

# 用改良的面积重叠法自动跟踪中尺度对流系统的试验研究\*

方兆宝<sup>1,2,3)</sup> 林 瑋<sup>2)</sup> 吴立新<sup>1)</sup> 江吉喜<sup>4)</sup> 黄 笠<sup>4)</sup>

1) (中国矿业大学, 北京 100083)

2) (香港中文大学中科院地球信息科学联合实验室, 香港)

3) (中国人民解放军 91561 部队, 广州 510320)

4) (中国气象局国家卫星气象中心, 北京 100081)

**摘 要** 中尺度对流系统 (Mesoscale Convective Systems, MCSs) 的活动和演变, 是造成致洪暴雨灾害性天气的主要因素之一。多年来, 许多学者加大了对中尺度对流系统研究的力度。但是, 中尺度对流系统的活动及其移动和传播的研究进展一直受到计算机自动识别和跟踪问题的制约。首先介绍了一种基于面积重叠法的 MCSs 自动跟踪技术, 然后针对它存在的问题进行了改良, 并应用改良后的面积重叠法对 1998 年 6 月至 8 月的青藏高原上空 MCSs 进行了识别与跟踪实验。实验结果表明, 改良后的面积重叠法的跟踪准确率可达 80%, 比改良前提高了 10% 以上。

**关键词:** 中尺度对流系统; 面积重叠法; 自动识别和跟踪

**文章编号** 1006-9895 (2004) 04-0634-07 **中图分类号** P445 **文献标识码** A

## 1 引言

中尺度对流系统 (Mesoscale Convective Systems, MCSs)<sup>[1~4]</sup> (见图 1) 的自动识别与跟踪是非刚体多运动目标自动识别与跟踪技术<sup>[5~8]</sup> 的一个典型的应用例子。

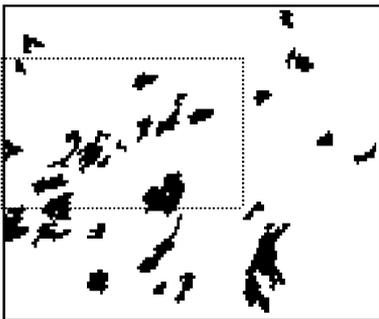


图 1 夏季青藏高原及邻近上空  
某个时次的 MCSs 示意图

几十年来, 气象专家专心致力于研究中尺度对流系统。研究成果表明, 暴雨和强对流天气 (突发性雷雨大风、冰雹、龙卷风、短时倾盆大雨等) 是在一定的天气尺度环流形势下, 由 MCSs 直接造成<sup>[1~4]</sup>。移出青藏高原的 MCSs 有时可能引发长江流域的致洪暴雨<sup>[2]</sup>。因此, 对 MCSs 的移动和传播规律进行研究十分重要。但是, 该项课题研究的主要瓶颈之一是 MCSs 的自动识别与跟踪技术。

本文对目前比较传统的 MCSs 自动追踪方法进行了评述, 并对面积重叠追踪法进行了改良。

## 2 传统的 MCSs 跟踪方法及其缺陷

### 2.1 MCSs 追踪方法

目前, 传统的 MCSs 追踪方法主要有: 专家目视判别法, 面积重叠跟踪法<sup>[9]</sup>。由于计算简单, 可操作性强, 故比较常用。

另外, 还有基于形态特征的模板匹配追踪法<sup>[10]</sup>, 基于最大空间特征相关的追踪法<sup>[11]</sup>等, 但计算复杂, 实用性较差。

专家目视判别法, 也可称为专家目测屏幕扫描识别与跟踪技术, 是指在计算机屏幕上逐时逐屏显示研究区域内的 MCSs, 通过专家目视结合相关经验和知识逐个判断 MCSs 的移动和传播。

Arnaud 等<sup>[9]</sup>提出的面积重叠比较法是目前国外采用的一个 MCSs 跟踪算法。其基本原理为: 计算给定待识别与跟踪的第  $j$  个 MCSs 的后一时刻  $(t+1)$  的面积  $A_j(t+1)$ , 与前一时刻  $t$  的某个 MCSs 的面积  $A(t)$ , 并用下式计算相邻两个时次的重叠面积变化率  $\Delta A$ :

$$\Delta A = \frac{|A_j(t+1) - A(t)|}{A_j(t+1)}, \quad (1)$$

则当  $\Delta A$  大于 0.5 时, 就认为这两个时次中的 MCSs 为同一个; 否则,  $(t+1)$  时刻的 MCS 为另一个 MCSs 串的初生, 此时前一个 MCSs 可能减弱消失, 并将  $t$  时刻作为它的结束时间。

