SDR による QZSS L6 単独受信機の開発

Develepment of QZSS L6 Receiver without Pilot Signal by using SDR

高須　知二
Tomoji Takasu

東京海洋大学
Tokyo University of Marine Science and Technology

１．まえがき

準天頂衛星（QZSS）センチメータ級測位補強データ（CLAS または MADOCA-PPP）は L6（L6D または L6E）信号に含まれる航法データとして配信される。他の測位信号とは異なり、L6 信号の拡散コードは航法データにより CSK（code shift keying）変調されているため、標準的な DLL や PLL による信号追尾は困難である。従って、既存の L6 信号対応受信機では L6 信号の捕捉・追尾は行わず、L1C/A や L2C をパイロット信号として、L6 航法データのみ復調するのが一般的である。この方式では、(1) 2CH または広帯域の RF フロントエンドが必要、(2) L6 信号の擬似距離が得られず、測距信号としては利用できない、という問題があった。本研究では以上の問題を解決し、パイロット信号を必要とせず、L6 単独で信号捕捉・追尾、航法データ復調を行う受信機（以下「本受信機」）を新たに考案した。考案した受信機を SDR（software-defined radio）により実装して、その動作や性能を確認した。

２．信号捕捉・追尾、航法データ復調

本受信機の動作は以下の通りである。

(1) 信号捕捉

信号捕捉は L6 拡散コードサイクル（4 ms）×2 単位のゼロパディング付サーキュラー相関により行う。信号捕捉により、CSK コードシフト分を含む初期コード位相とドップラー周波数が得られる。なお、L6 信号の場合、CSK コードシフト量は 0~255 チップに限定されるため、CSK による相関電力ロスは 0.1dB 以下とほぼ無視できる。

(2) 信号追尾

(1)の初期コード位相を先頭として 4 ms 分の IF データを切り出し、IF 搬送波を掛け合わせた後、FFT により L6 拡散コード（レプリカ）との並列相関を取る。相関ピークの位置は CSK 変調により不規則に変動するが、変動範囲は ±255 チップ内に収まる。補間した相関値から、範囲内の相関ピーク（チップ単位）を検索する。ピーク位置からコードシフトと P/E/L（prompt/early/late）相関値を求める。P 相関値を FLL/PLL に、E/L 相関値を DLL に入力して、IF 搬送波位相・周波数、IF データ先頭位置を連続的に調整する。なお信号捕捉直後は FLL、信号追尾安定後は PLL に切り替える。PLL として Costas PLL の代わりに標準 PLL を使うことにより搬送波追尾性能を改善する。

以上の信号追尾は L6D または L6E 信号単独で行うこともできるが、両者を同時追尾し、相関値を加算することにより、3 dB の相関電力ゲインが得られる。

(3) 航法データ復調

(2)で得られたコードシフトには未知のオフセットが含まれるが、各コードシフト間の相対値は維持される。この関係を使って、航法データのフレーム同期を行う。具体的には 2 フレーム分のプリアンブル位置のコードシフトと先頭コードシフトとの差分を監視し、2 プリアンブルとプリアンブル先頭との差分と一致した場合、フレーム同期と判定する。フレーム同期によりコードシフトの未知オフセットが確定するので、これを使って元のフレームを再生した後、リードソロモン符号によりエラー訂正を行い、航法データを出力する。

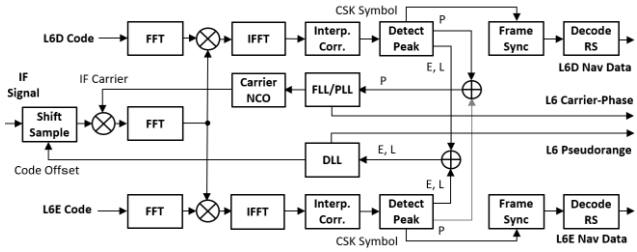

図１　L6 信号追尾・航法データ復調機能ブロック図

３．SDR による受信機の実装と評価

本受信機を SDR により実装した。RF フロントエンドとしては PocketSDR [1] を使い、PLL 周波数 1287.75 MHz、IF 周波数 0 Hz、ADC 周波数 12 MHz（I/Q×2 bits）、IF フィルタ帯域幅 8.7 MHz に設定した。信号捕捉・追尾、航法データ復調は Python 3 で実装し、基本動作の確認後、高速化のため一部のコードを C で書き直した。FFT には FFTW3（単精度）、リードソロモン符号によるエラー訂正には LIBFEC を利用した。以上を小型 PC（CPU: Core i5-7260U、2C4T、OS: Ubuntu 18.04 LTS）にインストールし、アンテナは HX-CSX601A を 4P スプリッタを介して RF フロントエンドに接続した。本受信機による L6 信号追尾、航法データの復調状況を図 2 に示す。受信機は正常動作し、航法データ正常復調時の C/N0 は 35～47 dB-Hz、リアルタイム追尾（1 CH）時の全 CPU 負荷は 11～13 %であった。

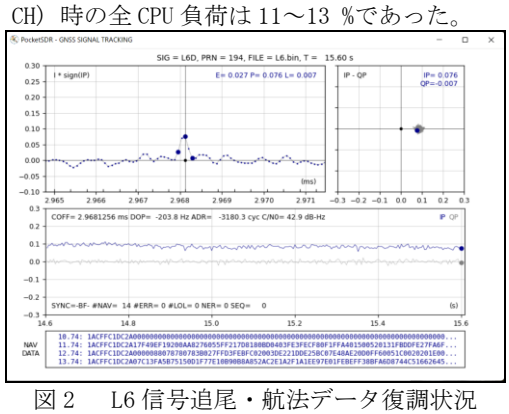

図２　L6 信号追尾・航法データ復調状況

参照文献

[1] PocketSDR - An Open-Source GNSS SDR
(https://www.github.com/tomojitakasu/PocketSDR)