

AVTONOM NAVIGATSIYA TIZIMLARIDA INERSIAL VA YO'LDOSH TEXNOLOGIYALARINI INTEGRATSIYALASH ORQALI O'LCHASH ANIQLIGINI OSHIRISH MEKANIZMLARI

Aliyev Xumoyun Umar o'g'li

Annotatsiya. Ushbu maqolada avtonom navigatsiya tizimlarida inersial o'lchov birliklari (IMU – Inertial Measurement Unit) hamda global yo'ldosh navigatsiya tizimlari (GNSS – Global Navigation Satellite Systems) integratsiyasi orqali aniqlikni oshirish masalasi ilmiy tahlil etiladi. Har ikkala texnologiyaning fizik va matematik asoslari, ularning o'zaro to'ldiruvchi xususiyatlari hamda integratsiyalash mexanizmlarining afzalliklari yoritiladi. Shuningdek, Kalman filtri, kengaytirilgan filtrlash usullari, o'z-o'zini kalibrlash algoritmlari va mashinaviy o'rganish asosidagi adaptiv modellarning amaliy qo'llanishi tahlil qilinadi.

Kalit so'zlar: avtonom navigatsiya, inersial tizim, GNSS, Kalman filtri, integratsiya, aniqlik, o'lchov xatosi.

KIRISH

So'nggi yillarda avtonom tizimlarning tez sur'atlarda rivojlanishi navigatsiya texnologiyalariga bo'lgan talabni tubdan o'zgartirdi. Avtonom transport vositalari, dronlar, robotlar va dengiz navigatsiya platformalari yuqori aniqlikdagi, barqaror va uzluksiz harakat ma'lumotlariga tayanadi. Shu nuqtai nazardan, inersial navigatsiya tizimlari (INS) va yo'ldosh navigatsiya tizimlari (GNSS) o'zaro bir-birini to'ldiruvchi texnologiyalar sifatida alohida ahamiyat kasb etmoqda.

Inersial tizimlar harakat parametrlarini (tezlanish, burchak tezligi, yo'nalish) ichki sensorlar orqali o'lchaydi, ammo ular vaqt o'tishi bilan drift xatosini to'playdi. GNSS esa tashqi manbalardan aniqlik bilan koordinatalarni beradi, biroq signalning uzilishi yoki elektromagnit to'sqinliklar sababli ma'lumot uzluksizligi yo'qoladi. Shu sababli, bu ikki tizimni integratsiyalash orqali ularning zaif tomonlarini bartaraf etish, natijada barqaror va yuqori aniqlikli navigatsiya tizimini yaratish mumkin [1].

ASOSIY QISM

Inersial navigatsiya tizimi harakatlanuvchi obyektning tezlanish va burchak tezligini o'lchovchi akselerometrlar va giroskoplardan iborat bo'ladi. Ushbu sensorlardan olingan ma'lumotlar integratsiya yo'li bilan koordinata, tezlik va orientatsiyani hisoblash imkonini beradi. INS tizimining asosiy ustunligi — to'liq avtonomlik: u tashqi signalga muhtoj emas, shuning uchun GNSS yo'q bo'lgan muhitlarda (masalan, yer osti yoki suv osti sharoitida) ham ishlay oladi. Biroq bu tizimning eng katta kamchiligi — xatolar vaqt o'tishi bilan yig'ilib boradi, natijada

pozitsiya aniqligi pasayadi. Shu sababli, INS ma'lumotlari doimiy ravishda tashqi manbalar bilan tuzatilishi zarur.

GNSS tizimlari (GPS, GLONASS, Galileo, BeiDou va boshqalar) obyektga o'rnatilgan qabul qiluvchi qurilma orqali kamida to'rt yo'ldoshdan signal qabul qilib, uch o'lchamli koordinatalarni aniqlaydi. Bu tizimlarning aniqligi yuqori bo'lsa-da, ular signalni so'ndiruvchi omillar — binolar, relef, elektromagnit shovqin va atmosfera kechikishlariga juda sezuvchan. Shuningdek, yo'ldosh signali yo'qolganida tizim butunlay ishdan chiqishi mumkin. Shuning uchun GNSS alohida holda avtonom tizimlarda doimiy ishonchni ta'minlay olmaydi [2].

