

Interoperação de Grades Móveis Ad hoc com Grades Fixas

Bruno F. Bastos , Luciana S. Lima , Antônio Tadeu A. Gomes , Artur Ziviani

Laboratório Nacional de Computação Científica (LNCC)
Av. Getúlio Vargas, 333 – 25651-075 – Petrópolis, RJ

{bfbastos, lslima, atagomes, ziviani}@lncc.br

Resumo. *Grades móveis ad hoc – grades formadas de modo espontâneo sobre uma rede sem fio ad hoc – têm sido apontadas como uma abordagem promissora para aplicações como redes de resposta a incidentes, sistemas de trabalho de campo em áreas isoladas, entre outras. Embora essas grades sejam vistas originalmente como agrupamentos de processamento isolados, a aproximação das mesmas a uma rede fixa permite expandir enormemente a sua capacidade computacional graças aos recursos disponíveis na rede fixa. A interoperação entre grades móveis ad hoc e recursos na rede fixa é, contudo, um problema ainda não abordado na literatura. O objetivo principal do presente trabalho é justamente explorar esse problema, apresentando uma análise acerca dos requisitos necessários a essa interoperação. Este artigo propõe uma abordagem específica de interoperação, avaliando qualitativamente as implicações da mesma. Dois middlewares de grade são usados como base para essa análise – o MoGrid para grades móveis e o Globus Toolkit (GTK) para grades em redes fixas. Esses middlewares são empregados também na prototipação da abordagem proposta, a fim de demonstrar a sua exequibilidade e oferecer uma base para o desenvolvimento de aplicações que possam valer-se dessa interoperação.*

1. Introdução

Grades computacionais constituem uma importante iniciativa na área de processamento distribuído de alto desempenho, permitindo agregar computadores interligados via rede em sistemas de larga escala que podem ser usados na execução de tarefas computacionalmente complexas [Berman et al. 2003]. Embora inicialmente pensadas no contexto de redes fixas, grades¹ têm recebido atenção crescente no que concerne a sua aplicação para redes sem fio [McKnight et al. 2004]. A principal justificativa para isso é que, apesar de dispositivos móveis (laptops, PDAs e celulares) terem capacidade computacional em geral comparativamente menor a de outros computadores, a disponibilidade e uso desses dispositivos têm crescido consideravelmente nos últimos anos. Isso cria um potencial enorme para o compartilhamento dos recursos computacionais desses dispositivos, cujo uso atual tem sido predominantemente pessoal.

Há duas abordagens principais de integração de dispositivos móveis em grades. Na primeira abordagem, dispositivos móveis podem participar como clientes ou mesmo como provedores (nós de processamento) no contexto de uma grade fixa pré-existente [Bruneo et al. 2003, Pinto et al. 2007, Silva et al. 2007]. Na segunda aborda-

¹Neste artigo o termo genérico *grade* é usado para indicar um tipo particular de grade, que permite o compartilhamento de recursos como tempo de CPU e espaço de memória para execução distribuída de tarefas computacionalmente complexas. Outros tipos de grades – grades de dados, de instrumentos etc. – não são discutidos neste artigo.

gem, esses dispositivos podem formar de maneira espontânea grades puramente sem fio – as chamadas ‘grades móveis ad hoc’ [Marinescu et al. 2003, Lima et al. 2005].

Grades móveis ad hoc oferecem uma abordagem bastante promissora para aplicações que demandam maior disponibilidade de poder computacional mas que, simultaneamente, têm como alvo condições em que a infra-estrutura de comunicação pode ser – ou se tornar repentinamente – indisponível, como redes de formação rápida (HFNs – *Hastily Formed Networks*) [Denning 2006] para resposta a incidentes, sistemas de trabalho de campo em áreas isoladas, entre outras. Contudo, o interesse recente de governos e empresas no desenvolvimento de tecnologias que permitam o estabelecimento de redes sem fio ad hoc de larga escala também em ambientes urbanos [BBN Technologies 2007] abre uma nova perspectiva na área de computação móvel. Isso porque, embora grades móveis possam a princípio ser pensadas como agrupamentos isolados de processamento, a aproximação de uma grade móvel a um ponto de acesso para uma rede fixa – comum em ambientes urbanos – permite expandir enormemente, mesmo que de forma temporária, a capacidade computacional da grade móvel graças aos recursos presentes na rede fixa. Esse cenário coloca um novo problema ainda não devidamente explorado tanto na literatura de computação móvel quanto na de grades computacionais: a interoperação de grades móveis ad hoc com recursos computacionais disponibilizados por grades fixas. O objetivo principal do presente trabalho é justamente explorar esse problema, dando um primeiro passo para preencher essa lacuna atualmente presente na literatura. O trabalho foi conduzido pelo primeiro autor deste artigo – Bruno F. Bastos –, que é bolsista de iniciação científica atuante no Laboratório Nacional de Computação Científica do MCT (LNCC/MCT), sob a orientação conjunta de Antônio Tadeu A. Gomes e Artur Ziviani. Os resultados do trabalho foram incorporados como parte da tese de doutorado de Luciana S. Lima [Lima 2007], que também colaborou na orientação do aluno.

