

8 Conclusões

As abordagens baseadas em leis vêm ganhando uma importância crescente na comunidade de sistemas multi-agentes. Elas fornecem abstrações que permitem a modelagem e a decomposição do problema que são adequadas a domínios de problemas onde existe a necessidade de impor algum grau de controle sobre a autonomia dos agentes.

Por outro lado, a sociedade depende cada vez mais de sistemas que estão conectados entre si e que precisam se comportar de acordo com regras muito bem definidas. Pode-se considerar que cada um destes subsistemas é um agente de software que interage com os outros agentes para prover as várias funcionalidades dos sistemas. A medida que a dependência aumenta, aumenta também a necessidade de que estes sistemas sejam construídos de tal forma que possamos confiar que eles irão funcionar com os níveis especificados de segurança, confiabilidade e desempenho, dentre outros atributos.

Nesta tese, apresenta-se a idéia de utilizar leis de interação para especificar, monitorar e eventualmente implementar soluções relacionadas com fidedignidade. Ou seja, incorpora-se em uma abordagem de governança uma nova dimensão ou aspecto que ainda não havia sido explorada. Esta união é adequada uma vez que se reutiliza as abstrações fornecidas nas abordagens de leis e que permitem a especificação de várias situações complexas encontradas em sistemas interativos. A incorporação dos aspectos de fidedignidade foi realizada utilizando os próprios elementos de lei do modelo conceitual. Além do aspecto relacionado a expressividade, a grande maioria das abordagens de leis impõe alguma forma de controle, seja através de mediadores ou auto-regulamentação (Chopinaud, El Fallah Seghrouchni et al. 2006). Esta estrutura, também pode ser reutilizada para monitorar e coletar informações durante a execução do sistema com fins de fidedignidade.

O principal problema abordado neste trabalho foi a falta de garantia que o resultado observável resultante da interação entre os agentes de um sistema multi-

agente aberto ocorra de acordo com o especificado e que o projetista do sistema possua ferramentas para lidar com atributos de fidedignidade. Mais especificamente, foram propostos instrumentos de governança que os projetistas especifiquem e implementem sistemas multi-agentes abertos levando em consideração com preocupações de fidedignidade. Estes mecanismos consideram que os detalhes da arquitetura e a implementação dos agentes são inacessíveis; (ii) os agentes interagem através de troca de mensagens; (iii) é possível especificar quais são as interações e comportamentos esperados do sistema a priori.

A definição tradicional de falha encontrada na literatura e adotada neste trabalho considera uma falha como o fato do sistema não apresentar o comportamento esperado de acordo com a sua especificação. Entretanto, em sistemas multi-agentes, os agentes podem agir deliberadamente para descumprir uma determinada especificação, uma obrigação por exemplo. Desta forma, uma questão em aberto é como considerar esta situação. Deve-se considerar isto uma falha ou encontrar uma nova maneira de lidar com este ato deliberado? A resposta a esta pergunta possui uma relação direta com a abordagem proposta, visto que atualmente, o XMLaw considera este ato deliberado como uma falha.

8.1. Resultados

O principal resultado obtido com esta tese foi a experimentação com a incorporação da dimensão de fidedignidade em uma abordagem de leis. Para atingir este resultado, vários resultados intermediários também foram produzidos, dentre os quais é possível destacar:

- Revisão e especificação do modelo conceitual – o modelo conceitual do XMLaw foi criado pela primeira vez nos trabalhos realizados em (Paes 2005; Paes, Carvalho et al. 2005). Nesta tese, a maioria dos elementos originais foram revistos tanto em termos de estrutura quanto em termos do ciclo de vida. Além disso, novos eventos foram adicionados (*agent_unavailable*, *message_compliant* ...). Também é contribuição desta tese o detalhamento do modelo de eventos, além da estrutura de descrição dos elementos do modelo.
- Nova linguagem para especificação das leis – o modelo conceitual era representado em uma linguagem baseada em XML. Embora

ainda seja possível utilizar esta linguagem, foi proposta uma nova linguagem de representação. A nova linguagem permite uma especificação de lei de forma mais compacta.

