

# Magas szintű brókerező módszer Grid rendszerek együttműködésének megvalósítására

Doktori (Ph.D.) értekezés tézisei

**Kertész Attila**

Témavezető: Prof. Dr. Kacsuk Péter

MTA SZTAKI

Szegedi Tudományegyetem  
Természettudományi és Informatikai Kar  
Informatika Doktori Iskola

Szeged

2011



## Bevezetés

A 90-es években kezdett kibontakozni egy új kutatási irány az elosztott számítások területén, amelyet Grides számításoknak (Grid Computing [4]) neveztek el. A Grid rendszerek (számítógépek) lényege a világ különböző tájain lévő számítási rendszerek virtuális egyesítése, nagyobb számítási kapacitás elérése érdekében. Az érdeklődés egyre nőtt ezen szakterület iránt: ezt bizonyítja a számos világméretű Grid kutatással foglalkozó projekt (pld. CoreGRID [15], EGEE [13], NextGRID [25], GEANT [16], KnowARC [20], EUAsiaGrid [14] és OSG [27]). Ekkor még a nagy számítási igényű feladatokkal rendelkező kutatók kételkedéssel tekintettek a Gridet hirdető, népszerűsítő fejlesztőkre, akik rövidebb futtatási időt és kényelmes kezelőfelületet ígértek. Mivel az elosztott számításokban alkalmazott korábbi technikák nem bizonyultak alkalmasnak a Grid rendszerek különféle kihívásainak megoldására, új kutatási irányok körvonalazódtak ki, melyek önálló kutatási területté emelték a Grides számításokat. A Grid rendszerek fejlődése során számos kutatási területről (pld. biológia, kémia, fizika) érkeztek felhasználók, akik a kezdeti nehézségek ellenére beléptek a Gridet alkalmazók körébe. A napjainkban látható statisztikák és kutatási eredmények azt mutatják, hogy helyesen cselekedtek. A mára elegendően stabil és megbízható Gridet kutatása a felhasználói igényekre összpontosít, hiszen ezen követelmények teljesítése elengedhetetlen a majdan üzleti célokat szolgáló Gridet számára.

A Grid rendszerek magját az ún. köztes réteg (Grid middleware [5]) adja, amelyet az egyes projektek elszigetelt módon kezdtek el kidolgozni. Az első, a gyakorlatban is elterjedt "de facto" szabványként kezelt köztes réteg a Globus Toolkit [3] volt. A különböző projektek világszerte számos, a gyakorlatban működő ún. produktív Gridet hoztak létre a közel tíz éves fejlesztések következtében (pld. HunGrid [22], NGS [24], EGEE [13], UNICORE [34], NorduGrid [26] és OSG [27]). Az így kialakult Gridet viszont eltérő megvalósítású köztes rétegekre épültek, mely a kutató és fejlesztő közösségek mellett a felhasználói csoportokat is elszigetelte. A napjainkban is elérhető Grid rendszerek népszerűsítésére több nemzetközi projekt speciális felhasználó-támogató csoportot [33, 17, 35, 19] hozott létre a tudományos alkalmazások gridesítésére. Az adaptált alkalmazások között előfordulnak olyan nagy méretű és komplexitású munkafolyamatok, amelyek lefuttatásához egyetlen Grid erőforrásai kevésnek bizonyulnak. Ezért a világhálóhoz hasonlóan, a jövőben egy együttműködő, világméretű Grid rendszer lesz csak képes kiszolgálni a növekvő méretű és igényű felhasználói közösségeket. Ehhez egyesíteni kell az elszeparált szigetként működő Gridet, mely nagy kihívást jelent és új kutatási megközelítéseket kíván.

A Grid rendszereken belül az erőforrás-kezelő komponensek fejlesztésével foglalkozó ku-

tatási területet érinti a leginkább a felhasználói igények felerősödése (pld. eltérő Grid erőforrások együttes használata, szerződések alkalmazása, stb.). Ez az értekezés az eltérő megvalósítású szolgáltatói Gridok együttműködésének (Grid Interoperability [11]) elérését tűzte ki célul a Grides erőforrás kezelés témakörében. A Grides együttműködés a különféle Grid infrastruktúrák áthidalását jelenti, amely lehetővé teszi, hogy egy adott Grid felhasználói képesek legyenek más Grid erőforrásait felhasználni alkalmazásaik futtatására és adataik megosztására a többi Grid felhasználóival. Bár napjainkra számos jól megtervezett, széles körben használt Grides erőforrás-kezelő rendszer (Resource Management System), Grid bróker [1] elérhető a felhasználói közösség számára, ezek az eszközök a Gridet megvalósító köztes réteg komponenseire, szolgáltatásaira épülnek, melyek kevésbé adnak lehetőséget az újonnan felmerült igények kielégítésére. Az elérhető Grides erőforrás-kezelő komponenseket más kutatócsoportok is vizsgálták [8], viszont ezen publikációk nem részletezik az együttműködés szempontjából fontos kapcsolatokat, felelősségi köröket és tulajdonságokat. A jelenlegi megvalósítások nagy része nem képes átlépni a köztes réteg alkalmazói korlátait, ezáltal csak a teljes Grid rendszer fejlesztésével azonos mértékben fejlődhetnek, mely igen lassú előrelépést és az új igények tekintetében radikális változtatásokat jelentenek. Emellett napjaink szolgáltatói Gridjei viszonylag elkülönített felhasználói közösséggel és fejlesztői csoporttal rendelkeznek, mely szintén az együttműködés elősegítésének útjában áll.

