

Receptor SDR para Satélites LEO Orbcomm: Procesamiento de Señal y Evaluación de la Geometría en Posicionamiento

Marc Fernández i Temprado, Gonzalo Seco-Granados, José A. López-Salcedo
marc.fernandezt@gmail.com, gonzalo.seco@uab.cat, jose.salcedo@uab.cat
Dpto. de Telecomunicación, Universitat Autònoma de Barcelona (UAB) - CERES
Institut d'Estudis Espacials de Catalunya (IEEC)

Resumen—In this paper, we present the design, implementation, and validation of a complete software-defined radio (SDR)-based receiver for Orbcomm Low Earth Orbit (LEO) satellite signals, aimed at extracting observables for satellite-based positioning. The Orbcomm constellation, operating in the VHF band, provides unique opportunities for robust positioning in challenging environments due to its low attenuation and high signal power. We detail the system architecture, including hardware setup, signal acquisition, and software processing. Experimental results confirm the receiver's capability to track and process live satellite signals, with close alignment between extracted observables and theoretical models derived from orbital ephemerides. We further evaluate the constellation's geometric dilution of precision (GDOP) under single-satellite scenarios, highlighting limitations in positioning accuracy due to the inherent geometry. This work lays the foundation for future developments in real-time LEO satellite positioning and hybrid navigation systems.

Index Terms - satellite LEO, PNT, Orbcomm, signal processing, software defined radio, SDR, Doppler

I. INTRODUCCIÓN

La creciente demanda de soluciones de posicionamiento precisas ha impulsado la investigación más allá de los Sistemas Globales de Navegación por Satélite (GNSS) tradicionales. Aunque fundamentales, su dependencia de satélites en órbita media (MEO) limita la diversidad geométrica en tiempos cortos. Los satélites en órbita baja (LEO) ofrecen una alternativa prometedora gracias a su rápido movimiento, que incrementa la diversidad geométrica temporal y posibilita el posicionamiento con un solo satélite mediante mediciones sucesivas.

Dentro de las constelaciones de satélites LEO, el sistema Orbcomm se destaca por sus características únicas [1]. Aunque su número de satélites activos es limitado, su rápido movimiento y baja altitud orbital permiten un posicionamiento eficiente con un solo satélite. Además, Orbcomm opera en la banda VHF, lo que mejora la penetración de señales en entornos interiores, a diferencia de los GNSS, que sufren atenuación y efectos de propagación multitrayecto.

Este documento sirve como una referencia para la captura y el procesamiento de señales de Orbcomm con fines de posicionamiento. Describe la arquitectura completa del receptor, desde la configuración del hardware hasta el procesamiento basado en software para extraer observables. Al consolidar toda la información necesaria, este trabajo pretende facilitar futuras investigaciones sobre el posicionamiento basado en

Orbcomm, proporcionando una base sólida para futuros desarrollos en la navegación mediante satélites LEO.

II. DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA CONSTELACIÓN DE ORBCOMM

Para empezar, en este apartado se presentará la constelación de Orbcomm y las características de la señal del enlace descendente. Orbcomm es un proveedor global de soluciones IoT industriales especializado en comunicación M2M (máquina a máquina) vía redes satelitales y celulares. Permite el seguimiento y control remoto de activos en sectores como el transporte, marítimo, industria pesada y energía [2]. Su sistema se compone de tres segmentos [3]:

- **Segmento de Suscriptores:** Dispositivos (SCs) como módems satelitales y sensores IoT que transmiten y reciben datos con la red satelital.
- **Segmento Terrestre (Gateways):** Red de 16 estaciones terrestres (GESs) que gestionan SCs y conectan con el segmento espacial.
- **Segmento Espacial:** Constelación de satélites LEO que facilitan la comunicación entre los SCs y la infraestructura central de conmutación. A plena capacidad, consta de hasta 47 satélites distribuidos en siete planos orbitales [4]. La primera generación (1997-2014) incluyó 35 satélites, de los cuales pocos siguen operativos. Desde 2015, la segunda generación (OG-2) ha desplegado 18 satélites, aunque no todos están activos [4].

