

雷达目标跟踪的转换坐标卡尔曼滤波算法

王敏

(西北工业大学明德学院 陕西西安 710124)

摘要:该文采用转换坐标卡尔曼滤波算法(CMKF)进行雷达目标跟踪,先将极坐标系下的测量值经坐标变换转换到直角坐标系下,再用统计的方法求出转换测量误差的均值和方差,去偏后利用标准卡尔曼滤波算法对目标进行跟踪。将仿真结果和推广卡尔曼滤波算法(EKF)的进行比较,结果表明,CMKF的滤波精度更高。

关键词:转换坐标卡尔曼滤波算法 推广卡尔曼滤波算法 雷达目标跟踪

中图分类号:0211

文献标识码:A

文章编号:1674-098X(2013)01(a)-0015-02

雷达目标跟踪系统中,状态方程和测量方程往往不在同一坐标系下,通常可采用推广卡尔曼滤波算法对其跟踪,但该方法在线性化时会引起一定的误差。

该文采用转换坐标卡尔曼滤波算法,首先利用坐标变换将极坐标系下的测量值转换至直角坐标系下,再对统计方法所得转换后测量误差的均值和方差进行相应的去偏,最后利用标准卡尔曼滤波器进行滤波。

1 转换测量值误差的均值和方差

设雷达位于极坐标系下原点处,目标的斜距、方位角和俯仰角的测量值为 r_m, β_m, θ_m ,其与真实位置 r, b, q 的关系为

$$\begin{aligned} r_m &= r + \bar{r} \\ \beta_m &= \beta + \bar{\beta} \\ \theta_m &= \theta + \bar{\theta} \end{aligned} \quad (1)$$

式(1)中,量测误差 $\bar{r}, \bar{\beta}, \bar{\theta}$ 均为互不相关的零均值高斯白噪声,其方差分别为 s_r^2, s_b^2, s_q^2 。

对式(1)进行坐标变换,得直角坐标系下量测方程:

$$\begin{aligned} x_m &= r_m \cos b_m \cos q_m \\ y_m &= r_m \sin b_m \cos q_m \\ z_m &= r_m \sin q_m \end{aligned} \quad (2)$$

式(2)中, x_m, y_m, z_m 为直角坐标系下量测值, x, y, z 为其真实位置,则转换测量误差可表示为^[1]:

$$\begin{aligned} \bar{x} &= x_m - x = (r + \bar{r}) \cos(b + \bar{b}) \cos(q + \bar{q}) - r \cos b \cos q \\ \bar{y} &= y_m - y = (r + \bar{r}) \cos(b + \bar{b}) \sin(q + \bar{q}) - r \sin b \cos q \\ \bar{z} &= z_m - z = (r + \bar{r}) \sin(q + \bar{q}) - r \sin q \end{aligned} \quad (3)$$

转换测量值的均值 m_q 可表示为:

$$m_q \begin{bmatrix} E[\bar{x}|r_m, b_m, q_m] \\ E[\bar{y}|r_m, b_m, q_m] \\ E[\bar{z}|r_m, b_m, q_m] \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} r_m \cos b_m \cos q_m (e^{-\frac{s_r^2}{2} - \frac{s_b^2}{2}} - e^{-\frac{s_q^2}{2}}) \\ r_m \cos b_m \sin q_m (e^{-\frac{s_r^2}{2} - \frac{s_b^2}{2}} - e^{-\frac{s_q^2}{2}}) \\ r_m \sin b_m (e^{-\frac{s_r^2}{2} - \frac{s_b^2}{2}} - e^{-\frac{s_q^2}{2}}) \end{bmatrix} \quad (4)$$

由式(4)知,直角坐标系下的转换测量值是有偏的。进行去偏处理^[2],修正后的测量值可表示为:

$$\begin{bmatrix} x^{dc} \\ y^{dc} \\ z^{dc} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} r_m \cos b_m \cos q_m \\ r_m \cos b_m \sin q_m \\ r_m \sin b_m \end{bmatrix} - m_q \quad (5)$$

