

Simulação do Comportamento de um Agente Inteligente Guiado por Regras de Trânsito *

Vithor Tozetto Ferreira¹, Gleifer Vaz Alves¹

¹Departamento Acadêmico de Informática

Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR)

Rua Doutor Washington Subtil Chueire, 330 - 84017-220 – Ponta Grossa – PR – Brasil

vithorferreira@alunos.utfpr.edu.br, gleifer@utfpr.edu.br

Abstract. An Autonomous Vehicle (AV), situated in an ordinary urban traffic environment, must act according to local traffic rules, and its controller needs to be able to consider these rules when planning actions. Such controller could be modelled as an intelligent agent, which needs a comprehensible representation of the urban traffic rules. In this paper we present a model of an environment for simulating an agent, which is responsible to control the AV according to a subset of traffic rules related to road junctions.

Resumo. Um Veículo Autônomo (VA), presente em um ambiente de tráfego urbano comum, deverá agir de acordo com as regras de trânsito locais, e seu controlador precisa ser capaz de considerar tais regras durante o planejamento de suas ações. Tal controlador, pode ser modelado como um agente inteligente que por sua vez, precisa de uma representação compreensível das regras de trânsito urbano. Neste trabalho é apresentado um modelo para um ambiente para simulação de um agente, que controla o VA de acordo com um fragmento das regras destinadas aos cruzamentos urbanos.

1. Introdução

Muitas tecnologias desenvolvidas nos últimos anos visam facilitar o cotidiano através da automatização de tarefas. Dentre tais tarefas, o desenvolvimento de veículos autônomos (VA's) será um grande avanço tecnológico para a indústria automotiva [Blankesteijn et al. 2019]. Em grandes centros urbanos motoristas gastam muito tempo no trânsito, e a utilização desta tecnologia cria uma lacuna de tempo para a realização de outras tarefas durante o período de locomoção [Silberg et al. 2012].

Antes da utilização cotidiana de um VA, é necessário garantir a segurança do funcionamento destes veículos, e para o contexto deste artigo, considera-se especificamente a segurança em relação ao comportamento do VA de acordo com as regras de trânsito. Esses veículos já são capazes de, através de várias tecnologias, interagir com segurança e autonomia em diversas situações [Gomes 2014]. Entretanto, esta capacidade não engloba a utilização de regras de trânsito, que são um aspecto essencial do ambiente de

*  O trabalho Simulação do Comportamento de um Agente Inteligente Guiado por Regras de Trânsito de Vithor Tozetto Ferreira, Gleifer Vaz Alves está licenciado com uma Licença Creative Commons - Atribuição-NãoComercial-CompartilhaIgual 4.0 Internacional. <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

atuação do veículo e necessárias para garantir a segurança do funcionamento de um VA [Vellinga 2017].

Em [Prakken 2017], é mencionado que a interação com regras de trânsito em geral não é considerada durante a fase de desenvolvimento de um VA. Idealmente, o veículo deve conseguir perceber seu ambiente, considerar suas tarefas e planejar suas ações de forma segura e condizente com as leis de trânsito em vigor no local de utilização do VA, e assim atingir os objetivos de forma autônoma conforme o ambiente de trânsito no qual está inserido. Dessa forma, um VA precisa ser controlado por um sistema computacional com a capacidade de realizar tal tarefa, e tal sistema pode ser representado através de um agente, situado em um ambiente e capaz de realizar ações autônomas para atingir seus objetivos [Wooldridge and Jennings 1995].

Como visto em [Ferreira and Alves 2019a, Ferreira and Alves 2019b], existe uma dificuldade em fazer com que um sistema computacional autônomo utilize as regras de trânsito em seu planejamento de ações. Nestes artigos, é proposta a utilização de uma ontologia para representação de objetos e ações do trânsito, tentando encurtar a distância entre a linguagem natural utilizada em códigos de trânsito [BRASIL 1997, Department for Transport 2017] e uma linguagem comprehensível para um agente, levando também em consideração a possibilidade de mobilidade urbana do veículo ao representar mais de um conjunto de leis de trânsito. Esta representação pode ser traduzida para o contexto de um agente inteligente, e pode também ser utilizada no desenvolvimento de um ambiente para tal agente. Neste trabalho é utilizado o Código de Trânsito Britânico como referência das regras devido ao seguinte: **i.** já ser utilizado em trabalhos anteriores que igualmente exploram a relação entre este conjunto de leis e VA's; e **ii.** a existência de uma consulta oficial por parte do governo Britânico para o desenvolvimento de um código de leis de trânsito que considere os VA's [Law Commission - UK 2020].

