

# 基于 Canny 原理海天线检测算法研究

董宇星<sup>1,2</sup>, 刘伟宁<sup>1</sup>, 王爽<sup>1</sup>

(1. 中国科学院 长春光学精密机械与物理研究所, 吉林 长春 130033;

2. 中国科学院 研究生院, 北京 100039)

**摘要:** 基于海天背景目标提取技术的研究, 提出一种结合 canny 算子海天线检测方法, 首先采用高斯平滑在低分辨率上采用 canny 算子检测边缘, 然后通过直线边缘的方向特性, 跟踪边界连接边缘点去除大部分的干扰, 最后利用 Hough 变换拟合海天线; 实验证明该方法不仅能够准确快速地提取出海天线, 而且还能较好地抑制细小边缘的干扰, 在实际应用中取得良好的效果。

**关键词:** 海天线; 低分辨率; 边界跟踪; Hough 变换; 直线拟合

## Study of Sea-sky-line Detection Algorithm Based on Canny Theory

Dong Yuxing<sup>1,2</sup>, Liu Weining<sup>1</sup>, Wang Shuang<sup>1</sup>

(1. Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics, Chinese Academy of Sciences

Changchun, Jilin 130033, China; 2. Graduate School of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China)

**Abstract:** Sea-sky-line detection is one of the important components in the guidance techniques of imaging anti-shi Pmissile. In this paper the problem of sea-sky-line detection is studied in detail, which is the key technique to improve the adaptability of tracing system. Firstly, we detect edge by Canny operator in the low-resolution through Gaussian smoothing, then based on the directional characters of beeline, follow the boundary and link the beeline edge points, consequently taking out most blur. Finally Hough transform is employed to fit the sea-sky-line exactly. The experiment result shows that our algorithm can detect out the sea-sky-line effectively, and has wide adaptability and high precision.

**Key words:** sea-sky-line; low-resolution; boundary following; Hough transform; line fitting

## 0 引言

在海面远距离观察状态下, 低空掠海飞行目标一般处于海天线以上的天空背景中, 为了有效地检测到远距离弱小目标, 可以采取首先检测出海天线, 然后在海天线以上的天空背景中检测小目标, 这样可以大大地抑制海面强大的浪花干扰等。

远距离观察目标时, 海天线通常呈现为一条直线边缘, 所以海天线的检测问题就成了在一种强干扰环境下的边缘直线检测问题。许多文献中也对海天线的检测进行了研究, 张峰<sup>[1]</sup>等采用行映射直方图的方法确定海天线, 这种方法适用于简单的强对比度的海天背景; Mohanty<sup>[2]</sup>等认为, 通过行平均取列方向梯度最大位置为海天线位置, 这种情况未考虑海天线倾斜的情况, 同时抗杂波能力差; 裴继红<sup>[3]</sup>等发展了梯度的思想, 提出直线拟合法进行海天线的提取, 该方法仅适用于简单的海天线提取; 刘松涛<sup>[4]</sup>等提出了 Hough 变换法用于海天线检测, 具有强鲁棒性。上述各种算法都具有一定的适应性, 适用于不同的环境, 但是由于海天线的多变性, 海天线的检测一直是一个难题。

为了解决整幅图的遍历搜索带来的大计算量问题, 蔡小琼<sup>[5]</sup>提出对于大幅面的图片进行抽样得到低分辨率的抽样图, 原图 (1024×1024) 抽样得到低分辨率的图像 (256×256);

然后在低分辨率的图像上利用基于 Canny 原理的双阈值边缘检测, 充分利用梯度的幅度和方向特性, 去除小的干扰边缘, 同时不丢失模糊的海天线; 最后利用 Hough 变换精确定位海天线, 映射到原图。这样可以大大降低计算量, 而且对抽样点进行了高斯平滑, 去除了大部分的小的干扰点。

## 1 Canny 算子基本原理

Canny 算子的基本原理是通过查找图像梯度的局部最大值方法来得到边缘信息。一般是先通过对图像进行高斯平滑, 计算梯度的幅度和方向, 然后进行梯度幅度非极大值抑制, 最后利用双阈值法检测和连接边缘。本文中通过对抽样平滑后的原图进行梯度幅度和方向的计算, 然后进行幅度非极大值抑制, 最后利用海天线梯度的方向一致性与噪声干扰等方向的非一致性进行边界跟踪、连接直线边缘、剔除干扰边缘及小的噪声点。

