

文章编号 1004-924X(2010)08-1862-07

融合距离信息的红外自适应相关跟踪

陈大庆^{1,2}, 韩九强¹, 于志坚²

(1. 西安交通大学 电信学院, 陕西 西安 710047; 2. 太原卫星发射中心, 山西 太原 030027)

摘要:研究了在雷达/红外复合制导中如何将雷达的距离信息应用于红外图像序列的目标跟踪。针对目标渐进的图像序列,通过分析图像放大对相关性的影响,制定了一种根据弹目距离确定模板更新周期的模板更新策略。将距离更新、定时更新和基于目标模板缓冲区的模板更新相结合,提出了一种融合距离信息的自适应模板更新算法。以一座大楼为目标,验证了该方法的有效性。结果表明,该方法对目标渐进的图像序列有较强的自适应性,比传统方法大大提高了跟踪精度和跟踪稳定性,对实验中各类图像的跟踪正确率达 90% 以上。

关键词:红外跟踪;相关跟踪;模板匹配;模板更新;信息融合

中图分类号:TJ765.3;TP391.4 文献标识码:A doi:10.3788/OPE.20101808.1862

Infrared adaptive correlation tracking of fusing distance information

CHEN Da-qing^{1,2}, HAN Jiu-qiang¹, YU Zhi-jian²

(1. *School of Electronics and Information Engineering,*
Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710049, China;

2. *Taiyuan Satellite Launch Center, Taiyuan 030027, China)*

Abstract: This paper mainly researches how to apply the distance information of millimeter wave radars to the object-tracking of infrared image sequences. In connection with the image sequences whose objects are gradually magnified, a template updating strategy in which the template updating cycle is confirmed by the distance between target and missile is proposed after analyzing the effect of image magnification on the correlation characteristics. In combination of the timing updating, template buffer updating with the distance updating, an adaptive template updating algorithm for fusing distance information is presented. By taking a building as experimental target, the effectiveness of the method is verified. It demonstrates that the method is very suitable for the proposed image sequences. As compared with the traditional tracking methods, it has improved the tracking accuracy and tracking stability greatly and its tracking accurateness is more than 90% for different images.

Key words: infrared tracking; correlation tracking; template matching; template updating; information fusion

收稿日期:2009-10-15;修订日期:2010-01-15.

基金项目:国家自然科学基金资助项目(No. 60972146)

1 引言

多模复合寻的制导技术是精确制导武器的发展趋势,信息融合是多模复合寻的制导技术中的关键^[1]。在雷达/红外成像复合制导中,雷达能获得目标的距离信息,在红外成像目标跟踪中如何利用这一距离信息是当前该领域的研究热点。

基于图像的目标跟踪中,目前国内外比较实用的算法是基于灰度的模板匹配相关跟踪算法^[2-15]。相关跟踪算法具有实时性好、硬件实现方便等优点。模板更新是相关跟踪算法能保证稳定跟踪的关键,模板更新策略主要有逐帧更新^[5]、定时更新^[6]、相关度阈值更新^[7]等。目前,这些更新策略尚有不足,特别是容易引起跟踪误差积累,最终导致瞄准点的漂移或目标丢失。

考虑相关跟踪算法的关键技术-模板更新策略的欠缺,本文针对目标渐进的图像序列,首先分析图像放大对相关性的影响,制定一种图像放大模板更新规则,在此基础上确定一种距离更新策略。将距离更新、定时更新和基于目标模板缓冲区的模板更新方法相结合,提出一种具有一定自适应性的模板更新策略,来提高跟踪的精度和稳定性。

2 图像放大对相关性的影响

通过分析一幅模板和不同放大率的实时图的相关性,可以得出图像放大对相关性的影响。采用相关系数作为相似性度量,相关系数^[8]定义为:

$$R(u,v) = \frac{\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N (f_{i+u,j+v} - \bar{f})(g_{i,j} - \bar{g})}{\sqrt{\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N (f_{i+u,j+v} - \bar{f})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N (g_{i,j} - \bar{g})^2}}, \quad (1)$$

