

# 海面背景红外目标的识别算法

黄文韵, 马惠敏, 王生进

(清华大学 电子工程系, 北京 100084)

**摘要:** 为了实现多角度状态的舰船目标识别, 针对低信噪比下海面背景的目标红外图像, 提出了一种基于分段拟合的稳定提取海天线信息的算法。在此基础上对经过目标分割后得到的感兴趣区域统计提取舰船目标的形状特征、位置特征等, 考虑海面的干扰目标, 设计综合分类器, 通过对提取的各目标特征进行概率融合的方法实现目标判断。进行了仿真平台软件的试验测试。结果表明, 使用该算法可以实现在不同环境和未知海天线的情况下对海面舰船目标多角度状态的可靠识别。

**关键词:** 目标识别; 海面背景; 红外图像; 特征融合

中图分类号: TN 911

文献标识码: A

文章编号: 1000-0054(2009)10-1609-05

## Recognition algorithm for sea background infrared targets

HUANG Wenyun, MA Huimin, WANG Shengjin

(Department of Electronic Engineering, Tsinghua University, Beijing 100084, China)

**Abstract:** An efficient sub-fitting algorithm was developed to get sea surface information for sea background infrared imagery with low SNR at variant angles. The target features including shape and position are then extracted in the areas of interest obtained by object segmentation. Finally, an integrated classifier implements target recognition using the probability-based feature fusion method. The algorithm is validated in simulations showing it can recognize targets at variant angles and in variant environmental conditions.

**Key words:** target recognition; sea background; infrared imagery; feature fusion

海面背景红外目标的识别技术是当前侦查、监测等领域研究的重点。近年来, 该方向的研究也取得了一些进展。文[1]利用了模糊综合评判技术对目标进行识别, 但是要求远距离显著成像, 并且需要已知海天线位置。而海面的红外图像通常具有较多的噪声和复杂的背景<sup>[2]</sup>, 海浪、杂波、天空、云层等所形成的干扰都可能影响到正确目标的判别。因此, 针对低

信噪比和未知海天线的情况, 可靠识别海面红外目标的识别算法研究是十分有必要的。

在特征提取方面, 文[3-4]选择了占空比、长宽比等特征对目标进行检测, 但对特征融合的分析较为简单。

本文针对研究的舰船目标, 选定了更多的目标特征, 如目标具有一定大小和目标底部平坦。不同于以往的特征融合方法, 本文采用了一种综合分类器, 通过排除法将离海天线较远和底部不平整的目标排除, 再利用概率融合的方法综合考虑目标大小、长宽比和占空比以区分出正确的目标。

## 1 海天线提取与目标分割

识别系统采用中值滤波去噪和图像增强对拍摄的红外图像进行预处理后, 得到如图1的数字化目标图像, 经图像处理和图像识别, 区分出目标、背景信息, 识别出真目标并抑制假目标。

目标识别的具体步骤包括图像预处理、模式识别与分类、特征提取与融合及目标判断。下面将会对这几个部分分别作详细描述。

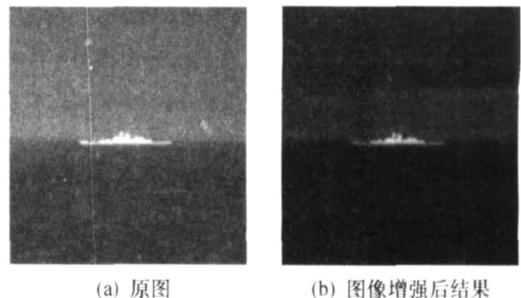


图1 原图与增强后图像对比

收稿日期: 2008-06-27

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(60502013);

国家“八六三”高技术项目(2006AA 01Z115)

作者简介: 黄文韵(1984—), 女(汉), 湖北, 硕士研究生。

通讯联系人: 马惠敏, 副教授, E-mail: mhmpub@tsinghua.edu.cn

## 1.1 海天线提取

海天线提取是海面红外目标识别中特有的步骤<sup>[5]</sup>。摄取的红外图像中,海面舰船目标成像一般分为3个区域:天空区域、海面区域和海天线区域,其中海天线区域是天空区域和海面区域的交界窄带。目标若是出现,则一定处于海天线区域中。针对上述成像特点,通过确定海天线区域,可以减少执行目标分割时的计算量,同时抑制海天线区域外不必要的噪声干扰。

