

doi:10.3969/j.issn.1001-893x.2014.09.013

引用格式:张喜涛,张安清,梁栋,等.改进的“当前”统计模型变采样率目标跟踪算法[J].电讯技术,2014,54(9):1243-1248. [ZHANG Xi-tao, ZHANG An-qing, LIANG Dong, et al. Adaptive Sampling Period Algorithm for Target Tracking Based on Improved Current Statistical Model [J]. Telecommunication Engineering, 2014, 54(9): 1243-1248.]

改进的“当前”统计模型变采样率目标跟踪算法*

张喜涛^{1,**}, 张安清¹, 梁 栋², 牛治永¹

(1. 海军大连舰艇学院 信息作战系, 辽宁 大连 116018; 2. 解放军 91343 部队, 山东 威海 264200)

摘要:为满足实际雷达系统对高精度和高实时性的要求,提出了一种改进的“当前”统计模型变采样率机动目标跟踪算法。该算法针对“当前”统计模型必须预设加速度极值和机动频率的问题,提出一种加速度方差和机动频率在线同步自适应方法,建立改进的“当前”统计模型机动目标跟踪算法;针对在线自适应方法计算量大的问题,结合采样周期的大小与目标机动特性的关系,引入变采样率方法。仿真结果表明,与传统“当前”统计模型相比,改进的“当前”统计模型机动目标跟踪算法能显著提高对不同机动强度目标的跟踪精度;变采样率方法通过减少采样点数,节省了系统资源,提高了跟踪实时性;所提算法将两者结合,用传统的“当前”统计模型 1.5~2 倍的平均采样周期得到了更小的位置均方根误差,实现了用单模型方法同时改善跟踪精度和实时性的目的。

关键词:目标跟踪;当前统计模型;变采样率;卡尔曼滤波

中图分类号:TN953 **文献标志码:**A **文章编号:**1001-893X(2014)09-1243-06

Adaptive Sampling Period Algorithm for Target Tracking Based on Improved Current Statistical Model

ZHANG Xi-tao¹, ZHANG An-qing¹, LIANG Dong², NIU Zhi-yong¹

(1. Department of Information Operations, Dalian Naval Academy, Dalian 116018, China;

2. Unit 91343 of PLA, Weihai 264200, China)

Abstract: To satisfy the demand of high tracking accuracy and real-time ability in actual radar system, an adaptive sampling period algorithm for maneuvering target tracking based on improved current statistical model is designed. In this algorithm, according to the problem that the current statistical model needs to preset the maximum acceleration and the maneuvering frequency, an improved current statistical model filtering algorithm is built by introducing the methods of the adaptive acceleration variance and the adaptive maneuvering frequency. For the problem of large calculation amount in the improved current algorithm, an adaptive sampling period algorithm is cited. The adaptive sampling period algorithm is introduced by combining the sampling period with maneuvering performance. The simulation indicates that the improved current statistical model filtering algorithm can enhance the adaptability of single model method for target tracking significantly, and the adaptive sampling period algorithm can improve real-time ability by saving system resource during decreasing the sampling number; the purposed algorithm which combines the two algorithms above, improves the tracking accuracy by using 1.5~2.0 times average sampling period, and realizes the goal of improving the tracking accuracy and real-time ability simultaneously.

Key words: target tracking; current statistical model; adaptive sampling period; Kalman filtering

* 收稿日期:2014-03-05;修回日期:2014-05-13 Received date:2014-03-05;Revised date:2014-05-13

基金项目:海军大连舰艇学院 2014 年科研发展基金项目(2014024)

Foundation Item: The 2014 Science and Research Development Program for Dalian Naval Academy (No. 2014024)

