

PEYK VƏ İNERSİAL NAVİQASIYA ƏSASLI İSTİQAMƏTLƏNDİRMƏ SİSTEMİ

¹Həzərخانov Ə.T., ²İsmaylov N.M., ¹Qədiməliyev R.Q.

¹Heydər Əliyev adına Hərbi İnstitut
Bakı şəh., Polad Həşimov küç., 9

²Azərbaycan Texniki Universiteti
AZ1073, Bakı şəh., H. Cavid pros., 25

E-mail: enver-xan@mail.ru, aga_n@inbox.ru, qadimaliyev6521830@gmail.com

Xülasə. Məqalədə pilotsuz aparatların köməyi ilə həll edilən və onların bütün lazımı avadanlıqlarla təchizat məsələləri nəzərdən keçirilmişdir. Pilotsuz aparatları Peyk və İnersial naviqasiya əsaslı İstiqamətləndirmə Sistemi (PİNİS) ilə təchiz etməklə inert sensorlar və GPS cihazı ilə vahidləşdirilmiş, aşağı dəyərli naviqasiya sisteminin yaradılması təklif edilmişdir.

Ümumi GPS/İNS münasibətləri, PNS vasitəsilə açılan imkanlar, alternativ naviqasiya sisteminin inkişaf mərhələsində olan üstünlüklər araşdırılmışdır. İstifadə edilən PNS-lər analiz edilərək, üç global peyk naviqasiya sistemləri olan GPS, GLONASS və GALİLEO eyni vaxtda işləməsinə əsas üstünlük verilmişdir. Platformasız qarışıq İNS funksional sxeminin qurulması və Eyler-Krilov bucaqlarına uyğun platformasız mövqeləşmə blokunun PİNİS-ə tətbiqi məsələsi həll edilmişdir.

Abstract. The article deals with issues that can be solved with the help of unmanned aerial vehicles and their equipment with all necessary equipment. By equipping unmanned vehicles with a satellite and inertial navigation system (SINS), it is proposed to create a unified, low-cost navigation system with inertial sensors and a GPS device.

The general communications of GPS/INS, the possibilities opened by PNS, the advantages of an alternative navigation system at the development stage are investigated. The analysis of the used PNS was carried out and the main priority was given to the simultaneous operation of three global satellite navigation systems: GPS, GLONASS and GALILEO. The issue of constructing a functional diagram of a strapdown mixed INS and applying a strapless positioning unit at Euler-Krylov angles to SINS has been solved.

Аннотация. В статье рассмотрены вопросы, решаемые с помощью беспилотных аппаратов и их оснащения всем необходимым оборудованием. За счет оснащения беспилотных аппаратов спутниковой и инерциальной навигационной системой (СИНС) предлагается создать унифицированную, недорогую навигационную систему с инертными датчиками и устройством GPS.

Исследованы общие связи GPS/INS, возможности открываемые ИНС, преимущества альтернативной навигационной системы на стадии разработки. Проведен анализ используемых ИНС и основной приоритет отдан одновременной работе трех глобальных спутниковых навигационных систем: GPS, ГЛОНАСС и GALILEO. Решен вопрос построения функциональной схемы безплатформенной смешанной ИНС и применения к СИНС безплатформенного блока позиционирования по углам Эйлера-Крылова.

Açar sözlər: pilotsuz aparat, verici, peyk naviqasiyası, inersial naviqasiya, informasiya-ölçmə və idarəetmə sistemləri

Key words: unmanned vehicle, sensor, satellite navigation, inertial navigation, information-measuring and operating systems

Ключевые слова: беспилотный аппарат, датчик, спутниковая навигация, инерциальная навигация, информационно-измерительные и управляющие системы

Pilotsuz aparatlarını (PA) bir neçə növ ilə fərqləndirirlər:

Pilotsuz idarəolunmayan və pilotsuz avtomatik;

Pilotsuz məsafədən idarə olunan aparatlara misal olaraq aşağıdakıları göstərmək olar:

PA-lar funksional təyinat baxımından bir neçə parametrlərə görə bölünürlər. Bunlar: çəki, vaxt, məsafə və hündürlük kimi qarşılıqlı əlaqəli parametrlərdir.