O presente trabalho constituiu-se primeiramente em uma análise acerca dos requisitos necessários à interoperação de grades móveis ad hoc com grades fixas. Foram incluídos nessa análise aspectos relacionados às fases de autenticação e certificação de usuários, de descoberta e seleção de recursos, e de escalonamento e submissão de tarefas. A partir dessa análise, foi proposta uma abordagem de interoperação baseada na presença de um proxy na rede fixa intermediando a comunicação entre as duas grades. Essa abordagem foi avaliada qualitativamente em termos do grau de transparência oferecido para a grade móvel, da eficiência no uso dos recursos dessa grade (em particular, recursos de comunicação) e da facilidade de implantação do proxy na infra-estrutura de rede fixa. Dois middlewares de grade foram usados como base para este trabalho: o MoGrid [Lima 2007] para grades móveis ad hoc, e o Globus Toolkit (GTK) [Foster e Kesselman 1997] para grades fixas. Esses middlewares foram usados na prototipação da abordagem de interoperação proposta, a fim de demonstrar a sua exequibilidade e oferecer uma base para o desenvolvimento de aplicações que possam valer-se dessa interoperação.

O artigo está estruturado como se segue. A Seção 2 introduz os middlewares usados como base para a análise e as soluções de interoperação apresentadas na Seção 3. A Seção 4 apresenta detalhes de implementação dos protótipos desenvolvidos como prova de conceito para essas soluções. Trabalhos relacionados são discutidos na Seção 5. A Seção 6 apresenta considerações finais e levanta perspectivas de trabalho futuro.

2. Conceitos Básicos

Nesta seção são introduzidos os middlewares de grade que foram utilizados como base para a análise da abordagem de interoperação apresentada adiante no artigo.

2.1. MoGrid

O middleware MoGrid permite a organização de dispositivos móveis como uma grade móvel puramente ad hoc. Esse middleware define dois papéis principais em uma grade móvel: iniciadores e colaboradores. Iniciadores são os dispositivos responsáveis pela submissão de tarefas, e colaboradores os responsáveis pela disponibilização de recursos computacionais para execução dessas tarefas.

O MoGrid utiliza um protocolo, denominado DICHOTOMY (*DIsccovery and sCHeduling prOTocol for MobilitY*) [Gomes et al. 2007], para selecionar, durante a fase de descoberta de recursos, os colaboradores mais aptos (isto é, que ofereçam os recursos lógicos necessários e que tenham mais recursos físicos disponíveis) a serem usados por um iniciador. O protocolo DICHOTOMY se baseia no acesso sob demanda às informações contextuais dos colaboradores para efetuar essa seleção. Mais especificamente, não são usados anúncios periódicos de informações contextuais por parte dos colaboradores, como ocorre na maioria dos protocolos de descoberta de serviços [Lima et al. 2007], devido à característica altamente dinâmica dessas informações. Assim, é necessário que um iniciador requisiite explicitamente recursos da grade móvel ad hoc para execução de suas tarefas computacionais. Isso é feito por meio da difusão na rede sem fio de mensagens DICHOTOMY de descoberta de recursos. Essas requisições são respondidas pelos outros dispositivos da grade móvel ad hoc em função de sua aptidão como colaboradores.

