



Universidade de Brasília
Decanato de Ensino de Graduação
Diretoria de Acompanhamento e Integração Acadêmica

ÁREA DO CONHECIMENTO: (X) EXATAS () HUMANAS () VIDA

Título do Projeto

Inteligência Artificial Aplicada ao Desenvolvimento de Controladores de Veículos Autônomos

Orientador:

Guilherme Novaes Ramos

Unidade Acadêmica/Departamento:

Instituto de Ciências Exatas/Ciência da Computação

Relatório Final

JTCic/UnB 2013

Título do Plano de Trabalho

Implementação de Controlador PID para Veículos Autônomos

Aluno

Lucas Avelino de Lima Jacinto

Matrícula

13/0013072



Universidade de Brasília
Decanato de Ensino de Graduação
Diretoria de Acompanhamento e Integração Acadêmica

Inteligência Artificial Aplicada ao Desenvolvimento de Controladores de Veículos Autônomos

1. Introdução

Nas últimas décadas, em todo o mundo, a população tem se concentrado mais e mais nas cidades. Com isso, alguns problemas são gerados, como por exemplo problemas de organização das vias urbanas. Uma alternativa para solucionar esse problema é a criação de veículos autônomos que utilizam sistemas de monitoramento e autorregulação para as diferentes funções do automóvel. Sistemas que controlam a velocidade, a direção, o trajeto do carro, dentre outras coisas, poderiam ser muito úteis para conduzir passageiros ou cargas de forma segura, organizada e eficaz.

O mecanismo de controle de processos Proporcional-Integral-Derivativo é muito famoso e possui resultados interessantes em diversos tipos de aplicações. Essa técnica utiliza três parâmetros: o ganho proporcional, o ganho integral e o ganho derivativo e com cada um deles realiza operações sobre o erro do sistema, de forma a obter uma resposta que tende a se aproximar do valor desejado e estacionar.

Para que possamos contar com bons controladores para conduzir veículos de forma eficiente, muitas pesquisas na área de inteligência artificial devem ser realizadas. Um experimento interessante seria testar a eficiência de controladores PID em veículos autônomos.

O experimento consiste em responder a seguinte pergunta: É possível desenvolver um piloto para o simulador TORCS (The Open Racing Car Simulator) utilizando controladores PID (Proporcional-Integral-Derivativo)?

E para responder essa pergunta, a seguinte hipótese foi formulada: é possível implementar controladores PID para a aceleração e a direção de um veículo, de forma a obter um piloto capaz de ajustar sua velocidade e direção de forma a se manter próximo de valores ideais, configurando um bom piloto.

2. Revisão Teórica

Para que se possa entender o problema é preciso primeiro conhecer um pouco do simulador TORCS e do software da competição Simulated Car Racing Championship, uma competição internacional realizada em grandes conferências na área da Computação Evolucionária e no campo da Inteligência Computacional e Jogos. Também é necessário um conhecimento básico a respeito do mecanismo de controle de processos Proporcional-Integral-Derivativo.

O TORCS é um simulador de corridas de carro que permite que o usuário dirija em corridas contra oponentes simulados pelo computador, além de ser de código aberto, multiplataforma e altamente portátil, sendo muito usado como um jogo de carro comum, como jogo de corridas para Inteligência Artificial, e como uma plataforma de pesquisa. TORCS é a melhor alternativa gratuita para jogos de corrida comerciais que possui um mecanismo físico sofisticado, que leva em conta muitos aspectos da corrida (por exemplo, colisões, tração, aerodinâmica, consumo de combustível, etc.), fornece um mecanismo



Universidade de Brasília
Decanato de Ensino de Graduação
Diretoria de Acompanhamento e Integração Acadêmica

bastante sofisticado de gráficos 3-D para visualização e também fornece um grande quantidade de conteúdo do jogo, ou seja, várias pistas, modelos de automóveis, controladores, etc.; resultando em um incontável número de situações de jogo possíveis.

Entretanto, o jogo TORCS também tem algumas desvantagens como o fato de as corridas não serem em tempo real, os bots (assim chamados os pilotos simulados pelo computador) têm total acesso ao completo estado da corrida (por exemplo, estrutura da pista, posição dos oponentes, velocidade, etc.) para planejar suas ações, além de ser restrito a linguagem de programação C/C++. Devido a esses fatores, foi desenvolvido um software para a competição Simulated Car Racing Championship que dentre outras coisas cria conexões UDP (User Data Protocol) para que os bots possam ser rodados como processos externos e se comunicar com o servidor da corrida, faz o simulador funcionar em tempo real, e cria uma camada abstrata que separa o código do piloto do servidor da corrida, que dá ao programador liberdade de escolha da linguagem e restringe o seu acesso aos dados que são fornecidos como sensores e atuadores.

