

O ANALIZĂ A TEHNOLOGIEI GRID COMPUTING IMPLEMENTATE ÎN CADRUL SITE-ULUI GRID RO-01-ICI

Alexandru Stanciu

alex@ici.ro

Institutul Național de Cercetare-Dezvoltare în Informatică, ICI – București

Rezumat: Tehnologia Grid computing a oferit noi oportunități privind accesarea resurselor computaționale la cerere. Resursele de calcul disponibile în cadrul unor site-uri Grid (furnizori de resurse) se află sub controlul unor entități independente din punct de vedere administrativ și operațional. Aceste site-uri sunt apoi interconectate în cadrul unor infrastructuri distribuite de mari dimensiuni. Prin utilizarea unui middleware Grid specific precum gLite, se oferă posibilitatea accesării resurselor computaționale într-un mod sigur și eficient, acestea fiind disponibile în mod partajat membrilor Organizațiilor Virtuale care sunt susținute de către site-urile Grid. În articol se analizează câteva dintre principalele direcții de cercetare în domeniul Grid computing și se exemplifică implementarea acestei tehnologii în cadrul site-ului Grid RO-01-ICI.

Cuvinte cheie: calcul Grid, servicii Grid, gLite, infrastructuri distribuite de mari dimensiuni.

Abstract: Grid computing technology has provided new opportunities for accessing computational resources on demand. The computing resources which are available within Grid sites (resource providers) are under the control of entities which are administrative and operational independent. These sites are interconnected in large-scale distributed infrastructures. By using a specific Grid middleware such as gLite, it is possible to access computational resources in a safe and efficient way. These resources are shared by members of Virtual Organizations which are supported by the Grid sites. The article examines some of the main directions of research in the Grid computing domain, and exemplifies the implementation of this technology within RO-01-ICI Grid site.

Key words: Grid computing, Grid services, gLite, large scale distributed infrastructures.

1. Introducere

În articol se prezintă câteva dintre direcțiile de cercetare actuale în domeniul tehnologiei Grid computing și se exemplifică implementarea acesteia în cadrul site-ului RO-01-ICI. Lucrarea se bazează pe teza de doctorat intitulată “Cercetări privind utilizarea tehnologiilor Grid și Cloud Computing în cadrul noilor generații de infrastructuri ICT”, ce a fost elaborată de către autor.

Infrastructura de calcul și de comunicații utilizată în cadrul proiectelor de cercetare, dar nu numai, a cunoscut o transformare radicală datorită apariției a noi tehnologii de calcul distribuit.

Spre exemplu, domeniul High Throughput Computing (HTC) a evoluat de la modelul de procesare ce utilizează un singur sistem de lucru în modul batch, aflat în cadrul unui cluster, la federalizarea centrelor de date, constituind o infrastructură de tip Grid ce oferă acces transparent la resursele de calcul. Au fost create astfel Organizații Virtuale (VO-uri), în care proprietarii resurselor partajează accesul și utilizarea acestora în baza apartenenței unui utilizator la o VO, reprezentând un pas important către o nouă paradigmă în domeniul calculului distribuit și a infrastructurii specifice tehnologiei informației și a comunicațiilor – TIC.

Tehnologia Grid se poate defini astfel ca o evoluție a modului de accesare și utilizare a resurselor de calcul, acestea fiind partajate și disponibile la cerere utilizatorilor ce sunt autorizați în baza asocierii lor la o VO. Fiind realizată prin interconectarea mai multor centre de calcul (site-uri), tehnologia Grid computing reprezintă o componentă esențială pentru infrastructurile de calcul distribuit evolute.

Astfel, în domeniul tehnologiilor Grid, middleware-ul gLite este larg utilizat în cadrul unor proiecte de cercetare, cum ar fi: EGEE, SEEGRID, EUMEDGRID, BALTICGRID, EUCHINAGRID, SEEGRIDSCI, EGI-inSPIRE ș.a. Spre exemplu, în cadrul proiectului EGEE au fost înregistrate peste 260 de site-uri Grid din 55 de țări, însumând un număr de peste 80.000 CPU-uri.