式中: g 为 $M \times N$ 大小的目标模板, f 为要匹配的目标图像, \bar{g} 为目标模板均值, \bar{f} 为目标图像均值。

通过对图像放大对相关性的影响进行定性分析,得出以下结论:

(1)随着图像的放大,模板与实时图的相关性

越来越差;

(2)当图像放大到一定程度,发生模板漂移、跟踪失败;

(3)要进行稳定的目标跟踪,必须更新模板。

为了定量分析图像放大对相关性的影响,来看实验1的结果。

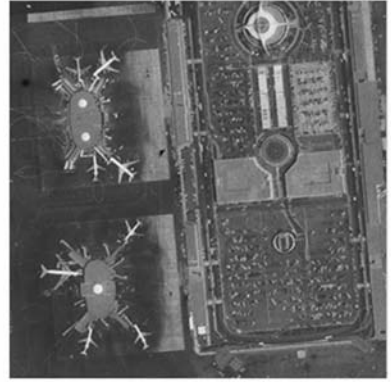


图1 参考图像

Fig.1 Reference image

图1为采用的参考图像,以图像中某一点 (i_0, j_0) 为中心,取大小 64×128 的图像为实时图,再以实时图的中心为中心取 32×64 的图像作为模板。针对模板在实时图中的每一个位置 (i, j) ,计算相关系数 $R(i, j)$,模板遍历实时图得到相关系数分布图,求 $R(i, j)$ 的最大值 $R_m(i_m, j_m)$ 得到模板在实时图中的匹配位置 (i_m, j_m) 。然后将实时图作放大率为 k 的双线性插值缩放, k 的取值为1到1.2,步长为0.002,分别计算每一步的最大相关系数,如图2所示。从实验中可以看出,随着实时图的放大,相关峰被展宽,如图3所示。