本文采用直线拟合法确定海天线区域,该方法可以在低对比度、高噪声条件下很好地确定舰船的出现区域。

海天线通常不是一条直线,而是一条亮度由高(天空)到低(海面)的渐变带,并且常带有一定的倾斜度。本文近似将它看成一条直线,利用直线拟合法确定出海天线区域,设海天线方程为

$$y = Ax + B. \quad (1)$$

其中 $(x, y)$ 为图像像素点。把图像按竖直方向划分为 $N$ 个条带,宽度为 $K$ (在 $256 \times 256$ 视场中,本算法中取 $N = 10, K = 25$ );然后在每一个条带中确定一个海天线上的点,然后对这 $N$ 个点进行最小二乘拟合即可得到海天线方程。

首先对全图作一次梯度变换:

$$G(x, y) = \max\{G(x+i, y+j) - G(x, y)\}, \quad (2)$$

$$i, j = -1, 0, 1.$$

梯度变换后,得到的图像中海天线附近的灰度值比较大,而天空部分和海面部分由于原始灰度值较均匀,因此变换后的灰度值较小。

其次,计算每一条带(以第 $l$ 根条带为例)中每一横行像素的平均灰度值:

$$g_{i,l} = \frac{1}{K} \sum_{m=(l-1) \times k+1}^{l \times k} G(m, i), \quad i = 1, \dots, M. \quad (3)$$

其中: $K$ 为条带宽度, $M$ 为图像竖直方向尺寸,即从图像第一行到最后一行逐行计算灰度值和。

最后,求出这些灰度值中最大的一个,其 $y$ 坐标即为该条带中海天线位置 $y$ 坐标所在:

$$y_l = \arg \max_i \{g_{i,l} \mid i = 1, \dots, M\}. \quad (4)$$

由于海天线是渐变的粗带,因此有可能得到的 $y_l$ 相差很大;因此采用改进的方法:

$$\bar{y} = \frac{1}{N} \sum_{l=1}^N y_l, \quad (5)$$

则 $\bar{y}$ 会更加接近真实的海天线,对 $y_l$ 作修正先去除噪声点:

$$y_l = \begin{cases} y_l, & \text{若 } \bar{y} - C_1 < y_l < \bar{y} + C_1; \\ \bar{y}, & \text{其他} \end{cases} \quad (6)$$

其中 $C_1$ 为常数,本算法中取 $C_1 = 50$ ,去除了 $2C_1$ 宽度外的噪声点;再次取均值:

$$\bar{y} = \frac{1}{N} \sum_{l=1}^N y_l, \quad (7)$$

作修正:

$$y_l = \begin{cases} y_l, & \text{若 } \bar{y} - C_2 < y_l < \bar{y} + C_2; \\ \bar{y}, & \text{其他} \end{cases} \quad (8)$$

其中 $C_2$ 为常数,本算法中取 $C_2 = 5$ ,这样即可把海天线限定在以 $2C_2$ 为宽度的条带中,避免了海天线过于粗大的情形。这样便得到纵坐标 $y_l$ ;而横坐标则取每竖条带的中心坐标 $x_l = (l-1) \times K + K/2$ 即可。

最后对得到的 $N$ 个点 $(x_l, y_l)$ 进行最小二乘法拟合:

$$A = \frac{N \sum_{i=1}^N x_i y_i - \sum_{i=1}^N x_i \sum_{i=1}^N y_i}{D}, \quad (9)$$

$$B = \frac{N \sum_{i=1}^N x_i^2 y_i - \sum_{i=1}^N x_i^2 \sum_{i=1}^N y_i}{D}. \quad (10)$$

其中 $D = N \sum_{i=1}^N x_i^2 - \left( \sum_{i=1}^N x_i \right)^2$ ,即可得到最后的海天线方程。图2为低信噪比下远距离目标图像的海天线提取结果,计算得到 $A = 0.0078, B = 127.06$ 。

