

Estacionamento de um veículo de forma autônoma em um ambiente tridimensional

Milton Roberto Heinen (UNISINOS/PIPCA)

mheinen@turing.unisinos.br

Fernado Santos Osório (UNISINOS/PIPCA)

fosorio@unisinos.br

Farlei José Heinen (UNISINOS)

farlei@exatas.unisinos.br

Resumo. Este trabalho tem por objetivo apresentar um sistema de controle inteligente de veículos autônomos. O sistema desenvolvido é responsável pela automatização da tarefa de condução de um veículo, onde se buscou obter um sistema de controle robusto capaz de estacionar um carro em uma vaga paralela. O sistema permite controlar o carro através da leitura de um conjunto de sensores do tipo sonar, gerando os comandos de aceleração e de giro de direção, de modo a estacionar o carro em uma vaga paralela. O sistema conta com um controlador implementado através do uso de um autômato finito baseado em regras, e os resultados obtidos demonstram que o controlador é capaz de estacionar corretamente o carro baseado apenas nas informações provenientes dos sensores.

Palavras-chave: Robótica autônoma, controle sensorial-motor inteligente, condução autônoma

1 Introdução

Os veículos autônomos (RMA - Robôs Móveis Autônomos) tem atraído a atenção de um grande número de pesquisadores, devido ao desafio que este novo domínio de pesquisas propõe: dotar sistemas de uma capacidade de raciocínio inteligente e de interação com o meio em que estão inseridos. Os RMA's podem perceber o ambiente em que estão inseridos através da leitura de seus sensores (infravermelho, Sonar, lasers, câmeras de vídeo, etc), e através desta percepção sensorial eles podem planejar melhor as suas ações [11] [7].

Atualmente os robôs móveis atuam em diferentes áreas, como desarmamento de bombas, exploração de ambientes hostis, e a condução de veículos robotizados. Alguns exemplos de RMA's são: o sistema desenvolvido pelo NavLab da CMU [16] [1] que é capaz de conduzir uma caminhonete pelas estradas americanas; os robôs do tipo rover enviados para Marte pela NASA [17]; o robô Dante, que explora o interior de vulcões [10]; e o sistema de controle de um veículo Ligier elétrico desenvolvido pelos pesquisadores do INRIA na França [15] [9]. Todos esses sistemas possuem em comum a capacidade de receber leituras de sensores que lhes dão informações sobre o ambiente em que estão inseridos, e de modo semi ou completamente autônomo geram os comandos que fazem com que eles se desloquem no ambiente de modo seguro, ou seja, sem se chocar contra obstáculos ou colocar em risco a sua integridade ou a dos diferentes elementos presentes no ambiente.

A partir de estudos e trabalhos de pesquisa desenvolvidos pelo Grupo de Inteligência Artificial do PIPCA, foram criadas as bases para o desenvolvimento de aplicações na área de robótica

autônoma móvel. Destaca-se particularmente o desenvolvimento do sistema SEVA (Simulador de Estacionamento de Veículos Autônomos) [13], que realiza a tarefa de estacionamento de um robô não-holonômico (tipo carro) em uma vaga paralela. Este simulador utiliza um ambiente bidimensional (2D) no qual um veículo equipado com seis sensores do tipo infra-vermelho é controlado através do uso de um autômato finito e de uma Rede Neural do tipo *Jordan Cascade-Correlation* (J-CC) [3] [14].

Uma das limitações do SEVA original é que pelo fato do ambiente simulado ser bidimensional, os objetos presentes não possuem altura, o que torna o modelo muito simplificado em relação à realidade. Em um ambiente tridimensional (3D), tarefas como a localização do meio-fio da calçada são mais difíceis de serem executadas, pelo fato deste possuir uma altura muito pequena (em média 15cm). Outra limitação do modelo é que em um ambiente bidimensional, a presença de ruídos nos dados coletados por sensores infravermelhos é praticamente nula, o que torna o modelo muito diferente da realidade.

