

基于 FY-2C 气象卫星云图的台风分割方法的研究

王虹¹, 余建波¹, 陈明明¹, 刘嵩鹤¹, 关爱贤², 童水兵²

WANG Hong¹, YU Jian-bo¹, CHEN Ming-ming¹, LIU Song-he¹, GUAN Ai-xian², TONG Shui-bing²

1. 武汉理工大学 信息工程学院, 武汉 430063

2. 解放军广州军区 空军气象中心, 广州 510071

1. The School of Information Engineering of Wuhan University of Technology, Wuhan 430063, China

2. The Meteorological Center of the Air Force in Guangzhou Military Area Command of PLA, Guangzhou 510071, China

E-Mail: whong2002@vip.sina.com

WANG Hong, YU Jian-bo, CHEN Ming-ming, et al. Research on method of typhoon segmentation based on FY-2C meteorological satellite cloud image. *Computer Engineering and Applications*, 2008, 44(20): 188-191.

Abstract: The segmentation of the typhoon galaxy is a crucial step in the processing of applying the FY-2C meteorological satellite cloud images for the study on automatic locating and tracking of the typhoon centre. In the article, in light of the main typhoon galaxy with the characters of higher grayscale value, bigger area, limited acting region and concentrated pixels, we comprehensively use threshold method, mathematical morphology techniques, mathematical statistics methods, etc, so as to research on typhoon segmentation of the original Lambert-projected cloud images from the first infrared channel of the FY-2C Meteorological Satellite. The results are satisfying.

Key words: satellite image; typhoon segmentation; central dense cloud region of typhoon

摘要: 在利用 FY-2C 气象卫星云图进行台风中心自动定位与跟踪的研究中, 台风云系的分割是处理中关键的一步。结合台风主体云系具有灰度值较高、面积较大、活动范围有限和像素集中的特点, 综合采用阈值法、数学形态学法和数理统计等方法, 对 FY-2C 气象卫星云图中的红外一通道兰勃托原始投影云图中的台风分割进行了研究, 取得了满意的效果。

关键词: 卫星云图; 台风分割; 台风密蔽云区

DOI: 10.3778/j.issn.1002-8331.2008.20.057 文章编号: 1002-8331(2008)20-0188-04 文献标识码: A 中图分类号: TP751

1 前言

台风是严重影响人类生产和生活的灾害性天气系统之一, 它给我国东南沿海各省市的工农业生产、交通运输和人民生命财产的安全造成了严重威胁和极大损失, 其造成的受灾面积之大和伤亡人数之多在十大自然灾害中高居首位。我国又是世界上台风灾害最为严重的国家之一, 准确地预报台风是事关国家和人民生命安全的重大问题。利用气象卫星云图自动分割出台风云系, 对于避免传统的、用人工目视判读来确定台风中心位置的方法中所存在的不确定性, 从而提高台风准确预报的自动化和科学化水平, 为台风的防灾、减灾决策提供依据等层面都有现实意义。

我国 2004 年 10 月升空的 FY-2C 气象卫星(我国第一颗业务型静止气象卫星)从观测中国大陆、海区的最佳的静止轨道位置(东经 105°的赤道上空)发回的云图提供了大范围、全天候的云的生消聚散的信息。另外, 它发回的云图与同类风云气象卫星发回的云图相比, 云图图像更清晰、纹理更清楚、层次

更丰富, 并且及时准确。因此, 目前 FY-2C 气象卫星已成为我国监测台风的最主要的手段。

台风图像分割是 FY-2C 气象卫星云图处理中十分重要但又是很难处理好的一个热点问题。这是因为: 一个云系中往往包含有多种形态的云, 而云系在发展的不同阶段, 它所包含的云的情况又有很大不同。于是, FY-2C 气象卫星云图上的台风云系就有很宽的灰度值变化范围, 很难找到一个恰当的数学统计方案来简单的指导台风图像分割。这一现象可以清晰地从图 1 中所示的同一台风云系在不同时段的三幅卫星云图图片中看出。