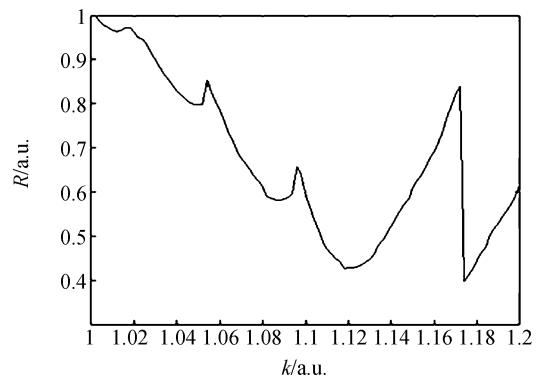


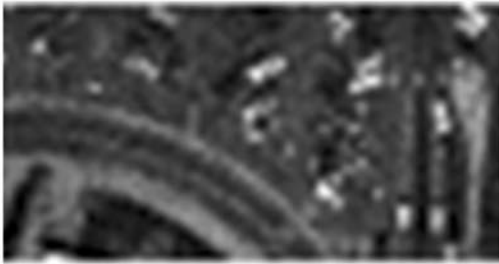
图2 最大相关系数与放大率的关系

Fig.2 Relation between R_{\max} and k



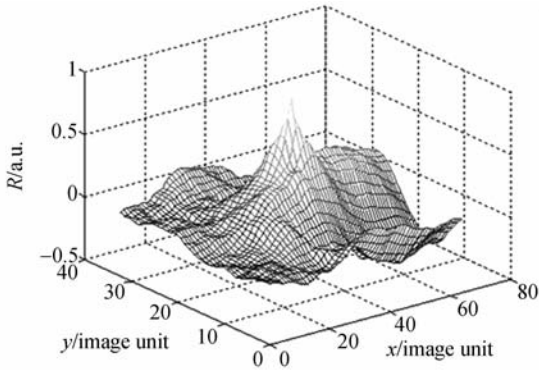
(a)实时图

(a)Real time image



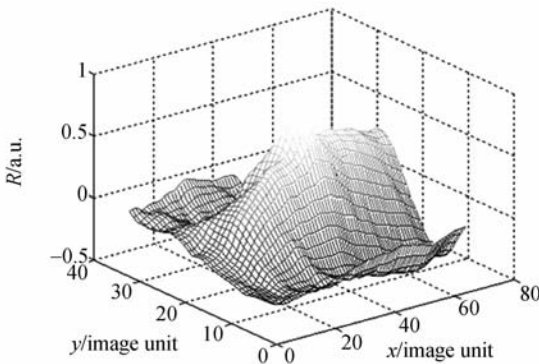
(b)模板

(b)Template



(c) $r=1$ 的 R 分布图

(c) R distributing image of $r=1$



(d) $r=1.1$ 的 R 分布图

(d) R distributing image of $r=1.1$

图 3 模板匹配结果

Fig. 3 Template matching results

用匹配点处 5×5 窗口的标准差 $\sigma(k)$ 刻画相关峰的陡度即显著性, 相关峰标准差 $\sigma(k)$ 与放大率 k_i 的关系如图 4 所示。

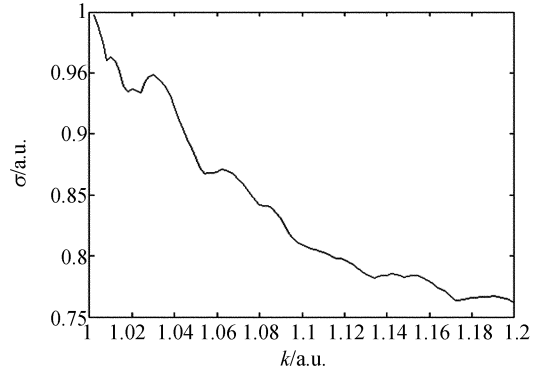


图 4 相关峰标准差与放大率的关系

Fig. 4 Relation between σ and k

根据图 4, 定义相关峰的显著性度量:

$$\alpha(k_i) = 1 - \frac{\sum_{k=1}^{k_i} \sigma(k)}{\sum_{k=1}^{1.2} \sigma(k)}, \quad (2)$$

式中: $\alpha(k_i)$ 为放大率 k_i 对应的相关峰显著性度量, $\sigma(k)$ 为放大率 k 对应的相关峰标准差。

随着放大率 k 的增大, 相关峰的显著性逐渐下降。若放大率 k 增大到一定程度, 相关峰被展宽到一定程度, 峰值难以分辨, 匹配点不精确, 造成跟踪点的漂移。在图 1 中随机取 50 幅实时图样本进行分析, 能进行稳定跟踪的相关峰显著性 $\alpha \in (0.65, 0.75)$, 对应的放大率 $k \in (1.12, 1.17)$ 。采用其它相关度量方法, 计算得到能稳定跟踪的放大率范围如表 1 所示。

表 1 各种相关度量方法的稳定跟踪放大率范围

Tab. 1 Range of k when tracking steadily

相关度量方法	稳定跟踪放大率范围
绝对差算法	$k \in (1.112, 1.172)$
平均绝对差算法	$k \in (1.124, 1.168)$
平方差算法	$k \in (1.116, 1.176)$
均方差算法	$k \in (1.118, 1.164)$
积相关	$k \in (1.121, 1.178)$
相关系数相关	$k \in (1.119, 1.169)$

对以上结果进行分析, 可以看出能稳定跟踪的最大图像放大率 k 在 1.12 以上。对其它几帧参考图像进行同样的分析, 也得到同样的结论。

对这些数据进行统计,大致服从高斯分布。试验制定如下的图像放大模板更新规则:对于模板为 32×64 、搜索区域为 64×128 的标准图像序列,当图像放大率达到 1.12 时更新模板。

