Sergio Santiago Ribeiro

Optimal Trajectory Definition and Control for a Terrestrial Vehicle in a Closed Track

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA
Postgraduate Program in Electric Engineering

Rio de Janeiro
March 2009

Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro

Sergio Santiago Ribeiro

Optimal Trajectory Definition and Control for a Terrestrial Vehicle in a Closed Track

Dissertação de Mestrado

Dissertation presented to the Postgraduate Program in Electric Engineering of the Departamento de Engenharia Elétrica, PUC-Rio as partial fulfillment of the requirements for the degree of Mestre em Engenharia Elétrica.

Adviser: Ricardo Tanscheit
Co-Adviser: Mauro Speranza Neto

Rio de Janeiro, March 2009

PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DO RIO DE JANEIRO

Sergio Santiago Ribeiro

Determinação e Controle da Trajetória Ótima de um Veículo Terrestre em Traçado Fechado Pré-definido

Dissertação Apresentada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica do Departamento de Engenharia Elétrica do Centro Técnico e Científico da PUC-Rio. Aprovada pela Comissão Examinadora abaixo assinada.

Prof. Ricardo Tanscheit
Orientador
Departamento de Engenharia Elétrica - PUC-Rio

Prof. Mauro Speranza Neto
Co-Orientador
Departamento de Engenharia Mecânica - PUC-Rio

Prof. Fernando Ribeiro da Silva
IME

Prof. José Franco Machado do Amaral
Departamento de Engenharia Eletrônica e de Telecomunicações - UERJ

Prof. José Eugênio Leal
Coordenador Setorial do Centro
Técnico e Científico

Rio de Janeiro, 25 de março de 2009

Sergio Santiago Ribeiro

Undergraduate in Control and Automation Engineering by Pontifical Catholic University - PUC-Rio (Rio de Janeiro Brazil) in 2006.

Ficha Catalográfica

Ribeiro, Sergio

Determinação e Controle da Trajetória Ótima de um Veículo Terrestre em um Traçado Fechado Pré-Definido / Sergio Santiago Ribeiro; orientadores: Ricardo Tanscheit e Mauro Speranza Neto. – Rio de Janeiro: PUC, Departamento de Engenharia Elétrica. – 2009.

98 f.: il.(col.); 30 cm

Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Departamento de Engenharia Elétrica, 2009.

Inclui referências bibliográficas.

1. Engenharia elétrica – Dissertações. 2. Trajetória ótima. 3. Controle de trajetória. 4. Lógica Nebulosa. 5. Algoritmos Genéticos. I. Tanscheit, Ricardo. II.Speranza Neto, Mauro. III. Pontifícia Universidade Católica. Departamento de Engenharia Elétrica.

CDD: 621.3

Dedicated to my parents, Stélio and Solange.

Acknowledgements

I would like to thank all the people that directly or not helped me to get here, specially:

My parents, brother and sister, for understanding my absence in parties and other family meetings.

My future wife Priscilla, for her organization, brilliant ideas and tenderness on tough moments.

My advisors Mauro Speranza Neto and Ricardo Tanscheit, for the support and involvement.

All my colleagues of the Vehicle Systems Simulation Group, for sharing the same passion.

CNPq and CAPES, for the financial support and belief.

Resumo

Ribeiro, Sergio; Tanscheit, Ricardo; Speranza Neto, Mauro. **Determinação e Controle da Trajetória Ótima de um Veículo Terrestre em um Traçado Fechado Pré-Definido.** Rio de Janeiro, 2009. 98p. Dissertação de Mestrado – Departamento de Engenharia Elétrica, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

A determinação de uma trajetória ótima não é uma tarefa simples, uma vez que ela é diretamente dependente dos limites de aceleração suportada por cada veículo. Essa pesquisa aborda um método de otimização baseado em algoritmos genéticos que identifica a trajetória que um carro deve percorrer para completar uma pista pré-definida no menor tempo. Considerando um modelo veicular de Partícula Orientada, o método otimiza os perfis de aceleração que levam o veículo a percorrer a trajetória de menor tempo. Adicionalmente, projeta-se um controlador fuzzy para emular o comportamento de um ser humano na direção do veículo ao longo da trajetória ótima. Para alimentar o controlador, foram testados dois métodos de geração de erro: o Erro Presente da Trajetória e o Erro Futuro da Trajetória (FBTE), que é a medida de posição do carro quanto a sua tendência de movimento. Resultados obtidos com controladores clássicos, como o PDD, são confrontados com os fornecidos pelo controlador fuzzy alimentado pelo procedimento de geração de Erro Futuro de Trajetória (FBTE).