O agente controlador de um VA é desenvolvido por meio da linguagem de programação de agentes GWENDOLEN. Esta linguagem permite a criação de agentes BDI (*Belief-Desire-Intention*), delimitando suas percepções iniciais, planos e objetivos [Dennis 2017]. Este agente está inserido em um ambiente, desenvolvido em Java, que representa uma abstração de um cruzamento de trânsito, disposto de objetos presentes nas ontologias mencionadas anteriormente. Neste ambiente também são expressas as possíveis ações que o agente pode tomar e quais percepções os objetos do ambiente representam ao agente.

O objetivo específico deste artigo é apresentar um modelo para um ambiente que representa um cenário de cruzamento urbano com alguns objetos presentes em cenários reais, e também a proposta de um agente representando o controlador de um VA que utilize regras de trânsito em suas ações. Este artigo está diretamente relacionado com os seguintes trabalhos [Alves et al. 2018] e [Alves et al. 2019], onde é apresentada uma arquitetura baseada em agentes para representação de um conjunto de regras de trânsito do Reino Unido usando a lógica temporal.

2. Veículos Autônomos e Código de Trânsito

Na literatura da área, geralmente é utilizado o termo direção automatizada, e raramente o termo direção autônoma. O primeiro termo envolve um conjunto de ferramentas que auxiliam na direção, enquanto o segundo refere-se ao estado final da automação,

onde um sistema teria controle total sobre todas as funções de controle do veículo [Herrmann et al. 2018]. Em resumo, um VA é um veículo controlado totalmente por um sistema, sem o auxílio de um motorista. Visando garantir a segurança de suas ações no quesito de tráfego urbano, é necessário que o VA leve em consideração as Regras de Trânsito do local onde está situado.

Conforme mencionado por Prakken [Prakken 2017] e reforçado por Alves et. al [Alves et al. 2018], existe uma lacuna no desenvolvimento de VA's no que diz respeito aos seguintes aspectos: i.) A implantação de um VA considera adequadamente as regras de trânsito? ii.) O comportamento de um VA no tráfego urbano dá-se em acordo com as regras de trânsito? iii.) É necessário em alguma instância alterar e adaptar as regras de trânsito para o adequado comportamento de um VA? Esses aspectos reforçam a necessidade de representar o conhecimento das regras de trânsito para que sejam utilizadas pelo sistema controlador do VA.

Essa lacuna é perceptível ao se aprofundar na idealização de um comportamento adequado em relação as regras de trânsito. Os VA's que são testados atualmente conseguem, por exemplo, perceber a informação que um semáforo transmite. O veículo identifica que o semáforo está no sinal vermelho e logo irá parar, assim como avançará caso o sinal esteja verde. Mas, quando se considera um sinal amarelo, o comportamento em relação a essa informação difere entre motoristas humanos. Alguns aceleram e avançam, enquanto outros diminuem a velocidade e param. No código britânico [Department for Transport 2017], o comportamento em relação ao sinal amarelo é delimitado pela Regra **175**, onde um motorista só pode avançar um sinal amarelo caso já tenha ultrapassado a linha de parada ou acredite que possa causar uma colisão ao parar bruscamente. Nesse caso, a interação do VA não seria influenciada apenas pela informação do semáforo, sendo necessário que o controlador avalie a situação e decida sobre como agir. Para garantir a segurança dessa ação o VA, além de conhecer o ambiente em que está situado, precisa igualmente considerar a Regra de Trânsito **175**.

De acordo com [BRASIL 1997], se configura como trânsito a movimentação e imobilização de veículos, pessoas e animais nas vias terrestres. Cada país, dentro de seus territórios, delimitam um conjunto de regras destinadas a controlar e garantir a segurança do tráfego. É esperado que todo usuário presente no trânsito esteja ciente destas regras, e que as cumpra visando manter a harmonia do ambiente de tráfego urbano. Portanto, para os VA's estarem totalmente inseridos no trânsito, é necessária sua adequação as regras de circulação de seus ambientes de atuação.