Pilotsuz qurğular növbəti siniflərə bölünürlər:

"Mikro" (şerti ad) - çəkisi 10 kiloqrama qədər, faydalı işləmə müddəti təxminən 1 saat;

"Mini" - çəkisi 50 kiloqrama qədər, faydalı işləmə müddəti 10 saata qədər;

"Orta" (Midi) - çəkisi 1000 kiloqrama qədər, faydalı işləmə müddəti təxminən 10-12 saat;

"Ağır" - 20 km-dək uçuş hündürlüyü, faydalı işləmə müddəti təxminən 24 saat və ondanda artıq [7, səh. 41-63].

Pilotsuz aparatlar geniş istifadə diapazonuna malikdirlər. Elmi araşdırmalarda və tətbiqi xarakterli problemlərin həllində aşağıdakı müxtəlif sahələrdə istifadə olunurlar:

- Kiçik obyektlərin müəyyən edilməsi;
- Hava hərəkətinin idarə olunması;
- Uzaq və çətin relyefli ərazilərdə;
- Təbii fəlakətlər və bədbəxt hadisələr zamanı;
- Müvəqqəti aviasiya hava yollarında;
- Dəniz naviqasiyasına nəzarət;
- Gəmilərin axtarışı və tapılması;
- Limanlarda bədbəxt hadisələrin qarşısının alınması;
- Dəniz sərhədlərinə nəzarət;
- Balıqçılıq fəaliyyətinin tənzimlənməsinə nəzarət;
- Regional və regionlararası telekommunikasiya şəbəkələrində;
- Mobil televiziya və radio yayımları da daxil olmaqla kommunikasiya sistemlərində;
- Retranslyasiya;
- Naviqasiya sistemləri;
- Yerin aerofotoçəkilişi və nəzarət səthi;
- Aeroşəkil (Kartografiya);
- Yoxlama razılıq öhdəçiliklərinə ("açıq səmanın" rejiminə) uyğun;
- Hidro-meteo şəraitə nəzarət;
- Ekoloji vəziyyətə nəzarət;
- Radiasiyaya nəzarət etmək;
- Kimyəvi nəzarət;
- Qazın və neft kəmərlərinin şərtlərinə (vəziyyətlərinə) nəzarət etmək;
- Seysmik ötürücülərin sorğusu;
- Kənd təsərrüfatı işlərinin və geoloji tədqiqatların təminatı;
- Torpağın xüsusiyyətlərini müəyyən etmək;
- Mineral araşdırma;
- Yerin üst qatının zondlanması (100 m dərinədək);
- Okeanoqrafiyada;
- Buzlaq ərazilərinin araşdırılması;
- Dənizin həyəcənli vəziyyətini izləmək;
- Balıq karvanlarının axtarışı.

PA-nın köməyi ilə indi həll edilən məsələlər üçün onların bütün lazımi avadanlıqlarla təchiz olunmalarına ehtiyac var. Texniki təchizat baxımından müasir PA idarə olunan prototipindən (təyyarə, gəmi, avtomobil və s. nəqliyyat vasitələri) üstün olur. Əlbəttə, PA-nın missiya baxımından müvəffəqiyyəti bütün bort sistemlərinin qüsursuz fəaliyyətindən asılıdır [7, səh. 26-45].

Niyə biz ən çox diqqətimizi bort nəzarət kompleksinə yönəldirik? Çünki insan faktorundan və idarəçilikdən asılı olaraq missiyanın uğurlu olub-olmamasına gətirib çıxarır və bu faktor həlledici olur [2, səh. 11-44].

Bu gün PNS vasitəsilə aşağıdakı imkanlar açılır:

- yüksək dəqiqliklə (bir neçə metrə qədər) yerləşdiyin nöqtəni təyin etmək;
- marşrutun sonuncu nöqtəsinə qədər gedib çatmaq və çıxdığın nöqtəyə qayıtmaq;
- yol kompüterində sürətin, məsafənin və sərf edilən zamanın əks olunması.

Hər bir peykin çəkisi 900 kq-dan artıq, uzunluğu isə 5 m-ə qədərdir. Radioötürücünün gücü 50 Vt-dan artıq deyil. Onlar üç tezlikdə siqnal ötürür. Mülki GPS qəbuledicilərinin tezliyi 1575.42 MHz-dir. Hər bir peyk 10 il müddətinə istismara hesablanmışdır.

