

(12) 按照专利合作条约所公布的国际申请

(19) 世界知识产权组织
国际局

(43) 国际公布日
2020 年 1 月 9 日 (09.01.2020)



(10) 国际公布号
WO 2020/006672 A1

(51) 国际专利分类号:
G06T 7/20 (2017.01)

李良群(LI, Liangqun); 中国广东省深圳市南山区
南海大道3688号, Guangdong 518060 (CN)。

(21) 国际申请号: PCT/CN2018/094175

(74) 代理人: 深圳市恒申知识产权事务所(普通合伙)(HENSEN INTELLECTUAL PROPERTY FIRM); 中国广东省深圳市福田区南园路68号
上步大厦10H, Guangdong 518000 (CN)。

(22) 国际申请日: 2018 年 7 月 3 日 (03.07.2018)

(25) 申请语言: 中文

(26) 公布语言: 中文

(71) 申请人: 深圳大学(SHENZHEN UNIVERSITY) [CN/
CN]; 中国广东省深圳市南山区南海大道
3688号, Guangdong 518060 (CN)。

(81) 指定国(除另有指明, 要求每一种可提供的国家
保护): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG,
BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU,
CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB,
GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS,
JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK,
LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX,
MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL,
PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL,

(72) 发明人: 刘宗香(LIU, Zongxiang); 中国广东省深
圳市南山区南海大道3688号, Guangdong 518060
(CN)。 张慧(ZHANG, Hui); 中国广东省深圳市南
山区南海大道3688号, Guangdong 518060 (CN)。

(54) Title: TRAJECTORY INITIATION METHOD AND DEVICE FOR THREE-DIMENSIONAL SPACE TURNING MANEUVERING TARGET

(54) 发明名称: 三维空间转弯机动目标的轨迹起始方法及装置

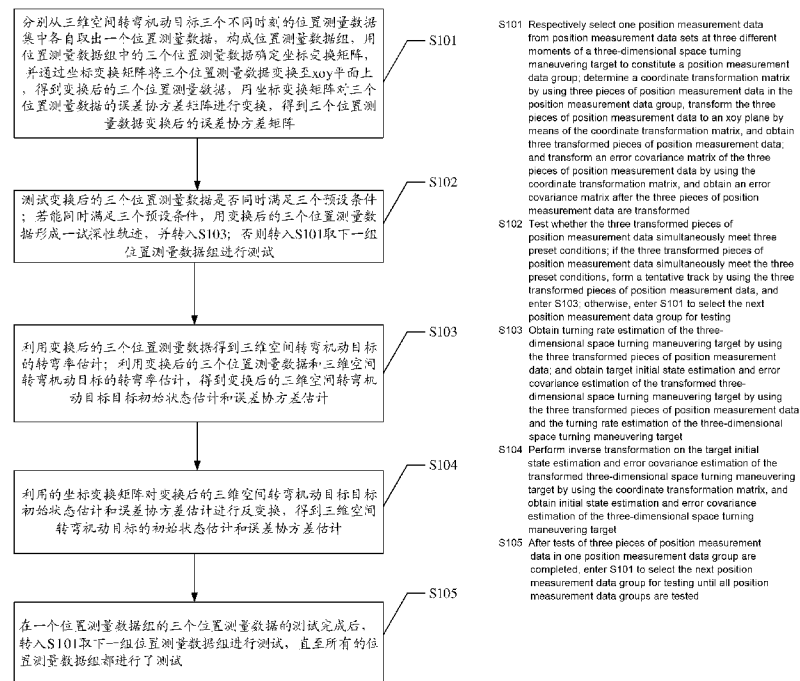


图1

(57) Abstract: The present invention relates to the technical field of multi-sensor information fusion, and disclosed is a trajectory initiation method for a three-dimensional space turning maneuvering target. The method comprises: by means of coordinate transformation, trajectory detection, state and error covariance estimation, and coordinate inverse transformation, finally detect a target existing in an observation space, and obtain the state estimation of the target. Further disclosed in the present invention is a trajectory initiation device for the three-dimensional space turning maneuvering target, so that a problem that the trajectory of the three-dimensional space turning

[见续页]

SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG,
US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW。

- (84) 指定国 (除另有指明, 要求每一种可提供的地区
保护): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ,
NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), 欧亚 (AM,
AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), 欧洲 (AL, AT, BE, BG,
CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU,
IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT,
RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI,
CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG)。

本国际公布:

- 包括国际检索报告 (条约第21条(3))。

maneuvering target is difficult to start is effectively solved. The present invention can be used in the field of multi-target tracking and has strong practicability.

(57) 摘要: 本发明公开了一种用于三维空间转弯机动目标的轨迹起始方法, 涉及多传感器信息融合技术领域, 通过坐标变换、轨迹探测、状态与误差协方差估计, 及坐标反变换, 最终探测出观测空间中存在的目标, 并获得目标的状态估计。本发明还公开了一种用于三维空间转弯机动目标的轨迹起始装置, 有效地解决了三维空间转弯机动目标轨迹难以起始的问题, 本发明可用于多目标跟踪领域, 具有很强的实用性。

三维空间转弯机动目标的轨迹起始方法及装置

技术领域

本发明属于多传感器信息融合技术领域，尤其涉及三维空间转弯机动目标的轨迹起始方法及装置。

背景技术

随着科学技术的发展，在自动控制以及多传感器信息融合技术领域越来越多的涉及到观测空间中新目标的探测，而其中轨迹起始是该领域中的研究人员重点研究的内容。

轨迹起始的主要任务是利用传感器在多个不同时刻获得的测量探测出现于观测空间中的新目标，并起始其轨迹。目前，常用的轨迹起始方法通常适用于假定目标作匀速或匀加速运动的轨迹起始，但是这些现有的轨迹起始方法并不适用于转弯机动目标的轨迹起始。因此，如何解决三维空间转弯机动目标的轨迹起始问题是目前需要探索 and 解决的一个关键技术问题。

技术问题

本发明所要解决的技术问题为提供一种三维空间转弯机动目标的轨迹起始方法及装置，旨在解决三维空间转弯机动目标的轨迹起始的问题。

技术方案

本发明提供了一种三维空间转弯机动目标的轨迹起始方法，所述方法包括：

步骤 1、分别从三维空间转弯机动目标三个不同时刻的位置测量数据集中各自取出一个位置测量数据，构成位置测量数据组，用所述位置测量数据组中的三个位置测量数据确定坐标变换矩阵，并通过所述坐标变换矩阵将所述三个位置测量数据变换至 xoy 平面上，得到变换后的三个位置测量数据，用所述坐标变换矩阵对所述三个位置测量数据的误差协方差矩阵进行变换，得到所述三个位置测量数据变换后的误差协方差矩阵；

其具体步骤包括：设所述三维空间转弯机动目标在三个不同时刻的位置测量数据为 $y_k = (z_k, t_k)$ ，其中， $k = 1, 2, 3$ ， t_k 表示在 k 时刻的时间， $z_k = (\eta_x^k, \eta_y^k, \eta_z^k)$ ， η_x^k 、 η_y^k 和 η_z^k 分别表示所述三维空间转弯机动目标在 k 时刻的位置测量数据的 x 分量、y 分量和 z 分量；

令 $\eta_x^{ij} = \eta_x^i - \eta_x^j$ ， $\eta_y^{ij} = \eta_y^i - \eta_y^j$ ， $\eta_z^{ij} = \eta_z^i - \eta_z^j$ ，其中， $i = 1, 2, 3$ 和 $j = 1, 2, 3$ ；利用连续的三个不同时刻的位置测量数据 $y_1 = (z_1, t_1)$ 、 $y_2 = (z_2, t_2)$ 和 $y_3 = (z_3, t_3)$ 获得所述三维空间转弯机动目标运动平面与 xoy 平面的夹角为 α ，所述三维空间转弯机动目标运动平面与 xoy 平面的交线和 x 轴间的夹角为 β ，所述交线与 x 轴的交点为 $[x_0, 0, 0]^T$ ；

其中，

$$\alpha_0 = \arccos \frac{\eta_x^{21} \eta_y^{32} - \eta_x^{32} \eta_y^{21}}{\sqrt{(\eta_y^{21} \eta_z^{32} - \eta_y^{32} \eta_z^{21})^2 + (\eta_z^{21} \eta_x^{32} - \eta_z^{32} \eta_x^{21})^2 + (\eta_x^{21} \eta_y^{32} - \eta_x^{32} \eta_y^{21})^2}}$$

$$\alpha = \begin{cases} \alpha_0, & \alpha_0 \leq \frac{\pi}{2} \\ \pi - \alpha_0, & \alpha_0 > \frac{\pi}{2} \end{cases}$$

$$\beta_0 = \arccos \frac{\eta_z^{21} \eta_x^{31} - \eta_z^{31} \eta_x^{21}}{\sqrt{(\eta_z^{21} \eta_x^{31} - \eta_z^{31} \eta_x^{21})^2 + (\eta_z^{21} \eta_y^{31} - \eta_z^{31} \eta_y^{21})^2}}$$

$$\beta = \begin{cases} \beta_0, & \beta_0 \leq \frac{\pi}{2} \\ \pi - \beta_0, & \beta_0 > \frac{\pi}{2} \end{cases}$$

$$x_0 = \eta_x^1 + \frac{\eta_y^1(\eta_z^{21}\eta_x^{31} - \eta_z^{31}\eta_x^{21}) + \eta_z^1(\eta_x^{21}\eta_y^{31} - \eta_x^{31}\eta_y^{21})}{\eta_y^{21}\eta_z^{31} - \eta_y^{31}\eta_z^{21}}$$

上标 T 表示向量或矩阵的转置；

利用所述夹角 α 和所述夹角 β ，并取 $\alpha_1 = \alpha$ ， $\alpha_2 = -\alpha$ ， $\beta_1 = \beta$ ， $\beta_2 = -\beta$ ，构建坐标变换矩阵 F_{ij} ；

$$\text{其中， } F_{ij} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \alpha_i & -\sin \alpha_i \\ 0 & \sin \alpha_i & \cos \alpha_i \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} \cos \beta_j & -\sin \beta_j & 0 \\ \sin \beta_j & \cos \beta_j & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, \quad i=1,2 \text{ 和 } j=1,2;$$

利用所述坐标变换矩阵 F_{ij} ，以及所述交点 $[x_0, 0, 0]^T$ ，分别对位置测量数据 $\mathbf{z}_1$ 、 $\mathbf{z}_2$ 和 $\mathbf{z}_3$ 进行坐标变换得到变换的位置测量数据 $\mathbf{z}_1^{ij} = (\eta_{x1}^{ij}, \eta_{y1}^{ij}, \eta_{z1}^{ij})$ 、 $\mathbf{z}_2^{ij} = (\eta_{x2}^{ij}, \eta_{y2}^{ij}, \eta_{z2}^{ij})$ 和 $\mathbf{z}_3^{ij} = (\eta_{x3}^{ij}, \eta_{y3}^{ij}, \eta_{z3}^{ij})$ ；

$$\text{其中， } \begin{bmatrix} \eta_{x1}^{ij} \\ \eta_{y1}^{ij} \\ \eta_{z1}^{ij} \end{bmatrix} = (F_{ij})^T \left(\begin{bmatrix} \eta_x^1 \\ \eta_y^1 \\ \eta_z^1 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} x_0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \right)$$

$$\begin{bmatrix} \eta_{x2}^{ij} \\ \eta_{y2}^{ij} \\ \eta_{z2}^{ij} \end{bmatrix} = (F_{ij})^T \left(\begin{bmatrix} \eta_x^2 \\ \eta_y^2 \\ \eta_z^2 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} x_0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \right)$$

$$\begin{bmatrix} \eta_{x3}^{ij} \\ \eta_{y3}^{ij} \\ \eta_{z3}^{ij} \end{bmatrix} = (F_{ij})^T \left(\begin{bmatrix} \eta_x^3 \\ \eta_y^3 \\ \eta_z^3 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} x_0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \right)$$

利用变换的位置测量数据 $\mathbf{z}_1^{ij}$ 、 $\mathbf{z}_2^{ij}$ 和 $\mathbf{z}_3^{ij}$ ，求取 $s_{ij} = |\eta_{z1}^{ij}| + |\eta_{z2}^{ij}| + |\eta_{z3}^{ij}|$ ，其中 $i=1,2$ 和 $j=1,2$ ；从 s_{ij} ， $i=1,2$ 和 $j=1,2$ 中找到最小值对应的索引号，即 $(i_1, j_1) = \arg \min_{i,j}(s_{ij})$ ；并取索引号 (i_1, j_1) 对应的坐标变换矩阵作为所求的变换矩阵 F_c ，即 $F_c = F_{i_1 j_1}$ ，索引号 (i_1, j_1) 对应的位置测量数据 $\mathbf{z}_1^{i_1 j_1}$ 、 $\mathbf{z}_2^{i_1 j_1}$ 和 $\mathbf{z}_3^{i_1 j_1}$ 分别作为变换后的位置测量数据 $\mathbf{z}_1^c$ 、 $\mathbf{z}_2^c$ 和 $\mathbf{z}_3^c$ ，即

$$\mathbf{z}_1^c = \mathbf{z}_1^{i_1 j_1}, \quad \mathbf{z}_2^c = \mathbf{z}_2^{i_1 j_1} \text{ 和 } \mathbf{z}_3^c = \mathbf{z}_3^{i_1 j_1};$$

$$\text{设测量 } \mathbf{z}_k \text{ 的误差协方差矩阵为 } \mathbf{R}_k = \begin{bmatrix} \sigma_{k,x}^2 & \sigma_{k,xy}^2 & \sigma_{k,xz}^2 \\ \sigma_{k,xy}^2 & \sigma_{k,y}^2 & \sigma_{k,yz}^2 \\ \sigma_{k,xz}^2 & \sigma_{k,yz}^2 & \sigma_{k,z}^2 \end{bmatrix}, \text{ 其中 } \sigma_{k,x}^2, \sigma_{k,y}^2, \sigma_{k,z}^2,$$

$\sigma_{k,xy}^2, \sigma_{k,xz}^2, \sigma_{k,yz}^2$ 为误差协方差矩阵 $\mathbf{R}_k$ 的元素值；利用所述变换矩阵 F_c 对 $\mathbf{R}_k$ 进行变换，

得到变换后的误差协方差矩阵 R_k^c ，其中 $R_k^c = (F_c)^T R_k F_c$ ， $k = 1, 2, 3$ ；

步骤 2、测试变换后的三个位置测量数据是否同时满足三个预设条件；若能同时满足三个预设条件，用所述变换后的三个位置测量数据形成一试探性轨迹，并转入步骤 3；否则转入步骤 1 取下一组位置测量数据组进行测试；

步骤 3、利用所述变换后的三个位置测量数据得到所述三维空间转弯机动目标的转弯率估计；利用所述变换后的三个位置测量数据和所述三维空间转弯机动目标的转弯率估计，得到变换后的三维空间转弯机动目标初始状态估计和误差协方差估计；

步骤 4、利用所述的坐标变换矩阵 F_c 对变换后的三维空间转弯机动目标初始状态估计和误差协方差估计进行反变换，得到所述三维空间转弯机动目标的初始状态估计和误差协方差估计；

