
Alumne: Adrià Devesa Oriol

Tutor: Eudald Díaz Duran

Posicionament GNSS

Introducció als sistemes de navegació per satèl·lit i observació i estudi de l'error en el posicionament obtingut a partir d'un dispositiu RTL-SDR i una antena activa GPS

Presentació i metodologia

Sempre he mostrat interès i curiositat en tot el que està relacionat amb les noves tecnologies, l'espai i el món de l'enginyeria. Malgrat que era bon coneixedor de les meves preferències, enfocar el treball de recerca no va ser una tasca senzilla des d'un inici. La gran sort va sorgir de la Universitat Autònoma de Barcelona, des d'on em van donar l'oportunitat de realitzar i desenvolupar un treball d'aquesta magnitud sobre els sistemes de navegació per satèl·lit, dins del marc del Programa Argó. Per a mi això va representar una empenta i una motivació molt grans per emprendre aquesta recerca.

L'objectiu principal del treball era conèixer l'estructura, els fonaments i el funcionament dels sistemes de navegació per satèl·lit, tant des del punt de vista teòric com des d'una part experimental.

La seva estructura consisteix en una àmplia, profunda i exhaustiva introducció als sistemes de navegació per satèl·lit i al seu funcionament. Per altra banda, des d'un punt de vista pràctic, a través d'un *hardware* i un *software* es realitzen un seguit



de proves de posicionament a partir de les quals s'obtenen uns resultats utilitzats posteriorment per fer certs càlculs i redactar part de les conclusions.

Cos del treball

Com ja s'ha esmentat, la primera part del treball és únicament teòrica i ens serveix posteriorment per entendre tot el que es realitza a la part pràctica.

El treball comença amb la definició dels sistemes de navegació per satèl·lit (GNSS) i seguidament es fa una aproximació al posicionament GNSS. En aquest apartat s'explica de manera general el funcionaments dels sistemes de navegació per satèl·lit.

El següent bloc tracta sobre els fonaments GNSS i s'hi expliquen profundament els principis en els quals es basen aquests sistemes, com: els fonaments bàsics de l'ona electromagnètica, el senyal dels sistemes de navegació, la correlació d'aquest amb el receptor, les mesures de codi i de fase i, finalment, els sistemes de coordenades i temps en els quals es basen aquests sistemes de navegació per satèl·lit. De tots aquests apartats cal destacar el del senyal GNSS i la correlació. En aquestes dues seccions s'explica com es genera el senyal dels GNSS, com s'estructura, amb quina freqüència és emès i quin és el procés pel qual el receptor és capaç d'adquirir-lo per, posteriorment, extreure'n tota la informació necessària per fer el càlcul de posició. Aquests dos apartats són imprescindibles per entendre les proves realitzades a la part experimental del treball.

Seguidament s'explica quins són els sistemes de navegació que hi ha actualment. Aquests són el GPS (americà), el Galileo (europeu), el GLONASS (rus) i el Beidou (xinès). Dels GNSS europeu i americà se n'explica la seva futura interoperabilitat, l'arquitectura i les característiques que els diferencien.

En aquesta part més teòrica del treball s'expliquen finalment tots els tipus d'errors que intervenen en el retard del senyal emès pels satèl·lits i tots els sistemes i models existents que permeten mitigar-los i, per tant, proveeixen d'una major precisió i exactitud el posicionament. L'últim apartat teòric va estretament lligat amb la part pràctica. En aquesta secció s'explica el significat de la dilució de la precisió, tant gràficament com numèricament.

Aquí conclou la part teòrica del treball i es comencen a introduir els fonaments del *hardware* i el *software* utilitzats en la part experimental.

Primer de tot es parla del concepte de «software defined radio» (SDR), ja que són els principis en els quals es basa el receptor RTL-SDR. En aquest apartat també es comencen a introduir tots els conceptes relacionats amb el procés que segueix el senyal des que el receptor el rep fins a la seva digitalització, molt útil i necessària per tal de fer el corresponent postprocessament de dades.