** 通讯作者:zxthl0707@163.com Corresponding author:zxthl0707@163.com

1 引言

“当前”统计模型 (Current Statistical Model, CSM)通过建立非零均值的时间相关模型,用修正的瑞利分布描述加速度。“当前”统计模型的自适应滤波算法采用机动加速度方差自适应的方法,能够比较合理地描述目标机动的实际状况,在跟踪强机动目标时,具有其他模型 (比如 CA、Singer 模型) 不可比拟的跟踪效果。但由于必须预设加速度极值 $a_{\pm\max}$ 和机动频率 α 的限制,导致了以下问题:第一,在跟踪非机动目标时,位置误差较大;第二,由于目标的非合作性,实际应用中目标的加速度极值 $a_{\pm\max}$ 和机动频率 α 难以事先获得;第三, $a_{\pm\max}$ 与 α 的选值与实际环境不一致时,跟踪性能会明显恶化。文献 [1]通过引入状态估计偏差与统计平均偏差两个变量对机动加速度协方差关系进行修正,提出一种自适应偏差协方差算法,避免因为加速度预设范围过大或过小造成的跟踪性能下降;文献 [2-4] 分别利用目标机动状况与相邻采样时刻间位置估计值和速度估计值变化之间的线性关系,实现对于过程噪声方差在线自适应估计,避免了传统 CSM 中加速度极限值的预先设定对于跟踪精度造成的不利影响;文献 [4-7] 利用机动频率的在线自适应调整提高了对弱机动和非机动目标的跟踪性能。

然而,以上改进算法需要在线实时计算加速度方差和机动频率,造成计算量大、实时性差的问题,容易引起雷达系统的资源浪费,极大地限制跟踪多目标时的性能。如何在保证跟踪精度和鲁棒性能不下降的基础上降低计算量,提高实时性,节省系统资源是本文要解决的问题。

本文在传统 CSM 算法基础上,构建了一种加速度方差和机动频率同步自适应调整的改进 CSM 算法,并结合相控阵雷达数据率选取原则,引入变采样率方法^[8],提出了一种改进的 CSM 变采样率机动目标跟踪算法。经仿真验证,该算法在保证跟踪性能的同时,能极大减少采样次数,节省系统资源,提高数据处理速度,从而提高跟踪实时性,能同时满足实际雷达系统对高精度和高实时性的要求。

2 CSM 机动目标跟踪滤波算法

离散的 CSM 的状态方程和量测方程分别为

$$X(k+1)=F(k)X(k)+U(k)\bar{a}+W(k) \tag{1}$$

$$z(k)=H(k)X(k)+V(k) \tag{2}$$

其中, $X=[x,\dot{x},\ddot{x},y,\dot{y},\ddot{y}]^T$ 为目标运动状态, $W(k)$ 、 $V(k)$ 为均值为 0、相互独立的高斯白噪声, $F(k)$ 、 $U(k)$ 、 $H(k)$ 分别为状态转移矩阵、输入控制矩阵和量测矩阵。 $Q(k)$ 为状态噪声协方差矩阵:

$$Q(k)=E[W(k)W^T(k)]=2\alpha\sigma_a^2Q(k-1) \tag{3}$$

其中, σ_a^2 为加速度方差,其自适应调整公式为

$$\delta_a^2=\begin{cases} \frac{4-\pi}{\pi}(a_{\max}-\dot{\hat{x}}(k/k))^2, & \dot{\hat{x}}(k/k)>0 \\ \frac{4-\pi}{\pi}(a_{-\max}+\dot{\hat{x}}(k/k))^2, & \dot{\hat{x}}(k/k)<0 \end{cases} \tag{4}$$

3 改进的 CSM 变采样率机动目标跟踪算法

改进的 CSM 变采样率机动目标跟踪算法包括改进的 CSM 跟踪算法和采样周期自适应调整方法。改进的 CSM 跟踪算法通过加速度方差和机动频率的同步自适应实现跟踪精度和鲁棒性能的提高;采样周期自适应调整方法通过控制采样间隔,实现稳态跟踪时少采样,目标机动时多采样,减少整体扫描次数和系统计算量,提高实时性。