3 距离更新策略

根据制定的模板更新规则,更新模板需要计算图像的放大率。由于实际应用为前下视成像,成像面不平行于像平面,所以前后两帧图像中每点的放大率是不一样的,这里采用图像纵轴的放大率来指导模板的更新。由于能够获得导弹与目标之间精确的距离信息,可用距离信息计算图像纵轴放大率。

下面推导图像纵轴放大率与距离变化之间的关系,如图 5 所示。图中, L 为目标长度, d_1 为摄像机与目标之间的距离, r_1 为图像中目标长度, f 为摄像机的焦距, θ_1 为俯仰角。

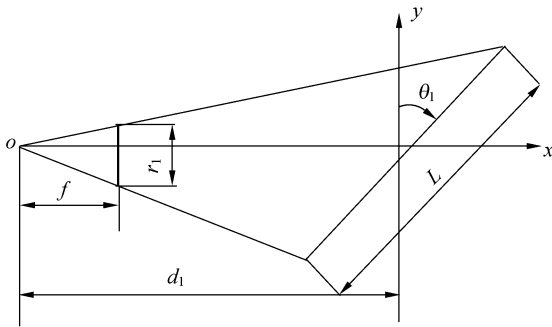


图 5 物像比例关系示意图

Fig. 5 Proportion relation between target and its image

由图 5 得到:

$$r_1 = \frac{f \times d_1 \times L \times \cos \theta_1}{d_1^2 - \frac{L^2}{4} \sin^2 \theta_1}, \quad (3)$$

同理,当距离为 d_2 时有:

$$r_2 = \frac{f \times d_2 \times L \times \cos \theta_2}{d_2^2 - \frac{L^2}{4} \sin^2 \theta_2}, \quad (4)$$

放大倍数为:

$$k = \frac{r_2}{r_1} = \frac{d_2 \cos \theta_2 \left(d_1^2 - \frac{L^2}{4} \sin^2 \theta_1 \right)}{d_1 \cos \theta_1 \left(d_2^2 - \frac{L^2}{4} \sin^2 \theta_2 \right)}, \quad (5)$$

由于 $L \ll d_1, d_2$, 有:

$$k = \frac{r_2}{r_1} \approx \frac{d_1 \cos \theta_2}{d_2 \cos \theta_1}. \quad (6)$$

根据图像放大率达到 1.12 时更新模板的规则,模板的距离更新策略为:

$$d_1 \cos \theta_2 / d_2 \cos \theta_1 = 1.12 \text{ 时更新模板。}$$

4 融合距离信息的自适应模板更新

跟踪过程中,模板更新方法是图像匹配稳定跟踪的关键。目前常用的更新方法有逐帧更新法^[5]、定时更新法^[6]、相关度阈值更新法^[7]、基于目标模板缓冲区的模板更新法^[8]、基于最小梯度下降法的模板更新法^[9]、基于卡尔曼滤波的模板更新法^[10]及其综合方法^[11]等。这些方法各有优缺点,在此不一一叙述。

根据上述分析,距离信息可以用来指导模板的更新。若直接采用距离更新,当距离较远时更新周期较长,有模板漂移现象,为此,本文提出将定时更新与距离更新相结合的模板更新策略。模板更新时,若直接采用当前帧的匹配结果作为更新的模板,匹配结果受当前帧图像质量的影响较大,可能造成模板漂移,为此,融入基于目标模板缓冲区的模板更新法,构成一个融合距离信息的自适应模板更新策略。该策略的框图如图 6 所示。