Az együttműködő Gridok problémájával nagy tekintélyű szakértői csoportok is foglalkoznak. Az egyik ilyen, Európában irányadó Grides szakértői csoport a Next Generation Grids Expert Group, amely az Európai Bizottság égisze alatt működik. Az európai Gridok jövőjéről szóló harmadik közleményükben [10], a 2010-ig megvalósítandó és azon túlmutató célokat, kutatási irányokat jelölték ki. Ebben a dokumentumban a webes és Grides technológiák konvergenciáját állapították meg, és egyben kijelölték az utat a szolgáltatás-orientált tudásalapú komponensek, ún. SOKU-k (Service Oriented Knowledge Utility) fejlesztése felé, amelyeknek együttműködő, megbízható és hibatűrő működést megvalósító, megfelelő tudásbázissal rendelkező szolgáltatásoknak kell lenniük. Mindezen szakértői útmutatásokat figyelembe véve ez az értekezés olyan magas szintű brókerező szolgáltatást javasol az együttműködési probléma megoldására, amely a lehető legtöbb felhasználói igényt képes kielégíteni, és nem igényli a köztes réteg komponenseinek újratervezését.

A következő fejezetben olvasható a tézisek rövid összefoglalója. Az 1. táblázatban a tézisek és a kapcsolódó publikációk viszonyát szemléltetem, a 2. táblázatban pedig a publikációk független hivatkozásait gyűjtöttem össze.

## Új tudományos eredmények

Kutatásaim során első céloom a Grid brókerezés szakirodalmának mélyreható vizsgálata volt. Ezidőtájt a közel 10 éves Grid rendszerek már számos erőforrás-kezelő megoldásokkal rendelkeztek, azonban ezek az eszközök különféle Grid megvalósításra épültek, más elnevezéssel rendelkeztek és eltérő felhasználói igényeket céloztak meg. Az első tézis előkészítéseként megvizsgáltam a napjainkban elérhető, nagyobb felhasználói közösségek által használt Grides erőforrás brókerek működését, felépítését és gyakorlati tulajdonságait. Részletesen tanulmányoztam a különböző erőforrás-kezelő komponensek külső kapcsolatait és belső felépítésüket, és azonosítottam az eltérő felelősségi köröket és megnevezéseket egy Grid erőforrás-kezelő anatomia meghatározásával. Az ASM (Abstract State Machine) Grid formális modellt [9] felhasználva formalizáltam az azonosított Grides brókerező feladatköröket és együttműködési szinteket, melyek lehetővé teszik a Grid brókerező megoldások elkülönítését. Ezek az eredmények a következő tézishoz vezettek:

**I. Tézis.** Felállítottam egy gyakorlati tulajdonságokon alapuló kategória rendszert, melyet felhasználva létrehoztam egy általános Grid bróker taxonómiát. Kidolgoztam egy Grid erőforrás-kezelő anatomíát, amely alapján formalizáltam a Grid brókerező szinteket felhasználva az ASM Grid modellt [9].

A Grid rendszerek kutatásában napjaink legnagyobb kihívását az együttműködés [11] megteremtése jelenti. A bróker taxonómia is rámutat a brókerező módszerek és komponensek különbözőségére, míg az anatomia felfedi az együttműködés szempontjából fontos hasonlóságokat és kijelöli az együttműködés megteremtésének lehetőségét egy magasabb absztrakciós szinten. A taxonómiában vizsgált brókerek közül néhány képes alacsony szintű együttműködésre több Grid erőforrásainak elérésével. Gyakorlati példákon keresztül bemutattam az ezen az elven működő multi-Grid brókerezést bróker-kiterjesztéssel és portál használatával. Egy magasabb szintű együttműködést lehetővé tevő brókerezéshez szükség van egy brókereket leíró nyelvre a brókerek együttes kezeléséhez. A bróker taxonómia kategóriáit felhasználó, magas szintű adat-modellre épülő nyelv kidolgozását foglalja magába a második tézis.

**II. Tézis.** Létrehoztam egy olyan új, XML-alapú bróker-leíró nyelvet, a BPDFL-t (Broker Property Description Language), mely felhasználásával egy magas szintű brókerező szolgáltatás képes tetszőleges számú, a bróker taxonómiába sorolható Grid brókert egy rendszerben kezelni.

A brókerek együttes kezelését megvalósító, meta-szinten működő, magas szintű Grides erőforrás-kezelő megoldást meta-brókerezésnek neveztem el. A következő, harmadik tézis keretében azonosítottam egy általános meta-brókerező megoldás követelményrendszerét a működéshez szükséges komponensek definiálásával, és kidolgoztam ezen absztrakt rendszer olyan megvalósítását, amely nem igényli az alkalmazott brókerek és Grid rendszerek módosítását.

