

RACIOCÍNIO ESPACIAL QUALITATIVO PARA UM SISTEMA DE SEGURANCA EM TRÁFEGO DE VEÍCULOS ¹

Author(s):

Adeline Cecilia Secolo
Paulo Eduardo Santos

¹This work was supported by Fapesp Project LogProb, grant 2008/03995-5, São Paulo, Brazil.

RACIOCÍNIO ESPACIAL QUALITATIVO PARA UM SISTEMA DE SEGURANÇA EM TRÁFEGO DE VEÍCULOS

ADELINE CECILIA SÉCOLO*, PAULO EDUARDO SANTOS†

* *Centro Universitário da FEI*
Av. Humberto de Alencar Castelo Branco, 3972
SBC, SP, Brasil

Emails: adesecolo@yahoo.com.br, psantos@fei.edu.br

Abstract— *Recently many theories based on Qualitative Spatial Reasoning have been developed in the area of Artificial Intelligence. Inspired by the region-based formalization of space such as The Region Connection Calculus and The Region Occlusion Calculus, the Depth Profile Calculus represents the relations between objects and an observer. In order to formalize a world where the agent and the objects can move, the Dynamic Depth profile Calculus was developed. The system described in this paper was created to deal with the data generated by a system that monitors the depth profile of objects and observer. This system is able to handle the depth profile data generated by a simulator of situations from vehicular traffic and advise about actions that make the autonomous vehicle safe to interact with other vehicles.*

Keywords— Autonomous Vehicles, Qualitative Spatial Reasoning, Situation Calculus.

Resumo— As teorias baseadas no Raciocínio Espacial Qualitativo têm originado diversos trabalhos na área de inteligência artificial nos últimos anos. Após a formalização das relações entre objetos em trabalhos como o Cálculo de Conexão de Regiões e o Cálculo de Oclusão de Regiões, foi necessário o aprimoramento das informações em relação a um observador, desafio este abordado no Cálculo de Perfil de Profundidade. Para monitorar o movimento tanto dos objetos quanto do observador, desenvolveu-se o Cálculo de Perfil de Profundidade Dinâmico. A partir dos gerados por um sistema de monitoramento do perfil de profundidade dinâmico de objetos e observador desenvolvemos um sistema lógico sobre situações de tráfego de veículos. Este sistema mostrou-se capaz de interpretar os dados de perfil de profundidade gerados por um simulador de situações de tráfego de veículos e sugerir ações a um veículo autônomo para que este possa interagir de forma segura com outros veículos.

Palavras-chave— Veículo Autônomo, Raciocínio Espacial Qualitativo, Cálculo de Situações.

1 Introdução

Um sistema de segurança em tráfego de veículos pode ser utilizado para dar suporte a um veículo autônomo para que este possa se locomover de forma segura entre outros veículos. Para isso, neste trabalho foram desenvolvidos axiomas que levam em consideração os dados adquiridos por um simulador de tráfego de veículos. Destes dados podem ser extraídas informações como distância entre o agente e os demais veículos, largura dos veículos, se os veículos estão se aproximando ou distanciando do agente, entre outras. Para cada situação onde identifica-se potencial risco para o veículo autônomo, foi desenvolvida uma formalização qualitativa para identificá-la. Desta maneira é possível sugerir ações ao agente, como por exemplo uma frenagem em tempo hábil para evitar uma possível colisão.

Para o desenvolvimento deste projeto foram utilizados conceitos baseados na área de Raciocínio Espacial Qualitativo em Inteligência Artificial, onde busca-se formalizar o conhecimento espacial, possibilitando a interpretação do comportamento de um sistema físico. Em particular utilizou-se o Cálculo de Perfil de Profundidade (Santos, 2007), que é uma formalização do espaço baseada em atributos presentes em uma sequência de imagens. Este cálculo foi utilizado na identificação de atributos como tamanho, profundidade e distância de

objetos, assim como suas transições. Com estes atributos foi gerado o mapa de profundidade, utilizado como primitiva para o sistema de raciocínio qualitativo para um sistema de segurança em tráfego de veículos, conforme descrito neste trabalho.