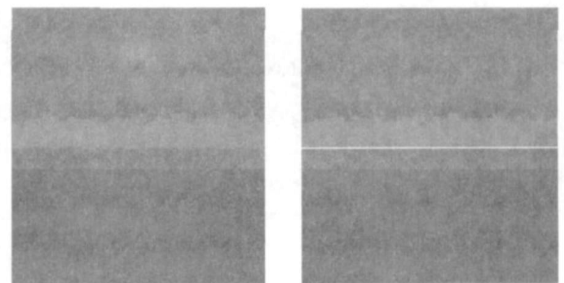


图2 低信噪比下的海天线提取结果

## 1.2 目标分割

目标分割是为了把舰船目标从背景中分离出来。由于红外成像的几何特征用二值化图像很容易提取和处理,因此采用灰度阈值进行二值化的图像分割的后处理是有效且合理的。

图像分割最核心的部分就是选取恰当的阈值。本文采用直方图统计确定自适应阈值<sup>[6]</sup>。由于导引头形成的海面红外图像具有非常典型的特征,即全图像分为海面、天空、船体3部分,因此用灰度直方图可以很容易把这3者区分开来。

获得了二值化的图像后, 需要进行的是将图像分类: 即把每一个连通的图形标记为同一个目标, 这一步主要通过区域生长来完成。

先求取目标线段, 按行扫描图像, 每一行的目标点数据都以线段的形式表示, 当这一行中几个目标点的相邻距离小于常数  $d$  (一般取  $2 \sim 4$ ) 时, 把这几个点作为一个目标线段, 并赋予一个标号, 存储这一线段的最左、最右坐标, 然后进行纵向扫描。扫描完成后, 就可以得到目标块, 每个目标块都是由相同的标号组成, 如图 3 所示。

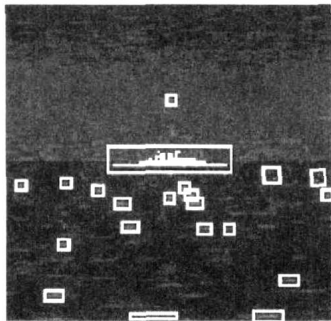


图3 线形区域生长得到的目标块

## 2 舰船目标的特征提取与特征融合

### 2.1 特征提取

通过对二值化后图像的分析, 我们选择如下一些特征:

1) 目标具有一定大小。

定义如下概率:

$$p_s = \frac{S}{S_{\max}} \quad (11)$$

它是从大小判定目标是舰船的概率, 其中  $S$  为目标面积,  $S_{\max}$  为红外图像中最大目标的面积。  $p_s$  越大, 则目标是舰船的概率越高。

2) 目标有一定的占空比(见图4)。

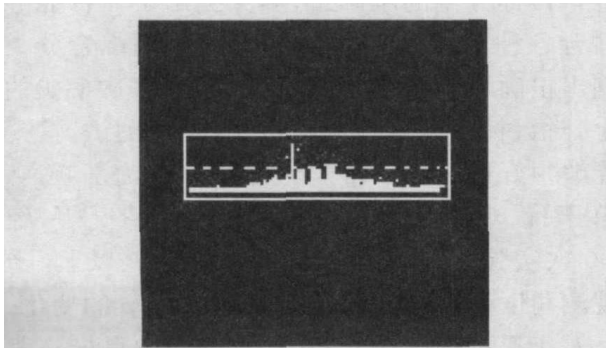


图4 目标占空比示意图

由于舰船都具有甲板上层建筑, 因此船体的几何特征大体表现为: 下部为长条形矩形, 上部为中

间突出的上层建筑, 因此对一个目标可以从中间分为上下两部分, 对经过二值化的目标块分别进行占空比的计算, 定义概率如下:

$$p_{\text{upper}} = \begin{cases} 0, & R < T_1; \\ \frac{R - T_1}{T_2 - T_1}, & T_1 \leq R < T_2; \\ 1, & T_2 \leq R < T_3; \\ 1 + \frac{T_3 - R}{T_4 - T_3}, & T_3 \leq R < T_4; \\ 0, & R \geq T_4 \end{cases} \quad (12)$$

$$p_{\text{lower}} = \begin{cases} 0, & R < S_1; \\ \frac{R - S_1}{S_2 - S_1}, & S_1 \leq R < S_2; \\ 1, & S_2 \leq R < S_3; \\ 1 + \frac{S_3 - R}{S_4 - S_3}, & S_3 \leq R < S_4; \\ 0, & R \geq S_4 \end{cases} \quad (13)$$