图 1 一台风云系在不同时段的三幅卫星云图图片

作者简介: 王虹(1962-), 女, 博士, 教授, 硕士研究生导师, 研究方向: 电子与通信工程, 信息隐藏通信; 余建波(1979-), 男, 硕士研究生, 研究方向: 信号与信息处理, 图像处理与模式识别; 陈明明(1983-), 女, 硕士研究生, 研究方向: 信号与信息处理, 智能信息采集与处理; 刘嵩鹤(1979-), 男, 硕士研究生, 研究方向: 信号与信息处理, 图像处理与模式识别。

收稿日期: 2007-10-10 修回日期: 2008-01-10

含有台风云系的 FY-2C 气象卫星云图既包含了地表面、海表面信息, 又包含了很多分布不均匀的无关云团。因此, 难以简单地找到一个恰当的统计阈值将地表面、海表面信息和无关云团全部去掉。于是, 尤有必要寻求一种有效的分割方法把台风云系从其背景中分离出来。结合台风主体云系具有灰度值较高、面积较大、活动范围有限和像素集中的特点, 综合采用阈值法、数学形态学法和数理统计等方法, 利用 MATLAB_7.0 软件对 FY-2C 气象卫星云图中的红外一通道兰勃托原始投影云图中的台风分割进行了研究。

2 分割原理

2.1 灰度阈值初选

由于台风密蔽云区是包含台风中心和台风强度等信息的主体云系, 因此从一幅原始云图中初步分割这一主体云系是关键的第一步。实验发现: 虽然整个台风云系的灰度值分布范围很宽, 但是位于台风密蔽云区的云系的灰度值分布范围相对较小。因此, 根据气象学知识和统计规律, 可以选取一个较大的灰度值作为阈值, 将云图二值化, 将含有台风密蔽云区的背景中的, 包含有灰度分布很不均匀的地表面、海表面信息和无关云团删除相当大的一部分。

2.2 圆盘腐蚀选择

经过阈值法初步处理以后, 虽然台风密蔽云区(其中心往往存在空洞)可以初步分割出来, 但是图像中也仍含有多个孤立图形。为了进一步消除这些干扰目标, 可以根据台风密蔽云区的类圆性和台风云系面积较大的先验知识, 由实验统计法确定半径大小合适的圆盘型结构元素, 接着对二值化的云图图像进行数学形态学腐蚀运算, 得到含有极少数干扰目标的, 台风密蔽云区缩小的二值云图图像。

2.3 对象质心判别

由于采用的 FY-2C 红外一通道兰勃托原始投影云图对应的横向地理范围为东经 $60^{\circ}\sim 155^{\circ}$, 纵向地理范围为北纬 $15^{\circ}\sim 57^{\circ}$, 再根据北太平洋西部台风活动范围先验知识, 可知台风密蔽云区的中心往往出现在云图图像的右下半部分, 因此可以按如下的推导求出这一对角线的数学表达式, 将其作为进一步消除少数干扰目标的判别函数:

设采用的 FY-2C 红外一通道兰勃托原始投影云图的总行数为 r_0 , 总列数为 c_0 , 按照 MATLAB_7.0 软件对图像像素的坐标约定, 以水平向右的 c 轴为云图像素的列数坐标轴, 以垂直向下的 r 轴为云图像素的行数坐标轴, 可知云图图像最左上角、最右上角、最左下角、最右下角的坐标依次为: $(1, 1), (1, c_0), (r_0, 1), (r_0, c_0)$ 。

那么通过 $(1, c_0), (r_0, 1)$ 两点的对角线的数学表达式为:

$$c = -\frac{(c_0-1)}{(r_0-1)} \cdot r + \frac{(c_0-1)}{(r_0-1)} \cdot r_0 + 1 \quad (1)$$