**III. Tézis. Meghatároztam egy általános meta-brókerező szolgáltatás követelményrendszerét, mely alapján megterveztem a rendszer meta-bróker architektúráját. Ez egy új absztrakciós szint bevezetésével lehetővé teszi a Grid rendszerek együttműködését tetszőleges brókerek integrálásával. Az architektúra terv alapján megvalósítottam az új GMBS (Grid Meta-Broker Service) meta-bróker szolgáltatás komponenseit.**

A megvalósítás komponensei elvégzik a menedzselte brókerek teljesítményének és Gridjeik terheltségének monitorozását, szabványos interfészen keresztül biztosítják a felhasználói interakciót és elvégzik az automatikus bróker-választást. A meta-brókerező módszer publikálása után hasonló megközelítések jelentek meg a szakirodalomban. Az első tézisben definiált formális együttműködési szintek segítségével összehasonlítottam ezeket a megközelítéseket. Kutatásom végső állomását a meta-bróker kiértékelése jelentette. A széles körben elterjedt és használt GridSim Toolkit [2] Grides szimulációs környezetet használtam fel a kiértékelő rendszer kidolgozásához. A negyedik tézis a GridSim-et kiegészítő, a meta-brókerezés vizsgálatát lehetővé tevő szimulációs környezet kidolgozását és a meta-bróker valós adatokkal történő kiértékelését tartalmazza, melyhez a valós szuperszámítógép és Grid futási adatokat tartalmazó Parallel és Grid Workloads Archive nyilvánosan elérhető adattárak adatfájljait használtam fel [28, 21].

**IV. Tézis. A GridSim [2] szimulációs környezetre építve megterveztem és megvalósítottam egy új, meta-brókerezés vizsgálatát lehetővé tevő szimulációs rendszert. Ezt felhasználva elvégeztem a GMBS meta-bróker szolgáltatás teljesítmény elemzését valós párhuzamos szuperszámítógép és Grides erőforrások terheltségi adatainak alapján. A vizsgálattal bizonyítottam a meta-bróker szolgáltatás hatékonyságát.**

A különböző módon felparaméterezett szimulációs kísérletek mindegyikében hatékonyabbnak bizonyult a brókereket együttműködő módon alkalmazó meta-brókerező szolgáltatás

a hagyományos, elszigetelt bróker használattal szemben. A mérési eredmények alapján a GMBS meta-bróker szolgáltatás képes több, mint 10-szeres gyorsulás elérésére a véletlenszerű brókerválasztással szemben.

1. táblázat. Tézisek és publikációk

|            | [P4] | [P18] | [P16] | [P1] | [P5] | [P17] | [P2] | [P11] | [P6] |
|------------|------|-------|-------|------|------|-------|------|-------|------|
| I. tézis   | •    | •     | •     | •    | •    | •     | •    | •     | •    |
| II. tézis  |      |       |       |      |      | •     |      |       | •    |
| III. tézis |      | •     | •     |      |      | •     |      |       | •    |
| IV. tézis  |      |       |       |      |      | •     |      |       |      |

|            | [P7] | [P3] | [P8] | [P10] | [P14] | [P19] | [P12] | [P9] | [P13] | [P15] |
|------------|------|------|------|-------|-------|-------|-------|------|-------|-------|
| I. tézis   | •    |      |      |       |       | •     |       |      |       |       |
| II. tézis  | •    |      | •    | •     | •     | •     |       | •    |       |       |
| III. tézis | •    | •    | •    | •     | •     | •     | •     | •    | •     | •     |
| IV. tézis  |      |      |      |       |       | •     |       |      | •     |       |

## Összefoglalás

Napjainkban a számos kutatói közösség által használt Grid rendszerek további fejlődésének útjában áll az együttműködés hiánya. A Gridre adaptált alkalmazások között megjelentek olyan nagy méretű és komplexitású munkafolyamatok, amelyek lefuttatásához egy Grid erőforrásai kevésnek bizonyulnak. Ennek a problémának a megoldására olyan fejlett erőforrás-kezelő megoldásokat mutattam be ebben a disszertációban, amelyek képesek a különféle Grid rendszerek erőforrásait együttesen és automatizált módon felhasználni a komplex felhasználói igények kielégítésére.

A P-GRADE portal [6] és a gUSE/WS-PGRADE rendszer [7] brókerezéssel kapcsolatos szolgáltatásai az értekezésben kidolgozott módszereken alapulnak. Ennek megfelelően a disszertáció eredményei a következő Európai Uniói projektekben hasznosulnak: SHIWA projekt [31], EDGI projekt [12], CancerGrid projekt [18] és a GASuC projekt [19]. A következő országos projektek szintén használják a portálokat: UK ProSim projekt [29], MoSGrid projekt [23], valamint az ETH Zurich egy biológus projektje [32].