步骤 5、在一个位置测量数据组的三个位置测量数据的测试完成后，转入步骤 1 取下一组位置测量数据组进行测试，直至所有的位置测量数据组都进行了测试。

本发明还提供了一种三维空间转弯机动目标的轨迹起始装置，所述装置包括：

变换模块，用于分别从三维空间转弯机动目标三个不同时刻的位置测量数据集中各自取出一个位置测量数据，构成位置测量数据组，用所述位置测量数据组中的三个位置测量数据确定坐标变换矩阵，并通过所述坐标变换矩阵将所述三个位置测量数据变换至 xoy 平面上，得到变换后的三个位置测量数据，用所述坐标变换矩阵对所述三个位置测量数据的误差协方差矩阵进行变换，得到所述三个位置测量数据变换后的误差协方差矩阵；

其具体用于：设所述三维空间转弯机动目标在三个不同时刻的位置测量数据为 $y_k = (z_k, t_k)$ ，其中， $k = 1, 2, 3$ ， t_k 表示在 k 时刻的时间， $z_k = (\eta_x^k, \eta_y^k, \eta_z^k)$ ， η_x^k 、 η_y^k 和 η_z^k 分别表示所述三维空间转弯机动目标在 k 时刻的位置测量数据的 x 分量、y 分量和 z 分量；

令 $\eta_x^{ij} = \eta_x^i - \eta_x^j$ ， $\eta_y^{ij} = \eta_y^i - \eta_y^j$ ， $\eta_z^{ij} = \eta_z^i - \eta_z^j$ ，其中， $i = 1, 2, 3$ 和 $j = 1, 2, 3$ ；利用连续三个不同时刻的位置测量数据 $y_1 = (z_1, t_1)$ 、 $y_2 = (z_2, t_2)$ 和 $y_3 = (z_3, t_3)$ 获得所述三维空间转弯机动目标运动平面与 xoy 平面的夹角为 α ，所述三维空间转弯机动目标运动平面与 xoy 平面的交线和 x 轴间的夹角为 β ，所述交线与 x 轴的交点为 $[x_0, 0, 0]^T$ ；

其中，

$$\alpha_0 = \arccos \frac{\eta_x^{21} \eta_y^{32} - \eta_x^{32} \eta_y^{21}}{\sqrt{(\eta_y^{21} \eta_z^{32} - \eta_y^{32} \eta_z^{21})^2 + (\eta_z^{21} \eta_x^{32} - \eta_z^{32} \eta_x^{21})^2 + (\eta_x^{21} \eta_y^{32} - \eta_x^{32} \eta_y^{21})^2}}$$

$$\alpha = \begin{cases} \alpha_0, & \alpha_0 \leq \frac{\pi}{2} \\ \pi - \alpha_0, & \alpha_0 > \frac{\pi}{2} \end{cases}$$

$$\beta_0 = \arccos \frac{\eta_z^{21} \eta_x^{31} - \eta_z^{31} \eta_x^{21}}{\sqrt{(\eta_z^{21} \eta_x^{31} - \eta_z^{31} \eta_x^{21})^2 + (\eta_z^{21} \eta_y^{31} - \eta_z^{31} \eta_y^{21})^2}}$$

$$\beta = \begin{cases} \beta_0, & \beta_0 \leq \frac{\pi}{2} \\ \pi - \beta_0, & \beta_0 > \frac{\pi}{2} \end{cases}$$

$$x_0 = \eta_x^1 + \frac{\eta_y^1 (\eta_z^{21} \eta_x^{31} - \eta_z^{31} \eta_x^{21}) + \eta_z^1 (\eta_x^{21} \eta_y^{31} - \eta_x^{31} \eta_y^{21})}{\eta_y^{21} \eta_z^{31} - \eta_y^{31} \eta_z^{21}}$$

上标 T 表示向量或矩阵的转置；

利用所述夹角 α 和夹角 β ，并取 $\alpha_1 = \alpha$ ， $\alpha_2 = -\alpha$ ， $\beta_1 = \beta$ ， $\beta_2 = -\beta$ ，构建坐标变换矩阵 F_{ij} ；

$$\text{其中，} F_{ij} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \alpha_i & -\sin \alpha_i \\ 0 & \sin \alpha_i & \cos \alpha_i \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} \cos \beta_j & -\sin \beta_j & 0 \\ \sin \beta_j & \cos \beta_j & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, \quad i=1,2 \text{ 和 } j=1,2;$$

利用所述坐标变换矩阵 F_{ij} ，以及所述交点 $[x_0, 0, 0]^T$ ，分别对位置测量数据 z_1 、 z_2 和 z_3 进行坐标变换得到变换的位置测量数据 $z_1^{ij} = (\eta_{x1}^{ij}, \eta_{y1}^{ij}, \eta_{z1}^{ij})$ 、 $z_2^{ij} = (\eta_{x2}^{ij}, \eta_{y2}^{ij}, \eta_{z2}^{ij})$ 和 $z_3^{ij} = (\eta_{x3}^{ij}, \eta_{y3}^{ij}, \eta_{z3}^{ij})$ ；

$$\text{其中，} \begin{bmatrix} \eta_{x1}^{ij} \\ \eta_{y1}^{ij} \\ \eta_{z1}^{ij} \end{bmatrix} = (F_{ij})^T \left(\begin{bmatrix} \eta_x^1 \\ \eta_y^1 \\ \eta_z^1 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} x_0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \right)$$

$$\begin{bmatrix} \eta_{x2}^{ij} \\ \eta_{y2}^{ij} \\ \eta_{z2}^{ij} \end{bmatrix} = (F_{ij})^T \left(\begin{bmatrix} \eta_x^2 \\ \eta_y^2 \\ \eta_z^2 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} x_0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \right)$$

$$\begin{bmatrix} \eta_{x3}^{ij} \\ \eta_{y3}^{ij} \\ \eta_{z3}^{ij} \end{bmatrix} = (F_{ij})^T \left(\begin{bmatrix} \eta_x^3 \\ \eta_y^3 \\ \eta_z^3 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} x_0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \right)$$

利用变换的位置测量数据 z_1^{ij} 、 z_2^{ij} 和 z_3^{ij} ，求取 $s_{ij} = |\eta_{z1}^{ij}| + |\eta_{z2}^{ij}| + |\eta_{z3}^{ij}|$ ，其中 $i=1,2$ 和 $j=1,2$ ；从 s_{ij} ， $i=1,2$ 和 $j=1,2$ 中找到最小值对应的索引号，即 $(i_1, j_1) = \arg \min_{i,j}(s_{ij})$ ；

并取索引号 (i_1, j_1) 对应的坐标变换矩阵作为所求的变换矩阵 F_c ，即 $F_c = F_{i_1 j_1}$ ，索引号 (i_1, j_1)

对应的位置测量数据 $z_1^{i_1 j_1}$ 、 $z_2^{i_1 j_1}$ 和 $z_3^{i_1 j_1}$ 分别作为变换后的位置测量数据 z_1^c 、 z_2^c 和 z_3^c ，即

$$z_1^c = z_1^{i_1 j_1}, \quad z_2^c = z_2^{i_1 j_1} \text{ 和 } z_3^c = z_3^{i_1 j_1};$$

$$\text{设测量 } z_k \text{ 的误差协方差矩阵为 } R_k = \begin{bmatrix} \sigma_{k,x}^2 & \sigma_{k,xy}^2 & \sigma_{k,xz}^2 \\ \sigma_{k,xy}^2 & \sigma_{k,y}^2 & \sigma_{k,yz}^2 \\ \sigma_{k,xz}^2 & \sigma_{k,yz}^2 & \sigma_{k,z}^2 \end{bmatrix}, \text{ 其中 } \sigma_{k,x}^2, \sigma_{k,y}^2, \sigma_{k,z}^2,$$

$\sigma_{k,xy}^2, \sigma_{k,xz}^2, \sigma_{k,yz}^2$ 为误差协方差矩阵 R_k 的元素值；利用所述变换矩阵 F_c 对 R_k 进行变换，

得到变换后的误差协方差矩阵 R_k^c ，其中 $R_k^c = (F_c)^T R_k F_c$ ， $k=1,2,3$ ；

轨迹探测模块，用于测试变换后的三个位置测量数据是否同时满足三个预设条件；若能同时满足三个预设条件，用所述变换后的三个位置测量数据形成一试探性轨迹，并转入状态与误差协方差估计模块；否则转入变换模块取下一组位置测量数据组进行测试；

状态与误差协方差估计模块，用于利用所述变换后的三个位置测量数据得到所述三维

空间转弯机动目标的转弯率估计；利用所述变换后的三个位置测量数据和所述三维空间转弯机动目标的转弯率估计，得到变换后的三维空间转弯机动目标初始状态估计和误差协方差估计；

反变换模块，用于利用所述的坐标变换矩阵 F_c 对变换后的三维空间转弯机动目标初始状态估计和误差协方差估计进行反变换，得到所述三维空间转弯机动目标的初始状态估计和误差协方差估计。

有益效果

本发明提供一种用于三维空间转弯机动目标的轨迹起始方法及装置，通过坐标变换、轨迹探测、状态与误差协方差估计，及坐标反变换，最终探测出三维空间中存在的转弯机动目标，并获得三维空间转弯机动目标的状态估计以及误差协方差估计，从而有效地解决了三维空间转弯机动目标轨迹难以起始的问题，本发明可用于多目标跟踪领域，具有很强的实用性。

附图说明

图1为本发明实施例提供的一种用于三维空间转弯机动目标的轨迹起始方法的流程示意图；

图2为本发明实施例提供的一种用于三维空间转弯机动目标的轨迹起始装置的系统示意图。

本发明的实施方式

作为本发明的第一个实施例，如图1所示，本发明实施例提供的一种用于三维空间转弯机动目标的轨迹起始方法的流程示意图，该方法包括：

步骤101、分别从三维空间转弯机动目标三个不同时刻的位置测量数据集中各自取出一个位置测量数据，构成位置测量数据组，用位置测量数据组中的三个位置测量数据确定坐标变换矩阵，并通过坐标变换矩阵将三个位置测量数据变换至 xoy 平面上，得到变换后的三个位置测量数据，用坐标变换矩阵对三个位置测量数据的误差协方差矩阵进行变换，得到三个位置测量数据变换后的误差协方差矩阵。

步骤101的主要目的是通过三个不同时刻的位置测量数据，利用坐标变换矩阵，得到变换后的三个位置测量数据，其步骤具体包括：

设三维空间转弯机动目标在三个不同时刻的位置测量数据为 $y_k = (z_k, t_k)$ ，其中， $k = 1, 2, 3$ ， t_k 表示在 k 时刻的时间， $z_k = (\eta_x^k, \eta_y^k, \eta_z^k)$ ， η_x^k 、 η_y^k 和 η_z^k 分别表示三维空间转弯机动目标在 k 时刻的位置测量数据的 x 分量、y 分量和 z 分量。

令 $\eta_x^{ij} = \eta_x^i - \eta_x^j$ ， $\eta_y^{ij} = \eta_y^i - \eta_y^j$ ， $\eta_z^{ij} = \eta_z^i - \eta_z^j$ ，其中， $i = 1, 2, 3$ 和 $j = 1, 2, 3$ ；利用连续三个不同时刻的位置测量数据 $y_1 = (z_1, t_1)$ 、 $y_2 = (z_2, t_2)$ 和 $y_3 = (z_3, t_3)$ 获得三维空间转弯机动目标运动平面与 xoy 平面的夹角为 α ，三维空间转弯机动目标运动平面与 xoy 平面的交线和 x 轴间的夹角为 β ，交线与 x 轴的交点为 $[x_0, 0, 0]^T$ 。

其中，

$$\alpha_0 = \arccos \frac{\eta_x^{21} \eta_y^{32} - \eta_x^{32} \eta_y^{21}}{\sqrt{(\eta_y^{21} \eta_z^{32} - \eta_y^{32} \eta_z^{21})^2 + (\eta_z^{21} \eta_x^{32} - \eta_z^{32} \eta_x^{21})^2 + (\eta_x^{21} \eta_y^{32} - \eta_x^{32} \eta_y^{21})^2}}$$

$$\alpha = \begin{cases} \alpha_0, & \alpha_0 \leq \frac{\pi}{2} \\ \pi - \alpha_0, & \alpha_0 > \frac{\pi}{2} \end{cases}$$

$$\beta_0 = \arccos \frac{\eta_z^{21} \eta_x^{31} - \eta_z^{31} \eta_x^{21}}{\sqrt{(\eta_z^{21} \eta_x^{31} - \eta_z^{31} \eta_x^{21})^2 + (\eta_z^{21} \eta_y^{31} - \eta_z^{31} \eta_y^{21})^2}}$$

$$\beta = \begin{cases} \beta_0, & \beta_0 \leq \frac{\pi}{2} \\ \pi - \beta_0, & \beta_0 > \frac{\pi}{2} \end{cases}$$

$$x_0 = \eta_x^1 + \frac{\eta_y^1(\eta_z^{21} \eta_x^{31} - \eta_z^{31} \eta_x^{21}) + \eta_z^1(\eta_x^{21} \eta_y^{31} - \eta_x^{31} \eta_y^{21})}{\eta_y^{21} \eta_z^{31} - \eta_y^{31} \eta_z^{21}}。$$

上标 T 表示向量或矩阵的转置；

利用夹角 α 和夹角 β ，并取 $\alpha_1 = \alpha$ ， $\alpha_2 = -\alpha$ ， $\beta_1 = \beta$ ， $\beta_2 = -\beta$ ，构建坐标变换矩阵 F_{ij} ；

$$\text{其中，} F_{ij} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \alpha_i & -\sin \alpha_i \\ 0 & \sin \alpha_i & \cos \alpha_i \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} \cos \beta_j & -\sin \beta_j & 0 \\ \sin \beta_j & \cos \beta_j & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, \quad i=1,2 \text{ 和 } j=1,2。$$

利用坐标变换矩阵 F_{ij} ，以及交点 $[x_0, 0, 0]^T$ ，分别对位置测量数据 $\mathbf{z}_1$ 、 $\mathbf{z}_2$ 和 $\mathbf{z}_3$ 进行坐标变换得到变换的位置测量数据 $\mathbf{z}_1^{ij} = (\eta_{x1}^{ij}, \eta_{y1}^{ij}, \eta_{z1}^{ij})$ 、 $\mathbf{z}_2^{ij} = (\eta_{x2}^{ij}, \eta_{y2}^{ij}, \eta_{z2}^{ij})$ 和 $\mathbf{z}_3^{ij} = (\eta_{x3}^{ij}, \eta_{y3}^{ij}, \eta_{z3}^{ij})$ ；

$$\text{其中，} \begin{bmatrix} \eta_{x1}^{ij} \\ \eta_{y1}^{ij} \\ \eta_{z1}^{ij} \end{bmatrix} = (F_{ij})^T \left(\begin{bmatrix} \eta_x^1 \\ \eta_y^1 \\ \eta_z^1 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} x_0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \right)$$

$$\begin{bmatrix} \eta_{x2}^{ij} \\ \eta_{y2}^{ij} \\ \eta_{z2}^{ij} \end{bmatrix} = (F_{ij})^T \left(\begin{bmatrix} \eta_x^2 \\ \eta_y^2 \\ \eta_z^2 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} x_0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \right)$$

$$\begin{bmatrix} \eta_{x3}^{ij} \\ \eta_{y3}^{ij} \\ \eta_{z3}^{ij} \end{bmatrix} = (F_{ij})^T \left(\begin{bmatrix} \eta_x^3 \\ \eta_y^3 \\ \eta_z^3 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} x_0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \right)。$$