Palavras-chave

Dinâmica Veicular. Modelos de Veículos Terrestres. Otimização. Trajetória Ótima. Controle Fuzzy. Algoritmos Genéticos.

Abstract

Ribeiro, Sergio; Tanscheit, Ricardo (Advisor); Speranza Neto, Mauro **Optimal Trajectory Definition and Control for a Terrestrial Vehicle in a Closed Track.** Rio de Janeiro, 2009. 98p. MSc. Dissertation – Departamento de Engenharia Elétrica, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

The definition of the minimum time trajectory in a track is not obvious, since it is directly dependent on the acceleration limits that the vehicle can withstand. This paper presents an optimization method based on Genetic Algorithms that identifies the path that a car must follow in order to complete a given circuit in minimum time. By considering an Oriented Particle model, the method optimizes the acceleration profiles that drive the vehicle along the trajectory in minimum time. In addition, a fuzzy controller is designed to emulate the behavior of a human driver controlling a high speed car along the optimized trajectory. Two different error generation procedures were tested as controller inputs: the Present Trajectory Error and the Future-based Trajectory Error (FBTE), which gives information on the car's tendency of movement. Results obtained with other controllers in the same application, such as the PDD, are compared to those provided by the fuzzy controller fed by the FBTE procedure.

Key Words

Vehicular Kinematics. Models of Terrestrial Vehicles. Optimization. Optimal Trajectory. Fuzzy Control. Genetic Algorithms.

Summary

List of Symbols

a_{BMaz}	Maximum Braking Acceleration
a_{LMax}	Maximum Lateral Acceleration
a_{Max}	Maximum Accelerations' array
a_N	Normal Acceleration
a_{N0}	Peak Turn Acceleration
$\bar{a}_{N0}(i)$	Average Peak Lateral Acceleration for ith track strecth
a_{reg}	Array of points indexes
a_T	Tangent Acceleration
a_{T0}	Peak Traction Acceleration
a_{T1}	Peak Braking Acceleration
a_{TMax}	Maximum Traction Acceleration
a_y	Normal Acceleration
b_d	Front axel size
b_t	Rear axel size
d	Dinamic traveled track distance
d_{Acc}	Accomplished distance before the car leaves the track limits
d_f	Loose gape of the Steering Wheel
d_{FB}	Minimum braking distance
d_{FT}	Distance where the maximum speed is achieved
$d_{N0,1,2}$	Characteristic distances of the Normal Acceleration Profile
d_T	Entire track distance
$d_{T0,1,2}$	Characteristic distances of the Tangent Acceleration Profile
E_a	Orientation Error
E_p	Position Error
i_{CP}	Closest point index
i_{last}	Previous iteration index
K_d	Gain between Steering Wheel angle and acctual Wheel angle
l	Distance between the axles

$L(i)$	Straight Line Lenght for the ith track stretch
l_d	Distance between front shaft and the vehicle's Center of Mass
l_t	Distance between rear shaft and the vehicle's Center of Mass
l_w	Lane width
n_{FS}	Number of forward steps considered
n_{gap}	Number of points that compose the search gap
P_{FE}	Friction Ellipse penalty
$R(i)$	Curve Radius for the ith track stretch
R_t	Curve radius of rear shaft
t_i	Time at the instant i
V	Linear Velocity
v_x	Hiruzibtal Conponents of the velocity
v_y	Vertical Conponents of the velocity
w_{FS}	Forward steps weights array
x	Horizontal position coordinate in a Local Reference System
$x_C(i)$	Horizontal coordinate of the car on the Center Line reference system
$x_T(i)$	Horizontal coordinate of starting point for the ith track stretch
y	Vertical position coodinates in a Local Reference System
$y_C(i)$	Vertical coordinate of the car on the Center Line reference system
$y_T(i)$	Vertical coordinate of starting point for the ith track stretch
$\alpha(i)$	Curve Angle for the ith track stretch
α_V	Angle of Attack
$\beta(i)$	Orientarion of starting point for the ith track stretch
δ_d	Right transformation of the steering wheel angle
δ_e	Left transformation of the steering wheel angle
δ_i	Step size
θ	Angle between the vehicle x-axis and the
ρ	Curve radius of the Center of Mass
τ	Decay constant of exponencial in Acceleration Profiles
ω	Angular Velocity

List of Figures

List of Tables