Després s'introdueix el *hardware* utilitzat, que consisteix bàsicament en el receptor RTL-SDR i l'antena activa GPS i l'antena passiva. En aquest apartat s'expliquen els



fonaments i principis en els quals es basen aquests dispositius, els seus principals components i la seva funció.

Finalment s'expliquen els tres programes informàtics utilitzats per realitzar el càlcul de posicionament. El primer de tots és el SDR#, que s'ha fet servir juntament amb l'antena passiva i ajuda a familiaritzar-te amb el *hardware*. El següent és el GNSS-SDRLIB i aquest és el programa a partir del qual el receptor és capaç de detectar els satèl·lits, adquirir-los i fer-ne el corresponent seguiment. Finalment s'introdueix el RTKLIB, i aquest és l'encarregat de realitzar el càlcul de posició en els sistemes de coordenades que se li indiquin. Aquests dos últims programes són realment útils, ja que el GNSS-SDRLIB et permet veure de manera gràfica tots els satèl·lits en vista de tots els diferents GNSS i els triangles de correlació entre el senyal i el receptor, concepte explicat a la part teòrica. I el segon, l'RTKLIB, és el que ens permet veure la qualitat dels senyals dels satèl·lits adquirits, la dilució de la precisió en el posicionament i guardar les corresponents estimacions per després realitzar el postprocessament de les dades.

Llavors, s'introdueix l'últim apartat del treball que inclou les diferents proves de posicionament realitzades i alguns càlculs. En aquesta secció es discuteixen sis proves de posició, el perquè de com s'han realitzat i el perquè de com han resultat. En cada

una de les proves s'hi ha adjuntat la dispersió de les estimacions de posició damunt d'un mapa de referència (imatge adjunta). Les estimacions de l'última prova, que s'ha realitzat des d'un vèrtex geodèsic (lloc on les coordenades són conegudes amb una gran exactitud), s'han utilitzat per calcular l'error de posicionament i la precisió amb la qual hem treballat.

Conclusions

Els sistemes de navegació per satèl·lit s'han convertit, estratègicament parlant, en una possessió molt preuada per les potències mundials. És per això que cada potència té el seu propi sistema de navegació: els Estats Units tenen el més conegut i utilitzat, el GPS, Rússia té el GLONASS, Xina té el Beidou i Europa està desenvolupant el Galileo.

Tots els sistemes de navegació per satèl·lit es basen en uns mateixos principis, fonaments i arquitectura, però hi ha petits matisos que els diferencien i els fan únics. Ara bé, tots i cadascun d'ells tenen una principal finalitat: calcular la posició. Però com hem pogut comprovar al llarg del treball, en el senyal que rep el receptor hi intervenen molts errors que fan que la posició final no sigui tan precisa com voldríem. És per això que s'ha estudiat les diferents maneres de mitigar-los i, malgrat que el *hardware* que hem fet servir no utilitzi molts dels algorismes de resolució d'errors, ha estat útil estudiar-los per entendre millor el seu funcionament.

La precisió en el posicionament és molt important actualment. És per això que a partir dels càlculs i dels resultats obtinguts s'han redactat unes pautes per tal de millorar la precisió en el posicionament obtingut a partir del *software* i *hardware* utilitzats i, d'aquesta manera assegurar un càlcul de posició més precís encara. Actualment, les aplicacions dels sistemes de navegació per satèl·lit són múltiples i difícils de comptar. No cal dir, doncs, que en un futur n'hi haurà cada vegada més, i molt possiblement requeriran un posicionament molt més precís. El desenvolupament d'aquestes noves aplicacions anirà lligat a la fiabilitat i la precisió del sistema de navegació corresponent i, per tant, el *hardware* i *software* que s'utilitzin per fer el càlcul de posició, també es milloraran.

