

GNSS-SDR, UN RICEVITORE SOFTWARE COMPLETAMENTE OPEN-SOURCE PRONTO PER GALILEO

di Mara Branzanti

CON L'AVVENTO DEI NUOVI SATELLITI IN ORBITA, IL PAESAGGIO DEL GNSS STA PER CAMBIARE RAPIDAMENTE E LE ARCHITETTURE DEI RICEVITORI DEVONO ESSERE CONTINUAMENTE IN GRADO DI SFRUTTARE PIENAMENTE IL POTENZIALE DEI PROSSIMI SCENARI. PER TALI RAGIONI LA FILOSOFIA SDR (SOFTWARE DEFINED RECEIVER) HA UNA GRANDE RISPOSTA NELLE APPLICAZIONI GNSS. DI SEGUITO VIENE PRESENTATO IL PRIMO SOFTWARE OPEN SOURCE SDR (GNSS-SDR) PRONTO PER LA COSTELLAZIONE GALILEO E INSIEME LA SUA PARTECIPAZIONE AL GOOGLE SUMMER OF CODE.

GALILEO ALLA GOOGLE SUMMER OF CODE

I sistemi di posizionamento satellitare sono ormai parte della nostra quotidianità e molti paesi stanno investendo risorse per la creazione di una propria infrastruttura. In Europa, la costellazione Galileo è nel pieno del suo sviluppo e si presenta a giovani studenti e ricercatori come un nuovo ambiente ricco di opportunità.

Nel mio caso, i quattro satelliti Galileo attualmente in orbita sono stati motivo di stimolo per partecipare alla Google Summer of Code (GSoC) 2013, programma che si svolge a livello mondiale in cui Google si impegna a dare un compenso a degli studenti, affinché questi sviluppino del *software open-source* su temi di diversa natura.

Gli argomenti vengono proposti dalle cosiddette Organizzazioni di Mentori le quali, durante la prima fase di svolgimento del programma, devono essere accettate dall'ufficio Google che si occupa dei programmi *open-source*. Tra queste, nell'edizione GSoC 2013, era presente l'organizzazione GNSS-SDR con l'omonimo *software*, alternativa *open-source* nell'ambito dell'approccio SDR. Il mio progetto [a], "Development of new blocks for Galileo E1 in GNSS-SDR: from telemetry to PVT solutions" (Figura 1), è stato accettato insieme a quelli proposti da Daniel Fehr [b] e Marc Molina [c], che contemporanea-

mente hanno curato aspetti diversi del medesimo *software*. Il lavoro, come previsto dal regolamento GSoC, è stato svolto nell'arco dei tre mesi estivi (fine Giugno - fine Settembre) grazie alla stretta collaborazione Studente-Mentore, portata avanti attraverso un energico scambio di *e-mail*, documenti di lavoro condivisi e relazioni settimanali.

Il progetto ha ricevuto apprezzamenti e riconoscimenti da parte della Commissione Europea [d] e mi ha consentito di essere tra gli invitati dell'evento "Galileo: from promises to reality" tenutosi il 24 Luglio 2013 presso il Centro di Controllo Galileo (Fucino, Italia).

LA FILOSOFIA SDR: UNA SOLUZIONE ECONOMICA E FLESSIBILE PER GLI SCENARI SPAZIALI FUTURI

Per sfruttare al massimo le potenzialità dello scenario spaziale che si prospetta è necessario un continuo aggiornamento dell'architettura dei ricevitori e per tali ragioni l'approccio SDR (Software Defined Receiver) trova sempre più grande riscontro nelle applicazioni della navigazione satellitare.

Infatti, sebbene i classici ricevitori professionali siano capaci di fornire ottime prestazioni, in termini di realizzazione presentano lo svantaggio di essere delle "scatole chiuse" per l'utente, nel senso che non lasciano nessuna possibilità di interazione o accesso ai processi interni. Ad esempio, non consentono di seguire le operazioni che avvengono per il calcolo della posizione e nonostante il costo elevato di tali strumenti, le possibilità di aggiornamento e perfezionamento sono estremamente limitate.

Al contrario, un ricevitore *software* è una soluzione di basso costo che realizza tutte le operazioni di elaborazione del segnale satellitare (dall'acquisizione al calcolo della posizione), ma che allo stesso tempo consente all'utente la completa visione e modifica dei blocchi funzionali interni. Tale approccio apre le porte ad ogni tipo di interazione utente-ricevitore, integrazione con altri sistemi e aggiornamento secondo le singole necessità e curiosità.