## 2 核心算法设计

### 2.1 原图抽样平滑

对整幅图像图像抽样得到低分辨率的抽样图是为了解决整幅图像的遍历搜索带来的强大计算量的问题。通常, 降低图像分辨率的方法是采用隔行隔列抽样, 为了避免抽掉真正的边缘点并抑制噪声干扰, 本文采用对抽样点采用高斯平滑的方法。仅仅对抽样点在原图中进行高斯平滑, 由于每 4×4 个像素中仅仅对一个像素进行高斯平滑, 这样相对于原图高斯平滑大大降低了计算量。

### 2.2 3×3 邻域的梯度幅值和方向计算

传统的 Canny 算法是通过在 2×2 邻域内求有限差分来计算梯度的幅值, 该方法对噪声较敏感, 这里采用在 3×3 邻域

收稿日期:2009-10-09; 修回日期:2009-11-12

基金项目: 国家 863 高技术研究发展计划资助项目  
(NO. 2006aa701410)。

作者简介: 董宇星(1979-), 男, 中国科学院长春光机所图像室职工、硕士生, 主要从事小目标捕获、跟踪方向的研究。

计算梯度幅值。<sup>[6]</sup>

$x$  方向偏导数:

$$P_x(i,j) = G(i,j+1) - G(i,j-1)$$

$y$  方向偏导数:

$$P_y(i,j) = G(i+1,j) - G(i-1,j)$$

45°方向偏导数:

$$P_{45}(i,j) = G(i-1,j+1) - G(i+1,j-1)$$

135°方向偏导数:

$$P_{135}(i,j) = G(i+1,j+1) - G(i-1,j-1)$$

水平方向的差分为:

$$F_x(i,j) = P_x(i,j) + [P_{45}(i,j) + P_{135}(i,j)]/2$$

垂直方向的差分为:

$$F_y(i,j) = P_y(i,j) + [P_{45}(i,j) - P_{135}(i,j)]/2$$

则梯度幅值为:

$$M(i,j) = \sqrt{F_x(i,j)^2 + F_y(i,j)^2}$$

梯度方向为:

$$\theta(i,j) = \arctan[F_y(i,j)/F_x(i,j)]$$

求出了梯度的方向, 就可以把边缘的梯度方向大致分为 4 种: 水平、垂直、45°方向和 135°方向。

### 2.3 梯度幅值非极大值抑制

为了精确定位边缘, 遍历整幅梯度图像, 对梯度阵列  $F_x(i,j), F_y(i,j)$  梯度最大方向的像素进行梯度幅值的插值, 然后比较中心像素的幅值  $M(i,j)$  与插值结果, 如果中心像素的幅值不比插值结果大, 则将其标记为 0, 这一过程把  $M(i,j)$  细化为一个像素宽, 并且保留了屋脊的梯度幅值。这样由于选取局部最大点为边缘点, 即使对于模糊边缘也可以选取局部最大点, 这样就避免边缘丢失。

### 2.4 连接边缘

利用直线边缘的方向一致性, 在连接边缘时不仅考虑像素的梯度值大小, 而且考虑梯度的方向, 每次仅连接梯度方向近似一致的像素点, 非一致点作为干扰去掉。如图 1 所示。

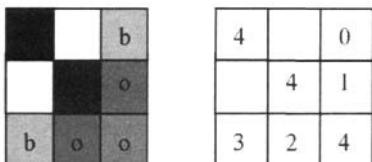


图 1 利用方向特性连接边缘

在扫描过程中, 假设中间像素为边缘点, 方向为 4, 在边界连接时对于 5 个灰色的候选点, 首先根据梯度幅值选取候选点 (o 标记), 然后根据候选点 (o 标记) 的梯度方向特性, 选择与前一点梯度方向相同的候选点作为连接边缘点。最后通过标记法去掉短小的干扰点。