PNS naviqasiya sahəsinin tələblərinə yüksək dəqiqliklə cavab verdiyindən bu sahədə geniş tətbiqini tapmışdır. Eyni zamanda müasir elektron avadanlığından istifadə edildiyi üçün etibarlılıq və dəqiqlik çox yüksəkdir. Bu da aviasiya və gəmiçilikdə əsas zəruri şərtlərdəndir. Lakin əgər peyk naviqasiya sistemi söndürülsə, bu sistemdən istifadə qeyri-mümkün olar.

PNS qəbuledicilərinin hesablayıcıları həqiqi yerləşməni avtomatik təyin edən müxtəlif qurğularla təchiz edilmişdir. Bu yolla biz minimum üç peykdən siqnal almaqla Yer üzərindəki hər hansı bir nöqtənin koordinatlarını təyin edə bilərik. Bu cür keyfiyyətli hesabatları aparmaq üçün çox dəqiq saatlardan istifadə etmək lazımdır, çünki 10-3 saniyəyə qədər xəyata yol verilsə yanlışlıq 300 km-ə qədər ola bilər. Peyklərin bortunda atom saatları quraşdırılmışdır. Hər bir peykdə bu tip saatdan dörd ədəd olur ki, heç olmasa onlardan birinin mütləq işləməsinə zəmanət verilsin. Zamanın ölçülməsi üsulu atom tezlik standartına əsaslanır. Bu isə saatin 10⁻⁹ san. dəqiqliyi ilə işləməsinə təmin edir.

Sırr deyil ki, obyektin sürətinin GPS vasitəsilə ölçülməsi Dopler effektinə əsaslanır.

Hal-hazırda mülki və hərbi məqsədlər üçün müxtəlif PNS-lərdən istifadə edilir. Onlardan bir neçəsinin işi ilə tanış olaq.

GPS sistemi indiki vaxtda global miqyasda xidmət təqdimatını təmin edən yeganə peyk naviqasiya sistemidir. Peyk qruplaşması Geostasionar orbit (GSO) səthinə 64,5⁰ meyilliklə 6 orbital səthlərdə yerləşmiş 24 ədəd fasiləsiz işləyən peyklərdən ibarətdir. Ehtiyat peyklər də vardır. Hər bir peyk GPS qəbuledicisində işləməsi 10m-dən çox dəqiqliyi təmin edən P kodunu və 20m ətrafında dəqiqliyi təmin edən C/A kodunu şüalandırır. 1978-ci ilin fevralında birinci GPS peykinin buraxıldığı andan indiyə kimi, GPS-dən başlayaraq və ardınca 12 GPS-IIR, 16-GPS-II/IIA və 2-GPS-IIR-M olmaqla 50-dən çox peyk buraxılmışdır.

Hal-hazırda üçüncü nəsil GPS-III naviqasiya sisteminə tələblər müəyyənləşdirilmişdir. Dünya üzrə iki iri Lockheed Martin və Boeing istehsalçıları GPS-III yaradılmasının öz variantlarını təklif etməlidirlər.

Fəaliyyətdə olan GPS-III sistemi aşağıdakı xüsusiyyətlərə malikdir:

- peykin gözlənilən həyat dövrü - 12÷18 il;
- hər bir peykin qiyməti - 100÷120 mln. dollar;
- iki peyk buraxılışı bir raketlə həyata keçirilir;
- mümkün maneələrlə mübarizə xeyli artmışdır və siqnalların intensivliyi - 20 dB;
- əlavə tədbirlər görülmədən yerləşmənin müəyyənləşdirilməsi dəqiqliyi - 1m.

Fəlakət və obyektlərin axtarışı siqnallarının qəbulu və ötürülməsi üzrə əlavə rabitə xidmətləri əlavə olunacaqdır.

Hal-hazırda orbital qruplaşmanın iki qurulma variantlarının müsbət cəhətləri və çatışmamazlıqları tədqiq olunur: hərəsində 4 peyk üzrə 6 səth və hərəsində 7 peyk olmaqla 3 orbital səth. GPS-III-in 2030-cu ilə kimi xidmət edəcəyi gözlənilir [5, səh. 29-33].

GLONASS - Qlobal Naviqasiya Peyk Sistemi 1978-ci ildə işlənilib yaradılmışdır. Orbiti 64,5⁰ meyillikli 3 səthdə 24 peykdən ibarət tərkibdə orbital qruplaşma 1995-ci ildə fəaliyyətə başlamışdır. Yeri müəyyən etmə dəqiqliyi - C/A kodu üçün 30 metr, P kodu üçün isə 10 metrdir. Maliyyə

çətinlikləri səbəbindən 1998-ci ildən GLONASS orbital qruplaşmasına lazımı səviyyədə yardım olunmamışdır. Nəticədə fəaliyyətdə olan peyklərin sayı 9-a qədər ixtisar olunmuşdur.

