Ain Shams University
Faculty of Engineering
Computer and Systems Engineering Department

3D Intelligent Object Tracking

Submitted By

Mohamed Ali Ali Sobh

Master of Science
(Computer and System Engineering)
Ain Shams University, 2001

A THESIS
SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENTS
FOR THE DEGREE OF DOCTOR OF PHILOSOPHY
(Electrical Engineering)
DEPARTMENT OF COMPUTER AND SYSTEMS ENGINEERING

Supervised By

Prof. Dr. Mohamed A. Sheirah

Cairo, Egypt, 2006

بسم الله الرحمن الرحيم

Ain Shams University
Faculty of Engineering
Computer and Systems Engineering Department

Name : **Mohamed Ali Ali Sobh**
Thesis : **3D Intelligent Object Tracking**
Degree : **Doctor of Philosophy in Electrical Engineering (Computer and Systems Engineering)**

Examiners Committee

Name and Title Affiliate	**Signature**
1. Prof. Dr. Gamal Mahmoud Said Elbaiomy Professor of Automatic Control and Flight Dynamics Aerospace Engineering Department Faculty of Engineering, Cairo University	.....
2. Prof. Dr. Abdel Moneim A. Wahdan Professor of Computer and Systems Engineering Computer and Systems Department Faculty of Engineering, Ain Shams University	.....
3. Prof. Dr. Mohamed A. Sheirah Professor of Computer and Systems Engineering Computer and Systems Department Faculty of Engineering, Ain Shams University	.....

Date: 21/9/2006

Statement

This dissertation is submitted to Ain Shams University for the degree of P.H.D. in Electrical Engineering (Computer and System Engineering). The work included in this thesis was out by the author at the Computer and System Engineering Department, Ain Shams University. No part of this thesis has been submitted for a degree or qualification at other university or institution.

Date : / /2006

Signature :

Name : Mohamed Ali Ali Sobh

Acknowledgements

I would like to express my deep gratitude to Prof. Dr. Mohamed Abd El-Hamed Sheirah for suggestion of the point of research, valuable advises, and his great effort revising the thesis. I can not express my thanks to him for his care and interest since I was an undergraduate student and his guiding me and my fellows as his students. He actually gave me the chance to express my capabilities and to put my first step in scientific research.

I would like to give special thanks to Dr. Ayman Bahaa for his great effort in revising the whole thesis. Also I would like to thank Eng. Mohamed Abd El-Latief and Eng. Ahmed Zaki for their valuable advices and comments.

I would like also to thank my parents for their efforts during the thesis development.

Finally I would like also to thank Eng. Magdy Sharawy, for his support and encouragement.

Ain Shams University, Faculty of Engineering
Computer and Systems Engineering Department

P.H.D. Thesis

3D Intelligent Object Tracking

Submitted by
Eng. Mohamed Ali Ali Sobh
Supervised by
Prof. Dr. Mohamed A. Sheirah

ABSTRACT

In this thesis the problems of missile modeling and guidance design are attacked. Missile modeling provides the required environment to study different guidance techniques.

A realistic missile model is built considering rigid body dynamics in 3D space, variation of missile mass and its effect on missile motion, air flow around missile and its effect on aerodynamics forces and moments, propulsion system, actuators, different coordinate systems representation and translation, navigation system over non-spherical earth, different measurement devices like accelerometer, rate-gyroscope, displacement-gyroscope, infrared detector, radar detector, GPS system, angle of attack and sideslip angle detectors. Also environmental aspects like wind, air turbulence, earth rotation and gravity are modeled. This model is suitable for both mid-course and terminal flight phases.

The proposed model is implemented as integrated component for SimulaWorks simulation package. The implemented library is optimized for both high simulation speed and accurate calculations. Also a virtual reality is built to provide visual environment to represent missile motion and missile-target interaction.

A software package is developed especially to study the aerodynamics for the whole missile system under different flight

conditions. The software is optimized for PC computation power, and succeeds to provide an estimate value of aerodynamics coefficients.