El sistema Orbcomm utiliza canales VHF para la comunicación entre SCs, satélites y GESs. El enlace ascendente (148,00–150,05 MHz) emplea acceso múltiple TDMA para optimizar el ancho de banda entre usuarios, mientras que el enlace descendente (137,0–138,0 MHz) utiliza acceso múltiple FDMA para permitir múltiples transmisiones simultáneas y mantener la integridad de la señal [3]. La Tabla I presenta un resumen de la constelación y los parámetros principales de la señal descendente.

Las señales de enlace descendente son especialmente interesantes para el posicionamiento basado en Señales de Oportunidad (SoP) debido a su transmisión predecible y disponibilidad continua. Para Orbcomm, su frecuencia relativamente baja mejora la propagación, con baja atenuación atmosférica y menor susceptibilidad a pérdidas en interiores, haciéndolas útiles para posicionamiento pasivo en interiores y exteriores.

TABLA I
PARÁMETROS DE LA CONSTELACIÓN DE ORBCOMM Y DE LA SEÑAL VHF
DEL ENLACE DESCENDENTE

Núm. de satélites	10 (activos)
Altitud de los satélites (km)	740-825
Velocidad radial (km/s)	6.55
Potencia de transmisión	+12 dBW EIRP [5]
Frec. enlace descendente (MHz)	137.175-137.8125
Ancho de banda (kHz)	25
Acceso múltiple	FDMA
Doppler Máximo (kHz)	± 3
Modo de transmisión	Modo continuo
Polarización	Circular a derechas (RHCP)
Modulación	SDPSK (<i>Symmetrical Differential Phase Shift Keying</i>), ($\pm 90^\circ$ saltos de fase)
Pulso conformador	Squared root raised cosine (40 % roll-off)
Tasa de símbolo	4800 Baud

TABLA II
CANALES DEL ENLACE DESCENDENTE DE ORBCOMM

Satellite ORBCOMM	Canal 1 (MHz)	Canal 2 (MHz)
FM107	137.2500	137.3125
FM108	137.4600	137.7125
FM109	137.2500	137.3125
FM110	137.2875	137.7375
FM112	137.6625	137.8000
FM113	137.6625	137.8000
FM114	137.2875	137.7375
FM116	137.6625	137.8000
FM117	137.4600	137.7125
FM118	137.2875	137.7375

A pesar de contar con varios satélites en órbita, el tráfico ha sido transferido a los 12 satélites más nuevos. En las pruebas realizadas por el autor, solo se han recibido señales de 10 satélites, cada uno transmitiendo en pares de frecuencias predefinidos (Tabla II). Estos canales son configurables, por lo que podrían cambiar en el futuro.

Además de los canales VHF, según [5], Orbcomm transmite una baliza (*beacon*) estable en 400.1 MHz (UHF), que puede mejorar la precisión del posicionamiento basado en el efecto Doppler. El autor no ha podido confirmar su presencia.

III. RECEPTOR ORBCOMM

A. Configuración del hardware

El hardware utilizado y, la configuración del mismo, para capturar señales de Orbcomm se muestran en la Tabla III. La cadena de recepción consta de una antena dipolo, un amplificador de bajo ruido (LNA) con un filtro integrado de onda acústica superficial (SAW) y una radio definida por software (SDR) para la digitalización de la señal.