Webgrafia i bibliografia

– OXTS (2018). *An introduction to Global Satellite Navigation Systems (GNSS)* [en línia]. Regne Unit: OXTS inertial+GNSS. [Consultat: 6 agost 2018]. Disponible a internet: <<https://www.oxts.com/what-is-gnss/>> – Natalia Garrido-Guillén (11 d'abril del 2016). *Errores atmosféricos en GNSS (GPS)* [en línia]. València: Natalia Garrido-Guillén. [Consultat: 20 agost 2018]. Disponible a internet: <<https://nagarvil.webs.upv.es/errores-atmosfericos-gnss-gps/>> – AIR SPACE COMMAND (22 de març del 2017). *Global Positioning System* [en línia]. EEUU. [Consultat: 15 juliol 2018]. Disponible a internet: <<https://www.afspc.af.mil/About-Us/Fact-Sheets/Display/Article/1012634/>>

global-positioning-system/> – NOAA (25 de setembre de 2018). *GPS Space segment* [en línia]. EEUU. [Consultat: 10 juliol 2018]. Disponible a internet: <<https://www.gps.gov/systems/gps/space/>> – AJOO (25 de gener del 2017). *Intro to RTL-SDR, Part I-Principles and Hardware* [en línia]. Portugal: Ajoo.blog. [Consultat: 3 octubre 2018]. Disponible a internet: <<http://ajoo.blog/intro-to-rtl-sdr-part-i-principles-and-hardware.html>> – AJOO (7 de febrer del 2017). *Intro to RTL-SDR, Part II-Software* [en línia]. Portugal: Ajoo.blog. [Consultat: 5 octubre 2018]. Disponible a internet: <<http://ajoo.blog/intro-to-rtl-sdr-part-ii-software.html>> – RTL-SDR (28 de febrer del 2017). *Quick start guide* [en línia]. [Consultat: 20 agost 2018]. Disponible a internet: <<https://www.rtl-sdr.com/rtl-sdr-quick-start-guide/>> – MICHAEL RITTER (1 octubre 2018). *NovAtel* [en línia]. Calgary, Alberta, Canada: NovAtel Inc. [Consultat: 26 novembre 2018]. Disponible a internet: <<https://www.novatel.com/an-introduction-to-gnss/chapter-1-gnss-overview/>> – GUNTER HEIN; JAVIER VENTURA-TRAVESET (3 octubre 2018). *Navipedia* [en línia]. Agència Espacial Europea. [Consultat: 26 novembre 2018]. Disponible a internet: <https://gssc.esa.int/navipedia/index.php/Main_Page> – RTL-SDR (28 de febrer de 2017). *RTL-SDR Tutorial: GPS decoding and Plotting* [en línia]. [Consultat: 21 agost 2018]. Disponible a internet: <<https://www.rtl-sdr.com/rtl-sdr-tutorial-gps-decoding-plotting/>> – RTL-SDR (28 febrer 2017). *RTL-SDR Blog V.3. dongles user guide* [en línia]. [Consultat: 21 d'agost del 2018]. Disponible a internet: <<https://www.rtl-sdr.com/rtl-sdr-blog-v-3-dongles-user-guide/>> – JSAT INTERNATIONAL (2018). *Satellite components* [en línia]. EEUU: JSAT International. [Consultat: 9 juliol 2018]. Disponible a internet: <<http://www.jsati.com/why-satellite-how-Spacesegment3.asp>> – INSTITUT CARTOGRÀFIC I GEOLÒGIC DE CATALUNYA (ICGC). (2018). *Senyals geodèsics* [en línia]. Catalunya: ICGC. [Consultat: 11 de desembre del 2018]. Disponible a internet: <<http://www.icgc.cat/Administracio-i-empresa/Serveis/Posicionament/Senyals-geodesics2>> – PAUL SCHLYTER (30 de setembre del 2017). *Timescales* [en línia]. Estocolm: Paul Schlyter. [Consultat: 16 agost 2018]. Disponible a internet: <<http://stjarnhimlen.se/comp/time.html>> – Fundació Wikimedia (constantment). *Wikipedia*. [en línia]. Fundació Wikimedia. [Consultat: 17 desembre 2018]. Disponible a internet: <<https://www.wikipedia.org/>> – T. TAKASU (2013). *RTK-LIB ver. 2.4.2 Manual*. Japó. – VAN DIGGLEN, F. (2009). *A GPS: Assisted GPS, GNSS, and SBAS*. Londres: Artech House.