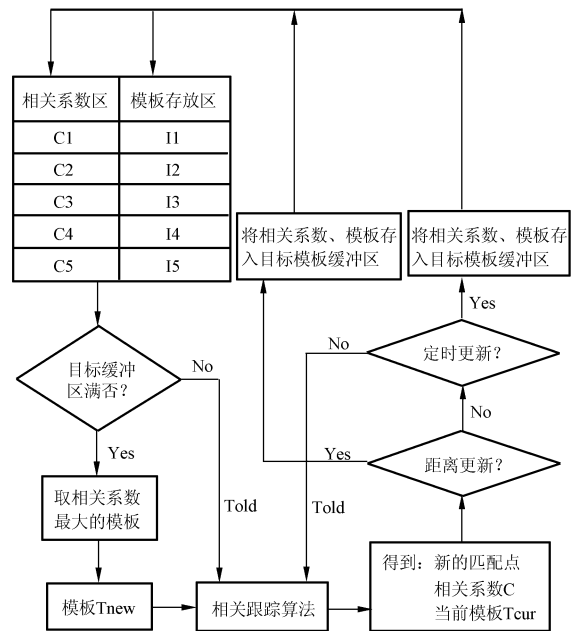


图 6 融合距离信息的自适应模板更新框图

Fig. 6 Flow diagram for template updating based on distance

该方法中,首先进行距离更新的判断,再进行定时更新的判断。本文的定时更新周期设定为 1 s 即 35 帧更新一次。进行模板更新时,用得到的匹配度值作为权值,对旧模板和目标图像最佳匹配位置的图像进行加权,得到候选模板。加权方法如下:

$$T_i = C_i T_{old} + (1 - C_i) T_{cur} \quad i = 1, \dots, 5. \quad (7)$$

将相关系数值和候选模板存入目标模板缓冲区,当目标模板缓冲区存满时,取相关系数值最大的对应模板作为新模板。

这种融合距离信息的自适应模板更新策略以距离更新为主、定时更新为辅,同时采用目标模板缓冲区的方法,具有较强的自适应性。定时更新会产生跟踪误差的积累,导致模板漂移,距离更新会对其进行适当的修正。目标模板缓冲区的使用大大提高了跟踪的稳定性,当某帧图像质量不好而导致误匹配时,下一帧又能回到正确的跟踪位置。

5 实验结果及分析

实验以一座大楼为目标,距离由 8 000 m 到

1 000 m,飞行高度为 430 m 左右,飞行速度为 140 km/h 左右,图像序列共 4 376 frame。使用以下标准:图像大小为 240×320 ,模板大小为 32×64 ,搜索范围为 64×128 。

为验证方法的有效性,同时采用文献[5]的逐帧更新法、文献[6]的定时更新法(更新周期为 1 s)、文献[8]的基于目标模板缓冲区的模板更新法(模板数量为 10 个)及本文中提到的距离更新法、距离和定时更新结合的方法进行目标跟踪。图 7 给出部分跟踪结果。第一行为逐帧更新法的跟踪结果,第二行为定时更新法的跟踪结果,第三行为基于目标模板缓冲区的模板更新法的跟踪结果,第四行为距离更新法的跟踪结果,第五行为距离加定时更新的跟踪结果,第六行为融合距离信息的自适应模板更新的跟踪结果。

对 6 种模板更新法的跟踪性能进行比较,如表 2 所示。在表 2 中,各种模板更新方法的正确跟踪率相差较大,有的特别低,原因是跟踪误差的积累导致模板漂移,后续帧没有进行修正,造成后续帧跟踪失败。本文提出的融合距离信息的自适应模板更新方法由于综合了距离更新、定时更新和基于目标模板缓冲区的模板更新法的优点,在