Os desenvolvedores de controladores têm disponíveis 19 sensores e 7 atuadores fornecidos pelo software da competição. Os sensores fornecem informações a respeito do estado do carro (velocidade do seu carro, combustível, marcha, etc.), do estado da corrida (distância percorrida, tempo completado na última volta, etc.), e do ambiente ao redor (oponentes, bordas da pista, etc.). Os atuadores são basicamente aquilo que um piloto na vida real tem a sua disposição para realizar suas ações na corrida (aceleração, freio, embreagem, marcha, etc.).

O mecanismo de controle PID é muito famoso e bastante utilizado no meio industrial, dentre outras razões, por sua simplicidade e por sua robustez. Como o próprio nome sugere, o cálculo da resposta de saída do atuador é dado pelo cálculo proporcional, integral e derivativo e então soma-se os três componentes para calcular a saída.

A resposta proporcional é uma correção proporcional ao erro, que é a diferença entre o valor real e o valor desejado e determina a taxa de resposta de saída para o sinal de erro. A resposta integral é uma correção feita buscando zerar o erro através das somas dos erros ao longo do tempo. E a derivada de resposta é uma correção proporcional a taxa de variação do erro.

A equação usada pelo controle PID é a seguinte:

$$O(t) = K_p e(t) + K_i \int_0^t e(\tau) d\tau + K_d \frac{d}{dt} e(t)$$

Onde:

O(t) é o valor da saída no instante t;

K_p é o ganho proporcional;

K_i é o ganho integral;

K_d é o ganho derivativo;

e(t) é o valor do erro no instante t.



Quanto maior for o valor do ganho proporcional, maior a velocidade de resposta do sistema, entretanto quando ele se torna muito grande a variável de processo pode oscilar e ficar até mesmo instável. O ganho integral deve ser definido, tal que o erro de estado estacionário seja mínimo. Já no ganho derivativo, um aumento faz com que o sistema reaja mais fortemente às mudanças no erro.

Assim, tendo como base a interpretação de cada um dos parâmetros de ganho é possível definir o valor para cada uma das constantes K_p , K_i e K_d de forma que se obtenha uma saída satisfatória, através do método de tentativa e erro.

3. Implementação dos controladores PID

O primeiro passo foi ler os códigos do Professor Guilherme N. Ramos e Claus Aranha disponibilizados no repositório da web: <https://github.com/gnramos/UnB-SCR>. No qual os autores já haviam implementado um controlador PID para a aceleração do carro, utilizando para o cálculo do erro da velocidade o valor desejado que é uma constante para a velocidade do automóvel (por exemplo, 160km/h) e o valor fornecido pelos sensores de velocidade.

Ficou decidido partir do código do Professor Guilherme para desenvolver o piloto. Para tanto foi necessário realizar uma alteração no método para a mudança de marcha do carro, que ocasionava problemas na largada.

Para compreender melhor os efeitos de cada um dos parâmetros proporcional, integral e derivativo na velocidade do carro foi realizado um pequeno teste alterando esses valores e relatando o resultado. A pista F-Speedway do TORCS foi a escolhida para os testes, por ser uma pista bem simples e oval, o que ajuda a evitar algumas situações que poderiam atrapalhar o teste (por exemplo, o carro derrapar demais em uma curva e ficar preso nas bordas da pista). É importante salientar que a função de direção até então utilizada para esse piloto era uma cópia minimalista da função de direção do piloto fornecido pelo software da competição.

Alguns dados obtidos do teste feito para a pista F-Speedway em uma volta, com a constante de velocidade máxima desejada definida 160 km/h, estão representados na tabela a seguir:

Configuração	K_p	K_i	K_d	Tempo Total (min)	Velocidade Máxima (km/h)
1	0,1	0,01	0,05	01:23:21	212
2	1	0	0	01:27:87	159
3	1	0,1	1	01:22:80	212
4	0,1	0,01	0,1	01:23:19	210
5	0,01	0,001	0,01	01:25:12	182
6	0,001	0,0001	0,001	01:45:07	160

Nas configurações 1 e 3 observou-se que o automóvel deu um pico de velocidade no início e depois teve dificuldade para chegar a velocidade desejada. Já na configuração 2 o automóvel manteve sua velocidade estável por quase todo o percurso. Na configuração 4 o automóvel comportou-se semelhante às configurações 1 e 3, porém com



Universidade de Brasília
Decanato de Ensino de Graduação
Diretoria de Acompanhamento e Integração Acadêmica

leve redução do pico de velocidade inicial, reduzindo-se ainda mais na configuração 5. E na configuração 6 não foi observado pico de velocidade inicial, entretanto o carro acelerava muito lentamente.

