

INERCINIO NAVIGACIJOS ĮRENGINIO MODELIO KŪRIMAS IR TYRIMAS

Justinas Paškevičius¹, Darius Rudinskas²

VGTU AGAI Aviacijos prietaisų katedra El. p.: ¹Justinaspaskevicius@gmail.com; ²darius.rudinskas@vgtu.lt

Anotacija. Straipsnyje nagrinėjamas inercinio navigacijos įrenginio veikimas, modelio kūrimas ir tyrimas. Išnagrinėti pagrindiniai principai, į kuriuos reikia atsižvelgti kuriant orlaivio navigacinę sistemą. Pateiktas inercinio navigacijos įrenginio kompiuterinis modelis ir jo palyginimas su inerciniu navigacijos įrenginiu "ArduPilotMega". Modelio kūrimui ir analizei naudota Matlab/Simulink programinė įranga. Išnagrinėjus teorinį ir praktinį inercinių sistemų veikimą, pateikiamos tiriamojo darbo išvados.

Reikšminiai žodžiai: inercinis navigacijos įrenginys, IMU, giroskopas, pagreitmatis, Simulink, MEMS.

1. Įvadas

Nesvarbu, kiek giliai žvelgtume į praeitį, žmonės visada norėjo žinoti, kur jie yra. Keliaudami aplink pasaulį ieškoti maisto, vandens ar kitų gėrybių turėjo orientuotis, kaip rasti kelią link numatytos vietos ir atgal į namus. Ankščiau tekdavo pasikliauti žvaigždėmis, saule, reljefo ypatumais ar specialiais ženklais, paliktais žemėje, o šiais laikais pasikliaujama navigacinėmis sistemomis ir palydovinėmis vietos nustatymo sistemomis (toliau – GPS), nors noras išliko tas pats – surasti kelią iki savo tikslo.

Šiomis dienomis navigacijai plačiai naudojama globali vietos nustatymo sistema – GPS. Bet kai kuriais atvejais GPS sistema nėra pakankamai efektyvi, pavyzdžiui, kalnuotose vietovėse signalai yra netikslūs arba jų išvis nėra, taip pat po vandeniu, pastatuose ar po žeme (Stankūnas *et al.* 2005). Tokiose situacijose gali pagelbėti inercinės navigacijos sistemos, kurios gali veikti be papildomo ryšio su palydovais, išorinėmis radijo stotimis ar švyturiais (King 1998; Jakučionis 2003).

Orlaivių navigacinės sistemos yra skirtos padėti pilotams orientuotis ir sekti savo padėtį erdvėje. Inercinės navigacinės sistemos naudojamos artimajai ir tolimajai navigacijai.

Naudojant orlaivyje inercinį navigacijos įrenginį vietos, greičio ir krypties nustatymui, reikia žinoti pradinę poziciją (vietą), pradinį greitį ir kampą, o tada, matuojant pagreičius ir kampų pasikeitimus, apskaičiuojama orlaivio nauja vieta, greitis ir judėjimo kryptis.

Siekiant labiau įsigilinti į navigacinių įrenginių veikimą reikia atlikti bandymus, bet daryti bandymus su orlaiviais labai brangu ir nepatogu, paprasčiau tai atlikti su kompiuteriniais modeliais (Zhang 2007; Erismis 2004). Kompiuteriniuose matematiniuose įrenginių modeliuose nesunku keisti įvairius parametrus ir analizuoti, kaip keičiasi duomenys, charakteristikos ir prietaisų tikslumas. Nereikia nieko perlituoti ar atjunginėti, tiesiog kompiuterio pelės mygtuko paspaudimu galima pakeisti sistemos veikimą ir gauti visai kitokias charakteristikas bei duomenis.

2. "ArduPilotMega" inercinis navigacijos įrenginys

Inercinio navigacijos įrenginio (toliau tekste – IMU; angl. – *Inertial Measurement Unit*) kompiuterinis modelis buvo pritaikytas "ArduPilotMega" autopiloto inerciniam navigacijos įrenginiui. Šis įrenginys sudarytas iš trijų ašių pagreitmačio ADXL335, dviejų ašių giroskopo IDG500, matuojančio reikšmes X ir Y ašyse ir vienos ašies giroskopo ISZ500, matuojančio reikšmes Z ašyje. Šie giroskopai ir pagreitmatis yra mikroelektromechaniniai įrenginiai MEMS.