Para o desenvolvimento deste trabalho são consideradas um conjunto de regras de trânsito referentes a cruzamentos urbanos (*Road Junctions*). Esse conjunto é formado pelas regras **170** à **183** do Código de Trânsito Britânico [Department for Transport 2017]. Essas regras descrevem o comportamento esperado dos motoristas, quais objetos ou usuários devem ser observados para a realização de manobras, e também como proceder em diferentes cenários referentes aos cruzamentos urbanos.

3. Ambiente de Simulação

Como descrito por [Wooldridge and Jennings 1995], um agente é uma entidade situada em certo ambiente. Dessa forma, para desenvolver um agente também é necessária a existência de um ambiente, onde o agente irá receber percepções e interagir com objetos

para realizar suas ações. Neste artigo, o ambiente funciona como uma abstração de um cenário real de trânsito urbano: um cruzamento entre duas vias, contendo artefatos presentes em cenários reais, como semáforos e pedestres. Este ambiente permite a execução de um agente controlador de um VA, capaz de interagir com objetos de trânsito de acordo com as leis de trânsito referentes a cruzamentos urbanos.

Para o desenvolvimento do ambiente está sendo utilizado o *framework* MCAPL (*Model Checking Agent Programming Language*) [Dennis et al. 2012], que possui ferramentas para a criação de interpretadores de linguagens de agentes. O MCAPL também pode ser utilizado para realizar a verificação formal do funcionamento de um agente, permitindo verificar se o agente se comporta corretamente. Porém, esta etapa não foi contemplada neste trabalho. O *framework* é composto pelo AIL (*Agent Infrastructure Layer*), utilizado para a criação dos interpretadores, e o *Model Checker* AJPF (*Agent Java Pathfinder*) [Dennis 2018]. Na distribuição do *framework* são inclusas algumas linguagens de programação implementadas no AIL, sendo utilizada neste trabalho a linguagem GWENDOLEN.

O ambiente é executado em conjunto com o agente GWENDOLEN, e nele estão contidos os objetos com que o agente pode interagir. Este ambiente é totalmente abstrato, sendo utilizado somente como um espaço virtual para permitir a execução do agente. Na próxima etapa deste trabalho será criada uma representação visual, que permitirá observar o funcionamento do agente. A Fig. 1 ilustra o modelo deste ambiente de simulação.

Este ambiente consiste de uma classe Java, estendida do ambiente padrão da linguagem GWENDOLEN. O espaço físico é representado como uma grade quadriculada, e os objetos são posicionados em coordenadas desta grade. O agente move o veículo uma posição de cada vez. No ambiente também existe uma variável incrementada a cada ação do veículo, utilizada como uma representação simples da passagem de tempo no ambiente, permitindo que semáforos mudem de estado ou pedestres atravessem a via. Cada incremento nesta variável é considerado como um turno, e em cada turno o VA pode realizar uma ação de movimento ou esperar durante o período do turno. Após o agente realizar a sua ação o turno acaba, a variável é incrementada e os objetos do ambiente são atualizados de acordo. O ambiente não possui um limite de turnos, já que o VA pode esperar por um período indeterminado enquanto não acreditar que é seguro avançar em seu percurso.

Em [Ferreira and Alves 2019a, Ferreira and Alves 2019b] são demonstradas ontologias representando objetos e ações presentes em um ambiente de trânsito. Nestes trabalhos, as informações foram extraídas a partir da análise de fragmentos referentes a cruzamentos urbanos presentes nos Códigos de Trânsito Brasileiro [BRASIL 1997] e do Reino Unido [Department for Transport 2017], já que foi considerada durante o desenvolvimento das ontologias a possibilidade de um VA transitar entre dois territórios que possuam legislações de trânsito distintas, e que o controlador do veículo precise adaptar-se ao novo conjunto de regras durante seu percurso. A partir dessas ontologias, foi possível delimitar quais artefatos devem estar presentes no ambiente para permitir o desenvolvimento de um agente que considere e obedeça as leis de trânsito em suas ações.

