

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Кафедра аеронавігаційних систем

ДОПУСТИТИ ДО ЗАХИСТУ

Завідувач кафедри

_____ Харченко В.П.

«___» _____ 2014 р.

ДИПЛОМНА РОБОТА

(ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА)

ВИПУСКНИКА ОСВІТНЬО-КВАЛІФІКАЦІЙНОГО РІВНЯ

«МАГІСТР»

Тема: «Позиціонування за інформацією системи попередження зіткнень літаків» (TCAS Positioning)

Виконавець:

Чаплінський Д.В.

Керівник:

Остроумов І.В.

Нормоконтролер:

Ларін В.Ю.

Київ 2014

НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Інститут аеронавігації

Кафедра аеронавігаційних систем

Напрямок (спеціальність) 8.07010203 «Системи аеронавігаційного
обслуговування»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ Харченко В.П.

«___» _____ 2014р.

ЗАВДАННЯ**на виконання дипломної роботи**Чаплінського Дениса Валерійовича

1. Тема дипломної роботи: «Позиціонування за інформацією системи попередження зіткнень літаків» затверджена наказом ректора від 30 серпня 2013р. №1897/ст. _____

2. Термін виконання роботи: з 29.10.2013 р. по 10.02.2014 р. _____

3. Вихідні дані до роботи: _____

- міжнародні стандартизуючі документи ICAO, Eurocontro, FAA; _____

- інформація аеронавігаційних баз даних. _____

4. Зміст пояснювальної записки: дипломна робота складається з наступних розділів: Особливості системи попередження зіткнень літаків, ідентифікація літака в просторі, технічне завдання, метод позиціонування, моделювання методу позиціонування _____

5. Перелік обов'язкового графічного (ілюстративного) матеріалу: графіки, таблиці, формули. _____

6. Календарний план-графік

№ п/п	Завдання	Термін виконання	Відмітка про виконання
1.	Підготовка та написання 1 розділу «Особливості системи попередження зіткнень літаків»	30.10.13-15.11.13	виконано
2.	Підготовка та написання 2 розділу «Ідентифікація літака в просторі»	16.11.13-30.11.13	виконано
3.	Підготовка до написання 3 розділу «Технічне завдання»	31.11.13-18.12.13	виконано
4.	Підготовка та написання 4 розділу «Метод позиціонування»	19.12.13-1.01.14	виконано
5.	Підготовка та написання 5 розділу «Моделювання методу позиціонування»	2.01.14-14.01.14	виконано
6.	Підготовка презентації та доповіді	15.01.13-31.01.14	виконано

7. Дата видачі завдання: « 28 » жовтня 2013 р.

Керівник дипломної роботи _____ Остроумов Іван Вікторович

(підпис керівника)

Завдання прийняв до виконання _____ Чаплінський Денис Валерійович

(підпис студента)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до дипломної роботи, "Позиціонування за інформацією попередження зіткнень літаків": 98 сторінок , 39 малюнків , 1 таблиця , 45 посилання.

Об'єкт дослідження – метод позиціонування.

Предмет дослідження – метод позиціонування за інформацією TCAS

Мета роботи – дослідження та розробки програмного забезпечення для реалізації позиціонування за інформацію системи попередження зіткнень літаків, її алгоритмічної та програмної реалізації .

Метод дослідження - комп'ютерне програмування в середовищі Matlab .

Однією з найбільш важливих систем в сучасному польоті є система позиціонування. На сьогоднішній день системи GPS або інші системи супутникової навігації присутні майже на всіх повітряних суднах. При відсутності такої системи на борту або її непридатності для використання , можемо отримати місцеположення з достатньою точністю на основі інформації, отриманої з системи TCAS.

Цей спосіб позиціонування заснований на рішенні навігаційного рівняння.

Програмне забезпечення для вирішення цієї проблеми , а також для оцінки точності і розрахунку коефіцієнтів DOP , було створене в середовищі Matlab

TCAS, ПОЗИЦІОНУВАННЯ , GPS, MODE-S, НАВІГАЦІЙНЕ РІВНЯННЯ , DOP.

MINISTRY OF EDUCATION AND SCIENCE OF UKRAINE
NATIONAL AVIATION UNIVERSITY

Air Navigation System Department

PERMISSION TO DEFEND

Head of the Department

_____ V.P. Kharchenko

«__» _____ 2014

MASTER'S DEGREE THESIS

Theme: TCAS Positioning

Completed by:	Chaplinskyi D.V
Supervisor:	Ostroumov I.V.
Standards Inspector:	Larin V.Yu.

Kyiv 2014

NATIONAL AVIATION UNIVERSITY

Institute of air navigation

Air Navigation Systems Department

Specialty: 7.07010203 « Systems of Aeronavigation Service »

APPROVED BY

Head of the Department

_____ V.P. Kharchenko

«__»_____2014

Graduate Student's Degree Thesis Assignment

_____Chaplinskyi Denys_____

1. The Project topic: «TCAS Positioning» approved by the Rector's order of «30 » August 2013 № 1897/st
2. The Project to be completed between: 28.10.2013 – 16.02.2014.
3. Initial data to the project: _____
 - International standardizing documents ICAO, Eurocontro, FAA; _____
 - Aeronautical information database. _____
4. The content of the explanatory note: Thesis consists of the following sections: features of traffic collision and avoidance system, aircraft identification in airspace, technical task, positioning technique, simulation of position technique.
5. The list of mandatory graphic (illustrated) materials: graphs, tables, formulas.

6. Calendar timetable

№	Completion stages of Degree Project (Thesis)	Stage completion dates	Remarks
1	Preparation of chapter 1: «Features of traffic collision and avoidance system»	30.10.13-15.11.13	completed
2	Preparation of chapter 2: «Aircraft identification in airspace»	16.11.13-30.11.13	completed
3	Preparation of chapter 3: «Technical task»	31.11.13-18.12.13	completed
4	Preparation of chapter 4: «Positioning technique »	19.12.13-1.01.14	completed
5	Preparation of chapter 5: «Simulation of position technique»	2.01.14-14.01.14	completed
6	Preparation of report and graphic materials	15.01.13-31.01.14	completed

7. Assignment accepted for completion «28» October 2013

Supervisor _____ Ivan V. Ostroumov

Assignment accepted for completion _____ Denys V. Chaplinskyi

ABSTRACT

Explanatory note to the master's thesis , " TCAS Positioning" : 98 pages , 39 figures , 1 tables , 51 references.

Investigation object – positioning tech.

Investigation subject - positioning algorithm by information of TCAS

Purpose of the work - to research and development of software for the implementation of positioning information for collision avoidance system, its algorithmic and program implementation.

Investigation method - computer programming in Matlab.

One of the most important systems in modern positioning systems are flying aircraft in space. Has relevance today the availability of GPS and other satellite navigation systems . In the absence of such a system on board or because it unusable , we can get your location based on the information obtained from the system TCAS. And with the help of mathematical calculations to determine our position in space with sufficient accuracy .

This positioning method is based on solving the navigation equations .

Software to solve this problem , as well as to assess the accuracy and calculation coefficients DOP, was created in Matlab.

TRAFFIC COLLISION AVOIDANCE SYSTEM, POSITIONING, GLOBAL
SATELLITE NAVIGATION SYSTEM, NAVIGATION EQUATION,
ACCURACY, DILUTION OF PRECISION

PAGE FOR COMMENTS

CONTENT

TCAS Positioning

LIST OF ABBREVIATIONS AND EXPLANATION OF TERMS.....	12
INTRODUCTION.....	14
CHAPTER 1. FEATURES OF TRAFFIC COLISION AND AVOIDANCE SYSTEM.....	15
1.1. Basics of traffic collision and avoidance system	15
1.1.1. Traffic collision and avoidance system nature	15
1.1.2. TCAS I	19
1.1.3. TCAS II.....	20
1.1.4. TCAS III	21
1.2 TCAS principle of operation.....	21
1.3. Messages of TCAS	29
Conclusion	32
CHAPTER 2. AIRCRAFT IDENTIFICATION IN AIRSPACE	33
2.1. Global navigation satellite system	33
2.1.1. Global Position System.....	37
2.1.2 GLONASS	42
2.1.3 GALILEO	43
2.2. Wide area augmentation system	46
2.3. Air traffic control and radar beacon system.....	48
2.3.1. ATCRBS-to-Mode-S Compatibility	52
2.3.2. ATCRBS Mode-S Time-Sharing.....	52
2.3.3. Mode-S Data Link	53
2.3.4. Mode-S Data-Link Characteristics	54
2.4. ATCRBS and TCAS	55
Conclution.....	58
CHAPTER 3. SPECIFIC REQUIRENMENTS.....	59
3.1. Title of thesis.....	59
3.2. Basis for conducting thesis	59
3.3. Object and purpose	59
3.5. Expected scientific results and the procedure for their implementation	59
3.6. Requirements for the work	60
3.7. Stages of the work and terms of their implementation	61
CHAPTER 4. POSITIONING TECHNIQUE.....	63

