

自动警戒圈的目标检测算法^①

陈 杰¹, 杨神化², 曹士连²

¹(集美大学 计算机工程学院, 厦门 361021)

²(集美大学 航海学院, 厦门 361021)

摘 要: 针对雷达/ARPA 模拟器的特点, 利用现代图像处理技术, 将前后两个扫描周期的回波图像转化为二值图像, 根据自动警戒圈的特点, 采用使用逻辑运算和区域生长的方法, 提出了目标检测算法, 该算法不需要引入复杂的运算, 并能较好地去除噪声对目标检测的干扰, 实验表明该算法适用于当前的雷达/ARPA 模拟器的目标检测。

关键词: 雷达/ARPA 模拟器; 回波; 二值图像; 目标检测; 区域生长

The Algorithm of Objects Detection in Automatic Alert Circle

CHEN Jie¹, YANG Shen-Hua², CAO Shi-Lian²

¹(Computer Engineer College, Jimei University, Xiamen 361021, China)

²(Navigation College, Jimei University, Xiamen 361021, China)

Abstract: According to the feature of radar/ARPA simulator, this paper presents a novel algorithm of objects detection in automatic alert circle using modern image processing technology. The algorithm turns two echo images of consecutive scanning period into two binary images, and then uses logical operation and the method of region growing to detect objects in automatic alert circle. The algorithm doesn't need complex operations, and filters out the detecting interference of the noise. Experiments show that the algorithm can be used in objects detecting of radar/ARPA simulator.

Key words: Radar/ARPA simulator; echo; binary image; objects detection; region growing

1 引言

随着海运事业的蓬勃发展, 船舶也朝着多样化、大型化、智能化发展。尽管现代化船舶都装备了各种通信设备, 先进的定位导航设备以及自动驾驶仪等, 但是触目惊心的海损事故仍层出不穷, 不仅造成了巨大的经济损失和人员伤亡, 而且对环境污染带来不可估量的影响。根据分析, 人为失误是海损事故的主要原因。如何最大程度地减小人为失误, 培养高质量的航海人员是当前各海事院校重点关注的问题之一。实践证明, 将计算机技术与航海技术结合而产生的雷达/ARPA 模拟器是培训航海人员的一种有效而且先进的方法, 因此雷达/ARPA 航海模拟器越来越受到世界航运界的重视和青睐^[1]。

从功能上看, 雷达/ARPA 模拟器功能分为雷达模

拟和自动雷达标绘仪模拟。

其中雷达模拟包括在稳定的相对运动模式和海、陆稳定的真运动模式上操作; 模仿天气、潮流、海流、阴影扇形、假回波和其它电波传播影响, 并产生岸线、导航浮标和搜救应答器; 能够创造一个包括至少两个能够改变本船航向和航速的本船船台的实时操作环境, 并且包括至少 20 个目标船的参数和相应的通信设备。

自动雷达标绘仪 (Automatic Radar Plotting Aid, 简称 ARPA) 模拟功能包括: 手动和自动捕获目标; 航迹线信息; 抑制区域的应用; 矢量/图解时间刻度和数据显示; 以及试操纵。

由此可见, 雷达/ARPA 模拟器在船舶避碰与导航方面非常重要的作用, 雷达/ARPA 模拟器训练在提高

① 基金项目:福建省自然科学基金(2009J05148)

收稿时间:2011-05-07;收到修改稿时间:2011-06-16

船员雷达/ARPA 的使用方面所起的作用也已经得到普遍认可, ARPA 模拟器对于作为 ARPA 重要功能的物标录取与跟踪的模拟效果如何直接影响着 ARPA 训练的效果。在传统的 ARPA 理论中, 目标的自动检测由 A/D 转换器、移位寄存器、加法器和 MOON 判定组成滑窗检测器^[2], 滑窗的形状为一个方位宽度为方位量化单元距离宽度为距离量化单元的扇环, 这种方法适合形成原始的数字雷达图像, 也适用于由于硬件条件的限制无法得到整幅雷达图像的情况下进行目标检测和跟踪的。目前, 越来越多的 ARPA 采用雷达头、雷达信号处理卡加普通 PC 的形式, 显示器均为光栅扫描显示器, 这样就能够很方便地得到整幅的矩形雷达图像数据, 这对于利用现代数字图像处理技术实现目标的跟踪和检测提供了可能。