Este artigo está organizado da seguinte maneira: a próxima seção descreve brevemente a área de raciocínio espacial qualitativo e sistemas de assistência ao condutor; a seção 3 introduz os conceitos básicos utilizados na formalização espacial de situações em tráfego de veículos (desenvolvida na seção 4). A seção 5 descreve os resultados da aplicação do sistema proposto em um ambiente simulado. A seção 6 conclui este trabalho.

2 Revisão Bibliográfica

A área de Raciocínio Espacial Qualitativo (REQ) em Inteligência Artificial busca formalizações de conceitos espaciais para servirem de base para sistemas automáticos capazes de representar e inferir fatos sobre a estrutura espacial de um domínio (Cohn et al., 1997). Em outras palavras, o REQ tem como objetivo desenvolver modelos qualitativos a partir de relações sobre, por exemplo, a topologia, a direção, a forma e a distância entre objetos. Há diversas representações para estes atributos, e suas transições são características chave para o raciocínio sobre o espaço (Cohn and Hazarika, 2001).

Um dos exemplos de Raciocínio Espacial Qualitativo é Cálculo de Conexão de Regiões (*Region Connection Calculus - RCC*) (Randell et al., 1992) que consiste em um modelo de representação e raciocínio sobre relações a respeito de regiões espaciais. A base destas relações é a primitiva binária “conectado” $C(a, b)$, que representa “a região a está conectada à região b ”. Esta primitiva é verdadeira se as regiões a e b possuem ao menos um ponto em comum.

As relações definidas pelo RCC são: $DC(a, b)$ - a está desconectada de b ; $P(a, b)$ - a é parte de b ; $PP(a, b)$ - a é parte própria de b ; $EQ(a, b)$ - a é idêntica a b ; $O(a, b)$ - a sobrepõe b ; $DR(a, b)$ - a é discreta de b ; $PO(a, b)$ - a sobrepõe parcialmente b ; $EC(a, b)$ - a está externamente conectada a b ; $TPP(a, b)$ - a é parte própria tangencial de b ; $NTPP(a, b)$ - a é parte própria não tangencial de b .

O Cálculo de Oclusão de Regiões - ROC (Randell et al., 2001) utiliza as relações do RCC para modelar a interposição entre corpos, volumes e imagens. Portanto, o ROC consegue lidar com a distância e profundidade entre os objetos representados.

Teorias de REQ podem ser utilizadas para o desenvolvimento de diversos sistemas, entre eles, os sistemas de assistência ao condutor. Estes sistemas podem ser classificados em três grandes áreas: segurança, economia e conforto, apesar de nem sempre ser possível classificar um sistema em uma única área (Küçükay and Bergholz, 2004). Em geral, os sistemas classificados na área de segurança tem como objetivo a prevenção de acidentes, ou a minimização de seus efeitos. Os sistemas da área de economia tem como objetivo reduzir o consumo de combustível e os gastos com manutenção do veículo. Para os diversos sistemas classificados na área de conforto, o objetivo é facilitar a utilização dos dispositivos e sistemas eletrônicos presentes nos veículos, fazendo com que o condutor atue de maneira cada vez mais simples na tarefa de deslocar-se de um lugar a outro. O sistema proposto neste trabalho enquadra-se na principalmente na área de segurança.

3 Teoria

Nesta seção estão descritas algumas teorias que foram utilizadas neste trabalho para construir um sistema de raciocínio e segurança para um carro autônomo em situações de tráfego de veículos.