În cadrul acestei infrastructuri există un număr foarte mare de Organizații Virtuale dedicate unei varietăți de domenii, precum: fizică nucleară, chimie, bio-informatică, modelare și simulare etc.

În România, Organizația Virtuală GridMOSI (gridmosi.ici.ro), realizată în cadrul proiectului CEEEX GridMOSI, a fost prima inițiativă din domeniu, fiind suportată integral cu ajutorul resurselor oferite de site-uri Grid din România.

GridMOSI VO a fost creată utilizând middleware-ul Grid gLite, fiind posibilă astfel, integrarea acestuia în cadrul infrastructurii Grid internaționale operată de către proiectul EGEE. Această Organizație Virtuală a fost suportată în decursul timpului de către site-urile Grid instalate în cadrul ICI București (RO-01-ICI), Universitatea Politehnică București (RO-03-UPB), Universitatea de Vest Timișoara (RO-08-UVT), Universitatea Tehnică Cluj-Napoca (RO-09-UTCN) [1].

În continuare se prezintă câteva dintre principalele probleme care sunt abordate în cercetările actuale în domeniul Grid computing, inclusiv modul în care acesta relaționează cu alte tehnologii. Se descriu pe scurt starea la zi, punându-se în evidență provocările și problemele domeniilor respective, și activitățile de cercetare și dezvoltare tehnologică aferente. Ca exemplu de implementare a tehnologiei Grid se prezintă experiența site-ului RO-01-ICI.

2. Evoluție și perspective pentru tehnologia Grid computing

Pentru a analiza principalele direcții de cercetare în domeniul tehnologiei Grid computing s-a plecat de la studiul activităților curente atât din cadrul proiectelor de dezvoltare middleware Grid, cât și de implementare infrastructurii Grid. S-a investigat o tehnologie care prezintă atât caracteristici comune cât și complementare, respectiv sistemele multi-agent. Totodată s-au identificat principalele evoluții actuale care sunt legate de virtualizarea resurselor de calcul și implicațiile acestora în transformarea tehnologiei Grid computing. În continuare s-au studiat interoperabilitatea și federalizarea infrastructurilor de calcul, mediile de execuție pentru aplicații, toleranța la defecte și monitorizarea și managementul infrastructurii de calcul. Componentele acestei analize sunt prezentate pe larg în cele ce urmează.

Conexiune cu sistemele multi-agent

Analizând tehnologia Grid Computing și sistemele agent, se poate afirma că acestea dezvoltă concepte și mecanisme pentru sisteme distribuite din perspective diferite. Tehnologia Grid s-a concentrat pe infrastructură, instrumente, aplicații pentru utilizarea resurselor într-un cadru partajat și într-un mod sigur în cadrul Organizațiilor Virtuale [2].

În contrast, sistemele multi-agent s-au concentrat pe inteligență: rezolvarea problemelor în mod autonom și funcționare flexibilă în medii dinamice cu elemente incerte [2, 3].

Există o convergență a intereselor celor două comunități: sistemele agent necesită o infrastructură robustă, iar sistemele Grid necesită un comportament flexibil și autonom.

Virtualizarea resurselor de calcul

Pentru a beneficia de avantajele virtualizării este necesar să se definească un model pentru crearea mașinilor virtuale în cadrul unei infrastructurii Grid ce permite definirea de resurse virtuale [5]. Astfel, o modalitate de a instanția mașini virtuale în cadrul unei infrastructurii Grid este bazată pe instrumentele Globus Toolkit și GridWay [6]. Un alt exemplu de utilizare propune un model pentru crearea de servicii Grid în cadrul unor containere virtuale izolate [7].

Un sistem care se integrează complet în cadrul unui sistem local de management al resurselor poate fi o soluție pentru virtualizarea resurselor computaționale și oferirea lor prin intermediul unor interfețe disponibile în mediul Grid sau Cloud [8].