2010-cu ilin axırına olan məlumatlara əsasən Rusiyanın 24 fəaliyyətdə olan peyki vardır. Eyni zamanda Rusiya və Hindistan GLONASS sistemini bundan sonra birlikdə işlətmək qənaətinə gəlmişdirlər. Hal-hazırda GLONASS sisteminin orbitdə ancaq 15 peyki vardır. Birinci modifikasiya olunmuş GLONASS-M peyki 26 dekabr 2004-cü ildə buraxılmışdır. Peykin testləşdirilməsi müvəffəqiyyətlə başa çatdırılmış və peyk işə salınmışdır. GLONASS-M peyki mülki istehlakçılar üçün iki siqnal ötürür və 7 illik istismar müddətinə malikdir. Yerin müəyyən edilməsi dəqiqliyi və zaman siqnallarının dəqiqliyi saatların temperatur stabilləşməsi dəqiqliynə görə iki dəfə artmışdır. GLONASS sisteminin etibarlılığı və bütövlüyü də yaxşılaşdırılmışdır. PM EİB-də 9 yeni GLONASS-M tipli peyklər işlənir [5, səh. 33-36].

GALİLEO proqramı Avropa Komissiyasının, Avropa İttifaqının və Avropa Kosmik Agentliyinin (ESA) təşəbbüsü ilə Avropanı öz müstəqil qlobal naviqasiya sistemi ilə təmin etmək və ilk növbədə GPS-ə rəqabət aparmaq məqsədi ilə yaradılır.

Avropa İttifaqı Şurası 1999-cu ilin fevralında naviqasiyanın mülki sisteminin yaradılmasını qərara almışdır. Yeni proqram tezliklə 80 mln. avroluq büdcə ilə GALİLEO adlandırılmışdır. GALİLEO sisteminə ümumi xərc (30 peyk və yerüstü seqment) 3800 mln. EUR miqdarında qiymətləndirilir. Sistemin yaradılması 3 fazaya bölünmüşdür. 1,1 mlrd. avro büdcəli GALİLEO sistemi işlənmə fazasına 2002-ci ilin mart ayında daxil oldu. Prinsipial həllərin testləşdirilməsi və yoxlanması üçün dörd peyk buraxılacaq. GALİLEO sisteminin sonrakı genişlənmə fazasının maliyyələşdirilməsinin 1/3 hissəsi büdcə mənbələrindən, 2/3 hissəsi isə fərdi şirkətlər tərəfindən nəzərdə tutulur. Büdcənin planlaşdırılmasının 2025-ci ildə tam başa çatdırılması gözlənilir. Ştat fəaliyyətinin axıncı fazası GALİLEO sisteminin öz xərclərini ödəməsini nəzərdə tutur.

Əvvəldən GALİLEO-nun əsasında ESA-ya daxil olan 28 ölkə dururdu. Sonradan GALİLEO-ya Çin, İsrail, Ukrayna, Hindistan, Səudiyyə Ərəbistanı, Marokko və Koreya daxil oldular. Yuxarıda adları çəkilən digər dövlətlərlə bağlanmış müqavilələrdə onların GALİLEO-da müəyyən şərtlərlə iştirakı nəzərdə tutulur [5, səh. 37-39].

İRNSS. Hindistan hökuməti 9 may 2006-cı il tarixində və sonrakı 6-7 ildə 14,2 mlrd. ruppi büdcəli Hindistan Regional Naviqasiya Peyk Sisteminin (İRNSS) yerləşdirilməsinə nail olmuşdur. İRNSS peyk qruplaşması geosinxron orbitlərdə yeddi peykdən ibarət olacaqdır. Qeyd etmək lazımdır ki, İRNSS-dəki yeddi peykdən dördü ekvatorial səthə nəzərən orbitdə 29^0 meyilli yerləşdirilmişdir. Bütün yeddi peyk Hindistanın idarəedici stansiyaları ilə fasiləsiz radiogörünüşə malik olacaqdır. İRNSS peykləri Rusiyanın 1330 kq çəkili, günəş batareyalarının gücü 1400 Vt olan Kalpan-1 metroloji peykindəki kimi platformadan istifadə edəcəkdir [5, səh. 39-41].