Devido a estas limitações, foi proposto o desenvolvimento do sistema SEVA3D (Simulador de Estacionamento de Veículos Autônomos em um ambiente tridimensional), que realiza a tarefa de estacionamento de um veículo em uma vaga paralela utilizando um ambiente tridimensional, portanto muito mais próximo à realidade. Este sistema utiliza o simulador SimRob3D [8], e realiza o estacionamento do veículo de forma autônoma através de um autômato finito baseado em regras. Sensores do tipo Sonar foram instalados em pontos estratégicos do veículo para que a tarefa de estacionamento fosse possível.

Nas seções seguintes serão descritos o modelo de simulação adotado, o controlador baseado em regras, os experimentos realizados, os resultados obtidos, e ao final serão apresentadas melhorias que poderão vir a ser implementadas futuramente.

2 Outras Abordagens

Estudos relativos ao estacionamento de veículos de forma autônoma vem sendo realizados por diversos pesquisadores, dentre os quais podemos destacar os estudos realizados no INRIA [15] [9] para o controle e estacionamento de um veículo Ligier elétrico de forma autônoma. O veículo foi equipado com 14 sensores do tipo Sonar. A Figura 1 mostra um esquema do modelo.

O sistema em questão utilizou o modelo de cinemática Ackerman [2] para descrever o deslocamento do veículo. A tarefa de estacionamento foi dividida em três etapas: localização da vaga; ajuste da posição do veículo para permitir o estacionamento; manobra de estacionamento. Enquanto o veículo percorre a via à procura de uma vaga, um mapa do ambiente vai sendo elaborado a partir dos dados sensoriais. Ao ser localizada uma vaga de tamanho suficiente, o sistema calcula a posição de início da manobra e movimenta o veículo até esta posição. Após o veículo estar corretamente posicionado, começa a manobra de estacionamento propriamente dita, que é realizada através do uso de funções senoidais (descritas em [12]), que fazem com que o veículo percorra uma trajetória suave, como mostra a Figura 2.

Durante toda manobra de estacionamento, o veículo é controlado de forma iterativa, e a cada

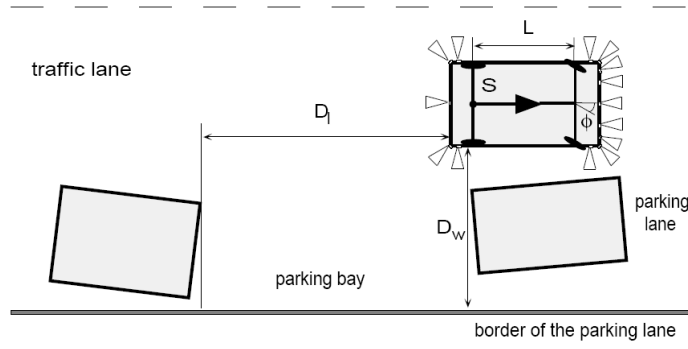


Figura 1: Modelo do INRIA

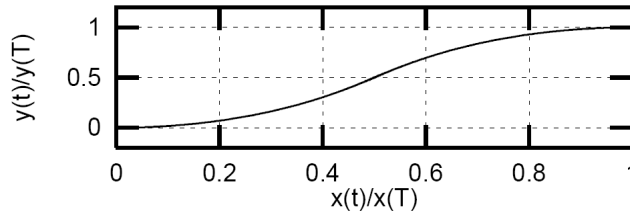


Figura 2: Trajetória percorrida

instante o ajuste da velocidade e do giro da direção são calculados pelas fórmulas:

$$\phi(t) = \phi_{max} k_{\phi} A(t), \quad 0 \leq t \leq T, \quad (1)$$

$$v(t) = v_{max} k_v B(t), \quad 0 \leq t \leq T, \quad (2)$$

onde $\phi(t)$ é o giro da direção no instante t , $v(t)$ é a velocidade do veículo no instante t , T é a duração máxima da manobra, ϕ_{max} é o giro máximo da direção, e v_{max} é a velocidade máxima durante a manobra. $k_{\phi} = \pm 1$ indica se o estacionamento é em uma vaga à esquerda (-1) ou à direita ($+1$), e $k_v = \pm 1$ indica se a direção do movimento é para a frente ($+1$) ou para trás (-1). Os valores de $A(t)$ e $B(t)$ são calculados através das fórmulas:

$$A(t) = \begin{cases} 1, & 0 \leq t < t', \\ \cos \frac{\pi(t-t')}{T^*}, & t' \leq t \leq T - t', \\ -1, & T - t' < t \leq T, \end{cases} \quad (3)$$

$$B(t) = 0.5(1 - \cos \frac{4\pi t}{T}), \quad 0 \leq t \leq T, \quad (4)$$

$$t' = \frac{T - T^*}{2}, \quad T^* < T, \quad (5)$$

onde T (duração da manobra) e T^* (duração da parte curva da manobra) são estimados a partir das distâncias da largura da vaga (D_l) e da profundidade da vaga (D_w).