Pentru eficientizarea utilizării instanțelor virtuale este necesară însă existența unui sistem de fișiere distribuit, care să permită accesul eficient la resursele virtuale. Spre exemplu, datorită performanțelor deosebite în cadrul WAN, Global File System este un candidat serios pentru a suporta atât tehnologia Grid cât și virtualizarea resurselor. Global File System poate fi dat ca exemplu pentru evoluția sa de la stadiul de concept, la cel de prototip și în final la cel de implementare pentru producție [9]. De asemenea se poate utiliza Lustre ca sistem de fișiere ce are potențialul să ofere utilizatorilor performanțe deosebite [10].

Disponibilitatea unui sistem I/O scalabil și de mare performanță [11] este o cerință majoră și pentru aplicațiile specifice domeniului High Performance Computing (HPC) și pentru aceasta se studiază viabilitatea tehnologiei Xen ca o soluție de virtualizare pentru domeniul HPC din punct de vedere al I/O.

Definire și utilizare clustere virtuale

Utilizând virtualizarea ca abstractizare a resurselor de calcul, clusterelor virtuale se pot descrie ca fiind un grup de mașini virtuale (VM-uri) proiectate să execute în comun o anumită funcție [12].

Conceptul de Cluster dedicat unei Organizații Virtuale (VOC) reprezintă un nou model de execuție a aplicațiilor unui utilizator în cadrul unei infrastructuri de calcul distribuit de tip Grid. VOC oferă un mediu de execuție omogen și adaptat cerințelor unui utilizator, fără a necesita construirea unui cluster fizic sau crearea de containere virtuale pentru fiecare aplicație [13].

Administrarea și utilizarea unui VOC este permisă doar Organizațiilor Virtuale care sunt interesate, acest sistem fiind complet transparent utilizatorilor sau altor Organizații Virtuale care nu îl accesează. Sistemele VOC se auto-instalează și se auto-administrează pe baza unor politici de utilizare care sunt configurabile. Acestea reprezintă un nou mecanism pentru suprapunerea unui cluster dedicat peste infrastructura Grid; astfel clusterelor virtuale pentru Organizații Virtuale (VOC) sunt sisteme compuse din mașini virtuale ce furnizează cluster de calcul dedicate pentru o Organizație Virtuală [14]. Mașinile virtuale individuale sunt independente de resursele fizice astfel încât clusterelor virtuale se pot extinde chiar pe mai multe site-uri Grid.

O problemă importantă pentru utilizarea VOC drept abstracție pentru Grid este legată de nevoia de a planifica și instanția mașinile virtuale în cadrul resurselor fizice. Spre exemplu, un mod de implementare al unui planificator pentru cluster virtuale este bazat pe sistemul Condor.

Cozile de execuție pentru job-uri sunt monitorizate iar mașinile virtuale care sunt dedicate executării de aplicații în cadrul unei Organizații Virtuale sunt create și pornite astfel încât job-urile care aparțin unei VO sunt executate pe aceste mașini virtuale. Astfel se creează un cluster de execuție de aplicații dedicat unei Organizații Virtuale.

După finalizarea aplicațiilor, mașinile virtuale sunt oprite și distruse astfel încât resursele fizice sunt disponibile din nou pentru a executa alte mașini virtuale. Acest sistem este eficient pentru aproape toate tipurile de aplicații, mai puțin cele cu un timp scurt de execuție. De asemenea, un nou mecanism pentru managementul resurselor în cadrul unui cluster în mod dinamic se bazează pe conceptul denumit Cluster-on-Demand (COD) [15]. COD poate să aloce noi servere în cluster virtuale ce au configurate medii de execuție pentru aplicații independente. Pentru aceasta se folosește Sun Grid Engine ca sistem de management al resurselor locale.