Šiame IMU panaudoti talpuminiai jutikliai. Talpuminių jutiklių privalumai, palyginti su kitais inerciniais jutikliais, nesunkiai pagaminami, jie yra vienkristaliai elementai, neturi judamų mechaninių dalių, naudoja mažai energijos, yra jautrūs, patikimi, nedidelio netiesiškumo, mažos paklaidos.

ADXL335 trijų ašių pagreitmatis

ADXL335 yra nedidelis (4x4x1,5mm), plonas, mažai energijos naudojantis (350 μ A) 3 ašių pagreitmatis, kurio išėjimo įtampa proporcinga matuojamam pagreičiui. Matuojamų pagreičių reikšmės daugiau nei ±3 g (apie ±3,6 g). Jis gali matuoti statinį pagreitį, veikiantį dėl gravitacijos jėgos, taip pat dinaminį pagreitį, atsirandantį dėl judesio, smūgio ar vibracijos.

Jutiklis su mikromechaniškai apdirbto polisilikono paviršiumi yra pastatytas ant silicio plokštelių. Polisilikatinės spyruoklės laiko konstrukciją virš plokštelių ir priešinasi pagreičio jėgoms.

Masės poslinkis matuojamas diferenciniu kondensatoriumi, kuris sudarytas iš nepriklausomų plokštelių ir plokštelių, pritvirtintų prie judančios masės. Pagreitis veikia judančią masę ir išbalansuoja diferencinį kondensatorių, todėl jutiklio išėjimo amplitudė yra proporcinga pagreičiui. Fazei jautri demoduliacijos technika naudojama pagreičio dydžio ir krypties nustatymui (ADXL335... 2009).

ADXL335 tinka naudoti robotams, orlaiviams, mobiliems įrenginiams, žaidimų sistemoms, vaizdo stabilizavimui, sporto ir sveikatos prietaisams.

IDG500 ir ISZ500 giroskopai

IDG500 yra mažai energijos naudojantis dviejų ašių giroskopas, specialiai sukurtas sudėtingų judesių matavimui 3D įvesties prietaisams ir žaidimų pulteliams (kontroleriams). IDG500 giroskopai naudoja moderniausius MEMS su plokšteline technologija. Ši technologija sujungia MEMS plokšteles su CMOS elektroninėmis plokštelėmis naudojant patentuotą plokštelių susiejimo procesą, tuo pačiu metu užtikrina elektrinius sujungimus ir hermetiškai uždarytas kameras. Šis naujas gamybos būdas leidžia gaminti aukštos kokybės, labai nedidelius, daugiaašius, integruotus MEMS giroskopus. Integracija plokštelių lygyje leidžia sumažinti parazitines talpas, o tai pagerina signalo–triukšmo charakteristikas (ISZ-500... 2009; IDG-500 ... 2009).

Kai jutiklis juda apie X arba Y ašis, Koriolio efektas sukelia vibraciją, kuri gali būti išmatuota. Vibracija išmatuojama nustatant talpos kaitą tarp mechaninės struktūros ir fiksuotų elektrodų. Tada signalas yra sustiprinamas, demoduliuojamas ir filtruojamas. Išėjimo signalas yra įtampa, proporcinga kampiniam greičiui. Siekiant išvengti nepageidaujamos kiekvienos ašies išėjimo signalo interferencijos, kiekvienos ašies giroskopas veikia skirtingu rezonansiniu dažniu.

ISZ 500 giroskopas yra skirtas kampiniam greičiui matuoti Z ašyje, o veikimo principas ir charakteristikos yra analogiškos IDG 500 giroskopui.

3. IMU kompiuterinio modelio sudarymas

Išanalizavus tiriamo IMU įrenginio schemotechnikos elementus sudarykime IMU kompiuterinį modelį. IMU modelis sudaromas Matlab/Simulink programiniu paketu. Modelį sudarysime taip, kad jo funkcinių elementų (giroskopų ir pagreitmačių) skaičius ir jungimo seka atitiktų "ArduPilotMega" IMU funkcinių elementų skaičių ir jungimo seką.

Pirmiausia pasitelkus Simulink biblioteką, kurioje pateikiami įvairūs paruošti blokai, buvo ištirtas trijų ašių pagreitmačio šablonas.