Feito o teste e tendo descoberto valores para as constantes que resultavam em um bom desempenho do carro na pista, o experimento seguiu para o próximo objetivo: implementar um controlador PID para a direção do automóvel. Para isso, outro piloto também implementado pelo professor Guilherme, que buscava simplesmente concluir o percurso da corrida sem se importar com a velocidade, foi utilizado como base, para que só depois que o controlador estivesse funcionando corretamente unir ambos no mesmo piloto. Entretanto, foram necessárias algumas alterações no piloto, pois ele era muito lento e ao bater em uma das bordas da pista não acelerava o suficiente para vencer a inclinação da pista fazendo com que ficasse estagnado. Alterações na função de aceleração e na função de troca de marcha foram realizadas.

Logo, foi revelado um erro na abordagem utilizada para o controle PID da direção, pois usava para o cálculo do erro o sensor que fornece o ângulo entre a direção do carro e o eixo da pista, entretanto não seria possível definir uma constante para o ângulo desejado, pois este varia. O cálculo do erro foi alterado então, para levar em consideração a distância do carro ao eixo da pista, no lugar do ângulo, e foi atribuído a constante de distância relativa desejada o valor zero, para que o piloto buscasse ficar exatamente no centro da pista.

Com essa nova abordagem, foi possível realizar um teste sequencial para encontrar os valores das constantes que se adequam ao controlador.

Alguns dados obtidos do teste feito para a pista F-Speedway estão representados na tabela a seguir:

Configuração	K_p	K_i	K_d	Resultado
1	0,1	0,01	0,005	Não concluiu a corrida.
2	0,1	0,01	0,00005	Não concluiu a corrida.
3	0,1	0,001	0,00005	Não concluiu a corrida.
4	0,5	0,001	0,00005	Não concluiu a corrida.
5	0,075	0,001	0,00005	Não concluiu a corrida.
6	0,075	0,1	0,0005	Não concluiu a corrida.
7	0,035	0,035	0,0035	Completoou todo o percurso.
8	0,1	0,01	0,1	Completoou todo o percurso.
9	1	0,1	1	Completoou todo o percurso.

Na configurações 1 a 6 o automóvel ficou preso nas bordas da pista. Observou-se que também que na configuração 1 a direção do carro oscilava muito, obtendo leve melhora nas configurações 2, 3 e 5, mas ainda ficando preso nas bordas. Nas configurações 4 e 6 a direção revelou uma piora significativa. Já nas configurações 7, 8 e 9 o automóvel foi capaz de concluir todo o percurso sem encostar em nenhuma das bordas laterais, sendo que na configuração 7 ele chegou a se aproximar bastante das laterais, melhorando o ajuste da direção na configuração 8 e ainda mais na configuração 9, que foi a melhor testada.



Universidade de Brasília
Decanato de Ensino de Graduação
Diretoria de Acompanhamento e Integração Acadêmica

Após ter encontrado valores razoáveis para as constantes, o controlador da direção foi implementado no outro piloto, que já contém o controlador para a velocidade, obtendo dessa forma os dois controladores desejados.

4. Resultados

Com os dois controladores obtidos foi possível então testar a eficiência do piloto para a pista F-SpeedWay, definindo para a velocidade um valor desejado elevado já que a intenção seria criar um piloto de corrida capaz de competir com outros.

O resultado foi bastante satisfatório. O piloto conseguia se manter bem próximo ao centro da pista, sem se aproximar muito das bordas laterais, e se mantinha em uma velocidade alta. Tornando-se dessa forma, um piloto bastante competitivo.