Clusterelor virtuale sunt o abstractizare ce permite gestionarea resurselor într-un mod avansat, aceasta fiind utilă pentru infrastructuri Grid. Acestea suportă alocarea resurselor în mod dinamic și conform cu o politică de alocare, rezervarea resurselor și crearea lor în funcție de necesități.

Interoperabilitatea și federalizarea infrastructurilor de calcul

Un alt domeniu de cercetare pentru tehnologia Grid este cel referitor la federalizarea infrastructurilor Grid. Obiectivul este de a se construi infrastructuri Grid complexe, capabile să susțină cererile oricărui tip de serviciu sau aplicație [16], și sunt studiate metode și tehnici pentru realizarea interoperabilității infrastructurilor Grid [17].

Spre exemplu, pentru a se asigura interoperabilitatea între middleware-ul Grid UNICORE și componenta CREAM-BES din cadrul middleware-ului gLite, se utilizează standarde precum OGSA-BES și JSDL [18].

Sistemul UNICORE – Uniform Interface to Computing Resources a fost dezvoltat cu scopul de a oferi utilizatorilor centrelor de calcul de mare performanță din Germania o interfață simplă, intuitivă și sigură de acces la resursele eterogene de calcul existente în aceste centre [19].

În același timp sunt investigate și mecanisme ce ar putea fi folosite pentru a asigura un nivel de calitate pentru servicii (QoS). Aceste mecanisme implică extinderea elastică a infrastructurii Grid utilizând resurse oferite de furnizori de infrastructură Cloud, care pot fi comerciali (Amazon EC2) sau din mediul academic și de cercetare (Globus Nimbus).

Medii de execuție pentru aplicații

Aplicațiile executate în cadrul unei infrastructuri Grid pot fi simple job-uri sau fluxuri complexe de sarcini care au dependențe [20]. Pentru a putea satisface aceste cerințe este necesar să se analizeze middleware-ul Grid și serviciile disponibile în cadrul infrastructurii Grid, precum și să se analizeze modul prin care aplicațiile pot interacționa cu acesta [21].

De asemenea, este necesar să existe un sistem care corectează dinamic execuția paralelă a unor aplicații în mediul Grid în concordanță cu modificările de încărcare ale resurselor utilizate [22].

Toleranța la defecte

Toleranța la erori reprezintă o problemă semnificativă în cadrul unei infrastructuri Grid. Numeroase tehnici au fost investigate pentru a detecta și corecta erorile în cadrul unor medii distribuite, iar unele dintre cele mai eficiente metode se bazează pe detectarea nesigură a erorilor. Globus Toolkit, ca sistem care administrează resursele de calcul, folosește pentru detectarea și raportarea defectelor de funcționare a componentelor metode bazate pe această tehnică [23].

O platformă Grid tolerantă la defecte ce se bazează atât pe detectori nesiguri de defecte cât și pe serviciul de detectare a defectelor din componența Globus Toolkit, poate oferi strategii efective de răspuns pentru probleme care pot apărea în executarea aplicațiilor utilizatorilor sau chiar a componentelor de middleware. Componentele individuale pot avea defecte care le împiedică funcționarea corectă, însă problemele unei componente în cadrul unui sistem distribuit nu trebuie să afecteze funcționarea acestuia.

Astfel, o strategie pentru obținerea toleranței la defecte constă în crearea de sisteme redundante ce pot fi migrate, iar design-ul și implementarea unor mecanisme pentru aceasta și pentru restabilirea fluxurilor complexe de aplicații în mediul Grid reprezintă o temă importantă de cercetare [24].

Problema realizării de servicii Grid fiabile prin replicarea acestora pe două sau mai multe sisteme în configurația primar-backup este extrem de importantă [25]. Pentru aceasta se poate utiliza un protocol pentru obținerea configurației primar-backup utilizând Open Grid Services Infrastructures (OGSI), care a fost implementat utilizând toolkit-ul Globus.