本文针对雷达 ARPA 模拟器的特点, 在提取模拟器雷达图像的基础上给出了基于区域生长的现代图像处理技术进行目标检测的方法, 并用于自动警戒圈中的目标跟踪与检测, 实验结果表明该方法能准确检测出自动警戒圈中的运动物体, 并在 ARPA 模拟器中已经得到验证, 取得了较好的效果。该方法不仅适用于 ARPA 模拟器, 也适合在实际雷达设备中使用。

2 传统的二值图像的区域检测

如图 1 的雷达/ARPA 模拟器显示界面所示, 中间圆形窗口表示雷达回波的显示。自动警戒圈是雷达显示屏幕中, 以本船为中心的某个圆环的特殊区域, 在雷达/ARPA 模拟器中, 自动警戒圈的目标检测是通过在雷达显示屏幕画出一个环形区域, 然后对进入自动警戒圈的目标进行检测与跟踪。当有目标进入该区域的物标必须进行详细的关注。对进入自动警戒圈的目标回波应进行自动捕捉, 能达到对跟踪窗内的回波进行连续跟踪, 然后计算出该回波的运动要素, 包括真速度/航向、相对运动速度/航向、距离/方位。

从图 1 看到, 模拟器上看到的图像可以看成是一幅只有两种颜色的图像, 一种颜色表示背景, 另一种表示回波。因此在自动警戒圈的目标的捕捉和跟踪中, 可以把背景色设置为 0, 将目标回波, 噪声信号设置成 1, 形成一幅二值图像。这样, 使用图像处理的方法进行警戒圈内的目标回波的跟踪与检测的问题就转

换成二值图像的目标检测问题。

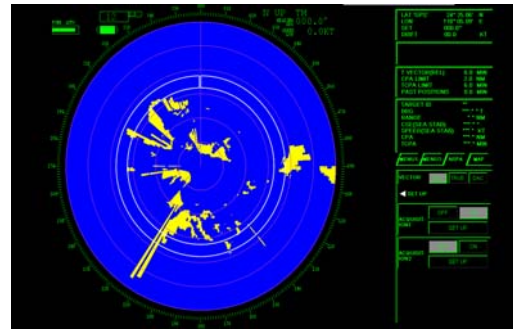


图 1 雷达/ARPA 模拟器显示界面

二值图像指的是像素点颜色只有黑和白两种颜色, 没有其他灰色。二值图像一般用来描述文字或者图形, 其优点是占用空间少, 其特点主要用于描述其目标食物轮廓, 而不描述细节。

对于二值图像的区域检测主要是通过连通域标记处理操作来完成的。通过连接的方法分析图像中白色像素和黑色像素的连通关系, 从而将目标值像素集合提取出来, 并为图像中不同的连通域填入不等的数字标记。该处理过程是图像处理和分析中一个非常重要的基础操作, 有着广泛的应用领域。

传统的连通区域标记方法^[3,4]有逐像素判断法, 迭代连通组元标记法, 连通组元缩小法。逐像素判断法是对图像从左到右, 从上到下扫描, 标记当前正被扫描的像素需要检查它与在它之前扫描到的若干个近邻像素的连通性。如, 当前正被扫描的像素的灰度值为 1, 则将它标记为与之连通的像素, 如果它与两个或多个目标相连通, 则可以认为这些目标实际是同一个, 并把它们连接起来; 如果发现一个从为 0 的像素到 1 的一个孤立像素的过渡, 就赋一个新的目标标记。迭代连通组元标记法是使用迭代的方法对连通组元进行标记, 对图像中的连通组元的标记结果仍是一幅图像, 其中每个像素都得到一个标记, 属于同一个连通组元的像素都有相同的标记, 标记的过程反复进行, 知道标号矩阵不再变化。连通组元缩小法是使用逐步将连通组元缩小至一个点, 然后对点计数, 可统计图像中的连通组元数。

文献[5]将消除重复标记的操作融入到第一次扫描过程中, 以达到一次性标记的目的。文献[6]的方法以像素标记法为基础, 利用相邻扫描行中二值像素点的邻

接关系,在一次扫描的过程中完成目标标记的提取以及等价目标标记的合并,最终完成目标的标记和特征量的提取工作,文献[7]提出基于递归方法的二值图像连通域像素标记算法,通过对二值图像的扫描,得到所有目标像素的连通域划分和标记的等价对表;利用递归对等价对表进行分析,得到正确的连通标记划分和连通区域数目。文献[8]根据连通集的思想,一次标记整个连通区域,然后再标记下一个区域,直到所有的连通区域都被标记。该方法避免了重复标记的问题,具有较高的效率。本文根据文献[8]使用连通集的思想,提出适用于雷达模拟器的目标检测算法,实践表明该算法运算简单,准确性高,并成功用于雷达模拟器中的目标检测。