其中:  $R = \frac{S}{lw}$  为舰船占空比(上部分和下部分分别计算),  $S$  为舰船在图像中的占有面积。由图4可以看到, 上半部分的占空比很小, 而下半部分的占空比较大; 通过实验可以确定最佳的  $T$  和  $S$  参数, 从而分别获得上半部分和下半部分的占空比对应的概率。对本实验中  $T_1, T_2, T_3, T_4$  分别取 0, 0.01, 0.1, 0.25,  $S_1, S_2, S_3, S_4$  分别取 0.4, 0.5, 0.8, 0.9。

3) 目标有一定的长宽比。

由于舰船是具有一定长宽比的物体, 因此定义概率:

$$p_r = \begin{cases} 0, & R < Q_1; \\ \frac{R - Q_1}{Q_2 - Q_1}, & Q_1 \leq R < Q_2; \\ 1, & Q_2 \leq R < Q_3; \\ 1 + \frac{Q_3 - R}{Q_4 - Q_3}, & Q_3 \leq R < Q_4; \\ 0, & R \geq Q_4 \end{cases} \quad (14)$$

其中:  $R = \frac{l}{w}$  为舰船长宽比,  $Q$  参数由实验确定。对本实验中选用的舰船, 长  $l$  的实际值为 150m, 宽  $w$  的实际值为 30m,  $Q_1$  到  $Q_4$  分别取 0.05, 0.15, 0.25, 0.6。其缺陷是, 当目标姿态发生变化时, 长宽比会发生显著变化, 容易误判。由此说明单一特征判断目标是不可靠的, 必须结合其他特征判断来适应从船头观测的情况。

4) 目标处在海天线附近区域

定义概率

$$p_s = \begin{cases} 1 - \frac{P_{ship} - P_{seasurface}}{W}, & \|P_{ship} - P_{seasurface}\| \leq C; \\ 0, & \|P_{ship} - P_{seasurface}\| > C. \end{cases} \quad (15)$$

其中  $P$  为舰船或海天线的位置, 分别用舰船的中心纵坐标、海天线纵坐标的平均值表示, 范数采用 2, 求取欧式距离,  $W$  为红外图像大小,  $C$  为常数, 本算法中在图像为  $256 \times 256$  时取  $C=20$ , 对其他图像  $C$  根据图像尺寸按比例缩放。

5) 目标的底部平坦。

用模版

$$T = \begin{bmatrix} 1 & 1 & \dots & 1 & 1 \\ 1 & 1 & \dots & 1 & 1 \\ 0 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \dots & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

对二值化后的目标底部进行匹配, 并用绝对值和作为判断标准, 若绝对值和小于某常数  $K$ , 则判断为舰船目标。其中  $T$  为  $4 \times M$  的矩阵,  $M$  为检测到的目标的宽度(即波门宽度)。将模版在目标波门内从上往下移动, 并作差的绝对值和, 这个数越小说明匹配程度越高, 这里取  $K = M / 2$  作为判别点。

### 2.2 特征融合

为了得到更准确的目标识别, 需要将上述的几种特征进行融合。常用的特征融合<sup>[7]</sup>方式有加权融合与概率乘积融合, 本文结合特征的实际意义, 采用一种综合分类器<sup>[8]</sup>, 可以取得很好的效果。

由于红外图像的干扰目标包括如下几类: 海面杂波、天空云彩、海面岛屿、舰船发射的红外干扰弹和干扰烟幕。根据这些干扰的分类, 采用排除法:

- 1) 天空的云彩和海面岛屿通常离海天线较远, 因此用海天线距离可以很有效地排除这两类干扰;
- 2) 虽然干扰烟幕常出现舰船附近, 但由于形状不规则因此用船体是否平坦的规则也很容易排除掉;
- 3) 海面杂波、红外干扰弹等干扰, 其成像面积和舰船相比都较小, 因此综合考虑目标大小、长宽比和占空比就可以区分出正确的目标。

因此可以采用图 5 所示的分类器。其中, 面积、长宽比、占空比的置信度融合公式为

$$p = \sqrt{p_s \times p_r} \times \sqrt{p_{upper} \times p_{lower}} \quad (16)$$

