

到来角を利用する受信のみによる波源の位置の測定

鈴木 力

Passive Emitter Location Using the Angle of Arrival Measurements

Chikara SUZUKI

Sometimes it is necessary to locate the emitter of electromagnetic wave by receiving only. In this case there is a method using the angle of arrival. In this paper, the case in which the source is travelling with constant speed and the single observer is travelling with constant acceleration on the straight line, is discussed.

1 序 論

電磁波や音波を放射している波源の位置を受信のみによって求めたい場合がある。電磁波や音波の到来方向とその変化を利用する方法については、カルマンフィルターを使用する方法が発表されているが^{(1)~(3)}，観測者と波源の相対運動に基づいて波源の位置を求める基本式が解析的に解かれていないため，この方法の特性を把握することが困難である。実用上は，観測者は，比較的簡単な運動をする場合が多いと考えられるので，本論文では，観測者が等加速度直線運動，波源が等速直線運動をしている場合について基本式を求め，本問題研究の端緒とする。

2 基本式

観測者が直線運動をしている方向に y 軸，測定時の速度，加速度を v_o ， a_o とし，測定を実施する位置を原点 O として図に示すような $x-y$ 座標を定める。波源はその時 x 軸に対して角 β の方向にあり，点 $P(x_T, y_T)$ で速度 $v_T(v_{Tx}, v_{Ty})$ の等速直線運動をしているとすると次式が得られる。

図 観測者と波源の位置の関係

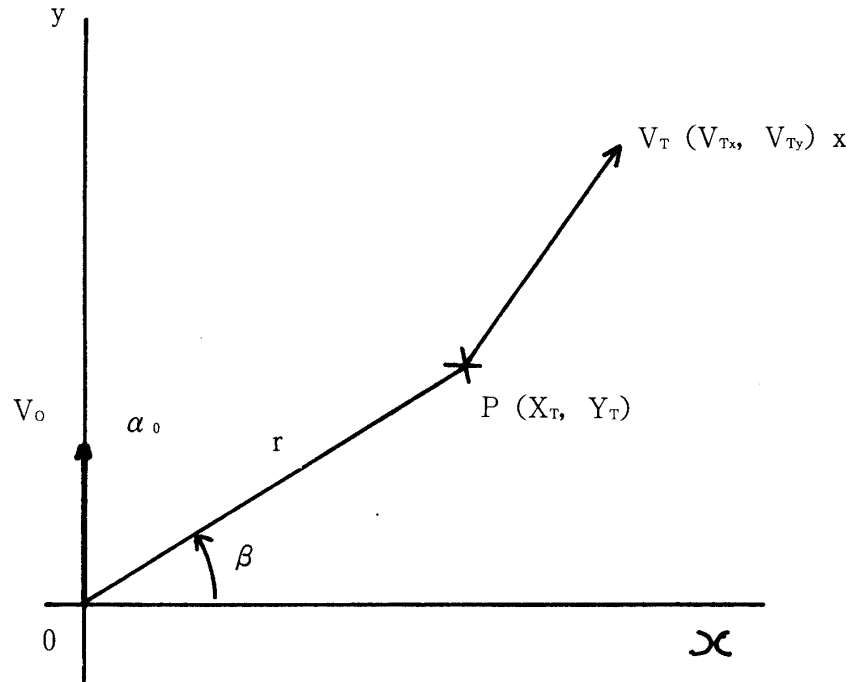


Fig. Geometric configuration of the observer and the source.

$$r = (x_T^2 + y_T^2)^{1/2} \quad (1)$$

$$\beta = \tan^{-1} y_T / x_T \quad (2)$$

$$r (d\beta / dt) = v_{Toy} \cos \beta - v_{Tx} \sin \beta \quad (3)$$

$$r (d^2 \beta / dt^2) + \alpha_0 \cos \beta = -2 (d\beta / dt) (v_{Tx} \cos \beta + v_{Toy} \sin \beta) \quad (4)$$

$$\begin{aligned} d^3 \beta / dt^3 = & -\alpha_0 v_{Tx} / r^2 \\ & + 4 \alpha_0 \cos \beta (v_{Tx} \cos \beta + v_{Toy} \sin \beta) / r^2 \\ & - 2 (v_{Toy} \cos \beta - v_{Tx} \sin \beta) (v_{Tx}^2 + v_{Toy}^2) / r^3 \\ & + 2 \alpha_0 \sin \beta (v_{Toy} \cos \beta - v_{Tx} \sin \beta) / r^2 \\ & + 8 (v_{Toy} \cos \beta - v_{Tx} \sin \beta) \\ & (v_{Tx} \cos \beta + v_{Toy} \sin \beta)^2 / r^3 \end{aligned} \quad (5)$$