A seleção dos colaboradores mais aptos é feita automaticamente, por meio de dois algoritmos [Lima 2007]: (i) o algoritmo DR (*Delayed Replies*), que faz com que as mensagens de resposta dos colaboradores mais aptos sejam enviadas primeiro na grade móvel ad hoc (colaboradores inaptos, ou seja, que não oferecem os recursos lógicos necessários, não respondem a mensagens de requisição); e (ii) o algoritmo SbV (*Suppression by Vicinity*), que filtra mensagens de resposta dos colaboradores menos aptos ao longo dessa grade – o protocolo DICHOTOMY não encaminha um número maior de mensagens do que o número pedido pelo iniciador – conforme elas vão sendo encaminhadas em direção ao iniciador. Desta forma as mensagens de resposta dos colaboradores menos aptos são suprimidas. Conforme demonstrado em [Gomes et al. 2007], a combinação dos dois algoritmos permite um balanceamento de carga entre os colaboradores, ao mesmo tempo que reduz a carga imposta à rede sem fio ad hoc devido ao encaminhamento das mensagens de resposta em direção ao iniciador.

A partir da descoberta e seleção dos recursos, o iniciador pode enviar tarefas para serem executadas pelos colaboradores. No MoGrid, assume-se a premissa que a formação de uma grade móvel ad hoc é baseada na colaboração entre os usuários dos dispositivos, não sendo adotado esquema algum de autenticação.²

O MoGrid prevê, a princípio, o suporte a aplicações formadas somente por tarefas independentes (ao estilo *bag-of-tasks*). O envio dessas tarefas aos colaboradores

²Em [Lima 2007] são discutidos aspectos relacionados a essa premissa, como a necessidade de adoção de mecanismos de reputação que evitem situações similares às que ocorrem em redes P2P, como a presença de *free riders*.

é viabilizado pelo protocolo BoTDP (*Bag-of-Tasks Dispatcher Protocol*) [Lima 2007]. Atualmente, o MoGrid é quase todo implementado em Java. O único módulo desse middleware, implementado em C, que é dependente de plataforma é o monitor usado na coleta de informações contextuais dos dispositivos. Esse monitor é adaptado da implementação disponível no middleware MoCA [Sacramento et al. 2004].

2.2. Globus Toolkit

O middleware Globus Toolkit (GTK) é o padrão *de facto* para grades fixas. O GTK permite que tarefas computacionais sejam submetidas a máquinas de uma grade, de acordo com os recursos disponíveis nessas máquinas e com as necessidades específicas das tarefas em questão. Para prover essas funcionalidades, o GTK disponibiliza vários serviços, sendo os mais importantes no contexto deste trabalho descritos resumidamente a seguir:

GSI (*Grid Security Infrastructure*). Provê segurança aliada à facilidade de uso, permitindo que o usuário se autentique globalmente na grade para submeter um determinado conjunto de tarefas para diferentes máquinas da mesma, sem precisar se autenticar individualmente em cada máquina (*single sign-on*).

MDS (*Monitoring and Discovery System*). Disponibiliza informações sobre recursos da grade. O MDS provê dois tipos de serviço: (i) serviço de informações locais, presente em cada máquina da grade, responsável por enviar informações sobre a máquina (sistema operacional, CPU livre, memória disponível etc.) para um serviço central; e (ii) serviço central de informações, responsável por receber e consolidar as informações enviadas pelos serviços locais de cada máquina da grade, e responder a requisições de descoberta por parte dos usuários da grade.

GRAM (*Grid Resource Allocation and Management*). Provê mecanismos de alocação de recursos e de criação e monitoração de tarefas, permitindo aos usuários acompanhar o andamento das suas tarefas durante a sua execução. O GRAM depende de um conjunto de outros serviços, cuja implementação varia de acordo com a versão do middleware GTK utilizada. Dentre esses serviços, destacam-se: (i) *file staging*, para transferência de arquivos (p.ex. executáveis, arquivos de entrada e saída) entre as máquinas da grade – em geral é usado o protocolo GridFTP para esse fim; e (ii) *file streaming*, para transmissão de fluxos de dados de entrada e saída (p.ex. *stdin*, *stdout* e *stderr*) entre tarefas, permitindo que elas possam se comunicar como em um ambiente local, mesmo que estejam sendo executadas em máquinas remotas.