3.1 Cálculo de Perfil de Profundidade

O Cálculo de Perfil de Profundidade (Santos, 2007) é uma formalização do espaço que dá-se através de funções que extraem atributos como profundidade, tamanho e distância de objetos presentes em uma sequência de imagens estéreo de um

determinado ambiente. Os objetos são representados por picos de onde é possível identificar características como profundidade e movimento através do perfil de profundidade. As transições das relações destes atributos são representadas pelo Cálculo de Perfil de Profundidade Dinâmico (*DDPC - Dynamic Depth Profile Calculus*). O sistema proposto em (Santos, 2007) (e estendido no presente trabalho) é baseado em uma simplificação dos mapas de profundidade provenientes do sistema de visão estéreo: o perfil de profundidade gerado por um corte horizontal (cruzando o centro do campo visual) em cada cena observada (cf. figura 1). Destes perfis de profundidade, extraem-se informações 2D de cada cena, incluindo tamanho e distância dos objetos em relação ao observador. Objetos em perfis de profundidade são representados por picos, os quais são considerados elementos primitivos no sistema de raciocínio qualitativo. No lugar de profundidade, utiliza-se a informação de disparidade para representar a distância entre um objeto e o observador, uma vez que esta informação pode ser obtida diretamente da câmera estéreo. Disparidade é inversamente proporcional à profundidade vezes uma constante dependente da geometria da câmera. Quanto maior o valor da disparidade, mais próximo do observador está o objeto.

O perfil de profundidade é representado por um gráfico onde a medida de disparidade está no eixo y e os pixels do corte horizontal da cena estão no eixo x, conforme observa-se na figura 1. A letra L representa a maior distância entre o objeto e o observador que o sistema consegue identificar.

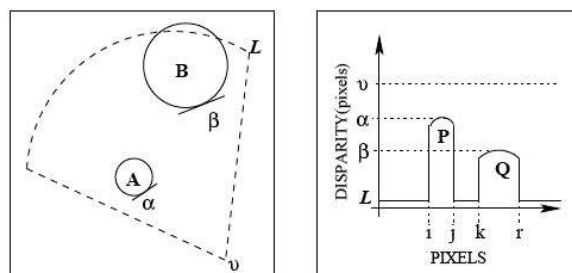


Figura 1: Visão global de uma cena (fig. da esquerda) e o respectivo perfil de profundidade (fig. da direita).

Fonte: (Santos, 2007)

Além da disparidade, o perfil de profundidade apresenta informações sobre o tamanho relativo dos objetos e a distância entre eles do ponto de vista do observador. O valor do tamanho dos objetos é obtido através da diferença entre as duas bordas laterais do pico, enquanto a distância entre eles é obtida pela diferença entre as bordas laterais mais próximas de dois picos diferentes.

3.2 Cálculo de Perfil de Profundidade Dinâmico

O Cálculo de Perfil de Profundidade Dinâmico (DDPC) é uma extensão do Cálculo de Perfil de Profundidade. Seus predicados definem alterações nas cenas observadas gerando possíveis interpretações de movimentos dos objetos e do observador.

Os predicados sobre as transições dos picos são listados abaixo, onde a variável t representa um instante de tempo. Neste trabalho, t é uma variável discreta que representa os quadros (*frames*) de uma sequência de vídeo.

- *Extending*(p, t), atesta que o pico está aumentando de largura no tempo t ;
- *Shrinking*(p, t), atesta que o pico está diminuindo de largura no tempo t ;
- *Vanishing*(p, t), atesta que o pico está diminuindo de tamanho no tempo t a ponto de não ser mais percebido;
- *Appearing*(p, t), atesta que um pico está surgindo do fundo de um perfil;
- *Peak_approaching_DisC*(p, q, t), representa dois picos se aproximando no tempo t mas permanecendo desconectados;
- *Peak_approaching_ExtC*(p, q, t), representa dois picos se aproximando no tempo t e tornando-se externamente conectados;
- *Peak_receding_DisC*(p, q, t), representa dois picos afastando-se um do outro no tempo t e permanecendo desconectados;
- *Peak_receding_ExtC*(p, q, t), representa dois picos externamente conectados afastando-se um do outro no tempo t ;
- *Peak_coalescing*(p, q, t), atesta que dois picos estão fundindo-se no tempo t ;
- *Going_out_sight*(p, q, t), representa o caso de um pico desaparecer do campo de visão do observador no tempo t (por oclusão ou por deslocamento lateral);
- *Peak_splitting*(p, q, t), representa o caso de um pico dividir-se em dois no tempo t ;
- *Single_peak_static*(q, t), atesta que o pico não sofreu alteração de disparidade ou tamanho no tempo t ;
- *Peak_static*(p, q, t), atesta que a distância entre dois pico não sofreu alteração no tempo t .