- Comparação detalhada do modelo conceitual em relação as outras abordagens – foi realizado um estudo comparativo detalhado do modelo conceitual do XMLaw com as abordagens LGI e Instituições Eletrônicas. Este estudo permite, por exemplo, auxiliar na tomada de decisão sobre qual tecnologia escolher no momento de implementar as leis. Além disso, mostrou-se a linha de raciocínio de como uma lei implementada em XMLaw pode ser mapeada para LGI.
- Experimentação através de estudos de caso – ao todo esta tese apresenta cinco estudos de caso, sendo quatro deles pequenos e um mais detalhado. A implementação dos estudos de caso podem ser consideradas como um dos resultados desta tese. Além disso, a descrição do estudo de caso apresentado na Seção 7, pode ser utilizado também por outras abordagens de implementação de leis.
- Publicações – os resultados parciais gerados durante o desenvolvimento deste trabalho foram publicados em uma série de eventos nacionais e internacionais, dentre eles alguns eventos classificados como ‘A’ pela CAPES. Segue a lista de publicações: (Carvalho, Paes et al. 2004; Machado, Carvalho et al. 2004; Paes, Almeida et al. 2004; Paes, Carvalho et al. 2004; Carvalho, Paes et al. 2005; Carvalho, Paes et al. 2005; Carvalho, Paes et al. 2005; Felicíssimo, Lucena et al. 2005; Paes 2005; Paes, Carvalho et al. 2005; Paes, Lucena et al. 2005; Rodrigues, Carvalho et al. 2005; Carvalho, Almeida et al. 2006; Carvalho, Brandão et al. 2006; Carvalho, Lucena et al. 2006; Gatti, Carvalho et al. 2006; Gatti, Carvalho et al. 2006; Gatti, Paes et al. 2006; Paes, Gatti et al. 2006; Carvalho 2007; Carvalho, Choren et al. 2007; Paes, Carvalho et al. 2007; Paes, Lucena et al. 2007; Paes, Lucena et al. 2007)

8.2.Limitações

O trabalho proposto possui as seguintes limitações que poderiam ser abordadas em trabalhos futuros:

- O monitoramento e *enforcement* realizado pelo M-Law é feito de forma centralizada – esta característica introduz um único ponto de falha no sistema e pode ser um ponto de gargalo no sistema em termos de escalabilidade. Várias soluções poderiam ser dadas a este problema tal como a adoção do *enforcement* totalmente descentralizado como feito em (Minsky 2005) ou híbrida como proposto em (Ansari 2006). Entretanto cada uma possui vantagens e desvantagens. Em relação a descentralização, por exemplo, não seria possível especificar leis de um ponto de vista global sem a introdução de um mecanismo de sincronização entre os estados dos mediadores descentralizados. Em termos de escalabilidade, uma solução seria manter o *enforcement* centralizado, mas utilizar um *pool* de mediadores que funcionariam como balanceamento de carga.
- Ausência de um modelo formal do modelo conceitual – um modelo formal do modelo conceitual permitiria a realização de verificações estruturais e até mesmo semânticas da especificação de uma lei (Carvalho, Brandão et al. 2006). Um complicador para a geração deste modelo formal de todos os elementos do XMLaw são os elementos que envolvem código externo, como a Action e a Constraint. A dificuldade é que estes elementos possuem a semântica dependente do código Java que os implementa.

8.3.Trabalhos Futuros

Durante a evolução deste trabalho, foram levantadas várias discussões sobre direcionamento de trabalhos futuros. Nesta seção, resumem-se algumas destes direcionamentos com o intuito de documentar linhas de evolução que certamente agregariam valor a área de pesquisa desta tese.