则进一步消除少数干扰目标的判别函数为:

$$c > -\frac{(c_0-1)}{(r_0-1)} \cdot r + \frac{(c_0-1)}{(r_0-1)} \cdot r_0 + 1 \quad (2)$$

其示意图如图 2 所示。

由此可知: 对二值化的云图图像进行数学形态学腐蚀运算, 得到含有极少数干扰目标的, 台风密蔽云区缩小的二值云图图像以后, 可以接着标记出二值云图图像中的每一个对象, 求出其质心的坐标, 代入式(2)中进行判别, 从而更进一步的排

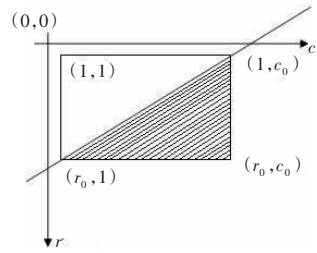


图2 台风密蔽云区像素坐标分布特点示意图

除质心位于式(1)所表达的对角线所区分的非阴影部分的干扰目标, 留下质心位于(1)式所表达的对角线所区分的阴影部分的, 可能为台风密蔽云区的对象。

2.4 目标个数处理

设剩下的对象的个数为 n , 根据北太平洋西部台风同时出现个数的先验知识(同时出现两个台风的情形较少, 同时出现三个台风的情形十分罕见), 接着按如下的方法进行处理:

(1) 当 $n=0$ 时, 输出不含台风的信息, 停止处理;

(2) 当 $n=1$ 时, 接着进行处理;

(3) 当 $n=2$ 时, 选取半径大小适当的圆盘型结构元素, 再次进行数学形态学腐蚀和相应的对象质心判别, 然后接着进行处理;

(4) 当 $n \geq 3$ 时, 选取半径大小比(3)中更大的圆盘型结构元素, 再次进行数学形态学腐蚀和相应的对象质心判别, 然后接着进行处理。

2.5 均值、标准方差筛选

由于台风密蔽云区与一般的云团相比, 具有像素集中, 灰度值较高且相邻像素灰度值接近的特点, 因此可以进一步采用数理统计方法进行如下的处理:

(1) 先对经过目标个数处理后剩下的对象进行膨胀运算得到模板, 再从原始图像中初步切割出可能含有台风密蔽云区的目标图像;

(2) 然后进行阈值法二值化, 再经过填充空洞、腐蚀、膨胀运算得到更为准确的模板, 再次从原始图像中更准确的切割出可能含有台风密蔽云区的目标图像;

(3) 接着设法分别计算出这些目标图像的真实灰度均值和真实灰度标准方差, 与经过实验统计出的台风密蔽云区灰度均值的门限 $[m_T, m_L]$, 灰度标准方差 $[s_T, s_L]$ 进行比较, 去掉不在这些范围之内的目标图像, 保留在这些范围之内的目标图像并作为台风密蔽云区显示出来。

可以按照如下方法计算出目标图像的真实灰度均值和真实灰度标准方差:

设以上第(2)步中对应的模板所包含的像素的个数为 p_1 , 目标图像的行数为 r , 列数为 c , $f(i, j)$ 为目标图像中行数坐标为 $i(1 \leq i \leq r)$, 列数坐标为 $j(1 \leq j \leq c)$ 的像素的灰度值, 用 $\text{mean2}()$ 命令求出的灰度均值为 m_1 , 目标图像的真实灰度均值为 m_2 , 则有:

$$m_1 = \frac{1}{r \times c} \sum_{j=1}^{j=c} \sum_{i=1}^{i=r} f(i, j) \quad (3)$$

$$m_2 \cdot p_1 + (r \times c - p_1) \cdot 0 = m_1 \cdot r \times c \quad (4)$$

因此, 目标图像的真实灰度均值为:

$$m_2 = \frac{m_1 \cdot r \times c}{p_1} = \frac{\sum_{j=1}^{j=c} \sum_{i=1}^{i=r} f(i, j)}{p_1} \quad (5)$$