Compass. Dünyada ən sürətlə inkişaf edən ölkə olan Çin də öz yeni Compass naviqasiya peyk sistemini yaratmağa başlamışdır. Compass naviqasiya peyk sisteminin kosmik seqmenti Geostasionar orbitdə 5 peykdən və orta Yer orbitində isə 30 peykdən ibarət olacaqdır. İki növ xidmət nəzərdə tutulacaqdır. Ümumi istifadə üçün işlənməsi 10 m dəqiqliklə yerləşdiyi yerin müəyyən edilməsini və 0,2 m/s sürət və 50 ns dəqiqliklə cari vaxtın müəyyən edilməsini təmin edən siqnal ötürüləcəkdir [5, səh. 39-41].

QZSS. Yaponiya QZSS-i ilk öncə 2002-ci ildə Yaponiya və Asiyanın qonşu cənub-şərq rayonlarındakı naviqasiya üçün çevik rabitə, yayım və geniş istifadə üçün nəzərdə tutulmuşdu. QZSS üçün ilk peyk buraxılışı 2008-ci ilə planlaşdırılmışdı. 2006-cı ilin martında Yaponiya hökuməti elan etdi ki, ilk peyk kommersiya istifadəsi üçün nəzərdə tutulmayacaq və naviqasiya məsələlərinin həllinin təmin edilməsi marağına qəbul olunmuş qərarların işlənməsi üçün tam olaraq büdcə hesabına buraxılacaqdır. Ancaq ilk peykin uğurlu sınağından sonra ikinci mərhələ başlayacaq və sonrakı peyklər tam olaraq əvvəldən planlaşdırılmış xidmətlər həcmi təmin edəcəkdir [5, səh. 39-41].

Üç qlobal peyk naviqasiya sistemləri olan GPS, GLONASS və GALİLEO eyni vaxtda işləyir. Hal-hazırda praktiki olaraq bütün ölkələrdə normal fəaliyyəti bütövlükdə ABŞ dövlətindən asılı olan

GPS geniş istifadə olunur. Bəzi sahələrdə, məsələn təyyarələrin uçuşlarının idarə olunmasında, gəmi naviqasiyasında GPS-dən istifadə olunması infrastrukturun mühüm tərkib hissəsidir. Eyni zamanda naviqasiya sistemləri dövlət infrastrukturunun ayrılmaz hissəsidir və təkcə təhlükəsizliyə deyil, həm də tam olaraq sənayenin inkişafına təsir edir [3, səh. 68-74].

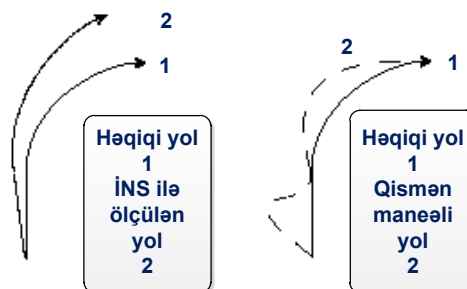
Hər bir dövlət hər hansı bir sahədə öz inkişafında başqa bir, hətta dost dövlətdən belə asılı olmağı istəmir. Ona görə GPS-ə alternativ axtarışı GALİLEO-nun yaradılmasına və bir çox inkişaf etmiş dövlətlərin ona qoşulmasına gətirib çıxardı.

Alternativ naviqasiya sisteminin inkişaf mərhələsində ona birləşmə aşağıdakı üstünlüklərə malikdir:

- Yer segmenti və istifadə olunan avadanlıq infrastrukturunun diversifikasiyası vasitəsilə risklərin GNSS-in işi ilə bağlı risk diversifikasiyası;
- GNSS üçün yeni avadanlıqların işlənməsi və ixracı şərti ilə yeni iş yerlərinin yaradılması;
- rabitə sisteminə GNSS-in istifadəsinin texnoloji üstünlüklərinin vaxtında tətbiqinin mümkünlüyü [4, səh. 28-35].