La antena utilizada es un kit de antena dipolo RTL-SDR [6], en disposición de dipolo en V con cada monopolo de longitud 53,4 cm. A pesar de la polarización circular a

TABLA III
CONFIGURACIÓN PARA LA GRABACIÓN DE SEÑAL DE ORBCOMM

Hardware	
Componente	Detalles
Antena	RTL-SDR Dipole Antenna Kit (V-Dipole with 53,4 cm length)
Amplificador	Nooelec SAWbird+ NOAA
- Ganancia	41 dB
- Figura de ruido	1.1 dB
Radio Definida por Software (SDR)	bladeRF 2.0 micro
- Bias-tee	on
- AGC	off
- SDR gain	13 dB
- Central frequency	137.5 MHz
- Receiver bandwidth	637.5 kHz
- Sampling frequency	1.3056 MHz
Configuración del montaje	
	

derechas (RHCP) de las señales de Orbcomm, esta antena dipolo linealmente polarizada proporciona una recepción de señal suficientemente buena debido a los niveles elevados de señal procedentes de los satélites. La literatura sugiere el uso de una antena helicoidal cuadrifilar (QFH) [7] [8] [9], que ofrece una mejor adaptación de polarización, aunque a costa de un mayor tamaño, un precio más elevado y una menor portabilidad.

Se utiliza un LNA [10] para amplificar señales débiles y proporcionar una mayor selectividad. Aunque un LNA no siempre es necesario, el filtro SAW integrado en este modelo atenúa las señales terrestres fuertes, especialmente las de la banda de radiodifusión FM, la cual está bastante cerca de la frecuencia de interés. Con el filtro, se evita así la saturación del SDR y se mejora el rango dinámico general. Si no se emplea un LNA, se recomienda incluir un filtro de rechazo de banda FM para mitigar posibles interferencias de emisoras de radiodifusión potentes que podrían saturar el SDR.

El SDR utilizado es un bladeRF 2.0 micro, que opera con un bias-tee activado para alimentar el LNA. La frecuencia central se establece en 137,5 MHz, con un ancho de banda suficiente para capturar todo el espectro de la señal. La frecuencia de muestreo ha sido elegida específicamente para ser un múltiplo entero de la tasa de símbolos, lo que facilita un procesamiento eficiente de la señal y la demodulación en las etapas posteriores.

B. Receptor y procesamiento Software

El receptor basado en software estima parámetros clave para el posicionamiento y navegación, como la fase y frecuencia