Monitorizarea și managementul infrastructurii de calcul

Una din principalele probleme cu care se confruntă sistemele distribuite de mare performanță o reprezintă monitorizarea scalabilă a stării sistemelor [26]. Software-ul pentru monitorizare trebuie să fie capabil să identifice foarte repede erorile astfel încât acestea să poată fi reparate automat.

Un sistem de monitorizare oferă o imagine globală a stării infrastructurii ce poate fi de folos pentru identificarea problemelor de performanță și poate ajuta la planificarea capacității de calcul. Spre exemplu, MonALISA (Monitoring Agents in A Large Integrated Services Architecture) oferă un serviciu de monitorizare distribuită. MonALISA se bazează pe o arhitectură bazată pe servicii, fiind distribuită, scalabilă și dinamică [27].

Prin definirea unor protocoale standard pentru descoperirea, accesarea, monitorizarea și gestionarea resurselor de calcul, a sistemelor de stocare sau a rețelelor, tehnologiile Grid fac posibilă alocarea dinamică a resurselor pentru aplicațiile care solicită aceasta.

Cu toate acestea, deși tehnologiile Grid oferă posibilitatea utilizatorilor de a accesa resurse diverse, acestea nu pot garanta faptul că o dată ce o resursă a fost accesată se poate oferi o calitate a serviciilor (QoS) la nivelul așteptat.

Acesta se datorează și faptului că majoritatea platformelor Grid nu oferă facilitatea de garantare a performanțelor: activitățile asociate cu un utilizator sau o Organizație Virtuală pot influența performanțele unor procese executate de un alt utilizator într-un mod necontrolat [28].

De asemenea, middleware-ul Grid are limitările sale, respectiv arhitectura sa nu oferă suport pentru crearea de sisteme distribuite care se auto-administrează, fiind deci potrivită pentru sistemele tradiționale de management ce sunt de tip ierarhic și care oferă capacități rudimentare de auto-management prin intermediul buclilor de control [29].

3. Implementarea tehnologiei Grid în cadrul site-ului RO-01-ICI

Site-ul Grid RO-01-ICI a fost constituit la sfârșitul anului 2003, și începând cu anul 2004, a fost inclus în cadrul proiectelor europene “EGEE - Enabling Grid for E-science” și “SEE-GRID - South Eastern European GRid-enabled eInfrastructure Development” care administrează infrastructuri Grid la nivel european, respectiv al regiunii Europei de Sud-Est [30].

În luna mai 2004, site-ul RO-01-ICI a fost certificat în infrastructura regională, iar în luna noiembrie 2004 a fost primul site din România înregistrat în infrastructura EGEE, intrând în regim de producție - funcționare 24 de ore pe zi, 7 zile pe săptămână, reacție rapidă la incidente în funcționare, asigurarea continuă a compatibilității cu platforma software (sistem de operare și middleware) promovată de acest proiect [31, 32].

Configurația hardware a site-ului Grid RO-01-ICI în anul 2004 includea 9 servere, iar cluster-ul de calcul poate atinge o performanță maximă de aproximativ 9 GFLOPS, conform cu benchmark-ul HPL care se aplică supercalculatoarelor din Top500. Sistemele de operare utilizate sunt Scientific Linux 4 și 5, iar versiunea de middleware utilizată este gLite 3.2, având următoarele componente: Computing Element – interfața dintre clusterul de calcul și celelalte servicii Grid; Storage Element – elementul de stocare date; User interface – utilizată pentru logarea utilizatorilor, trimiterea spre execuție a aplicațiilor, replicarea fișierelor și alte comenzi specifice middleware-ului Grid; Monitoring Node - server de monitorizare ce folosește arhitectura R-GMA, fiind totodată și nod colector pentru clientul APEL ce contabilizează utilizarea resurselor; Berkeley Database Information Index – BDII (acesta are rolul de a menține informațiile referitoare la disponibilitatea resurselor Grid).

