

## **RESUM DEL TREBALL FINAL DE GRAU:**

**Estudi de les equacions de navegació inercial  
utilitzant una IMU (Inertial measurement unit) de  
baix cost**

Marc Yepes Terradellas

## RESUM

Una IMU (unitat de mesura inercial) és un aparell electrònic format per un conjunt de tres acceleròmetres i tres giroscopis col·locats ortogonalment, els quals permeten prendre mesures en les tres dimensions de l'espai. A vegades les IMU també poden tenir tres magnetòmetres per obtenir mesures del camp magnètic.

Si a una IMU li afegim unes equacions de navegació inercial que ens permetin estimar l'orientació, la velocitat i la posició a la que es mou, aconseguim un sistema de navegació inercial (INS). Un INS és un sistema de navegació que mitjançant la informació que ens proporcionen els sensors d'una unitat de mesura inercial ens permet estimar la orientació, velocitat i posició en què ens trobem.

D'aquesta manera, l'objectiu d'aquest treball final de grau ha estat estudiar i implementar les equacions per tal de trobar la posició, orientació i velocitat del cos que porta la IMU. Per aconseguir-ho, s'han programat les equacions de navegació inercial necessàries en Matlab perquè, mitjançant les dades que ens proporcionava una IMU, poguéssim obtenir una estimació de l'orientació, velocitat i posició a la que ens trobem en tot moment; és a dir, aconseguir un sistema de navegació inercial. Les equacions de navegació inercial necessàries per realitzar aquest treball s'han extret del llibre "Principles of GNSS, Inertial, and Multisensor Integrated Navigation Systems" de Paul D. Groves.

Conèixer aquest tipus d'equacions i la seva implementació és interessant perquè permet obtenir un sistema de navegació inercial a partir d'una IMU, però també perquè permet una millor integració del INS amb altres sensors existents (GPS, velocímetres, etc. ) per tal d'obtenir una millor precisió en la navegació.

Un cop feta aquesta petita introducció, podem seguir els passos realitzats en l'elaboració d'aquest treball.

El primer que necessita fer una sistema de navegació inercial és una inicialització de les variables que vol estimar, orientació, velocitat i posició. A l'hora d'inicialitzar la posició i la velocitat un INS no pot fer-ho amb els sensors de què disposa, sinó necessita que la

informació provingui d'un sensor extern (per exemple, un GPS). Un cop tenim la mesura del sensor extern, el INS, mitjançant les dades que provenen de la IMU, pot estimar els canvis que pateixen la posició i la velocitat i, en conseqüència, la posició i velocitat a cada instant. En aquest treball la posició s'ha inicialitzat mitjançant un dispositiu GPS; mentre que la velocitat s'ha inicialitzat a zero ja que tots els experiments s'han començat parats.

No obstant, l'orientació si que es pot inicialitzar amb els sensors que conté la IMU. L'orientació en què es troba un cos es pot definir mitjançant tres angles: Roll, Pitch i Yaw. Amb una tècnica anomenada leveling podem trobar Roll i Pitch; i amb una altra tècnica anomenada magnetic heading podem trobar el Yaw. En aquest treball s'han implementat ambdues amb Matlab, ja que en el moment d'inicialitzar el INS aquest pugui estimar l'orientació en què ens trobem.

Primer de tot, hem aplicat la tècnica de leveling, la qual mitjançant els acceleròmetres és capaç de trobar la direcció de la força de la gravetat i, partir d'aquí, estimar el Roll i el Pitch en què es troba el cos que porta la unitat de mesura inercial.

En segon lloc, hem emprat el magnetic heading. Aquesta tècnica utilitza els angles de Roll i Pitch estimats amb el leveling juntament amb la informació que li proporcionen els magnetòmetres de la IMU per trobar on es troba el nord i, en conseqüència, l'angle de Yaw.

Després d'implementar aquestes dues tècniques, s'han fet un seguit de proves, estàtiques i en moviment, per comprovar que la seva estimació de l'orientació era correcta.

Un cop realitzada la inicialització de la posició, velocitat i orientació hem implementat les equacions de navegació necessàries perquè, a partir de les dades de la IMU, es pugui seguir estimant la posició, la velocitat i l'orientació.

Els valors de la posició, velocitat i orientació es poden representar respecte diferents sistemes de coordenades. Segons si es representen en un sistema de coordenades o en un altre, les equacions de navegació varien. En aquest treball hem implementat les equacions de navegació de tres formes diferents: una respecte el sistema de coordenades ECI, una altra respecte el sistema ECEF i una última implementació en el

sistema local de navegació (el qual representa la posició amb angles de longitud i latitud respecte el sistema ECEF i la velocitat i orientació es resolen en el sistema de coordenades NED).

Un cop implementades les equacions de navegació, s'han realitzat un seguit de proves per comprovar-ne el seu funcionament. Aquest era bo, però l'estimació de la posició, velocitat i orientació patia una deriva molt gran. Això era degut, en gran part, al biaix que pateixen les dades dels giroscopis i acceleròmetres de la IMU.

Per poder corregir aquest biaix i també poder integrar el INS amb un altre sensor hem implementat un filtre de Kalman, que és un algorisme que ens permet fusionar dades de dos o més sensors. És molt utilitzat en el camp de la navegació. Hem utilitzat aquest algorisme per integrar el nostre INS amb un GPS, fet que ens ha permès estimar els biaixos dels sensors i millorar l'estimació que fèiem de la posició, velocitat i orientació.

Abans d'integrar el filtre de Kalman amb un sensor GPS real, l'hem integrat amb GPS fictici simulat amb el Matlab. Això era per comprovar que les equacions del filtre de Kalman estaven ben implementades. Després de fer una sèrie de proves, hem vist com el filtre de Kalman tenia un problema d'observabilitat, és a dir, li faltava informació. Per solucionar-ho hem introduït una tècnica al filtre anomenada Zero Updates.

Un cop solucionat aquest problema, i per concloure el treball, hem integrat el filtre amb un dispositiu GPS real. Després hem col·locat el GPS i la IMU dins un cotxe i hem fet un seguit de recorreguts. Llavors hem comprovat com el INS estimava la posició, velocitat i orientació d'aquests trajectes en diferents situacions:

- Entrant només dades del GPS al INS durant els primers deu segons per poder estimar els biaixos i, posteriorment, deixar que el INS navegui sense ajuda externa.
- Entrant dades del GPS durant tot el temps que duren els recorreguts.
- Deixant buits de cobertura GPS en diferents zones dels trajectes.

Gràcies al filtre de Kalman s'ha aconseguit reduir la deriva, fet que ha provocat que l'estimació de la posició, velocitat i orientació hagi millorat força. Continua havent errors en les estimacions, però aquests són normals degut a la qualitat dels sensors amb que

hem treballat. Els resultats obtinguts són prometedors de cara a una futura implementació de l'IMU i les equacions de navegació inercial.