Para que o cálculo da profundidade da vaga fosse possível, foi necessária a instalação de uma barreira de altura moderada junto ao meio-fio, para que os sensores pudessem detectá-lo com mais precisão [15]. A vantagem de utilizar funções senoidais ao invés de um autômato finito baseado em regras é que os movimentos tornam-se muito mais suaves, ou seja, não há uma transição brusca de estados. As principais desvantagens são a necessidade da instalação de uma barreira, o que torna o estacionamento inviável em vias convencionais, e a necessidade da utilização de muito mais sensores do tipo sonar (quatorze no total). No SEVA3D, foram necessários apenas seis sensores.

3 Simulador SEVA3D

O simulador SEVA3D possui diversas melhorias em relação ao SEVA original, dentre as quais é possível destacar:

- Utiliza um ambiente tridimensional e sensores do tipo Sonar;
- Realiza o estacionamento em uma vaga paralela independente da presença de outros carros estacionados (o sistema funciona mesmo não haja nenhum outro carro);
- É muito mais robusto em relação à distância entre o carro e o meio-fio, aceitando valores de 2 e 4 metros;
- Realiza o afastamento do veículo de forma automática se ele estiver muito próximo aos carros estacionados antes do início da manobra (distâncias menores que 30cm em relação aos carros à direita);
- Permite que a manobra seja visualizada sob qualquer ângulo e posição do ambiente tridimensional.

Os principais componentes do modelo do simulador SEVA3D são:

- Modelo sensorial;
- Modelo cinemático (deslocamento do veículo);
- Comandos relacionados ao deslocamento (avançar, recuar e velocidade) e ao giro do veículo (rotação da direção);
- Sistema de controle do veículo durante o estacionamento (autômato finito).

3.1 SimRob3D

Para a implementação do SEVA3D foi utilizado o simulador SimRob3D, desenvolvido por Farlei Heinen [8]. Este simulador tem como principal característica o fato de utilizar um ambiente tridimensional para a navegação dos robôs móveis simulados. O ambiente pode ser modelado em diversos softwares de modelagem tridimensional existentes no mercado, como o 3D Studio MAX¹, e permite que sejam especificados os diversos elementos presentes em um ambiente (objetos, luzes, texturas), o que resulta em um nível de realismo muito superior aos obtidos em simuladores bidimensionais. O simulador possui diferentes modelos sensoriais e cinemáticos, permitindo a configuração de diversos tipos de robôs.

¹<http://www.autodesk.com/3dsmax/>

O SimRob3D não possui internamente nenhuma forma de controle da simulação, pois todo o controle da simulação, inserção de robôs e sensores, é realizado por um controlador. Este controlador é externo ao SimRob3D, e a interface entre os dois softwares é realizada utilizando-se uma biblioteca dinâmica (DLL). O SimRob3D disponibiliza uma API (*Application Programming Interface*) que fornece diversos recursos para que o controlador possa interagir com ambiente da simulação.

3.2 Modelo Sensorial

Os sensores de distância simulam sensores do tipo Sonar, sendo capazes de determinar a distância entre o veículo e os obstáculos presentes no ambiente: outros carros e a calçada. Os seis sensores utilizados estão distribuídos em pontos estratégicos do carro, como mostra a Figura 3. Foram im-