### 2.2 传统方法的缺陷

虽然专家目视判别法跟踪的准确率较高, 但跟踪效率极低, 且主观性较强, 客观性较差, 需要专职人员实施, 很难提取目标的定量空间特征, 不适合大范围, 长时期跟踪。因此, 此法不实用, 但可用于比对及校验或评价其他算法的跟踪结果。

面积重叠跟踪法适合计算机自动化运算, 但也存在一些技术问题:

(1) 在多目标跟踪时, 如果面积相当, 就会出现多值性问题, 需要人工干涉或事先设定一些阈值, 因此, 准确率相对低。

(2) 对于跟踪目标的面积变化较大时, 容易产生错误跟踪 (如图 2 所示)。例如, 前一时次目标的面积为 100, 后一时次的面积为 200, 重叠面积为 80, 按理, 它们应是同一个 MCS。但应用面积重叠法得到  $\Delta A \leq 80/200 = 0.4 < 0.5$ , 据此判断的结果为: 这两个时次的目标不是同一个目标, 从而出现错误跟踪。

(3) 由于这种方法是基于面积重叠部分是否满足规定阈值 0.5, 因此对于小目标、快速目标, 在运动时相邻时次目标将不会重叠或重叠很小, 跟踪时就会产生遗漏或错误跟踪 (如图 3 所示)。

我们用这种面积重叠方法对 1998 年夏季 GMS 红外遥感卫星影像所对应的 MCSs 进行了跟踪, 随机抽样跟踪结果与目视屏幕扫描法相比, 准确率小于 75%。

## 3 对面积重叠跟踪法的改良

针对面积重叠跟踪法存在的上述缺陷, 我们对 (1) 式进行了改良, 改良的基本思

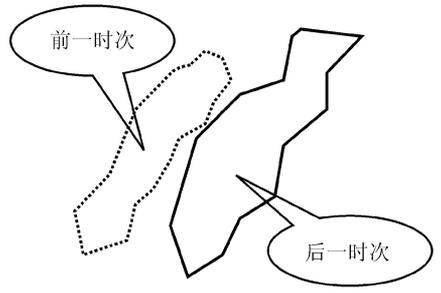
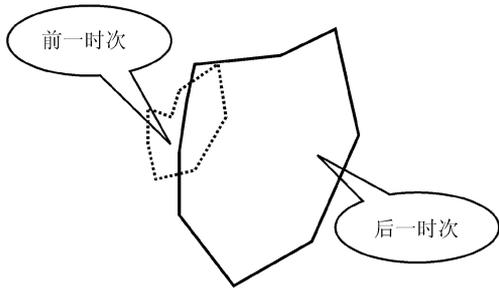


图 2 两相邻时次面积变化较大时同一目标示意图

图 3 两相邻时次未重叠或重叠很小时同一目标示意图

路是对 (1) 式中的面积参数进行归一标准化处理, 即:

$$\Delta A = \frac{|A_j(t+1) - A(t)|}{\min[A_j(t+1), A(t)]}, \quad (2)$$

其中,  $\min[A_j(t+1), A(t)]$  指取后一时次与前一时次面积  $A_j(t+1)$ ,  $A(t)$  的最小值, 分子  $|A_j(t+1) - A(t)|$  为两时次面积的空间重叠部分 (注意, 并非简单的两面积相减), 这样,  $\Delta A$  在  $0 \sim 1$  之间变化,  $\Delta A$  的大小, 一方面反映 MCS 前后两时次的空间重叠面积的大小, 同时还反映两相临时次 MCS 空间重叠面积的变化率。按 (2) 式的计算结果  $\Delta A$  是否小于 0.5 作为判别基准就会克服原算式中存在的一些前述问题。同时, 改良后的公式满足归一化标准, 有利于与其他算法的匹配参数相融合。阈值 0.5 也应根据需要作相应的调整。阈值调小了, 会出现漏跟踪, 阈值调大了, 则会引起错跟踪。