Different guidance techniques are studied over the proposed model, covering the conventional guidance, optimal guidance, model-based guidance, adaptive guidance and intelligent guidance. Different flight-control aspects are studied carefully like target-tracking, regulation, hit-range, hit-angle, maneuverable target, high speed targets (ballistic missiles), target prediction, attack angles limitation, guidance policy, input noise, measurement noise, load and disturbance.

A new guidance algorithm based on digital Dead-Beat Dahlin is proposed. Both offline and online Parametric GLS identification are used to model the missile system and to provide controller adaptation. The proposed solution succeeds to provide fast hit time, minimum IAE, better tracking. Also it succeeds to intercept maneuvering targets.

Another solution is proposed for exact target prediction. The proposed idea is tested against noisy radar reading with large sampling time and communication delay, it is applied within convention and fuzzy guidance. The simulation results give minimal hit time and very accurate hit range.

Finally, a new technique is proposed to intercept very high speed ballistic targets, it uses modified version of above prediction technique. It succeeds to intercept the modeled target with minimal hit-range. Also it provides better interception probability over normal prediction techniques.

Key Words: System Modeling, System Simulation, Guidance, Automatic Control, System Identification, Computational Flow Dynamics, CFD, Aerodynamics, Fuzzy Logic, Genetic Algorithm, Maneuverability, Target Prediction.

جامعة عين شمس – كلية الهندسة
قسم هندسة الحاسبات والنظم

التتبع الذكي للأجسام في الوسط ثلاثي الأبعاد

مقدمة من

محمد علي علي صبح

ماجستيير الهندسة الكهربية
(هندسة الحاسبات والنظم)
جامعة عين شمس - 2001

رسالة
مقدمة للحصول على درجة دكتوراة الفلسفة في الهندسة الكهربية
(هندسة الحاسبات والنظم)

تحت إشراف

الأستاذ الدكتور / محمد عبد الحميد شعيرة

القاهرة - مصر - 2006

جامعة عين شمس
كلية الهندسة

تعريف بمقدم الرسالة

إسم الباحث	:	محمد علي علي صبح
تاريخ الميلاد	:	1974/3/5
محل الميلاد	:	الجيزة
الدرجة العلمية الأولى	:	بكالوريوس الهندسة الكهربية - هندسة الحاسبات و النظم
الجهة المانحة لها	:	كلية الهندسة - جامعة عين شمس
تاريخ المنح	:	يونيو 1996
الوظيفة الحالية	:	مدرس مساعد بقسم هندسة الحاسبات و النظم كلية الهندسة - جامعة عين شمس

اسم مقدم البحث	:	محمد علي علي صبح
التوقيع	:	
التاريخ	:	

جامعة عين شمس - كلية الهندسة
قسم هندسة الحاسبات والنظم

رسالة دكتوراة

التتبع الذكي للأجسام في الوسط ثلاثي الأبعاد

مقدمه من:
م. محمد علي علي صبح

تحت إشراف:
أ.د. محمد عبد الحميد شعيره

مستخلص

في هذه الرسالة سوف يتم دراسة موضوعي النمذجة والتحم بالصواريخ. نمذجة الصواريخ توفر الوسط المناسب لدراسة مختلف تقنيات التحكم.

وقد تم عمل نموذج شبه حقيقي للصاروخ تضمن : ديناميكية الأجسام في الوسط ثلاثي الأبعاد، تناقص كتلة الصاروخ وتأثيره على الحركة، ديناميكية الهواء حول الصاروخ، نظام الدفع، الإحداثيات المختلفة لوصف حركة الصاروخ وطرق التحويل فيما بينها، نظام الملاحة مع الأخذ في الاعتبار عدم دائرية الأرض، أجهزة القياس مثل أجهزة قياس التسارع الخطي والدائري، أجهزة التتبع التي تعمل سواء بالأشعة تحت الحمراء أو الموجات الرادارية، أجهزة تحديد المكان والاتجاه، أجهزة تحديد زوايا الهجوم الرأسية والأفقية. كما يشمل النموذج دراسة تأثير العوامل المحيطة مثل الرياح والدوامات الهوائية، قوى الجاذبية الأرضية، دوران الأرض. هذا النموذج مناسب لدراسة حركة الصاروخ في مراحل الطيران المتوسطة والنهائية.