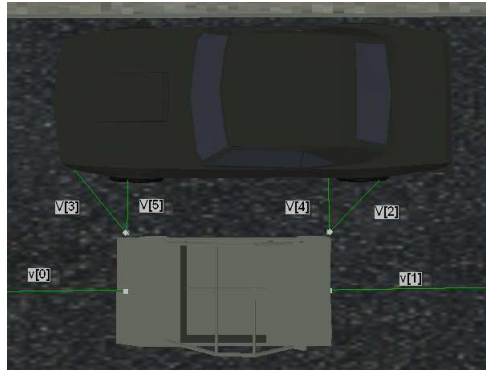


Figura 3: Localização dos sensores

plementados apenas os sensores da lateral direita do veículo, pois o modelo se restringiu apenas ao estacionamento em vagas paralelas localizadas no lado direito do carro, caso típico em pistas de duas vias. Os sensores V[2] e V[3] precisaram ser instalados com uma certa inclinação em relação ao solo, para que fosse possível detectar o meio-fio.

Os sonares são sensores muito úteis em robótica, pois podem fornecer estimativas robustas relativas à distância de vários tipos de objetos. Estas estimativas podem ser utilizadas para perceber o ambiente, e geralmente são difíceis de serem obtidas através de outros métodos. O modelo utilizado pelo SimRob3D para simular os sensores do tipo sonar é estocástico. Diversos raios são traçados da posição do sensor em direção a sua orientação. Uma técnica de RayCast² foi utilizada para traçar os raios, que são distribuídos aleatoriamente na forma de um cone, e se algum deles colidir com alguma das faces tridimensionais do ambiente, a distância até o ponto de colisão é informada.

Devido ao fato das distâncias informadas pelos sensores serem estocásticas, foi utilizado um método de janelamento [6], com uma janela de tamanho 10, para a leitura dos dados sensoriais. Além dos sensores do tipo Sonar, é utilizado um odômetro para verificar se uma vaga é suficientemente grande para permitir o estacionamento do veículo.

²RayCast é uma técnica da computação gráfica que mimetizar os efeitos físicos associados com a propagação de raios de luz [4]

3.3 Modelo Cinemático

A movimentação do veículo respeita o modelo Ackerman de cinemática de um veículo [2]], também adotado em [5]. Neste modelo é simulado um veículo representado por um volume retangular suportado por quatro rodas, onde as rodas traseiras possuem um eixo fixo e as rodas dianteiras podem ser direcionadas, através do giro da barra da direção. As coordenadas do veículo são definidas por $P(t) = (x(t), y(t), \theta(t))$, onde $x(t)$ e $y(t)$ definem o ponto médio do eixo traseiro do veículo (ponto 0) no instante t e $\theta(t)$ indica a sua orientação (ângulo em relação à direção de referência). O deslocamento do veículo é estimado através das seguintes equações [2]:

$$x(t) = \int_0^t V(t) \cos[\phi(t)] \cos[\theta(t)] dt \quad (6)$$

$$y(t) = \int_0^t V(t) \cos[\phi(t)] \sin[\theta(t)] dt \quad (7)$$

$$\theta(t) = \int_0^t \frac{V(t)}{L} \tan[\phi(t)] dt \quad (8)$$

onde $V(t)$ representa a velocidade do veículo no instante t , $\phi(t)$ representa o giro da direção do veículo no instante t , e L indica o comprimento do eixo das rodas. A Figura 4 apresenta um esquema

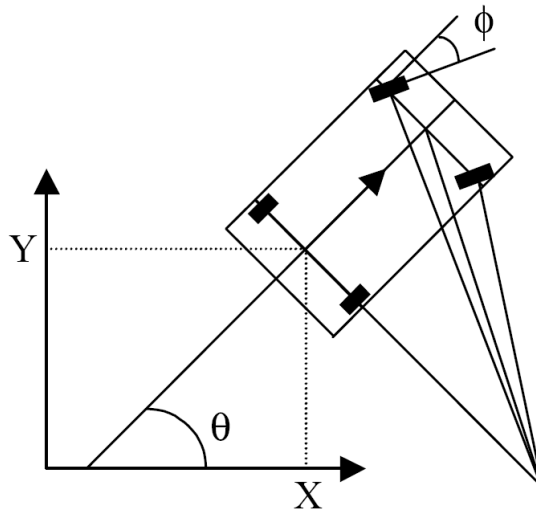


Figura 4: Modelo cinemático

do modelo cinemático adotado no SEVA3D. Convém notar que os valores $x(t)$ e $y(t)$ dependem de $\theta(t)$, que é alterado de forma contínua durante o deslocamento do veículo.