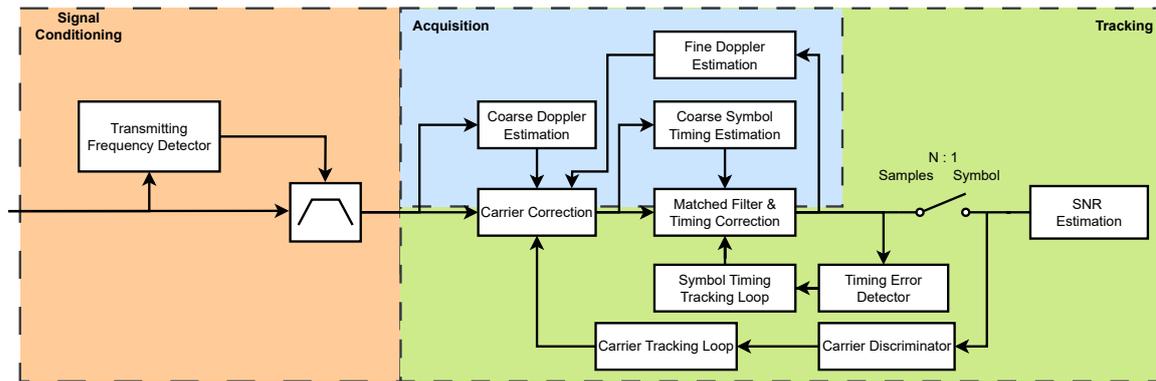


Fig. 1. Arquitectura de alto nivel del receptor software

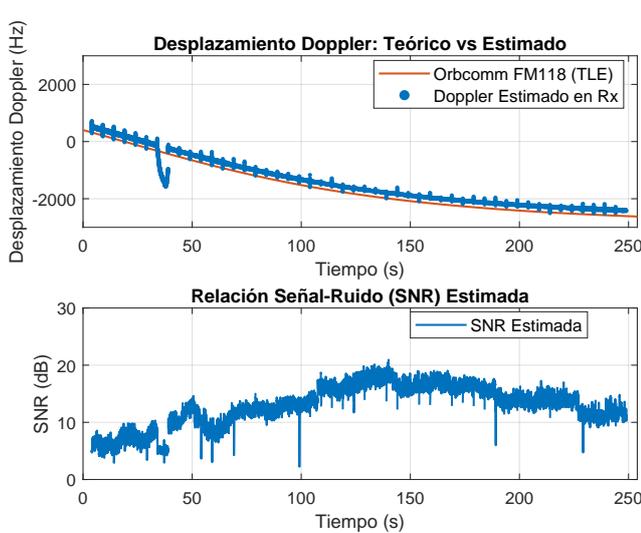


Fig. 2. Comparación de las observables de Doppler procesados con las predicciones teóricas a partir de efemérides TLE.

Doppler, el retraso temporal relativo en símbolos y la relación Señal-Ruido (SNR). La estimación precisa de Doppler permite deducir la posición del receptor, mientras que el cálculo del retraso asegura la sincronización y precisión en la estimación del SNR, lo que mejora la fiabilidad del posicionamiento.

La arquitectura del receptor (Fig. 1) consta de dos bloques principales:

- **Adquisición:** gestiona la sincronización inicial en frecuencia y tiempo y detecta señales Orbcomm.
- **Seguimiento:** mantiene la sincronización continua mediante bucles de seguimiento de fase y tiempo.

Una descripción más detallada se encuentra en [11].

C. Resultados Experimentales

El receptor Orbcomm fue implementado y validado con éxito mediante múltiples capturas de señales de los satélites OG-2. El sistema logró extraer observables, lo que demostró la capacidad del receptor para procesar transmisiones en directo de satélites de manera fiable.

Para evaluar la precisión de los observables, se compararon con las predicciones basadas a partir de los elementos orbitales Two-Line Element (TLE).

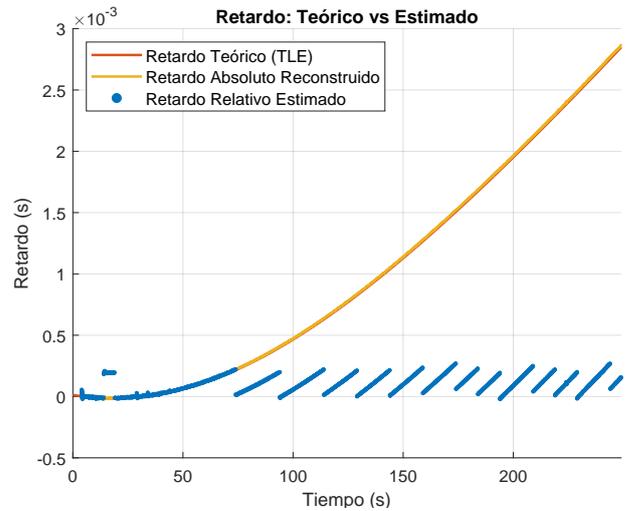


Fig. 3. Comparación de las observables del retardo extraído con las predicciones teóricas a partir de efemérides TLE.

La Fig. 2 compara el desplazamiento Doppler teórico, calculado a partir de efemérides orbitales, con el estimado por el receptor de software. La estimación sigue de cerca el modelo teórico. Sin embargo, entre 30 y 50 segundos, se observa una desviación transitoria, posiblemente causada por errores iniciales de adquisición, inestabilidad del bucle PLL o pérdidas momentáneas de sincronización.