Os objetos presentes no ambiente atualmente e representados na Fig. 1, considerando o ambiente como uma matriz de células, são os seguintes: as vias por onde o VA

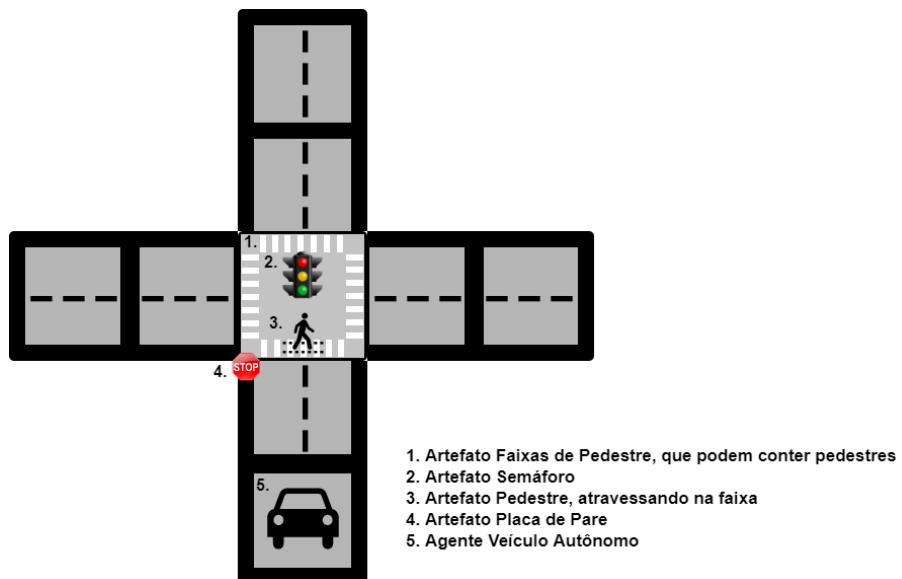


Figura 1. Modelo do ambiente de simulação

pode trafegar, cada uma sendo uma célula com uma coordenada (X, Y); o VA, que se move pelas posições das vias; uma placa de Pare; um semáforo, que muda de estado com a passagem de tempo do ambiente; uma faixa de pedestre, que simula um pedestre atravessando a via; o cruzamento, centralizado na interseção das vias. O agente pode executar as seguintes ações: mover, deslocando o veículo; esperar, onde o agente espera uma unidade de tempo devido a alguma condição do ambiente, como a existência de uma placa de Pare; verificar caminho, onde o agente deve averiguar se existem e quais objetos estão na direção que está seguindo; parar, onde o agente immobiliza o veículo.

4. Agente Controlador do VA

A palavra agente é utilizada na computação como um conceito abrangente, com diferentes perspectivas sobre o que é exatamente um agente de acordo com cada autor. Um agente pode significar simplesmente um *script*, executado após uma certa condição, mas também pode se referir a um programa sofisticado capaz de raciocinar sobre diferentes informações para atingir objetivos complexos [Rao and Wooldridge 1999]. Porém, entre diversas definições de agentes, existem conceitos comuns, principalmente a ideia de que um agente deve ser capaz de realizar tarefas de forma autônoma. Dessa forma, foi desenvolvido através da linguagem GWENDOLEN um agente, visando representar a entidade computacional no controle de um VA capaz de comportar-se conforme as regras de trânsito. Este agente está inserido exclusivamente em situações referentes a cruzamentos urbanos, e deve lidar com percepções e ações nestas situações em específico.

Inicialmente, o agente possui as crenças da sua posição atual e de uma posição final, criando um caminho que utiliza o cruzamento. O objetivo inicial do agente é atravessar o cruzamento e chegar na posição final. O agente deve percorrer o trajeto, identificando quais regras devem ser seguidas de acordo com as percepções que recebe dos objetos posicionados no ambiente. Essas percepções indicam ao agente a presença de um certo objeto em determinada posição (X, Y) na grade, e o agente deve então determinar quais planos devem ser utilizados para interagir corretamente com esses objetos.

O conhecimento das regras de trânsito pelo agente torna-se viável através dos planos que o mesmo possui, criados a partir de regras presentes no Código de Trânsito do Reino Unido [Department for Transport 2017]. Esses planos delimitam as condições para o agente mover-se ou esperar de acordo com percepções do ambiente. Por exemplo, considerando a regra **171** do Código de Trânsito do Reino Unido:

"You MUST stop behind the line at a junction with a 'Stop' sign and a solid white line across the road. Wait for a safe gap in the traffic before you move off."

