

7 Conclusão

Esta tese apresentou aspectos em torno do gerenciamento de recursos fim-a-fim, que comumente são intrínsecos às arquiteturas de provisão de QoS e voltados para cenários específicos. Discutiu-se toda uma motivação para que esse subsistema seja desacoplado dessas arquiteturas, para atender aos cenários heterogêneos. Nesse contexto, a uniformização do acesso aos recursos representou um ponto-chave para a solução do problema, ao oferecer abstrações independentes de plataforma e que possam representar não somente um recurso qualquer, mas também a própria distribuição de recursos. Considerou-se, ainda, a evolução contínua das aplicações, que gera demanda por mecanismos adaptáveis, e a participação de múltiplos atores, que requer ambientes colaborativos de configuração e manutenção de recursos.

Com base na discussão apresentada, foi então proposta a técnica de gerenciamento de recursos com suporte a QoS fim-a-fim denominada MDRM (*Model-driven resource management*), inspirada nos processos e conceitos de MDSO (desenvolvimento de software dirigido por modelos). Particularmente, MDRM inclui a especificação de um meta modelo próprio, denominado Árvores de Recursos Virtuais (VRT), responsável por oferecer as abstrações necessárias para o preenchimento dos requisitos de uniformização, interoperabilidade, adaptabilidade e colaboração na construção de modelos de gerenciamento de recursos. Em MDRM, os modelos de gerenciamento de recursos são instâncias do meta modelo e são especificados por meio de uma linguagem de domínio específico (DSL), chamada Pan. Pan é capaz de expressar o formalismo de VRT em código independente de plataforma, oferecendo uma notação de fácil assimilação pelos atores possivelmente presentes em ambientes distribuídos. MDRM considera, ainda, o projeto de ambientes de modelagem compostos por ferramentas que auxiliam os processos de validação, transformação e implantação de modelos de gerenciamento de recursos. Os construtos da linguagem Pan permitem que as mesmas ferramentas sejam também usadas na manutenção de

modelos já instanciados, de forma que ações de adaptação possam ser prontamente refletidas nas plataformas envolvidas. Um framework para suporte a MDRM em sistemas operacionais de propósito geral, denominado VRT-FS, foi também apresentado, no intuito de exemplificar como os conceitos do meta modelo VRT devem ser espelhados internamente nas plataformas-alvo. Essa prova de conceito foi, finalmente, aplicada ao sistema Linux, com a implementação de toda a adaptabilidade provida por VRT-FS.

7.1. Contribuições da Tese

As seguintes contribuições deste trabalho podem ser salientadas:

- Formulação de uma técnica de gerenciamento colaborativo de recursos fim-a-fim, independente de plataformas, baseada no desenvolvimento de modelos;
- Especificação de um meta modelo para o gerenciamento de recursos fim-a-fim, com abstrações que uniformizam a heterogeneidade e a distribuição dos recursos;
- Especificação de uma linguagem de domínio específico para a descrição de instâncias do meta modelo de gerenciamento de recursos proposto;
- Especificação de regras de validação de modelos de gerenciamento de recursos construídos por meio da linguagem proposta;
- Proposta de uma arquitetura para ambientes de desenvolvimento de modelos de gerenciamento de recursos baseados na linguagem proposta;
- Construção de um framework para a infra-estrutura de suporte ao meta modelo proposto, voltado a sistemas operacionais de propósito geral;
- Implementação dos aspectos de adaptabilidade do framework para infra-estrutura proposto em sistema operacional Linux.

Formulação de uma técnica de gerenciamento colaborativo de recursos fim-a-fim, independente de plataformas, baseada no desenvolvimento de modelos

A formulação da técnica MDRM, por inteiro, é a maior contribuição deste trabalho. Ao dirigir todo o processo de desenvolvimento sobre modelos, atingiu-se a independência de plataforma requerida em ambientes distribuídos,

caracterizados pela heterogeneidade de recursos e plataformas. Os quatro objetivos principais foram alcançados, uma vez que MDRM i) possui a generalidade necessária para incluir recursos heterogêneos distribuídos nos modelos de gerenciamento de recursos; ii) permite que a construção e manutenção dos modelos de gerenciamento de recursos se tornem um trabalho colaborativo entre os diferentes atores presentes no ambiente; iii) garante a portabilidade e interoperabilidade por meio da independência de plataforma no desenvolvimento dos modelos e iv) permite a adaptabilidade dos modelos, tanto no projeto quanto depois de instanciados nas plataformas-alvo.

Especificação de um meta modelo para o gerenciamento de recursos fim-a-fim, com abstrações que uniformizam a heterogeneidade e distribuição dos recursos;

O meta modelo denominado “Árvores de Recursos Virtuais” oferece as abstrações necessárias para a uniformização do gerenciamento de recursos e permite a adaptabilidade necessária de suas instâncias por meio da separação de certos interesses envolvidos no problema e oferecendo operações de manutenção das instâncias.

Especificação de uma linguagem de domínio específico para a descrição de instâncias do meta modelo de gerenciamento de recursos proposto;

A linguagem Pan é uma linguagem de aplicação XML especificamente voltada para a criação de modelos baseado no meta modelo de Árvores de Recursos Virtuais. Ela aproxima seus construtos do campo de conhecimento dos atores envolvidos, devido, principalmente, às abstrações de alto nível que recursos podem assumir.