ここに $v_{Toy} = v_{Ty} - v_0$ である。

式 (3), (4), (5) より v_{Tx} , v_{Toy} を消去すると次式が得られる。

$$r = 3 \alpha_0 \{ (d^2 \beta / d t^2) \cos \beta + 2 (d \beta / d t)^2 \sin \beta \} / \{ 2 (d^3 \beta / d t^3) (d \beta / d t) - 3 (d^2 \beta / d t^2)^2 + 4 (d \beta / d t)^4 \} \quad (6)$$

すなわち

$$2 (d^3 \beta / d t^3) (d \beta / d t) - 3 (d^2 \beta / d t^2)^2 + 4 (d \beta / d t)^4 \neq 0 \quad (7)$$

ならば、式(6)の右辺は、すべて測定可能な量であるから、観測者から波源までの距離 r を求めることができる。波源の方位角 β は直接測定できるから、 r と β によって波源の位置を求めることができる。

3 検 討

(1) 観測者が等速直線運動をしている場合、変数は、 x_T , y_T , v_{Tx} , v_{Ty} の4個であるから、次の独立の4個の方程式が成立する。

$$r = (x_T^2 + y_T^2)^{1/2} \quad (8)$$

$$\beta = \tan^{-1} y_T / x_T \quad (9)$$

$$r (d \beta / d t) = v_{Ty} \cos \beta - v_{Tx} \sin \beta \quad (10)$$

$$r (d^2 \beta / d t^2) = -2 (d \beta / d t) (v_{Tx} \cos \beta + v_{Ty} \sin \beta) \quad (11)$$

$d^3 \beta / d t^3$ は、独立ではなく次のように $d^2 \beta / d t^2$, $d \beta / d t$ の関数となり、式(7)を零とおいた式と一致する。

$$2 (d^3 \beta / d t^3) (d \beta / d t) = 3 (d^2 \beta / d t^2)^2 - 4 (d \beta / d t)^4 \quad (12)$$

観測できる到来角とその変化量は、 β , $d \beta / d t$, $d^2 \beta / d t^2$ の3個、未知量は、 r , β , $d \beta / d t$, $d^2 \beta / d t^2$ の4個であるから、方程式を解いて波源の位置を求めることはできない。

(2) 波源が等加速度直線運動をしている場合、変数は、 x_T , y_T , v_{Tx} , v_{Ty} , α_0 の5個であるから、独立な方程式は式(1)～(5)の5個となり、観測できる到来角とその変化量は、 β , $d \beta / d t$, $d^2 \beta / d t^2$, $d^3 \beta / d t^3$ の4個、未知量は r , β , v_{Tx} , v_{Ty}

の4個であるから、これらの方程式を解いて波源の位置を求めることができる。 $d^4\beta/dt^4$ は独立ではなく、次のように β , $d\beta/dt$, $d^2\beta/dt^2$, $d^3\beta/dt^3$ の関数となる。

$$\begin{aligned} (d^4\beta/dt^4) (d\beta/dt)^2 = & \\ \{ 2 (d^3\beta/dt^3) (d\beta/dt) - 3 (d^2\beta/dt^2)^2 + 4 (d\beta/dt)^4 \}^2 & \\ / [3 \{ (d^2\beta/dt^2) + 2 (d\beta/dt)^2 \tan \beta \}] & \\ + (d^2\beta/dt^2) \{ 4 (d^3\beta/dt^3) (d\beta/dt) & \\ + 3 (d^2\beta/dt^2)^2 + 4 (d\beta/dt)^4 \} & \end{aligned} \quad (13)$$

4 結 論

波源が等速直線運動、観測者が等加速度運動をしている場合について、到来角とその変化を利用して波源の位置を計算する基本式を解析的に求めた。また、

- (1) 観測者が等速直線運動をしている場合には、波源の位置を求めることが出来ないこと、
- (2) 観測者が等加速度直線運動をしている場合にも、波源が近似的に等速運動をしていることを前提としないと波源の位置を求められないこと

を明らかにした。

5 謝 辞

本研究実施にあたり、御激励をいただいた本学電気工学科主任教授 工学博士 藤本三治氏、また、適切な助言を頂いた本学電子計算機室講師 工学博士 石井信彦氏、同室員 清水英行氏に感謝する。

参考文献

- (1) A. G. Lindgren and K. Gong,
"Position and Velocity Estimation Via
Bearing Observations,"
IEEE Trans. Aerosp. Electron. Syst.,
Vol. AES-14, NO. 4, July 1978, p564~577.
- (2) V. J. Aidala, "Kalman Filter Behavior in
Bearings-Only Tracking Applications,"
IEEE Trans. Aerosp. Electron. Syst.,

Vol. AES-15, NO. 1, Jan. 1979, p 29~39.

- (3) S. C. Nardone and V. J. Aidara,
"Observability Criteria For Bearing-Only
Target Motion Analysis,"
IEEE Trans. Aerosp. Electron. Syst.,
Vol. AES-17, NO. 2, March 1981, p 162~166.

(平成3年12月19日受理)