O GTK oferece APIs para desenvolvimento de aplicações em grade em diversas linguagens de programação, incluindo Java, a qual foi escolhida para o desenvolvimento da solução proposta neste trabalho em função da facilidade de integração com o MoGrid. Neste trabalho, foi usada como base da implementação a versão 2.4 do GTK, que é a utilizada no ambiente de teste disponível para a nossa proposta, conforme descrito na Seção 4.

3. Requisitos de Interoperação

Várias questões podem ser levantadas no que tange a interoperação de grades móveis ad hoc com grades fixas. Por exemplo, grades móveis necessitam de padrões alternativos de controle, graças à natureza altamente dinâmica das redes sem fio ad hoc – por exemplo, dispositivos podem se mover, ou as propriedades de QoS (*Quality of Service*) do meio

sem fio podem variar em curto espaço de tempo. É necessário, portanto, compatibilizar esses padrões de controle com aqueles tradicionalmente usados para grades fixas – que, por sua vez, assumem um ambiente muito mais estável. Além disso, é importante que a responsabilidade pela interoperação seja, o quanto possível, balanceada entre diferentes dispositivos móveis com capacidade de acesso à rede fixa, de modo a evitar a sobrecarga de um dispositivo específico devido ao encaminhamento intenso de mensagens dos outros dispositivos móveis interessados em ter acesso aos recursos da grade fixa. O alto dinamismo inerente às grades móveis complica ainda mais esse aspecto.

Na solução proposta neste artigo, os dispositivos de uma grade móvel ad hoc baseada no MoGrid podem também participar como clientes no contexto de uma ou mais grades fixas baseadas no GTK. A intermediação dessa comunicação é provida por proxies, como se vê na Figura 1. Um proxy pode atender a uma grade específica (proxies P1 e P2), ou ainda a um conjunto de grades (proxy P3).

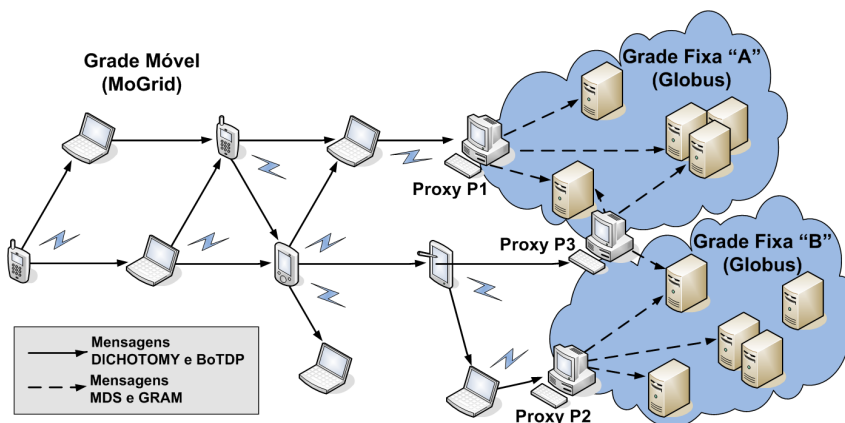


Figura 1. Interoperação de grades móveis e grades fixas com proxy.

Em um cenário típico, quando um dispositivo móvel participante de uma grade móvel ad hoc entra no raio de alcance de um proxy, este último pode passar a responder a requisições de descoberta difundidas por essa grade, como se fosse também um dispositivo móvel participante da mesma. Assim, é provida uma maior transparência aos dispositivos da grade móvel ad hoc em relação à interoperação com uma grade fixa. Essa transparência permite ainda reduzir o impacto de alterações nos protocolos e na implementação atual do MoGrid, bem como facilita futuramente a interoperação do mesmo com outros middlewares de grade fixa [Goldchleger et al. 2004]. Além disso, há uma economia maior de recursos de comunicação (e, conseqüentemente, de energia) nos dispositivos móveis, pois não é necessária uma fase prévia de sinalização entre esses dispositivos e o proxy. Em contrapartida, há a necessidade de implantação de um ponto de acesso com funcionalidade específica, o que pode limitar geograficamente os pontos em que as duas grades podem interoperar.

As subseções que se seguem tratam de requisitos específicos relativos à interoperação dos middlewares MoGrid e GTK, e apresentam em linhas gerais as soluções concebidas neste trabalho para esses requisitos. Os detalhes sobre a implementação de cada uma dessas soluções são descritos na Seção 4.

