B-2-27
2017年　電子情報通信学会総合大会

ドップラ併用の場合の TOA と TDOA の測位

Estimation of TOA and TDOA Location System with Additional Doppler Measurements

小菅 義夫[†,††]，古賀 禎[†]，宮崎 裕己[†]，呂　暁東[†]，秋田 学[††]，稲葉 敬之[††]
Yoshio KOSUGE[†,††], Tadashi KOGA[†], Hiromi MIYAZAKI[†], Xiaodong LU[†], Manabu Akita[††], and Takayuki Inaba[††]
†電子航法研究所，††電気通信大
†Electronic Navigation Research Institute , ††University of Electro-Communications

1．はじめに

本稿は，ドップラを併用する場合の TOA 及び TDOA による三次元の位置・速度推定について述べる．

2．観測モデル

目標とは異なる位置にある i 番目の基地局の位置 $\underline{B}_i$ 及び速度 $\dot{\underline{B}}_i$（既知）を，三次元直交座標で，次式で表す．

$$\underline{B}_i=(x_i,y_i,z_i)^T \quad (1), \qquad \dot{\underline{B}}_i=(\dot{x}_i,\dot{y}_i,\dot{z}_i)^T \quad (2)$$

また，目標の位置 $\underline{L}$ 及び速度 $\dot{\underline{L}}$（未知）を次式で表す．

$$\underline{L}=(x,y,z)^T \quad (3), \qquad \dot{\underline{L}}=(\dot{x},\dot{y},\dot{z})^T \quad (4)$$

i 番目の距離観測値 R_{io} は次式とする．

$$R_{io}=R_i+S+v_i \quad (5)$$

$$R_i=f_i(x,y,z)=\sqrt{(x_i-x)^2+(y_i-y)^2+(z_i-z)^2} \quad (6)$$

ここで，S は時計誤差による距離のバイアス誤差，v_i は距離のランダムな観測誤差である．

i 番目のドップラ観測値 $\dot{R}_{io}$ は次式とする．

$$\dot{R}_{io}=\dot{R}_i+\dot{v}_i \quad (7)$$

$$\dot{R}_i=g_i(x,y,z,\dot{x},\dot{y},\dot{z})=\frac{(x_i-x)(\dot{x}_i-\dot{x})+(y_i-y)(\dot{y}_i-\dot{y})+(z_i-z)(\dot{z}_i-\dot{z})}{R_i} \quad (8)$$

ここで．$\dot{v}_i$ はドップラのランダムな観測誤差である．次に

$$\underline{v}=(v_1,\cdots,v_n,\dot{v}_1,\cdots,\dot{v}_n)^T \quad (9)$$

とし，次式を仮定する． なお，$E[\ ]$ は平均を表す．

$$E[\underline{v}]=\underline{0} \quad (10)$$

$$V=E\left[\underline{v}\underline{v}^T\right]>0 \quad (11)$$

また，観測雑音は，センサ間で無相関とする．

3　TOA 測位

目標の位置．速度推定のための初期値をそれぞれ x_0,y_0,z_0 並びに $\dot{x}_0,\dot{y}_0,\dot{z}_0$ とし，

$$\Delta R_{io}=R_{io}-f_i(x_0,y_0,z_0) \quad (12)$$

$$\Delta\dot{R}_{io}=\dot{R}_{io}-g_i(x_0,y_0,z_0,\dot{x}_0,\dot{y}_0,\dot{z}_0) \quad (13)$$

$$\underline{b}=(\Delta R_{1o},\cdots,\Delta R_{no},\Delta\dot{R}_{1o},\cdots,\Delta\dot{R}_{no})^T \quad (14)$$

$$\underline{a}=(x-x_0,y-y_0,z-z_0,S,\dot{x}-\dot{x}_0,\dot{y}-\dot{y}_0,\dot{z}-\dot{z})^T \quad (15)$$