设目标图像中模板部分所对应的像素的灰度值为 f_k ($1 \leq k \leq p_1$), 用 $\text{std}2()$ 命令求出的目标图像的灰度标准方差为 s_1 , 目标图像的真实灰度标准方差为 s_2 , 则有:

$$s_1 = \sqrt{\frac{1}{r \times c} \sum_{j=1}^{j=c} \sum_{i=1}^{i=r} [f(i, j) - m_1]^2} \quad (6)$$

$$s_1 = \sqrt{\frac{1}{r \times c} \left\{ \left[\sum_{k=1}^{k=p_1} (f_k - m_1)^2 \right] + (r \times c - p_1) \cdot (0 - m_1)^2 \right\}} \quad (7)$$

$$s_2 = \sqrt{\frac{1}{p_1} \sum_{k=1}^{k=p_1} (f_k - m_2)^2} \quad (8)$$

$$m_2 = \frac{1}{p_1} \sum_{k=1}^{k=p_1} f_k \quad (9)$$

因此, 目标图像的真实灰度标准方差为:

$$s_2 = \sqrt{\frac{(r \times c)}{p_1} \cdot (s_1^2 + m_1^2) - m_2^2} \quad (10)$$

2.6 分割原理小结

综合上述, 本文对台风的分割主要有以下图片所示的六个过程: 灰度阈值初选, 圆盘腐蚀选择, 对象质心判别, 目标个数处理, 均值、标准方差筛选和分割结果显示。

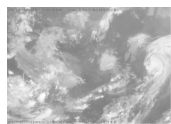


图3 原始投影云图



图4 灰度阈值初选



图5 圆盘腐蚀选择



图6 对象质心判别



图7 图6局部放大



图8 目标个数处理



图9 图8局部放大



图10 均值、标准方差筛选



图11 分割结果显示

3 分割步骤

根据以上叙述的台风分割原理, 结合 FY-2C 红外一通道兰伯托原始投影云图的特点, 使用 MATLAB_7.0 软件, 按照如下的步骤来分割台风。

3.1 云图图像去噪

由于 FY-2C 气象卫星定点在东经 105°赤道上空约 35 800 Km 的地球静止轨道上, 在进行气象观测和信号传输的过程中可能受到干扰, 从而使得卫星云图图像具有噪声。另外, 由于地球本身表面高低起伏, 卫星在静止轨道上存在漂移。因此, 在使用气象卫星原始云图进行台风分割前, 需对其进行图像去噪处理。

FY-2C 红外一通道兰伯托原始投影云图中存在各种噪声, 但主要表现为扫描噪声和椒盐噪声。由于中值滤波器是一种非线性滤波器, 适宜于去除脉冲噪声和椒盐噪声, 因此选用它对云图图像去噪。其去噪效果如图 12 所示。

3.2 消除空白部分

由于气象卫星接收设备在接收气象卫星原始云图时, 受信

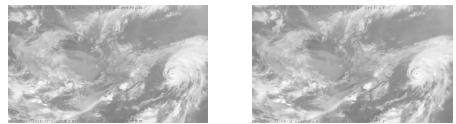


图12 原始卫星云图中值滤波去噪前后的比较

噪比有时过低的影响而存在行数据丢失, 兰伯托投影后会在图像底部形成空白部分, 在灰度级为 8 bit 的灰度图像中其灰度值大于 250。如果不进行消除, 会对后面的台风切割造成影响。可以采用图像相减的方法予以去除, 其效果如图 13 所示。

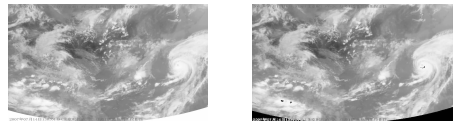


图13 云图消除空白部分前后的比较

由图 13 可知, 空白部分已完全消除, 但也造成云图中部分云团形成空洞。

3.3 灰度阈值初选

由于台风密蔽云区的灰度范围具有一定的规律, 它所对应的是云图中灰度值较高的部分, 因此可以用一个阈值对云图中可能的台风密蔽云区进行初步筛选, 删除相当大的一部分的地表面、海表面信息和无关云团。在此, 根据台风密蔽云区先验知识, 选取 200 作为灰度阈值, 把云图转化为二值图像并填补空洞, 相应的效果如图 14 所示。

