

漂流ブイの位置算出アルゴリズム

海洋調査課 ・ 西田英男

An Location Algorithm for DCS Drifting Buoy

Hideo Nishida : Ocean Survey Division

1. まえがき

軌道衛星に搭載してあるDCSは発信体の位置を検出することができる。この特性は漂流ブイのような、移動する観測プラットフォームにとってきわめて有効であり、水路部においては、1980年以来、黒潮変動の研究を目的として漂流ブイの実験を続けている。現在、ノア衛星のDCSはアルゴシステムにより運用されており、水路部もフランスのサービスアルゴよりデータの提供を受けている。一方、このDCSからデータを地上へ送るVHF帯の電波を利用して、リアルタイム運用の可能な設備(LUT, Local User's Terminal と呼ばれる)の有用性も徐々に認識され出し、水路部においても1982年以来その開発にとりかかっている。この報文では、LUTシステムの一部をなす位置算出アルゴリズムについて報告する。

2. 原 理

プラットフォームより発射される電波は、その時の衛星とプラットフォームの相対速度に依存するドップラースhiftを受ける。この周波数を測定することができると、プラットフォームは衛星位置を中心とするある円錐面上にあることがわかる。漂流ブイは約1分に1回ずつ電波を発射しているので、衛星が上空を通過する場合数回の受信を行うことができる。このため、プラットフォームの位置は上記の各円錐と海面の交点として求めることができる。

3. アルゴリズム

実際の計算手順は、上記の原理のそのままの応用ではなく、次のようにして行う。この方法はNNSにおいて位置を算出する手法と原理的には同じである(木村1977)。

まず、時刻と受信周波数のデータが何組か得られたものとする。最初に行うのは、各時刻における衛星位置及び速度の計算である。軌道情報はDCSから直接手に入れることはできないので、何らか別の手段で手に入れる必要がある。ノア衛星の軌道情報については気象庁で入手可能である。次に、プラットフォームの位置と発信周波数について推測値を与える(発信周波数については、漂流ブイのようなプラットフォームの場合、投入以来かなりドリフトをおこしているものと考えられるので未知変数として扱う)。この推測位置をもとにして受信周波数を計算する。この計算周波数は実際に観測される周波数と少し異っている。この差異が、推測位置と真位置のずれ及び推測周波数と真周波数の差にもとずくと考えて、展開する。具体的には、受信周波数 f を発信位置の緯度 φ 、経度 λ 、発信周波数 F の関数 $g(\varphi, \lambda, F)$ と考え、計算周波数と受信周波数との差 Δf を、位置のずれ $(\Delta\varphi, \Delta\lambda)$ 、周波数のずれ (ΔF) で展開する：

$$\Delta f = \frac{\partial g}{\partial \varphi} \Delta \varphi + \frac{\partial g}{\partial \lambda} \Delta \lambda + \frac{\partial g}{\partial F} \Delta F \dots\dots\dots (1)$$