3.1. Autenticação

No MoGrid, dispositivos móveis atuando como iniciadores não precisam se autenticar para submeter suas tarefas para outros dispositivos móveis na grade móvel ad hoc. Já o GTK trabalha com um sistema de segurança forte, baseado em certificados digitais, para autorizar a submissão de tarefas pelos usuários da grade. Um sistema de autenticação deve, portanto, ser criado no proxy, com a função de controlar as submissões na grade fixa ao qual esse proxy está associado, com base em alguma credencial fornecida pelo usuário do dispositivo móvel iniciador.

A autenticação proposta neste trabalho usa um processo de desafio-resposta [Kaufman et al. 1995] distribuído entre as fases de descoberta de recursos e submissão de tarefas no lado da grade móvel ad hoc. Quando um proxy recebe uma mensagem de requisição de descoberta dessa grade (via protocolo DICHOTOMY), ele retorna uma mensagem de resposta indicando ao iniciador a necessidade de autenticação. Essa indicação é acompanhada por um desafio. O iniciador deve retornar ao proxy a resposta ao desafio através da mensagem de requisição de submissão de tarefas do protocolo BoTDP. Essa resposta ao desafio corresponde às credenciais do usuário no proxy.

3.2. Descoberta e Seleção de Recursos

No MoGrid, o protocolo DICHOTOMY é responsável por manter uma base distribuída de informações tanto sobre recursos físicos quanto lógicos presentes em cada um dos dispositivos móveis. No GTK, informações sobre esses recursos são mantidas de modo centralizado através do MDS.

A solução proposta neste trabalho é, conceitualmente, bastante simples: o proxy traduz uma mensagem DICHOTOMY de requisição em uma consulta ao MDS; da mesma forma, a resposta desse serviço é traduzida e repassada ao iniciador na grade móvel como uma mensagem DICHOTOMY de resposta. Porém, na grade fixa existe a possibilidade de um grande número de máquinas serem utilizadas como provedoras de recursos. O envio por parte do proxy de uma mensagem DICHOTOMY de resposta em separado para cada máquina disponível na grade fixa pode, portanto, ser extremamente ineficiente do ponto de vista dos recursos de comunicação utilizados na rede sem fio ad hoc. Por isso, foi feita uma alteração no protocolo DICHOTOMY para que este seja capaz de transportar, em uma única mensagem de resposta, informações contextuais consolidadas sobre múltiplas máquinas na grade fixa. Essas informações são vistas pelo iniciador como sendo providas por um mesmo colaborador, de modo que as requisições subseqüentes de submissão de tarefas nas máquinas da grade fixa, via protocolo BoTP, sejam endereçadas ao proxy, e não diretamente a essas máquinas, conforme descrito na seção que se segue.

3.3. Submissão de Tarefas

No MoGrid as tarefas são descritas como objetos Java, sendo estes serializados e submetidos através do protocolo BoTDP aos colaboradores selecionados durante a fase de descoberta. Esses objetos oferecem uma série de informações sobre a tarefa, incluindo definição de executáveis, argumentos e arquivos de entrada e saída. Da mesma forma, objetos Java são usados pelos colaboradores para devolver ao iniciador os resultados da execução das suas tarefas. O GTK, por sua vez, utiliza uma linguagem própria para descrição de tarefas, chamada RSL (*Resource Specification Language*). Essa linguagem

também oferece uma série de informações sobre a tarefa, sendo contudo mais abrangente que os objetos Java usados no MoGrid. Descrições de tarefas em RSL (bem como eventuais arquivos necessários à execução das mesmas) são enviadas às máquinas da grade através do serviço GRAM.

Na solução proposta neste trabalho, ao receber do iniciador uma mensagem BoTDP de requisição de submissão, o proxy extrai as informações do objeto Java encapsulado na requisição e constrói com base nas mesmas uma RSL que é submetida, através do serviço GRAM, para as máquinas selecionadas na grade fixa. Durante o processo de submissão pelo proxy, são criadas nessas máquinas também (p. ex. via GridFTP) as instâncias de todos os arquivos necessários para a execução das tarefas descritas na RSL. Por fim, o proxy recebe o retorno das tarefas executadas na grade fixa e o converte em objetos Java que serão retornados para o iniciador via protocolo BoTDP.