とすると，次の線形観測モデルを得る．

$$\underline{b}=A\underline{a}+\underline{v} \quad (16)$$

ここで，$O_{a,b}$ を $a\times b$ の零行列とし，

$$\underline{\omega}(i)=\begin{pmatrix}\alpha_i & \beta_i & \gamma_i\end{pmatrix} \quad (17), \qquad \underline{\delta}(i)=\begin{pmatrix}\underline{\omega}(i) & 1\end{pmatrix} \quad (18)$$

$$\underline{\mu}(i)=\begin{pmatrix}\alpha_{il} & \beta_{il} & \gamma_{il}\end{pmatrix} \quad (19), \qquad \underline{\kappa}(i)=\begin{pmatrix}\underline{\mu}(i) & 0\end{pmatrix} \quad (20)$$

$$A_l=\begin{pmatrix}\underline{\delta}(1)^T & \cdots & \underline{\delta}(n)^T\end{pmatrix}^T \quad (21)$$

$$A_{ld}=\begin{pmatrix}\underline{\kappa}(1)^T & \cdots & \underline{\kappa}(n)^T\end{pmatrix}^T \quad (22)$$

$$A_d=\begin{pmatrix}\underline{\omega}(1)^T & \cdots & \underline{\omega}(n)^T\end{pmatrix}^T \quad (23)$$

とすれば，

$$A=\begin{pmatrix}A_l & O_{n,3}\\ A_{ld} & A_d\end{pmatrix} \quad (24)$$

なお，式(17)及び(19)の各要素は，距離及びドップラの線形近似の係数である．

（前提条件１） $\underline{\omega}(j)-\underline{\omega}(1)$ $(j=2,\cdots,n)$ のうち，いずれか3個が１次独立とする．

（性質１） 前提条件１が成立するとき，式(16)における式(15)の推定値は次式で，次の性質を有する．

$$\hat{\underline{a}}=(A^TV^{-1}A)^{-1}A^TV^{-1}\underline{b} \quad (25)$$

$$E[\hat{\underline{a}}]=\underline{a} \quad (26)$$

$$E\left[(\hat{\underline{a}}-\underline{a})(\hat{\underline{a}}-\underline{a})^T\right]=(A^TV^{-1}A)^{-1} \quad (27)$$

4．TDOA 測位

$$\underline{d}=(\Delta R_{2o}-\Delta R_{1o},\cdots,\Delta R_{no}-\Delta R_{1o},\Delta\dot{R}_{1o},\cdots,\Delta\dot{R}_{no})^T \quad (28)$$

$$\underline{c}=(x-x_0,y-y_0,z-z_0,\dot{x}-\dot{x}_0,\dot{y}-\dot{y}_0,\dot{z}-\dot{z})^T \quad (29)$$

$$\underline{w}=(v_2-v_1,\cdots,v_n-v_1,\dot{v}_1,\cdots,\dot{v}_n)^T \quad (30)$$

とすると，次の線形観測モデルを得る．

$$\underline{d}=B\underline{c}+\underline{w} \quad (31)$$

ここで，

$$B_l=\begin{pmatrix}\left[\underline{\omega}(2)-\underline{\omega}(1)\right]^T & \cdots & \left[\underline{\omega}(n)-\underline{\omega}(1)\right]^T\end{pmatrix}^T \quad (32)$$

$$B_{ld}=\begin{pmatrix}\underline{\mu}(1)^T & \cdots & \underline{\mu}(n)^T\end{pmatrix}^T \quad (33)$$

とすれば，

$$B=\begin{pmatrix}B_l & O_{n-1,3}\\ B_{ld} & A_d\end{pmatrix} \quad (34)$$

なお，次式を得る．

$$E[\underline{w}]=\underline{0} \quad (35)$$

（性質２）式(11)が成立するとき，次式を得る．

$$W=E\left[\underline{w}\underline{w}^T\right]>0 \quad (36)$$

（性質３） 前提条件１が成立するとき，式(31)における式(29)の推定値は次式で，次の性質を有する．

$$\hat{\underline{c}}=(B^TW^{-1}B)^{-1}B^TW^{-1}\underline{d} \quad (37)$$

$$E[\hat{\underline{c}}]=\underline{c} \quad (38)$$

$$E\left[(\hat{\underline{c}}-\underline{c})(\hat{\underline{c}}-\underline{c})^T\right]=(B^TW^{-1}B)^{-1} \quad (39)$$

5．性能比較

TOA での位置・速度推定値は， I を 3 次の単位行列とすれば，次式となる．

$$\hat{\underline{a}}_K=K\hat{\underline{a}} \quad (40)$$

ここで，次式を定義する．

$$K=\begin{pmatrix}I & O_{3,1} & 0I\\ 0I & O_{3,1} & I\end{pmatrix} \quad (41)$$

（性質４） 前提条件１が成立するとき，次の性質を有する．

$$\hat{\underline{a}}_K=\hat{\underline{c}} \quad (42)$$

6．まとめ

距離とドップラを併用する場合も，TOA 及び TDOA による三次元の位置・速度の推定結果は同一であることを示した．