1 pav. Trijų ašių pagreitmačio blokas **Fig. 1.** Block with three axis accelerometer

Šis trijų ašių pagreitmačių blokas apskaičiuoja pagreičius ($A_{i meas}$) visose trijose orlaivio ašyse masių centro atžvilgiu (A_b) ir įvertina efektą, kuris atsiranda, jeigu pagreitmatis nėra svorio centre:

$$A_{imeas} = A_b + \omega_b \times (\omega_a \times d) + \omega_a \times d - g , \qquad (1)$$

čia ω_b yra orlaivio kampiniai greičiai, ω_a – orlaivio pagreičiai ir d – petys tarp svorio centro ir pagreitmačio vietos.

$$d = \begin{bmatrix} d_x \\ d_y \\ d_z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -(x_{acc} - x_{CG}) \\ y_{acc} - y_{CG} \\ -(z_{acc} - z_{CG}) \end{bmatrix}$$

Pagreitmačio (x_{acc} , y_{acc} , z_{acc}) ir svorio centro (x_{CG} , y_{CG} , z_{CG}) vietai nustatyti ašių orientacija yra nuo nulinio taško (standartiškai orlaivio nosis) link orlaivio galo, į dešinę nuo vertikalios centrinės linijos ir į viršų nuo horizontalios centrinės linijos. X ir Z ašys šiuose matavimuose yra priešingos orlaivio atskaitos ašims.

Šiuo bloku išmatuoti pagreičiai (A_{meas}) yra su paklaidomis ir išreiškiami taip:

$$A_{meas} = A_{imeas} \times A_{SFCC} + A_{pkld} + triukšmai, \qquad (2)$$

čia A_{SFCC} yra 3x3 matrica, kuri aprašo neatitikimus tarp ašių, A_{pkld} – paklaidų matrica.

Pagreitmačio vieta ir svorio centro vieta orlaivio ašių atžvilgiu šiam pagreitmačių blokui įvedama kaip trijų elementų vektoriai. Matavimo vienetai – metrai. Jeigu pagreitmatis yra įtaisytas orlaivio masių centre, jo neveikia kampiniai pagreičiai (2 pav.).





2 pav. Pagreičio grafikai: a) pagreitmatis yra orlaivio masės centre; b) pagreitmatis patrauktas 2 metrus nuo orlaivio masės centro

Fig. 2. Acceleration charts: a) The accelerometer is in the center of gravity; b) The accelerometer is 2 meters left of the center of gravity

Duomenų atnaujinimo dažnis nustatytas toks pat, kaip trijų ašių ADXL335 pagreitmačio – 0,003 sekundės. Taip pat pagal ADXL335 technines specifikacijas nustatytas triukšmų lygis ir maksimalios matuojamos pagreičių reikšmės: triukšmai X ir Y ašyse – 0.00015 g, Z ašyje – 0,0003 g, pagreičių reikšmės ±3,6 g.

Šis pagreitmačių blokas įvertina ir gravitacijos pagreičio daromą poveikį. Todėl į šį bloką reikia paduoti gravitacijos vektorių g. Gravitacijos vektoriui gauti naudotas WGS84 gravitacijos modelis (3 pav.). Jis yra pasaulio geodetinės sistemos WGS84 matematinis geocentrinis elipsoido modelis, teikiantis Žemės gravitacijos vektorius nustatytoje vietoje. Gravitacijos vektoriaus apskaičiavimui reikia nustatyti konkrečią vietą, kur atliekamas bandymas, platumą ir ilgumą laipsniais ir aukštį metrais virš vidutinio jūros lygio.



3 pav. Gravitacijos modelis **Fig. 3.** Model of gravity

Toliau reikia į pagreitmatį įvesti orlaivį veikiančio pagreičio a, kampinio greičio ω vektorius. Tam panaudosime jau sukurtą 6 laisvės laipsnių 6DoF (angl. – *Euler Angles*) bloką (4 pav.).



4 pav. 6 laisvės laipsnių judėjimo lygtis skaičiuojantis blokas **Fig. 4.** 6 Degree of Freedom Simulink model

6DoF blokas matuoja orlaivio koordinačių ašių (X_b , Y_b , Z_b) judėjimą Žemės koordinačių ašių (X_e , Y_e , Z_e) atžvilgiu (5 pav.). Orlaivio koordinačių ašių nulinių reikšmių vieta sutampa su svorio centro vieta ir daroma prielaida, kad orlaivis yra standus kūnas, eliminuojant papildomus skaičiavimus dėl individualių masės elementų poslinkio orlaivio viduje (nekreipiama dėmesio į orlaivio dalių, tokių kaip eleronai, užsparniai ar važiuoklė judėjimą, dėl kurių svorio centro vieta gali kisti).