## 4 实验及结果分析

### 4.1 实验方案

(1) 实验数据: 由中国气象局国家卫星气象中心提供的 1998 年夏季 6 月至 8 月青藏高原及其附近上空由日本地球静止气象卫星 GMS-5 (Geostationary Meteorological Satellite, GMS-5) 红外遥感影像资料获得的云顶亮温 TBB 值。GMS 气象卫星, 每天有 24 个时次的红外观测影像图, 在 1998 年 6 月至 8 月 3 个月中, 共有  $30 \times 3 \times 24$  幅红外影像图。我们抽样出 6 月 1 日的 0000~0500 UTC 时次和 8 月 30 日的 0000~0500 UTC 时次的上述红外遥感影像资料作为实验数据。

(2) 实验方法: 分别采用 Arnaud 等<sup>[9]</sup>的面积重叠法及改良的面积重叠法, 两种方法判断阈值各取 0.4 和 0.5, 并用专家目视判别法作为标准对实验结果进行随机抽样比对。其部分实验和比对结果如表 1、2 所示。表中的正确率是指被完全正确的跟踪出来的 MCSs 个数与专家目测法跟踪出 MCSs 个数的比值; 有效率是指被不完全正确跟踪出来的 MCSs 个数与专家目测法跟踪出 MCSs 个数的比值; 成功率是指被正确的跟踪出来的 MCSs 时次个数与专家目测法跟踪出 MCSs 时次个数的比值。

### 4.2 实验结果分析

表 1 所显示的是当判断阈值取 0.5 时的实验结果。若采用 Arnaud 等<sup>[9]</sup>提出的面积重叠比较法进行 MCSs 的识别与跟踪, 有效率在 61.5%~68.8%, 准确率较低, 只有 38.5%~53.1%。而采用改良后的面积重叠法, 有效率为 73.1%~78.1%, 跟踪准确

表 1 MCSs 跟踪实验结果比较 (1)

时次：1998-06-01T0000~0400		判断阈值取 0.5														
MCSs_ID		MCSs_ID 所对应的各时次 MCS 影像中的 MCS 序号														
		追踪方法														
		专家目测法				面积重叠法 (0.5)					改良的面积重叠法 (0.5)					
		0	1	2	3	4	0	1	2	3	4	0	1	2	3	4
0		0	0	0	0	0	×	×	×	×	×	×	×	×	×	
1		1	3	3	2	3	×	<b>3</b>	<b>3</b>	<b>2</b>	×	<b>1</b>	<b>3</b>	<b>3</b>	<b>2</b>	×
2		3	4	2	3	4	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>2</b>	×	×	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>2</b>	×	×
3		4	5	4	5	5	×	<b>5</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>5</b>	4	5	4	5	5
4		7	7	6			×	×	×			×	×	×		
5		9	8	5	7	7	×	<b>8</b>	<b>5</b>	<b>7</b>	<b>7</b>	9	8	5	7	7
6		10	9	8			×	×	×			×	×	×		
7		13	12	12	10	11	13	12	12	10	11	13	12	12	10	11
8		14	15	15	16	17	14	15	15	16	17	14	15	15	16	17
9		15	16	16			×	×	×			×	×	×		
10		16	17	17	17	18	×	×	<b>17</b>	<b>17</b>	<b>18</b>	16	17	17	17	18
11		19	21	19	19	20	19	21	19	19	20	19	21	19	19	20
12		20	22	21	22	25	×	×	×	×	×	20	22	21	22	25
13		23	24	20	21	24	23	24	20	21	24	23	24	20	21	24
14		25	27	26	25	31	×	27	26	25	31	25	27	26	25	31
15		27	28	27	26	32	<b>27</b>	<b>28</b>	<b>27</b>	<b>26</b>	×	<b>27</b>	<b>28</b>	<b>27</b>	<b>26</b>	×
16		30	31	29	30	35	30	31	29	30	35	30	31	29	30	35
17		31	30	31	34	39	31	30	31	34	39	31	30	31	34	39
18		32	32	30	31	36	×	<b>32</b>	<b>30</b>	<b>31</b>	<b>36</b>	32	32	30	31	36
19		34	33	33			34	33	33			34	33	33		
20			26	25	24			26	25	24			26	25	24	
21				7	8	9			7	8	9			7	8	9
22					22	23	26		×	×	×			22	23	26
23			35	32	36	41		×	×	×	×		×	<b>32</b>	<b>36</b>	<b>41</b>
24		37	37	37	37		×	×	×	×		×	×	×	×	
25			14	14	15			×	×	×			×	×	×	
Σ		在 0~4 时次中共有 26 个 MCSs, 分布在 111 个时次中。					16 个 MCSs 被跟踪, 有效率 61.5%, 完全正确的 10 个, 正确率 38.5%; 出错 (漏跟踪) 43 个时次, 成功率 61.2%					19 个 MCSs 被跟踪, 有效率 73.1%, 完全正确的 16 个, 正确率 61.5%; 出错 (漏跟踪) 25 个时次, 成功率 77.5%				