El análisis del SNR (Fig. 2, parte inferior izquierda) muestra que esta desviación coincide con fluctuaciones significativas del SNR, incluyendo caídas por debajo de 5 dB, lo que sugiere que la degradación temporal de la señal afecta la sincronización de fase. Fuera de este intervalo, el receptor mantiene un seguimiento robusto y estimaciones precisas del Doppler.

El retardo teórico de propagación de la señal fue calculado a partir de los parámetros orbitales, y los valores estimados por el receptor se superpusieron para su validación. También se reconstruyó el retardo relativo, basándose en las efemérides del satélite. La traza azul muestra reinicios periódicos, que ocurren cuando la variación del retardo supera la duración de un símbolo, lo que refleja la ambigüedad inherente a la estimación a nivel de símbolo. Para compensar estos reinicios y obtener una estimación del retardo absoluto, se añadió

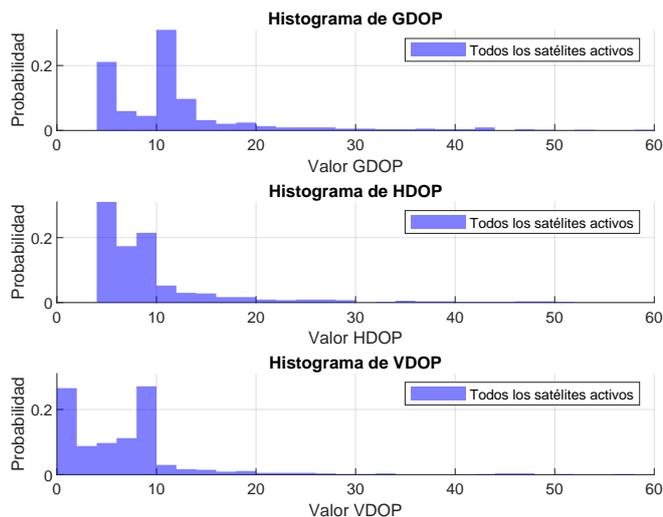


Fig. 4. Histogramas DOP de la constelación Orbcmm en escenarios de *single-satellite*

una duración de símbolo en cada reinicio. La curva amarilla continua en la Fig. 3 representa el retardo reconstruido, el cual sigue de cerca el retardo esperado derivado de las efemérides (curva roja). Los resultados evidencian un alto grado de concordancia entre los retrasos predichos y los estimados, lo que confirma la eficacia del receptor en el seguimiento de satélites Orbcmm.

IV. GEOMETRIA DE ORBCOMM

Demostrada la capacidad del receptor para rastrear satélites Orbcmm y extraer observables fiables, el siguiente aspecto clave es la configuración geométrica de la constelación. La distribución relativa de los satélites respecto al receptor influye directamente en la precisión del posicionamiento.

Dada la limitada visibilidad simultánea en Orbcmm, el análisis se centra en escenarios de posicionamiento con un único satélite y en la Dilución Geométrica de la Precisión (DOP) asociada a un receptor estacionario o con velocidad conocida, lo que permite evaluar las limitaciones geométricas y su impacto en la precisión alcanzable.

A. GDOP

La Fig. 4 muestra una amplia dispersión en los valores de GDOP, con una concentración predominante entre 5 y 15, aunque ocasionalmente se registran valores extremos superiores a 40. Dado que el posicionamiento se basa en un único satélite, la precisión alcanzable depende directamente de la trayectoria específica del pase del satélite. Ciertas configuraciones geométricas pueden resultar en que la precisión del posicionamiento pueda verse drásticamente reducida.

B. HDOP vs VDOP

En la misma figura, los valores de HDOP muestran una distribución concentrada, con un pico entre 5 y 10, lo que indica estabilidad en la precisión horizontal debido a la trayectoria relativamente constante del satélite en el plano horizontal. Por otro lado, la distribución de VDOP es más dispersa, con mayores valores extremos, reflejando una mayor sensibilidad a las variaciones geométricas. Esta variabilidad se

asocia con el ángulo de elevación del satélite: cuando este se encuentra cerca del horizonte, su contribución a la precisión vertical disminuye.