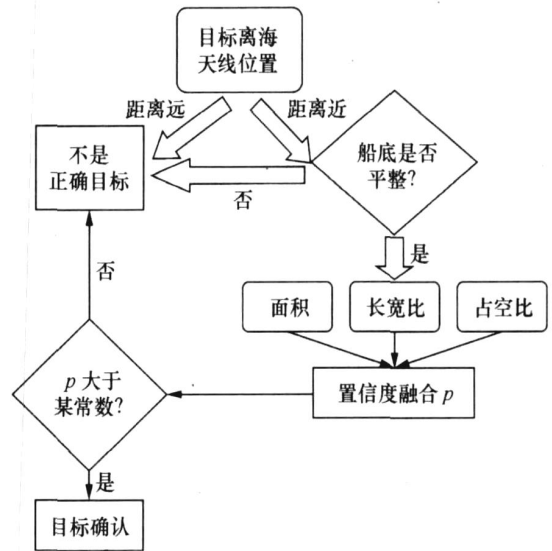


图 5 分类特征融合器

实验结果显示, 根据以上分类器作出的目标正确识别率基本上可以保证很高的准确率。舰船目标若正确识别, 则可以保证其融合概率高于 0.8。

### 3 实验结果

本文针对低信噪比和未知海天线情况下的红外图像, 首先准确检测出了海天线信息。图 6 分别为白天和黑夜情况下检测出的海天线。

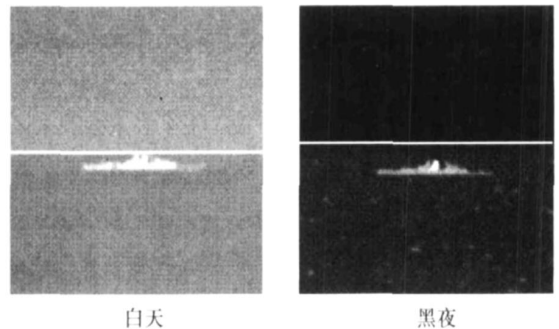
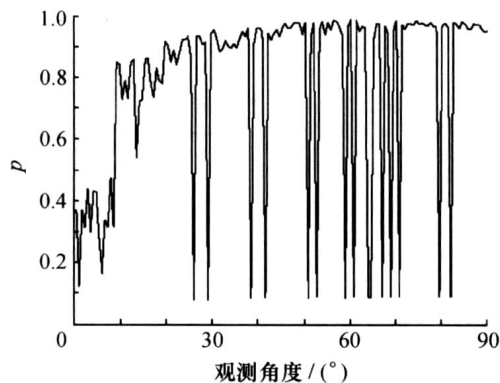


图 6 白天黑夜检测出的海天线结果

在目标分割的基础上, 本文提出了一种能够可靠融合各种目标特征的概率模型, 采用综合分类器识别出正确的目标并抑制假目标。在多次实验的基础上, 对目标的观测角度随机化, 经过测试, 这一方法能够很好识别真目标。在低信噪比、海面噪声、无烟幕干扰、观测角度  $0 \sim 360$  随机的情况下, 经过 1000 次实验, 总的识别成功概率在 80% 以上。图 7 为观测角度在  $0 \sim 90$  变化时融合概率  $p$  的变化。

对于黑夜的情况, 虽然红外图像中目标和背景的对比如很低, 但是由于本文算法采用了自适应阈值, 对舰船目标的分割仍然很准确, 而且对背景的抑制效果也很好, 这样仍旧能够很好地检测出目标。