	11
4.1. Description of positioning by TCAS data.....	63
4.2. Navigation algorithm	64
4.3. Positioning decision algorithms.....	65
4.3.1. Positioning decision algorithm by Taylor.....	65
4.3.2. Positioning decision algorithm of Chan and Ho.....	67
4.4. Accuracy estimation of positioning by TCAS.....	69
4.4.1. Delusion of precision	70
4.4.2. Types of Delusion of precision.....	72
Conclution.....	73
CHAPTER 5. SIMULATION OF POSITIONING TECHNIQUE.....	74
5.1. Simulation software	74
5.2. Math model of Aircraft.....	75
5.3. Error calculation.....	79
5.4. DOP calculation	80
Conclution.....	85
GENERAL CONCLUSIONS.....	86
Appendix A.....	93
Appendix B	98

LIST OF ABBREVIATIONS AND EXPLANATION OF TERMS

ACAS/TCAS	Airborne/Traffic Collision Avoidance System
ADS-B	Automatic Dependent Surveillance Broadcast
AFB	Air Force Base
ATC	Air Traffic Control
ATCRBS	Air traffic control and radar beacon system
BOC	Binary Offset Carrier
CS	Commercial Service
CPA	Closest Point of Approach
DoD	Department of Defense
DOP	Dilution of Precision
ECEF	The global geocentric coordinate system
EFIS	Navigation Display in "ROSE" mode with traffic display
EGNOS	European Geostationary Overlay System
FAA	Federal Aviation Administration
GDOP	Geometric DOP
GNSS	Global Satellite Navigation Systems
GPS	Global Positioning System
HDOP	Horizontal DOP
ICAO	International Civil Aviation Organization
IVCI	Instantaneous Vertical Speed Indicator
LAAS	Local Area Augmentation System
LAN	Local
MAC	Mid-Air Collision
MTOM	Maximum Take-Off Mass
MTSAS	Multifunction Transport Satellite System
ND	Navigation Display
PDOP	Positional DOP
PRN	Pseudo Random Sequence

QoS	Quality of Service
RA	Resolution Advisory
SAR	Search and Rescue
SV	Space Vehicle
SOL	Safety-of-life Services
SISA	Signal in Space Accuracy
TA	Traffic Around
TDOP	Time DOP
UTC	Universal Coordinated Time
VDOP	Vertical DOP
WAAS	Wide Area Augmentation System

INTRODUCTION

Thesis actuality. Today is very relevant topic to find new and alternative methods of navigation. thesis is focused on finding alternative methods of positioning information for collision avoidance systems

Thesis relation with scientific research programs, schedules and themes

Scientific research was done in the framework of fundamental researches of Eurocontrol, Federal aviation administration and EASA.

Purpose of the work – explore a method for determining aircraft position information for TCAS, create an algorithm for solving this problem, as well as a program that can determine the position of the aircraft with a certain precision and accuracy to calculate the coefficients.

For the achieving of the thesis purpose the following tasks have been set:

- The search for alternative methods of positioning in the airspace;
- Development of a method for positioning the TCAS information from neighboring aircrafts;
- Development of the search algorithm and calculating the location;
- Avoidance of conflicts in the airspace;
- Development of software for calculating the position of the aircraft in space, evaluation of the accuracy of positioning.

Investigation object – onboard positioning methods of aircraft.

Investigation subject – positioning method by information from TCAS.

Investigation method – computer based imitation simulation method.

Science research novelty Navigation requires new discoveries. based on the principles of avionics and aircraft collision avoidance systems, has developed a technique of positioning.

Practical results of science research. As a result of the software was designed location of the aircraft with an accuracy estimate

CHAPTER 5. SIMULATION OF POSITIONING TECHNIQUE

5.1. Simulation software

This algorithm (Figure 4.1) was designed for the rated output of the error and subsequent DOP- figures for evaluation. First of all, we have a mathematical model for the aircraft , the coordinates will be considered , and model airplanes, which we will do it . One of the first mathematical actions we need to find this unknown calculated distance from TCAS aircraft coordinates are looking for with other systems TCAS. The input data for this location has close to us planes and distance to them.

After that, our software system is already known distance produces navigation solution of the equation calculates the location of the object , ie the coordinates .

The next step is to assess the accuracy with subsequent calculation of the coefficients of DOP.

All formulas used to perform a mathematical part of the work , and the simulation results are induced below.

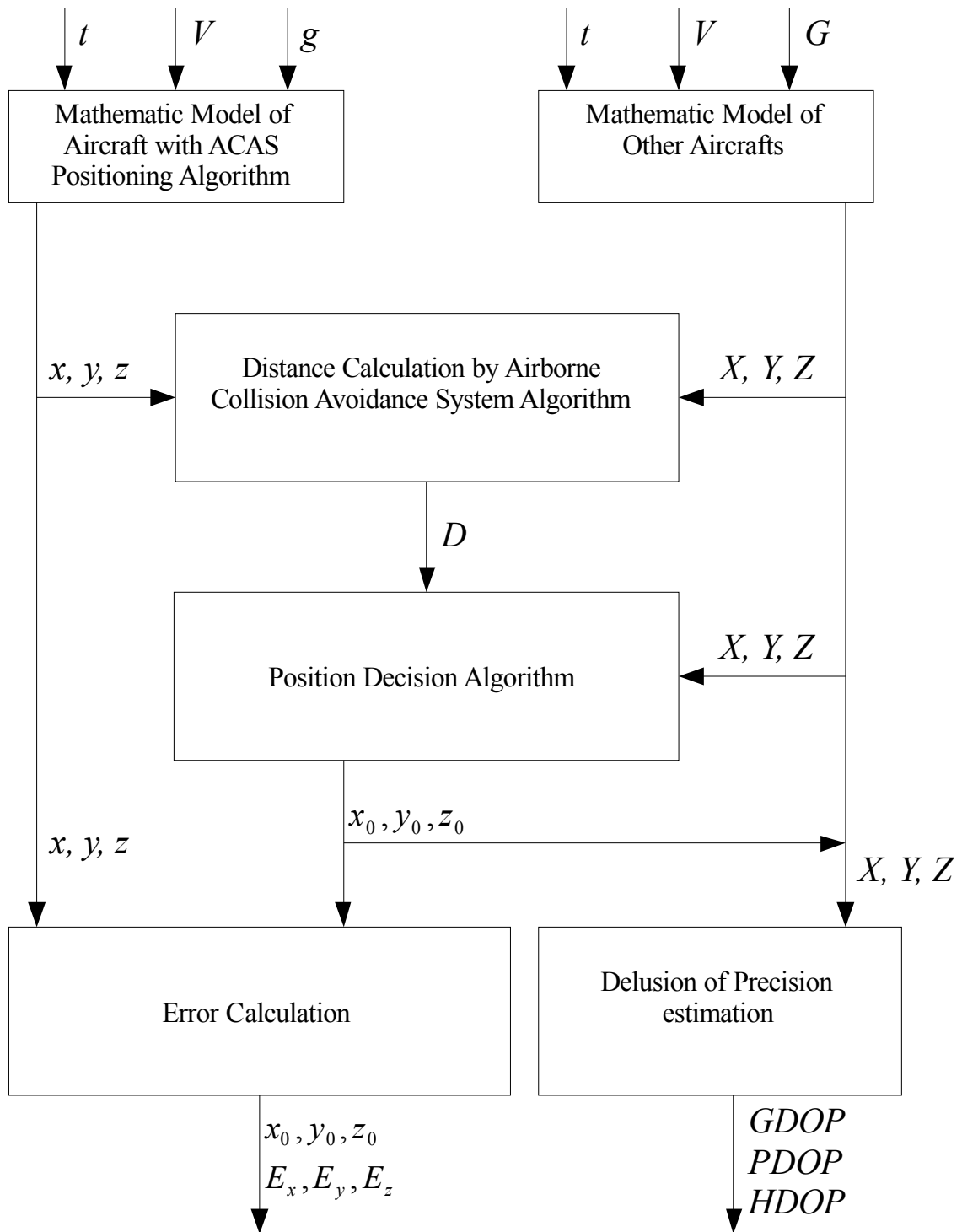


Figure 4.1 – Structure scheme of simulation software

5.2. Math model of Aircraft

For problems of air traffic control, you can use a simple model, containing controlled parameters. That takes into account the peculiarities of piloting. However,

the feature of these models is that the thermopile Connectivity of these parameters with position coordinates of the object nonlinear.