3.4 Controle

O deslocamento do veículo é obtido na simulação através do controle de sua velocidade V e do giro da direção ϕ . Diferentemente do modelo do SEVA original, no SEVA3D as velocidades adotadas durante a manobra podem ser definidas pelo usuário, em valores de 0 (parado) a 80 (muito rápido). Quando o veículo precisa se deslocar para trás, é utilizada a velocidade com sinal negativo.

O giro da direção durante a manobra (ϕ) também pode ser informado pelo usuário, em valores entre 0 e 35, que correspondem ao giro máximo da direção em graus durante a entrada do carro na vaga. Quando o veículo precisa virar à direita, ϕ é utilizado com sinal negativo.

3.5 Autômato finito

A Figura 5 mostra o diagrama de estados do autômato finito utilizado pelo SEVA3D. Foram uti-

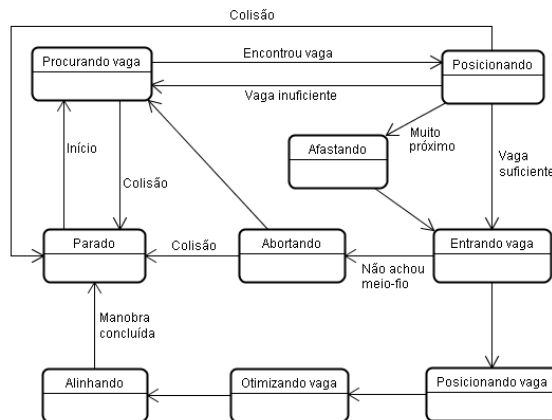


Figura 5: Estados do autômato

lizados nove estados, dois a mais que no SEVA original. As finalidades de cada um dos estados são:

- **Parado:** Estado inicial do autômato, antes do veículo começar a se deslocar. Também é o estado atingido quando se detecta uma colisão;
- **Procurando vaga:** Início da manobra de estacionamento, quando o veículo se desloca para frente com a direção reta, buscando encontrar uma vaga. Se encontrar, o estado muda para **Posicionando**;
- **Posicionando:** O veículo se desloca para a frente, a fim de atingir uma posição que torne possível o estacionamento, e também para verificar se a vaga é suficientemente grande. Se não for, o estado volta para **Procurando vaga**. Caso o veículo se encontre muito próximo aos carros estacionados à direita, o estado muda para **Afastando**. Se a vaga for de tamanho suficiente, o estado muda para **Entrando vaga**;

- **Afastando:** O veículo se encontra muito próximo aos carros estacionados na lateral direita (menos de 30cm), o que dificulta a manobra. Neste caso, o carro inicialmente se desloca para a frente com a direção voltada para esquerda, a fim de se afastar dos carros estacionados. Após ter se afastado o suficiente, o carro é novamente alinhado de forma paralela em relação à via. Para que isto ocorra, o giro da barra de direção é calculado pela fórmula:

$$\phi(t) = \arctan\left(\frac{L \theta(t)}{V(t)}\right) \quad (9)$$

Se $\phi(t)$ for maior que o giro máximo da barra de direção (ϕ_{max}), o ajuste é limitado a (ϕ_{max}), o que faz com que a manobra exija vários passos sucessivos até ser concluída. Após o carro estar alinhado, ele volta para trás com a direção reta até atingir a posição ideal para o início da manobra de estacionamento, e o estado muda para **Entrando vaga**;

- **Entrando vaga:** O carro vira a direção para a direita e começa a se movimentar para trás, de forma a entrar na vaga. Os valores de ϕ e V utilizados são os que foram pré-configurados pelo usuário. Quando o sensor **V[2]** (Figura 3) detectar o meio-fio da calçada, o estado muda para **Posicionando vaga**. Caso o veículo ultrapasse uma distância limite sem encontrar o meio-fio, o estado muda para **Abortando**;
- **Abortando:** Quando não for possível encontrar o meio-fio da calçada, o veículo faz uma manobra de retorno até o meio da via, onde o giro da direção é calculado pela fórmula:

$$\phi(y) = \int_{y_0}^{y_d} -\theta(y) \left(\frac{y - y_d}{y_0 - y_d}\right) dy \quad (10)$$

onde y_0 é a posição carro em relação a y no início deste estado, y_d é a posição y desejada (no meio da via). Esta fórmula faz com que a direção do carro inicialmente se volte totalmente para a direita (ϕ_{max} à direita) e a medida que o carro vai se aproximando de y_d , as rodas do veículo tendem a se posicionar de forma paralela à via, fazendo com que a manobra de retorno seja suave. Quando $y \geq y_d$, o estado volta para **Procurando vaga**;