Fig. 1 - Progetto accettato per la Google Summer of Code 2013, relativo all'estensione del software open source GNSS-SDR alla costellazione Galileo.



Fig. 2 - Home page del sito internet da cui è possibile scaricare gratuitamente il software GNSS-SDR.

Ad oggi sono disponibili diverse soluzioni che seguono tale approccio, ad esempio: il gruppo PLAN (Position, Location And Navigation) dell'Università di Calgary propone il GSNRx (GNSS Software Navigation Receiver) [1], l'Università di Monaco (Institute of Geodesy and Navigation, University FAF Munich) propone il software ipexSR [2], mentre N-Gene è stato sviluppato dall'Istituto Superiore Mario Boella (ISMB) in collaborazione con il Politecnico di Torino [3].

In tale scenario, si inserisce il software GNSS-SDR ([4]-[5]-[6]), che risulta essere l'unico completamente operativo sia per la costellazione GPS che per la costellazione Galileo ed allo stesso tempo libero e gratuito (Figura 2). Questo software, nato presso il CTTC (Centre Tecnològic de Telecomunicacions de Catalunya), è scritto in linguaggio C++ ed è disponibile in Internet [f] insieme ad acquisizioni grezze, effettuate con stadi di ingresso a radio frequenza a basso costo, da elaborare per verifica.

ESTENSIONE DEL SOFTWARE GNSS-SDR ALLA COSTELLAZIONE GALILEO

Uno degli obiettivi principali dei ricercatori del CTTC, in occasione della GSOC 2013, era ultimare l'estensione del software alla costellazione Galileo.

Infatti GNSS-SDR si presentava completamente operativo per il GPS, mentre per Galileo erano state portate a termine solamente le fasi di acquisizione ed inseguimento del segnale, realizzate dallo studente Luis Esteve (GSoc 2012, [e]).

La mia proposta di lavoro si è concentrata sulla messa in pratica delle fasi finali del flusso di processi che avviene all'interno di un ricevitore GNSS: decodifica del messaggio di navigazione I/NAV, produzione delle osservabili di codice E1 (misure caratteristiche del sistema, come le distanze pseudo-range) ed il calcolo della posizione del ricevitore (riquadri rossi in Figura 3). Come per il GPS, in Galileo il messaggio di navigazione è trasmesso attraverso una sequenza di trame (o frames). Ciascuna trama è composta da varie sotto-trame, a loro volta costitui-

te da diverse pagine. La differenza tra la struttura del messaggio di navigazione trasmesso dai satelliti GPS e Galileo è nella lunghezza dell'intero messaggio e dei singoli elementi. Ad esempio la durata di un'intera sotto-trama per il messaggio Galileo è di 30 secondi (15 pagine, ciascuna delle quali dura 2 secondi), mentre nel GPS è di 6 secondi (con sotto-trame composte da 10 pagine, ciascuna delle quali dura 600 ms). Inoltre i satelliti Galileo trasmettono due tipi di pagine denominate *Alert Page* e *Nominal Page*, a loro volta trasmesse come sequenza di pagine Pari (Odd) e Dispari (Even). Le informazioni necessarie al funzionamento del ricevitore sono contenute nella *Nominal Page*. Questa, infatti, contiene le effemeridi, un insieme di parametri che consentono di calcolare la posizione del satellite in un certo istante temporale, e le correzioni sia per l'errore dell'orologio atomico del satellite che del disturbo ionosferico.

Ogni informazione è accuratamente accompagnata da un indicatore temporale espresso in GST (Galileo System Time) che può essere trasformato in tempo GPS (o UTC) tramite appositi parametri di conversione, anch'essi trasmessi all'interno del messaggio. Tale aspetto è molto importante per la produzione di soluzioni combinate Galileo-GPS, affinché il riferimento temporale sia omogeneo.

La decodifica del messaggio di navigazione è stata effettuata tenendo conto della struttura sopra descritta e meglio dettagliata in [7]. L'algoritmo costruito agisce in maniera lineare sul messaggio proveniente da un satellite, ma viene applicato parallelamente su più canali grazie ad un apposito sistema di controllo (riquadri blu in Figura 3).

Per quanto riguarda la produzione delle osservabili, e delle soluzioni PVT (Posizione, Velocità e Tempo) si è utilizzato del software già esistente per il segnale del GPS, adattandolo al segnale Galileo nell'algoritmo del tempo comune di ricezione (osservabili) e del principio di stima ai minimi quadrati (usato per la soluzione PVT). Infine, per gestire il flusso continuo del segnale in arrivo e per consentire il corretto scambio di informazioni tra le diverse parti del software è stato attivato un sistema di condivisione dati basato sui blocchi denominati *Ephemeris Queue* e *Message Queue* (riquadri verdi in Figura 3).