Site-ul RO-01-ICI utilizează pentru administrarea resurselor locale de calcul aplicația Torque și

planificatorul Maui. De asemenea, conform cu cerințele de operare ale infrastructurii Grid, acesta găzduiește și servicii esențiale pentru suportul utilizatorilor, cum ar fi de exemplu serviciul help-desk pentru infrastructura regională EGEE-SEE și SEE-GRID [33].

Având în vedere experiența acumulată cu operarea acestui site și de asemenea, ținând cont și de cerințele privitoare la nivelul de performanță al site-urilor Grid în cadrul infrastructurii Grid europene, s-a ajuns la concluzia că ar trebui realizat o actualizare din punct de vedere al capacității de calcul și a condițiilor de funcționare ale site-ului Grid.

Astfel, în anul 2011 site-ul Grid RO-01-ICI a fost actualizat din punct de vedere al resurselor și serviciilor Grid oferite utilizatorilor, și au fost îmbunătățite condițiile de exploatare și administrare la nivelul de competitivitate și performanță corespunzător site-urilor medii-mari la nivel european [34].

Configurația hardware a site-ului este alcătuită astfel încât să poată răspunde cerințelor de capacitate necesare în cadrul infrastructurii Grid Computing, cât și pentru a satisface nevoia de performanță specifică domeniului High Performance Computing. Tehnologia Grid Computing este potrivită mai ales pentru tipul de aplicații care au o durată de execuție foarte mare, și unde se urmărește utilizarea cât mai eficientă a resurselor, spre deosebire de domeniul HPC unde se dorește maximizarea performanțelor și să se obțină cât mai rapid rezultatele.

Nodurile de calcul sunt echipate cu sisteme multi-procesor și multi-core, având 2 GB memorie per core. Rețeaua de calcul utilizează tehnologia InfiniBand QDR, aceasta având o capacitate de 40Gbps. Capacitatea teoretică a clusterului de calcul este de 7 TFLOPS, astfel încât dacă eficiența acestuia este de 15%, se poate ajunge la o performanță de calcul de peste 1 TFLOPS.

Resursele de stocare sunt distribuite în cadrul unui disk-array ce are atașate două unități suplimentare pentru discuri. Întreaga capacitate de stocare este disponibilă și poate fi accesată de nodurile de calcul cu ajutorul tehnologiei Fiber Channel. Pentru a administra dispozitivele de stocare se utilizează două servere configurate în modul de lucru Direct Attached Storage. Aceste servere realizează o configurație redundantă și sunt interconectate cu nodurile de calcul folosind rețeaua InfiniBand.

Nodurile de calcul utilizează un sistem de fișiere distribuit și oferă un spațiu de stocare partajat pentru aplicații, respectiv se utilizează sistemul de fișiere Lustre.

Instalarea și configurarea site-ului Grid s-a făcut utilizând aplicații care automatizează aceste procese, respectiv Cobbler și Puppet. Cobbler este o aplicație care automatizează instalarea sistemelor de calcul, având o arhitectură orientată obiect și care poate fi integrat cu aplicația Puppet pentru a continua procesul de configurare al sistemelor.

4. Concluzii

În acest articol am analizat tehnologia Grid computing și middleware-ul Grid gLite ce este utilizat în cadrul site-ului RO-01-ICI.

Au fost prezentate și analizate conexiuni ale tehnologiei Grid cu alte domenii precum sistemele multi-agent, virtualizarea resurselor de calcul, interoperabilitatea și federalizarea infrastructurilor de calcul. Au fost prezentate medii de execuție pentru aplicații și s-a analizat toleranța la defecte în cadrul infrastructurii Grid, precum și principale probleme legate de monitorizarea și managementul infrastructurii de calcul.

Recunoaștere

Parte din această lucrare a fost finanțată prin proiectul PN 09-23 04 02 din cadrul Programului Nucleu TEHSIN.