Essa regra indica que um veículo deve parar antes de entrar em um cruzamento, caso exista uma placa de Pare (ver Fig. 2). Os objetos *solid white line across the road* e *safe gap* não serão considerados neste exemplo. Mas, igualmente devem ser representado na ontologia das regras de trânsito. Essa regra é (parcialmente) descrita para o agente através do seguinte plano:

```
+!rule171 [perform] :
{ B stop_sign_at(X,Y), B at(X,Y), ~B stopped(X,Y) } <-
stop, wait(stopsign), +stopped(X,Y);
```

O plano rule171 é utilizado para que o agente cumpra a regra 171 do Código de Trânsito Britânico. Esse plano é utilizado quando as seguintes condições são satisfeitas:

- o agente acredita que existe uma placa de pare na posição (X, Y) (essa percepção é originada quando o agente percebe a placa em seu caminho, como mostrado na Fig. 2 a);
- o agente acredita que está em (X, Y) ;
- o agente ainda não parou em (X, Y) .

Quando estas condições são satisfeitas, o agente executa o corpo do plano:

- parar no local que está, já que acredita que está na posição indicada pela placa de Pare;
- esperar um turno, com o veículo parado;
- adicionar a crença *stopped (X, Y)*, informação que o agente acredita ser verdadeira e indica que já parou no local necessário.

Assim, o agente seguiu um plano para agir de acordo com a regra de trânsito. Nesse cenário, o agente voltará a verificar o ambiente, e quando acreditar que não existe nenhum objeto ou regra impedindo seu deslocamento (*e.g.* um pedestre atravessando a via), o agente continuará o percurso (ver Fig. 2 c).

5. Considerações Finais

Em trabalhos futuros, as propostas apresentadas neste artigo serão estendidas, visando obter conclusões referentes a questões presentes na literatura de VA's, como aquelas presentes em [Prakken 2017, Vellinga 2017]: quais meios podem ser utilizados para a representação das regras de trânsito para o contexto de um VA; quais são as limitações de um VA no que se refere a compreensão e execução das regras de trânsito; e quais mudanças podem ser necessárias na legislação de trânsito para a adequação do uso de VA's.

A proposta deste artigo é demonstrar o estado inicial do desenvolvimento de um agente e um ambiente de simulação. O agente, modelado como o sistema controlador de

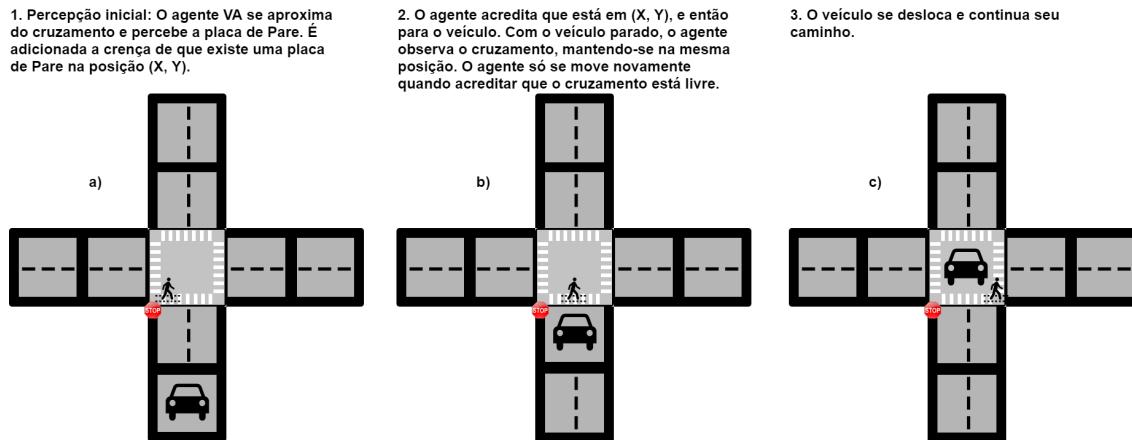


Figura 2. Representação da sequência de ações do agente no ambiente

um VA, possui uma representação das regras de trânsito, e deve utilizá-las em suas ações. O ambiente, é um cenário representando um cruzamento urbano, contendo em si objetos percebidos pelo agente. O ambiente foi criado para suprir a necessidade que um agente possui em existir um ambiente para sua atuação. A partir do ambiente mostrado neste artigo, podem ser criados novos cenários, com a adição de novos objetos, permitindo o teste de novos fragmentos de regras de trânsito.