Para prever o comportamento futuro dos objetos, utiliza-se o diagrama de vizinhança das relações de transição do pico (figura 2). Através deste diagrama observa-se a sequência possível de alteração de comportamento de um pico e as transições necessárias para que isso aconteça. É possível

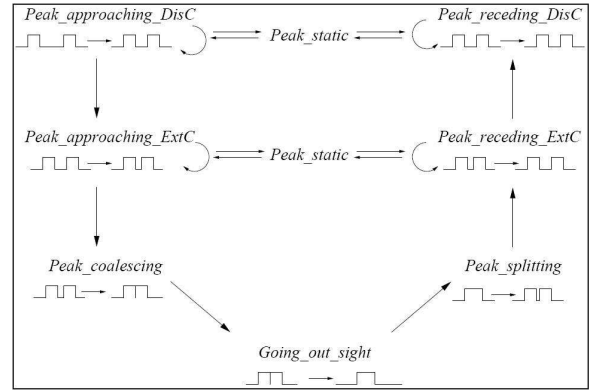


Figura 2: Diagrama de Vizinhança
Fonte: (Santos, 2007)

observar na figura 2 que nem todas as transições são reversíveis.

É importante notar que os predicados descritos acima são definidos sobre transições nos picos em perfis de profundidade, que são gerados pelo movimento dos objetos no domínio (incluindo o observador). Portanto, cada um destes predicados pode ser associado a um conjunto de hipóteses para explicar as possíveis ações ocorridas nos objetos físicos observados (conforme descrito detalhadamente em (Santos, 2007)).

3.3 Raciocínio Sobre Perfil de Profundidade Dinâmico

O trabalho apresentado em (Soutchanski and Santos, 2008) trata-se de um formalismo lógico que representa transições entre perfis de profundidade no Cálculo de Situações. O Cálculo de Situações (Reiter, 2001) é um formalismo lógico utilizado para representação e raciocínio sobre ações e mudanças de estado em domínios dinâmicos. Utiliza-se de axiomas que consideram situações como histórias, onde cada situação é uma sequência finita de ações. A base dos axiomas é a função binária $s' = do(a, s)$, que representa a chegada à situação sucessora s' após a execução da ação a no estado s . O símbolo S_0 representa a situação inicial. O predicado $Poss(a, s)$ é binário e representa a possibilidade de executar-se a ação a na situação s (pré-condição).

Com o objetivo de manipular dados simbólicos sobre movimentos dos objetos e do próprio observador, o trabalho descrito em (Soutchanski and Santos, 2008) utiliza-se de uma descrição geométrica do ambiente. Por exemplo, é possível medir o deslocamento relativo de um determinado objeto através da distância angular, que consiste simplesmente na diferença entre o ponto mais à esquerda de um perfil e o ponto mais à direita de outro.

Sempre que acontece alguma ação, nota-se uma alteração em algum atributo do pico identi-

ficado. Esta alteração enquadra-se em uma transição de um estado para outro, que pode ser em um único pico ou em um par deles. Tais transições são representadas pelos predicados do DDPC e são inseridas como fluentes em uma formalização de ações no cálculo de situações.

Para axiomatizar as pré-condições das ações que afetam estes fluentes define-se a Teoria de Profundidade e Movimento (*Theory of Depth and Motion - TDM*). Em um domínio onde tanto os objetos, quanto o observador podem se mover, as percepções captadas pelos sensores em um intervalo de tempo podem ser representadas em um diagrama de vizinhança. Desta maneira é possível raciocinar sobre os movimentos dos objetos e do observador no ambiente e calcular seus efeitos.