Especificação de regras de validação de modelos de gerenciamento de recursos construídos por meio da linguagem proposta;

A linguagem Pan se cerca de restrições descritas em *XML Schema* e *ISO Schematron* que permitem que os modelos sejam validados antes de implantados, favorecendo o processo de desenvolvimento e atingindo o formalismo necessário para que as transformações modelo-para-modelo e modelo-para-código sejam bem sucedidas.

Proposta de uma arquitetura para ambientes de desenvolvimento de modelos de gerenciamento de recursos baseados na linguagem proposta;

Com MDRM, toda uma cadeia de desenvolvimento de modelos pode ser especificada, o que inclui uma ferramenta de autoria com facilidades para complemento de código e com os primeiros passos rumo a uma linguagem gráfica voltada para a construção de modelos baseados em VRT.

Construção de um framework para a infra-estrutura de suporte ao meta modelo proposto, voltado a sistemas operacionais de propósito geral;

Um framework para instâncias de VRT também foi desenvolvido, baseado em um sistema de arquivos especial, denominado VRT-FS. VRT-FS captura todas as funcionalidades e características do modelo VRT e as mapeia sobre uma estrutura de arquivos, diretórios e elos, descrevendo o comportamento esperado do sistema frente às interações com tais elementos.

Implementação dos aspectos de adaptabilidade do framework para infra-estrutura proposto em sistema operacional Linux.

Uma instância dos mecanismos de adaptabilidade de VRT-FS sobre o núcleo Linux foi implementada, onde se discutiu todas as dificuldades encontradas na implementação do suporte ao meta modelo VRT em plataformas que gerenciam recursos reais.

7.2. Trabalhos Futuros

O presente trabalho abriu possibilidades de aprofundamento nos seguintes assuntos, passíveis de exploração em trabalhos futuros:

- Inclusão no meta modelo proposto de outros aspectos relevantes no gerenciamento de recursos fim-a-fim;
- Modularização da linguagem de domínio específico proposta;
- Especificação de uma linguagem gráfica de domínio específico para o meta modelo proposto;
- Especificação de linguagens de domínio específico para os subdomínios já delimitados;
- Inclusão de novos subdomínios à cadeia de modelagem;

- Integração da cadeia de modelagem a sistemas automatizados;
- Implementação dos aspectos de escalonamento de recursos no protótipo VRT-FS Linux.

Inclusão no meta modelo proposto de outros aspectos relevantes no gerenciamento de recursos fim-a-fim;

Alguns aspectos que podem influenciar o gerenciamento de recursos fim-a-fim ainda não estão contemplados no meta modelo VRT. Por exemplo, não são tratados os problemas relacionados à economia de energia nos dispositivos envolvidos, nem os mecanismos para tarifação da qualidade de serviço.

Modularização da linguagem de domínio específico proposta;

A linguagem Pan, da forma como está especificada, corresponde a um único conjunto de construtos a serem disponibilizados, independente do tipo de cenário envolvido ou mesmo do tipo de documento sendo especificado. Uma modularização da linguagem definiria um conjunto de áreas funcionais que somente seriam utilizadas se houvesse demanda. Os resultados prováveis são implementações mais enxutas de validadores, menos erros na construção de modelos e maior adequação aos cenários.

Especificação de uma linguagem gráfica de domínio específico para o meta modelo proposto;

Os primeiros passos para a definição de uma linguagem gráfica que substitua Pan (ou que a oculte dos usuários mais leigos) foram dados com a prototipação do ambiente de desenvolvimento pertencente à cadeia de modelagem de MDRM. O protótipo, porém, está ainda aquém de uma proposta formal e deverá ser alvo de futuros esforços.

Especificação de linguagens de domínio específico para os subdomínios já delimitados;

Os subdomínios já identificados em MDRM são os de desenvolvimento de estratégias de escalonamento e de estratégias de admissão. Eles foram deixados propositalmente como áreas ainda em aberto em MDRM. Acredita-se que técnicas

de desenvolvimento dirigido por modelos também podem ser aplicadas nesses casos, levando à especificação de novas linguagens de domínio específico.

Inclusão de novos subdomínios à cadeia de modelagem;

Um estudo é necessário para verificar a viabilidade de separação de mais alguns subdomínios que ocorrem em MDRM. Ficou clara a complexidade da especificação, na linguagem Pan, de categorias de serviços, regras de classificação e de controle de acesso. Pode-se mostrar apropriado o tratamento desses aspectos e outros que venham a surgir como subdomínios. Um estudo nessa direção merece ser realizado.

Integração da cadeia de modelagem a sistemas automatizados;

Ao basear a descrição de modelos em XML, MDRM se candidata a integração com mecanismos automatizados de controle de ambientes distribuídos, como *self-healing*, topologias virtuais, entre outros. No caso de topologias virtuais, as abstrações de recursos em múltiplos níveis de VRT se mostram bem alinhadas aos seus conceitos.

Implementação dos aspectos de escalonamento de recursos no protótipo VRT-FS Linux.

A instanciação do framework VRT-FS no núcleo Linux abordou todos os aspectos relacionados à adaptabilidade demanda pelo meta modelo VRT, em detrimento da integração das estratégias de escalonamento com os escalonadores de recursos. Vários problemas vieram à tona, como os múltiplos pontos de entrada do escalonador de processos, algumas condições de corrida e questões de desempenho. Esse é um longo trabalho, mas com grande interesse em ser continuado.