A tézisek tudományos eredményeit számos nemzetközi folyóiratban, konferencia és workshop cikkben publikáltam, és különféle tudományos fórumokon adtam elő. A disszertáció publikációi több későbbi kutatás alapjául szolgáltak, amelyet a sok független hivatkozás

fémjelez világszerte. Az értekezésben bemutatott kutatási eredmények nagy része a CoreGRID és S-CUBE európai kiválósági hálózatokban (Network of Excellence) [15, 30] történő aktív részvétel sikere.

## Köszönetnyilvánítás

Szeretnék köszönetet mondani mindazoknak, akik hozzájárultak ahhoz, hogy ez a disszertáció elkészülhessen. Legfőképpen témavezetőmnek, Kacsuk Péternek köszönöm a vezetést és ösztönzést. Köszönettel tartozom kollégáimnak, elsősorban Németh Zsoltnak, Juhász Zoltánnak, Sipos Gergelynek, Kecskeméti Gábornak és Schrettner Lajosnak, akik hasznos tanácsaikkal hozzájárultak eredményeimhez, és társszerzőimnek, akik külföldi tanulmányútjaim során támogattak a nemzetközi kutatások tapasztalatainak megszerzésében. Végezetül szeretném kifejezni hálámat feleségemnek, családomnak és barátaimnak szeretetükért és támogatásukért.

*Kertész Attila, 2011. január 31.*

## Hivatkozások

- [1] E. Afgan, "Role of the Resource Broker in the Grid", In proceedings of the 42nd annual Southeast regional conference, 2004.
- [2] R. Buyya and M. Murshed, "GridSim: A Toolkit for the Modeling and Simulation of Distributed Resource Management and Scheduling for Grid Computing", *Concurrency and Computation: Practice and Experience.*, pp. 1175-1220, Volume 14, Issue 13-15, 2002.
- [3] I. Foster, C. Kesselman, "The Globus project: A status report", in *Proc. of the Heterogeneous Computing Workshop*, IEEE Computer Society Press, pp. 4-18, 1998.
- [4] I. Foster, C. Kesselman, "Computational Grids, The Grid: Blueprint for a New Computing Infrastructure", Morgan Kaufmann, pp. 15-52, 1998.
- [5] I. Foster, C. Kesselman, S. Tuecke, "The Anatomy of the Grid: Enabling Scalable Virtual Organizations", *International J. Supercomputer Applications*, 15(3), 2001.



- [6] P. Kacsuk, G. Sipos, "Multi-Grid, Multi-User Workflows in the P-GRADE Grid Portal", *Journal of Grid Computing*, Volume 3, num. 3-4, pp. 221-238, 2006.
- [7] P. Kacsuk, K. Karóczkai, G. Hermann, G. Sipos, and J. Kovács, "WS-PGRADE: Supporting parameter sweep applications in workflows", *Proc. of the 3rd Workshop on Workflows in Support of Large-Scale Science (in conjunction with SC08)*, Austin, 2008.
- [8] K. Krauter, R. Buyya, M. Maheswaran, "A taxonomy and survey of grid resource management systems for distributed computing", *Softw., Pract. Exper.*, vol. 32, pp. 135-164, 2002.
- [9] Zs. Németh, and V. Sunderam, *Characterizing Grids: Attributes, Definitions, and Formalisms*, *Journal of Grid Computing*, vol. 1, pp. 9-23, 2003.
- [10] Next Generation Grids Expert Group Report no. 3, "Future for European Grids: GRIDs and Service Oriented Knowledge Utilities – Vision and Research Directions 2010 and Beyond", NGG3, December 2006.
- [11] M. Riedel et al., "Interoperation of World-Wide Production e-Science Infrastructures", *Concurrency and Computation: Practice and Experience*, Volume 21, Issue 8, pp. 961-990, 2009.

## **Web referenciák**

- [12] Enabling Desktop Grids for e-Science, <http://edgi-project.eu/>, December 2010.
- [13] Enabling Grids for E-scienceE (EGEE) project, <http://www.eu-egee.org/>, September 2010.
- [14] EUAsiaGrid project, <http://www.euasiagrid.org>, September 2010.
- [15] European Research Network on Foundations, Software Infrastructures and Applications for large scale distributed, GRID and Peer-to-Peer Technologies (CoreGrid Project), <http://www.coregrid.net>, December 2010.
- [16] GEANT project, <http://www.geant.net>, September 2010.
- [17] Global Grid User Support, <http://www.ggus.org>, December 2010.