2 转换坐标卡尔曼滤波算法

2.1 目标状态方程

匀速直线运动的目标,其状态方程可表示为:

$$X(k) = FX(k-1) + \Gamma W(k-1) \quad (6)$$

$X(k)$ 表示目标在 k 时刻的状态矢量,

$$X = [x \ y \ z \ \dot{x} \ \dot{y} \ \dot{z}]^T \quad (7)$$

F 表示状态转移矩阵, Γ 表示过程噪声驱动矩阵,

$$\Gamma = \begin{bmatrix} T^2/2 & 0 & 0 \\ 0 & T^2/2 & 0 \\ 0 & 0 & T^2/2 \\ T & 0 & 0 \\ 0 & T & 0 \\ 0 & 0 & T \end{bmatrix} \quad (8)$$

$W(k-1)$ 为 $k-1$ 时刻相互独立的零均值高斯白噪声^[3]。

2.2 观测方程

极坐标下观测目标,得其径向距离、偏角和倾角的测量值,列写观测方程为,

$$\begin{bmatrix} r_k^m \\ b_k^m \\ q_k^m \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sqrt{x_k^2 + y_k^2 + z_k^2} \\ \tan^{-1}(\frac{y_k}{x_k}) \\ \sin^{-1}(\frac{z_k}{\sqrt{x_k^2 + y_k^2 + z_k^2}}) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \bar{x} \\ \bar{b} \\ \bar{q} \end{bmatrix} \quad (9)$$

观测噪声 u_k 为相互独立的零均值高斯白噪声。

应用非线性坐标转换将极坐标系下量测值转换到直角坐标系下,并进行去偏处理,得去偏转换测量值 $Z^c(k)$,

$$Z^c(k) = f(Z_b^k) - m_q(k) = \begin{bmatrix} r_m(k) \cos b_m(k) \cos q_m(k) \\ r_m(k) \cos b_m(k) \sin q_m(k) \\ r_m(k) \sin b_m(k) \end{bmatrix} - m_q(k) \quad (10)$$

目标的测量方程为,

$$Z^c(k) = HX(k) + n(k) \quad (11)$$

H 为测量矩阵,

$$H = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (12)$$

目标的状态方程和测量方程均在直角坐标系下且是线性的,可直接应用标准卡尔曼滤波算法^[4]进行跟踪。

3 仿真结果

设雷达位于坐标原点,目标的初始位置为(10 km, 10 km, 10 km),初始速度为(-300 m/s, -300 m/s, 0),状态噪声为相互独立的高斯白噪声,各坐标轴方向的标

准偏差为 0.001 km/s^2 ，雷达对目标的测量误差均方差分别为 $\sigma_r = 50 \text{ m}$, $\sigma_\beta = \sigma_\theta = 0.5^\circ$ ，采样周期为 $T=1 \text{ s}$ ，雷达采样200点，分别应用CMKF和EKF对上述运动目标进行跟踪。在仿真中，滤波初值取 $P^0 = \text{diag}(10)$ ，滤波的初始状态和初始方差由第一个可用测量量给出，并进行100次Monte Carlo试验^[5]，得跟踪误差曲线如图1、图2所示。

4 结语

由图可见，转换坐标卡尔曼滤波算法具有明显的优越性。这是因为在EKF算法是将测量方程通过泰勒展开进行线性化，线性化过程不可避免地会引入误差，所以跟踪效果较差。而CMKF是通过坐标转换方程将测量值转换到直角坐标系下，并用统计的方法求出转换后的测量值误差的均值和方差，然后把去偏转换测量值作为真实测量值，用标准的卡尔曼滤波算法进

行滤波的，因此CMKF有较高的滤波精度。

参考文献

- [1] 杨万海.多传感器数据融合及应用[M].西安电子科技大学出版社, 2004.
- [2] 杨春玲.转换坐标卡尔曼滤波器的雷达目标跟踪[J].电子学报, 1999, 27 (3) :121-123.
- [3] 陈云峰, 盛安东.标跟踪中非线性滤波[D].南京理工大学, 2007.
- [4] 张婧, 景占荣, 羊彦.简化的UKF方法在多普勒雷达对目标跟踪中的应用[J].火力与指挥控制, 2008(5) :82-84.
- [5] 吴玲, 卢发兴, 刘忠.UKF算法及其在目标被动跟踪中的应用[J].系统工程与电子技术, 2005(1) :49-52.