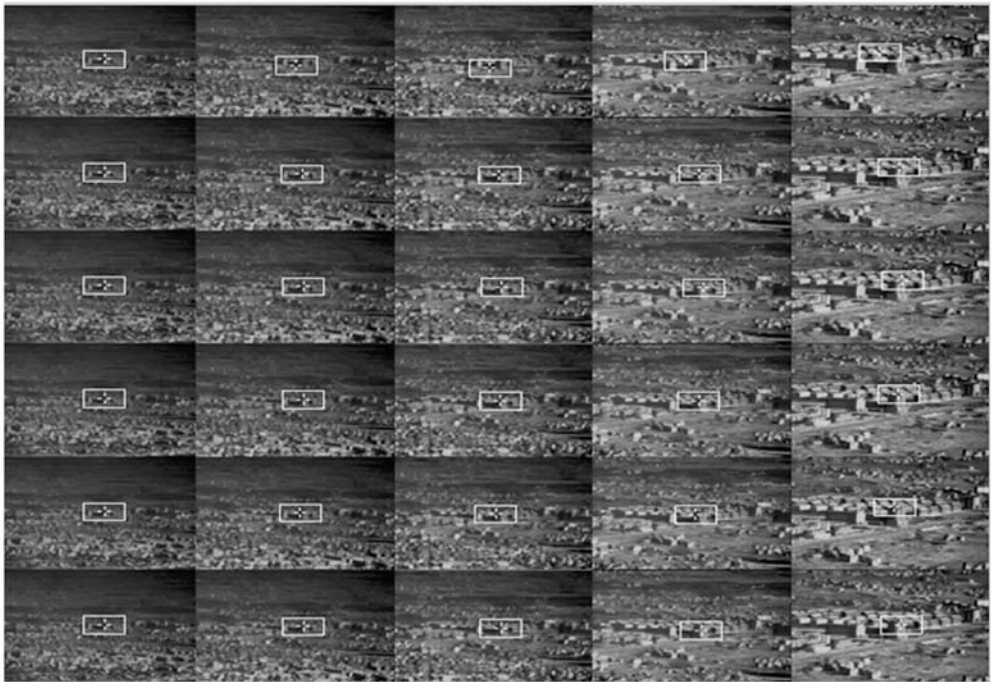


图 7 跟踪结果对比

Fig. 7 Comparison of tracking results

定时更新和基于目标模板缓冲区的模板更新法造成模板一定的漂移,距离更新对其进行适当的修正,使模板回到正确的匹配位置,因此其性能优于其它方法,大大提高了跟踪的精度和稳定性。

表2 跟踪性能比较

Tab.2 Comparison of tracking performance

跟踪方法	正确率		
	图像序列 1	图像序列 2	图像序列 3
逐帧更新法	2.86%	18.28%	21.02%
定时更新法	30.50%	68.53%	35.03%
模板缓冲区法	11.59%	86.82%	56.06%
距离更新法	30.28%	63.95%	12.45%
距离定时法	57.11%	82.22%	28.11%
自适应更新法	91.16%	92.93%	93.33%

参考文献:

- [1] 刘隆和.多模复合寻的制导技术[M].北京:国防工业出版社,1998.
LIU L H. *Multi-model Composite Homing Guidance Technology* [M]. Beijing: National Defense Industry Press. (in Chinese)
- [2] MONTERA D A, ROGERS S K, RUCK D W, *et al.*. Object tracking through adaptive correlation [J]. *Optical Engineering*, 1994,33(1):294-302.
- [3] PARRY H S, MARSHALL A D, MARKHAM K C. Tracking targets in FLIR images by region template correlation [J]. *SPIE*, 1997,3086(277):221-232.
- [4] PARAGIOS N, TZIRITAS G. Adaptive detection and localization of moving objects in image sequences [C]. *Signal Processing: Image Communication*, 1999,14:277-296.
- [5] COOTES T, EDWARDS G, TAYLOR C. Active appearance models [J]. *IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 2001,23(6):681-685.
- [6] DENNIS A M, STEVEN K R, DENNIS W R. Object tracking through adaptive correlation [J]. *Opt. Eng.*, 1994,33(1):294-302.
- [7] IAIN M, BAKER S. Lucas-Kanade 20 years on: a

6 结 论

为在雷达/红外复合制导中将雷达的距离信息应用于红外图像的目标跟踪,通过分析图像放大对相关性的影响,制定了图像放大更新规则,在此基础上确定了距离更新策略。通过实验分析,提出了距离更新、定时更新和基于目标模板缓冲区的模板更新相结合的模板更新方法——融合距离信息的自适应模板更新方法,实验证明该方法对目标渐进的图像序列具有较强的自适应性,相对于其它方法大大提高了跟踪的精度和稳定性,对实验中各类图像的跟踪正确率在90%以上。