利用变换的位置测量数据 $\mathbf{z}_1^{ij}$ 、 $\mathbf{z}_2^{ij}$ 和 $\mathbf{z}_3^{ij}$ ，求取 $s_{ij} = |\eta_{z1}^{ij}| + |\eta_{z2}^{ij}| + |\eta_{z3}^{ij}|$ ，其中 $i=1,2$ 和 $j=1,2$ ；从 s_{ij} ， $i=1,2$ 和 $j=1,2$ 中找到最小值对应的索引号，即 $(i_1, j_1) = \arg \min_{i,j}(s_{ij})$ ；

并取索引号 (i_1, j_1) 对应的坐标变换矩阵作为所求的变换矩阵 F_c ，即 $F_c = F_{i_1 j_1}$ ，索引号 (i_1, j_1)

对应的位置测量数据 $\mathbf{z}_1^{i_1 j_1}$ 、 $\mathbf{z}_2^{i_1 j_1}$ 和 $\mathbf{z}_3^{i_1 j_1}$ 分别作为变换后的位置测量数据 $\mathbf{z}_1^c$ 、 $\mathbf{z}_2^c$ 和 $\mathbf{z}_3^c$ ，即

$\mathbf{z}_1^c = \mathbf{z}_1^{i_{j_1}}$ 、 $\mathbf{z}_2^c = \mathbf{z}_2^{i_{j_1}}$ 和 $\mathbf{z}_3^c = \mathbf{z}_3^{i_{j_1}}$ 。

设测量 $\mathbf{z}_k$ 的误差协方差矩阵为 $\mathbf{R}_k = \begin{bmatrix} \sigma_{k,x}^2 & \sigma_{k,xy}^2 & \sigma_{k,xz}^2 \\ \sigma_{k,xy}^2 & \sigma_{k,y}^2 & \sigma_{k,yz}^2 \\ \sigma_{k,xz}^2 & \sigma_{k,yz}^2 & \sigma_{k,z}^2 \end{bmatrix}$, 其中 $\sigma_{k,x}^2$ 、 $\sigma_{k,y}^2$ 、 $\sigma_{k,z}^2$ 、

$\sigma_{k,xy}^2$ 、 $\sigma_{k,xz}^2$ 、 $\sigma_{k,yz}^2$ 为误差协方差矩阵 $\mathbf{R}_k$ 的元素值; 利用变换矩阵 $\mathbf{F}_c$ 对 $\mathbf{R}_k$ 进行变换, 得

到变换后的误差协方差矩阵 $\mathbf{R}_k^c$, 其中 $\mathbf{R}_k^c = (\mathbf{F}_c)^T \mathbf{R}_k \mathbf{F}_c$, $k=1,2,3$ 。

步骤 102、测试变换后的三个位置测量数据是否同时满足三个预设条件; 若能同时满足三个预设条件, 用变换后的三个位置测量数据形成一试探性轨迹, 并转入步骤 103; 否则转入步骤 101 取下一组位置测量数据组进行测试。

步骤 102, 主要利用三个预设条件测试来变换后的三个位置测量数据, 并将满足三个预设条件的变换后的三个位置测量数据形成试探性轨迹, 其具体步骤包括:

以 $\mathbf{z}_1^c = (\eta_{x1}^c, \eta_{y1}^c, \eta_{z1}^c)$ 、 $\mathbf{z}_2^c = (\eta_{x2}^c, \eta_{y2}^c, \eta_{z2}^c)$ 和 $\mathbf{z}_3^c = (\eta_{x3}^c, \eta_{y3}^c, \eta_{z3}^c)$ 表示变换后的位置测

量数据, 测试位置测量数据 $\mathbf{z}_1^c$ 、 $\mathbf{z}_2^c$ 和 $\mathbf{z}_3^c$ 是否同时满足下列三个预设条件:

预设条件 1:

$$v_{\min}(t_2 - t_1) - b_1 \leq \|\mathbf{z}_2^c - \mathbf{z}_1^c\|_2 \leq v_{\max}(t_2 - t_1) + b_1;$$

$$v_{\min}(t_3 - t_2) - b_2 \leq \|\mathbf{z}_3^c - \mathbf{z}_2^c\|_2 \leq v_{\max}(t_3 - t_2) + b_2;$$

预设条件 2:

$$\left| \frac{\|\mathbf{z}_3^c - \mathbf{z}_2^c\|_2}{t_3 - t_2} - \frac{\|\mathbf{z}_2^c - \mathbf{z}_1^c\|_2}{t_2 - t_1} \right| \leq a_{\max}(t_3 - t_2) + \left(\frac{b_2}{t_3 - t_2} + \frac{b_1}{t_2 - t_1} \right);$$

预设条件 3:

$$\left| \pi - \arccos \frac{\|\mathbf{z}_2^c - \mathbf{z}_1^c\|_2^2 + \|\mathbf{z}_3^c - \mathbf{z}_2^c\|_2^2 - \|\mathbf{z}_3^c - \mathbf{z}_1^c\|_2^2}{2\|\mathbf{z}_2^c - \mathbf{z}_1^c\|_2 \times \|\mathbf{z}_3^c - \mathbf{z}_2^c\|_2} \right| \leq \frac{1}{2} \omega_{\max}(t_{k+2} - t_k) + c;$$

其中, $v_{\min}$ 、 $v_{\max}$ 、 $a_{\max}$ 和 $\omega_{\max}$ 分别为最小速度、最大速度、最大加速度和最大转弯率, $\|\cdot\|_2$ 表示向量的 2 范数, b_1 、 b_2 和 c 是三个与协方差矩阵 $\mathbf{R}_k^c$ 相关的参数; 以 $\mathbf{V}_k$ 表示矩阵 $\mathbf{R}_k^c$ 的乔里斯基 (Cholesky) 分解矩阵, 即 $\mathbf{V}_k = \text{chol}(\mathbf{R}_k^c)$, 以 $V_{k,1}$ 、 $V_{k,2}$ 和 $V_{k,3}$ 表示分解矩阵 $\mathbf{V}_k$ 的主对角线上的三个元素, 其中, $k=1,2,3$, 则参数 b_1 、 b_2 和 c 分别取为

$$b_1 = b_3 \left(\sqrt{V_{1,1}^2 + V_{1,2}^2 + V_{1,3}^2} + \sqrt{V_{2,1}^2 + V_{2,2}^2 + V_{2,3}^2} \right)$$

$$b_2 = b_3 \left(\sqrt{V_{2,1}^2 + V_{2,2}^2 + V_{2,3}^2} + \sqrt{V_{3,1}^2 + V_{3,2}^2 + V_{3,3}^2} \right)$$

$$c = \arcsin \frac{b_1}{\|z_2^c - z_1^c\|_2} + \arcsin \frac{b_2}{\|z_3^c - z_2^c\|_2}$$

其中, b_3 控制参数, 其取值范围为 $b_3 = 1 \sim 3$ 。

步骤 103、利用变换后的三个位置测量数据得到三维空间转弯机动目标的转弯率估计; 利用变换后的三个位置测量数据和三维空间转弯机动目标的转弯率估计, 得到变换后的三维空间转弯机动目标初始状态估计和误差协方差估计。其具体步骤包括:

利用已形成试探性轨迹的变换后的三个位置测量数据 z_1^c 、 z_2^c 和 z_3^c 得到三维空间转弯机动目标的转弯率估计为

$$\hat{\omega} = \text{sgn}(a) \times \frac{2 \left(\pi - \arccos \frac{\|z_2^c - z_1^c\|_2^2 + \|z_3^c - z_2^c\|_2^2 - \|z_3^c - z_1^c\|_2^2}{2 \|z_2^c - z_1^c\|_2 \times \|z_3^c - z_2^c\|_2} \right)}{t_3 - t_1};$$

其中, $a = (\eta_{x2}^c - \eta_{x1}^c)(\eta_{y3}^c - \eta_{y2}^c) - (\eta_{y2}^c - \eta_{y1}^c)(\eta_{x3}^c - \eta_{x2}^c)$, $\text{sgn}(a)$ 为取变量 a 的符号, 且

$$\text{sgn}(a) = \begin{cases} 1, & a > 0 \\ 0, & a = 0; \\ -1, & a < 0 \end{cases}$$

利用已形成试探性轨迹的变换后的三个位置测量数据 z_1^c 、 z_2^c 和 z_3^c 形成列向量 m_y ,

得到 $m_y = [\eta_{x1}^c, \eta_{y1}^c, \eta_{z1}^c, \eta_{x2}^c, \eta_{y2}^c, \eta_{z2}^c, \eta_{x3}^c, \eta_{y3}^c, \eta_{z3}^c]^T$;

用 $\xi_r^c = [x_r^c, \dot{x}_r^c, y_r^c, \dot{y}_r^c, z_r^c, \dot{z}_r^c]^T$ 表示 r 时刻坐标变换后的三维空间转弯机动目标状态估计, 其中 x_r^c 、 y_r^c 和 z_r^c 分别表示位置的 x 分量、 y 分量和 z 分量, $\dot{x}_r^c$ 、 $\dot{y}_r^c$ 和 $\dot{z}_r^c$ 分别表示速度的 x 分量和 y 分量;

基于列向量 m_y 及转弯率估计 $\hat{\omega}$ 获得在 r 时刻变换后的三维空间转弯机动目标状态估计为 $\hat{\xi}_r^c = (\Phi^T \Phi)^{-1} \Phi^T m_y$;

$$\text{其中, } \Phi = \begin{bmatrix} \varphi_1 \\ \varphi_2 \\ \varphi_3 \end{bmatrix}$$

$$\varphi_k = \begin{bmatrix} 1 & \frac{\sin(\hat{\omega}(t_k - t_r))}{\hat{\omega}} & 0 & \frac{\cos(\hat{\omega}(t_k - t_r)) - 1}{\hat{\omega}} & 0 & 0 \\ 0 & \frac{1 - \cos(\hat{\omega}(t_k - t_r))}{\hat{\omega}} & 1 & \frac{\sin(\hat{\omega}(t_k - t_r))}{\hat{\omega}} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & t_k - t_r \end{bmatrix}, \quad k = 1, 2, 3$$

在 r 时刻变换后的误差协方差矩阵为

$$\mathbf{P}_r^c = (\Phi^T \Phi)^{-1} \Phi^T \mathbf{R}^c \Phi (\Phi^T \Phi)^{-1}$$

$$\text{其中, } \mathbf{R}^c = \begin{bmatrix} \mathbf{R}_1^c & \mathbf{0} & \mathbf{0} \\ \mathbf{0} & \mathbf{R}_2^c & \mathbf{0} \\ \mathbf{0} & \mathbf{0} & \mathbf{R}_3^c \end{bmatrix}。$$

步骤 104、利用的坐标变换矩阵 $\mathbf{F}_c$ 对变换后的三维空间转弯机动目标初始状态估计和误差协方差估计进行反变换, 得到三维空间转弯机动目标的初始状态估计和误差协方差估计。其具体步骤包括:

利用变换矩阵 $\mathbf{F}_c$ 对变换后的三维空间转弯机动目标状态估计 $\hat{\xi}_r^c$ 进行反变换, 以获得三维空间转弯机动目标在 r 时刻的状态估计为 $\xi_r = [x_r, \dot{x}_r, y_r, \dot{y}_r, z_r, \dot{z}_r]^T$; 利用变换矩阵 $\mathbf{F}_c$ 对变换后的误差协方差矩阵 $\mathbf{P}_r^c$ 进行反变换, 得到目标在 r 时刻的误差协方差矩阵为 $\mathbf{P}_r$

$$\text{其中, } \begin{bmatrix} x_r \\ \dot{x}_r \\ y_r \\ \dot{y}_r \\ z_r \\ \dot{z}_r \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} + \mathbf{Q} \times \begin{bmatrix} x_r^c \\ \dot{x}_r^c \\ y_r^c \\ \dot{y}_r^c \\ z_r^c \\ \dot{z}_r^c \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{P}_r = \mathbf{Q} \mathbf{P}_r^c \mathbf{Q}^T$$

$$\mathbf{Q} = \begin{bmatrix} \mathbf{F}_c(1,1) & 0 & \mathbf{F}_c(2,2) & 0 & \mathbf{F}_c(3,3) & 0 \\ 0 & \mathbf{F}_c(1,1) & 0 & \mathbf{F}_c(2,2) & 0 & \mathbf{F}_c(3,3) \\ \mathbf{F}_c(1,1) & 0 & \mathbf{F}_c(2,2) & 0 & \mathbf{F}_c(3,3) & 0 \\ 0 & \mathbf{F}_c(1,1) & 0 & \mathbf{F}_c(2,2) & 0 & \mathbf{F}_c(3,3) \\ \mathbf{F}_c(1,1) & 0 & \mathbf{F}_c(2,2) & 0 & \mathbf{F}_c(3,3) & 0 \\ 0 & \mathbf{F}_c(1,1) & 0 & \mathbf{F}_c(2,2) & 0 & \mathbf{F}_c(3,3) \end{bmatrix}$$

其中, $\mathbf{F}_c(i, j)$ 表示矩阵 $\mathbf{F}_c$ 的第 i 行第 j 列元素。

步骤 105、在一个位置测量数据组的三个位置测量数据的测试完成后, 转入步骤 101 取下一组位置测量数据组进行测试, 直至所有的位置测量数据组都进行了测试。

在本发明第一个实施例所提供的一种用于三维空间转弯机动目标的轨迹起始方法, 通过坐标变换、轨迹探测、状态与误差协方差估计, 及坐标反变换, 最终探测出观测空间中存在的目标, 并获得目标的状态估计, 从而有效地解决了三维空间转弯机动目标轨迹难以起始的问题, 可用于多目标跟踪领域, 具有很强的实用性。

作为本发明的第二个实施例, 请参阅图 2, 图 2 为本发明实施例提供的一种用于三维空间转弯机动目标的轨迹起始装置的系统示意图。该装置包括:

变换模块 10, 用于分别从三维空间转弯机动目标三个不同时刻的位置测量数据集中各自取出一个位置测量数据, 构成位置测量数据组, 用位置测量数据组中的三个位置测量数据确定坐标变换矩阵, 并通过坐标变换矩阵将三个位置测量数据变换至 xoy 平面上, 得到变换后的三个位置测量数据, 用坐标变换矩阵对三个位置测量数据的误差协方差矩阵进行变换, 得到三个位置测量数据变换后的误差协方差矩阵。

其具体用于: 设三维空间转弯机动目标在三个不同时刻的位置测量数据为 $\mathbf{y}_k = (\mathbf{z}_k, t_k)$,

其中, $k=1,2,3$, t_k 表示在 k 时刻的时间, $\mathbf{z}_k = (\eta_x^k, \eta_y^k, \eta_z^k)$, η_x^k 、 η_y^k 和 η_z^k 分别表示三维空间转弯机动目标在 k 时刻的位置测量数据的 x 分量、 y 分量和 z 分量。