3.1 加速度方差自适应调整方法

鉴于机动加速度方差与加速度的绝对值在采样周期 T 内成线性关系,而加速度增量与位置增量之间也存在线性关系,文献 [6] 提出一种改进的加速度方差自适应调整方法,即

$$\sigma_a^2(k)=2|d_x|=2|\hat{x}(k/k)-\hat{x}(k/k-1)| \tag{10}$$

本文在现有加速度方差自适应方法基础上,通过仿真试验,提出一种新的加速度方差自适应调整方法,即基于加速度偏差开方的自适应方法:

$$\sigma_a^2(k)=(\Delta a)^2=|\dot{\hat{x}}(k/k)-\dot{\hat{x}}(k/k-1)|^{0.5} \tag{11}$$

当目标发生机动时, k 时刻目标加速度的一步预测值与估计值会产生较大偏差,并且机动越大,偏差越大,所以 k 时刻的机动加速度方差 $\sigma_a^2(k)$ 也应增大;反之,机动加速度方差 $\sigma_a^2(k)$ 随之减小。这种修正的自适应调整关系能够实时反映目标的机动、弱机动与非机动情况,而且避免了传统 CSM 方法要求假设 $a_{\pm\max}$ 带来的一系列问题。通过开方运算,可保证当 k 时刻目标加速度的一步预测值与估计值产

生大偏差时,应该具有相对较小的加速度方差,符合此时加速度分布的离散程度低的实际。

3.2 机动频率自适应调整方法

机动频率是机动(加速度)时间常数的倒数,由公式(3)知,调整机动频率大小也可以改变状态转移矩阵 $F(k)$ 和状态协方差矩阵 $Q(k)$,使模型更准确的描述目标真实的机动状态。传统的 CSM 滤波算法要求 α 由经验事先确定。一般情况下,目标在大气扰动、慢速转弯和逃避机动时的机动频率分别设为 1、1/60 和 1/20。

在状态估计系统假设条件下,新息 $d_z(k)$ 是零均值的高斯白噪声过程,新息距离函数 $D(k)$ 服从自由度为 m 的 χ^2 分布。如果目标状态发生突变, $D(k)$ 就会变大,当大于某一门限时,认为发生机动,相应地调整机动频率 α 的大小。由此,文献[7]提出一种由卡尔曼滤波残差距离函数 $D(k)$ 对机动频率 α 进行调整的方法:

$$d_z(k) = Z(k) - H(k)X(k/k-1) \tag{12}$$

$$S(k) = H(k)P(k/k-1)H^T(k) + R(k) \tag{13}$$

$$D(k) = d_z^T(k)S^{-1}(k)d_z(k) \tag{14}$$

$$P(D(k) > M) = P_f \tag{15}$$

其中, P_f 为允许的机动检测虚警概率, M 为机动检测门限。机动频率的递推自适应调节公式为

$$\alpha(k) = \begin{cases} \alpha_0 + \frac{D(k)}{M}\alpha(k-1), & D(k) > M \\ \alpha_0, & D(k) \leq M \end{cases} \tag{16}$$

通过仿真试验得到 α_0 的取值规则,如表 1 所示。

表 1 α_0 的取值规则 Table 1 Rule for α_0	
加速度的绝对值 $ a /(m \cdot s^{-2})$	机动频率 α_0
0 ~ 5	1
6 ~ 40	1/60
≥ 41	1/20

通过以上方法可根据滤波残差来自适应地调整目标机动频率 α 值,实现对状态转移矩阵和状态协方差矩阵的调整,使其更接近于目标的真实状态。

3.3 采样率自适应调整方法

变采样率是相控阵雷达资源自适应调度的一种

重要方法。通过分析采样周期的大小与目标机动特性的关系,文献[8]描述了一种基于相控阵雷达的自适应更新采样周期的方法——公式法,即

$$T \approx 0.4 \left[\frac{\delta_0 \sqrt{\tau_m}}{\delta_m} \right]^{0.4} \frac{v_0^{2.4}}{1 + 0.5 v_0^2} \tag{17}$$