BIBLIOGRAFIE

1. **GURAN, M.:** ICI Institutul Național de Cercetare-Dezvoltare în Informatică 40 de ani în folosul informaticii românești. 2012.
2. **FOSTER, I.; JENNINGS, N. R.; KESSELMAN, C.:** Brain Meets Brawn: Why Grid and Agents Need Each Other. In Proceedings of the Third International Joint Conference on Autonomous Agents and Multiagent Systems – Vol. 1, Washington, DC, USA, 2004, pp. 8–15.
3. **GURAN, M.:** Sisteme informatice. Infrastructura informațională și de comunicații în întreprinderea modernă. 2008.
4. **TALIA, D.; TRUNFIO, P.:** Toward a Synergy Between P2P and Grids. IEEE Internet Computing, vol. 7, no. 4, pp. 96–95, Jul. 2003.
5. **SOTOMAYOR, B.; KEAHEY, K.; FOSTER, I.:** Overhead Matters: A Model for Virtual Resource Management. In Proceedings of the 2nd International Workshop on Virtualization Technology in Distributed Computing, Washington, DC, USA, 2006, p. 5–.
6. **RUBIO-MONTERO, A. J. et al.:** Management of Virtual Machines on Globus Grids Using GridWay. Parallel and Distributed Processing Symposium, International, p. 358, 2007.
7. **RAMAKRISHNAN, L. et al.:** Toward a doctrine of containment: grid hosting with adaptive resource control. In Proceedings of the 2006 ACM/IEEE conference on Supercomputing, New York, NY, USA, 2006.
8. **SALOMONI, D.; ITALIANO, A.; RONCHIERI, E.:** WNoDeS, a tool for integrated Grid and Cloud access and computing farm virtualization. Journal of Physics: Conference Series, vol. 331, no. 5, p. 052017, 2011.
9. **ANDREWS, P.; KOVATCH, P.; JORDAN, C.:** Massive High-Performance Global File Systems for Grid computing. In Proceedings of the 2005 ACM/IEEE conference on Supercomputing, Washington, DC, USA, 2005, p. 53–.
10. **SIMMS, S. C.; PIKE, G. G.; BALOG, D.:** Wide Area Filesystem Performance using Lustre on the TeraGrid. In in Proceedings of the TeraGrid 2007 Conference, 2007.
11. **YU, W.; VETTER, J. S.:** Xen-Based HPC: A Parallel I/O Perspective. In Proceedings of the 2008 Eighth IEEE International Symposium on Cluster Computing and the Grid, Washington, DC, USA, 2008, pp. 154–161.
12. **FOSTER, I. et al.:** Virtual Clusters for Grid Communities. In Proceedings of the Sixth IEEE International Symposium on Cluster Computing and the Grid, Washington, DC, USA, 2006, pp. 513–520.
13. **MURPHY, M. A.; GOASGUEN, S.:** Virtual Organization Clusters: Self-provisioned clouds on the grid. Future Gener. Comput. Syst., vol. 26, no. 8, Oct. 2010, pp. 1271–1281.
14. **MURPHY, M. A. et al.:** Dynamic Provisioning of Virtual Organization Clusters. In Proceedings of the 2009 9th IEEE/ACM International Symposium on Cluster Computing and the Grid, Washington, DC, USA, 2009, pp. 364–371.
15. **CHASE, J. S. et al.:** Dynamic Virtual Clusters in a Grid Site Manager. In Proceedings of the 12th IEEE International Symposium on High Performance Distributed Computing, Washington, DC, USA, 2003, p. 90–.
16. **BLANCO, C. V. et al.:** Dynamic Provision of Computing Resources from Grid Infrastructures and Cloud Providers. In Proceedings of the 2009 Workshops at the Grid and Pervasive Computing Conference, Washington, DC, USA, 2009, pp. 113–120.