8.3.1. Agentes Deliberativos Normativos

Uma importante característica dos agentes é que eles podem reagir a ambientes mudam freqüentemente. Entretanto, se os protocolos que os agentes usam para reagir às mudanças no ambiente são fixos, os agentes não têm como reagir a mudanças não previstas. Por exemplo, se um agente percebe que outro agente está trapaceando, ele não conseguiria mudar as suas reações para se proteger. Em algumas situações é adequado permitir a violação inteligente das leis. Ou seja, os agentes são capazes de automaticamente interpretar as leis e identificar, de acordo com o contexto, qual a ação ele deve executar (Castelfranchi, Dignum et al. 1999; Boella and van der Torre 2003; Kollingbaum and Norman 2003).

8.3.2. Verificação Formal

Na medida em que a complexidade da lei aumenta, aumentam também as chances de se especificar uma lei de forma incorreta. A verificação formal das leis permitirá, em tempo de especificação, a identificação de inconsistências nas leis. Além disso, a especificação formal também pode ser utilizada como base de um mecanismo de *reasoning* de agentes deliberativos normativos. Um exemplo de formalização de leis pode ser visto em (Esteva, Rodriguez et al. 2001).

8.3.3. Geração de Código dos Agentes

As leis descrevem o comportamento esperado dos agentes sob o ponto de vista de interação. Assim, é possível a partir da especificação das leis, gerar parte do código do agente que irá interagir. O código gerado deverá conter métodos parcialmente implementados que serão preenchidos com as particularidades de implementação de cada agente. A geração automática diminuiria os erros de codificação dos agentes e aceleraria o tempo de desenvolvimento de novos agentes.

8.3.4. Introdução Explícita de Elementos de Fidedignidade

Nesta tese, as preocupações de fidedignidade foram tratadas com as abstrações disponíveis no modelo de leis. Entretanto, pode-se pensar em tornar mais explícita a noção de fidedignidade através da introdução de novos elementos no modelo conceitual. Por exemplo, ao se falar de *backward recovery* poderia-se introduzir elementos tais como *checkpoints* e *recovery blocks* (Randell and Xu

1995). O mesmo poderia ser aplicado para o gerenciamento de exceções, por exemplo, alguns eventos poderiam ser do tipo exceção, poderiam existir *actions* identificadas explicitamente como *exception handlers*, ou ainda uma definição explícita de contextos para as exceções.

8.3.5. Mediadores Distribuídos

A implementação atual do mediador do XMLaw utiliza um mediador centralizado. Em muitos sistemas, esta centralização pode não ser adequada. Existem várias alternativas para descentralizar a mediação, dentre elas a utilização de um conjunto de mediadores que balanceiam a carga ou a mediação totalmente descentralizada conforme proposto em (Minsky and Ungureanu 2000). Em relação ao XMLaw, foi realizado um estudo inicial (Ansari 2006), mas o trabalho não foi totalmente concluído.

8.3.6. Integração com Tecnologias de Arquitetura Orientada a Serviços

Nota-se uma forte tendência das grandes corporações na adoção de estratégias de gerenciamento da área de TI em função dos serviços que ela fornece. Dentre estas práticas, existem práticas gerenciais (Commerce 2007), arquiteturas (Papazoglou and Georgakopoulos 2003) e tecnologias de implementação (Erl 2004). A idéia de se utilizar as abstrações de agentes para representar os serviços já foi proposta anteriormente em (Singh and Huhns 2005). Logo, como um forma de transferência de tecnologia, as abordagens de leis poderiam utilizar as tecnologias de implementação de arquitetura orientada a serviços, tais como os Webservices.

8.3.7. Condução de Experimentos Através de Mutantes

Os agentes utilizados para a implementação dos estudos de caso desta tese foram programados para se comportar exatamente da forma desejada. Ou seja, em algumas situações desejava-se que eles exibissem um comportamento correto e assim o agente era programado, e em outras situações desejava-se que eles descumprissem as leis. Entretanto, em um sistema real, muitas vezes o comportamento do sistema como um todo emerge de uma seqüência não prevista de interações. Desta forma, seria bastante útil estudar como aplicar mutantes na construção de agentes para simular comportamentos não previstos a priori. A

técnica de mutantes fornece, basicamente, uma forma sistemática de geração de casos de teste e de avaliação de quão adequado é um conjunto de testes (Vincenzi, Simão et al. 2006).