- [18] Grid aided computer system for rapid anti-cancer drug design, CancerGrid project, <http://cancergrideu.w3h.hu/>, December 2010.
- [19] Grid Application Support Centre, <http://www.lpds.sztaki.hu/gasuc/>, December 2010.
- [20] Grid-enabled Know-how Sharing Technology Based on ARC Services and Open Standards (KnowARC) project, <http://www.knowarc.eu>, November 2009.
- [21] The Grid Workloads Archive, <http://gwa.ewi.tudelft.nl>, September 2009.
- [22] HunGrid virtual organisation, <http://www.grid.kfki.hu/hungrid/>, September 2009.
- [23] Molecular Simulation Grid (MoSGrid), <http://www.mosgrid.de/>, December 2010.
- [24] National Grid Service (NGS), <http://www.ngs.ac.uk/>, September 2010.
- [25] NextGRID – Architecture for Next Generation Grids project, <http://www.nextgrid.org/>, December 2010.
- [26] NorduGrid Middleware, <http://www.nordugrid.org/middleware/>, September 2010.
- [27] Open Science Grid (OSG) project, <http://www.opensciencegrid.org>, September 2010.
- [28] Parallel Workloads Archive, <http://www.cs.huji.ac.il/labs/parallel/workload/>, September 2008.
- [29] ProSim Project/JISC Engage Program, <https://sites.google.com/a/staff.westminster.ac.uk/engage/>, September 2010.
- [30] Software Services and Systems Network European Network of Excellence FP7 project, <http://www.s-cube-network.eu/>, September 2010.
- [31] SHaring Interoperable Workflows for large-scale scientific simulations on Available DCIs (SHIWA) project, <http://liferay.lpds.sztaki.hu:8080/web/shiwa/project>, December 2010.
- [32] Swiss Grid portal, <http://alprose01.projects.cscs.ch:8080/gridsphere/gridsphere>, September 2010.
- [33] TeraGrid Advanced User Support (AUS) project, [https://www.teragrid.org/web/user-support/aus\\_projects](https://www.teragrid.org/web/user-support/aus_projects), September 2010.

- [34] Uniform Interface to Computing Resources (UNICORE) project,  
<http://www.unicore.eu>, September 2010.
- [35] Westminster Grid Application Support Service (W-GRASS),  
<http://wgrass.wmin.ac.uk>, September 2010.

## Publikációk

- [P1] A. Kertész, "Brokering solutions for Grid middlewares", In Pre-proc. of 1st Doctoral Workshop on Mathematical and Engineering Methods in Computer Science, (MEMICS 2005), Znojmo, Czech Republic, 14-17 October, 2005.
- [P2] A. Kertész, G. Sipos, P. Kacsuk, "Brokering Multi-Grid Workflows in the P-GRADE Portal", In Euro-Par 2006: Parallel Processing, CoreGRID Workshop on Grid Middleware, Springer-Verlag LNCS, Volume 4375, pp. 138-149, June 2007.
- [P3] A. Kertész, P. Kacsuk, "Grid Meta-Broker Architecture: Towards an Interoperable Grid Resource Brokering Service", In Euro-Par 2006: Parallel Processing, CoreGRID Workshop on Grid Middleware, Springer-Verlag LNCS, Volume 4375, pp. 112-115, June 2007.
- [P4] A. Kertész, P. Kacsuk, "A Taxonomy of Grid Resource Brokers", In Distributed and Parallel Systems, Springer US, 6th Austrian-Hungarian Workshop on Distributed and Parallel Systems (DAPSYS'06), pp. 201-210, May 2007.
- [P5] A. Kertész, G. Sipos, P. Kacsuk, "Multi-Grid Brokering with the P-GRADE Portal", In Post-Proceedings of the Austrian Grid Symposium (AGS'06), pp. 166-178, OCG Verlag, Austria, 2007.
- [P6] A. Kertész, "Grid Brókerek evolúciója: Egységben az erő", Híradástechnika, Volume LXII, pp. 21-25, 2007/12.
- [P7] A. Kertész, "The evolution of Grid Brokers: Union for Interoperability", Journal of Scientific Association for Infocommunications with co-operation with the National Council of Hungary for Information and Communications Technology, pp. 55-59, Volume LXIII, HU ISSN 0018-2028, January 2008.

- [P8] A. Kertész, P. Kacsuk, "Meta-Broker for Future Generation Grids: A new approach for a high-level interoperable resource management", In *Grid Middleware and Services: Challenges and Solutions*, 2nd CoreGRID Workshop on Grid Middleware, Springer US, pp. 53-63, June 2008.
- [P9] A. Kertész, I. Rodero, F. Guim, "Data Model for Describing Grid Resource Broker Capabilities", In *Grid Middleware and Services: Challenges and Solutions*, 2nd CoreGRID Workshop on Grid Middleware, Springer US, pp. 39-52, June 2008.
- [P10] A. Kertész, I. Rodero, F. Guim, "Meta-Brokering approaches in state-of-the-art Grid Resource Management", *CoreGRID Integration Workshop 2008 – Integrated Research in Grid Computing*, pp. 371-382, Hersonissos, Crete, Greece, April 2008.
- [P11] A. Kertész, Z. Farkas, P. Kacsuk, T. Kiss, "Grid Interoperability by Multiple Broker Utilization and Meta-Brokering", In *Grid Enabled Remote Instrumentation*, Springer US Book Series on Signals and Communication Technology, (INGRID'07), pp. 303-312, October 2008.
- [P12] P. Kacsuk, A. Kertész and T. Kiss, "Can We Connect Existing Production Grids into a World Wide Grid?", In *High Performance Computing for Computational Science (VECPAR'08)*, Springer LNCS, Volume 5336, pp. 109-122, December 2008.
- [P13] A. Kertész, J. D. Dombi, J. Dombi, "Adaptive scheduling solution for grid meta-brokering", *Acta Cybernetica*, Volume 19, pp. 105-123, 2009.
- [P14] A. Kertész, I. Rodero, F. Guim, "Meta-Brokering Solutions for Expanding Grid Middleware Limitations", In *Euro-Par 2008 Workshops – Parallel Processing, Workshop on Secure, Trusted, Manageable and Controllable Grid Services (SGS'08)*, Springer LNCS, Volume 5415, pp. 199-210, April 2009.
- [P15] A. Kertész, G. Kecskeméti, I. Brandic, "An SLA-based Resource Virtualization Approach For On-demand Service Provision", In *proceedings of 3rd International Workshop on Virtualization Technologies in Distributed Computing (VTDC'09) in conjunction with ICAC'09*, Barcelona, Spain, ACM, pp. 27-34, June 15, 2009.
- [P16] A. Kertész and Zs. Németh, "Formal Aspects of Grid Brokering", In *EPTCS 14, 8th International Workshop on Parallel and Distributed Methods in verification (PDMC'09)*, pp. 18-31, CoRR abs/0912.2549, 2009.