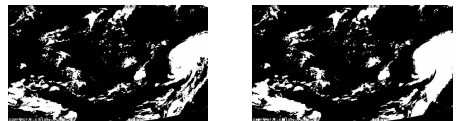


图14 云图阈值二值化和空洞的填补

3.4 圆盘腐蚀选择

根据台风密蔽云区的类圆性和台风云系面积较大的先验知识, 由实验统计法初步选用半径为 38 的圆盘型结构元素, 接着对二值化的云图图像进行数学形态学腐蚀运算, 得到含有极少数干扰目标的、台风密蔽云区缩小的二值云图图像, 相应的效果如图 15 所示。

3.5 对象质心判别

对二值化的云图图像进行数学形态学腐蚀运算, 得到含有极少数干扰目标的、台风密蔽云区缩小的二值云图图像以后, 可以接着标记出二值云图图像中的每一个对象, 求出其质心的坐标, 按照公式(2)进行对象质心判别, 留下可能为台风密蔽云区的对象, 相应的效果如图 16 所示。



图15 圆盘腐蚀选择后的示意图

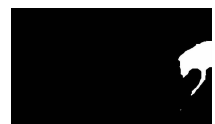


图16 对象质心判别后的示意图

3.6 目标个数处理

根据北太平洋西部台风同时出现个数的先验知识, 对经过对象质心判别后剩余的目标的数目 n 进行如下处理:

(1) 当 $n=0$ 时, 输出“这幅风云-2C 气象卫星红外一通道云图中不含台风!”的信息, 停止处理;

(2) 当 $n=1$ 时, 接着进行处理;

(3)当 $n=2$ 时,根据实验统计法,选取半径为5的圆盘型结构元素,再次进行数学形态学腐蚀和相应的对象质心判别,然后接着进行处理;

(4)当 $n \geq 3$ 时,根据实验统计法,选取半径为8的圆盘型结构元素,再次进行数学形态学腐蚀和相应的对象质心判别,然后接着进行处理。

3.7 均值、标准方差筛选

由于台风密蔽云区与一般的云团相比,具有像素集中、灰度值较高且相邻像素灰度值接近的特点,根据公式(5)和公式(10),采用实验统计的方法,得出了台风密蔽云区的真实灰度均值的范围为[206,226],真实灰度标准方差的范围为[15,25],因此可以继续对经过目标个数处理后剩下的对象进行如下步骤的灰度均值和标准方差筛选:

(1)先对剩下的对象用边长为150的方形结构元素做膨胀运算得到模板,再用图像相乘的方法从原始图像中初步切割出可能含有台风密蔽云区的目标图像;

(2)然后以190为灰度阈值进行二值化,再经过填充空洞,以半径为6的圆盘型结构元素进行腐蚀运算,并以半径为10的圆盘型结构元素进行膨胀运算得到更为准确的模板,再次用图像相乘的方法从原始图像中更准确地切割出可能含有台风密蔽云区的目标图像;

(3)接着分别计算出这些目标图像的真实灰度均值和真实灰度标准方差,与经过实验统计出的台风密蔽云区灰度均值的门限[206,226],灰度标准方差的门限[15,25]进行比较,去掉不在这些范围之内的目标图像,保留在这些范围之内的目标图像。

3.8 分割结果显示

按照均值、标准方差筛选的结果,显示相应的内容。

4 实验结果

为了获取以上台风分割所需的参数和考查提出的这种台风分割方法,这里抽取了2007年7月~2007年9月间的240幅FY-2C红外一通道兰伯托原始投影云图作为实验样本。其中,200幅云图含有台风,40幅不含台风。从200幅含有台风的云图中,抽取120幅作为训练样本,供获取台风分割所需的参数和初步考查之用。剩下的80幅含有台风的云图和40幅不含台风组成测试样本。