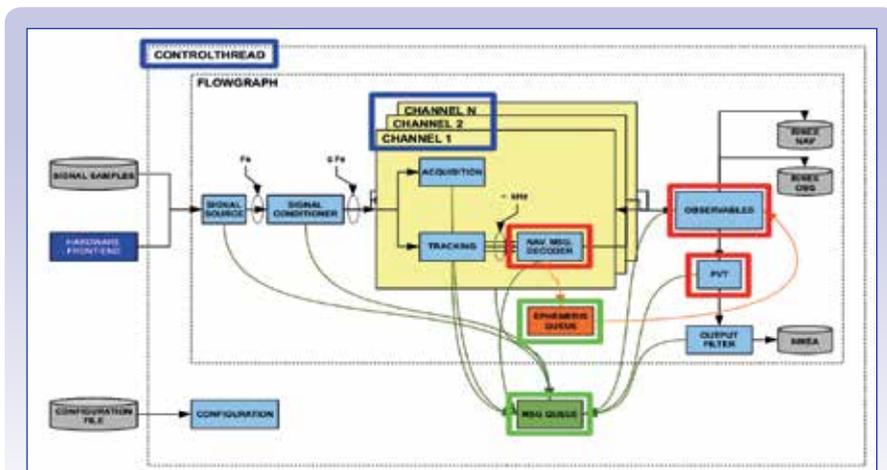


Fig. 3 - Diagramma dei blocchi implementati all'interno del software GNSS-SDR. In evidenza le parti implementate durante la GsoC 2013.

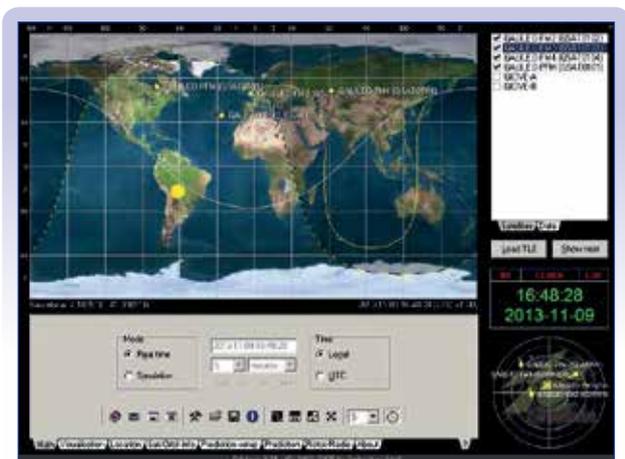


Fig. 4 - posizione dei satelliti Galileo visualizzata tramite Gpredict.

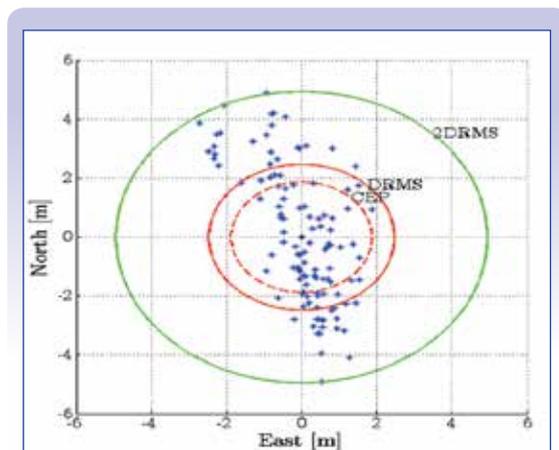


Fig. 6 - Coordinate planimetriche (e relativa accuratezza) ottenute del posizionamento con satelliti Galileo.



Fig. 5 - Primo posizionamento con GNSS-SDR ottenuto sfruttando il segnale dei quattro satelliti Galileo attualmente in orbita (ottenuto presso il CTTC).

PRIMO POSIZIONAMENTO DA SATELLITI GALILEO

Lo scorso 10 Novembre è stato ottenuto il primo posizionamento dal software GNSS-SDR sfruttando il segnale dei quattro satelliti Galileo attualmente in orbita, la cui copertura per una determinata zona non è ovviamente costante.

