

6 Conclusão e Trabalhos Futuros

Sistemas multi-agentes abertos são normalmente compostos por agentes heterogêneos, desenvolvidos por equipes diferentes e que usualmente possuem interesses individuais e antagônicos. Esses agentes podem apresentar comportamentos imprevisíveis e diferentes entre si. Portanto, sistemas multi-agentes requerem um mecanismo para tratar a heterogeneidade, a diversidade de interesses e o comportamento emergente dos agentes participantes.

Este trabalho apresentou um mecanismo de governança baseado em testemunhos capaz de regular não só a troca de mensagens entre os agentes, mas também de regular outras ações executadas pelos agentes não relacionadas à troca de mensagens, como por exemplo: O acesso a recursos do ambiente, o desempenho de um papel por um agente ou as trocas de ambiente ou de organizações que um agente pode executar.

Este trabalho assume que (i) agentes podem violar normas, (ii) o estado interno dos agentes não é observável nem controlável, (iii) é impossível prever todas as ações de um agente para poder impedir as violações de normas e (iv) o mecanismo de governança não é capaz de perceber todas as violações de normas [44] já que apenas agentes que são afetados pelas violações podem percebê-las. Na abordagem proposta neste trabalho, os agentes, ao perceberem violações de normas, podem enviar testemunhos ao sub-sistema de julgamento proposto neste trabalho. O objetivo deste sub-sistema é julgar os testemunhos, tentando diferenciar testemunhos verdadeiros dos testemunhos falsos e prover um veredicto de acordo com esse julgamento.

Foi apresentado também um *framework* que oferece uma infra-estrutura de software que tem como objetivo auxiliar o desenvolvimento de sistemas multi-agentes que utilizem o mecanismo de governança proposto neste trabalho. O *framework* implementa um processo de julgamento genérico, que deve ser estendido para implementar as etapas específicas (i.e. dependentes da aplicação) do julgamento dos testemunhos em relação as normas da aplicação, além de um mecanismo de detecção de violação de normas. Sendo assim, as principais contribuições deste trabalho são:

- Um mecanismo de governança baseado em testemunhos.

- Um processo de julgamento de testemunhos e de depoimentos fornecidos pelos agentes da aplicação
- Um *framework* que fornece infra-estrutura de software necessária ao processo de julgamento.

6.1

Principais Vantagens da Abordagem Proposta

As principais vantagens do mecanismo proposto são:

(i) ele não interfere na privacidade dos agentes (confidencialidade das informações contidas nas mensagens trocadas entre os agentes). Uma das desvantagens mostradas nos trabalhos relacionados é que alguns dos mecanismos apresentados regulam o comportamento dos agentes através da interceptação das mensagens trocadas entre eles. Essa estratégia afeta diretamente a confidencialidade dessas mensagens já que toda mensagem trocada deve ser inspecionada (não apenas sua estrutura, performativa e conformidade em relação ao protocolo em que está inserida, mas também seu conteúdo), a fim de ser ou não autorizada.

(ii) ele pode ser utilizado para regular não apenas as interações entre os agentes, mas também a execução de diferentes ações, como o acesso a recursos, por exemplo. O objetivo do mecanismo de governança proposto neste trabalho é regular não apenas mensagens trocadas entre os agentes de uma aplicação, mas também as demais ações que eles possam executar. Alguns dos trabalhos relacionados apresentados, além de regular mensagens públicas, regulam também ações visíveis sob o ponto de vista de uma instituição (sistema). Porém, existem ações que podem ser executadas por um agente que só serão notadas pelo próprio agente que as executa ou por agentes que sofrem influência de suas conseqüências. Isso faz com que certos comportamentos dos agentes não sejam regulados pelas abordagens apresentadas nesses trabalhos. A abordagem apresentada neste trabalho permite que agentes que percebam as conseqüências das execuções de tais ações enviem seus testemunhos, fazendo com que tal comportamento possa ser regulado.

(iii) ele não assume que o sistema de governança irá executar toda a tarefa de detectar a violações de normas, já que são os agentes que percebem essas violações. Essa característica faz do mecanismo de governança proposto um mecanismo escalável na medida em que cada agente da aplicação, e não um único componente apenas, seja responsável pela detecção das violações.

6.2

Principais Desvantagens da Abordagem Proposta

Embora acreditando que as vantagens do mecanismo proposto são importantes, ele apresenta alguns pontos fracos: (i) pode ser difícil concluir se um testemunho é verdadeiro ou falso, e conseqüentemente, prover um bom veredicto, (ii) podem existir violações que não são testemunhadas pelos agentes da aplicação e (iii) os agentes da aplicação devem ser implementados de forma que sejam capazes de testemunhar.

Para resolver o problema (i), foi proposta a utilização da reputação dos agentes em conjunto com *subjective logic* para a obtenção de um veredicto. A reputação e *Subjective Logic* são utilizados como fontes de probabilidade de um agente estar enviando um testemunho / depoimento verdadeiro. Com a utilização de *subjective logic* é possível combinar as diferentes opiniões dos agentes sobre um fato, considerando suas reputações, com o objetivo de determinar um veredicto.