A lot of time aircraft spend on the horizontal flight. Flat-plane motion of a fixed Cartesian coordinate system x, y (Figure 4.2) describes as follows:

$$\begin{aligned}\dot{x} &= V \sin \psi + U \sin \delta_v \\ \dot{y} &= V \cos \psi + U \cos \delta_v \\ \dot{\psi} &= \frac{g}{V} \operatorname{tg} \gamma\end{aligned}\quad (4.1)$$

where V - air speed; ψ - angle rate; U - wind speed; δ_v - the angle of the wind; g - acceleration of gravity, γ - roll angle, W - ground speed.

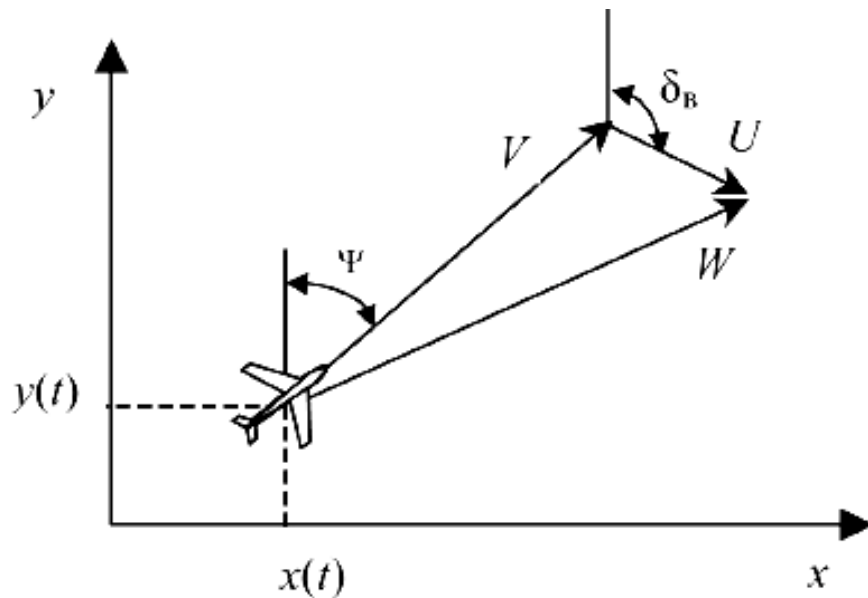


Figure 4.2 – The horizontal movement

The last equation of (4.1) follows from the balance of forces in lateral movement at the turn coordinated aircraft.

For areas. where the maneuvering height and speed. system of equations (4.1) can complement and add to

$$\begin{aligned}\dot{x} &= V \sin \psi \cos \theta + U \sin \delta_v \\ \dot{y} &= V \cos \psi \cos \theta + U \cos \delta_v \\ \dot{\psi} &= \frac{g}{V} \operatorname{tg} \gamma \\ \dot{V} &= a \\ \dot{h} &= V \sin \theta\end{aligned}\quad (4.2)$$

where θ - angle of trajectory, a - longitudinal acceleration.

To give the model (4.1) the linear form, perform its linearization with respect to known software trajectory $\{x_0, y_0, V_0, \psi_0, \gamma_0\}$.

$$\begin{aligned}\Delta \dot{x} &= V_0 \cos \psi_0 \Delta \psi + \sin \psi_0 \Delta V + \sin \delta_v \Delta U \\ \Delta \dot{y} &= -V_0 \sin \psi_0 \Delta \psi + \cos \psi_0 \Delta V + \cos \delta_v \Delta U \\ \Delta \dot{\psi} &= \frac{g}{V_0} \sec^2 \gamma_0 \Delta \gamma - \frac{\dot{\psi}}{V} \Delta V\end{aligned}\quad (4.3)$$

where the symbol Δ marked departure from the program path.

The system (4.3) can be written in vector-matrix form:

$$\frac{d\bar{x}}{dt} = F\bar{x} + B\bar{u} + G\bar{w}$$

Assuming that the state vector $\bar{x} = [\Delta x, \Delta y, \Delta \psi]^T$ vector controlling signals $\bar{u} = [\Delta V, \Delta \gamma]^T$, the vector of perturbation effects $\bar{w} = \Delta U$, and mark:

$$F = \begin{bmatrix} 0 & 0 & V_0 \cos \psi_0 \\ 0 & 0 & -V_0 \sin \psi_0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}; \quad B = \begin{bmatrix} \sin \psi_0 & 0 \\ \cos \psi_0 & 0 \\ -\frac{\psi_0}{V_0} & \frac{g}{V_0} \sec^2 \gamma_0 \end{bmatrix}; \quad C = \begin{bmatrix} \sin \psi_0 \\ \cos \psi_0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

To record the model (4.2) in the linearized vector-matrix form must assume the state vector as $\bar{x} = [\Delta x, \Delta y, \Delta \psi, \Delta h, \Delta V]^T$, vector controls - $\bar{u} = [\alpha, \gamma, \theta]^T$.

As a result of calculations, we obtained the following model.

