN 1843-4460, pages 139 - 156, 2010.
- D. Rodila, **V. Bacu**, D. Gorgan, Semantic Annotation based Service Composition for Grid Workflow Description and Execution. *SYNASC Symposium*, 26-29, September 2009, Timisoara, IEEE Computer Press, ISBN: 978-0-7695-3964-5, pages 245-253, 2009.

- D. Mihon, **V. Bacu**, T. Stefanut, and D. Gorgan. Grid Based Environment Application Development - GreenView Application. ICCP2009 - IEEE 5th International Conference on Intelligent Computer Communication and Processing. 27-29 Aug, 2009 Cluj-Napoca. ISBN: 978-1-4244-5007-7, pages 275-282. 2009.
- D. Rodila, **V. Bacu**, D. Gorgan, Integration of Satellite Image Operators as Workflows in the gProcess Application. *Proceedings of ICCP2009 - IEEE 5th International Conference on Intelligent Computer Communication and Processing*, 27-29 Aug, 2009 Cluj-Napoca. ISBN: 978-1-4244-5007-7, pages 355-358, 2009.
- D. Gorgan, **V. Bacu**, T. Stefanut, and D. Rodila. Grid based Satellite Image Processing Platform for Earth Observation Applications Development. *IDAACS'2009 - IEEE Fifth International Workshop on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications*. 21-23 September 2009, Rende, Cosenza, Italy, 2009, pp. 247-252, ISBN: 978-1-4244-4901-9, 2009.
- T. Stefanut, **V. Bacu**, and D. Gorgan. eLearning Lesson Development and Execution Based on gProcess Workflow Description Platform and eGLE E-learning Platform, 2009. *HiPerGRID - 3rd International Workshop on High Performance Grid Middleware*, 28 May, Bucharest. Proceedings of CSCS-17 Conference, Vol.2., ISSN 2066-4451, pages 431-436. 2009.
- **V. Bacu**, T. Stefanut, D. Rodila, and D. Gorgan. Process Description Graph Composition by gProcess Platform. *HiPerGRID - 3rd International Workshop on High Performance Grid Middleware*, 2009. 28 May, Bucharest. Proceedings of CSCS-17 Conference, Vol.2. ISSN 2066-4451, pages 423-430. 2009.
- **V. Bacu** and D. Gorgan. Graph based evaluation of satellite imagery processing over grid. *ISPDC 2008 - 7th International Symposium on Parallel and Distributed Computing*, July 1-5, 2008, Krakow, Poland. IEEE Computer Society 2008, ISBN: 978-0-7695-3472-5, pages 147-154, 2008.
- A. Radu, **V. Bacu**, and D. Gorgan. Diagrammatic description of satellite image processing workflow. *Workshop on Grid Computing Applications Development (GridCAD). Proceedings of the SYNASC 2007*, September 2007, Timisoara, IEEE Computer Press, ISBN 0-7695-3078-8, 2007, pp. 341-348, 2007.
- **V. Bacu**, D. Gorgan, Resource Measurements for Water Detection Algorithm in Medio-Grid Architecture. *ISPDC 2007 - 6th International Symposium on Parallel and Distributed Computing*, July 5-8, 2007, Hagenberg, Austria. IEEE Computer Press 2007, pages 107-114. 2007.

- **V. Bacu**, O. Muresan, and D. Gorgan. Modis image based computation of vegetation indices in mediogrid architecture. In *Symbolic and Numeric Algorithms for Scientific Computing*, 2006. SYNASC '06, pages 267–273, sept. 2006.

Capitole de carte

- D. Mihon, **V. Bacu**, D. Rodila, T. Stefanut, K. Abbaspour, E. Rouholahnejad, and D. Gorgan. Grid based hydrologic model calibration and execution. In Loan Dumitrache, editor, *Advances in Intelligent Control Systems and Computer Science*, volume 187 of *Advances in Intelligent Systems and Computing*, pages 279–293. Springer Berlin Heidelberg, 2013.
- D. Petcu, D. Zaharie, M. Neagul, S. Panica, M. Frincu, D. Gorgan, T. Stefanut, **V. Bacu**, Remote Sensed Image Processing on Grids for Training in Earth Observation. Chapter in the book *Image Processing*, Yung-Sheng Chen (Ed.), Published by INTECH, ISBN 978-953-307-026-1, pages 115-140, 2009.