É importante considerar o problema apontado no item (ii), pois as violações que não são testemunhadas podem levar o sistema a um estado indesejável, já que estas violações não são punidas. Na Hipótese IV enfatizamos que cada norma deve ser definida de forma que existam pelo menos dois agentes diferentes relacionados a ela; o agente que está sendo regulado pela norma e o agente capaz de testemunhar sua violação. Ainda assim, este segundo agente pode não testemunhar. Para resolver esse problema, foi proposto na Hipótese VI o uso do agente *Police*. O mecanismo de governança pode fazer uso de agentes do tipo *Police* preocupados em detectar violações de normas específicas. Uma outra forma de contornar essa questão é motivar os agentes a enviarem testemunhos através, por exemplo, de um programa de recompensa.

Para minimizar o problema apontado no item (iii), o *framework* de julgamento dispõe de um mecanismo capaz de realizar a tarefa de detecção de violação de normas. Para isso, os agentes da aplicação devem estender *ApplicationAgent* (uma classe disponível no *framework* de julgamento). Assim, por herança, um agente da aplicação adquire a capacidade de detectar a violação de normas. Entretanto, apesar de permitir a verificação de diferentes tipos de normas para diferentes domínios, este mecanismo de verificação apresenta algumas limitações, como mostradas na seção 4.4.

6.3 Considerações no Uso da Abordagem

Existe um conjunto de condições e características que devem ser observadas na escolha pela utilização da abordagem proposta neste trabalho. Essa abordagem deve ser utilizada: (i) em contextos onde a prevenção de violações de normas não seja obrigatória, (ii) em contextos onde a governança deva ser aplicada sobre outros aspectos além da interação entre os agentes e execução de ações visíveis, (iii) em contextos onde a privacidade dos agentes é considerada importante e (iv) em contextos onde o monitoramento irrestrito e constante do ambiente afete a performance da aplicação.

6.4 Trabalhos Futuros

Nesta seção propomos alguns trabalhos futuros que seriam úteis para resolver algumas questões que ficaram em aberto nesta dissertação.

- **Formalização da definição das normas:** Atualmente a declaração das normas é feita de forma implícita, tanto no código dos agentes da aplicação quanto no código dos processos de julgamento. Esse aspecto dificulta a evolução das aplicações, uma vez que qualquer modificação na especificação das normas implica na recodificação e redistribuição dos agentes e da aplicação. Para tornar essa declaração explícita é preciso formalizar a definição das normas. Existem alguns trabalhos propostos na literatura que descrevem e definem os tipos de normas que os agentes devem lidar, além de descreverem também a forma como agentes devem raciocinar, através de lógica deôntica, para cumprir as normas tais como [15][45][46]. Somente através da definição de um modelo formal de normas será possível realizar a declaração das normas de forma explícita, fazer com os agentes interpretem essa declaração e decidam entre cumprir ou não e como cumprir as normas especificadas [47] e também especificar as estratégias de julgamento de forma explícita.
- **Mecanismo de tratamento de falhas do sub-sistema de julgamento:** Em um sub-sistema de julgamento podem existir várias instâncias dos agentes *Inspector*, *Broker* e *Police*. Esse tipo de solução faz com que todo o processo de julgamento, que vai desde o recebimento de um testemunho até o envio do veredicto, seja escalável e que a falha de um desses agentes seja compensada por outros agentes da mesma natureza. Porém, uma vez que um processo de julgamento é iniciado, um único agente

Judge fica responsável pela sua execução e conclusão. Em caso de falha deste agente, o veredicto deste processo nunca será alcançado. É necessário criar um mecanismo que verifique a execução dos processos de julgamento e que na falha de execução de um agente *Judge*, o processo de julgamento que estava em execução seja encaminhado para um outro agente *Judge*, fazendo com que esse processo seja concluído. Um outro tipo de falha está relacionada à execução de uma organização, ou seja, a falha de todo o sub-sistema de julgamento implementado pela organização. Para contornar problemas dessa natureza é necessário criar também um mecanismo que faça com que a super-organização da organização que falhou assuma todas as tarefas relacionadas ao sub-sistema de julgamento que estavam sendo desempenhadas.

- **Aprimorar o mecanismo de detecção de violação de normas:** O mecanismo de detecção de violação de normas oferecido pelo *framework* proposto, apesar de permitir a detecção de diversas violações, apresenta algumas limitações que devem ser tratadas em trabalhos futuros. Uma possível solução para a restrição em relação aos tipos de conteúdos de *beliefs* e mensagens é fazer com que o passo de comparação seja um *hot spot* do mecanismo, que quando necessário, pode ser estendido para implementar as características específicas de cada classe a ser comparada. Além disso, a formalização da definição das normas também permitirá uma melhor detecção das violações já que também será possível especificar regras de detecção de violações de forma explícita.
- **O sub-sistema de Sanção:** O sub-sistema de sanção é responsável por aplicar as punições aos agentes infratores nos casos em que o resultado do processo de julgamento condene o acusado e os agentes que enviaram falsos testemunhos, nos casos de absolvição do acusado. Essas punições devem ser realizadas de acordo com a definição da norma, que deve ser modificada para acomodar a descrição dessas punições. O sub-sistema de sanção também é responsável por recuperar o sistema da violação e recolocá-lo em um estado aceitável, restabelecendo o seu curso normal.