Per scegliere l'intervallo temporale in cui poter effettuare l'acquisizione del segnale, si è fatto ricorso a Gpredict [g], un'applicazione per l'inseguimento di satelliti in orbita terrestre molto semplice da usare, ma allo stesso tempo efficace, che consente di predire il passaggio di uno o più satelliti nell'area di visibilità del ricevitore (Figura 4). L'esperimento è stato condotto dal Dott. Ing. Javier Arribas (Mentore durante la GSoC 2013), dal tetto dell'edificio del CTTC. La Figura 5 mostra la posizione dell'antenna su Google Earth, grazie al file KML ottenuto dall'elaborazione del segnale.

TEAM DI SVILUPPO DEL SOFTWARE GNSS-SDR

Javier Arribas

Svolge un post-dottorato presso il CTTC dopo aver ricevuto il titolo di Dottore di ricerca in Teoria dei Segnali presso l'Università Politecnica di Catalogna nel 2012. Si occupa principalmente di statistica dei segnali, tecniche di sincronizzazione GNSS, teoria della stima, progettazione di RF front-ends ed è membro del team di sviluppo principale del software GNSS-SDR. Partecipa alla Google Summer of Code 2013 con il ruolo di Mentore per il progetto relativo all'estensione del software alla costellazione Galileo.

Carles Fernandes-Prades

Responsabile del Dipartimento di Telecomunicazioni e Ricercatore Associato presso il CTTC dal 2006, dopo aver svolto per diversi anni il ruolo di Professore Associato presso l'Università Politecnica di Catalogna (UPC). Durante la sua carriera ha contribuito alla scrittura di diversi libri ed è autore di più di 80 articoli di rilevanza internazionale. Nel 2013 partecipa alla Google Summer of Code nel ruolo di Mentore per un progetto relativo alla compatibilità del software GNSS-SDR con i sistemi SBAS, al fine di aumentarne l'affidabilità nel posizionamento

Pau Closas

Responsabile del Dipartimento di Inferenza statistica e Ricercatore presso il CTTC dal 2009, dopo aver conseguito il titolo di Dottore di Ricerca in Ingegneria Elettrica. Ha 10 anni di esperienza in progetti finanziati dalla Commissione Europea, dal Governo Catalano e Spagnolo e dall'Agenzia Spaziale Europea e durante la sua carriera è stato coinvolto in progetti seguiti dalla National Science Foundation (NSF) statunitense e dalla National Natural Science Foundation (NNSF) Cinese.

In Figura 6 sono riportati i risultati in planimetria su un intervallo di 100 secondi, insieme ai relativi valori di DRMS (*Distance Root Mean Square*) e CEP (*Circular Error Probability*) per la stima del livello di confidenza delle soluzioni.

Dall'esperimento risulta un'accuratezza di 1.9 m in termini di CEP e di 2.5 m in termini di DRMS.

Per quanto riguarda un'analisi 3D dei risultati, è stata riscontrato un valore di MRSE (*Mean Radial Spherical Error*) pari a 3.4 m.

CONCLUSIONI E SVILUPPI FUTURI

Nonostante fosse il primo esperimento di posizionamento con GNSS-SDR usando la costellazione Galileo, e con solo quattro satelliti in orbita, ovvero senza informazioni ridondanti, i risultati ottenuti sono molto promettenti.

Grazie alla disponibilità del codice sorgente del software realizzato, questo contributo è di particolare rilevanza perché consente all'utente di sfruttare il segnale Galileo per ogni tipo di applicazione (industriale o scientifica), andando oltre i limiti imposti dai ricevitori commerciali convenzionali.

Nel prossimo futuro il software sarà pronto per fornire le osservazioni ed il messaggio di navigazione dai satelliti Galileo nel formato standard RINEX, ed è previsto uno sviluppo ulteriore per ottenere soluzioni combinate GPS-Galileo. In un secondo momento si lavorerà per aumentare la precisione delle soluzioni a partire da osservazioni di fase.

GNSS-SDR si presenterà come Mentoring Organization alla Google Summer of Code 2014 e potrebbero essere proprio questi gli argomenti proposti ai prossimi studenti.