5 pav. Žemės ir orlaivio koordinačių sistemos **Fig. 5.** Earth and aircraft body coordinate systems

Šiuo 6DoF bloku galima nustatyti pradinį greitį, kuriuo skrenda orlaivis $[U, v, w]^T$, pradinę vietą Žemės atskaitos sistemoje $[X_e, Y_e, Z_e]^T$, pradinius Eulerio kampus (posvyris, polinkis, pokrypis), pradinį kampinį greitį $[p, q, r]^T$ ir orlaivio masę m. O po to, paduodant į bloką orlaivį veikiančias jėgas $[F_x, F_y, F_z]^T$ ir momentus $[L M N]^T$, gauname orlaivio judėjimo duomenis: orlaivio greitį Žemės atžvilgiu, vietos kitimą Žemės atžvilgiu, Eulerio kampus radianais, tiesioginę kosinusų matricą DCM (angl. – *Direct Cosine Matrix*), kuri aprašo ašių transformaciją iš Žemės koordinačių sistemos į orlaivio koordinačių sistemą, orlaivio greičio vektorių, kampinius greičius, kampinius pagreičius ir tiesinius pagreičius orlaivio ašių atžvilgiu.

Daroma prielaida, kad taikomos jėgos veikia orlaivį svorio centro vietoje ir kad masė yra pastovi. Veikiančias jėgas $[F_x, F_y, F_z]^T$ galima gauti iš "6th Order Mass Forces (angl. – *Coordinated Flight*)" bloko. Šis blokas perskaičiuoja visas taikomas jėgas į jėgas kiekvienai ašiai atskirai (6 pav.).



6 pav. Jėgas skaičiuojanti sistema

Fig. 6. Force calculation system

Veikiančios jėgos $[F_x, F_y, F_z]^T$ yra matuojamos koordinačių sistemoje, kur X ašis nukreipta orlaivio greičio kryptimi, Z ašis nukreipta į viršų ir Y ašis – į dešinę. Veikiančios jėgos yra keliamoji jėga (F_L), pasipriešinimo jėga (F_D), svoris (W), trauka (T), taip pat įvedami pokrypio kampai (γ), atakos kampai (α) bei posvyrio kampai (μ) (7 pav.):

$$F_{x} = T\cos\alpha - D - W\sin\gamma \tag{3}$$

$$F_{v} = (L + T\sin\alpha)\sin\mu \tag{4}$$

$$F_{z} = (L + T\sin\alpha)\cos\mu - W\cos\gamma$$
(5)

Šis blokas neskaičiuoja vėjo daromo poveikio ir yra laikoma, kad skrydis iki galo koordinuotas.



7 pav. Orlaivį veikiančios jėgos: keliamosios jėgos (L), pasipriešinimo jėgos (D), svoris (W) ir trauka (T)

Fig. 7. Aircraft forces affecting: lift (L), resistance (D), weight (W) and thrust (T)

Įvedamos jėgos matuojamos niutonais, o kampai – radianais. Kampai ir jėgos įvedamos kaip konstantos, taip pat daroma, kad reikšmės pastoviai kinta, kaip parodyta 8 paveiksle; trumpam padidinus atakos kampą ir jį vėl staiga sumažinus dėl keliamosios jėgos padidėjimo orlaivį pradėjo veikti didesnė jėga Z ašyje ir dėl išaugusio pasipriešinimo sumažėjo jėga, veikianti X ašyje (pradinėje padėtyje keliamoji jėga 100N, pasipriešinimas 100N, svoris 100N, trauka 120N, pokrypio kampas 0°, posvyrio kampas 0°, atakos kampas per 7 sekundes nuo 0 laipsnių pakilo iki 20 laipsnių ir vėl sumažėjo iki 0 laipsnių).