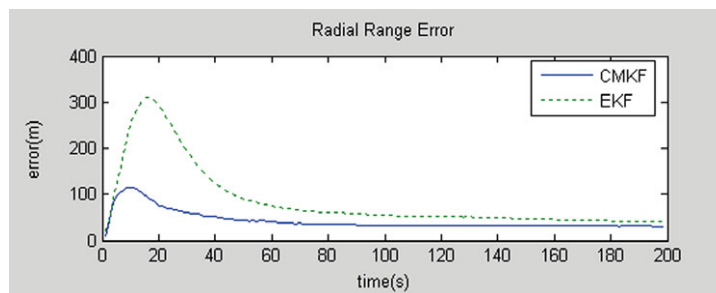


图1 位置估计误差

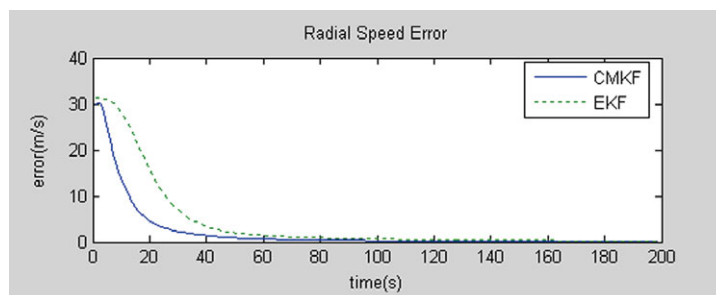


图2 速度估计误差

(上接14页)

配准精度的高低，所以控制点的选取十分重要。可以从匹配得到的同名点中获取一些合适的同名点作为控制点，而选取控制点的标准主要包括两点：精度高，分布均匀。由于前面已经将遥感影像格网化了，所以可以依据格网的区域划分来合理的选择控制点。在遥感影像中每个格网选取一个特征点，并且选取与其在地形图上对应的同名点一同作为一对控制点。如果其中的哪个格网里面不存在有可以作为控制点的同名点的话，则在其最近的格网中再选取一个特征点以及与其对应的同名点作为一对控制点。这样就能满足关于控制点选取的两个指标——精度高，分布均匀。这样选取的控制点相对于计算机随机选取的控制点来说是有很大优势的，其对于后面的配准意义重大。

6 遥感影像配准

为了获取拥有正确地理信息的遥感影像数据，就必须对遥感影像进行配准。配准的方法一般包括多项式纠正法和共线方程纠正法。多项式纠正简单可行，但是该方法回避构像的空间几何过程，对于地形起伏较大的区域的遥感影像，应该结合DEM和共线方程进行三维数字微分纠正^[4]。所以对于遥感影像的配准方法的选择应该视遥感影像所在区域的地形而定。对于地势平缓的地区，可以直接选择多项式纠正的方法；对于地势起伏较大的区域，就应该结合DEM和共线方程进行三维数字微分纠正。通过控制点构建TIN，然后进行数字微分纠正^[5]。

遥感影像配准方法选取之后，就要选取灰度重采样的方法。该文采用的是最邻近像元法，最邻近像元法计算速度

较快，原理简单，最重要的是这种算法不容易引起图像清晰度的损失。

参考文献

- [1] 孙家柄.遥感原理与应用[M].武汉大学出版社, 2002.
- [2] 张春美, 龚志辉, 黄艳.几种特征点提取算法的性能评估及改进[J].测绘科学技术学报, 2008.
- [3] 王培容, 陈鸿雁, 李姣军.一种快速的具有旋转不变性的模板匹配方法[J].计算机工程与设计, 2006 (7) .
- [4] 郑天赐, 方子岩.论二维几何纠正与三维数字微分纠正异同[J].福建地质, 2008(4).
- [5] 喻文承.卫星影像几何精纠正中控制点数据的综合管理[J].影像技术, 1999 (4) :38-41.