4 Sistema de Segurança em Tráfego de Veículos

O Sistema de Segurança em Tráfego de Veículos proposto neste trabalho consiste em um conjunto de axiomas capazes de interpretar o comportamento de veículos comuns em relação a um veículo onde este sistema opera, visando a interação segura entre eles. Estes axiomas identificam possíveis riscos de colisão e, de acordo com o cenário observado, sugerem ações de desvio, parada ou alteração de velocidade do veículo inteligente evitando assim um acidente. É importante salientar que estes axiomas não foram propostos para controlar um veículo autônomo, mas apenas para interpretar situações de risco. Portanto, os axiomas descritos abaixo são definidos como condições somente necessárias a respeito de algumas situações em tráfego de veículos.

Para o desenvolvimento destes axiomas levou-se em consideração apenas a visão frontal do agente, delimitada pelo cone de visão cuja abertura é de 120° conforme demonstrado na figura 3. Considerou-se também o percurso tanto do agente quanto dos veículos comuns em duas faixas, uma à esquerda e outra à direita do veículo inteligente (observador).

Os axiomas determinam as seguintes ações de segurança:

- *parar*(v, t), determina que o veículo inteligente deve parar no instante t ;
- *reiniciarmov*(v, t), determina que o veículo inteligente está seguro para reiniciar movimento no instante t ;
- *mudarfe*(v, t), determina que o veículo inteligente deve mudar para a faixa da esquerda no instante t ;
- *mudarf*(v, t), determina que o veículo inteligente deve mudar para a faixa da direita no instante t ;

- *desacelerar*(v, t), determina que o veículo inteligente deve desacelerar no instante t para manter-se seguro;
- *matervelcte*(v, t), determina que o veículo inteligente deve manter sua velocidade constante no instante t para manter-se seguro;
- *acelerar*(v, t), determina que o veículo inteligente está seguro para acelerar no tempo t .

Não foram consideradas as ações “*virar à direita*”, “*virar à esquerda*” e “*seguir adiante*” por tratarem-se de ações referentes ao percurso do veículo, devendo ser abordadas em um sistema de controle e planejamento de trajetória.

Para determinar qual a ação mais adequada no momento, o sistema analisa quadro a quadro os dados da base de conhecimento. Esta base é formada por dados extraídos de um Simulador de Tráfego de Veículos (descrito na seção 4.1) que são representados da seguinte forma:

$$\text{descricao}(\text{objeto}, \text{tempo}, \text{distancia}, \text{angulodireito}, \text{anguloesquerdo}). \quad (1)$$

O símbolo “objeto” representa a identificação de um obstáculo que aparece no cone de visão do veículo inteligente; “tempo” é a descrição do instante em que o dado foi gerado (que representa os quadros de uma sequência de vídeo (cf. seção 3.2), ou no presente caso, de uma sequência de perfis de profundidade); “distância” é o quanto o objeto está distante do observador, em uma unidade de medida (um); “ângulo direito” é o quanto da via dentro do campo de visão do observador está livre à direita do objeto identificado; “ângulo esquerdo” é análogo ao “ângulo direito”. Neste trabalho as distâncias são obtidas diretamente a partir dos perfis de profundidade (cf. seção 3.1).

Como os dados foram extraídos de um simulador, não há uma unidade de medida real para as distâncias objetos-observador, devendo este item ser adaptado nas fórmulas lógicas caso o sistema seja instalado em um veículo real. Portanto, considerou-se uma unidade de medida genérica (um) suficiente para observação do comportamento do sistema nas situações simuladas.