- **Posicionando vaga:** neste estado, o veículo prossegue para trás, mas com a direção à esquerda. Quando o sensor **V[3]** detectar o meio-fio da calçada ou o sensor **V[1]** detectar um obstáculo a menos de 30cm, o estado muda para **Otimizando vaga**;
- **Otimizando vaga:** o carro se desloca para frente de forma a ficar paralelo ao meio-fio, e o giro da direção é calculado novamente usando a Fórmula (9). Após o carro estar paralelo, o estado muda para **Alinhando**;
- **Alinhando:** neste estado o veículo é movimentado de forma a ficar a uma distância razoável em relação aos carros estacionados à frente ou atrás. Após o alinhamento estar concluído, o estado muda para **Parado** e a manobra é encerrada.

3.6 Autômato finito - Retirada

O diagrama de estados do autômato finito utilizado durante a retirada do veículo é mostrado na Figura 6. Para que a retirada seja possível, o carro precisa estar situado dentro de uma vaga. As finalidades de cada um dos estados são:

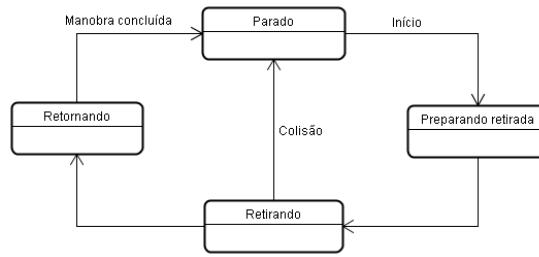


Figura 6: Estados na retirada

- **Preparando retirada:** o veículo se desloca para trás até ficar a menos de 30cm do veículo estacionado atrás, se houver um, ou até quando a distância em relação ao carro da frente for suficiente para a retirada;
- **Retirando:** O veículo se desloca para frente, fazendo um movimento de “S”, de forma a voltar para o meio da via. O movimento da barra de direção é durante a retirada é calculado pela fórmula:

$$\phi(x) = \int_0^{x_d} \left[\frac{\phi_{max}(x - x_d)}{-x_d} - \frac{\theta(x)}{x_d} \right] dx \quad (11)$$

onde x_d é a posição x desejada ao final da manobra. Esta fórmula faz com que inicialmente a direção se volte para a esquerda, e a medida que o carro se desloca em direção a x_d , as rodas vão girando de forma a ficarem paralelas com a via (para a direita). O valor de x_d é calculado a partir da distância do carro em relação ao carro da frente. Quanto maior a distância, maior pode ser o valor de x_d , o que torna a manobra mais suave. Se for detectada uma colisão, o estado muda para **Parado**. Quando $x \geq x_d$, o estado muda para **Retornando**;

- **Retornando:** o carro é novamente alinhado de forma paralela em relação à via, e após isto o estado muda para **Parado** e a manobra é encerrada.

4 Implementação

Para a implementação do modelo, foi utilizado o simulador SimRob3D [8], e foi construído no *software* 3D Studio Max um modelo de tridimensional de uma via com carros estacionados, para fosse possível realizar o estacionamento de forma adequada. A Figura 7 mostra uma imagem do ambiente modelado. O veículo modelado para realizar o estacionamento é uma reprodução de um veículo do tipo Buggy, pertencente ao curso de engenharia elétrica da Unisinos.

O sensor **V[2]**, responsável por detectar o meio-fio da calçada na troca do estado **Entrando vaga** para **Posicionando vaga**, precisa ser apontado levemente para baixo em certo ângulo. Este ângulo depende da altura de **V[2]** informada pelo usuário. De forma similar, o sensor **V[3]** também precisa estar apontado levemente para baixo, de forma que detecte o meio-fio na transição entre os estados **Posicionando vaga** e **Otimizando vaga**.