Como trabalho futuro, pretende-se expandir o ambiente, com a adição de novos objetos para a simulação de outros cenários, permitindo o teste de diferentes regras de trânsito, incluindo a possibilidade de outros Códigos de Trânsito também serem representados. O agente também receberá novos planos, de forma a cumprir as regras de trânsito ao interagir com mais objetos em diferentes cenários. Também será possível obter informações conclusivas sobre o funcionamento do agente ao realizar a verificação formal de seu comportamento, através da ferramenta de *Model Checking AJPF (Agent Java Pathfinder)* [Dennis et al. 2012].

Referências

- Alves, G., Dennis, L., and Fisher, M. (2019). An Agent-Based Architecture supported by Temporal Logic for representing the Rules of the Road on Autonomous Vehicles. In Luckcuck, M., Farrell, M., and Fisher, M., editors, *FMAS Workshop Pre-Proceedings 2019*, volume 1, pages 41–48, Porto, Portugal. FMAS - A satellite workshop of Formal Methods 2019, Porto, Portugal.
- Alves, G. V., Dennis, L., and Fisher, M. (2018). Formalisation of the Rules of the Road for embedding into an Autonomous Vehicle Agent. In *International Workshop on Verification and Validation of Autonomous Systems*, pages 1–2, Oxford, UK.
- Blankesteijn, M., Jong, F. D., and Bossink, B. (2019). Closed-open innovation strategy for autonomous vehicle development. *International Journal of Automotive Technology and Management*, 19(1-2):74–103.
- BRASIL, D. (1997). Código brasileiro de trânsito. http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/L9503.htm.

- Dennis, L. A. (2017). Gwendolen Semantics: 2017. Technical Report ULCS-17-001, University of Liverpool, Department of Computer Science.
- Dennis, L. A. (2018). The mcapl framework including the agent infrastructure layer and agent java pathfinder. *The Journal of Open Source Software*.
- Dennis, L. A., Fisher, M., Webster, M. P., and Bordini, R. H. (2012). Model checking agent programming languages. *Automated Software Engineering*, 19(1):5–63.
- Department for Transport, U. (2017). Using the road (159 to 203) - The Highway Code - Guidance - GOV.UK.
- Ferreira, V. T. and Alves, G. (2019a). Desenvolvimento de uma ontologia para representação de objetos e ações do código de trânsito em um veículo autônomo. In *Anais do III Workshop de Pesquisa em Computação dos Campos Gerais*, volume 3, Ponta Grossa, Paraná. UTFPR Campus Ponta Grossa.
- Ferreira, V. T. and Alves, G. (2019b). Representação de Objetos do Código de Trânsito Através de Uma Ontologia Para Aplicação em um Veículo Autônomo. In *13th Workshop-School on Agents, Environments, and Applications (WESAAC 2019)*, Florianópolis. Editora UFSC.
- Gomes, L. (2014). Hidden obstacles for google's self-driving cars. *MIT Technology Review*.
- Herrmann, A., Brenner, W., and Stadler, R. (2018). *Autonomous driving: how the driverless revolution will change the world*. Emerald Publishing, Bingley North America Japan India Malaysia China, first edition. OCLC: 1031123857.
- Law Commission - UK (2020). Automated Vehicles: Summary of the Analysis of Responses to the Preliminary Consultation Paper.
<https://www.lawcom.gov.uk/project/automated-vehicles/>.
- Prakken, H. (2017). On the problem of making autonomous vehicles conform to traffic law. *Artificial Intelligence and Law*, 25(3):341–363.
- Rao, A. S. and Wooldridge, M. (1999). Foundations of rational agency. In *Foundations of rational agency*, pages 1–10. Springer.
- Silberg, G., Wallace, R., Matuszak, G., Plessers, J., Brower, C., and Subramanian, D. (2012). Self-driving cars: The next revolution. *White paper, KPMG LLP & Center of Automotive Research*, page 36.
- Vellinga, N. E. (2017). From the testing to the deployment of self-driving cars: legal challenges to policymakers on the road ahead. *Computer Law & Security Review*, 33(6):847–863.
- Wooldridge, M. and Jennings, N. R. (1995). Intelligent agents: Theory and practice. *The knowledge engineering review*, 10(2):115–152.