令 $\eta_x^{ij} = \eta_x^i - \eta_x^j$, $\eta_y^{ij} = \eta_y^i - \eta_y^j$, $\eta_z^{ij} = \eta_z^i - \eta_z^j$, 其中, $i=1,2,3$ 和 $j=1,2,3$; 利用连续三个不同时刻的位置测量数据 $\mathbf{y}_1 = (\mathbf{z}_1, t_1)$ 、 $\mathbf{y}_2 = (\mathbf{z}_2, t_2)$ 和 $\mathbf{y}_3 = (\mathbf{z}_3, t_3)$ 获得三维空间转弯机动目标运动平面与 xoy 平面的夹角为 α , 三维空间转弯机动目标运动平面与 xoy 平面的交线和 x 轴间的夹角为 β , 交线与 x 轴的交点为 $[x_0, 0, 0]^T$;

其中,

$$\alpha_0 = \arccos \frac{\eta_x^{21}\eta_y^{32} - \eta_x^{32}\eta_y^{21}}{\sqrt{(\eta_y^{21}\eta_z^{32} - \eta_y^{32}\eta_z^{21})^2 + (\eta_z^{21}\eta_x^{32} - \eta_z^{32}\eta_x^{21})^2 + (\eta_x^{21}\eta_y^{32} - \eta_x^{32}\eta_y^{21})^2}}$$

$$\alpha = \begin{cases} \alpha_0, & \alpha_0 \leq \frac{\pi}{2} \\ \pi - \alpha_0, & \alpha_0 > \frac{\pi}{2} \end{cases}$$

$$\beta_0 = \arccos \frac{\eta_z^{21}\eta_x^{31} - \eta_z^{31}\eta_x^{21}}{\sqrt{(\eta_z^{21}\eta_x^{31} - \eta_z^{31}\eta_x^{21})^2 + (\eta_z^{21}\eta_y^{31} - \eta_z^{31}\eta_y^{21})^2}}$$

$$\beta = \begin{cases} \beta_0, & \beta_0 \leq \frac{\pi}{2} \\ \pi - \beta_0, & \beta_0 > \frac{\pi}{2} \end{cases}$$

$$x_0 = \eta_x^1 + \frac{\eta_y^1(\eta_z^{21}\eta_x^{31} - \eta_z^{31}\eta_x^{21}) + \eta_z^1(\eta_x^{21}\eta_y^{31} - \eta_x^{31}\eta_y^{21})}{\eta_y^{21}\eta_z^{31} - \eta_y^{31}\eta_z^{21}},$$

上标 T 表示向量或矩阵的转置。

利用的夹角 α 和夹角 β , 并取 $\alpha_1 = \alpha$, $\alpha_2 = -\alpha$, $\beta_1 = \beta$, $\beta_2 = -\beta$, 构建坐标变换矩阵 $\mathbf{F}_{ij}$:

$$\text{其中, } \mathbf{F}_{ij} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \alpha_i & -\sin \alpha_i \\ 0 & \sin \alpha_i & \cos \alpha_i \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} \cos \beta_j & -\sin \beta_j & 0 \\ \sin \beta_j & \cos \beta_j & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, \quad i=1,2 \text{ 和 } j=1,2。$$

利用坐标变换矩阵 $\mathbf{F}_{ij}$, 以及交点 $[x_0, 0, 0]^T$, 分别对位置测量数据 $\mathbf{z}_1$ 、 $\mathbf{z}_2$ 和 $\mathbf{z}_3$ 进行坐标变换得到变换的位置测量数据 $\mathbf{z}_1^{ij} = (\eta_{x1}^{ij}, \eta_{y1}^{ij}, \eta_{z1}^{ij})$ 、 $\mathbf{z}_2^{ij} = (\eta_{x2}^{ij}, \eta_{y2}^{ij}, \eta_{z2}^{ij})$ 和

$$\mathbf{z}_3^{ij} = (\eta_{x3}^{ij}, \eta_{y3}^{ij}, \eta_{z3}^{ij});$$

$$\text{其中, } \begin{bmatrix} \eta_{x1}^{ij} \\ \eta_{y1}^{ij} \\ \eta_{z1}^{ij} \end{bmatrix} = (\mathbf{F}_{ij})^T \left(\begin{bmatrix} \eta_x^1 \\ \eta_y^1 \\ \eta_z^1 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} x_0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \right)$$

$$\begin{bmatrix} \eta_{x2}^{ij} \\ \eta_{y2}^{ij} \\ \eta_{z2}^{ij} \end{bmatrix} = (\mathbf{F}_{ij})^T \left(\begin{bmatrix} \eta_x^2 \\ \eta_y^2 \\ \eta_z^2 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} x_0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \right)$$

$$\begin{bmatrix} \eta_{x3}^{ij} \\ \eta_{y3}^{ij} \\ \eta_{z3}^{ij} \end{bmatrix} = (F_{ij})^T \left(\begin{bmatrix} \eta_x^3 \\ \eta_y^3 \\ \eta_z^3 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} x_0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \right).$$

利用变换的位置测量数据 $\mathbf{z}_1^{ij}$ 、 $\mathbf{z}_2^{ij}$ 和 $\mathbf{z}_3^{ij}$ ，求取 $s_{ij} = |\eta_{z1}^{ij}| + |\eta_{z2}^{ij}| + |\eta_{z3}^{ij}|$ ，其中 $i=1,2$ 和 $j=1,2$ ；从 s_{ij} ， $i=1,2$ 和 $j=1,2$ 中找到最小值对应的索引号，即 $(i_1, j_1) = \arg \min_{i,j}(s_{ij})$ ；

并取索引号 (i_1, j_1) 对应的坐标变换矩阵作为所求的变换矩阵 F_c ，即 $F_c = F_{i_1 j_1}$ ，索引号 (i_1, j_1)

对应的位置测量数据 $\mathbf{z}_1^{i_1 j_1}$ 、 $\mathbf{z}_2^{i_1 j_1}$ 和 $\mathbf{z}_3^{i_1 j_1}$ 分别作为变换后的位置测量数据 $\mathbf{z}_1^c$ 、 $\mathbf{z}_2^c$ 和 $\mathbf{z}_3^c$ ，即

$$\mathbf{z}_1^c = \mathbf{z}_1^{i_1 j_1}, \mathbf{z}_2^c = \mathbf{z}_2^{i_1 j_1} \text{ 和 } \mathbf{z}_3^c = \mathbf{z}_3^{i_1 j_1}.$$

$$\text{设测量 } \mathbf{z}_k \text{ 的误差协方差矩阵为 } \mathbf{R}_k = \begin{bmatrix} \sigma_{k,x}^2 & \sigma_{k,xy}^2 & \sigma_{k,xz}^2 \\ \sigma_{k,xy}^2 & \sigma_{k,y}^2 & \sigma_{k,yz}^2 \\ \sigma_{k,xz}^2 & \sigma_{k,yz}^2 & \sigma_{k,z}^2 \end{bmatrix}, \text{ 其中 } \sigma_{k,x}^2, \sigma_{k,y}^2, \sigma_{k,z}^2,$$

$\sigma_{k,xy}^2, \sigma_{k,xz}^2, \sigma_{k,yz}^2$ 为误差协方差矩阵 $\mathbf{R}_k$ 的元素值；利用变换矩阵 F_c 对 $\mathbf{R}_k$ 进行变换，得

到变换后的误差协方差矩阵 $\mathbf{R}_k^c$ ，其中 $\mathbf{R}_k^c = (F_c)^T \mathbf{R}_k F_c$ ， $k=1,2,3$ 。

轨迹探测模块 10，用于测试变换后的三个位置测量数据是否同时满足三个预设条件；若能同时满足三个预设条件，用变换后的三个位置测量数据形成一试探性轨迹，并转入状态与误差协方差估计模块；否则转入变换模块取下一组位置测量数据组进行测试。轨迹探测模块 10 具体用于：

以 $\mathbf{z}_1^c = (\eta_{x1}^c, \eta_{y1}^c, \eta_{z1}^c)$ 、 $\mathbf{z}_2^c = (\eta_{x2}^c, \eta_{y2}^c, \eta_{z2}^c)$ 和 $\mathbf{z}_3^c = (\eta_{x3}^c, \eta_{y3}^c, \eta_{z3}^c)$ 表示变换后的位置测

量数据，测试位置测量数据 $\mathbf{z}_1^c$ 、 $\mathbf{z}_2^c$ 和 $\mathbf{z}_3^c$ 是否同时满足下列三个预设条件：

预设条件 1：

$$v_{\min}(t_2 - t_1) - b_1 \leq \|\mathbf{z}_2^c - \mathbf{z}_1^c\|_2 \leq v_{\max}(t_2 - t_1) + b_1;$$

$$v_{\min}(t_3 - t_2) - b_2 \leq \|\mathbf{z}_3^c - \mathbf{z}_2^c\|_2 \leq v_{\max}(t_3 - t_2) + b_2;$$

预设条件 2：

$$\left| \frac{\|\mathbf{z}_3^c - \mathbf{z}_2^c\|_2}{t_3 - t_2} - \frac{\|\mathbf{z}_2^c - \mathbf{z}_1^c\|_2}{t_2 - t_1} \right| \leq a_{\max}(t_3 - t_2) + \left(\frac{b_2}{t_3 - t_2} + \frac{b_1}{t_2 - t_1} \right);$$

预设条件 3：

$$\left| \pi - \arccos \frac{\|\mathbf{z}_2^c - \mathbf{z}_1^c\|_2^2 + \|\mathbf{z}_3^c - \mathbf{z}_2^c\|_2^2 - \|\mathbf{z}_3^c - \mathbf{z}_1^c\|_2^2}{2\|\mathbf{z}_2^c - \mathbf{z}_1^c\|_2 \times \|\mathbf{z}_3^c - \mathbf{z}_2^c\|_2} \right| \leq \frac{1}{2} \omega_{\max}(t_{k+2} - t_k) + c;$$

其中, $v_{\min}$ 、 $v_{\max}$ 、 $a_{\max}$ 和 $\omega_{\max}$ 分别为最小速度、最大速度、最大加速度和最大转弯率, $\|\cdot\|_2$ 表示向量的 2 范数, b_1 、 b_2 和 c 是三个与协方差矩阵 R_k^c 相关的参数; 以 V_k 表示矩阵 R_k^c 的乔里斯基 (Cholesky) 分解矩阵, 即 $V_k = \text{chol}(R_k^c)$, 以 $V_{k,1}$ 、 $V_{k,2}$ 和 $V_{k,3}$ 表示分解矩阵 V_k 的主对角线上的三个元素, 其中, $k=1,2,3$, 则参数 b_1 、 b_2 和 c 分别取为

$$\begin{aligned} b_1 &= b_3 \left(\sqrt{V_{1,1}^2 + V_{1,2}^2 + V_{1,3}^2} + \sqrt{V_{2,1}^2 + V_{2,2}^2 + V_{2,3}^2} \right) \\ b_2 &= b_3 \left(\sqrt{V_{2,1}^2 + V_{2,2}^2 + V_{2,3}^2} + \sqrt{V_{3,1}^2 + V_{3,2}^2 + V_{3,3}^2} \right) \\ c &= \arcsin \frac{b_1}{\|\mathbf{z}_2^c - \mathbf{z}_1^c\|_2} + \arcsin \frac{b_2}{\|\mathbf{z}_3^c - \mathbf{z}_2^c\|_2} \end{aligned}$$

其中, b_3 控制参数, 其取值范围为 $b_3 = 1 \sim 3$ 。

状态与误差协方差估计模块 30, 用于利用变换后的三个位置测量数据得到三维空间转弯机动目标的转弯率估计; 利用变换后的三个位置测量数据和三维空间转弯机动目标的转弯率估计, 得到变换后的三维空间转弯机动目标初始状态估计和误差协方差估计。状态与误差协方差估计模块 30 具体用于:

利用已形成试探性轨迹的变换后的三个位置测量数据 $\mathbf{z}_1^c$ 、 $\mathbf{z}_2^c$ 和 $\mathbf{z}_3^c$ 得到三维空间转弯机动目标的转弯率估计为:

$$\hat{\omega} = \text{sgn}(a) \times \frac{2 \left(\pi - \arccos \frac{\|\mathbf{z}_2^c - \mathbf{z}_1^c\|_2^2 + \|\mathbf{z}_3^c - \mathbf{z}_2^c\|_2^2 - \|\mathbf{z}_3^c - \mathbf{z}_1^c\|_2^2}{2\|\mathbf{z}_2^c - \mathbf{z}_1^c\|_2 \times \|\mathbf{z}_3^c - \mathbf{z}_2^c\|_2} \right)}{t_3 - t_1};$$

其中, $a = (\eta_{x2}^c - \eta_{x1}^c)(\eta_{y3}^c - \eta_{y2}^c) - (\eta_{y2}^c - \eta_{y1}^c)(\eta_{x3}^c - \eta_{x2}^c)$, $\text{sgn}(a)$ 为取变量 a 的符号, 且

$$\text{sgn}(a) = \begin{cases} 1, & a > 0 \\ 0, & a = 0 \\ -1, & a < 0 \end{cases}。$$

利用已形成试探性轨迹的变换后的三个位置测量数据 $\mathbf{z}_1^c$ 、 $\mathbf{z}_2^c$ 和 $\mathbf{z}_3^c$ 形成列向量 $\mathbf{m}_y$,

得到 $\mathbf{m}_y = [\eta_{x1}^c, \eta_{y1}^c, \eta_{z1}^c, \eta_{x2}^c, \eta_{y2}^c, \eta_{z2}^c, \eta_{x3}^c, \eta_{y3}^c, \eta_{z3}^c]^T$ 。

用 $\xi_r^c = [x_r^c, \dot{x}_r^c, y_r^c, \dot{y}_r^c, z_r^c, \dot{z}_r^c]^T$ 表示 r 时刻坐标变换后的三维空间转弯机动目标状态估计, 其中 x_r^c 、 y_r^c 和 z_r^c 分别表示位置的 x 分量、 y 分量和 z 分量, $\dot{x}_r^c$ 、 $\dot{y}_r^c$ 和 $\dot{z}_r^c$ 分别表示速度的 x 分量和 y 分量。

基于列向量 $\mathbf{m}_y$ 及转弯率估计 $\hat{\omega}$ 获得在 r 时刻变换后的三维空间转弯机动目标状态估

计为 $\hat{\xi}_r^c = (\Phi^T \Phi)^{-1} \Phi^T m_y$;

$$\text{其中, } \Phi = \begin{bmatrix} \varphi_1 \\ \varphi_2 \\ \varphi_3 \end{bmatrix}$$

$$\varphi_k = \begin{bmatrix} 1 & \frac{\sin(\hat{\omega}(t_k - t_r))}{\hat{\omega}} & 0 & \frac{\cos(\hat{\omega}(t_k - t_r)) - 1}{\hat{\omega}} & 0 & 0 \\ 0 & \frac{1 - \cos(\hat{\omega}(t_k - t_r))}{\hat{\omega}} & 1 & \frac{\sin(\hat{\omega}(t_k - t_r))}{\hat{\omega}} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & t_k - t_r \end{bmatrix}, \quad k = 1, 2, 3。$$