- [P17] A. Kertész, P. Kacsuk, "Grid Interoperability Solutions in Grid Resource Management", IEEE Systems Journal's Special Issue on Grid Resource Management, Volume 3, Issue 1, pp. 131-141, March 2009.
- [P18] A. Kertész and T. Prokosch, "The Anatomy of Grid Resource Management", In book: Remote Instrumentation and Virtual Laboratories, Eds.: Davoli, F.; Meyer, N.; Pugliese, R.; Zappatore, S., Springer Science+Business Media, LLC, pp. 123-132, 2010.
- [P19] A. Kertész, P. Kacsuk, "GMBS: A New Middleware Service for Making Grids Interoperable", Future Generation Computer Systems, vol. 26, no. 4, pp. 542-553, 2010.

## A publikációk független hivatkozásai

- [R1] E. Afgan, and P. Bangalore, Dynamic BLAST—a Grid Enabled BLAST, IJCSNS, vol. 9, no. 4, 2009.
- [R2] E.S. Alkayal and F.A. Essa, Service oriented distributed manager for grid system, In IEEE International Symposium in Information Technology (ITSim), vol. 3, pp. 1174-1179, 2010.
- [R3] A. Alqaoud, I. Taylor, and A. Jones, Publish/subscribe as a model for scientific workflow interoperability, Proceedings of the 4th Workshop on Workflows in Support of Large-Scale Science, pp. 1-10, ACM, 2009.
- [R4] R. Aoun and M. Gagnaire, Impact of traffic predictability on resource virtualization and job scheduling in grid networks, In proc. of the IEEE EUNICE summer school, Brest, France, Sep. 2008.
- [R5] P. Balakrishnan, T.S. Somasundaram, SLA enabled CARE resource broker, Future Generation Computer Systems, 27 (3), pp. 265-279, 2011.
- [R6] N. Bobroff, L. Fong, S. Kalayci, Y. Liu, J.C. Martinez, I. Rodero, S.M. Sadjadi, and D. Villegas, Enabling interoperability among meta-schedulers, Proceedings of 8th IEEE International Symposium on Cluster Computing and the Grid (CCGrid-2008), pp. 306-315, 2008.
- [R7] A. Bouyer, A.H. Abdullah, S. Alizadeh, M. Jalali, Minimizing overhead computation time for grid scheduling system based on partitioned grid information service, In

- proc. of 2nd International Conference on Network Applications, Protocols and Services (NETAPPS 2010), art. no. 5636054, pp. 7-13, 2010.
- [R8] S. Callaghan, E. Deelman, D. Gunter, G. Juve, P. Maechling, C. Brooks, K. Vahi, K. Milner, R. Graves, and E. Field, Scaling up workflow-based applications, *Journal of Computer and System Sciences*, Elsevier, 2009.
- [R9] H.J. Choi, E. Kim, Y. Lee, H.Y. Yeom, D. Nam, and S. Hwang, A super-metascheduler-based approach for integrating multiple Heterogeneous Grids, In *Proceedings of the 11th International Conference on Advanced Communication Technology*, Volume 3, pp. 2065-2070, 2009.
- [R10] A. Costan, C. Stratan, E.D. Tirsia, M.I. Andreica, and V. Cristea, Towards a Grid Platform for Scientific Workflows Management, in print, <http://arxiv.org/ftp/arxiv/papers/0910/0910.0626.pdf>.
- [R11] E. Deelman, *Grids and Clouds: Making Workflow Applications Work in Heterogeneous Distributed Environments*, *International Journal of High Performance Computing Applications*, 2009.
- [R12] E. Deelman, D. Gannon, M. Shields, and I. Taylor, *Workflows and e-Science: An overview of workflow system features and capabilities*, *FGCS*, vol. 25, no. 5, pp. 528-540, 2009.
- [R13] J. D. Dhok, *Learning Based Admission Control and Task Assignment for MapReduce*, Thesis, Search and Information Extraction Lab International Institute of Information Technology, Hyderabad, India, 2010.
- [R14] J. Echaiz, and J.R. Ardenghi, *An Economic View of Indirect Reputation Management for Grids*, *JCS&T* Vol. 9, No. 1, 2009.
- [R15] J. Echaiz, J.R. Ardenghi, and GR. Simari, *A novel algorithm for indirect reputation-based grid resource management*, *Computer Architecture and High Performance Computing*, pp. 151-158, 2007.
- [R16] E. Elmroth, and P.O. Ostberg, *A Composable Service-Oriented Architecture for Middleware-Independent and Interoperable Grid Job Management*, UMINF 09.14, Department of Computing Science, Umea University, Sweden. Submitted for journal publication, 2009.