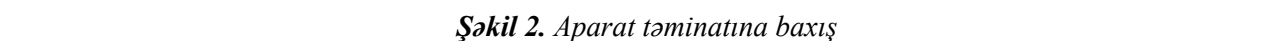
Peyk və İnersial naviqasiya əsaslı İstiqamətləndirmə Sistemi (PİNİS) layihəsinin məqsədi inert sensorları və GPS cihazı ilə vahidləşdirilmiş, aşağı-dəyərli naviqasiya sistemini vahid şəkə salmaqdir. İntert ölçü cihazı (İNS) hər bir 2R3 (x; y; z) oxları ilə əlaqədar maqnetometr, akselerometr və giroskoplardan sərbəst doqquz dərəcəyə malikdir. Daha zəif İNS cihazlarında mikroelektromexaniki sistem (MEMS) sensorları quraşdırılmışdır. Onlar daim səhvləri toplayır və “sızma” mövqeyinə səbəb olur ki, bu da geniş həcmdə yanlış proseslərə gətirib çıxarır. Digər tərəfdən, xüsusi GPS cihazı yanlış ayrılıya səbəb ola bilər, xüsusilə də açıq səmanı bağlayan hər hansı obyektlər olduğu təqdirdə. Motivasiya ondan ibarətdir ki, hər iki cihazın cəm kütləsi zəif həcmli düzgün, sərt naviqasiya hasil edə bilər. Yekun sistem bir neçə metrədək dəqiqliyi təmin edəcək, avtomobil və piyada yolları, xizək kimi idman alətləri və raket idarəçiliyi üçün yararlı olacaq. Bununla yanaşı onu da qeyd etmək lazımdır ki, PİNİS yarım metr dəqiqlik tələb edən avtonom nəqliyyat naviqasiyası üçün yararlı olmayacaqdır [1, səh. 44-53].

Şəkil 1-də MEMS əsaslı İNS üçün toplanan biləcək mövqe və sapınma göstərilmişdir. Bu eyni zamanda, GPS peykləri maneə ilə üzləşən zaman səhvə aid potensialı göstərir və bununla da etibarsız mövqenin göstəricilərini təqdim edir. GPS səmadan aydın göründüyü üçün, İNS axınıni nizamlaya bilər və bu da öz növbəsində peyk signalının itdiyi və ya təhrif olunduğu zaman naviqasiya qabiliyyətini saxlaya bilər. PİNİS-in digər məqsədi prosesin sərtliyini yoxlamaqdır, məsələn akselerometr sistemi pozmadan əvvəl, İNS naviqatoru hansı müddətdə mükəmməl işləyir [7, səh. 115-136].



Şəkil 1. İNS və GPS yanlışlıqlarının mənbəyi

GPS və İNS birgə əsaslı ümumi sistem şəkil 2-də göstərilmişdir. GPS və İNS cihazlarının hər ikisi aparatı məlumatlar ilə təmin edəcək, sonradan o bu məlumatı PK-ya göndərəcək ki, burada da məlumatlar MATLAB və C-də hasil olunacaq. Hal-hazırda bu sistem real vaxtda işlədilmir, lakin ehtimal istisna edilmir. Mikronəzarətçinin və ya PİNİS-in real vaxt rejimində istifadəsi daha sonrakı tarixlərdə yoxlanıla bilər.



İdare, 2020, 32(1), 1-16 | <https://doi.org/10.26661/ide.721111> | <https://www.istanbulide.org/>



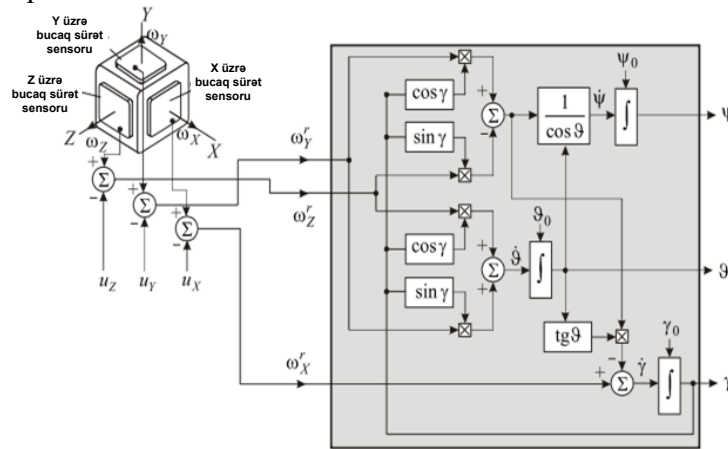
sistemində modelləşdiriləcək. Yanlışlıqları düzəltmək məqsədilə, vəziyyətin müşahidəsi xüsusi olaraq Kalman filtri vasitəsilə yerinə yetiriləcək. Kalman filtrinə mürəkkəbliyi və xətti olması müəyyən olunmalıdır. Bu ümumi sistemdə nə qədər yanlışlıq mənbəyinin nəzərə alındığını əks etdirəcəkdir. Sensorlar, GPS dövrüyyə qarışığı, GPS saat qarışıqlığının ikimənalılığı, mövqe dreyfi, təsadüfi yol və GPS-I paylayan atmosfer müdaxiləsi arasında fiziki məsafəyə görə potensial yanlışlıq mənbələrinə “ling səviyyəsi” effekti daxildir.