النموذج المقترح تم تنفيذه على هيئة وحدة منفصلة داخل نظام المحاكاة (SimulaWorks). تقوم هذه الوحدة بمحاكاة الصاروخ مع الأخذ في الاعتبار سرعة التنفيذ ودقة الحسابات. كما تضمنت هذه الوحدة أداة لإظهار حركة الصاروخ والهدف من خلال وسط ثلاثي الأبعاد.

كما تم تنفيذ برنامج بهدف دراسة تأثير ديناميكية الهواء على الصاروخ تحت ظروف الطيران المختلفة. كما يقوم هذا البرنامج بحساب المعاملات اللازمة لدراسة تأثير ديناميكية الهواء على حركة الصاروخ. هذا البرنامج تم تصميمه بحيث يعمل بكفاءة على أجهزة الحاسب ذات القدرات المتوسطة.

تم دراسة العديد من طرق التحكم في الصواريخ وتطبيقها على النموذج المقترح وذلك مثل الطرق التقليدية، والطرق المبنية على نموذج خطي، الطرق المتغيرة والطرق الذكية. كما تم دراسة العديد من إستراتيجيات الطيران مثل نظام التتبع، نظام الثبات، نظام المناورة، زاوية ومدى الاصطدام، طرق توقع مسار الهدف، زاوية الهجوم، الشوشرة النابعة عن أجهزة القياس والتتبع، الأحمال الدائمة والفجائية.

تم اقتراح طريقة جديدة للتحكم في الصواريخ مبنية على طريقة (Dead – Beat – Dahlin) الرقمية. وقد تم تعديل هذه الطريقة بحيث يتم تغيير المعاملات بناءا على النمذجة الخطية والتي تتم بطريقة مستمرة خلال الطيران. كما تم مراعاة عوامل الاتزان أثناء تغيير معاملات الطريقة. نجحت الطريقة في تحقيق أقل وقت للاصطدام بأقل معامل للخطأ المطلق وأعلى قيمة للتتبع. كما نجحت هذه الطريقة في الاصطدام بالأهداف ذات المناورة المتوسطة والمرتفعة.

تم اقتراح طريقة جديدة لتوقع نقطة الالتقاء مع الهدف بدلا من التتبع والمناورة. تم اختبار الطريقة في وجود تشويش راداري عالي وتأخير كبير في تلقي الإرشادات الأرضية. تم إدماج هذه الطريقة مع طرق التحكم التقليدية والذكية. نجحت هذه الطريقة في تقليل وقت ومسافة الاصطدام مقارنة بالطرق المستخدمة.

وأخيراً، تم اقتراح طريقة جديدة لمواجهة الصواريخ السريعة جداً (البالستية). تعتمد هذه الطريقة أيضا على نفس فكرة التوقع المقترحة مع إجراء تعديل لتحقيق زاوية الارتطام المناسبة للصواريخ السريعة. نجحت هذه الطريقة في تحقيق الارتطام في وقت مناسب وبأعلى احتمالية للارتطام وذلك مقارنة بالطرق المستخدمة.

جامعة عين شمس
كلية الهندسة
قسم هندسة الحاسبات والنظم

الاسم : محمد علي علي صبح
عنوان الرسالة : التتبع الذكي للأجسام في الوسط ثلاثي الأبعاد
الدرجة : دكتوراة الفلسفة

لجنة الحكم

الأستاذ الدكتور/ جمال محمود سيد البيومي .....