4. Implementação

Para avaliar a exequibilidade da solução proposta, foi implementado um protótipo do proxy. Esse protótipo foi concebido para ser hospedado em uma máquina configurada como um ponto de acesso sem fio, devendo esta máquina ser equipada com duas interfaces de rede – uma para a rede sem fio e outra para a rede cabeada.

O protótipo foi testado no contexto do projeto Integridade,³ que mantém uma grade fixa baseada na versão 2.4 do GTK. A API Java CoG Kit foi utilizada no desenvolvimento das funcionalidades de acesso aos serviços da grade fixa. Para testar o proxy foi utilizada uma rede experimental, composta de 4 PCs dotados de interfaces IEEE 802.11. Esses PCs atuavam somente como iniciadores, de modo que somente proxies respondiam a requisições de descoberta e de submissão de tarefas. No ambiente de testes, um desses PCs foi configurado como o proxy, sendo dotado de uma interface adicional para a rede fixa que dava acesso à grade do projeto Integridade. O proxy foi testado com duas aplicações *bag-of-tasks* desenvolvidas em Java – uma de multiplicação de matrizes e outra de simulação de redes –, usando as APIs fornecidas na implementação do MoGrid.

As subseções seguintes apresentam detalhes da implementação do proxy.

4.1. Autenticação

O mecanismo de autenticação implementado é baseado em criptografia simétrica sobre o protocolo de desafio-resposta descrito na Seção 3.1. Caso o desafio seja respondido corretamente pelo dispositivo móvel, o proxy poderá encaminhar a submissão da tarefa para as máquinas correspondentes na grade fixa, usando o certificado digital correspondente ao usuário identificado na resposta ao desafio. Na implementação atual, os certificados digitais dos usuários da grade móvel ficam armazenados em um *keystore* no próprio proxy. Isso se deve à ausência, na grade utilizada para os testes, de um serviço de gerência de credenciais, como o disponibilizado pelo MyProxy [Basney et al. 2005]. Contudo, a adaptação da implementação para esse tipo de serviço é trivial (a API Java CoGKit já oferece acesso a servidores MyProxy) e transparente para os dispositivos da grade móvel.

4.2. Descoberta e Seleção de Recursos

O uso da versão 2.4 do middleware GTK foi um complicador no desenvolvimento do mecanismo de descoberta de recursos no proxy. Na versão 4 do GTK, o MDS oferece

³<http://integridade.lncc.br/>

um serviço de descoberta que permite contemplar tanto recursos físicos quanto lógicos. Já na versão 2.4 desse middleware não é fornecido um serviço que permita a descoberta de recursos lógicos – O MDS oferece, no máximo, informação sobre sistema operacional e versão do mesmo. Assim, uma máquina na grade fixa descoberta via DICHOTOMY/MDS pode apresentar os recursos físicos necessários à execução de uma tarefa demandada por um iniciador na grade móvel ad hoc, mas na fase de submissão a máquina pode não estar habilitada a executar essa tarefa por falta de algum software específico. Por isso, foi necessário implementar no mecanismo de descoberta do proxy uma funcionalidade adicional, responsável por localizar recursos lógicos na grade. Essa funcionalidade é implementada por meio de scripts de teste que são submetidos para as máquinas da grade fixa descobertas pelo MDS, de modo similar a tarefas computacionais corriqueiras dessa grade. Esses scripts retornam para o proxy a localização de um determinado software em cada uma dessas máquinas, caso esse software esteja realmente instalado nas mesmas. Essa informação fica armazenada em um cache no proxy, sendo entregue aos iniciadores sob demanda, como parte das mensagens DICHOTOMY de resposta a requisições de descoberta. A manutenção dos scripts, na implementação atual, é de responsabilidade do administrador do proxy.

5. Trabalhos Relacionados

A integração de dispositivos móveis a grades computacionais é um tema bastante explorado recentemente na literatura. Uma estratégia bastante comum é a utilização de aplicações Web como proxies entre dispositivos móveis e grades tradicionais. Por exemplo, em [Grabowski e Lewandowski 2005] é apresentado um sistema, desenvolvido no contexto do projeto GridLab,⁴ que possibilita a dispositivos móveis que utilizem JME no perfil MIDP 1.0 (*Mobile Information Device Profile*) o acesso a diversos serviços de grade – autenticação, gerência de recursos, submissão e gerência de tarefas – implementados sobre o GTK versão 4. Esse acesso é provido por uma aplicação Web denominada MCC (*Mobile Command Center*). Essa aplicação, projetada especificamente para atender a requisições provenientes de dispositivos móveis, atua como um proxy que mapeia todos os protocolos de acesso aos serviços de grade para HTTP. Pelo fato de usar o perfil MIDP 1.0, essa abordagem apresenta como vantagem a possibilidade de uso a partir de dispositivos móveis com limitações mais estritas de recursos, como aparelhos celulares. Contudo, o uso desse perfil impede o uso de requisições seguras (p.ex. usando HTTPS).