3 自动警戒圈中的目标检测

3.1 区域生长技术

区域生长技术的基本思想是将具有相似的像素集合起来构成区域,在实现时首先要对每个需要分割的区域寻找一个像素点作为种子,将该像素点作为生长的起点,然后根据事先确定的相似准则,判定种子像素周围邻域中是否有与种子像素有相同或相似性质的像素,将这些像素合并到种子像素所在的区域中,然后将这些像素作为新的种子继续上面的过程直到没有满足条件的像素为止^[3,9]。

3.2 目标检测算法

图 1 同时也反映了模拟器回波图像的特殊性,由于只有两种颜色,进入警戒圈的目标回波几乎没有任何纹理特征可供提取和参考,因此要对进入警戒圈的目标进行跟踪与检测能够使用的特征就是目标的在前后两个扫描周期位置的变化。因此在自动警戒圈的目标检测中我们通过前后两个扫描周期目标位置的变化,确定要目标的具体位置,去除图像中与本船相对静止的目标。

设 R 为一个扫描周期前的图像, S 为一个扫描周期后的图像, R 和 S 均已二值化,即 R 和 S 像素点灰度值非 0 即 1, 0 表示背景色, 1 表示目标和噪声的回波。

若 A 表示某物体在 R 中和在 S 中的回波的位置的总和,在模拟器的回波中,会体现出 A 在 R 中和在 S 中的像素点位置有一部分重叠,一部分不重叠,即 $A = A_1 \cup A_2 \cup A_3$

其中, $A_1 = \{(i, j) | R(i, j) = 1, \text{且} S(i, j) = 0\}$,

$$A_2 = \{(i, j) | R(i, j) = 1, \text{且} S(i, j) = 1\}$$

$$A_3 = \{(i, j) | R(i, j) = 0, \text{且} S(i, j) = 1\}$$

因此 A 在 R 中的回波位置为 $A_1 \cup A_2$, 在 S 中的回波位置为 $A_1 \cup A_2$, 该回波表示的是与本船(即雷达扫描中心)相对静止的物体,则可知 $A_1 = A_3 = \Phi$, Φ 表示空集。

若该回波是运动物体,则可知 $A_1 \neq \Phi$, $A_3 \neq \Phi$, 由于目标检测是在后一个扫描周期的图像 S 上进行的,因此只需要获取 $A_3 \neq \Phi$ 的部分,即去除相对静止的目标。

具体做法为 $T = (S \circ R) \otimes R$, 这里 \circ 表示按图像对应位置的像素点灰度值进行或运算, \otimes 表示按图像对应位置的像素点灰度值进行异或运算。

在实际的雷达中,回波存在大量的噪声,因此在雷达模拟器中,我们同样需要模拟出大量的噪声。由于雷达模拟器的图像已被二值化,因此大量的噪声可以看作是很小的斑点状的连通域,这类连通域所占面积很小,但分布十分广泛,在对真正目标的分析和识别影响非常大,有可能产生误检的情况。因此在进行目标检测之前需要进行噪声的去除,以减少对目标检测的影响。

传统二值图像噪声常使用数学形态学的方法进行去除,由于自动警戒区的功能是对进入警戒圈的目标进行自动的检测与捕捉,对于警戒圈外的目标不做检测,对于警戒圈外的噪声可直接采用模板的方法,先去除圆环外的噪声,同时也可以警戒圈外的目标也去除掉,以免影响实际的检测过程。(即自动警戒圈外的噪声)。

具体方法是将使用一个模板图像来去除警戒圈外的噪声,该模板图像在警戒圈内像素点灰度取值为 1,警戒圈外像素点灰度取值为 0,将模板图像与当前的雷达图像做逻辑与运算,则可知,警戒区外的所有回波,包括噪声都将被去除掉。

由于数学形态学方法,可以很好地去掉图像中的噪声,并且对目标的形状并不会产生太大的变换^[3],因本文采用数学形态学的方法进行警戒圈内噪声的去除。

整个检测过程步骤如下:



图 2 自动警戒圈的目标检测流程

详细算法如下:

1. 首先将模拟器的图像二值化, 取一个扫描周期前 (R) 和一个扫描周期后 (S) 的前后两幅图像, 在设置一幅缓存图像 (B), 缓存图像在环形区域内都为 1, 在环形区域外都为 0 (图像大小均为自动警戒圈大圆的外接矩形)

2. 计算 $T = (S \circ R) \otimes R$, 去除图像中与本船相对静止的目标。

3. 将 T 与缓存图像 B 按对应位置的像素点灰度值进行与运算, 得 $X = T \cdot B$, 消去自动警戒圈 (即除环形区域外的噪声)。

4. 使用 8 邻域的结构元素, 对 X 先进行开运算, 再进行闭运算, 从而去除自动警戒圈内的噪声。

5. 在 T 中利用区域生长的检测方法, 找出连通集, 此时的连通集就是目标的一部分, 通过坐标再到 S 中再利用区域生长的检测方法, 对运动物体进行定位。具体的连通集检测方法如下:

(1) 定义集合 $V = \{1\}$, 作为区域生长的相似性集合。

(2) 遍历 X, 查找到第一个像素点在 V 中有取值的点, 若该找到记为 P, 将 P 作为区域的初始化种子, 然后转到 3, 否则程序结束

(3) 使用链表集合表示 L 表示要检测和跟踪过的目标区域, 将 P 点坐标加入链表集合 L, 并将 P 点在 X 的像素值设为 0 (将 P 点在像素设为 0 是为了避免下次扫描重复检测)。

(4) 根据相似性集合, 在 X 中查找与 L 中的种子点相连通的点的点加入 L, 并将其像素值设为 0, 同时将找到的点作为新的种子点。

(5) 重复步骤 4, 直至 X 中找不到任何与 L 中的点 4-连接的点, 此时得到的集合 L 表示就是 X 中的一个连通集

(6) 跳转到步骤(3), 直到找出 X 中所有的连通区域

定义所有的连通区域的集合表示为

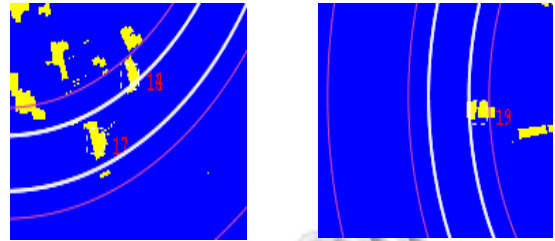
$$K = \{L_i | L_i \subset X, i = 1, 2, \dots, n\}$$

其中 L_i 是 X 中的连通区域, n 表示连通区域的个数。

(7) 根据 $X = T \cdot B$, 可知对于每个 L_i , 都有 $L_i \subset S$, 此时对于每个 L_i , 分别使用(3)—(6)的区域生长算法, 找出在 S 中与之连接的点, 得到最终的 L_i , 即可得到 S 中的所有运动物体。

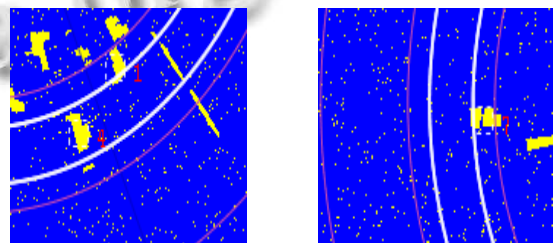
4 实验结果与分析

本实验通过无噪声干扰和有噪声干扰两种情况用于测试算法的准确性。



(a) 无噪声干扰的检测结果 (b) 无噪声干扰的检测结果

图 3 无噪声干扰检测的实验结果



(a) 有噪声干扰的检测结果 (b) 有噪声干扰的检测结果

图 4 有噪声干扰检测的实验结果

如图所示, 本文对整个模拟器显示界面只截取一部分, 并进行放大显示。图 3 和图 4 分别显示了在无噪声干扰情况下和有噪声干扰情况下的检测跟踪的结果。

图 3(a)和图 4(a)显示在检测录取前所画的录取窗口, 图 3(b)和图 4(b)则分别表示使用本文提出的算法对目标进行检测跟踪, 并将检测窗口的中心位于目标物体的重心。