在 r 时刻变换后的误差协方差矩阵为:

$$P_r^c = (\Phi^T \Phi)^{-1} \Phi^T R^c \Phi (\Phi^T \Phi)^{-1}$$

$$\text{其中, } R^c = \begin{bmatrix} R_1^c & 0 & 0 \\ 0 & R_2^c & 0 \\ 0 & 0 & R_3^c \end{bmatrix}。$$

反变换模块 40, 用于利用的坐标变换矩阵 F_c 对变换后的三维空间转弯机动目标初始状态估计和误差协方差估计进行反变换, 得到三维空间转弯机动目标的初始状态估计和误差协方差估计。反变换模块 40 具体用于:

利用变换矩阵 F_c 对变换后的三维空间转弯机动目标状态估计 $\hat{\xi}_r^c$ 进行反变换, 以获得三维空间转弯机动目标在 r 时刻的状态估计为 $\xi_r = [x_r, \dot{x}_r, y_r, \dot{y}_r, z_r, \dot{z}_r]^T$; 利用变换矩阵 F_c 对变换后的误差协方差矩阵 P_r^c 进行反变换, 得到目标在 r 时刻的误差协方差矩阵为 P_r ,

$$\text{其中, } \begin{bmatrix} x_r \\ \dot{x}_r \\ y_r \\ \dot{y}_r \\ z_r \\ \dot{z}_r \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} + Q \times \begin{bmatrix} x_r^c \\ \dot{x}_r^c \\ y_r^c \\ \dot{y}_r^c \\ z_r^c \\ \dot{z}_r^c \end{bmatrix}。$$

$$P_r = Q P_r^c Q^T,$$

$$Q = \begin{bmatrix} F_c(1,1) & 0 & F_c(2,2) & 0 & F_c(3,3) & 0 \\ 0 & F_c(1,1) & 0 & F_c(2,2) & 0 & F_c(3,3) \\ F_c(1,1) & 0 & F_c(2,2) & 0 & F_c(3,3) & 0 \\ 0 & F_c(1,1) & 0 & F_c(2,2) & 0 & F_c(3,3) \\ F_c(1,1) & 0 & F_c(2,2) & 0 & F_c(3,3) & 0 \\ 0 & F_c(1,1) & 0 & F_c(2,2) & 0 & F_c(3,3) \end{bmatrix}。$$

其中, $F_c(i, j)$ 表示矩阵 F_c 的第 i 行第 j 列元素。

本发明第二个实施例所提供的一种用于三维空间转弯机动目标的轨迹起始装置,通过坐标变换模块、轨迹探测模块、状态与误差协方差估计模块、坐标反变换模块以及循环装置,最终探测出观测空间中存在的目标,并获得目标的状态估计,从而有效地解决了三维空间转弯机动目标轨迹难以起始的问题,可用于多目标跟踪领域,具有很强的实用性。

作为本发明的第三个实例,其采用了如上述第一个实施例所提供的方法对仿真数据进行了实验。本实施例主要考虑两个在三维空间中作转弯机动的转弯机动目标,目标 1 的转弯率为 $\omega = -5^\circ/\text{s}$, 其初始状态为

$$[x_0, \dot{x}_0, y_0, \dot{y}_0, z_0, \dot{z}_0]^T = [-866.8 \text{ m}, 259.8 \text{ m/s}, 969.2 \text{ m}, 150.0 \text{ m/s}, 207.0 \text{ m}, 0 \text{ m/s}]^T, \text{ 其在}$$

$$t = 0、t = T \text{ 和 } t = 2T \text{ 时刻位置分别为 } [-866.8 \text{ m}, 969.2 \text{ m}, 207.1 \text{ m}]^T,$$

$$[-324.6 \text{ m}, 1224.0 \text{ m}, 193.5 \text{ m}]^T \text{ 和 } [251.6 \text{ m}, 1383.7 \text{ m}, 153.4 \text{ m}]^T, \text{ 目标 2 的转弯率为}$$

$$\omega = 5^\circ/\text{s}, \text{ 其初始状态为 } [-733.1 \text{ m}, 242.5 \text{ m/s}, 1203.8 \text{ m}, 140.0 \text{ m/s}, -310.6 \text{ m}, 0 \text{ m/s}]^T, \text{ 其在}$$

$$t = 0、t = T \text{ 和 } t = 2T \text{ 时刻位置分别为 } [-733.1 \text{ m}, 1203.8 \text{ m}, -310.6 \text{ m}]^T,$$

$$[-274.2 \text{ m}, 1523.2 \text{ m}, -323.2 \text{ m}]^T \text{ 和 } [123.8 \text{ m}, 1914.4 \text{ m}, -360.7 \text{ m}]^T。 \text{ 传感器测量目标位置,}$$

其采样周期为 $T=2\text{s}$, 位置测量数据为目标位置加上测量噪声, 用 σ_x 表示传感器在 x 方向上的测量噪声的标准差, σ_y 表示传感器在 y 方向上的测量噪声的标准差, σ_z 表示传感器在

z 方向上的测量噪声的标准差, 它们的取值为: $\sigma_x = \sigma_y = \sigma_z = 1\text{m}$, 协方差矩阵中 σ_{xy} 、 σ_{yz}

和 σ_{xz} 的取为 $\sigma_{xy} = \sigma_{yz} = \sigma_{xz} = 0\text{m}$ 。传感器在 $t = 0、t = T$ 和 $t = 2T$ 对目标测量, 得到 3

个位置测量数据。两个目标在 $t = 0\text{s}$ 时的状态值如下表 1 所示:

表 1: 两个目标在 $t = 0\text{s}$ 时的状态值

	$x \text{ (m)}$	$\dot{x} \text{ (m/s)}$	$y \text{ (m)}$	$\dot{y} \text{ (m/s)}$	$z \text{ (m)}$	$\dot{z} \text{ (m/s)}$
目标 1	-866.8	259.8	969.2	150.0	207.0	0
目标 2	-733.1	242.5	1203.8	140.0	-310.6	0

为了处理传感器获得的测量数据, 设最小速度 $v_{\min} = 450 \text{ m/s}$ 、最大速度

$v_{\max} = 200 \text{ m/s}$ 、最大加速度 $a_{\max} = 3 \text{ m/s}^2$, 最大转弯率 $\omega_{\max} = 12^\circ/\text{s}$ (即

$\omega_{\max} = 0.2094 \text{ rad/s}$), 控制参数 $b_3 = 2.5$ 。采用如本发明第一实施例所提供的方法对传感器

获得的测量数据进行处理, 可以成功地探测出观测空间中的两个目标, 并能得到这两个目

标在 $t = 0\text{ s}$ 时的状态估计，两个目标在 $t = 0\text{ s}$ 时的状态估计如下表 2 所示：

表 2：一次实验得到的两个目标在 $t = 0\text{ s}$ 时的状态估计

	$x\text{ (m)}$	$\dot{x}\text{ (m/s)}$	$y\text{ (m)}$	$\dot{y}\text{ (m/s)}$	$z\text{ (m)}$	$\dot{z}\text{ (m/s)}$
目标 1	-868.0	260.9	969.3	148.3	207.9	-1.1
目标 2	-731.0	240.4	1202.8	142.4	-310.4	-1.3

采用本发明第一实施例所提供的方法，进行了 100 次蒙特·卡罗统计模拟实验，得到上述两个目标在 $t = 0\text{ s}$ 时的状态估计下表 3 所示：

表 3：100 次蒙特·卡罗统计模拟得到的两个目标在 $t = 0\text{ s}$ 时的状态估计

	$x\text{ (m)}$	$\dot{x}\text{ (m/s)}$	$y\text{ (m)}$	$\dot{y}\text{ (m/s)}$	$z\text{ (m)}$	$\dot{z}\text{ (m/s)}$
目标 1	-866.9	259.8	969.2	150.1	207.2	-0.1
目标 2	-733.3	242.6	1204.0	139.8	-310.5	-0.1

对比表 1 所示的两目标的状态值，表 2 和表 3 的实验结果表明，本发明所提供的三维空间转弯机动目标的轨迹起始方法，可以获得较为精确和可靠的目标状态估计、各目标的状态估计非常接近它们真实的状态值。

序列表自由内容

以上仅为本发明的较佳实施例而已，并不用以限制发明，凡在本发明的精神和原则之内所作的任何修改、等同替换和改进等，均应包含在本发明的保护范围之内。

在本申请所提供的几个实施例中，应该理解到，所揭露的装置和方法，可以通过其它的方式实现。例如，以上所描述的装置实施例仅仅是示意性的，例如，模块的划分，仅仅为一种逻辑功能划分，实际实现时可以有另外的划分方式，例如多个模块或组件可以结合或者可以集成到另一个系统，或一些特征可以忽略，或不执行。另一点，所显示或讨论的相互之间的耦合或直接耦合或通信连接可以是通过一些接口，装置或模块的间接耦合或通信连接，可以是电性，机械或其它的形式。

作为分离部件说明的模块可以是或者也可以不是物理上分开的，作为模块显示的部件可以是或者也可以不是物理模块，即可以位于一个地方，或者也可以分布到多个网络模块上。可以根据实际的需要选择其中的部分或者全部模块来实现本实施例方案的目的。

另外，在本发明各个实施例中的各功能模块可以集成在一个处理模块中，也可以是各个模块单独物理存在，也可以两个或两个以上模块集成在一个模块中。上述集成的模块既可以采用硬件的形式实现，也可以采用软件功能模块的形式实现。

集成的模块如果以软件功能模块的形式实现并作为独立的产品销售或使用，可以存储在一个计算机可读取存储介质中。基于这样的理解，本发明的技术方案本质上或者说对现有技术做出贡献的部分或者该技术方案的全部或部分可以以软件产品的形式体现出来，该计算机软件产品存储在一个存储介质中，包括若干指令用以使得一台计算机设备（可以是个人计算机，服务器，或者网络设备等）执行本发明各个实施例方法的全部或部分步骤。而前述的存储介质包括：U盘、移动硬盘、只读存储器（ROM，Read-Only Memory）、随机存取存储器（RAM，Random Access Memory）、磁碟或者光盘等各种可以存储程序代码的介质。

需要说明的是，对于前述的各方法实施例，为了简便描述，故将其都表述为一系列的动作组合，但是本领域技术人员应该知悉，本发明并不受所描述的动作顺序的限制，因为依据

本发明，某些步骤可以采用其它顺序或者同时进行。其次，本领域技术人员也应该知悉，说明书中所描述的实施例均属于优选实施例，所涉及的动作和模块并不一定是本发明所必须的。

在上述实施例中，对各个实施例的描述都各有侧重，某个实施例中没有详述的部分，可以参见其它实施例的相关描述。

以上为对本发明所提供的一种用于三维空间转弯机动目标的轨迹起始方法及装置的描述，对于本领域的技术人员，依据本发明实施例的思想，在具体实施方式及应用范围上均会有改变之处，综上，本说明书内容不应理解为对本发明的限制。

权利要求书

1. 一种用于转弯机动目标的轨迹起始方法，其特征在于，所述方法包括：

步骤 1、分别从三维空间转弯机动目标三个不同时刻的位置测量数据集中各自取出一个位置测量数据，构成位置测量数据组，用所述位置测量数据组中的三个位置测量数据确定坐标变换矩阵，并通过所述坐标变换矩阵将所述三个位置测量数据变换至 xoy 平面上，得到变换后的三个位置测量数据，用所述坐标变换矩阵对所述三个位置测量数据的误差协方差矩阵进行变换，得到所述三个位置测量数据变换后的误差协方差矩阵；

其具体步骤包括：设所述三维空间转弯机动目标在三个不同时刻的位置测量数据为 $y_k = (z_k, t_k)$ ，其中， $k=1,2,3$ ， t_k 表示在 k 时刻的时间， $z_k = (\eta_x^k, \eta_y^k, \eta_z^k)$ ， η_x^k 、 η_y^k 和 η_z^k 分别表示所述三维空间转弯机动目标在 k 时刻的位置测量数据的 x 分量、y 分量和 z 分量；

令 $\eta_x^{ij} = \eta_x^i - \eta_x^j$ ， $\eta_y^{ij} = \eta_y^i - \eta_y^j$ ， $\eta_z^{ij} = \eta_z^i - \eta_z^j$ ，其中， $i=1,2,3$ 和 $j=1,2,3$ ；利用连续三个不同时刻的位置测量数据 $y_1 = (z_1, t_1)$ 、 $y_2 = (z_2, t_2)$ 和 $y_3 = (z_3, t_3)$ 获得所述三维空间转弯机动目标运动平面与 xoy 平面的夹角为 α ，所述三维空间转弯机动目标运动平面与 xoy 平面的交线和 x 轴间的夹角为 β ，所述交线与 x 轴的交点为 $[x_0, 0, 0]^T$ ；

其中，

$$\alpha_0 = \arccos \frac{\eta_x^{21}\eta_y^{32} - \eta_x^{32}\eta_y^{21}}{\sqrt{(\eta_y^{21}\eta_z^{32} - \eta_y^{32}\eta_z^{21})^2 + (\eta_z^{21}\eta_x^{32} - \eta_z^{32}\eta_x^{21})^2 + (\eta_x^{21}\eta_y^{32} - \eta_x^{32}\eta_y^{21})^2}}$$

$$\alpha = \begin{cases} \alpha_0, & \alpha_0 \leq \frac{\pi}{2} \\ \pi - \alpha_0, & \alpha_0 > \frac{\pi}{2} \end{cases}$$

$$\beta_0 = \arccos \frac{\eta_z^{21}\eta_x^{31} - \eta_z^{31}\eta_x^{21}}{\sqrt{(\eta_z^{21}\eta_x^{31} - \eta_z^{31}\eta_x^{21})^2 + (\eta_z^{21}\eta_y^{31} - \eta_z^{31}\eta_y^{21})^2}}$$

$$\beta = \begin{cases} \beta_0, & \beta_0 \leq \frac{\pi}{2} \\ \pi - \beta_0, & \beta_0 > \frac{\pi}{2} \end{cases}$$

$$x_0 = \eta_x^1 + \frac{\eta_y^1(\eta_z^{21}\eta_x^{31} - \eta_z^{31}\eta_x^{21}) + \eta_z^1(\eta_x^{21}\eta_y^{31} - \eta_x^{31}\eta_y^{21})}{\eta_y^{21}\eta_z^{31} - \eta_y^{31}\eta_z^{21}}$$

上标 T 表示向量或矩阵的转置；

利用所述夹角 α 和所述夹角 β ，并取 $\alpha_1 = \alpha$ ， $\alpha_2 = -\alpha$ ， $\beta_1 = \beta$ ， $\beta_2 = -\beta$ ，构建坐标变换矩阵 F_{ij} ；

$$\text{其中， } F_{ij} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \alpha_i & -\sin \alpha_i \\ 0 & \sin \alpha_i & \cos \alpha_i \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} \cos \beta_j & -\sin \beta_j & 0 \\ \sin \beta_j & \cos \beta_j & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, \quad i=1,2 \text{ 和 } j=1,2;$$