4.1 Simulador de Tráfego de Veículos

O Simulador de Tráfego de Veículos utilizado neste trabalho é um sistema bidimensional, formado por um cenário que contém vias estáticas, um veículo inteligente, veículos comuns e pedestres, sendo apresentado de um ponto de vista global (cf. figura 3). O usuário define a posição dos veículos e pedestres nas vias e define seus percursos. Após os objetos serem posicionados e seus percursos definidos, inicia-se o processo de simulação, onde o sistema executa o movimento dos

veículos e gera os dados de acordo com o perfil de profundidade dos veículos e pedestres do ponto de vista do veículo inteligente. Assim, não é possível executar uma simulação sem que o veículo inteligente seja inserido no cenário (Ferrari et al., 2008). Para o Sistema de Segurança em Tráfego de Veículos foram utilizadas simulações contendo apenas veículos comuns e o veículo inteligente (excluindo-se, portanto, pedestres do domínio), uma vez que o objetivo do sistema é a interação segura entre veículos.

Para gerar o perfil de profundidade são utilizadas relações trigonométricas entre o observador e os objetos. Quando o sistema detecta os objetos no campo de visão do observador, é gerada uma reta do ponto central de cada objeto ao ponto de origem do cone de visão do observador e a partir daí obtém-se o coeficiente angular dos objetos. Para obter a largura aproximada de cada objeto, considera-se que eles sejam circulares e calcula-se quantos graus da visão do observador o objeto ocupa.

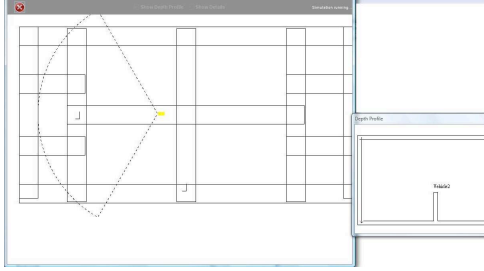


Figura 3: Simulador de Tráfego de Veículos

A interpretação do perfil de profundidade é feita através da combinação dos dados de *background* e *foreground*. Quando o sensor do veículo detecta algum obstáculo entre ele e o fim de seu campo de visão, a informação é considerada *foreground* e possui a seguinte forma: $foreground(vehicle1, 30.3, 3.65)$ onde é representado o *tag* do objeto detectado (*vehicle1*), distância objeto-observador ($30.3um$) e diâmetro angular do objeto ($3.65um$). Quando não há detecção de objeto algum, a informação é considerada *background*.

4.2 Axiomas

Os axiomas que representam as ações do sistema de segurança de tráfego de veículos estão descritos a seguir, onde v representa o veículo autônomo, t o instante, o os veículos comuns, δ_n ($n \in \{1, \dots, 5\}$) são valores de limiar que representa as distâncias de segurança para cada ação, podendo seus valores serem alterados caso o sistema seja implementado em um veículo real (respeitando-se sempre a proporcionalidade existente no código). Finalmente, θ_e e θ_d representam as distâncias angulares dos objetos observados no cone de visão do veículo

autônomo, à esquerda e à direita respectivamente.

$$[A1] \text{ Parar}(v, o, t) \leftarrow dist(v, o, t) \leq \delta_1;$$

$$[A2] \text{ Reiniciarmov}(v, o, t_2) \leftarrow dist(v, o, t_2) > \delta_1 \wedge \text{Parar}(v, t_1), \wedge \neg \text{Acelerar}(v, t_2) \wedge \neg \text{Mantervelcte}(v, o, t_2) \wedge \neg \text{Desacelerar}(v, t_2) \wedge (t_2 > t_1);$$

$$[A3] \text{ Mudarfe}(v, o, t_2) \leftarrow \delta_1 < dist(v, o, t_2) \leq \delta_2 \wedge ang(v, o, t_2, \theta_d, \theta_e) \wedge (\theta_e > \theta_d) \wedge (\theta_e > \delta_5) \wedge \neg \text{Parar}(v, t_1) \wedge (t_2 > t_1);$$

$$[A4] \text{ Mudarfd}(v, o, t_2) \leftarrow \delta_1 < dist(v, o, t_2) \leq \delta_2 \wedge ang(v, o, t_2, \theta_d, \theta_e) \wedge (\theta_e < \theta_d) \wedge (\theta_d > \delta_5) \wedge \neg \text{Parar}(v, t_1) \wedge (t_2 > t_1);$$