أستاذ التحكم و ديناميكا الطيران
قسم هندسة الطيران
كلية الهندسة، جامعة القاهرة

الأستاذ الدكتور/ عبد المنعم عبد الظاهر وهدان .....

أستاذ هندسة الحاسبات والنظم
قسم هندسة الحاسبات والنظم
كلية الهندسة، جامعة عين شمس

الأستاذ الدكتور/ محمد عبد الحميد شعيرة .....

أستاذ هندسة الحاسبات والنظم
قسم هندسة الحاسبات والنظم
كلية الهندسة، جامعة عين شمس

تاريخ المناقشة : 2006/9/21

التخصص : هندسة كهربية
القـــســـم : هندسة الحاسبات والنظم
الدرجـــة : الدكتوراة

الكود :
الاسم : محمد علي علي صبح
Name : Mohamed Ali Ali Sobh
البكالريوس : يونيو 1996 كلية الهندسة جامعة عين شمس
الماجستير : نوفمبر 2001 كلية الهندسة جامعة عين شمس
الدكتوراة : سبتمبر 2006 كلية الهندسة جامعة عين شمس
تاريخ منح الدرجة :

هيئة الإشراف
أ.د. محمد عبد الحميد شعيرة

لجنة الفحص والحكم
أ.د. جمال محمود سيد البيومي
أ.د. عبد المنعم عبد الظاهر وهدان
أ.د. محمد عبد الحميد شعيرة

التتبع الذكي للأجسام في الوسط ثلاثي الأبعاد

في هذه الرسالة سوف يتم دراسة موضوعي النمذجة والتحم بالصواريخ. نمذجة الصواريخ توفر الوسط المناسب لدراسة مختلف تقنيات التحكم.

وقد تم عمل نموذج شبه حقيقي للصاروخ تضمن : ديناميكية الأجسام في الوسط ثلاثي الأبعاد، تناقص كتلة الصاروخ وتأثيره على الحركة، ديناميكية الهواء حول الصاروخ، نظام الدفع، الإحداثيات المختلفة لوصف حركة الصاروخ وطرق التحويل فيما بينها، نظام الملاحة مع الأخذ في الاعتبار عدم دائرية الأرض، أجهزة القياس مثل أجهزة قياس التسارع الخطي والدائري، أجهزة التتبع التي تعمل سواء بالأشعة تحت الحمراء أو الموجات الرادارية، أجهزة تحديد المكان والاتجاه، أجهزة تحديد زوايا الهجوم الرأسية والأفقية. كما يشمل النموذج دراسة تأثير العوامل المحيطة مثل الرياح والدوامات الهوائية، قوى الجاذبية الأرضية، دوران الأرض. هذا النموذج مناسب لدراسة حركة الصاروخ في مراحل الطيران المتوسطة والنهائية.

النموذج المقترح تم تنفيذه على هيئة وحدة منفصلة داخل نظام المحاكاة (SimulaWorks). كما تم تنفيذ برنامج يقوم بحساب المعاملات اللازمة لدراسة تأثير ديناميكية الهواء على حركة الصاروخ.

كما تم اقتراح طريقة جديدة للتحكم في الصواريخ الرقمية (ADC). وقد تم تعديل هذه الطريقة بحيث يتم تغيير المعاملات بناءا على النمذجة الخطية والتي تتم بطريقة مستمرة خلال الطيران. كما تم مراعاة عوامل الاتزان أثناء تغيير معاملات الطريقة. نجحت الطريقة في تحقيق أقل وقت للاصطدام بأقل معامل للخطأ المطلق وأعلى قيمة للتتبع. كما نجحت هذه الطريقة في الاصطدام بالأهداف ذات المناورة المتوسطة والمرتفعة.

كما تم اقتراح طريقة جديدة لتوقع نقطة الالتقاء مع الهدف بدلا من التتبع والمناورة. تم اختبار الطريقة في وجود تشويش راداري عالي وتأخير كبير في تلقي الإرشادات الأرضية. تم إدماج هذه الطريقة مع طرق التحكم التقليدية والذكية. نجحت هذه الطريقة في تقليل وقت ومسافة الاصطدام مقارنة بالطرق المستخدمة.