利用所述坐标变换矩阵 F_{ij} ，以及所述交点 $[x_0, 0, 0]^T$ ，分别对位置测量数据 z_1 、 z_2 和 z_3 进行坐标变换得到变换的位置测量数据 $z_1^{ij} = (\eta_{x1}^{ij}, \eta_{y1}^{ij}, \eta_{z1}^{ij})$ 、 $z_2^{ij} = (\eta_{x2}^{ij}, \eta_{y2}^{ij}, \eta_{z2}^{ij})$ 和

$$z_3^{ij} = (\eta_{x3}^{ij}, \eta_{y3}^{ij}, \eta_{z3}^{ij});$$

$$\text{其中, } \begin{bmatrix} \eta_{x1}^{ij} \\ \eta_{y1}^{ij} \\ \eta_{z1}^{ij} \end{bmatrix} = (\mathbf{F}_{ij})^T \begin{bmatrix} \eta_x^1 \\ \eta_y^1 \\ \eta_z^1 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} x_0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} \eta_{x2}^{ij} \\ \eta_{y2}^{ij} \\ \eta_{z2}^{ij} \end{bmatrix} = (\mathbf{F}_{ij})^T \begin{bmatrix} \eta_x^2 \\ \eta_y^2 \\ \eta_z^2 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} x_0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} \eta_{x3}^{ij} \\ \eta_{y3}^{ij} \\ \eta_{z3}^{ij} \end{bmatrix} = (\mathbf{F}_{ij})^T \begin{bmatrix} \eta_x^3 \\ \eta_y^3 \\ \eta_z^3 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} x_0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

利用变换的位置测量数据 $\mathbf{z}_1^{ij}$ 、 $\mathbf{z}_2^{ij}$ 和 $\mathbf{z}_3^{ij}$ ，求取 $s_{ij} = |\eta_{z1}^{ij}| + |\eta_{z2}^{ij}| + |\eta_{z3}^{ij}|$ ，其中 $i=1,2$ 和 $j=1,2$ ；从 s_{ij} ， $i=1,2$ 和 $j=1,2$ 中找到最小值对应的索引号，即 $(i_1, j_1) = \arg \min_{i,j}(s_{ij})$ ；并取索引号 (i_1, j_1) 对应的坐标变换矩阵作为所求的变换矩阵 $\mathbf{F}_c$ ，即 $\mathbf{F}_c = \mathbf{F}_{i_1 j_1}$ ，索引号 (i_1, j_1) 对应的位置测量数据 $\mathbf{z}_1^{i_1 j_1}$ 、 $\mathbf{z}_2^{i_1 j_1}$ 和 $\mathbf{z}_3^{i_1 j_1}$ 分别作为变换后的位置测量数据 $\mathbf{z}_1^c$ 、 $\mathbf{z}_2^c$ 和 $\mathbf{z}_3^c$ ，即

$$\mathbf{z}_1^c = \mathbf{z}_1^{i_1 j_1}、\mathbf{z}_2^c = \mathbf{z}_2^{i_1 j_1} \text{ 和 } \mathbf{z}_3^c = \mathbf{z}_3^{i_1 j_1}；$$

$$\text{设测量 } \mathbf{z}_k \text{ 的误差协方差矩阵为 } \mathbf{R}_k = \begin{bmatrix} \sigma_{k,x}^2 & \sigma_{k,xy}^2 & \sigma_{k,xz}^2 \\ \sigma_{k,xy}^2 & \sigma_{k,y}^2 & \sigma_{k,yz}^2 \\ \sigma_{k,xz}^2 & \sigma_{k,yz}^2 & \sigma_{k,z}^2 \end{bmatrix}, \text{ 其中 } \sigma_{k,x}^2、\sigma_{k,y}^2、\sigma_{k,z}^2、$$

$\sigma_{k,xy}^2、\sigma_{k,xz}^2、\sigma_{k,yz}^2$ 为误差协方差矩阵 $\mathbf{R}_k$ 的元素值；利用所述变换矩阵 $\mathbf{F}_c$ 对 $\mathbf{R}_k$ 进行变换，

得到变换后的误差协方差矩阵 $\mathbf{R}_k^c$ ，其中 $\mathbf{R}_k^c = (\mathbf{F}_c)^T \mathbf{R}_k \mathbf{F}_c$ ， $k=1,2,3$ ；

步骤 2、测试变换后的三个位置测量数据是否同时满足三个预设条件；若能同时满足三个预设条件，用所述变换后的三个位置测量数据形成一试探性轨迹，并转入步骤 3；否则转入步骤 1 取下一组位置测量数据组进行测试；

步骤 3、利用所述变换后的三个位置测量数据得到所述三维空间转弯机动目标的转弯率估计；利用所述变换后的三个位置测量数据和所述三维空间转弯机动目标的转弯率估计，得到变换后的三维空间转弯机动目标初始状态估计和误差协方差估计；

步骤 4、利用所述的坐标变换矩阵 $\mathbf{F}_c$ 对变换后的三维空间转弯机动目标初始状态估计和误差协方差估计进行反变换，得到所述三维空间转弯机动目标的初始状态估计和误差协方差估计；

步骤 5、在一个位置测量数据组的三个位置测量数据的测试完成后，转入步骤 1 取下一组位置测量数据组进行测试，直至所有的位置测量数据组都进行了测试。

2. 如权利要求 1 所述的方法，其特征在于，所述步骤 2 包括：

以 $\mathbf{z}_1^c = (\eta_{x1}^c, \eta_{y1}^c, \eta_{z1}^c)$ 、 $\mathbf{z}_2^c = (\eta_{x2}^c, \eta_{y2}^c, \eta_{z2}^c)$ 和 $\mathbf{z}_3^c = (\eta_{x3}^c, \eta_{y3}^c, \eta_{z3}^c)$ 表示变换后的位置测

量数据, 测试所述位置测量数据 $\mathbf{z}_1^c$ 、 $\mathbf{z}_2^c$ 和 $\mathbf{z}_3^c$ 是否同时满足下列三个预设条件:

预设条件 1:

$$v_{\min}(t_2 - t_1) - b_1 \leq \|\mathbf{z}_2^c - \mathbf{z}_1^c\|_2 \leq v_{\max}(t_2 - t_1) + b_1;$$

$$v_{\min}(t_3 - t_2) - b_2 \leq \|\mathbf{z}_3^c - \mathbf{z}_2^c\|_2 \leq v_{\max}(t_3 - t_2) + b_2;$$

预设条件 2:

$$\left| \frac{\|\mathbf{z}_3^c - \mathbf{z}_2^c\|_2}{t_3 - t_2} - \frac{\|\mathbf{z}_3^c - \mathbf{z}_2^c\|_2}{t_2 - t_1} \right| \leq a_{\max}(t_3 - t_2) + \left(\frac{b_2}{t_3 - t_2} + \frac{b_1}{t_2 - t_1} \right);$$

预设条件 3:

$$\left| \pi - \arccos \frac{\|\mathbf{z}_2^c - \mathbf{z}_1^c\|_2^2 + \|\mathbf{z}_3^c - \mathbf{z}_2^c\|_2^2 - \|\mathbf{z}_3^c - \mathbf{z}_1^c\|_2^2}{2\|\mathbf{z}_2^c - \mathbf{z}_1^c\|_2 \times \|\mathbf{z}_3^c - \mathbf{z}_2^c\|_2} \right| \leq \frac{1}{2} \omega_{\max}(t_{k+2} - t_k) + c;$$

其中, $v_{\min}$ 、 $v_{\max}$ 、 $a_{\max}$ 和 $\omega_{\max}$ 分别为最小速度、最大速度、最大加速度和最大转弯率, $\|\cdot\|_2$ 表示向量的 2 范数, b_1 、 b_2 和 c 是三个与协方差矩阵 $\mathbf{R}_k^c$ 相关的参数; 以 $\mathbf{V}_k$ 表示矩阵 $\mathbf{R}_k^c$ 的乔里斯基 (Cholesky) 分解矩阵, 即 $\mathbf{V}_k = \text{chol}(\mathbf{R}_k^c)$, 以 $V_{k,1}$ 、 $V_{k,2}$ 和 $V_{k,3}$ 表示分解矩阵 $\mathbf{V}_k$ 的主对角线上的三个元素, 其中, $k=1,2,3$, 则参数 b_1 、 b_2 和 c 分别取为

$$b_1 = b_3 \left(\sqrt{V_{1,1}^2 + V_{1,2}^2 + V_{1,3}^2} + \sqrt{V_{2,1}^2 + V_{2,2}^2 + V_{2,3}^2} \right)$$

$$b_2 = b_3 \left(\sqrt{V_{2,1}^2 + V_{2,2}^2 + V_{2,3}^2} + \sqrt{V_{3,1}^2 + V_{3,2}^2 + V_{3,3}^2} \right)$$

$$c = \arcsin \frac{b_1}{\|\mathbf{z}_2^c - \mathbf{z}_1^c\|_2} + \arcsin \frac{b_2}{\|\mathbf{z}_3^c - \mathbf{z}_2^c\|_2}$$

其中, b_3 控制参数, 其取值范围为 $b_3 = 1 \sim 3$ 。

3. 如权利要求 2 所述的方法, 其特征在于, 所述步骤 3 包括:

利用已形成试探性轨迹的所述变换后的三个位置测量数据 $\mathbf{z}_1^c$ 、 $\mathbf{z}_2^c$ 和 $\mathbf{z}_3^c$ 得到所述三维空间转弯机动目标的转弯率估计为

$$\hat{\omega} = \text{sgn}(a) \times \frac{2 \left(\pi - \arccos \frac{\|\mathbf{z}_2^c - \mathbf{z}_1^c\|_2^2 + \|\mathbf{z}_3^c - \mathbf{z}_2^c\|_2^2 - \|\mathbf{z}_3^c - \mathbf{z}_1^c\|_2^2}{2\|\mathbf{z}_2^c - \mathbf{z}_1^c\|_2 \times \|\mathbf{z}_3^c - \mathbf{z}_2^c\|_2} \right)}{t_3 - t_1};$$

其中, $a = (\eta_{x2}^c - \eta_{x1}^c)(\eta_{y3}^c - \eta_{y2}^c) - (\eta_{y2}^c - \eta_{y1}^c)(\eta_{x3}^c - \eta_{x2}^c)$, $\text{sgn}(a)$ 为取变量 a 的符号, 且

$$\text{有 } \text{sgn}(a) = \begin{cases} 1, & a > 0 \\ 0, & a = 0 \\ -1, & a_i < 0 \end{cases};$$

利用已形成试探性轨迹的所述变换后的三个位置测量数据 $\mathbf{z}_1^c$ 、 $\mathbf{z}_2^c$ 和 $\mathbf{z}_3^c$ 形成列向量

$$\mathbf{m}_y, \text{ 得到 } \mathbf{m}_y = [\eta_{x1}^c, \eta_{y1}^c, \eta_{z1}^c, \eta_{x2}^c, \eta_{y2}^c, \eta_{z2}^c, \eta_{x3}^c, \eta_{y3}^c, \eta_{z3}^c]^T;$$

用 $\hat{\boldsymbol{\xi}}_r^c = [x_r^c, \dot{x}_r^c, y_r^c, \dot{y}_r^c, z_r^c, \dot{z}_r^c]^T$ 表示 r 时刻坐标变换后的三维空间转弯机动目标状态估计, 其中 x_r^c 、 y_r^c 和 z_r^c 分别表示位置的 x 分量、 y 分量和 z 分量, $\dot{x}_r^c$ 、 $\dot{y}_r^c$ 和 $\dot{z}_r^c$ 分别表示速度的 x 分量和 y 分量;

基于所述列向量 $\mathbf{m}_y$ 及所述转弯率估计 $\hat{\omega}$ 获得在 r 时刻变换后的三维空间转弯机动目标状态估计为 $\hat{\boldsymbol{\xi}}_r^c = (\Phi^T \Phi)^{-1} \Phi^T \mathbf{m}_y$;

$$\text{其中, } \Phi = \begin{bmatrix} \varphi_1 \\ \varphi_2 \\ \varphi_3 \end{bmatrix}$$

$$\varphi_k = \begin{bmatrix} 1 & \frac{\sin(\hat{\omega}(t_k - t_r))}{\hat{\omega}} & 0 & \frac{\cos(\hat{\omega}(t_k - t_r)) - 1}{\hat{\omega}} & 0 & 0 \\ 0 & \frac{1 - \cos(\hat{\omega}(t_k - t_r))}{\hat{\omega}} & 1 & \frac{\sin(\hat{\omega}(t_k - t_r))}{\hat{\omega}} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & t_k - t_r \end{bmatrix}, \quad k = 1, 2, 3$$

在 r 时刻变换后的误差协方差矩阵为

$$\mathbf{P}_r^c = (\Phi^T \Phi)^{-1} \Phi^T \mathbf{R}^c \Phi (\Phi^T \Phi)^{-1}$$

$$\text{其中, } \mathbf{R}^c = \begin{bmatrix} \mathbf{R}_1^c & \mathbf{0} & \mathbf{0} \\ \mathbf{0} & \mathbf{R}_2^c & \mathbf{0} \\ \mathbf{0} & \mathbf{0} & \mathbf{R}_3^c \end{bmatrix}。$$

4. 如权利要求 3 所述的方法, 其特征在于, 所述步骤 4 包括:

利用所述变换矩阵 $\mathbf{F}_c$ 对变换后的三维空间转弯机动目标状态估计 $\hat{\boldsymbol{\xi}}_r^c$ 进行反变换, 以获得三维空间转弯机动目标在 r 时刻的状态估计为 $\hat{\boldsymbol{\xi}}_r = [x_r, \dot{x}_r, y_r, \dot{y}_r, z_r, \dot{z}_r]^T$; 利用所述变换矩阵 $\mathbf{F}_c$ 对变换后的误差协方差矩阵 $\mathbf{P}_r^c$ 进行反变换, 得到目标在 r 时刻的误差协方差矩阵为 $\mathbf{P}_r$

$$\text{其中, } \begin{bmatrix} x_r \\ \dot{x}_r \\ y_r \\ \dot{y}_r \\ z_r \\ \dot{z}_r \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} + Q \times \begin{bmatrix} x_r^c \\ \dot{x}_r^c \\ y_r^c \\ \dot{y}_r^c \\ z_r^c \\ \dot{z}_r^c \end{bmatrix}$$

$$P_r = Q P_r^c Q^T$$

$$Q = \begin{bmatrix} F_c(1,1) & 0 & F_c(2,2) & 0 & F_c(3,3) & 0 \\ 0 & F_c(1,1) & 0 & F_c(2,2) & 0 & F_c(3,3) \\ F_c(1,1) & 0 & F_c(2,2) & 0 & F_c(3,3) & 0 \\ 0 & F_c(1,1) & 0 & F_c(2,2) & 0 & F_c(3,3) \\ F_c(1,1) & 0 & F_c(2,2) & 0 & F_c(3,3) & 0 \\ 0 & F_c(1,1) & 0 & F_c(2,2) & 0 & F_c(3,3) \end{bmatrix}$$

其中, $F_c(i, j)$ 表示矩阵 F_c 的第 i 行第 j 列元素。

5. 三维空间转弯机动目标的轨迹起始装置, 其特征在于, 所述装置包括:

变换模块, 用于分别从三维空间转弯机动目标三个不同时刻的位置测量数据集中各自取出一个位置测量数据, 构成位置测量数据组, 用所述位置测量数据组中的三个位置测量数据确定坐标变换矩阵, 并通过所述坐标变换矩阵将所述三个位置测量数据变换至 xoy 平面上, 得到变换后的三个位置测量数据, 用所述坐标变换矩阵对所述三个位置测量数据的误差协方差矩阵进行变换, 得到所述三个位置测量数据变换后的误差协方差矩阵;