其中, T 为下一次扫描更新间隔, δ_m 为运动模型的过程噪声标准差, δ_0 为目标位置量测误差标准差, τ_m 为目标机动时间, $v_0 = \sqrt{\delta_p^2(k+T/k)/\delta_0^2}$ 为稳态预测精度(由人为确定), $\delta_p^2(k+T/k)$ 为位置预测误差方差。

在机动目标跟踪系统中,当目标机动时,减小扫描周期,增加扫描次数,可以获得精确跟踪;对于弱机动或稳定跟踪的目标,较小的扫描周期对跟踪精度的提高作用不大,采用较大的周期扫描,可以在保证跟踪精度不受影响的情况下,减少扫描次数,降低雷达系统的计算量,提高跟踪实时性。

在自适应采样周期下,平均采样周期的大小影响到雷达扫描次数、系统计算负载和资源占用程度等,因此,本文提出把平均采样间隔作为变采样率下相应的性能指标并定义为

$$\bar{T} = \frac{1}{N_{\text{mon}}} \sum_{i=1}^{N_{\text{mon}}} t \tag{18}$$

其中, N_{mon} 为 Monte Carlo 仿真次数, N_i 为第 i 次 Monte Carlo 仿真的采样点数, t 为目标运动时间。

4 仿真实验

在非机动、弱机动、机动、强机动和连续机动 5 种场景下分别进行 100 次 Monte Carlo 仿真,将本文提出的改进 CSM 算法(算法 3)和变采样率的改进 CSM 算法(算法 4)的跟踪性能(包括位置均方根误差 RMSE 和平均采样间隔 $\bar{T}$)与传统 CSM 算法(算法 1)和变采样率的传统 CSM 算法(算法 2)比较。

表 2 为目标在 5 种场景中的运动情况,假设观测噪声差^[9](距离量测误差)与目标距离平方成正比,即观测噪声为 $V(k) = (\beta x(k) + \Delta x_0) \omega(k)$,其中 β 为相对误差系数, Δx_0 为固定量测误差, $\omega(k)$ 为均值为 0、方差为 1 的正态伪随机数。因此,观测噪声方差为 $R(k) = (\beta x(k) + \Delta x_0)^2 E[\omega^2(k)]$ 。根据文献[9],仿真中取 $\beta = 0.01$, $\Delta x_0 = 30 \text{ m}$, $\alpha = 1/20$, $a_{\pm \text{max}} = \pm 50 \text{ m/s}^2$, $v_0 = 2.7$, 仿真最小周期 $T_s = 1 \text{ s}$ 。仿真结果如图 1 ~ 3 所示。

表 2 目标运动情况
Table 2 Situations of targets moving

仿真轨迹	机动类型	加速度变化情况(a_x,a_y)/ m^2				
1	非机动	(0,0)				
2	弱机动	1~20 s (0,0)	21~40 s (-0.3,4)	41~70 s (0,0)	71~100 s (5,2)	
3	机动	1~20 s (0,0)	21~50 s (-13,10)	51~80 s (15,30)	81~100 s (0,0)	
4	强机动	1~10 s (0,0)	11~56 s (70,-80)	57~80 s (80,60)	81~100 s (0,0)	
5	连续机动	1~30 s (0,0)	31~80 s (4,2)	81~100 s (-25,-28)	101~150 s (80,5)	151~170 s (10,50)