وأخيراً، تم اقتراح طريقة جديدة لمواجهة الصواريخ السريعة جداً (البالستية). تعتمد هذه الطريقة على تعديل مسار الصاروخ لتحسين زاوية الارتطام. نجحت هذه الطريقة في تحقيق الارتطام في وقت مناسب وبأعلى احتمالية للارتطام وذلك مقارنة بالطرق المستخدمة.

3D Intelligent Object Tracking

In this thesis the problems of missile modeling and guidance design are attacked. Missile modeling provides the required environment to study different guidance techniques.

A realistic missile model is built considering rigid body dynamics in 3D space, variation of missile mass and its effect on missile motion, air flow around missile and its effect on aerodynamics forces and moments, propulsion system, actuators, different coordinate systems representation and translation, navigation system over non-spherical earth, different measurement devices like accelerometer, rate-gyroscope, displacement-gyroscope, infrared detector, radar detector, GPS system, angle of attack and sideslip angle detectors. Also environmental aspects like wind, air turbulence, earth rotation and gravity are modeled. This model is suitable for both mid-course and terminal flight phases.

The proposed model is implemented as integrated component for SimulaWorks simulation package. Also a software package is developed especially to estimate aerodynamics coefficients.

A new guidance algorithm is proposed (ADC). Both offline and online Parametric GLS identification are used to model the missile system and to provide controller adaptation. The proposed solution succeeds to provide fast hit time, minimum IAE, better tracking. Also it succeeds to intercept maneuvering targets.

A new method is proposed for exact target prediction. The proposed idea is tested against noisy radar reading with large sampling time and communication delay. This method is also adapted to intercept very high speed ballistic targets.

TABLE OF CONTENTS

LIST OF FIGURES 6

CHAPTER ONE: INTRODUCTION 11

1.1 Overview 12

1.1.1 Missile Modeling 12

1.2 Missile Guidance 14

1.3 Thesis Motivations and Objectives 16

1.4 Thesis Methodology 17

1.5 Thesis Outline 19

CHAPTER TWO: BACKGROUND 22

2.1 Missiles 23

2.1.1 Classification 23

2.1.2 Missile Structure 27

2.1.3 Flight Phases 28

2.2 Missile Modeling 29

2.2.1 Physical Modeling 30

2.2.2 Mathematical Modeling 31

2.2.3 Modeling Tools 41

2.3 Missile Guidance 43

2.3.1 Guidance Techniques 46

CHAPTER THREE: SURVEY 47

3.1 Introduction 48

3.2 Missile Modeling 48

3.2.1 Classical Missile Model 49

3.2.2 Variable Mass Missile Model 54

3.2.3 Simplified Two Dimensional Missile Model 57

3.2.4 Practical Missile Model 59

3.2.5 MATLAB Aerospace General Aircraft Model 59

3.2.6 Simplified Non-Linear Model 61

3.3 Missile Guidance 62

3.3.1 Missile Guidance Theory 62

3.3.2 Missile Autopilot 64

3.3.3 Proportional Navigation Guidance 67

3.3.4 Line-of-Sight (LOS) Guidance 68

3.3.5 Optimal Guidance using LQR 69

3.3.6 Intelligent Fuzzy - PN Guidance 71

3.3.7 Intelligent Blending Homing Guidance Law Using Fuzzy Logic 72

3.3.8 Integrated Fuzzy Guidance against High Speed Target 74

3.4 Target Modeling 77

3.4.1 Realistic Targets 78

3.4.2 Spiralling Falling Targets 78

3.4.3 Realistic Ballistic Targets 79

3.5 Modeling and Guidance Design Tools 80

CHAPTER FOUR: AERODYNAMICS COEFFICIENTS EVALUATION 83

4.1 Introduction 84

4.2 CFD Simulator 84