### 2.5 Hough 变换法定位海天线

Hough 变换<sup>[7]</sup>是一种图像空间到参数空间的转换, 通过图像空间的点求得参数空间的参数值。如图 2 所示。

ρ-θ 根据 Hough 变换的一些特性: XY 平面上任意一条直线对应在参数  $a-b$  平面上都有一个点; 过  $X-Y$  平面上一个点  $(x, y)$  的所有直线, 构成参数  $a-b$  平面上的一条直线; 如果  $(x_1, y_1)$  与  $(x_2, y_2)$  共线, 那么这两点在参数平面将有一个交点; 在参数平面上相交直线最多的点, 对应的  $X-Y$

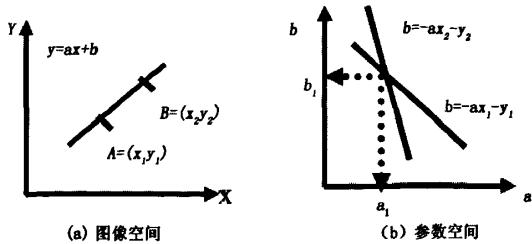


图 2 Hough 变换

平面上的直线就是我们的解。要探测图像空间的一条直线, 相当于探测参数空间相交直线最多的一个点  $(a, b)$ , 因此可以利用边缘检测方法得到边缘点的集合, 通过 Hough 变换找出共线的点和直线方程。这里对边缘检测后的图象利用 Hough 变换精确定位海天线, 本文参数空间选为空间, Hough 变换后返回直线的斜率  $k$  和截距  $d$ 。最后利用映射关系, 在原图中定位海天线。

### 3 实验结果及分析

对实际拍摄的海空背景图片在 VC++ 6.0 环境中进行仿真实验, 仿真结果如图 3 所示。

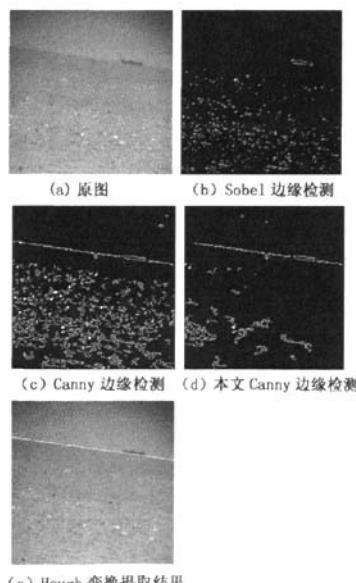


图 3 实验结果

(a) 图为模糊倾斜海天线原图; (b) 图为 Sobel 算子边缘检测结果, 由此图看出 Sobel 算子对于倾斜的海天线提取并不理想; (c) 图为 Canny 算子边缘检测结果, 不能抗拒细小边缘的干扰; (d) 图为本文改进 Canny 算子边缘检测结果, 相对于 (c) 图能较好地抗拒细小边缘的干扰; (e) 图为利用 Hough 变换法海天线提取结果。通过 (b)、(c) 比较可以看到对于强杂波背景下, 一般的边缘检测算子无法检测出模糊的海天线, Canny 算子以其极好的边缘检测特性可以检测出大部分海天线。

(下转第 702 页)

### 3.3 任务之间的通信与调度

$\mu$ C/OS-II 提供了 4 种通信与同步的机制，即信号量、邮箱、消息队列和事件标志组。该系统任务间的通信是通过信号量来实现的，必须在 OS\_CFG.H 中将配置常数 OS\_SEM\_EN 置为 1。 $\mu$ C/OS-II 中的信号量由两部分组成：一部分是 16 位的无符号整型信号量的计数值（0~65535）；另一部分是由等待该信号量的任务组成的等待任务列表。等待信号量的任务，调用待决信号量函数 OSSemPend() 在该信号量上排队，调用 OsScheduler() 进行调度使等待的任务让出控制权，使优先级最高的就绪态任务线程成为运行态，执行完后再调用释放信号量函数 OSSemPost()。

系统采样 A/D 转换任务示意程序如下：

```
OS_EVENT * ADSAMPSem;
Void Task_AD (void * pdata)
{
    AD_INIT(); /* 任务初始化 */
    AD_START(); /* 启动函数，启动 AD 采样进程 */
    for (;;) {
        OSSemPend (&ADSAMPSem, 0); /* 待决信号量，若没有信号将本任务挂起，让出控制权给其他任务 */
        AD_PROC(); /* 执行 AD 采样处理任务 */
        OSSemPost (&ADSAMP); /* 释放信号量，准备下一个任务 */
    }
}
```