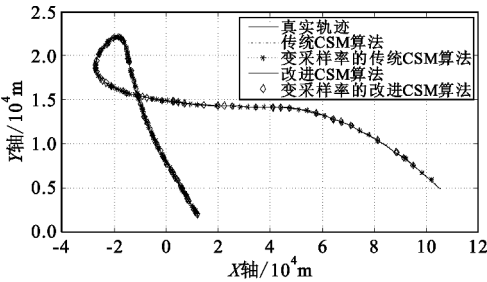


图 1 连续机动目标的跟踪态势图

Fig. 1 Simulation map of tracking for continuously maneuvering target

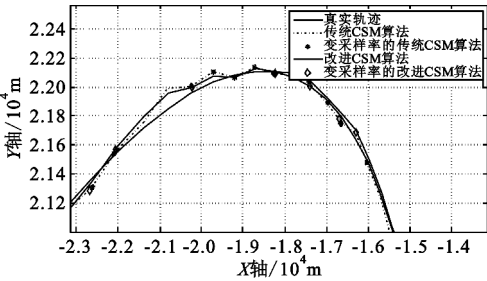


图 2 连续机动目标的跟踪态势在机动阶段效果放大图

Fig. 2 Enlarged simulation map of tracking for continuously maneuvering target

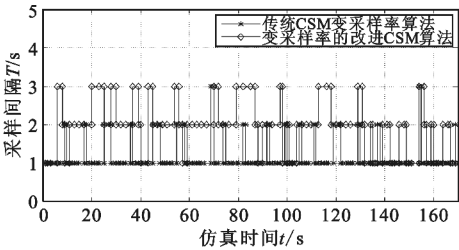


图 3 连续机动目标跟踪的采样周期效果对比

Fig. 3 Comparison of sampling period for tracking continuously maneuvering target

为了表现本文算法的优越性,针对不同机动强度的场景分别采用以上 4 种算法仿真,表 3 即为多机动情况下 4 种目标跟踪算法性能定量对比结果。

分析表 3 可得:

(1)将算法 3 与算法 1 对比。在不同机动条件下,算法 3 的跟踪误差均小于算法 1,并且当机动强度较弱时,精度提高更大。这是因为算法 2 采用了加速方差和机动频率同步自适应的方法,根据目标机动情况实时调整模型参数,克服了传统 CSM 算法因参数固定导致的模型不匹配而引起的误差增大甚至发散的问题。改进的 CSM 算法能显著提高不同机动情况下的目标跟踪精度,且具有较好的鲁棒跟踪能力;

(2)分别将算法 2 与算法 1、算法 4 与算法 3 对比。算法 2 和算法 4 的平均采样周期要大于算法 1、3,这说明变采样率方法达到了用预测精度自适应调整采样周期的效果。但是,采样间隔的增大,在减少采样点数量,提高实时性和节省系统资源的同时,不可避免地带来跟踪精度的下降。这是跟踪精度受采样率影响的必然结果,高精度和高实时性不可能同时满足;

(3)将算法 4 与算法 1 对比。不同机动场景下,算法 4 的位置均方根误差小于算法 1,但平均采样周期是算法 1 的 1.5~2 倍。这说明算法 4 通过采用同步自适应方法和变采样率方法,用较大的采样周期得到了更高的跟踪精度,满足了实际应用中对高精度和高实时性的要求。这是因为改进的 CSM 变采样率算法采用加速度方差和机动频率同步自适应的方法,大幅度地改善跟踪精度,即便是在机动阶段,采用相对较大的采样周期也可保证相近或更好的跟踪精度。同样,从图 3 可知,目标在同一运动状态下,比如 31~80 s、101~150 s 阶段,改进的 CSM 变采样率算法的平均采样间隔要大于传统 CSM 的变采样率算法,图 1 和图 2 则更直观地表明了这一特点。

表 3 多机动情况 4 种目标跟踪算法性能对比
Table 3 Comparison of performance for target tracking in several situations

