

Метод за използване на магнитното поле на Земята за навигационни цели

Борис Василев

Институт за космически изследвания, БАН

1. Същност на проблема

Основните навигационни средства, които се използват за приземна навигация в момента, са радионавигационните системи (РНС) и инерциалните навигационни системи (ИНС). Към РНС спадат и спътниковите навигационни системи (СНС).

Практическото използване на СНС постави ред въпроси пред специалистите по навигация. Веднага след като беше доказана високата точност на тези системи, възникна въпросът за целесъобразността от развитието на най-точните до момента навигационни средства — инерциалните навигационни системи. Беше нормално и естествено да се помисли, че тези системи са етап в развитието на навигационната наука. По-късно обаче се видя, че СНС имат недостатъци, които за редица практически приложения са съществени и тяхното компенсиране може да стане само по пътя на обединяването им в навигационен комплекс с други навигационни средства и най-вече с ИНС. Всяка от двете навигационни системи притежава недостатъци и предимства, които взаимно се компенсират и допълват. Това е причината комплексът от СНС и ИНС да се коментира и изучава в най-различни светлини, с различна степен на интеграция и с използването на различен математичен апарат за обработка на навигационната информация. ИНС се характеризират с грешки в определяне на навигационните параметри, породени от дрейф на чувствителните елементи, който е достигнал своя минимум и по-нататъшното му намаляване практически е невъзможно чрез използването на технологични усъвършенствания, калибровка на системата като цяло и отделните нейни елементи и установяването на ИНС (платформена или безплатформена) в базовата координатна система (к. с.). ИНС в автономен режим на работа се нуждаят от значително време за установяване в базовата к. с. (от порядъка на 5 до 15 min), освен ако не работи в непрекъснат режим, което е свързано с други неудобства. Освен това

високоточните ИНС са комплекс от прецизни оптични, механични и електронни устройства, което е предпоставка за по-ниска надеждност на системата. Използването на ИНС в полет налага необходимостта от допълнителна информация за откриване и компенсиране на отделни откази в системата.

Автономно работещите СНС се характеризират също с типични недостатъци. Системата е уязвима например от пропадане на сигналите от противникови въздействия върху системата от навигационни спътници. Освен това е възможно приемната антена да бъде засенчена при еволюции на летателния апарат или по други причини. Времето, необходимо за обработка на радиосигнала, и това за решаване на навигационните уравнения, дава възможност за получаване на навигационна информация с честота 1 Hz и в изключителни случаи до 10 Hz. Практически необходимата информация в редица случаи е с честота на един порядък по-висока.

Комплексирането на СНС и ИНС в различна степен на интеграция решава в една или друга степен всички тези проблеми. Основното предимство на този комплекс произтича от различния честотен спектър на грешките на двете системи. Повечето подвижни обекти в пилотажно-навигационния си комплекс включват СНС и ИНС, интегрирани в една или друга степен.

Тук обаче трябва да се има предвид, че стойността на ИНС е на порядък по-висока от тази на СНС.

В статията се разглежда навигационна система, използваща информация от земното магнитно поле, която с успех би заменила ИНС в комплекса ИНС — СНС, без това да повлияе на точността му и чиято стойност би била от порядъка на тази на СНС.

2. Метод за използване на магнитното поле на Земята за навигационни цели

Нека датчикът на скоростта в магнитната навигационна система (МНС) представлява прав проводник с дължина l . При движение на проводника в магнитно поле в него се индуцира електродвижещо напрежение (е. д. н.), определено от закона за електромагнитната индукция

$$(1) \quad E = l(V \times B),$$

където l е дължина на проводника; V — вектор на скоростта на проводника; B — вектор на магнитната индукция на полето.

По принцип е възможно построяването на автономна МНС. Нека се използват три взаимно перпендикулярни датчика на скорост и по тях е ориентирана к. с. $Oxuz$, неподвижно свързани с подвижния обект. Ако $V = \{v_x, v_y, v_z\}$ и $B = \{b_x, b_y, b_z\}$, при $l=1$ компонентите на $E = \{e_x, e_y, e_z\}$ се определят от

$$(2) \quad \begin{aligned} e_x &= v_y b_z - v_z b_y, \\ e_y &= v_z b_x - v_x b_z, \\ e_z &= v_x b_y - v_y b_x. \end{aligned}$$