任务之间的通信通过信号量的传递来实现的，其它任务模块也是通过此通信与同步机制实现任务间通信与调度，以此来保证时间、任务的同步与调度。

### 4 系统抗干扰措施

在系统设计中，由于电力参数测量环境复杂，存在电磁干扰，所以 DSP 应用系统的可靠性设计和抗干扰技术也越来越重要了。为减少信息传输的错误，必须改善信号传输质量，提高系统抗干扰能力。本系统在硬件上采取了光耦隔离、合理布

（上接第 698 页）

分的边缘，但是同时也检出了更多的干扰边缘。本文的算法中利用梯度的方向特性去除小的干扰，可以利用 Hough 变换检测出海天线。

### 4 结论

海天线检测是研究成像型反舰导弹末制导技术的一项重要内容。通过检测海天线，可以确定目标的潜在区域，同时减少干扰，从而减少目标自动捕获的计算量。模糊且倾斜海天线的检测是提高检测性能的关键。本文主要采用改进的 Canny 算子检测边缘，然后通过鲁棒性强的 Hough 变换法精确定位海天线。实验表明，该方法适应性好且抗干扰强，在强杂波条件下也能很好地检测出海天线，但是还需要进一步的提高运算速度达到实时要求。

### 参考文献：

局线路以及设置硬件看门狗等措施；在软件上采用数字滤波、设置软件陷阱和软件看门狗等措施，软件抗干扰设计主要目的是消除模拟输入信号的噪声和程序跑飞时使程序重入正轨。通过软、硬两方面措施共同提高系统抗干扰能力

### 5 结论

本文提出利用 DSP 进行交流采样的方法解决了采样系统硬件复杂且实时性差等问题，综合利用 32 位 DSP 的速度快、精度高及指令丰富等特点实现交流采样远程终端的设计，并成功地将嵌入式操作系统  $\mu$ C/OS-II 移植到了 TMS320F2812 上，实现了交流采样系统可靠的运行。该系统运行可靠性高和实时性好，且缩短了产品的开发周期，同时也增强了系统的可扩展性能。

### 参考文献：

- [1] 王健, 凌滨. 基于 DSP 的交流电能参数测量的设计 [J]. 电测与仪表, 2008, (5): 24.
- [2] 沈颂华. 航空航天器供电系统 [M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2005.
- [3] 张卫宁. TMS320C28X 系列 DSP 的 CPU 与外设 (上、下) [M]. 北京: 清华大学出版社, 2005.
- [4] "TMS320F28x Analog-to-Digital Converter (ADC) Peripheral Reference Guide", Texas Instruments Inc, June 2002.
- [5] 胡元海. 基于 TMS320F2812 的电力参数测试仪的设计与实现 [DB]. 南京: 南京信息工程大学, 2008.
- [6] 赵宇萍. 先进飞机电气系统测控平台关键技术研究 [DB]. 西安: 西北工业大学, 2006.
- [7] 邬宽明. CAN 总线原理和应用系统设计 [M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 1996.
- [8] 邵贝贝. 嵌入式实时操作系统  $\mu$ C/OS-II (第二版) [M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2002.
- [9] 陈概. 走进嵌入式系统的世界 [M]. 西安: 西北工业大学, 2006.
- [10] 王文换. 基于  $\mu$ C/OS-II 与 TMS320LF2407A 的电机微机保护设计 [J]. 计算机测量与控制.
- [1] 张峰, 杨树谦, 倪汉昌. 舰船红外图像特征提取及目标识别技术探讨 [J]. 红外与激光技术, 1991, 20 (2): 21~25.
- [2] MOHANTY N C. Image Enhancement and Recognition of Moving Shi Pin Clutter Background [J]. IEEE Transaction on PAMI, 1981, 3 (5): 606~610.
- [3] 裴继红. 舰船红外成像目标的实时识别跟踪算法研究 [J]. 光电工程, 1995, (5): 21~31.
- [4] 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, 33 (1): 51~53.
- [5] 蔡小琼, 贺赛先. 一种快速自适应边缘提取方法的研究 [J]. 计算机测量与控制, 2006, 14 (3): 307~309.
- [6] 王娜, 李霞. 一种新的改进 Canny 边缘检测算法 [J]. 深圳大学学报理工版, 2005, 22 (2): 149~153.
- [7] 刘松涛, 周晓东, 王成刚. 复杂海空背景下鲁棒的海天线检测算法研究 [J]. 光电工程, 2006, 33 (8): 5~10.