İnertial ölçmə metodunda inertial kütlə bu kütlənin ağırlıq mərkəzindən keçən ox üzərində basqı təsiri edir və inertial qüvvə momenti ölçülür. Bucaq sürətinin diferensiallanması metodu ilə təyin olunmada girokopik vericinin siqnalının diferensiallanmasından istifadə olunur. Hərəkətli obyektlərdə əsasən sürətin inertial metod ilə ölçülməsi geniş tətbiq olunur. Bu metodla işləyən akselerometrlərlə tanış olaq [2, səh. 11-44].

İnertial kütlənin sürətli yerdəyişməsi zamanı qüvvələrin ölçülməsi ilə alınır. Bu prinsipə işləyən cihaz və vericilər akselerometrlər adlanır. Ölçmə üsulundan (qüvvələrin) asılı olaraq akselerometrlər yaylı və kompensasiyalı növlərə bölünürlər. Yaylı akselerometrə qüvvə, yəni inertial kütlə həmin yayı deformasiya edir, nəticədə əks təsiredici qüvvə yaranır. Yayın deformasiyası sürətin ölçülməsi işinə xidmət edir və lazım gəldikdə elektrik siqnalına çevrilir [2, səh. 11-44].

Kompensasiyaedici akselerometrlərdə inertial qüvvə tarazlaşdırılır. Maqnetoelektrik və başqa növ çeviricilər ilə tarazlaşdırılır. Bu qüvvə çıxış siqnalının alınmasına xidmət edən cərəyan şiddətinə mütənəsbibdir. İnertial metod həmçinin inteqrallayıcı akselerometrlərdə də istifadə olunur. Bu sistemlərdə siqnal müəyyən zaman intervallarında xətti sürətin inteqralına mütənəsbibdir. İnteqrallayıcı akselerometrlər əks təsiredici sürətin mövqeyindən deyil, sürətdən asılı olmaları ilə fərqlənirlər.

Eyler-Krilov bucaqlarına uyğun platformasız mövqeləşmə sistemi əsasında qurulmuş sistemin inertial hissəsinə baxaq.



Şəkil 5. Eyler-Krilov bucaqlarına uyğun platformasız mövqeləşmə sistemi

$Ox_g Y_g Z_g$ coğrafi koordinat sisteminə nəzərən HG-nin bucaq vəziyyəti məsələni əksinə həll etməklə alınır, yəni hərəkətli obyektin oxlara nəzərən ω_x^r , ω_y^r , ω_z^r bucaq sürətlərinin proyeksiya qiymətlərinə uyğun δ vurnuxma, ψ tanqaj və γ kren bucaqlarını hesablamaq mümkündür:

$$\begin{aligned}\omega_x^r &= \dot{\delta} \sin \theta + \dot{\gamma} \\ \omega_y^r &= \dot{\delta} \cos \theta \cos \gamma + \dot{\theta} \sin \gamma \\ \omega_z^r &= -\dot{\delta} \cos \theta \sin \gamma + \dot{\theta} \cos \gamma\end{aligned}$$

δ , ψ və γ əsas qiymətlərini yuxarıdakı düsturları diferensial həll etməklə alırıq:

$$\begin{aligned}\dot{\theta} &= \omega_y^r \sin \gamma + \omega_z^r \cos \gamma \\ \dot{\delta} &= (\omega_y^r \cos \gamma - \omega_z^r \sin \gamma) / \cos \theta \\ \dot{\gamma} &= \omega_x^r - \operatorname{tg} \theta (\omega_y^r \cos \gamma - \omega_z^r \sin \gamma)\end{aligned}$$