8 pav. Atakos kampo padidinimo poveikis orlaivį veikiančioms jėgoms (vertikalioje ašyje – jėga niutonais, horizontalioje – laikas sekundėmis). Geltona spalva – X ašyje veikianti jėga, violetinė spalva – Y ašyje veikianti jėga ir žydra spalva – Z ašyje veikianti jėga

Fig. 8. The effect of the increase of angle of attack on the forces affecting aircraft vertical axis – force in Newtons, (horizontal axis – time in seconds). The yellow collor – force in the x axis, violet – y axis and blue – z axis

Į 6DoF bloką kiekvienai orlaivio koordinačių ašiai įvedamos momentų reikšmės, kurios gali būti konstanta, pastovus arba kintantis dydis. Pavyzdžiui, orlaiviui skrendant atlenkus posūkio vairą į vieną pusę, atsiranda momentas aplink Z ašį. Dėl šio momento atsiranda kampinis pagreitis ir pradeda kisti orlaivio kryptis (10 ir 11 pav.)



9 pav. Momentas aplink Z ašį

Fig. 9. Momentum around Z axis



10 pav. Kampinis greitis aplink Z ašį

Fig. 10. Angular velocity around Z axis

Šiame inercinės navigacijos įrenginyje naudojami dviejų ašių ir atskirai vienos ašies giroskopai, o ne vienas trijų ašių blokas. Dviejų ašių giroskopas matuoja kampinius pagreičius apie X ir Y ašis, o vienos ašies giroskopas matuoja apie Z ašį. Į kompiuteriniame modelyje esančius giroskopų blokus reikia paduoti kampinius greičius ir tiesinius pagreičius. Kampinius greičius ir tiesinius pagreičius gauname iš 6 DoF bloko, tik papildomai reikia tiesinius pagreičius iš m/s² pakeisti g reikšmėmis.



11 pav. Giroskopų blokai **Fig. 11.** Bloks of gyros

Giroskopų bloku išmatuoti kampiniai greičiai (ω_{meas}) , įvertinant orlaivio kampinius greičius (ω_b) , paklaidas ir netiesiškumus. Giroskopų informacijos atnaujinimo dažnis, triukšmų lygis, maksimalios ir minimalios matuojamos reikšmės nustatytos kaip ISZ500 ir IDG500, giroskopų techninėse specifikacijose: atnaujinimo dažnis 140 Hz (0,0071 s), kampų matavimo reikšmės – ±500°/s. Jeigu kūnas apsisuktų aplink kurią nors ašį daugiau nei 500°/s, tada giroskopas būtų nepajėgus nustatyti tikrąjį kampų pasikeitimą ir matavimai būtų su didelėmis paklaidomis. Bet orlaiviai įprastai niekada neatlieka tokių staigių posūkių, todėl šios ribos yra pakankamos bepiločiams orlaiviams.

Iš anksčiau aptartų atskirų IMU komponentų sudaryta bendra schema leidžia modeliuoti IMU veikimą esant skirtingoms orlaivio charakteristikoms ir skridimo sąlygoms (12 pav.). Modeliui parenkami parametrai ir gaunamos reikmės pateikti lentelėje.

Lentelė. Inerciniam navigacijos įrenginio modeliui paduodami ir iš jo gaunami duomenys

 Table. Data that was obtained and transferred between inertial navigation device models

Į modelį įvedami duomenys	Modelio skaičiuoja-
	mi duomenys
Orlaivio keliamoji jėga	Kiekvienoje orlaivio
Orlaivio pasipriešinimo jėga	koordinačių ašyje
Orlaivio svoris	veikiančios jėgos
Orlaivio jėgainės sukeliama trauka	Gravitacijos vekto-
Pradinis orlaivio greitis	rius
Pradinis pokrypio kampas	Orlaivį veikiantys
Pradinis pokrypio kampo kitimo greitis	tiesiniai pagreičiai
Pradinis posvyrio kampas	Pagreitmačių išma-
Pradinis posvyrio kampo kitimo greitis	tuoti tiesiniai pagrei-
Pradinis polinkio kampas	čiai
Pradinis polinkio kampo kitimo greitis	Orlaivį veikiantys
Pradinė orlaivio vieta Žemės atžvilgiu	kampiniai greičiai
Orlaivį veikiantys momentai	Giroskopų išmatuoti
Ilguma	kampiniai greičiai
Platuma	Orlaivį veikiantys
Aukštis virš vidutinio jūros lygio	kampiniai pagreičiai
Pokrypio kampo kitimą laike	DCM matrica
Posvirio kampo kitimą laike	Eulerio kampai
Atakos kampo kitimą laike	Orlaivio greičiai
Orlaivio svorio centro vietą	Orlaivio nuskristas
Pagreitmačio vieta orlaivyje	kelias
Giroskopų vieta orlaivyje	Pozicija Žemės at-
Bandymo trukmė	žvilgiu