## 如何学习天线设计

天线设计理论晦涩高深，让许多工程师望而却步，然而实际工程或实际工作中在设计天线时却很少用到这些高深晦涩的理论。实际上，我们只需要懂得最基本的天线和射频基础知识，借助于 HFSS、CST 软件或者测试仪器就可以设计出工作性能良好的各类天线。

易迪拓培训([www.edatop.com](http://www.edatop.com))专注于微波射频和天线设计人才的培养，推出了一系列天线设计培训视频课程。我们的视频培训课程，化繁为简，直观易学，可以帮助您快速学习掌握天线设计的真谛，让天线设计不再难…

---



### HFSS 天线设计培训课程套装

套装包含 6 门视频课程和 1 本图书，课程从基础讲起，内容由浅入深，理论介绍和实际操作讲解相结合，全面系统的讲解了 HFSS 天线设计的全过程。是国内最全面、最专业的 HFSS 天线设计课程，可以帮助你快速学习掌握如何使用 HFSS 软件进行天线设计，让天线设计不再难…

课程网址: <http://www.edatop.com/peixun/hfss/122.html>

---

### CST 天线设计视频培训课程套装

套装包含 5 门视频培训课程，由经验丰富的专家授课，旨在帮助您从零开始，全面系统地学习掌握 CST 微波工作室的功能应用和使用 CST 微波工作室进行天线设计实际过程和具体操作。视频课程，边操作边讲解，直观易学；购买套装同时赠送 3 个月在线答疑，帮您解答学习中遇到的问题，让您学习无忧。

详情浏览: <http://www.edatop.com/peixun/cst/127.html>

---



### 13.56MHz NFC/RFID 线圈天线设计培训课程套装

套装包含 4 门视频培训课程，培训将 13.56MHz 线圈天线设计原理和仿真设计实践相结合，全面系统地讲解了 13.56MHz 线圈天线的工作原理、设计方法、设计考量以及使用 HFSS 和 CST 仿真分析线圈天线的具体操作，同时还介绍了 13.56MHz 线圈天线匹配电路的设计和调试。通过该套课程的学习，可以帮助您快速学习掌握 13.56MHz 线圈天线及其匹配电路的原理、设计和调试…

详情浏览: <http://www.edatop.com/peixun/antenna/116.html>

---



## 关于易迪拓培训:

易迪拓培训([www.edatop.com](http://www.edatop.com))由数名来自于研发第一线的资深工程师发起成立，一直致力于专注于微波、射频、天线设计研发人才的培养；后于 2006 年整合合并微波 EDA 网([www.mweda.com](http://www.mweda.com))，现已发展成为国内最大的微波射频和天线设计人才培养基地，成功推出多套微波射频以及天线设计经典培训课程和 **ADS**、**HFSS** 等专业软件使用培训课程，广受客户好评；并先后与人民邮电出版社、电子工业出版社合作出版了多本专业图书，帮助数万名工程师提升了专业技术能力。客户遍布中兴通讯、研通高频、埃威航电、国人通信等多家国内知名公司，以及台湾工业技术研究院、永业科技、全一电子等多家台湾地区企业。

## 我们的课程优势:

- ※ 成立于 2004 年，10 多年丰富的行业经验
- ※ 一直专注于微波射频和天线设计工程师的培养，更了解该行业对人才的要求
- ※ 视频课程、既能达到了现场培训的效果，又能免除您舟车劳顿的辛苦，学习工作两不误
- ※ 经验丰富的一线资深工程师主讲，结合实际工程案例，直观、实用、易学

## 联系我们:

- ※ 易迪拓培训官网: <http://www.edatop.com>
- ※ 微波 EDA 网: <http://www.mweda.com>
- ※ 官方淘宝店: <http://shop36920890.taobao.com>