Outra estratégia frequentemente adotada – e similar em alguns aspectos à nossa proposta – é o uso de proxies que permitem que dispositivos móveis tenham acesso a uma grade fixa por meio de protocolos desenvolvidos especificamente para esse propósito. Em [Pinto et al. 2007], são propostos mecanismos de escalonamento adaptativo de tarefas no proxy. Esse trabalho inclui o desenvolvimento de uma aplicação JME para dispositivos móveis que permite gerenciar esse escalonamento. Já em [Silva et al. 2007] o foco é no tratamento de desconexões entre os dispositivos móveis que fazem uso dos serviços de grade implementados sobre o middleware Integrate [Goldchleger et al. 2004]. Esse trabalho se baseia em *caching* para que, no caso do dispositivo móvel apresentar conectividade intermitente, este possa receber o retorno da execução de suas tarefas em um momento futuro. Contudo, esse trabalho não contempla o tratamento de questões relacionadas à segurança em grades, como autenticação.

⁴<http://www.gridlab.org>

Todas as estratégias supracitadas se baseiam no padrão arquitetural cliente/proxy/servidor. O trabalho apresentado em [Bruneo et al. 2003] propõe uma abordagem diferente, baseada em agentes móveis. Nessa arquitetura, quando um dispositivo móvel se desloca entre duas áreas de cobertura relacionadas a dois pontos de acesso distintos (p.ex. em uma configuração de rede celular), um agente associado a esse dispositivo na rede fixa o acompanha, migrando do ponto de acesso anterior para o atual. Essa configuração é similar, em certos aspectos, à arquitetura de proxy proposta neste trabalho, com a diferença que, em nossa arquitetura, o agente hospedado no ponto de acesso é fixo. Contudo, em [Bruneo et al. 2003] é apresentado somente um modelo analítico do problema, para fins de comparação com outros padrões arquiteturais, sem mencionar aspectos relacionados à implementação.

Por fim, vale reiterar que as abordagens discutidas acima focam na integração de dispositivos móveis a grades fixas, utilizando tipicamente redes sem fio infra-estruturadas para esse fim. Ao contrário da abordagem proposta neste artigo, nenhum desses trabalhos dá suporte explícito à interoperação de grades móveis ad hoc com grades fixas.

6. Conclusões

Através de um proxy de acesso a uma grade fixa, um dispositivo móvel se depara com uma quantidade de recursos muito maior e muito mais estável, quando comparada à sua própria, viabilizando a execução de aplicações que exigem maior capacidade computacional. Em contraste com as demais abordagens encontradas na literatura, tipicamente focadas na integração de dispositivos móveis a grades fixas através de redes infra-estruturadas, este artigo propôs uma abordagem baseada em proxies em que protocolos e mecanismos especificamente desenvolvidos para grades móveis ad hoc são usados pelos dispositivos móveis para ter acesso a uma grade fixa. Vários desafios na interoperação de grades móveis com grades fixas relacionados à segurança, à descoberta e seleção de recursos, e à submissão de tarefas foram levantados e discutidos, e algumas propostas para abordar esses desafios foram apresentadas.

Ao passo que a interoperação dessas grades traz desafios, também traz várias oportunidades. Há alguns pontos em particular que pretende-se explorar como trabalhos futuros. Um deles é investigar a possibilidade de dispositivos móveis atuarem também como provedores de recursos, o que traz implicações quanto à QoS fornecida por esses dispositivos e à confidencialidade dos dados submetidos para processamento nos mesmos, entre outras. Outro ponto é possibilitar a submissão de tarefas com interdependências (*workflows*) a partir dos dispositivos móveis. No contexto das grades móveis, tais tarefas são extremamente complexas de serem geridas por causa do alto dinamismo dessas grades.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao pesquisador Bruno Schulze (schulze@lncc.br) por disponibilizar acesso à grade do projeto Integridade. Este trabalho foi financiado pelos órgãos de fomento FAPERJ, CAPES e CNPq, e pelo MCT.