WEBGRAFIA

- [a] <http://www.google-melange.com/gsoc/project/google/gsoc2013/marabra87/27001>
 [b] <http://www.google-melange.com/gsoc/project/google/gsoc2013/fehrdan/27001>
 [c] <http://www.google-melange.com/gsoc/project/google/gsoc2013/marcmolina/29001>
 [d] http://ec.europa.eu/enterprise/newsroom/infocentre/detail.cfm?item_id=6833&lang=it
 [e] <http://www.google-melange.com/gsoc/project/google/gsoc2012/lesteve/19001>
 [f] <http://gnss-sdr.org>
 [g] <http://gpspredict.oz9aec.net/>

BIBLIOGRAFIA

- [1] M. G. Petovello, C. O'Driscoll, G. Lachapelle, D. Borio, and H. Murtaza, "Architecture and benefits of an advanced GNSS software receiver", *Positioning*, vol. 1, no. 1, pp. 66-78, 2009
 [2] M. Anghileri, T. Pany, D. Sanromà-Güixens, J.-H. Won, A. Sicramaz-Ayaz, C. Stöber, I. Krämer, D. Dötterböck, G.W. Hein, and B. Eissfeller, "Performance evaluation of a multi-frequency GPS/Galileo/SBAS software receiver," in *Proceedings of the 20th International Technical Meeting of the Satellite Division of the Institute of Navigation (ION GNSS'07)*, Fort Worth, TX, Sept. 2007, pp. 2749-2761.
 [3] M. Fantino, A. Molino, and M. Nicola, "N-Genie GNSS receiver: Benefits of software radio in navigation," in *Proceedings of the European Navigation Conference - Global Navigation Satellite Systems (ENC-GNSS)*, Naples, Italy, May 2009.
 [4] C. Fernández-Prades, J. Arribas, P. Closas, C. Avilés, L. Esteve, "GNSS-SDR: an open source tool for researchers and developers", in *Proceedings of the ION GNSS Conference 2011*, September 19-23, 2011, Portland, Oregon (USA)
 [5] L. Esteve, C. Fernández-Prades, J. Arribas, P. Closas, "Processing Galileo signals with GNSS-SDR", *Presentation at GNU Radio Conference 2012*, 24-27 September, Atlanta, GA (USA)

[6] C. Fernandez-Prades, J. Arribas, L. Esteve, D. Pubill and P. Closas (2012), "An Open Source Galileo E1 Software", in *Proceedings of the 6th ESA Workshop on Satellite Navigation Technologies (NAVITEC 2012)*, 5-7 December 2012, ESTEC, Noordwijk (The Netherlands).

[7] European GNSS (Galileo) Open Service Signal In Space Interface Control Document (OS SIS ICD)

PAROLE CHIAVE

SDR; GALILEO; LOW-COST; GOOGLE SUMMER OF CODE

ABSTRACT

With the advent of new in-orbit satellites, the landscape of GNSS is going to change rapidly and thereceiver architectures must continuously be able to exploit the full potential of the forthcoming scenarios. For such reasons, the SDR (Software Defined Receiver) philosophy has a great response in the GNSS applications. Here, the first open source SDR software (GNSS-SDR) ready for the Galileo constellation is presented, together with its participation in the Google Summer of Code.

AUTORE



MARA BRANZANTI
mara.branzanti@uniroma1.it

Dottoranda di ricerca presso l'Area di Geodesia e Geomatica, Università di Roma "La Sapienza".

La sua ricerca è volta principalmente alla "GNSS-Seismology" con approccio variometrico (denominato VADASE), ovvero analisi di dati GNSS per la stima della forma d'onda di un terremoto in tempo reale con ricevitori di basso costo. Nel 2013 si avvicina al mondo SDR partecipando alla GSoC sotto la guida del Dott. Javier Arribas ed è tra i dieci ricercatori invitati all'evento ItaliaX10 - La scienza del futuro, nell'ambito di Trieste Next salone europeo della ricerca scientifica.



3DF Zephyr

Turn your photos in 3D



3DF Zephyr è un software di fotomodellazione che consente di ottenere in modo completamente automatico un modello 3D a partire da semplici fotografie.

Il prodotto affonda le sue radici nella ricerca di punta in Visione Computazionale e Fotogrammetria condotta dalla spinoff universitaria 3Dflow.

3DF Zephyr offre caratteristiche innovative che, unite ad un'interfaccia utente progettata secondo i canoni dell'usabilità, rendono il software semplice e intuitivo. Per ottenere modelli 3D accurati ad un costo contenuto non serve avere competenze particolari: basta scattare le fotografie e 3DF Zephyr pensa al resto!

3DF Zephyr ben si presta ad applicazioni nella fotogrammetria sia su piccola che su grande scala, sia da terra che da aeromobili a pilotaggio remoto (UAV).

Maggiori informazioni sul sito zephyr.3dflow.net

Utilizza il codice coupon 'Geomatica14' durante l'acquisto per ottenere uno sconto del 5% sul prezzo di listino!