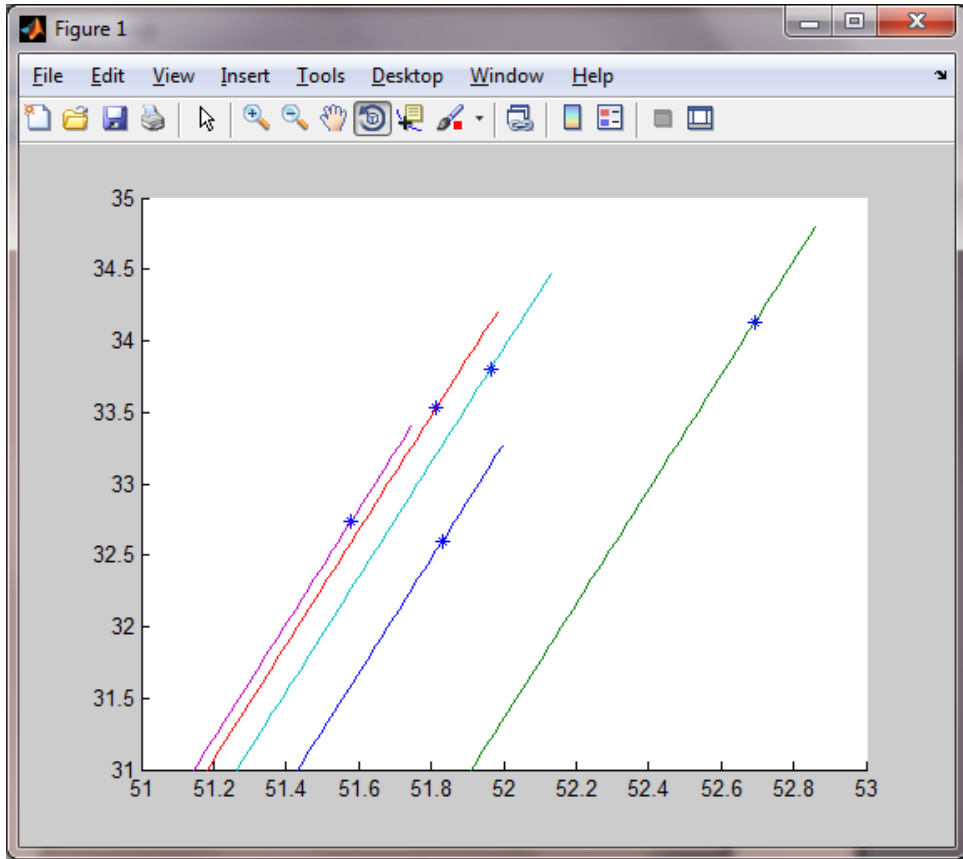


Figure 4.3 – Air traffic simulation results in horizontal plane

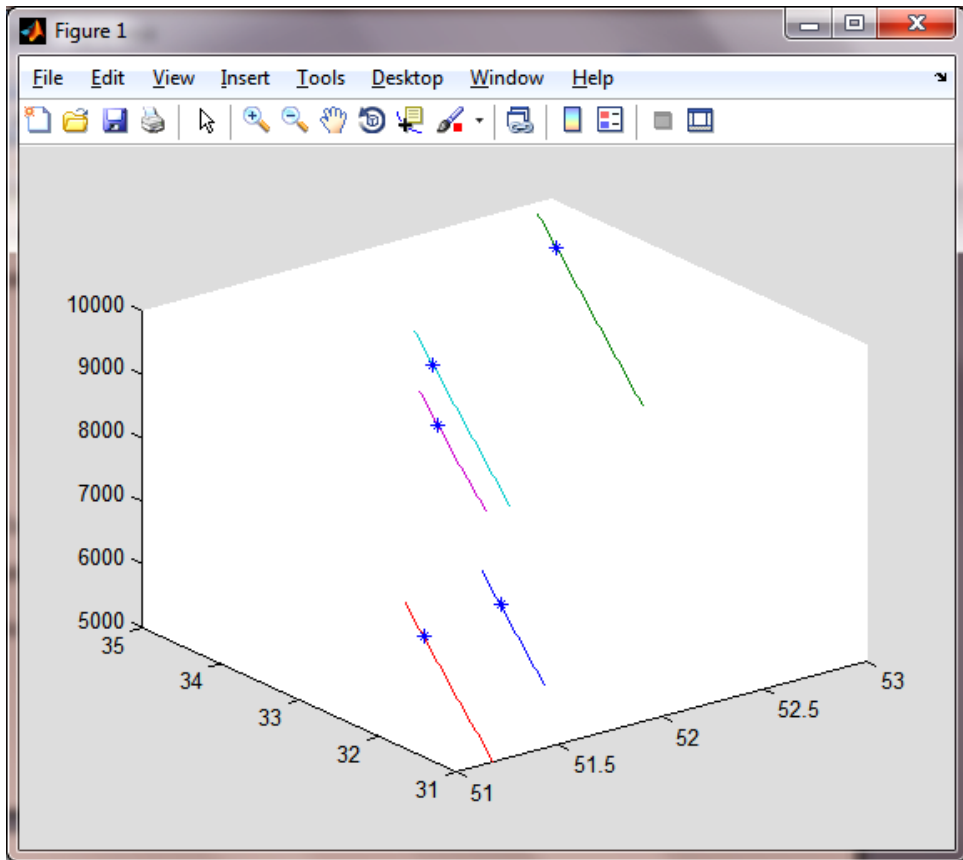


Figure 4.4 – Air traffic simulation results in 3D space

5.3. Error calculation

To find the statistical characteristics of the errors listed in the rectangular coordinate system of measurement, you can use the usual method of linearization, resulting in the expression obtained by:

$$x^*(i) \cong x(i) + v_x(i),$$

$$y^*(i) \cong y(i) + v_y(i)$$

where x^* , y^* - listed in a rectangular coordinate system measurement range and azimuth, v_x, v_y - appropriate error determination rectangular coordinates.

Solve this problem for the x coordinate. We write the coordinates communications with the measured values of range and azimuth:

$$x^* = f(\rho^*, \theta^*) = \rho^* \sin \theta^* .$$

We perform the linearization of this expression by expanding the function $f(\rho^*, \theta^*)$ in a Taylor series about the true values of ρ, θ , dismissing members of row above the first order

$$x^* = f(\rho, \theta) + \frac{\partial f}{\partial \rho} (\rho^* - \rho) + \frac{\partial f}{\partial \theta} (\theta^* - \theta) = x + \frac{\partial f}{\partial \rho} v_\rho + \frac{\partial f}{\partial \theta} v_\theta .$$

This error of x coordinate

$$v_x = \frac{\partial f}{\partial \rho} v_\rho + \frac{\partial f}{\partial \theta} v_\theta = \sin \theta v_\rho + \rho \cos \theta v_\theta .$$

Determine the variance of the error

$$D_{v_x} = \sigma_x^2 = M[v_x^2] = M[v_\rho^2 \sin^2 \theta + 2\rho v_\rho v_\theta \sin \theta \cos \theta + \rho^2 v_\theta^2 \cos^2 \theta] .$$

Apply an operation to every expectation terms, while we take into account that as the measurement error range and azimuth independent, $M[v_\rho v_\theta] = 0$.

As a result, we obtain

$$\sigma_x^2 = \sigma_\rho^2 \sin^2 \theta + \rho^2 \sigma_\theta^2 \cos^2 \theta .$$

Similarly, for the coordinates y

$$\sigma_y^2 = \sigma_\rho^2 \cos^2 \theta + \rho^2 \sigma_\theta^2 \sin^2 \theta .$$

Note that the variance of error determination rectangular coordinates depends on the airship (values of ρ, θ), while the variance of errors as a measurement of distance and angle does not change.

5.4. DOP calculation

As a first step in computing DOP, consider the unit vectors from the receiver to satellite i: $(\frac{(x_i - x)}{R_i}, \frac{(y_i - y)}{R_i}, \frac{(z_i - z)}{R_i})$ where $R_i = \sqrt{(x_i - x)^2 + (y_i - y)^2 + (z_i - z)^2}$ and where x, y and z denote the position of the receiver and x_i, y_i and z_i denote the position of plane i. Formulate the matrix, A , as:

$$A = \begin{bmatrix} \frac{(x_1 - x)}{R_1} & \frac{(y_1 - y)}{R_1} & \frac{(z_1 - z)}{R_1} & -1 \\ \frac{(x_2 - x)}{R_2} & \frac{(y_2 - y)}{R_2} & \frac{(z_2 - z)}{R_2} & -1 \\ \frac{(x_3 - x)}{R_3} & \frac{(y_3 - y)}{R_3} & \frac{(z_3 - z)}{R_3} & -1 \\ \frac{(x_4 - x)}{R_4} & \frac{(y_4 - y)}{R_4} & \frac{(z_4 - z)}{R_4} & -1 \end{bmatrix}$$

The first three elements of each row of A are the components of a unit vector from the receiver to the indicated satellite. If the elements in the fourth column are c which denotes the speed of light then the σ_t factor (time dilution) is always 1. If the elements in the fourth column are -1 then the σ_t factor is calculated properly. Formulate the matrix, Q , as:

$$Q = (A^T A)^{-1}$$

The elements of Q are designated as:

$$Q = \begin{bmatrix} \sigma_x^2 & \sigma_{xy} & \sigma_{xz} & \sigma_{xt} \\ \sigma_{xy} & \sigma_y^2 & \sigma_{yz} & \sigma_{yt} \\ \sigma_{xz} & \sigma_{yz} & \sigma_z^2 & \sigma_{zt} \\ \sigma_{xt} & \sigma_{yt} & \sigma_{zt} & \sigma_t^2 \end{bmatrix}$$

PDOP, TDOP and GDOP are given by:

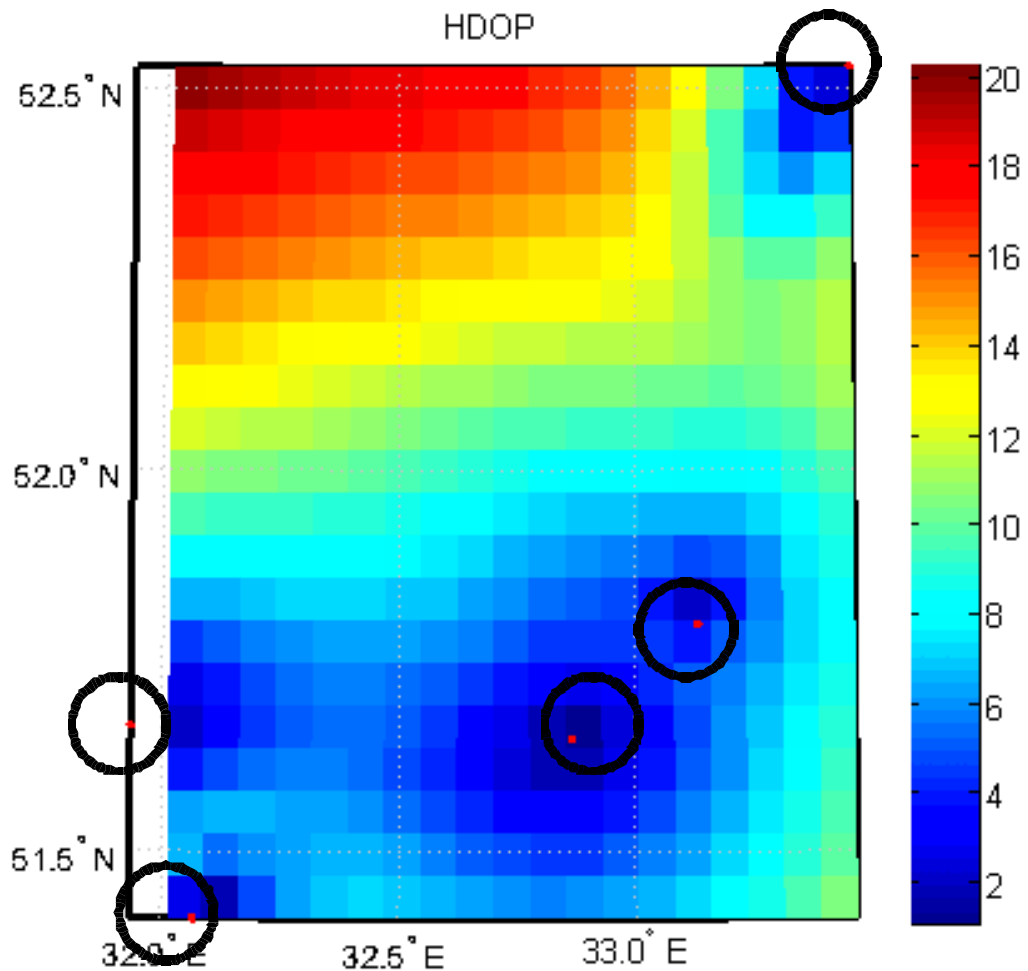
$$PDOP = \sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_y^2 + \sigma_z^2}$$