机动情况	X_ RMSE/m				Y_ RMSE/m				$\bar{T}/s$			
	算法 1	算法 2	算法 3	算法 4	算法 1	算法 2	算法 3	算法 4	算法 1	算法 2	算法 3	算法 4
非机动	55.930 4	60.231 2	48.680 3	54.703 2	46.746 7	47.342 6	40.319 3	46.873 9	1.000 0	1.340 6	1.000 0	2.047 6
弱机动	27.002 5	28.045 4	21.717 6	26.571 6	32.471 7	33.837 2	26.595 4	32.253 8	1.000 0	1.259 8	1.000 0	2.038 3
机动	67.576 4	68.411 4	60.389 6	68.186 6	63.014 7	64.530 5	58.875 4	63.643 3	1.000 0	1.129 6	1.000 0	2.015 6
强机动	299.412 0	302.968 0	246.355 8	296.407 0	106.268 6	109.093 3	89.033 7	104.951 8	1.000 0	1.045 2	1.000 0	1.515 7
连续机动	25.521 1	34.303 5	24.515 7	28.483 3	33.696 1	34.852 9	27.798 6	33.689 2	1.000 0	1.188 3	1.000 0	1.981 2

算法 4 在改进 CSM 算法高跟踪精度的基础上,利用变采样率方法,通过牺牲一定的跟踪精度,得到了相对于传统 CSM 算法更好的跟踪精度和实时性,较好地体现了本文算法在单模型方法改善跟踪精度和实时性方面的优点。

5 结束语

本文提出的改进 CSM 机动目标跟踪算法克服了传统 CSM 算法模型参数必须预先设定的限制,提高了对目标弱机动和非机动状态的跟踪性能;变采样率方法解决了固定采样周期的 CSM 算法计算量大的问题,通过节省系统资源,增强了实时性。最后将两者结合,提出一种基于改进 CSM 的变采样率机动目标跟踪算法。多种机动场景的仿真对比表明,该算法实现了用单模型方法跟踪不同机动强度目标,并能够同时提高跟踪精度和实时性。如果与当前流行的多模型结合,或可进一步改善跟踪精度和鲁棒性能。但必须说明的是,在不同运动状态下,本文算法的跟踪误差要大于改进 CSM 算法。因此,该算法更适合于对实时性要求更高的跟踪系统。

参考文献:

[1] 王芳,陶伟刚,冯新喜. 一种基于“当前”统计模型的自适应滤波算法[J]. 电讯技术,2003,43(1):51-54.
WANG Fang, TAO Wei-gang, FENG Xin-xi. An Improved Adaptive Filtering Algorithm Based on Current Statistical Model [J]. Telecommunication Engineering, 2003,43(1):51-54. (in Chinese)

[2] 李彬彬,王朝英. 一种基于“当前”统计模型的改进目标跟踪算法[J]. 弹箭与制导学报,2008,28(2):81-83.
LI Bin-bin, WANG Zhao-ying. An Improved Target Tracking Algorithm Based on the Current Statistical Model [J]. Journal of Projectiles, Rockets, Missiles, and Guid-

ance,2008,28(2):81-83. (in Chinese)

[3] 于红娟,牛竹云,张春涛,等. 基于变结构多模型的机动目标跟踪算法[J]. 火力与指挥控制,2012,37(S1):36-40.
YU Hong-juan, NIU Zhu-yuan, ZHANG Chun-tao, et al. Study on Maneuvering Target Tracking Algorithm Based on Variable Structure Multiple-Model [J]. Fire Control and Command Control,2012,37(S1):36-40. (in Chinese)

[4] 钱广华,李颖,骆荣剑. 机动目标跟踪中一种机动频率和方差自适应滤波算法[J]. 雷达学报,2013,2(2):257-264.
QIAN Guang-hua, LI Ying, LUO Rong-jian. One Maneuvering Frequency and the Variance Adaptive Filtering Algorithm for Maneuvering Target Tracking, [J]. Journal of Radars,2013,2(2):257-264. (in Chinese)

[5] 黄伟平,徐毓,王杰. 基于改进“当前”统计模型的非线性机动目标跟踪算法[J]. 控制理论与应用,2011,28(12):1723-1728.
HUANG Wei-ping, XU Yu, WANG Jie. A nonlinear maneuver-tracking algorithm based on modified current statistical model [J]. Control Theory and Applications, 2011,28(12):1723-1728. (in Chinese)