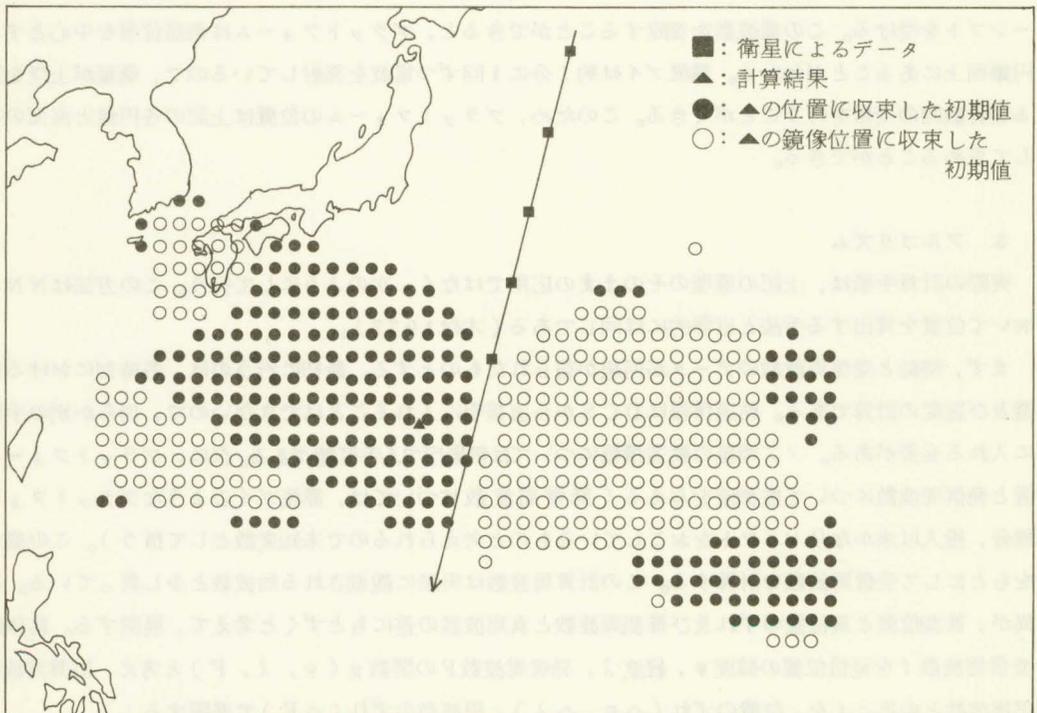
データは複数個あるので、上記(1)の形の方程式が複数個得られ、 $\Delta \varphi$ 、 $\Delta \lambda$ 、 ΔF を未知変数とする連立一次方程式系を構成する。方程式の数は未知変数の数よりも普通は多いので最小二乗法を用いて解くことになる。問題は、 $\partial g / \partial \varphi$ 、 $\partial g / \partial \lambda$ 、 $\partial g / \partial F$ の具体的な形を求めることに帰着される。これは次のようにして求めることができる。衛星からプラットフォームに向けたベクトルと衛星の速度ベクトルのなす角を θ とすると、ドップラシフトは次の形で表わせる。

$$F_d = \frac{v}{c} \cos \theta F \dots\dots\dots (2)$$

$\cos \theta$ は地心赤道座標系を用いて表わすことができる。

$$\cos \theta = \frac{dX_s}{dt} X_d + \frac{dY_s}{dt} Y_d + \frac{dZ_s}{dt} Z_d \sqrt{\left(\frac{dX_s}{dt}\right)^2 + \left(\frac{dY_s}{dt}\right)^2 + \left(\frac{dZ_s}{dt}\right)^2} \sqrt{X_d^2 + Y_d^2 + Z_d^2} \dots\dots\dots (3)$$

上式において、 (X_s, Y_s, Z_s) は衛星位置、 $(\frac{dX_s}{dt}, \frac{dY_s}{dt}, \frac{dZ_s}{dt})$ は衛星速度、 (X_d, Y_d, Z_d) は衛星からプラットフォームに向けたベクトルである。上の3つのベクトルのうち前の2つは (φ, λ) に無関係であるので、 (X_d, Y_d, Z_d) の (φ, λ) 依存性を求めれば良いことになる。 $(X_d, Y_d, Z_d) = (X_p - X_s, Y_p - Y_s, Z_p - Z_s)$ であるから (X_p, Y_p, Z_p) はプラットフォームの位置、結局、最終的には (X_p, Y_p, Z_p) の (φ, λ) 依存性を求めることに帰着される。この依存性は、経緯度座標系と地心赤道座標系の間の変換式によって表わされる。(坪川1974)



第1図 初期推定値が計算結果に与える影響

$$\begin{pmatrix} X_p \\ Y_p \\ Z_p \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} (N + hg) \cos \varphi \cos \lambda \\ (N + hg) \cos \varphi \sin \lambda \\ \{(1 - e^2) N + hg\} \sin \varphi \end{pmatrix} \dots\dots\dots (4)$$

上式において、 $N = a(1 - e^2) \sin^2 \varphi$ 、 a は基準回転楕円体の長軸、 e は離心率、 hg はジオイド高である。基準回転楕円体としてはWGS-72をとることができる。

4. テスト結果

上記のアルゴリズムを実際のデータについて確かめてみた。計算はパーソナルコンピュータ(NEC PC-8800)を用いて行われた。結果は第1図に示されている。求めた位置は図の中で▲で表わされている(24.81°N, 141.70°E)。初期推定位置が収束計算にどのような影響を与えるかを調べるために、1°メッシュ格子点全点について計算を行ってみた。その結果、正しい位置に収束したものと衛星軌道に対しての鏡像位置に収束したものが図のような分布を示した。鏡像位置より真位置を求めるのは容易であるので、図の各点はすべて収束したものと考えることができ、かなり広い範囲を初期位置に選ぶことができることがわかる。