12 pav. Inercinės navigacijos įrenginio modelio schema

Fig. 12. Model of IMU

4. IMU modelio tyrimas

Sudaryto IMU modelio atitikimas realiai sistemai tiria nesudėtingus orlaivio judesius, pasisukimą apie kiekvieną ašį $\pm 90^{\circ}$, atkartojant su realia sistema (13 pav.). Sistemos ir modelio neatitikimas pateikiamas kaip matavimų ir modeliavimo rezultatų skirtumas.

"ArduPilotMega" IMU įrenginio ir modelio paklaida yra apie ± 0.5 m/s².



13 pav. "Ardu Pilot Mega" ir inercinio navigacijos įrenginio modelio duomenų matavimo skirtumai. Violetinė linija – modelio išmatuoti pagreičiai, geltona linija – "ArduPilotMega" išmatuoti pagreičiai, mėlina linija – abiejų matavimų skirtumai

Fig. 13. Differences in data measurement by ArduPilotMega and IMU. The violet line – accelerations measured by the model, the yellow line – acceleration measured by ArduPilot-Mega, the blue line – the difference of both measurements

5. Išvados

Simulink programine įranga buvo sukurtas kompiuterinis inercinio navigacijos įrenginio modelis. Kuriant šį modelį buvo spritaikytos "ArduPilotMega" IMU įrenginio komponentų charakteristikos ir jungimo būdas. Sukurtas modelis turi su papildomas sistemas, kurios skirtos įvesti imituojamo skrydžio duomenis ir vėliau leidžia analizuoti gautus giroskopų ir pagreitmačių duomenis. Keičiant duomenis, paduodamus į inercinę navigacinę sistemą, galima imituoti įvairius skrydžio režimus.

Literatūra

- King, D. D. 1998. Inertial navigation forty years of evolution, GEC REVIEW, 13(3).
- Zhang, B. 2007. Modelling and Simulation of a Novel Microelectro-Mechanical Gyroscope with Optical Readouts: CPUT Theses & Dissertations. Paper 258. Available from Intrenet: http://dk.cput.ac.za/td_cput/258.
- Erismis, M. A. 2004. Mems Accelerometers and Giroscopes for Inertial Measurement Units: Master thesis. Available from Internet: http://etd.lib.metu.edu.tr/upload/12605331/index. pdf.
- Jakučionis, A. 2003. Naujos tikslesnės orlaivių navigacijos galimybės vystantis GPS signalams, iš Aviacija-2003. Mokslinė konferencija: programa ir referatai. Vilnius.
- Stankūnas, J.; Jakučionis, A.; Petrusevičius, V. 2005. Accuracy and performance of augmentations to global navigation systems outside their areas of coverage, *Aviation* 9(4): 33– 38.
- ADXL335 Data sheet [online] 2009. Analog Devices, Inc. U.S.A. Available from Internet: http://www. sparkfun.com/datasheets/Components/SMD/adxl335.pdf.
- ISZ-500 Single Axis Z Gyro Product Specification. Inven-Sence Inc [online] 2009. Available from Internet: http:// www.invensense.com/mems/gyro/documents/PS-ISZ-0500-00-03.pdf.
- IDG-500 Dual Axis Gyro Product Specification. InvenSence Inc [online] 2009. Available from Internet: http:// www.invensense.com/mems/gyro/documents/PS-IDG-0500-00-06.pdf.

DEVELOPMENT AND ANALYSIS OF INERTIAL NAVIGATION UNIT MODEL

J. Paškevičius, D. Rudinskas

Summary

This paper analyses the operation of inertial navigation measurement unit, creation and analysis of its model. The main principles that have to be taken into account while creating an aircraft navigation system are analysed. Furthemore, a computer with "ArduPilotMega" inertial navigation unit is used. The operation of the model has been checked by comparing outcome data of the model and uses for the creation and analysis of the model. After the analysis of the theoretical and practical operation of inertial systems the main conclusions are presented.

Keywords: inertial navigation unit, IMU, gyro, accelerometer, Simulink, MEMS.