[6] 张安清,文聪,郑润高. 基于当前统计模型的目标跟踪改进算法仿真分析[J]. 雷达与对抗,2012,32(1):24-28.
ZHANG An-qing, WEN Cong, ZHENG Run-gao. The simulation analysis of improved target tracking algorithms based on current statistical model [J]. Rader and ECM, 2012,32(1):24-28. (in Chinese)

[7] 任少伟,王睿,张平定. 基于机动频率自适应的目标跟踪算法[J]. 空军工程大学学报(自然科学版),2004,5(5):32-35.
REN Shao-wei, WANG Rui, ZHANG Ping-ding. An Adaptive Algorithm of Maneuvering Targets Tracking Based on Maneuvering Frequency [J]. Journal of Air Force Engineering University (Natural Science Edition), 2004, 5(5):32-35. (in Chinese)

[8] 王峰,张洪才,潘泉. 相控阵雷达采样周期自适应策略研究[J]. 系统仿真学报,2003,15(9):1230-1233.

WANG Feng,ZHANG Hong-cai,PAN Quan. A Study on Adaptive Sampling Period of Phased Array Radar [J]. Journal of System Simulation,2003,15 (9): 1230-1233. (in Chinese)

[9] 周宏仁,敬忠良,王培德. 机动目标跟踪 [M]. 北京:国防工业出版社,1991.

ZHONG Hong-ren,JING Zhong-liang,WANG Pei-de. Tracking of Maneuvering Targets [M]. Beijing:National Defence Industry Press,1991. (in Chinese)

作者简介:



张喜涛(1989—),男,河南舞钢人,2012年获学士学位,现为硕士研究生,主要研究方向为目标跟踪与识别;

ZHANG Xi-tao was born in Wugang,Henan Province,in 1989. He received the B. S. degree in 2012. He is now a graduate student. His research concerns target tracking and identification.

Email:zxthl0707@163.com

张安清(1967—),男,湖北武汉人,1994年获博士学位,现为教授,主要研究方向为自适应信号处理和目标跟踪与识别;

ZHANG An-qing was born in Wuhan,Hubei Province, in 1967. He received the Ph. D. degree in 1994. He is now a professor. His research concerns adaptive signal processing, target tracking and identification.

梁 栋(1980—),男,辽宁东港人,2003年获学士学位,主要研究方向为目标跟踪和电子对抗;

LIANG Dong was born in Donggang,Liaoning Province,in 1980. He received the B. S. deree in 2003. His research concerns target tracking and electromagnetic countermeasure.

牛治永(1981—),男,2009年于西北工业大学获硕士学位,现为讲师,主要研究方向为信号处理和算法设计与仿真.

NIU Zhi-yong was born in 1981. He received the M. S. degree from Northwestern Polytechnical University in 2009. He is now a lecturer. His research concerns signal processing.

本刊第 54 卷第 8 期勘误表

页码	位置	错误	正确
	目次	一种基于路径目的节点数的改进蚁群算…… 朱先飞,邓远意,柯 峰(1146)	一种基于路径目的节点数的改进蚁群算…… 朱先飞,张 钺,邓远意,柯 峰(1146)
1044	参考文献[2]	[2] Baratault P, Gautier F, Albarel G. Evolution des antennes pour radars aéroportés de la parabole aus peaux actives [J] // Rev. Techn. , Thomson-CSF, 1993: 749-793.	[2] Baratault P, Gautier F, Albarel G. Évolution des antennes pour radars aéroportés de la parabole aus peaux actives [J]. Rev. Techn. , Thomson-CSF, 1993: 749-793.
1065	基金项目	基金项目:1. 乐山师范学院引进教师科研启动项目 2. 乐山师范学院 图书馆,四川 乐山 614000	基金项目:乐山师范学院引进教师科研启动项目

本刊编辑部