$$TDOP = \sqrt{\sigma_t^2}$$

$$GDOP = \sqrt{PDOP^2 + TDOP^2}$$

The horizontal dilution of precision, $HDOP = \sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_y^2}$, and the vertical dilution of precision, $VDOP = \sqrt{\sigma_z^2}$, are both dependent on the coordinate system used. To correspond to the local horizon plane and the local vertical, x , y , and z should denote positions in either a north, east, down coordinate system or a south, east, up coordinate system.

As a result of calculations, we obtained the following DOPs



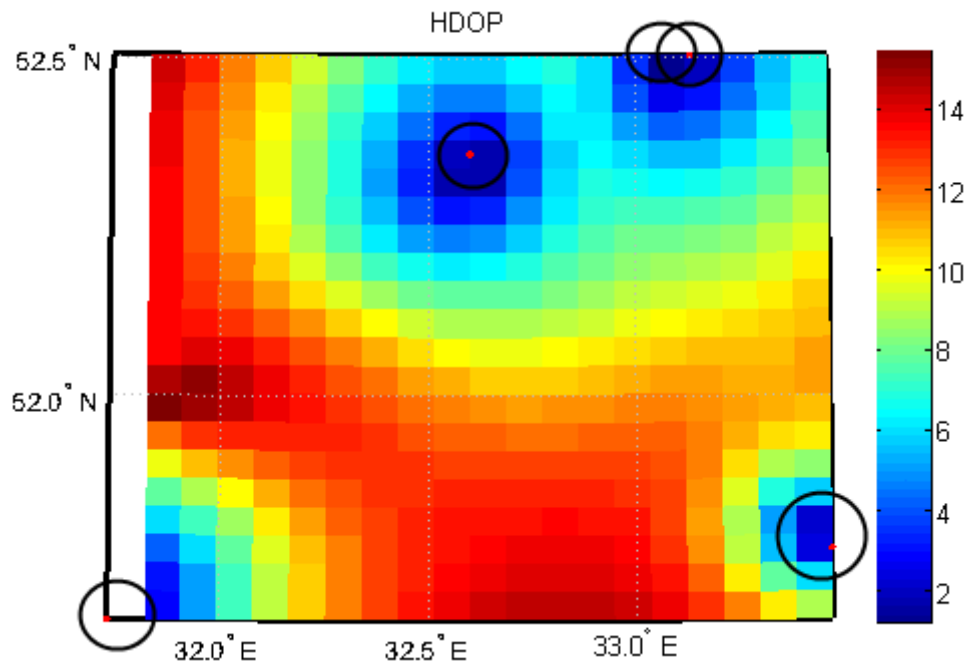
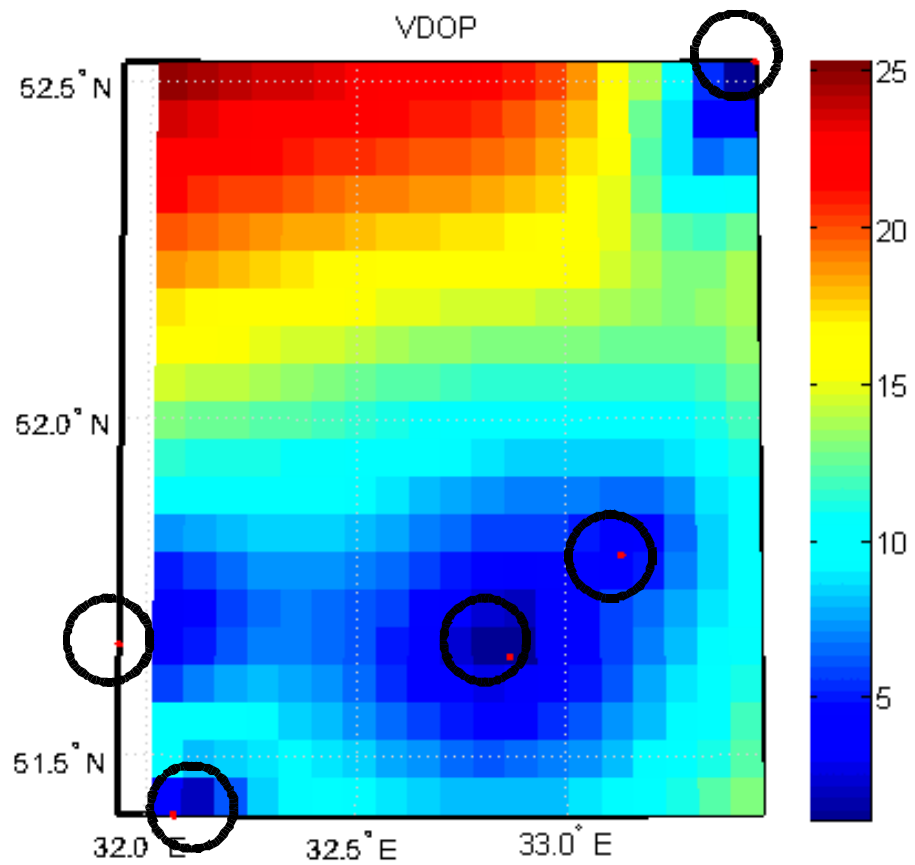