其具体用于: 设所述三维空间转弯机动目标在三个不同时刻的位置测量数据为 $y_k = (z_k, t_k)$, 其中, $k = 1, 2, 3$, t_k 表示在 k 时刻的时间, $z_k = (\eta_x^k, \eta_y^k, \eta_z^k)$, η_x^k 、 η_y^k 和 η_z^k 分别表示所述三维空间转弯机动目标在 k 时刻的位置测量数据的 x 分量、y 分量和 z 分量;

令 $\eta_x^{ij} = \eta_x^i - \eta_x^j$, $\eta_y^{ij} = \eta_y^i - \eta_y^j$, $\eta_z^{ij} = \eta_z^i - \eta_z^j$, 其中, $i = 1, 2, 3$ 和 $j = 1, 2, 3$; 利用连续三个不同时刻的位置测量数据 $y_1 = (z_1, t_1)$ 、 $y_2 = (z_2, t_2)$ 和 $y_3 = (z_3, t_3)$ 获得所述三维空间转弯机动目标运动平面与 xoy 平面的夹角为 α , 所述三维空间转弯机动目标运动平面与 xoy 平面的交线和 x 轴间的夹角为 β , 所述交线与 x 轴的交点为 $[x_0, 0, 0]^T$;

其中,

$$\alpha_0 = \arccos \frac{\eta_x^{21} \eta_y^{32} - \eta_x^{32} \eta_y^{21}}{\sqrt{(\eta_y^{21} \eta_z^{32} - \eta_y^{32} \eta_z^{21})^2 + (\eta_z^{21} \eta_x^{32} - \eta_z^{32} \eta_x^{21})^2 + (\eta_x^{21} \eta_y^{32} - \eta_x^{32} \eta_y^{21})^2}}$$

$$\alpha = \begin{cases} \alpha_0, & \alpha_0 \leq \frac{\pi}{2} \\ \pi - \alpha_0, & \alpha_0 > \frac{\pi}{2} \end{cases}$$

$$\beta_0 = \arccos \frac{\eta_z^{21} \eta_x^{31} - \eta_z^{31} \eta_x^{21}}{\sqrt{(\eta_z^{21} \eta_x^{31} - \eta_z^{31} \eta_x^{21})^2 + (\eta_z^{21} \eta_y^{31} - \eta_z^{31} \eta_y^{21})^2}}$$

$$\beta = \begin{cases} \beta_0, & \beta_0 \leq \frac{\pi}{2} \\ \pi - \beta_0, & \beta_0 > \frac{\pi}{2} \end{cases}$$

$$x_0 = \eta_x^1 + \frac{\eta_y^1(\eta_z^{21}\eta_x^{31} - \eta_z^{31}\eta_x^{21}) + \eta_z^1(\eta_x^{21}\eta_y^{31} - \eta_x^{31}\eta_y^{21})}{\eta_y^{21}\eta_z^{31} - \eta_y^{31}\eta_z^{21}}$$

上标 T 表示向量或矩阵的转置；

利用所述夹角 α 和夹角 β ，并取 $\alpha_1 = \alpha$ ， $\alpha_2 = -\alpha$ ， $\beta_1 = \beta$ ， $\beta_2 = -\beta$ ，构建坐标变换矩阵 F_{ij} ；

$$\text{其中，} F_{ij} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \alpha_i & -\sin \alpha_i \\ 0 & \sin \alpha_i & \cos \alpha_i \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} \cos \beta_j & -\sin \beta_j & 0 \\ \sin \beta_j & \cos \beta_j & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, \quad i=1,2 \text{ 和 } j=1,2;$$

利用所述坐标变换矩阵 F_{ij} ，以及所述交点 $[x_0, 0, 0]^T$ ，分别对位置测量数据 $\mathbf{z}_1$ 、 $\mathbf{z}_2$ 和 $\mathbf{z}_3$ 进行坐标变换得到变换的位置测量数据 $\mathbf{z}_1^{ij} = (\eta_{x1}^{ij}, \eta_{y1}^{ij}, \eta_{z1}^{ij})$ 、 $\mathbf{z}_2^{ij} = (\eta_{x2}^{ij}, \eta_{y2}^{ij}, \eta_{z2}^{ij})$ 和 $\mathbf{z}_3^{ij} = (\eta_{x3}^{ij}, \eta_{y3}^{ij}, \eta_{z3}^{ij})$ ；

$$\text{其中，} \begin{bmatrix} \eta_{x1}^{ij} \\ \eta_{y1}^{ij} \\ \eta_{z1}^{ij} \end{bmatrix} = (F_{ij})^T \left(\begin{bmatrix} \eta_x^1 \\ \eta_y^1 \\ \eta_z^1 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} x_0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \right)$$

$$\begin{bmatrix} \eta_{x2}^{ij} \\ \eta_{y2}^{ij} \\ \eta_{z2}^{ij} \end{bmatrix} = (F_{ij})^T \left(\begin{bmatrix} \eta_x^2 \\ \eta_y^2 \\ \eta_z^2 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} x_0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \right)$$

$$\begin{bmatrix} \eta_{x3}^{ij} \\ \eta_{y3}^{ij} \\ \eta_{z3}^{ij} \end{bmatrix} = (F_{ij})^T \left(\begin{bmatrix} \eta_x^3 \\ \eta_y^3 \\ \eta_z^3 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} x_0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \right)$$

利用变换的位置测量数据 $\mathbf{z}_1^{ij}$ 、 $\mathbf{z}_2^{ij}$ 和 $\mathbf{z}_3^{ij}$ ，求取 $s_{ij} = |\eta_{z1}^{ij}| + |\eta_{z2}^{ij}| + |\eta_{z3}^{ij}|$ ，其中 $i=1,2$ 和 $j=1,2$ ；从 s_{ij} ， $i=1,2$ 和 $j=1,2$ 中找到最小值对应的索引号，即 $(i_1, j_1) = \arg \min_{i,j}(s_{ij})$ ；并取索引号 (i_1, j_1) 对应的坐标变换矩阵作为所求的变换矩阵 F_c ，即 $F_c = F_{i_1 j_1}$ ，索引号 (i_1, j_1)

对应的位置测量数据 $\mathbf{z}_1^{i_1 j_1}$ 、 $\mathbf{z}_2^{i_1 j_1}$ 和 $\mathbf{z}_3^{i_1 j_1}$ 分别作为变换后的位置测量数据 $\mathbf{z}_1^c$ 、 $\mathbf{z}_2^c$ 和 $\mathbf{z}_3^c$ ，即

$$\mathbf{z}_1^c = \mathbf{z}_1^{i_1 j_1}, \quad \mathbf{z}_2^c = \mathbf{z}_2^{i_1 j_1} \text{ 和 } \mathbf{z}_3^c = \mathbf{z}_3^{i_1 j_1};$$

$$\text{设测量 } \mathbf{z}_k \text{ 的误差协方差矩阵为 } \mathbf{R}_k = \begin{bmatrix} \sigma_{k,x}^2 & \sigma_{k,xy}^2 & \sigma_{k,xz}^2 \\ \sigma_{k,xy}^2 & \sigma_{k,y}^2 & \sigma_{k,yz}^2 \\ \sigma_{k,xz}^2 & \sigma_{k,yz}^2 & \sigma_{k,z}^2 \end{bmatrix}, \text{ 其中 } \sigma_{k,x}^2, \sigma_{k,y}^2, \sigma_{k,z}^2,$$

$\sigma_{k,xy}^2$ 、 $\sigma_{k,xz}^2$ 、 $\sigma_{k,yz}^2$ 为误差协方差矩阵 $\mathbf{R}_k$ 的元素值；利用所述变换矩阵 $\mathbf{F}_c$ 对 $\mathbf{R}_k$ 进行变换，

得到变换后的误差协方差矩阵 $\mathbf{R}_k^c$ ，其中 $\mathbf{R}_k^c = (\mathbf{F}_c)^T \mathbf{R}_k \mathbf{F}_c$ ， $k=1,2,3$ ；

轨迹探测模块，用于测试变换后的三个位置测量数据是否同时满足三个预设条件；若能同时满足三个预设条件，用所述变换后的三个位置测量数据形成一试探性轨迹，并转入状态与误差协方差估计模块；否则转入变换模块取下一组位置测量数据组进行测试；

状态与误差协方差估计模块，用于利用所述变换后的三个位置测量数据得到所述三维空间转弯机动目标的转弯率估计；利用所述变换后的三个位置测量数据和所述三维空间转弯机动目标的转弯率估计，得到变换后的三维空间转弯机动目标初始状态估计和误差协方差估计；

反变换模块，用于利用所述的坐标变换矩阵 $\mathbf{F}_c$ 对变换后的三维空间转弯机动目标初始状态估计和误差协方差估计进行反变换，得到所述三维空间转弯机动目标的初始状态估计和误差协方差估计。

6. 如权利要求 5 所述的装置，其特征在于，所述轨迹探测模块具体用于：

以 $\mathbf{z}_1^c = (\eta_{x1}^c, \eta_{y1}^c, \eta_{z1}^c)$ 、 $\mathbf{z}_2^c = (\eta_{x2}^c, \eta_{y2}^c, \eta_{z2}^c)$ 和 $\mathbf{z}_3^c = (\eta_{x3}^c, \eta_{y3}^c, \eta_{z3}^c)$ 表示变换后的位置测

量数据，测试所述位置测量数据 $\mathbf{z}_1^c$ 、 $\mathbf{z}_2^c$ 和 $\mathbf{z}_3^c$ 是否同时满足下列三个预设条件：

预设条件 1：

$$v_{\min}(t_2 - t_1) - b_1 \leq \|\mathbf{z}_2^c - \mathbf{z}_1^c\|_2 \leq v_{\max}(t_2 - t_1) + b_1;$$

$$v_{\min}(t_3 - t_2) - b_2 \leq \|\mathbf{z}_3^c - \mathbf{z}_2^c\|_2 \leq v_{\max}(t_3 - t_2) + b_2;$$

预设条件 2：

$$\left| \frac{\|\mathbf{z}_3^c - \mathbf{z}_2^c\|_2}{t_3 - t_2} - \frac{\|\mathbf{z}_3^c - \mathbf{z}_1^c\|_2}{t_2 - t_1} \right| \leq a_{\max}(t_3 - t_2) + \left(\frac{b_2}{t_3 - t_2} + \frac{b_1}{t_2 - t_1} \right);$$

预设条件 3：

$$\left| \pi - \arccos \frac{\|\mathbf{z}_2^c - \mathbf{z}_1^c\|_2^2 + \|\mathbf{z}_3^c - \mathbf{z}_2^c\|_2^2 - \|\mathbf{z}_3^c - \mathbf{z}_1^c\|_2^2}{2\|\mathbf{z}_2^c - \mathbf{z}_1^c\|_2 \times \|\mathbf{z}_3^c - \mathbf{z}_2^c\|_2} \right| \leq \frac{1}{2} \omega_{\max}(t_{k+2} - t_k) + c;$$

其中， $v_{\min}$ 、 $v_{\max}$ 、 $a_{\max}$ 和 $\omega_{\max}$ 分别为最小速度、最大速度、最大加速度和最大转弯率， $\|\cdot\|_2$ 表示向量的 2 范数， b_1 、 b_2 和 c 是三个与协方差矩阵 $\mathbf{R}_k^c$ 相关的参数；以 $\mathbf{V}_k$ 表示矩阵 $\mathbf{R}_k^c$ 的乔里斯基 (Cholesky) 分解矩阵，即 $\mathbf{V}_k = \text{chol}(\mathbf{R}_k^c)$ ，以 $V_{k,1}$ 、 $V_{k,2}$ 和 $V_{k,3}$ 表示分解矩阵 $\mathbf{V}_k$ 的主对角线上的三个元素，其中， $k=1,2,3$ ，则参数 b_1 、 b_2 和 c 分别取为

$$b_1 = b_3 \left(\sqrt{V_{1,1}^2 + V_{1,2}^2 + V_{1,3}^2} + \sqrt{V_{2,1}^2 + V_{2,2}^2 + V_{2,3}^2} \right)$$

$$b_2 = b_3 \left(\sqrt{V_{2,1}^2 + V_{2,2}^2 + V_{2,3}^2} + \sqrt{V_{3,1}^2 + V_{3,2}^2 + V_{3,3}^2} \right)$$

$$c = \arcsin \frac{b_1}{\|\mathbf{z}_2^c - \mathbf{z}_1^c\|_2} + \arcsin \frac{b_2}{\|\mathbf{z}_3^c - \mathbf{z}_2^c\|_2}$$

其中, b_3 控制参数, 其取值范围为 $b_3 = 1 \sim 3$ 。

7. 如权利要求 6 所述的装置, 其特征在于, 所述状态与误差协方差估计模块具体用于:

利用已形成试探性轨迹的所述变换后的三个位置测量数据 $\mathbf{z}_1^c$ 、 $\mathbf{z}_2^c$ 和 $\mathbf{z}_3^c$ 得到所述三维空间转弯机动目标的转弯率估计为

$$\hat{\omega} = \text{sgn}(a) \times \frac{2 \left(\pi - \arccos \frac{\|\mathbf{z}_2^c - \mathbf{z}_1^c\|_2^2 + \|\mathbf{z}_3^c - \mathbf{z}_2^c\|_2^2 - \|\mathbf{z}_3^c - \mathbf{z}_1^c\|_2^2}{2\|\mathbf{z}_2^c - \mathbf{z}_1^c\|_2 \times \|\mathbf{z}_3^c - \mathbf{z}_2^c\|_2} \right)}{t_3 - t_1};$$

其中, $a = (\eta_{x2}^c - \eta_{x1}^c)(\eta_{y3}^c - \eta_{y2}^c) - (\eta_{y2}^c - \eta_{y1}^c)(\eta_{x3}^c - \eta_{x2}^c)$, $\text{sgn}(a)$ 为取变量 a 的符号, 且

$$\text{有 } \text{sgn}(a) = \begin{cases} 1, & a > 0 \\ 0, & a = 0; \\ -1, & a_i < 0 \end{cases}$$

利用已形成试探性轨迹的所述变换后的三个位置测量数据 $\mathbf{z}_1^c$ 、 $\mathbf{z}_2^c$ 和 $\mathbf{z}_3^c$ 形成列向量

$$\mathbf{m}_y, \text{ 得到 } \mathbf{m}_y = [\eta_{x1}^c, \eta_{y1}^c, \eta_{z1}^c, \eta_{x2}^c, \eta_{y2}^c, \eta_{z2}^c, \eta_{x3}^c, \eta_{y3}^c, \eta_{z3}^c]^T;$$

用 $\xi_r^c = [x_r^c, \dot{x}_r^c, y_r^c, \dot{y}_r^c, z_r^c, \dot{z}_r^c]^T$ 表示 r 时刻坐标变换后的三维空间转弯机动目标状态估计, 其中 x_r^c 、 y_r^c 和 z_r^c 分别表示位置的 x 分量、 y 分量和 z 分量, $\dot{x}_r^c$ 、 $\dot{y}_r^c$ 和 $\dot{z}_r^c$ 分别表示速度的 x 分量和 y 分量;