Düsturlar Eyler-Krılov bucağının kinematik düsturları olub, $\delta(t_0)$, $v(t_0)$ və $\gamma(t_0)$ ilkin verilənlərinə nəzərən ω_x^r , ω_y^r , ω_z^r bucaq sürətlərinin proyeksiya qiymətlərini ölçməklə ψ vurnuxma, v tanqaj və γ kren bucaqlarını hesablamağa, yəni hərəkətli obyektin yerini müəyyən etməyə imkan verir. Giroskopik bucaq sürəti vericiləri əsasən həqiqi bucaq sürətinin proyeksiyalarını ölçür:

$$\begin{aligned}\omega_x &= U_x + \dot{\delta} \sin \vartheta + \dot{\gamma} \\ \omega_y &= U_y + \dot{\delta} \cos \vartheta \cos \gamma + \dot{\vartheta} \sin \gamma \\ \omega_z &= U_z - \dot{\delta} \cos \delta \sin \gamma + \dot{\vartheta} \cos \gamma\end{aligned}$$

Qeyd olunan düsturları integrallamaqla U_x , U_y , U_z parametrlərinin qiymətlərini hesablaya bilərik. Baxmayaraq ki, Eyler-Krılov bucaqlarının düsturları HG-nin hər 3 sərbəstlik dərəcəsinə uyğun gəlir, $v=\pi/2$ tanqaj bucağı halında hər 3 istiqamət üzrə qeyri-xəttilik itir. Bu da öz növbəsində bu tip Platformasız İnertial Naviqasiya Sistemlərindən (PİNS) istifadəni səmərəli edir [6, səh. 81-104].

Nəticə. Pilotsuz aparatlar geniş istifadə diapazonuna malikdirlər və tətbiqi məsələlərin, problemlərin həllində müxtəlif sahələrdə geniş istifadə olunurlar. Pilotsuz aparatlarda Peyk və İnertial Naviqasiya əsaslı İstiqamətləndirmə Sistemi (PİNİS) layihəsinin məqsədi inert sensorları və GPS cihazı ilə vahidləşdirilmiş, aşağı-dəyərli naviqasiya sistemini vahid şəkllə salmaqdır. Bu məqsədlə aşağıdakı məsələlərə baxılmış və həll edilmişdir:

- müxtəlif PNS-in analizi nəticəsində GPS, GLONASS və GALİLEO-nun eyni vaxtda birgə işləməsinə əsas üstünlük verilməsi;
- ümumi GPS/İNS münasibətlərinin funksional tandemi;
- platformasız qarışıq İNS funksional sxeminin qurulması;
- Eyler-Krılov bucaqlarına uyğun platformasız mövqələşmə blokunun PİNİS-ə tətbiqi;
- PİNİS-in inert sensorları və GPS cihazı ilə vahidləşdirilmiş, aşağı-dəyərli naviqasiya sisteminin yaradılması.

Ədəbiyyat

1. Nəbiyev R.N., Məmmədov A.Z. İnertial naviqasiya sisteminin qurulma prinsipləri və inkişaf perspektivləri // Milli Aviasiya Akademiyası, Elmi Məcmuələr, Cild 21, №3, 2019, 44-53 s.
2. Антонов В.Н., Терехов В.А., Тюкин И.Ю. Адаптивное управление в технических системах. – СПб.: Издательство С.-Петербургского университета, 2001. – 244 с.
3. Соловьев Ю.А. Системы спутниковой навигации. - М.: Эко-Трендз, 2000.
4. Гурин С.Е. Спутниковые радионавигационные системы ГЛОНАСС/GPS на железнодорожном транспорте. Часть I: Учебное пособие для студентов специальности «Строительство железных дорог. Путь и путевое хозяйство». – М.: МИИТ, 2004.
5. Степанов О.А. Особенности построения и перспективы развития навигационных инерциально-спутниковых систем // Интегрированные инерциально-спутниковые системы навигации. Сб. статей докл. СПб. 2001.
6. Стрелков С.П. Спутниковые системы и технологии позиционирования [Электронный ресурс]: учебно-методическое пособие / С.П. Стрелков, К.Г. Кондрашин, Е.А. Константинова, З.В. Никифорова. Астрахань: Астраханский государственный архитектурно-строительный университет, 2020.
7. Федосеева Н.А., Загвоздкин М.В. Перспективные области применения беспилотных летательных аппаратов. Летательные аппараты нетрадиционных схем. Сб. статей докл. СПб, 2017.

Мəqalə qəbul olunub: 20.04.23
Təvsiyə edib: dos. Abbasov E.O.