$$[A5] \text{ Desacelerar}(v, o, t_2) \leftarrow \delta_2 < dist(v, o, t_2) \leq \delta_3 \wedge \neg \text{Parar}(v, t_1) \wedge (t_2 > t_1);$$

$$[A6] \text{ Mantervelcte}(v, o, t_2) \leftarrow \delta_3 < dist(v, o, t_2) \leq \delta_4 \wedge \neg \text{Parar}(v, t_1) \wedge (t_2 > t_1);$$

$$[A7] \text{ Acelerar}(v, o, t_2) \leftarrow dist(v, o, t_2) > \delta_4 \wedge \neg \text{Parar}(v, t_1) \wedge (t_2 > t_1);$$

A ação *Parar* (segundo o axioma [A1]) é inferida pelo sistema quando a distância entre objeto e observador representada no perfil de profundidade atinge o valor mínimo δ_1 determinado para segurança.

Após uma solicitação de parada, a ação *Reiniciarmov* (axioma [A2]) permite que o veículo inteligente volte a se movimentar e continuar seu percurso. Esta ação é inferida assim que a distância entre o veículo inteligente e o objeto a sua frente saia do nível inseguro, ou seja, a distância entre eles deve ser maior do que δ_1 .

Se a distância entre o veículo autônomo e o objeto estiver entre δ_1 e δ_2 e o veículo estiver em movimento, há duas opções de ações a serem determinadas: *Mudarfd*, “mudar para a faixa da direita” (axioma [A3]) ou *Mudarfe*, “mudar para a faixa da esquerda” (axioma [A4]). A decisão é tomada levando-se em consideração o espaço angular ocupado pelo objeto no cone de visão do observador, dado este também gerado pelo pico do Cálculo de Perfil de Profundidade Dinâmico. Em uma via, o sistema compara o espaço restante do lado esquerdo θ_e e do lado direito θ_d do objeto, mudando de faixa para o lado com maior espaço, analisando se não há nenhum outro objeto na faixa de destino e se o espaço apresentado é suficiente para sua passagem. Neste trabalho não utilizamos sistemas para detecção de faixas de rodagem pois já existem trabalhos desenvolvidos especificamente nesta área (e.g. (Santos et al., 2010)), não sendo o objetivo deste trabalho.

As decisões referentes ao controle de velocidade estão diretamente relacionadas à distância objeto-observador apresentada pelos picos. Quanto maior a distância entre eles, mais seguro

o sistema admite estar o veículo inteligente para acelerar (cf. axioma [A7]). Conforme esta distância vai diminuindo, o sistema considera prudente manter a velocidade constante (cf. axioma [A6]) e se o pico continuar apresentando o mesmo comportamento, desacelerar (cf. axioma [A5]).

5 Testes

Os testes foram realizados através do simulador de tráfego de veículos descrito na seção 4.1, onde diversas situações de risco foram apresentadas ao sistema. Em um mesmo cenário estavam presentes o veículo inteligente e veículos comuns que serviram de obstáculos ao agente. O percurso de todos os envolvidos foi pré-determinado pelo usuário com o objetivo de interferir no percurso do veículo inteligente e desta maneira testar as ações sugeridas pelo sistema.

Após o posicionamento dos veículos e a determinação dos percursos, habilitou-se o simulador de tráfego de veículos para gerar os movimentos e os perfis de profundidade dinâmicos. Os perfis foram gerados quadro a quadro, e transformados em sentenças tais como aquela representada pela fórmula 1, a partir da qual extraiu-se a base de conhecimento para o sistema de segurança em tráfego de veículos.

A base de conhecimento foi inserida no programa desenvolvido em PROLOG, onde consta o código com as fórmulas que representam os axiomas introduzidos na seção 4.2. Foram gerados vários cenários com diferentes disposições de veículos e percursos.