基于所述列向量 $\mathbf{m}_y$ 及所述转弯率估计 $\hat{\omega}$ 获得在 r 时刻变换后的三维空间转弯机动目标状态估计为 $\hat{\xi}_r^c = (\Phi^T \Phi)^{-1} \Phi^T \mathbf{m}_y$;

$$\text{其中, } \Phi = \begin{bmatrix} \varphi_1 \\ \varphi_2 \\ \varphi_3 \end{bmatrix}$$

$$\boldsymbol{\varphi}_k = \begin{bmatrix} 1 & \frac{\sin(\hat{\omega}(t_k - t_r))}{\hat{\omega}} & 0 & \frac{\cos(\hat{\omega}(t_k - t_r)) - 1}{\hat{\omega}} & 0 & 0 \\ 0 & \frac{1 - \cos(\hat{\omega}(t_k - t_r))}{\hat{\omega}} & 1 & \frac{\sin(\hat{\omega}(t_k - t_r))}{\hat{\omega}} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & t_k - t_r \end{bmatrix}, \quad k = 1, 2, 3$$

在 r 时刻变换后的误差协方差矩阵为

$$\boldsymbol{P}_r^c = (\boldsymbol{\Phi}^T \boldsymbol{\Phi})^{-1} \boldsymbol{\Phi}^T \boldsymbol{R}^c \boldsymbol{\Phi} (\boldsymbol{\Phi}^T \boldsymbol{\Phi})^{-1}$$

$$\text{其中, } \boldsymbol{R}^c = \begin{bmatrix} \boldsymbol{R}_1^c & \boldsymbol{\theta} & \boldsymbol{\theta} \\ \boldsymbol{\theta} & \boldsymbol{R}_2^c & \boldsymbol{\theta} \\ \boldsymbol{\theta} & \boldsymbol{\theta} & \boldsymbol{R}_3^c \end{bmatrix}。$$

8. 如权利要求 7 所述的装置, 其特征在于, 所述反变换模块具体用于:

利用所述变换矩阵 $\boldsymbol{F}_c$ 对变换后的三维空间转弯机动目标状态估计 $\hat{\boldsymbol{\xi}}_r^c$ 进行反变换, 以获得三维空间转弯机动目标在 r 时刻的状态估计为 $\boldsymbol{\xi}_r = [x_r, \dot{x}_r, y_r, \dot{y}_r, z_r, \dot{z}_r]^T$; 利用所述变换矩阵 $\boldsymbol{F}_c$ 对变换后的误差协方差矩阵 $\boldsymbol{P}_r^c$ 进行反变换, 得到目标在 r 时刻的误差协方差矩阵为 $\boldsymbol{P}_r$

$$\text{其中, } \begin{bmatrix} x_r \\ \dot{x}_r \\ y_r \\ \dot{y}_r \\ z_r \\ \dot{z}_r \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} + \boldsymbol{Q} \times \begin{bmatrix} x_r^c \\ \dot{x}_r^c \\ y_r^c \\ \dot{y}_r^c \\ z_r^c \\ \dot{z}_r^c \end{bmatrix}$$

$$\boldsymbol{P}_r = \boldsymbol{Q} \boldsymbol{P}_r^c \boldsymbol{Q}^T$$

$$\boldsymbol{Q} = \begin{bmatrix} \boldsymbol{F}_c(1,1) & 0 & \boldsymbol{F}_c(2,2) & 0 & \boldsymbol{F}_c(3,3) & 0 \\ 0 & \boldsymbol{F}_c(1,1) & 0 & \boldsymbol{F}_c(2,2) & 0 & \boldsymbol{F}_c(3,3) \\ \boldsymbol{F}_c(1,1) & 0 & \boldsymbol{F}_c(2,2) & 0 & \boldsymbol{F}_c(3,3) & 0 \\ 0 & \boldsymbol{F}_c(1,1) & 0 & \boldsymbol{F}_c(2,2) & 0 & \boldsymbol{F}_c(3,3) \\ \boldsymbol{F}_c(1,1) & 0 & \boldsymbol{F}_c(2,2) & 0 & \boldsymbol{F}_c(3,3) & 0 \\ 0 & \boldsymbol{F}_c(1,1) & 0 & \boldsymbol{F}_c(2,2) & 0 & \boldsymbol{F}_c(3,3) \end{bmatrix}$$

其中, $\boldsymbol{F}_c(i, j)$ 表示矩阵 $\boldsymbol{F}_c$ 的第 i 行第 j 列元素。

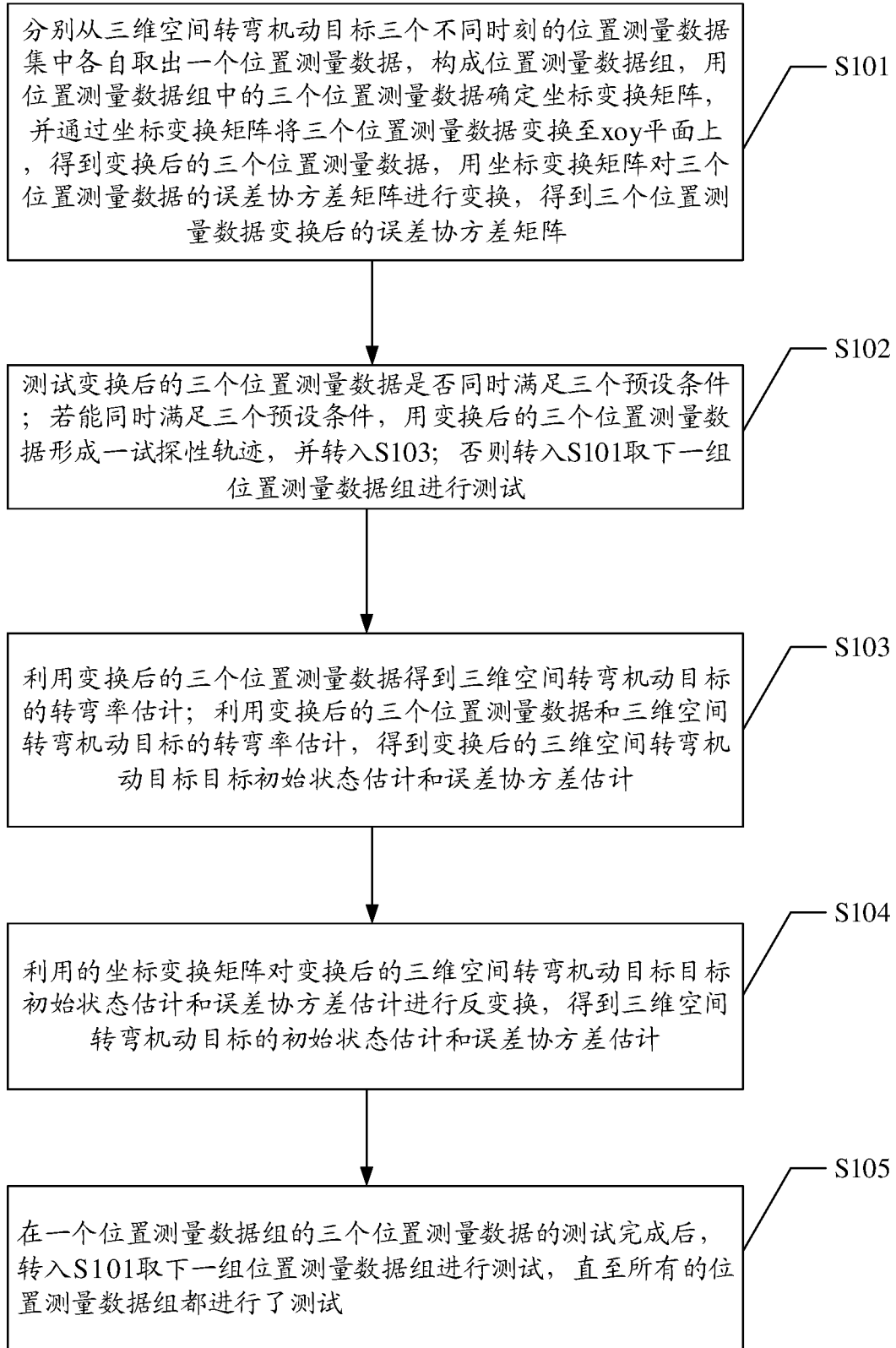


图 1

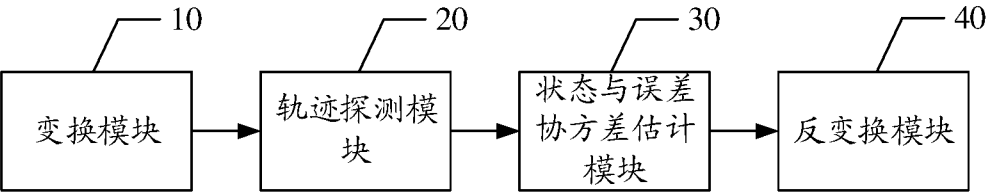


图 2

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/CN2018/094175

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G06T 7/20(2017.01)i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

G06T; G06F

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

CNABS, CNTXT, CNKI, 百度, BAIDU: 三维, 航迹, 轨迹, 多传感器, 融合, 信息, 多源信息融合, 转弯, 起始, 开始, 误差, 协方差矩阵, 矩阵, 变换, 速度, 位置, 夹角; DWPI, USTXT, IEEE: swerv+, turn+, track+, trace, path, trajectory, data, position, speed, error covariance, matrix, estimat+, start+, flight, coordinate

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	CN 107390631 A (SHENZHEN UNIVERSITY) 24 November 2017 (2017-11-24) claims 1-10, description, paragraphs 70-140, and figures 1-2	1-8
A	CN 106168943 A (SHENZHEN UNIVERSITY) 30 November 2016 (2016-11-30) claims 1-6, description, paragraphs 43-104, and figures 1-2	1-8
A	CN 104318059 A (SHENZHEN UNIVERSITY) 28 January 2015 (2015-01-28) claims 1-10, description, paragraphs 60-122, and figures 1-2	1-8
A	CN 106952290 A (SHENZHEN UNIVERSITY) 14 July 2017 (2017-07-14) claims 1-6, description, paragraphs 56-114, and figures 1-2	1-8
A	CN 104377447 A (BEIJING RESEARCH INSTITUTE OF TELEMETRY) 25 February 2015 (2015-02-25) entire document	1-8
A	CN 105719312 A (SHENZHEN UNIVERSITY) 29 June 2016 (2016-06-29) entire document	1-8

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C.☒ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

“A” document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

“E” earlier application or patent but published on or after the international filing date

“L” document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

“O” document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

“P” document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

“T” later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

“X” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

“Y” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

“&” document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

09 January 2019

Date of mailing of the international search report

15 March 2019

Name and mailing address of the ISA/CN

State Intellectual Property Office of the P. R. China
No. 6, Xitucheng Road, Jimenqiao Haidian District, Beijing
100088
China

Authorized officer

Facsimile No. (86-10)62019451

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/CN2018/094175

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)		Publication date (day/month/year)
CN	107390631	A	24 November 2017	None		
CN	106168943	A	30 November 2016	WO	2018/010099	18 January 2018
CN	104318059	A	28 January 2015	CN	104318059	02 February 2018
CN	106952290	A	14 July 2017	WO	2018/184181	11 October 2018
CN	104377447	A	25 February 2015	CN	104377447	29 September 2017
CN	105719312	A	29 June 2016	CN	105719312	27 July 2018

国际检索报告

国际申请号

PCT/CN2018/094175

A. 主题的分类

G06T 7/20(2017.01)i

按照国际专利分类(IPC)或者同时按照国家分类和IPC两种分类

B. 检索领域

检索的最低限度文献(标明分类系统和分类号)

G06T; G06F

包含在检索领域中的除最低限度文献以外的检索文献

在国际检索时查阅的电子数据库(数据库的名称, 和使用的检索词(如使用))

CNABS, CNTXT, CNKI, 百度: 三维, 航迹, 轨迹, 多传感器, 融合, 信息, 多源信息融合, 转弯, 起始, 开始, 误差, 协方差矩阵, 矩阵, 变换, 速度, 位置, 夹角; DWPI, USTXT, IEEE: swerv+, turn+, track+, trace, path, trajectory, data, position, speed, error covariance, matrix, estimat+, start+, flight, coordinate

C. 相关文件

类 型*	引用文件, 必要时, 指明相关段落	相关的权利要求
A	CN 107390631 A (深圳大学) 2017年 11月 24日 (2017 - 11 - 24) 权利要求1-10、说明书70-140段及图1-2	1-8
A	CN 106168943 A (深圳大学) 2016年 11月 30日 (2016 - 11 - 30) 权利要求1-6、说明书43-104段及图1-2	1-8
A	CN 104318059 A (深圳大学) 2015年 1月 28日 (2015 - 01 - 28) 权利要求1-10、说明书60-122段及图1-2	1-8
A	CN 106952290 A (深圳大学) 2017年 7月 14日 (2017 - 07 - 14) 权利要求1-6、说明书56-114段及图1-2	1-8
A	CN 104377447 A (北京遥测技术研究所) 2015年 2月 25日 (2015 - 02 - 25) 全文	1-8
A	CN 105719312 A (深圳大学) 2016年 6月 29日 (2016 - 06 - 29) 全文	1-8

☐ 其余文件在C栏的续页中列出。☒ 见同族专利附件。

* 引用文件的具体类型:

“A” 认为不特别相关的表示了现有技术一般状态的文件

“E” 在国际申请日的当天或之后公布的在先申请或专利

“L” 可能对优先权要求构成怀疑的文件, 或为确定另一篇引用文件的公布日而引用的或者因其他特殊理由而引用的文件 (如具体说明的)

“O” 涉及口头公开、使用、展览或其他方式公开的文件

“P” 公布日先于国际申请日但迟于所要求的优先权日的文件

“T” 在申请日或优先权日之后公布, 与申请不相抵触, 但为了理解发明之理论或原理的在后文件

“X” 特别相关的文件, 单独考虑该文件, 认定要求保护的发明不是新颖的或不具有创造性

“Y” 特别相关的文件, 当该文件与另一篇或者多篇该类文件结合并且这种结合对于本领域技术人员为显而易见时, 要求保护的发明不具有创造性

“&” 同族专利的文件

国际检索实际完成的日期

2019年 1月 9日

国际检索报告邮寄日期

2019年 3月 15日

ISA/CN的名称和邮寄地址

中国国家知识产权局 (ISA/CN)
中国北京市海淀区蓟门桥西土城路6号 100088

传真号 (86-10)62019451

受权官员

席云红

电话号码 86- (20) -28950535

国际检索报告
关于同族专利的信息

国际申请号

PCT/CN2018/094175

检索报告引用的专利文件			公布日 (年/月/日)	同族专利			公布日 (年/月/日)
CN	107390631	A	2017年 11月 24日	无			
CN	106168943	A	2016年 11月 30日	WO	2018/010099		2018年 1月 18日
CN	104318059	A	2015年 1月 28日	CN	104318059	B	2018年 2月 2日
CN	106952290	A	2017年 7月 14日	WO	2018/184181		2018年 10月 11日
CN	104377447	A	2015年 2月 25日	CN	104377447	B	2017年 9月 29日
CN	105719312	A	2016年 6月 29日	CN	105719312	B	2018年 7月 27日

表 PCT/ISA/210 (同族专利附件) (2015年1月)