Figure 4.5 – HDOP



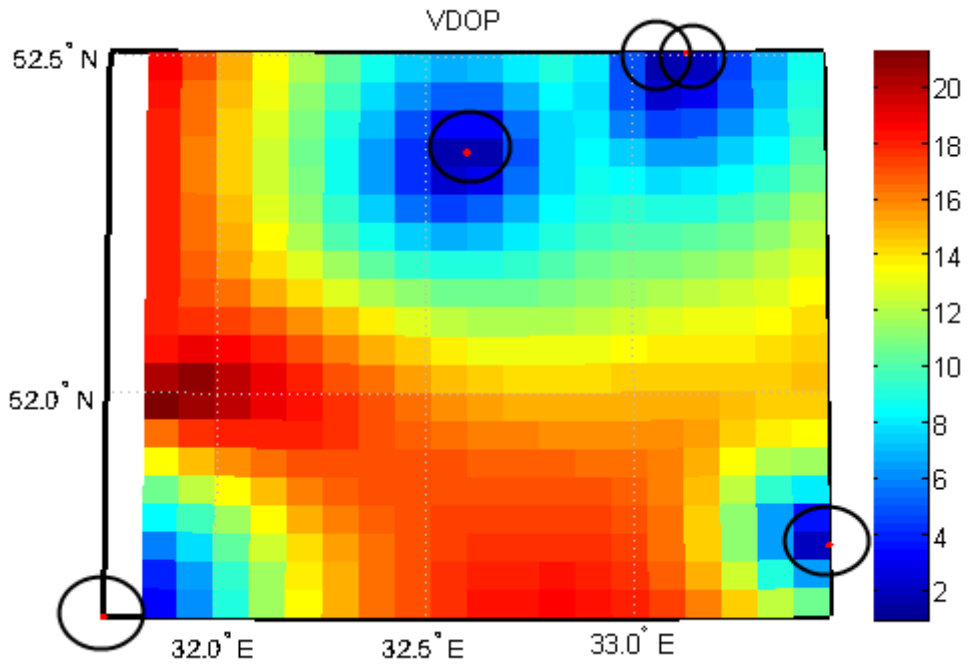
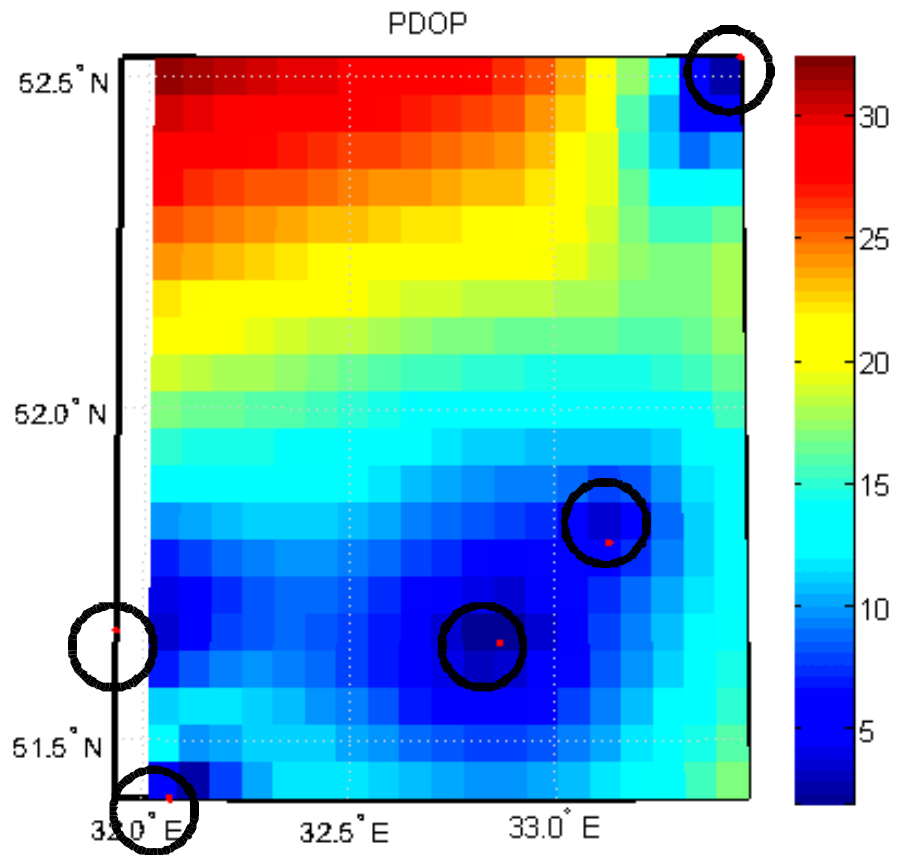


Figure 4.6 – VDOP



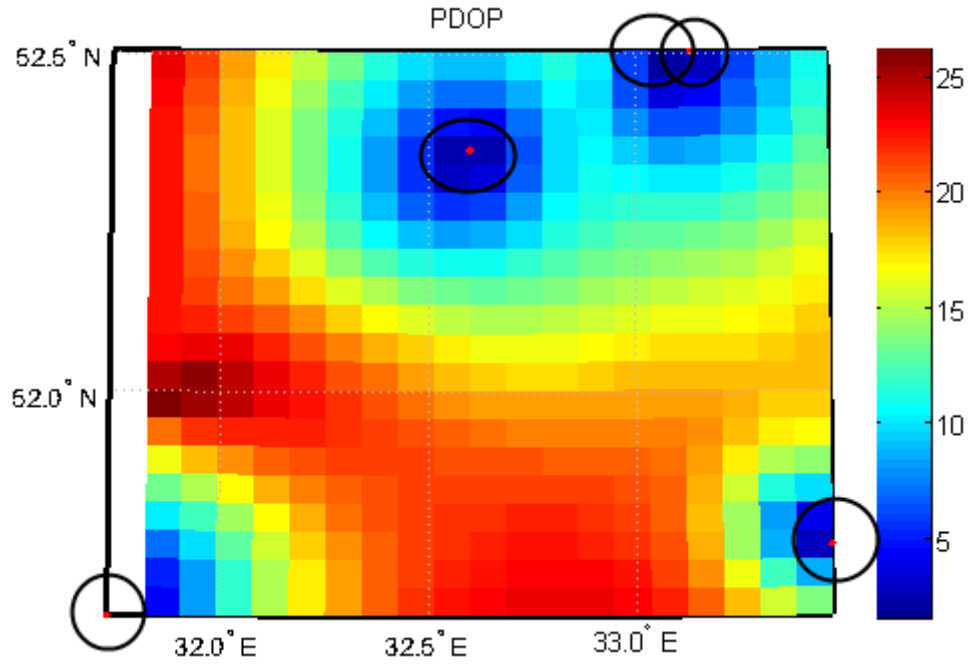


Figure 4.7 – PDOP

Conclusion

One of the most important systems in modern positioning systems are flying aircraft in space. Has relevance today the availability of GPS and other satellite navigation systems . In the absence of such a system on board or because it unusable , we can get your location based on the information obtained from the system TCAS. And with the help of mathematical calculations to determine our position in space with sufficient accuracy .

This positioning method is based on solving the navigation equations .

Software to solve this problem , as well as to assess the accuracy and calculation coefficients DOP, was created in Matlab.

GENERAL CONCLUSIONS

In the scope was explored a method for determining aircraft position information for TCAS, create an algorithm for solving this problem, as well as a program that can determine the position of the aircraft with a certain precision and accuracy to calculate the coefficients.

For the achieving of the thesis purpose the following tasks have been set:

- The search for alternative methods of positioning in the airspace;
- Development of a method for positioning the TCAS information from neighboring aircrafts;
- Development of the search algorithm and calculating the location;
- Avoidance of conflicts in the airspace;
- Development of software for calculating the position of the aircraft in space, evaluation of the accuracy of positioning.

One of the most important systems in modern positioning systems are flying aircraft in space. Has relevance today the availability of GPS and other satellite navigation systems . In the absence of such a system on board or because it unusable , we can get your location based on the information obtained from the system TCAS. And with the help of mathematical calculations to determine our position in space with sufficient accuracy .

Disadvantages of satellite navigation system:

- high sensitivity to industrial and atmospheric interference;
- momentary loss of signal from the navigation satellite associated with shading antenna installed on board the aircraft, aircraft structure during the maneuver;
- lack of positional accuracy for solving the precision approach.

This positioning method is based on solving the navigation equations .

Software to solve this problem , as well as to assess the accuracy and calculation coefficients DOP, was created in Matlab.

Dilution of precision - an indicator of satellite geometry for a constellation of satellites used to determine a position. Positions with a lower DOP value generally constitute better measurement results than those with higher DOP. Factors

determining the total GDOP (geometric DOP) for a set of satellites include PDOP (positional DOP), HDOP (horizontal DOP), VDOP (vertical DOP), and TDOP (time DOP). The accuracy and calculation coefficients DOP, was created in Matlab.

References

1. ACSS [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.acss.com>
2. ADS-B [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://http://www.ads-b.com>
3. Avionics Fundamentals [Электронный ресурс]. – IAP inc., 1991. – 394 p.
4. Avionics Systems Standardization Committee [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://assconline.co.uk>
5. Bao, J. Fundamentals of Global Positioning System Receivers: A Software Approach [Текст] / J. Bao, Y. Tsui // John Wiley & Sons. - 2000. - electronic ISBN 0-471-20054-9
6. Cary R. Spitzer. Digital Avionics Handbook / Cary R. Spitzer // AvioniCon, Inc. – Williamsburg (Virginia, USA), 2006. – 448 p.
7. Mayweather, D.W. Model Aircraft L-Band Beacon Antenna Pattern Gain Maps / D.W. Mayweather // Project Report ATC-44. Lincoln Laboratory. – 16 May 1975.
8. Eurocontrol [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.eurocontrol.int>
9. Eurocontrol. ACAS II Bulletins and Safety Messages [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.eurocontrol.int/msa/public/standard_page/ACAS_Bulletins_Safety_Messages.html
10. Eurocontrol. ACAS program [Электронный ресурс]. – Режим доступа: www.eurocontrol.int/msa/public/standard_page/ACAS_Startpage.html
11. Eurocontrol. Requirements for civil aircraft [Электронный ресурс]. – Режим доступа: www.eurocontrol.int/avionics
12. Feng, Y. Combined Galileo and GPS: A Technical Perspective / Y. Feng // Journal of Global Positioning System. – 2003. – 2 (1): 67-72.
13. GALILEO. Mission Requirement Document (MRD) [Электронный ресурс] / European Commission // Issue 5– Rev. 1.1, 27. – March 2003. – Режим доступа: <http://www.galileoju.com>.
14. Garming [Электронный ресурс]. – Режим доступа: www.garming.com