Referências

Basney, J., Humphrey, M., e Welch, V. (2005). The MyProxy online credential repository. *Software: Practice and Experience*, 35(9):801–816.

- BBN Technologies (2007). Press release: BBN technologies awarded 10.8 million in defense funding to design and develop huge, scalable, adaptable, wireless network.
- Berman, F., Fox, G., e Hey, A. J. G. (2003). *Grid Computing: Making the Global Infrastructure a Reality*. John Wiley & Sons, Inc., New York, NY, USA.
- Bruneo, D., Scarpa, M., Zaia, A., e Puliafito, A. (2003). Communication paradigms for mobile grid users. In *Proc. 3rd CCGrid*, Washington, DC, USA. IEEE CompSoc.
- Denning, P. J. (2006). Hastily formed networks. *Comm. ACM*, 49(4):15–20.
- Foster, I. e Kesselman, C. (1997). Globus: A metacomputing infrastructure toolkit. *Int'l Journal of Supercomputer Appl. and High Performance Computing*, 11(2):115–128.
- Goldchleger, A., Kon, F., Goldman, A., Finger, M., e Bezerra, G. C. (2004). Integrate: Object-oriented grid middleware leveraging idle computing power of desktop machines. *Concurrency and Computation: Practice and Experience*, 16(5):449–459.
- Gomes, A. T. A., Ziviani, A., Lima, L. S., e Endler, M. (2007). DICHOTOMY: A resource discovery and scheduling protocol for multihop ad hoc mobile grids. In *Proc. 1st WCAMG*, págs. 719–724, Washington, DC, USA. IEEE CompSoc.
- Grabowski, P. e Lewandowski, B. (2005). Access from J2ME-enabled mobile devices to grid services. Technical report, The GridLab Project.
- Kaufman, C., Perlman, R., e Speciner, M. (1995). *Network security: private communication in a public world*. Prentice-Hall, Inc., Upper Saddle River, NJ, USA.
- Lima, L. S. (2007). *Um Protocolo para Descoberta e Seleção de Recursos em Grades Móveis Ad hoc*. Tese de Doutorado, PUC-Rio.
- Lima, L. S., Gomes, A. T. A., Ziviani, A., e Endler, M. (2007). Descoberta de serviços em redes de computadores. In Abelém, A. J. G., Costa, J. C. W. A., Rodriguez, N. R., e Reis, R. Q., eds. *Minicursos XXV SBRC*, Cap. 3, págs. 113–162. UFPA, Belém, PA.
- Lima, L. S., Gomes, A. T. A., Ziviani, A., Endler, M., Soares, L. F. G., e Schulze, B. R. (2005). Peer-to-peer resource discovery in mobile grids. In *Proc. 3rd MGC*, Washington, DC, USA. IEEE CompSoc.
- Marinescu, D., Marinescu, G. M., Yongchang, J., Boloni, L., e Siegel, H. J. (2003). Ad hoc grids: communication and computing in a power constrained environment. In *Proc. 6th IPCCC*, págs. 113–122, Washington, DC, USA. IEEE CompSoc.
- McKnight, L. W., Howison, J., e Bradner, S. (2004). Guest editorial: Wireless grids—distribute resource sharing by mobile, nomadic, and fixed devices. *IEEE Internet Computing*, 8(4):24–31.
- Pinto, A. R., Caetano, M., Dantas, M. A. R., e Bordin, J. L. (2007). Uma abordagem para integração de dispositivos móveis com agregados de computadores. In *Proc. 1st WPUC*, Porto Alegre, RS. SBC.
- Sacramento, V., Endler, M., Rubinsztejn, H. K., Lima, L. S., Goncalves, K., Nascimento, F. N., e Bueno, G. A. (2004). MoCA: A middleware for developing collaborative applications for mobile users. *IEEE Distributed Systems Online*, 5(10).
- Silva, F. J. S., Gomes, D. S., e Endler, M. (2007). Integrando dispositivos móveis ao middleware Integrate. In *Proc. 1st WPUC*, Porto Alegre, RS. SBC.