17. **RIEDEL, M. et al.:** Interoperation of world-wide production e-Science infrastructures. *Concurr. Comput.: Pract. Exper.*, vol. 21, no. 8, Jun. 2009, pp. 961–990.
18. **MARZOLLA, M. et al.:** Open Standards-Based Interoperability of Job Submission and Management Interfaces across the Grid Middleware Platforms gLite and UNICORE. In *Proceedings of the Third IEEE International Conference on e-Science and Grid Computing*, Washington, DC, USA, 2007, pp. 592–601.
19. **ERWIN, D.; SNELLING, D.:** UNICORE: A Grid Computing Environment. In *Euro-Par 2001 Parallel Processing*, vol. 2150, R. Sakellariou, J. Gurd, L. Freeman, and J. Keane, Eds. Springer Berlin / Heidelberg, 2001, pp. 825–834.
20. **FLORIAN, V. et al.:** Design and Implementation of an OGSA Compliant Grid Service Orchestration and Scheduling Environment. Presented at the *International Conference on Complex, Intelligent and Software Intensive Systems (CISIS)*, 2010, pp. 490–495.
21. **LAURE, E. et al.:** Programming the Grid with gLite. In *Computational Methods in Science and Technology*, 2006, p. 2006.
22. **VADHIYAR, S. S.; DONGARRA, J. J.:** Self Adaptivity in Grid Computing. *Concurrency & Computation: Practice & Experience*, vol. 2005, 2005.
23. **JIN, H.; ZOU, D. et al.:** Fault-tolerant grid architecture and practice. *Journal of Computer Science and Technology*, vol. 18, no. 4, 2003, pp. 423–433.
24. **KANDASWAMY, G.; MANDAL, A.; REED, D. A.:** Fault Tolerance and Recovery of Scientific Workflows on Computational Grids. In *Proceedings of the 2008 Eighth IEEE Intern. Symp. on Cluster Computing and the Grid*, Washington, DC, USA, 2008, pp. 777–782.
25. **ZHANG, X. et al.:** Fault-tolerant grid services using primary-backup: feasibility and performance. In *Proceedings of the 2004 IEEE International Conference on Cluster Computing*, Washington, DC, USA, 2004, pp. 105–114.
26. **MASSIE, M. L.; CHUN, B. N.; CULLER, D. E.:** The ganglia distributed monitoring system: design, implementation, and experience. *Parallel Comp.*, vol. 30, no. 7, 2004, pp. 817 – 840.
27. **NEWMAN, H. B. et al.:** MonALISA: A Distributed Monitoring Service Architecture. 2003.
28. **KEAHEY, K. et al.:** Virtual workspaces: Achieving quality of service and quality of life in the Grid. *Sci. Program.*, vol. 13, no. 4, Oct. 2005, pp. 265–275.
29. **VAN MOORSEL, A. P. A.:** Grid, Management and Self-Management. *Comput. J.*, vol. 48, no. 3, May 2005, pp. 325–332.
30. **NEAGU, G.; STANCIU, A.:** Grid infrastructure development as support for e-science services. *W. Trans. on Comp.*, vol. 9, no. 10, Oct. 2010, pp. 1181–1190.
31. **NEAGU, G.; STANCIU, A.:** Contribution to the implementation of the e-infrastructure concept at the national level. In *ECC'10 Proceedings of the 4th conference on European computing conference*, 2010, pp. 154–159.
32. **NEAGU, G.; STANCIU, A.; FLORIAN, V.:** Contributions to the Grid infrastructure for e-Science communities. Presented at the *IEEE International Conference on Intelligent Computer Communication and Processing (ICCP)*, 2011, pp. 527–532.
33. **STANCIU, A.; NEAGU, G.:** Help desk structure for the support service of a Virtual Organization supported by multiple Grid infrastructures. In *17th Int. Conference on Control Systems and Computer Science (CSCS17)*, 2009, vol. 1, pp. 429–432.
34. **STANCIU, A.; NEAGU, G.:** Dezvoltarea site-ului RO-01-ICI ca nod în infrastructura națională Grid pentru cercetare. *Revista Română de Informatică și Automatică (RRIA)*, 4/2009.