15. GLONASS-ICD. GLONASS Interface Control Document [Электронный ресурс]. Version 5, 2002, available from http://www.glonass-center.ru/ICD02_e.pdf.
16. Honeywell [Электронный ресурс]. – Режим доступа: www.honeywell.com
17. Ian Moir. Civil avionics systems / Ian Moir, Allan Seabridge // AIAA. – 2006. – 396 p.
18. ICD-GPS-200C. Interface Control Document: Navstar GPS Space Segment [Электронный ресурс] / Navigation User Interfaces .- 14 Jan 2003. Режим доступа: <http://www.navcen.uscg.gov/pubs/gps/icd200/default.htm>.
19. IEEE 802.15.3a (2004) Multi-Band OFDM Update and Overview
20. IEEE 802.15.4iGa, 03266r0P802-15_4iGa (2003) Informal Call For Applications Response
21. J.L. Gertz, "The ATCRBS Mode of DABS," Project Report ATC-65, Lincoln Laboratory (31 Jan. 1977), FAA-RD-76-39.
22. Kaya, F. A Computer Simulation of Dilution of Precision in the Global Positioning System Using Matlab / Saritas, M, Kaya, F. // Gazi University, Faculty of engineering and architecture
23. Kayton Myron. Avionics navigation systems [Текст] / Myron Kayton, R Walter. Fried // John wiley & Sonsinc., 1997. – 773 p.
24. Manual on airspace planning methodology for the determination of separation minima: Doc 9689-AN/953 / ICAO. - Montreal, 1998. - 115 p.
25. NextGen Avionics Roadmap Version 1.0 Overview. JPDO Aircraft Working Group.– FAA, 2008. –72 p.
26. Ostroumov I.V. Monitoring of private aviation flying / I.V. Ostroumov // The Fourth World Congress “AVIATION IN THE XXII-st CENTURY” – Safety in Aviation and Space Technologies. – К.: NAU, 2010. – Vol. 1. – p. 329–338
27. Performance-based Navigation (PBN) Manual. Doc 9613. – ICAO, 2008. – 304 p.
28. Rockwellcollins [Электронный ресурс]. – Режим доступа: www.rockwellcollins.com

29. Selection Order: U.S. National Standard for the IFF Mark X (SIF) Air Traffic Control Radar Beacon System (ATCRBS) Characteristics, Dept. of Transportation/ Federal Aviation Administration Order 1010.51A (8 Mar. 1971).
30. SESAR ATM Master Plan. Edition 1. – Eurocontrol, March 2009. – 152 p.
31. System Safety Study of Minimum TCAS II." MITRE Corp., p. 3-5 (Dec. 1983). MTR-83W241.
32. System Safety Study of Minimum TCAS II." MITRE Corp., p. 3-5 (Dec. 1983). MTR-83W241.
33. Thales [Електронний ресурс]. – Режим доступу: www.thalesgroup.com
34. V.A. Orlando. Mode S Beacon System: Functional Description / V.A. Orlando, P.R Drouilhet // Project Report ATC-42D . Lincoln Laboratory - 29 Aug. 1986 /- FAA/PM-86/19.
35. А. С. 52015 України. Комп'ютерна програма «Позиціонування за системою попередження зіткнень літаків у повітрі з оцінкою точності («TCAS-Positioning»)» / І.В. Остроумов, Д.В. Чаплінський. – заявка від 04.09.13; опубл. 04.11.13.
36. Авіоніка: навч. посіб. / В.П. Харченко, І.В. Остроумов – К.: НАУ, 2012 – 281с.
37. Анодина Т. Г. Моделирование процессов в системах управления воздушным движением / Т. Г. Анодина, В. И. Мокшанов. // - М.: Радио и связь. 1993. - 260с.
38. Бабак В. П. Супутникова радіонавігація / В.П. Бабак, В.В. Конін, В.П. Харченко. – К.: Техніка, 2004. – 328 с.
39. Безпека авіації / В. П. Бабак, В. П. Харченко, В. О. Максимов та ін. –К.: Техніка, 2004. – 584 с.
40. Васильєв В.М. Моделювання аеронавігаційних систем. Оброблення інформації та прийняття рішень в системі керування повітряним рухом: навч. посіб. / В.М. Васильєв, В.П. Харченко. - К.: НАУ, 2008. - 180 с

41. Гофманн-Велленгоф Б. Навігація. Основи визначення місцеположення та скеровування / Б. Гофманн-Велленгоф, К. Легат, М. Візер; пер. з англ. за ред. Я. С. Яцківа. – Львів: Львів. нац. ун-т імені Івана Франка, 2006. – 443 с.

42. Кучерявый А.А. Бортовые информационные системы: курс лекций / А.А. Кучерявый; 2-е изд. под. ред. В.А. Мишина и Г.И. Ключева. – Ульяновск. УлГТУ, 2004. – 504 с.

43. Международные стандарты и рекомендуемая практика. Авиационная электросвязь: Приложение № 10 к Конвенции о международной гражданской авиации. Т. IV. Системы обзорной радиолокации и предупреждений столкновений. – ICAO, 1995. – 208 с.

44. Организация воздушного движения (DOC. 4444). - 14-е изд. - Монреаль, ICAO, 2001. - 293 с.

45. Остроумов І. В. Недосконалість систем відображення повітряної обстановки навколо літака / І. В. Остроумов // Авіа-2006 : Міжнар. наук.-техн. конф., 25–27 вересня 2006 р. : матеріали конференції. – К., 2006. – С. 21.29–21.32.

46. Остроумов І.В. Використання радіомаяків DME для визначення місцеположення у повітряному просторі України / І.В.Остроумов, Т.Б. Лопатко // Вісник інженерної академії України. – 2013. – № 4. – С. 300–305.

47. Остроумов І.В [Електронний ресурс]. Електронний навчальний комплекс системи попередження зіткнень літаків у повітрі / І.В. Остроумов, В.П. Харченко. – Режим доступу: <http://www.ans.nau.edu.ua/tcas>

48. Остроумов І.В. Оцінка точності позиціонування за сигналами радіомаяків VOR / Остроумов І.В. // Проблеми інформатизації та управління: Збірник наукових праць: Випуск 3(39). – К.:НАУ, 2012.– С. 102-107.

49. Остроумов І.В. Оцінювання точності DME/DME позиціонування для повітряного простору України / Остроумов І.В. // Проблеми інформатизації та управління: Збірник наукових праць: Випуск 3(43). – К.:НАУ, 2013.– С. 61-67.

50. Харченко В.П. Системи зв'язку та навігації : навч.посіб. /В.П. Харченко, Ю.М. Барабанов, М.А. Міхалочкін. – К.: НАУ, 2009. – 216 с.

51. Энциклопедия безопасности авиации / Н. С. Кулик, В. П. Харченко, М. Г. Луцкий, А. Г. Кучер. – К.: Техніка, 2008. – 1000 с.