从上面的实验结果可以看到, 通过将雷达模拟器的回波图像进行二值化, 采用基于区域生长的思想对自动警戒圈的目标检测与跟踪具有一定的准确性。

5 结语

本文根据雷达/ARPA 模拟器回波图像没有纹理特征可利用的特点, 使用前后两个扫描周期的回波图像和缓冲进行逻辑运算, 去除噪声对目标检测的影响, 然后使用区域生长的思想提出了适用于雷达/ARPA 模拟器回波图像上的自动警戒圈的目标检测方法, 不需要引入复杂的计算。实验结果表明, 该方法运算简单并具有一定的准确性。

(下转第 80 页)

定位误差一起展示。从图 5 中我们不难看出, DV_distance 混合算法对比单一的 DV_hop 和质心法, 定位精度有着明显的优势; 加权质心法测量精度较高但是对锚节点的比例有很大依赖性。同时也清晰的看到, DV_distance 混合从 DV_hop 算法中继承的一项优点: 定位的精度不与锚节点所占的比例或者多少有关, 而只与网络的连通性有关。这也意味着在相同节点数目的传感器网络中, 使用 DV_distance 混合算法的投入会更低。

4 结论

本文提出了一种基于 Zigbee 的混合定位算法, 也就是基于 TOA 测距的 DV_distance 算法: 利用 MAC 层协议实现相邻节点间的 TOA 测距, 在已知邻居节点间距离的基础上进一步使用 DV_distance 算法进行定位, 也就是通过距离矢量的累加测量未知节点到锚节点的距离, 同时引入一个修正值 corr 消除累积误差。该混合算法能够在不增加硬件的情况下实现较为精确的测距, 因为只需与一定通讯范围内的相邻节点通讯能耗也相对较低, 在节点密度相同的网络中, 能利用较少的锚节点实现同等精度的定位, 适用于大规模传

感器网络。

参考文献

- 1 王福豹, 史龙, 认丰原. 无线传感器网络中的自身定位系统和算法. 软件学报, 2005, 16(5): 857-868.
- 2 徐自励, 刘昌忠, 黄忠涛, 等. 基于 Kalman 滤波的目标信号 TOA 校正. 通讯技术, 2010, 143(6): 194-197.
- 3 李凡. 基于超宽带(UWB)技术的测距方法研究. 武汉: 华中师范大学, 2007.
- 4 李靖, 张辉耀. 对一种基于双重到达时间差的无线定位数据融合方法的探讨. 中国无线电, 2009, (9): 59-61.
- 5 IEEE-TG15.4. Part15.4: Wireless Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specification for Low-Rate Wireless Personal Area Networks (LR-WPANs). IEEE Standards for Information Technology, September 2006.
- 6 Burda R, Lewandowski A, Wietfeld C. A Hybrid Indoor Localization Using Beacon Enabled Meshing and TOA in IEEE 802.15.4 Networks. Vehicular Technology Conference, 2008. VTC Spring 2008. IEEE. 2008 May 11-14. 118-122.
- 7 Niculescu D, Nath B. DV Based Positioning in Ad Hoc Networks. Telecommunication Systems, 2003, 22: 1-4, 267-28.

(上接第 60 页)

参考文献

- 1 张大勇. 雷达/ARPA 仿真图像生成和功能模拟改进. 大连: 大连海事大学, 2003.
- 2 王世远. 航海雷达与 ARPA. 大连: 大连海事大学出版社, 1998.
- 3 章毓晋. 图像工程(中)—图像分析. 北京: 清华大学出版社, 2006.
- 4 Yang Y, David Z. A novel line scan clustering algorithm for identifying connected components in digital images. Elsevier Science: Image and Vision Computing, 2003, (21): 459-472.
- 5 张修军, 郭霞, 金心宇. 带标记修正的二值图像连通域像素标记算法. 中国图象图形学报, 2003, 8(2): 198-202.
- 6 张庆, 向健勇, 赵小明, 孙勃. 一种图像分割的快速目标描述方法. 红外技术, 2004, 26(6): 83-86.
- 7 徐正光, 鲍东来, 张利欣. 基于递归的二值图像连通域像素标记算法. 计算机工程, 2006, 32(24): 186-189.
- 8 陈柏生. 一种新的二值图像标记的快速算法. 计算机工程与应用, 2006, 26: 46-47.
- 9 徐成, 冯斌, 刘彦. 一种局部纹理特征在区域生长中的作用. 计算机应用研究, 2009, 26(12): 4852-4854.