Durante pasos con baja elevación, la incertidumbre en la estimación de la coordenada vertical se incrementa debido a la disminución de la contribución geométrica en dicha dimensión. En contraste, durante pasos cercanos al cenit, la incertidumbre se desplaza hacia las coordenadas horizontales, lo que mejora la precisión vertical a expensas de una menor precisión horizontal.

V. CONCLUSIONES

Los resultados presentados confirman la viabilidad de utilizar un receptor Orbcmm basado en SDR para extraer observables aplicables al posicionamiento satelital y estudios ionosféricos.

Respecto a la geometría satelital, los valores extremos de GDOP revelan condiciones geométricas ocasionalmente desfavorables, que pueden degradar significativamente la precisión durante ciertos pases. Esto resalta la necesidad de seleccionar cuidadosamente los instantes de posicionamiento o de integrar modelos predictivos que mitiguen dichas limitaciones. Así, aunque la constelación Orbcmm permite el posicionamiento con un solo satélite, las restricciones geométricas generan variaciones notables en la precisión obtenida.

Las metodologías desarrolladas pueden ampliarse hacia el procesamiento en tiempo real y la integración con marcos de posicionamiento híbrido que combinen múltiples constelaciones LEO.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha recibido financiación de la Generalitat de Cataluña en el marco de la Estrategia de New Space de Cataluña.

REFERENCIAS

- [1] Z. M. Kassas, S. Kozhaya, H. Kanj, J. Saroufim, S. W. Hayek, M. Neinavaie, N. Khairallah, and J. Khalife, "Navigation with multi-constellation leo satellite signals of opportunity: Starlink, oneweb, orbcmm, and iridium," in *2023 IEEE/ION Position, Location and Navigation Symposium (PLANS)*, pp. 338–343, IEEE, 2023.
- [2] I. ORBCOMM, "Industrial iot and m2m tracking, monitoring and control solutions," 2025. Accessed: 2025-03-16.
- [3] S. Reid, R. B. Director, M. Lord, and T. Rudd, "A80td0008-revision g orbcmm system overview."
- [4] J. J. Morales, J. Khalife, A. A. Abdallah, C. T. Ardito, and Z. M. Kassas, "Inertial navigation system aiding with orbcmm leo satellite doppler measurements," in *Proceedings of the 31st International Technical Meeting of the Satellite Division of The Institute of Navigation (ION GNSS+ 2018)*, pp. 2718–2725, 2018.
- [5] J. Harms, "The orbcmm experience," in *EMPS 2004 6th European Workshop on Mobile/Personal Satcoms & ASMS 2004 2nd Advanced Satellite Mobile Systems Conference*, 2004.
- [6] RTL-SDR, "Rtl-sdr blog multipurpose dipole antenna kit," 2025. Accessed: 2025-03-16.
- [7] N. Jardak, R. Adam, and Q. Jault, "Leveraging multi-leo satellite signals for opportunistic positioning," *IEEE Access*, 2024.
- [8] M. Orabi, J. Khalife, and Z. M. Kassas, "Opportunistic navigation with doppler measurements from iridium next and orbcmm leo satellites," in *2021 IEEE Aerospace Conference (50100)*, pp. 1–9, IEEE, 2021.
- [9] C. T. Ardito, J. J. Morales, J. Khalife, A. Abdallah, Z. M. Kassas, et al., "Performance evaluation of navigation using leo satellite signals with periodically transmitted satellite positions," in *Proceedings of the 2019 International Technical Meeting of The Institute of Navigation*, pp. 306–318, 2019.
- [10] Nooelec, "Sawbird+," 2025. Accessed: 2025-03-16.
- [11] I. Ascaso, G. Seco-Granados, and J. A. López-Salcedo, "Monitorización de señales de satélites leo mediante un receptor definido por software (sdr)," ., 2024.