- unifying framework [J]. *Int'l J. Computer Vision*, 2004,53(3):221-255.
- [8] 朱永松,国澄明.基于相关系数的相关跟踪算法研究[J].中国图象图形学报,2004,9(8):963-967.
ZHU Y S, GUO CH M. Research of correlation tracking algorithm based on correlation coefficient [J]. *Journal of Image and Graphics*, 2004,9(8):963-967. (in Chinese)
- [9] IAIN M, ISHIKAWA T, BAKER S. The template update problem [J]. *IEEE Transactions on PAMI*, 2004,26(6):810-815.
- [10] NGUYEN H T, WORRING M, REIN V D. Occlusion robust adaptive template tracking [C]. *Proc. IEEE Conf. on Computer Vision 2001, IC-CV. Vancouver BC, USA: The Pringting House*, 2001:678-683.
- [11] 应陈克,胡文江,赵亦工.复杂背景下目标模板更新算法研究[J].遥测遥控,2006,27(6):34-39.
YING CH K, HU W J, ZHAO Y G. Study of target template-update algorithm in complex background [J]. *Journal of Telemetry, Tracking and Command*, 2006,27(6):34-39. (in Chinese)
- [12] 江泽涛,赵荣椿,黎明.一种基于相关的分层匹配与目标跟踪方法[J].航空学报,2006,27(4):670-675.
JIANG Z T, ZHAO R CH, LI M. A correlation-

based layered matching and target tracking method [J]. *ACTA Aeronautica ET Astronautica Sinica*, 2006, 27(4):670-675. (in Chinese)

- [13] 江淑红, 汪沁, 张建秋, 等. 基于目标中心距离加权 and 图像特征识别的跟踪算法[J]. 电子学报, 2006, 34(7):1175-1180.

JIANG SH H, WANG Q, ZHANG J Q, *et al.* An image tracking algorithm based on object center distance-weighting and image feature recognition [J]. *ACTA Electronica Sinica*, 2006, 34(7):1175-1180. (in Chinese)

- [14] 杨小冈, 曹菲, 缪栋, 等. 基于相似度比较的图像灰度匹配算法研究[J]. 系统工程与电子技术, 2005,

27(5):918-921.

YANG X G, CAO F, MIAO D, *et al.* Study on the image grayscale matching algorithm based on similarity measures [J]. *Systems Engineering and Electronics*, 2005, 27(5):918-921. (in Chinese)

- [15] 孙昊, 李象霖, 于云翔. 基于图像放大影响的多模板相关跟踪算法[J]. 计算机仿真, 2006, 23(9):136-139.

SUN H, LI X L, YU Y X. Object real-time tracking arithmetic in complex background [J]. *Computer Emulator*, 2006, 23(9):136-139. (in Chinese)

作者简介:



陈大庆(1964—), 男, 山西太原人, 高级工程师, 博士研究生, 1987 年于石家庄军械工程学院获得学士学位, 2001 年于长沙国防科技大学获得硕士学位, 主要研究方向为雷达目标特性测量、雷达系统建模与仿真。E-mail: dqchen64@sohu.com



韩九强(1951—), 男, 陕西咸阳人, 教授, 西安交通大学电信学院自控所所长, 主要研究方向为智能检测与智能控制, 图像信息融合与模式识别, 嵌入技术与智能仪器。E-mail: jqhan@mail.xjtu.edu.cn



于志坚(1960—), 男, 山东平度人, 博士, 研究员, 太原卫星发射中心总工程师, 1982 年于解放军测绘学院获得学士学位, 2001 年北京航空航天大学获得硕士学位, 2004 年于国防科技大学获得博士学位, 主要研究方向为测控系统建模仿真, 图像信息融合与模式识别。E-mail: yuzj@163.com