INS va GNSS tizimlarini integratsiyalashning asosiy maqsadi — ikkala tizimning ma'lumotlarini matematik modellar orqali birgalikda ishlov berish va kompensatsiya mexanizmini yaratishdir. Bunda INSning qisqa muddatli aniqligi GNSSning uzoq muddatli barqarorligi bilan uyg'unlashtiriladi. Eng keng tarqalgan yondashuvlardan biri — Kalman filtri asosidagi integratsiya bo'lib, u real vaqt rejimida ikki manbadan olingan ma'lumotlarni matematik optimallashtirish orqali aniqlikni oshiradi.

Kalman filtri obyekt harakatining stoxastik modeliga tayanib, INS xatolarini prognoz qiladi va ularni GNSSdan kelgan real koordinatalar bilan tuzatadi. Shu tariqa, tizim o'z-o'zini "to'g'rilash" xususiyatiga ega bo'ladi [3].

INS-GNSS integratsiyasi odatda uch darajada amalga oshiriladi:

Tuzilmagan (loosely coupled) modelda GNSSdan faqat pozitsiya ma'lumoti olinadi va INS shu ma'lumot asosida tuzatiladi.

Yarim integrallashgan (tightly coupled) modelda GNSSning xom signallari (psevdodiyapazon, faza, tezlik) bevosita INS hisoblashlariga kiritiladi.

To'liq integrallashgan (deeply coupled) modelda esa har ikkala tizimning signal darajasidagi ma'lumotlari birgalikda qayta ishlanadi, bu esa signal uzilishiga kamroq sezuvchan, yuqori aniqlikli tizimni yaratadi.

Zamonaviy avtonom tizimlarda aynan tightly coupled va deeply coupled yondashuvlar eng samarali hisoblanadi, chunki ular hatto qisman yo'qolgan GNSS signalida ham ishlay oladi.

O'lchov aniqligini oshirish uchun so'nggi yillarda bir qator texnologik yechimlar ishlab chiqilgan:

Sensor fuzioni (sensor fusion): INS va GNSSdan tashqari kamera, lidar, radar va ultratovush sensorlari ma'lumotlarini birlashtirish orqali redundant (takroriy) ma'lumotlar yig'iladi, bu esa tizimni ishonchli qiladi.

O'z-o'zini kalibrlash algoritmlari: sensorlarning nol xatolarini avtomatik tahlil qilib, real vaqt rejimida korreksiya kiritadi.

Mashinali o'rganish modellarining qo'llanilishi: neyron tarmoqlar yordamida xatolarni oldindan prognoz qilish va Kalman filtriga adaptiv og'irlik kiritish imkonini beradi.

XULOSA VA MUNOZARA

INS va GNSS tizimlarini integratsiyalash — bu nafaqat texnik yechim, balki avtonom navigatsiyaning kelajagini belgilovchi konseptual yondashuvdir. Inersial tizimning barqarorligi va yo‘ldosh tizimining global aniqligini uyg‘unlashtirish orqali o‘lchash xatolarini minimal darajaga tushirish, uzluksiz va ishonchli pozitsiya aniqligini ta’minlash mumkin. Bunday integratsiya texnologiyalari transport, aviatsiya, kosmonavtika va harbiy sohalarda katta ahamiyat kasb etadi. Shu bois, o‘lchash aniqligini oshirish mexanizmlarini chuqur tahlil qilish va amaliyotda tatbiq etish — zamonaviy muhandislik ilm-fanining strategik yo‘nalishlaridan biridir.

ADABIYOTLAR RO‘YXATI

1. Grewal M., Weill L., Andrews A. Global Positioning Systems, Inertial Navigation, and Integration. — Wiley, 2020.
2. Farrell J.A. Aided Navigation: GPS with High Rate Sensors. — McGraw-Hill, 2018.
3. Titterton D., Weston J. Strapdown Inertial Navigation Technology. — IET, 2013.
4. Gao Y., Shen C. Integration of GPS and Inertial Navigation Systems for Precision Navigation. — IEEE Transactions, 2019.