图7 融合概率 $p$ 随观测角度的变化

## 4 结论

本文提出的基于分段拟合的稳定提取海天线信息的算法, 通过试验验证了该方法在不同环境和未知海天线的情况下, 可以实现对海面舰船目标多角度状态的可靠识别。

### 参考文献 (References)

- [1] 刘松涛, 周晓东, 沈同圣, 等. 红外成像型制导系统舰船目标实时识别技术研究 [J]. 红外与毫米波学报, 2004(1): 43-46  
L U Songtao, ZHOU Xiaodong, SHEN Tongsheng, et al. Study of real time recognition technique for infrared imaging guiding system ship target [J]. *Journal of Infrared and Millimeter Waves*, 2004(1): 43-46 (in Chinese)
- [2] 潘友明. 海面红外目标识别技术研究 [D]. 南京: 南京理工大学, 2006  
PAN Youming. Research on the Infrared Target Identification in the Sea Level [D]. Nanjing: Nanjing University of Technology, 2006
- [3] 郭旭平, 李在铭. 图像目标识别图形的自适应步进检测 [J]. 信号处理, 1998(S1): 96-100  
GUO Xuping, LI Zaiming. Adaptive and progressive detection of image object recognition figure [J]. *Signal Processing*, 1998(S1): 96-100 (in Chinese)
- [4] deSilva C J S, Lee G, Johnson R. All-aspect ship recognition in infrared images [C]//Electronic Technology Directions to the Year 2000, 1995. Proceedings Adelaide: Western Australia University, 1995: 194-198
- [5] 刘松涛, 沈同圣, 韩艳丽, 等. 舰船目标海天线提取方法研究 [J]. 激光与红外, 2003(2): 51-53  
L U Songtao, SHEN Tongsheng, HAN Yanli, et al. Research on locating the horizontal region of ship target [J]. *Laser & Infrared*, 2003(2): 51-53 (in Chinese)
- [6] Kittler J, Illingworth J. Minimum error thresholding [J]. *Pattern Recognition*, 1986, 19(1): 41-47
- [7] ZHANG Pengfei, LI Dasheng, WANG Qi. A novel iris recognition method based on feature fusion [C]//Machine Learning and Cybernetics, 2004. Harbin: Harbin Inst of Technol, 2004: 3661-3665
- [8] 侯平魁, 史习智, 林良骥, 等. 水下目标识别的特征融合分类器设计 [J]. 电子学报, 2001(4): 443-446  
HOU Pingkui, SHI Xizhi, L N Liangji, et al. Design of feature fusion classifier for underwater targets recognition [J]. *Acta Electronica Sinica*, 2001(4): 443-446 (in Chinese)
- [9] Czarnecki L S. Instantaneous reactive power  $p-q$  theory and power properties of three phase systems [J]. *IEEE Transactions on Power Delivery*, 2006, 21(1): 362-367
- [10] 张超, 杨耕, 杜继宏. 有源电力滤波器任意次谐波电流检测的新算法 [J]. 电机与控制学报, 2002, 6(3): 252-255  
ZHANG Chao, YANG Geng, DU Jihong. A new algorithm for random harmonic current detection of active power filter [J]. *Electric Machines and Control*, 2002, 6(3): 252-255 (in Chinese)
- [11] 刘和平, 王维俊, 江渝, 等. TMS320LF240x DSP C 语言开发应用 [M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2005: 317-323
- [12] 方崇智, 萧德云. 过程辨识 [M]. 北京: 清华大学出版社, 2001: 146-156
- [13] Lee D C, Lee K J, Seok J K, et al. Online capacitance estimation of DC-link electrolytic capacitors for three-phase AC/DC/AC PWM converters using recursive least squares method [J]. *IEEE Proceedings-Electric Power Applications*, 2005, 152(6): 1503-1508

(上接第1608页)

- [4] 乐健, 姜齐荣, 韩英铎. 基于统一数学模型的三相四线有源电力滤波器的电流滞环控制策略分析 [J]. 中国电机工程学报, 2007, 27(10): 85-91  
L E Jian, JIANG Qirong, HAN Yingduo. The analysis of hysteresis current control strategy of three-phase four-wire APF based on the unified mathematic model [J]. *Proceedings of the CSEE*, 2007, 27(10): 85-91. (in Chinese)
- [5] Smedley K M, Cuk S. One cycle control of switching converter [J]. *IEEE Transactions on Power Delivery*, 1995, 10(6): 625-633
- [6] Chen Y, Smedley K M. Parallel operation of one-cycle controlled three-phase PFC rectifiers [J]. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 2007, 54(6): 3217-3224
- [7] WANG Jianze, PENG Fenghua, WU Qitao, et al. A novel control method for shunt active power filters using SV PWM [C]//Industry Applications Conference, 2004. 39th IAS Annual Meeting, 2004, 1: 129-134
- [8] 滕金玉, 张晓新. 空间矢量方法实现并联型有源电力滤波器 [J]. 沈阳航空工业学院学报, 2005, 8: 68-70  
TENG Jinyu, ZHANG Xiaoxin. Implement of parallel active power filters under SV PWM [J]. *Journal of Shenyang Institute of Aeronautical Engineering*, 2005, 8: 68-70 (in Chinese)