Para a implementação do autômato finito, foi desenvolvido um controlador do SimRob3D (*control.dll*) em linguagem C, que implementa toda a funcionalidade do SEVA3D relativa ao controle e a

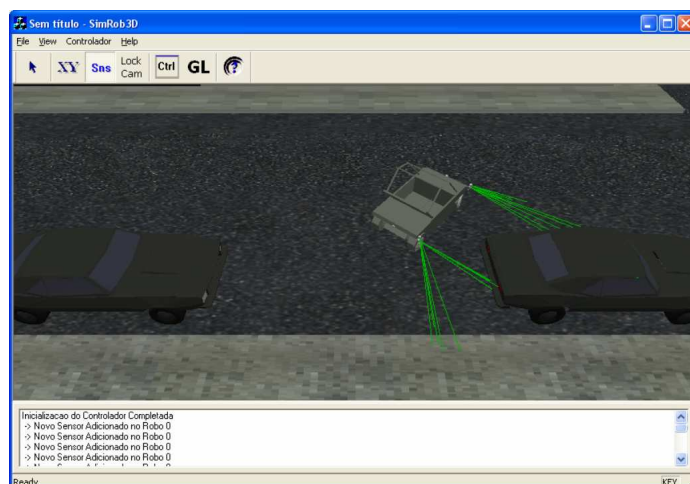


Figura 7: Ambiente modelado

movimentação dos veículos. Para o acompanhamento da manobra de estacionamento, o usuário pode visualizar o ambiente com a câmera posicionada em qualquer ponto, e além disto, uma tela fornece diversas informações relativas à simulação, como o estado do autômato, os valores percebidos pelos sensores, a velocidade, giro da direção, etc. A Figura 8 mostra a tela contendo estas informações. Vários testes preliminares foram realizados, e se verificou que o modelo se comportava de forma similar à realidade.

5 Resultados

Para a validação do SEVA3D, diversos experimentos foram planejados e realizados. Para se verificar a robustez do sistema, foram realizadas diferentes simulações, variando os seguintes fatores em cada uma delas:

- A posição inicial do carro em relação ao centro da via. Foram testadas posições desde poucos centímetros em relação aos demais carros estacionados até mais de 3 metros a estes;
- O estacionamento foi testado entre dois carros, na presença de apenas um carro estacionado e também sem nenhum outro carro estacionado na via;
- O estacionamento foi testado próximo à esquinas e entradas de garagem, onde o referencial do meio fio não existia à frente ou atrás da vaga.

Devido a natureza estocástica dos dados sensoriais, foram planejados 10 experimentos utilizando números aleatórios diferentes para cada uma das configurações de simulação, e ao final foi calculada a média e o desvio padrão.

Em todas estas situações, o SEVA3D foi capaz de estacionar o veículo de forma satisfatória, com uma média de 26,16cm em relação ao meio fio e um desvio padrão de 5,92cm, o que demonstra que o sistema é bastante seguro e robusto no estacionamento de veículos.

SEVA 3D - Milton Roberto Heinen			
Sensor Frontal:	369.13		
Sensor Traseiro:	342.18		
Diagonal Traseiro:	153.61	Média: 147.41	
Diagonal Frontal:	119.29	Média: 123.34	
Lateral Traseiro:	167.09		
Lateral Frontal:	597.95		
Velocidade:	-1.00		
Angulo Volante:	35.00		
Posição relativa X:	102.46		
Posição relativa Y:	5.65	Antiga: 0.00	Desejada: 0.00
Angulo do Carro:	-13.23		
Odômetro:	-48.54		
Estado:	POSICIONANDO VAGA		

Figura 8: Tela de informações

6 Conclusões e perspectivas

Este trabalho teve como objetivo o desenvolvimento de um simulador para o controle de veículos autônomos em uma tarefa de estacionamento em vagas paralelas, utilizando um ambiente tridimensional e sensores do tipo Sonar. Os resultados obtidos nas simulações realizadas com a ferramenta desenvolvida, o SEVA3D, demonstraram que o sistema de controle possui a capacidade de controlar corretamente o veículo, cumprindo seu objetivo principal: estacionar o veículo corretamente na vaga, sem bater nos demais obstáculos que estão ao seu redor. As verificações, tanto numéricas quanto visuais, permitiram se constatar que a tarefa pode ser corretamente executada quando selecionados certos valores para os fatores de análise. Estes valores são os que tornam o estacionamento mais estável, seguro e robusto.