Appendix A

Program codes for Matlab software

```
clear all
clc

maxlat=52
minlat=51
maxlon=35
minlon=31
v=0.3 % meter per sec

%in 1000 meters
min_alt=5
max_alt=10

aircraft_num=5

time=60

x_lat=(maxlat-minlat)/time
x_lon=(maxlon-minlon)/time

% altitude simulation
d_alt=max_alt-min_alt
altitude=min_alt+ round(d_alt*rand(1,aircraft_num))
altitude=altitude*1000

%time simulation
tim=round(rand(1,aircraft_num)*time/2)

%horizontal plane
d_lat=maxlat-minlat
lat0=minlat+d_lat*rand(1,aircraft_num)
lon0=minlon*ones(1,aircraft_num)
latitude(:,1)=lat0'
longitude(:,1)=lon0'
altitud(:,1)=altitude'

for i=1:aircraft_num
    for j=2:time
        if j==tim(i)
            latitude(i,j)=lat0(i)
            longitude(i,j)=lon0(i)
            altitud(i,j)=altitude(i)
        elseif j>tim(i)
```

```

        latitude(i,j)=latitude(i,j-1)+x_lat
        longitude(i,j)=longitude(i,j-1)+x_lon
        altitud(i,j)=altitude(i)
    else
        latitude(i,j)=lat0(i)
        longitude(i,j)=lon0(i)
        altitud(i,j)=altitude(i)
    end
end
end
axis([minlat maxlat minlon maxlon 1000 9000])

plot3(latitude',longitude', altitud')
hold on
plot3(latitude(:,50),longitude(:,50), altitud(:,50),'*')
hold off

height= 8*10^3; % altitude of flight

d_lat=latitude(:,40)'
d_lon=longitude(:,40)'
alt=altitud(:,40)'

lat=deg2rad(d_lat);
lon=deg2rad(d_lon);
[x,y,z]=lla2ecef(lat,lon,alt) ;

% aircraft location
n=20;

alat=linspace(min(d_lat),max(d_lat),n);
alon=linspace(min(d_lon),max(d_lon),n);
aalt=height*ones(1,n);
a_lat=alat(1)*ones(1,n);
a_lon=alon;
a_alt=aalt;
for j=2:n
    a_lat=[a_lat alat(j)*ones(1,n)];
    a_lon=[a_lon alon];
    a_alt=[a_alt aalt];
end
ai_lat=deg2rad(a_lat);
ai_lon=deg2rad(a_lon);
[xx,yy,zz]=lla2ecef(ai_lat,ai_lon,a_alt) ;

```

```

% %detect nearest grond stantions
maxrange=300*1000
for q=1:size(zz,2)
d(q,:)=sqrt(((xx(q)-x).^2)+((yy(q)-y).^2)+(zz(q)-z).^2);

end
[dd dg]=find(d<maxrange);
% dd - a vector of row indices of the nonzero entries of
X
% dg - a vector of column indices of the nonzero entries
of X
visibl=zeros(size(d));
for i=1:size(dd,1)
visibl(dd(i),dg(i))=d(dd(i),dg(i));
end

% filtering more then two stantion
visiblw=visibl;
for i=1:size(visiblw,1)
clear mr
mr=0;
for j=1:size(visiblw,2)
if visiblw(i,j)
mr=mr+1;
end
end
if mr<=2
visiblw(i,:)=zeros(1,size(d_lat,2));
end
end

% G matrix
for i=1:size(xx,2)
if(sum(visiblw(i,:)))
clear G GG m x2 y2 z2 d2
m=0;
for j=1:size(visiblw,2)
if (visiblw(i,j))
m=m+1;
x2(m)=x(j);
y2(m)=y(j);
z2(m)=z(j);
d2(m)=visiblw(i,j);
xxx(i,m)=d2(m);
end
end
end

```

```

G=[(x2'-xx(i))./d2', (y2'-yy(i))./d2', (z2'-zz(i))./d2'];
GG=inv(G'*G);
    EDOP(i)=sqrt(GG(1,1));
    NDOP(i)=sqrt(GG(2,2));
    VDOP(i)=sqrt(GG(3,3));
    HDOP(i)=sqrt(NDOP(i)^2+EDOP(i)^2);
    PDOP(i)=sqrt(NDOP(i)^2+EDOP(i)^2+VDOP(i)^2);
else
    EDOP(i)=0;
    NDOP(i)=0;
    VDOP(i)=0;
    HDOP(i)=0;
    PDOP(i)=0;
end

end

%accuracy of TCAS positioning equipment
dmea=zeros(size(visibl,1),size(visibl,2));
for i=1:size(visibl,1)
    for j=1:size(visibl,2)
        if(visibl(i,j))
dmea(i,j)=0.17*1852+0.0005.*visibl(i,j);
        end
    end
    dmeaa(i)=max(dmea(i,:))
end

for i=1:size(visibl,1)
wi(i)=nnz(visibl(i,:));
end

k=0
for i=1:n
    ax(i,:)=a_lat(k+1:i*n);
    ay(i,:)=a_lon(k+1:i*n);
    az(i,:)=wi(k+1:i*n);
    ahdop(i,:)=HDOP(k+1:i*n);
    avdop(i,:)=VDOP(k+1:i*n);
    apdop(i,:)=PDOP(k+1:i*n);
    mist(i,:)=dmeaa(k+1:i*n);
    k=i*n;
end
totala=mist.*apdop
% Compute the latitude and longitude limits for the DEM.
latlim = [min(d_lat) max(d_lat)];
lonlim = [min(d_lon) max(d_lon)];

```

```
% Display the DEM values as a texture map.
figure(1)
figure('Color','white')
usamap(latlim, lonlim)
title('HDOP')
geoshow(ax, ay, ahdop, 'DisplayType','texturemap')
geoshow(d_lat, d_lon, 'Marker', '.', 'Color', 'red',
'Line', 'no');
colorbar;
figure(2)
figure('Color','white')
usamap(latlim, lonlim)
title('VDOP')
geoshow(ax, ay, avdop, 'DisplayType','texturemap')
geoshow(d_lat, d_lon, 'Marker', '.', 'Color', 'red',
'Line', 'no');
colorbar;
figure(3)
figure('Color','white')
usamap(latlim, lonlim)
title('PDOP')
geoshow(ax, ay, apdop, 'DisplayType','texturemap')
geoshow(d_lat, d_lon, 'Marker', '.', 'Color', 'red',
'Line', 'no');
colorbar;
```

УКРАЇНА



ДЕРЖАВНА СЛУЖБА ВЛАСНОСТІ УКРАЇНИ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ

СВІДОЦТВО
про реєстрацію авторського права на твір

№ 52015

Комп'ютерна програма "Позиціонування за системою попередження зіткнень літаків у повітрі з оцінкою точності" ("TCAS-Positioning")
(вид, назва службового твору)

Автор(и) **Остроумов Іван Вікторович, Чаплінський Денис Валерійович**
(повне ім'я, поведомію (за наявності))

Авторські майнові права належать **Національний авіаційний університет, пр-т Космонавта Комарова, 1, м. Київ, 03680**
(повне ім'я фізичної та/або повне офіційне найменування юридичної особи, адреса)

04.11.2013

Дата реєстрації



Koblyy

Голова Державної служби
інтелектуальної
власності України
М.В. Ковіня

ДЕРЖАВНА СЛУЖБА
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ УКРАЇНИ
Україна, 03680, МСП, м. Київ-35,
вул. Уриського, 45
Тел. (044) 494-06-06
Факс (044) 494-06-67
E-mail: post@sips.gov.ua



STATE INTELLECTUAL
PROPERTY SERVICE
OF UKRAINE
Ukraine, 03680, MSP, Kyiv-35,
45, Urytskogo str.
Tel. (044) 494-06-06
Fax (044) 494-06-67
E-mail: post@sips.gov.ua

РІШЕННЯ

ПРО РЕЄСТРАЦІЮ АВТОРСЬКОГО ПРАВА НА ТВІР

Державна служба інтелектуальної власності розглянула заяву
Національний авіаційний університет, пр-т Космонавта Комарова, 1, м. Київ, 03680
(повне ім'я фізичної або повне офіційне найменування юридичної особи, адреса)

заявка від 04.09.2013 № 52292

про реєстрацію авторського права на твір і прийняла рішення зареєструвати авторське право на службовий твір **Комп'ютерна програма "Позиціонування за системою попередження зіткнень літаків у повітрі з опинкою точності" ("TCAS-Positioning"); Остроумов Іван Вікторович, Чаплінський Денис Валерійович; Національний авіаційний університет**

(ім'я, повне, скорочене (за наявності) назва твору, повне ім'я, повне ім'я (за наявності) автора (ів), повна офіційна назва роботодавця)

Внесення відомостей до Державного реєстру свідоцтва про реєстрацію авторського права на твір та видана свідоцтва будуть здійснені за умови сплати збору за оформлення і видачу свідоцтва про реєстрацію авторського права на твір відслідую до п.3 постанови Кабінету Міністрів України від 27 грудня 2001 року № 1756 "Про державну реєстрацію авторського права і договорів, які стосуються права на твір".

Якщо протягом трьох місяців від дати одержання заявником рішення про реєстрацію авторського права на твір Державна служба не одержала документ про сплату збору за оформлення і видачу свідоцтва у розмірі та порядку, визначених законодавством, або копію документа, що підтверджує право на звільнення від сплати зазначеного збору, заявка вважається відхиленою і реєстрація авторського права та публікація відомостей про реєстрацію Державною службою не проводиться.

Голова Державної служби
інтелектуальної власності



M.B. Koviya

М.В. Ковія