- [R17] E. Elmroth, and J. Tordsson, A standards-based Grid resource brokering service supporting advance reservations, coallocation and cross-Grid interoperability, *Concurrency and Computation: Practice and Experience*, 2006.
- [R18] A. Goscinski, M. Brock, Toward dynamic and attribute based publication, discovery and selection for cloud computing, *Future Generation Computer Systems*, vol. 26, no. 7, pp. 947-970, 2010.
- [R19] M.D. Halling-Brown, D.S. Moss, and A.J. Shepherd, Towards a lightweight generic computational grid framework for biological research, *BMC bioinformatics*, vol. 9, no. 1, 2008.
- [R20] A. Harrison, and I. Taylor, Web enabling desktop workflow applications, *Proceedings of the 4th Workshop on Workflows in Support of Large-Scale Science*, ACM, pp. 1-9, 2009.
- [R21] M.I. Hassan and A. Abdullah, Semantic-based grid resource discovery systems a literature review and taxonomy, In *IEEE International Symposium in Information Technology (ITSim)*, vol. 3, pp. 1286-1296, 2010.
- [R22] I.U. Haq, I. Brandic, E. Schikuta, SLA Validation in Layered Cloud Infrastructures, In *Economics of Grids, Clouds, Systems, and Services, GECON 2010, LNCS Volume 6296/2010*, pp. 153-164, 2010.
- [R23] E. Huedo, R.S. Montero, and I.M. Llorente, A recursive architecture for hierarchical grid resource management, *FGCS*, vol. 25, no. 4, pp. 401-405, 2009.
- [R24] I. Khalil, F. Sufi, CardioGrid: ECG analysis on demand to detect cardiovascular abnormalities, In *proc. of 9th International Conference on Information Technology and Applications in Biomedicine (ITAB 2009)*, art. no. 5394436, 2009.
- [R25] T. Kiss, and T. Kukla, Achieving Interoperation of Grid Data Resources via Workflow Level Integration, *Journal of Grid Computing*, vol. 7, no. 3, pp. 355-374, 2009.
- [R26] V.V. Korkhov, Hierarchical resource management in grid computing, Thesis, University of Amsterdam, Faculty of Science, 2009.
- [R27] K. Leal, E. Huedo, and I.M. Llorente, A decentralized model for scheduling independent tasks in federated grids, *Future Generation Computer Systems*, 2009.

- [R28] K. Leal, E. Huedo, and I.M. Llorente, Performance-based scheduling strategies for HTC applications in complex federated grids, *Concurrency and Computation: Practice and Experience*, 2009.
- [R29] Z. Longwen, F. Xiaoning, Design of Collaborative Innovation Platform of Industrial Clusters in Guangdong Province Based on OGSA, In proc. of IEEE International Conference on Management and Service Science (MASS'09), pp. 1-4, 2009.
- [R30] G. Molto and V. Hernandez, On Demand Replication of WSRF-based Grid Services via Cloud Computing, In proc. of 9th International Meeting High Performance Computing for Computational Science (VECPAR'10), Berkeley, CA (USA), June 22-25, 2010.
- [R31] P. Muthuchelvi, G.S. Anadha Mala and V. Ramachandran, IRBAS-An Intelligent Resource Broker with Alternate Solution for Expanding Grid Meta Schedulers, *International Journal of Computing and Applications (IJCA)*, pp. 177-184, 2009.
- [R32] G. Pashov, K. Kaloyanova, and K. Boyanov, Information Models for Lightweight Grid Platforms, *CoreGRID Workshop on Grid Systems, Tools and Environments*, 2006.
- [R33] I. Rodero, F. Guim, J. Corbalana, L. Fong, Y.G. Liu, and S. M. Sadjadi, Looking for an evolution of grid scheduling: Meta-brokering, *Proceedings of the Second CoreGRID Workshop on Middleware at ISC2007*, Springer, 2007.
- [R34] I. Rodero, F. Guim, J. Corbalana, L. Fong and S. M. Sadjadi, Grid broker selection strategies using aggregated resource information, *FGCS*, Volume 26, Issue 1, pp. 72-86, 2010.
- [R35] M. Sivagama Sundari, S.S. Vadhiyar, and R.S. Nanjundiah, Grids with multiple batch systems for performance enhancement of multi-component and parameter sweep parallel applications, *FGCS*, vol. 26, no. 2, pp. 217-227, 2010.
- [R36] R. Spurzem, P. Berczik, I. Berentzen, D. Merritt, N. Nakasato, H.M. Adorf, T. Brusemeister, P. Schwekendiek, J. Steinacker, and J. Wambsgan, From Newton to Einstein – N-body dynamics in galactic nuclei and SPH using new special hardware and astrogrid-D, *Journal of Physics: Conference Series*, vol. 78, 2007.
- [R37] J. Tordsson, Portable Tools for Interoperable Grids: Modular Architectures and Software for Job and Workflow Management, *Doctoral thesis*, 2009.