A tabela a seguir mostra os dados de alguns pilotos para a pista F-Speedway no percurso de duas voltas, correndo sozinho. Onde o piloto PIDDriver (o piloto trabalhado ao longo do experimento) possui as constantes $K_p = 1$, $K_i = 0.1$, $K_d = 1$ e velocidade desejada igual a 295 km/h, e para a direção as constantes $K_p = 0.5$, $K_i = 0.05$, $K_d = 0.5$ e distância do eixo central da pista igual a zero. O piloto SimpleDriver é o piloto fornecido pelo software da competição. E os outros são bots fornecidos pelo próprio TORCS e que portanto não competem de igual para igual com os outros dois pilotos por terem acesso a muito mais informações do simulador para tomar suas decisões.

<i>Piloto</i>	<i>Tempo total(min)</i>	<i>Melhor tempo(min)</i>	<i>Velocidade Máxima(km/h)</i>
PIDDriver	01:40:16	45:09	298
SimpleDriver	03:29:88	01:42:55	149
bt3	01:37:62	44:87	298
lliaw 3	01:36:70	44:42	300
inferno 3	01:36:70	44:42	300
olethros 3	01:37:09	44:71	299
tita 3	01:36:70	44:42	300
berniw 3	01:37:36	44:42	300

Pela tabela, podemos observar que o piloto PIDDriver é muito mais veloz nessa pista do que o piloto fornecido pelo software da competição. Notamos também que seu desempenho se aproxima dos outros em geral, mas em especial do piloto bt3, cujo melhor tempo foi bastante próximo.

5. Conclusão

Veículos com características autônomas podem se tornar um alternativa eficaz para solucionar os diversos problemas que encontramos no trânsito em vias urbanas no dia-a-dia. Sistemas que utilizem o controlador Proporcional-Integral-Derivativo para ajustar a saída, podem ser boas escolhas para controlar as diferentes funções dos automóveis, tais como aceleração, direção, frenagem, etc..

Com intuito de testar a eficiência de controladores PID para veículos autônomos e com o auxílio da ferramenta TORCS para simulação de corrida de carros e do software da

Diretoria de Acompanhamento e Integração Acadêmica (DAIA)

Campus Universitário Darcy Ribeiro. Prédio da Reitoria - Térreo. Brasília - DF

Telefone: (61)3307-2669 E-mail: jovenstalentos@unb.br



Universidade de Brasília
Decanato de Ensino de Graduação
Diretoria de Acompanhamento e Integração Acadêmica

competição Simulated Car Racing Championship foram desenvolvidos controladores para a direção e aceleração do carro.

Com os dados das três tabelas, em especial os da última, podemos observar de que de fato o piloto desenvolvido utilizando controladores PID é razoável na pista em que foi realizado os testes, sendo muito mais veloz do que o corredor fornecido pelo software da competição, e que se aproxima muito dos corredores fornecidos pelo próprio simulador.

O piloto desenvolvido mostrou ser veloz em uma das pistas, entretanto para pistas mais complexas, com mais curvas ele tem grandes dificuldades, em algumas até, não é capaz de concluir o percurso. Para resolver estes problemas outros controladores podem ser adicionados a ele (por exemplo, controladores para a frenagem que poderiam ser utilizados quando o carro se aproxima de curvas, ou da borda da pista, controladores para a embreagem do carro, etc.).

6. Referências Bibliográficas

LOIACONO, D.; CARDAMONE, L.; LANZI, P. L. Simulated Car Racing Championship Competition Software. Politecnico di Milano, Dipartimento di Elettronica, Informazione e Bioingegneria, Itália. Disponível em: <http://arxiv.org/pdf/1304.1672v2.pdf>. Abr., 2013.

The Open Racing Car Simulator site oficial, <http://www.torcs.org>. Acesso em: 05 jun 2014.

LOIACONO, D.; LANZI, P. L.; TOGELIUS, J.; ONIEVA, E.; PELTA, D. A.; BUTZ, M. V.; LÖNNEKER, T. D.; CARDAMONE, L.; PEREZ, D.; SÁEZ, Y.; PREUSS, M.; QUADFLIEG J. The 2009 Car Racing Championship. **IEEE TRANSACTIONS ON COMPUTATIONAL INTELLIGENCE AND AI IN GAMES**, vol. 2, no. 2, jun 2010.

NI. National Instruments. **Explicando a teoria PID**. Disponível em: <http://www.ni.com/white-paper/3782/pt/>. Acesso em: 05 jun 2014.

RAMOS, G. N.; ARANHA, C. Códigos iniciais para os dois pilotos utilizados ao longo do experimento: <https://github.com/gnramos/UnB-SCR>. Acesso em: 05 jun 2014.