As consultas foram realizadas tanto em ordem cronológica dos fatos simulados quanto aleatoriamente através dos instantes em que os perfis de profundidade foram registrados. Foram geradas situações em vários graus de risco para o veículo autônomo e em seguida o sistema foi consultado, identificando cada uma delas, até mesmo as mais repentinas, como um veículo comum atravessando um cruzamento em alta velocidade.

Vários exemplos para cada uma das situações modeladas na seção 4.2 foram gerados no simulador descrito na seção 4.1. Para cada instante consultado a interpretação do veículo inteligente foi consistente com a situação simulada. Portanto, o sistema obteve uma taxa de acerto de 100% para as situações geradas pelo simulador. Acreditamos que esta taxa de acerto deverá se degradar suavemente, a medida em que inserirmos não determinismo no simulador e aplicarmos o sistema de raciocínio espacial em um veículo real. Estas, porém, são tarefas para trabalhos futuros.

6 Conclusão

O sistema de segurança em tráfego de veículos proposto neste artigo funcionou de forma satisfatória

nos testes realizados, tendo identificado corretamente todas as situações apresentadas em um ambiente simulado. Este sistema destaca-se por sua simplicidade e facilidade de implementação. Os dados de entrada podem ser adquiridos através de uma câmera estéreo, gerando informações suficientes para que o sistema possa inferir fatos não triviais sobre situações de tráfego.

Até este momento, foram utilizadas fórmulas lógicas que buscam na base de conhecimento apenas dados extraídos da visão frontal do agente. O aprimoramento do sistema deverá ser realizado em trabalhos futuros, onde ocorrerá, por exemplo, acréscimo da visão dos retrovisores e outros dados de entrada necessários. O mesmo sistema poderá ser utilizado sem problemas, apenas acrescentando-se as devidas fórmulas para interpretar os novos dados e complementar o raciocínio de ações. Também propõe-se a instalação deste sistema em um veículo real, o que acarretará em sua adaptação para lidar com incertezas e sua integração a um sistema de controle do veículo.

Acknowledgements

Este projeto foi parcialmente financiado pela FAPESP projecto LogProb, 2008/03995-5, São Paulo. Paulo Santos é bolsista de produtividade CNPq, Brazil.

Referências

- Cohn, A. G., Bennett, B., Gooday, J. and Gotts, N. M. (1997). Representing and reasoning with qualitative spatial relations about regions, *Spatial and Temporal Reasoning* pp. 97–134.
- Cohn, A. G. and Hazarika, S. M. (2001). Qualitative spatial representation and reasoning: An overview, *Fundamenta Informaticae* **46**(1-2): 1–29.
- Ferrari, F., Marotti, J., Cabral, J. and Oliveira, S. (2008). Simulação de tráfego de veículos por raciocínio de ações e mudanças. relatório do trabalho de conclusão de curso.
- Küçükay, F. and Bergholz, J. (2004). Driver assistant systems, *International Conference on Automotive Technologies (ICAT)*, Istanbul, Turkey.
- Randell, D. A., Cui, Z. and Cohn, A. G. (1992). A spatial logic based on regions and connection, *KR*, pp. 165–176.
- Randell, D. A., Witkowski, M. and Shanahan, M. (2001). From images to bodies: Modelling and exploiting spatial occlusion and motion parallax, *IJCAI*, pp. 57–66.
- Reiter, R. (2001). *Knowledge in Action: Logical Foundations for Specifying and Implementing Dynamical Systems*, MIT Press.
- Santos, P. (2007). Reasoning about depth and motion from an observer's viewpoint, *Spatial Cognition and Computation* **7**(2): 133–178.
- Santos, P., Cozman, F., Pereira, V. F. and Hummel, B. (2010). Probabilistic logic encoding of spatial domains, *International Workshop on Uncertainty in Description Logics*, pp. 1–10.
- Soutchanski, M. and Santos, P. (2008). Reasoning about dynamic depth profiles, *ECAI*, pp. 30–34.