- [R38] D. Villegas, I. Rodero, L. Fong, N. Bobroff, Y. Liu, M. Parashar, and S.M. Sadjadi, The Role of Grid Computing Technologies in Cloud Computing, In Handbook of Cloud Computing, Springer, pp. 183-218, 2010.
- [R39] M. Wiczorek, A. Hoheisel, and R. Prodan, Towards a general model of the multi-criteria workflow scheduling on the grid, Future Generation Computer Systems, vol. 25, no. 3, pp. 237-256, 2009.
- [R40] C. Wen, H. Shiau, C. Wang, S. Wang, A SLA-based dynamically integrating services SaaS framework, IET Conference Publications 2010 (568 CP), pp. 306-311, 2010.

2. táblázat. Publikációk és független hivatkozásaik

|       | [P1] | [P2] | [P3] | [P4] | [P5] | [P8] | [P9] | [P10] | [P11] | [P13] | [P15] | [P17] | [P19] |
|-------|------|------|------|------|------|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| [R1]  |      |      |      | •    |      |      |      |       |       |       |       |       |       |
| [R2]  |      |      |      |      |      |      |      |       |       |       |       | •     |       |
| [R3]  |      | •    |      |      |      |      |      |       |       |       |       |       |       |
| [R4]  |      |      | •    |      |      |      |      |       |       |       |       |       |       |
| [R5]  |      |      |      |      |      |      |      |       |       |       | •     |       |       |
| [R6]  |      |      |      |      |      |      |      | •     | •     |       |       |       |       |
| [R7]  |      |      |      |      |      |      |      |       |       |       |       | •     |       |
| [R8]  |      | •    |      |      |      |      |      |       |       |       |       |       |       |
| [R9]  |      |      | •    |      |      |      |      |       |       |       |       |       |       |
| [R10] |      | •    |      |      |      |      |      |       |       |       |       |       |       |
| [R11] |      | •    |      |      |      |      |      |       |       |       |       |       |       |
| [R12] | •    | •    |      |      |      |      |      |       |       |       |       |       |       |
| [R13] |      |      |      | •    |      |      |      |       |       |       |       |       |       |
| [R14] |      |      |      | •    |      |      |      |       |       |       |       |       |       |
| [R15] |      |      |      | •    |      |      |      |       |       |       |       |       |       |
| [R16] |      |      |      |      |      | •    |      |       |       |       |       |       |       |
| [R17] |      |      |      |      |      | •    |      |       |       |       |       |       |       |
| [R18] |      |      |      |      |      |      |      |       |       |       |       |       | •     |
| [R19] |      |      |      | •    |      |      |      | •     |       |       |       |       |       |
| [R20] |      | •    |      |      |      |      |      |       |       |       |       |       |       |
| [R21] |      |      |      |      |      |      |      |       |       |       |       |       | •     |
| [R22] |      |      |      |      |      |      |      |       |       |       |       |       | •     |
| [R23] |      |      |      | •    |      |      |      |       |       |       |       |       |       |
| [R24] |      |      |      |      |      |      |      |       |       |       |       | •     |       |
| [R25] |      |      |      |      | •    |      | •    |       |       |       |       |       |       |
| [R26] |      |      |      | •    |      |      |      |       |       |       |       |       |       |
| [R27] |      |      |      |      |      |      |      | •     |       |       |       |       |       |
| [R28] |      |      | •    |      |      |      |      |       |       |       |       |       |       |
| [R29] |      |      |      |      |      |      |      |       |       |       |       | •     |       |
| [R30] |      |      |      |      |      |      |      |       |       |       | •     |       |       |
| [R31] |      |      |      | •    |      |      |      |       |       |       |       |       |       |
| [R32] | •    |      |      | •    |      |      |      |       |       |       |       |       |       |
| [R33] |      |      | •    |      |      |      |      |       |       |       |       |       |       |
| [R34] |      |      | •    |      |      |      |      | •     |       | •     |       |       |       |
| [R35] |      |      | •    |      |      |      |      |       |       |       |       |       |       |
| [R36] |      |      |      | •    |      |      |      |       |       |       |       |       |       |
| [R37] |      |      |      |      |      | •    |      |       |       |       |       |       |       |
| [R38] |      |      | •    |      |      |      |      |       |       |       |       |       |       |
| [R39] |      |      |      |      | •    |      |      |       |       |       |       |       |       |
| [R40] |      |      |      |      |      |      |      |       |       |       | •     |       |       |