为了简洁地描述考查实验结果,将考察实验的结果分成如下三种:

(1)分割正确:若云图中含有台风,准确地进行了分割;若云图中不含台风,准确地显示了相关信息;

(2)分割不完全正确:若云图中含有台风,在分割出台风的同时,还分割出其它云团;

(3)分割错误:若云图中含有台风,没有分割出台风;若云图中不含台风,却分割出其它云团。

按照以上结果分类标准,训练样本的考查实验结果如表1所示。

表1 120个训练样本的考查实验结果

实验结果分类	相应的样本数量	所占百分比
分割正确	93	77.5%
分割不完全正确	23	19.2%
分割错误	4	3.3%

测试样本的考查实验结果如表2、表3所示。

表2 80个含有台风云图的测试样本的考察实验结果

实验结果分类	相应的样本数量	所占百分比
分割正确	59	73.7%
分割不完全正确	18	22.5%
分割错误	3	3.8%

表3 40个不含台风云图的测试样本的考察实验结果

实验结果分类	相应的样本数量	所占百分比
分割正确	38	95%
分割错误	2	5%

分析台风分割不完全正确的原因,发现主要有以下两种情形:

(1)台风密蔽云区面积特别大且类圆性较差,导致第二次圆盘腐蚀时,有新的对象从第一次圆盘腐蚀的目标中分出,造成最后的分割结果显示中多出来了云团;

(2)云图中含有灰度值较高、面积较大、像素集中和质心位置“合适”的其它云团,导致在台风分割的过程中没有被去除掉,造成最后的分割结果显示中多出来了云团。

分析含有台风的云图却分割错误的原因,发现主要有以下两种情形:

(1)台风密蔽云区面积很小,导致第一次圆盘腐蚀时被去除,造成最后的分割结果显示中没有台风;

(2)台风密蔽云区面积较小,而云图中含有灰值较高、面积较大、像素集中和质心位置“合适”的其它云团,导致第二次圆盘腐蚀时,与台风密蔽云区对应的目标被去除,造成最后的分割结果显示中没有台风。

分析不含台风的云图被错误分割的原因,发现主要是因为:云图中含有灰度值较高、面积较大、像素集中和质心位置“合适”的其它云团,导致在分割的过程中没有被去除掉,造成最后的分割结果显示中出错。

5 实验结论

根据以上240幅FY-2C红外一通道兰伯托原始投影云图作为样本进行实验得出的结果,可以看到:结合台风密蔽云区具有灰度值较高、面积较大、活动范围有限和像素集中的特点,采用灰度阈值初选,圆盘腐蚀选择,对象质心判别,目标个数处理,均值、标准方差筛选和分割结果显示这六大步骤来进行台风分割的方法的正确率达到73%以上,有效率(包括分割正确和分割不完全正确)达95%以上。实验结果证明这种方法对于密蔽云区灰度值较高、面积较大和像素集中的台风分割有较好的效果,符合适用性的要求。

6 前景展望

尽管综合采用阈值法、数学形态学法和数理统计等方法,利用MATLAB 7.0软件对240幅FY-2C气象卫星云图中的红外一通道兰伯托原始投影云图中的台风分割进行研究,获得的正确率不到80%,但如果增大实验样本数量,优化实验参数选取,改进台风分割步骤,引入新的筛选参数(如台风纹理参数)等,毫无疑问的会提高台风分割的正确率,更会为利用计算机对卫星云图进行深层次的自动化分析和处理(如台风中心定位,跟踪)提供值得探索的前期手段。

参考文献:

[1] 晓昊.我国第一颗业务型静止气象卫星-风云2号C星[J].中国航天,2004(12):16-18.

(下转214页)