No futuro melhorias como a utilização de uma Rede Neural [6] e Lógica *Fuzzi* para a implementação do autômato podem vir a ser adotadas, assim como a implementação do SEVA3D em um veículo real.

Referências

- [1] BATAVIA, P.; POMERLEAU, D.; THORPE, C. *Applying Advanced Learning Algorithms to ALVINN*. CMU Technical Report CMU-RI-TR-96-31. Carnegie Mellon University - CMU. Pittsburgh. 1996.
- [2] DUDEK, G.; JENKIN, M. *Computational Principles of Mobile Robotics*. Cambridge University Press, 2000.
- [3] FAHLMAN, S.; LEBIERE, C. *The Cascade-Correlation Learning Architecture*. Carnegie-Mellon University - CMU, Computer Science Technical Report. CMU-CS-90-100. 1990.
- [4] FOLEY, J. *Introduction to Computer Graphics*. Reading : Addison-Wesley, xxviii, 557p. 1994.

- [5] GARNIER, P.; FRAICHARD, T.; LAUGIER, C.; PAROMTCHICK, I. *Motion Autonomy Through Sensor-Guided Manoeuvres*. IEEE-RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, Proceedings of the Intelligent Cars and Automated Highway Systems Workshop. Sept. 1999. Grenoble, France.
- [6] HAYKIN, S. *Redes Neurais: Princípios e Prática*. 2a. ed. Bookman. 2001.
- [7] HEINEN, F. *Robótica Autônoma: Integração entre Planificação e Comportamento Reativo*; UNISINOS Editora, São Leopoldo, Novembro, 1999.
- [8] HEINEN, F. *Sistema de Controle Híbrido para Robôs Móveis Autônomos*. Dissertação de Mestrado, Unisinos, 2002.
- [9] LAUGIER, C.; FRAICHARD, T.; PAROMTCHICK, I.; GARNIER, P. *Sensor Based Control Architecture for a Car-Like Vehicle*. Proceedings of the 1998 IEEE/RSJ. Canada 1998.
- [10] LEMONICK, M. *Dante Tours the Inferno*. Time Magazine - Time Domestic/Science. Vol. 144, No. 7. August 15, 1994.
- [11] MEDEIROS, A. *Introdução a Robótica*. ENA-98 Encontro Nacional de Automática (50º Congresso da SBPC). Natal, RN. pp.56-65. 1998.
- [12] MURRAY, R.; SASTRY, S. *Steering Nonholonomic Systems Using Sinusoids*. Proc. of IEEE Int. Conf. On Decision and Control, Dec., 1990, pp. 2097-2101.
- [13] OSÓRIO, F.; HEINEN, F.; FORTES, L. *Controle Inteligente de Veículos Autônomos: Automatização do Processo de Estacionamento de Carros*. SEMINCO 2001.
- [14] OSÓRIO, F.; HEINEN, F.; FORTES, L. *Controle da tarefa de estacionamento de um veículo autônomo através do aprendizado de um autônomo finito usando uma Rede Neural J-CC*. SBRN 2002.
- [15] PAROMTCHICK, I.; LAUGIER, C. *Autonomous Parallel Parking of a Nonholonomic Vehicle*. Proceedings of the IEEE International Symposium on Intelligent Vehicles., pp. 13-18. September, 1996.
- [16] POMERLEAU, D. *Neural network based autonomous navigation*. In: Thorpe, Vision and Navigation: The CMU Navlab. Kluwer Academic Publishers, 1990.
- [17] STONE, H. *Mars Pathfinder Microver: A low-cost, low-power Spacecraft*. Proceeding of the 1996 AIAA. Forum on advanced developments in Space Robotics. Madison, WI. August 1996.