За различни моменти от време t_1 и t_2 , за които $V_1 \neq V_2$ и с достатъчно голяма точност може да се приеме, че $B = const$, са верни уравненията:

$$\begin{aligned}
 e_{x1} &= v_{y1} b_{z1} - v_{z1} b_{y1}, \\
 e_{y1} &= v_{z1} b_{x1} - v_{x1} b_{z1}, \\
 e_{z1} &= v_{x1} b_{y1} - v_{y1} b_{x1}.
 \end{aligned}
 \tag{3}$$

и

$$\begin{aligned}
 e_{x2} &= v_{y2} b_{z2} - v_{z2} b_{y2}, \\
 e_{y2} &= v_{z2} b_{x2} - v_{x2} b_{z2}, \\
 e_{z2} &= v_{x2} b_{y2} - v_{y2} b_{x2}.
 \end{aligned}
 \tag{4}$$

Векторите $E_1 = \{e_{x1}, e_{y1}, e_{z1}\}$ и $E_2 = \{e_{x2}, e_{y2}, e_{z2}\}$ определят две пресичащи се равнини. Направлението на B се определя от правата

$$\begin{aligned}
 e_{x1}x + e_{y1}y + e_{z1}z, \\
 e_{x2}x + e_{y2}y + e_{z2}z.
 \end{aligned}
 \tag{5}$$

(6) При нормирането на вектор B , определен от уравнението

$$B = E_1 \times E_2,$$

се определят направляващите косинуси, които дават ъгловите навигационни параметри на обекта.

При движение на обекта по земната повърхност, при което вектор V лежи в равнината Oxy , неговото направление може да се намери като пресечна права между равнината, определена от векторите E и B , и равнината Oxy . При известни вектори E и B и при определен ъгъл между векторите V и B не представлява проблем определянето на модула на вектор V .

3. Заключение

Предлага се метод за определяне на навигационните параметри на подвижен обект, който се характеризира с:

- Висока точност. Скоростта се измерва директно с висока точност и постоянно математическо очакване на грешката на измерването, докато при ИНС се измерва ускорението на обекта, а скоростта се определя чрез интегриране на последното, при което се натрупва грешка;
- Висока надеждност на системата;
- Опростен от технологична гледна точка датчик;
- Опростен алгоритъм за определяне на навигационните параметри;
- Отпада необходимостта от високоточна стабилизирана платформа;
- Системата е автономна, при което методът е приложим и за космически обекти;
- Този метод би могъл да се използва и за определяне параметрите на магнитното поле;
- Магнитната навигационна система е изключително перспективна от гледна точка на комплексизирането ѝ с други навигационни системи и най-вече със СНС.

Методът за определяне параметрите на обекта чрез използване на магнитното поле на Земята може да бъде реализиран в различни варианти. Тук се има предвид включването в системата на жировертикала, датчици на ъглови ускорения, различни видове висотомери и т. н., което дава допълнителни възможности за повишаване на точностните и надеждностните характеристики на системата.

Литература

1. Куплян, С. Д. Теоретические основы электротехники (Электромагнитное поле). Часть 3. М., Энергия, 1970.
2. N a r i e r, M. Integration of Satellite and Inertial Positioning Systems. — *Journal of Navigation*, 3, 1990, No 1.
3. D o v e, M., K. M i l l e r. Kalman Filters in Navigation Systems. — *Journal of Navigation*, 42, 1989, No 2.
4. H u s l o p, G., D. G e r t h, J. K r a e m e r. GPS/INS Integration on the Standoff Land Attack Missile (SLAM). — *IEEE Aerospace and Electronic Systems*, 5, July 1990, No 7.
5. W h i t c o m b, L. Sensor Compensation for Vehicle Magnetic Signatures. — *IEEE Aerospace and Electronic Systems*, 4, February 1990, No 2.

Постъпила на 6. IX. 1994 г.

Method of using of the earths magnetic field for navigation purposes

Boris Vassilev

(S u m m a r y)

All the existing at the present moment systems for navigation, using the magnetic fields information belong to the type of correlative extremum navigation systems requiring vast memory and effective computer speed.

It is offered a system, similar to the inertial navigations systems which, however can directly measure the speed over the three axis of presumptively chosen coordinate system.

The proposed method for magnetic navigation uses such types of sensors which are entirely new in the field of measurement of navigation parameters of mobile objects — linear accelerations, speed and coordinates, magnetic heading, declination and dip.