备注

1. × 表示该时次的 MCS 未被跟踪出来 (漏跟踪)。黑体数字表示 MCS 序列的不完全性。
2. 6 月份随机抽样 6 月 1 日 00 时次至 05 时次 6 幅 GMS 卫星影像图, 共有 230 个 MCS 目标。

率为 61.5%~78.1%。

表 2 表明当判断阈值取 0.4 时, 两种方法的准确率都有所提高。面积重叠法跟踪有效率为 71.9~76.9%, 准确率为 53.8%~65.6%; 而改良后的面积重叠法跟踪有效率为 80.8%~81.3%, 准确率为 65.4%~78.1%。

实验结果表明, 经改良后的面积重叠法对 MCSs 的识别与跟踪, 其准确率比改良前有显著提高, 当判断阈值取 0.5 时, 可达到 75%, 当判断阈值取 0.4 时, 可达 80%。

表 2 MCSs 跟踪实验结果比较 (2)

时次: 1998-08-30T0000~0400

判断阈值取 0.4

MCSs\_ID 所对应的各时次 MCS 影像中的 MCS 序号

MCSs_ID	追踪方法														
	专家目测法					面积重叠法 (0.4)					改良的面积重叠法 (0.4)				
	0	1	2	3	4	0	1	2	3	4	0	1	2	3	4
0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1
1	1	1	1			×	×	×			×	×	×		
2	2	3	4			×	×	×			×	×	×		
3	5	8	6	4	6	5	8	6	4	6	5	8	6	4	6
4	7	10	8	7	8	7	10	8	7	8	7	10	8	7	8
5	12	12	9	11	12	12	12	9	11	12	12	12	9	11	12
6	18	21	17	16	19	18	21	17	16	19	18	21	17	16	19
7	15	19	15	14	17	15	19	15	14	17	15	19	15	14	17
8	19	23	18	18	26	×	×	×	×	×	19	23	18	18	26
9	26	30	23	18	26	26	30	23	18	26	×	×	×	×	×
10	35	38	34			×	×	×			×	×	×		
11	41	45	43	39	44	<b>41</b>	<b>45</b>	<b>43</b>	<b>39</b>	×	41	45	43	39	44
12	16	20	16	15	18	16	20	16	15	18	16	20	16	15	18
13	10	18	14	13		×	×	×	×		×	<b>18</b>	<b>14</b>	<b>13</b>	
14	9	14	10	8	10	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
15	13	17	13	12	15	13	17	13	12	15	13	17	13	12	15
16	11	13	11	9	13	11	13	11	9	13	11	13	11	9	13
17	6	9	7			×	×	×			×	×	×		
18	20	24	19	19	20	×	<b>24</b>	<b>19</b>	<b>19</b>	<b>20</b>	20	24	19	19	20
19	21	25	20	20	22	21	25	20	20	22	21	25	20	20	22
20	24	28	21	21	23	24	28	21	21	23	24	28	21	21	23
21	28	32	25	24	27	28	32	25	24	27	28	32	25	24	27
22	33	34	31	28	33	33	34	31	28	33	33	34	31	28	33
23	27	31	24	23	24	27	31	24	23	24	27	31	24	23	24
24	31	33	30	26	30	31	33	30	26	30	31	33	30	26	30
25	32	35	32	30	35	×	×	×	×	×	32	35	32	30	35
26	34	37	35	31	36	×	×	×	×	×	34	37	35	31	36
27	39	42	44			39	42	44			39	42	44		
28	42	47	42	36	42	42	47	42	36	42	42	47	42	36	42
29	37	39	36	32	37		39	36	32		37	39	36	32	37
30			26	25	32			26	25	32			26	25	32
31	43	46	45	37		43	46	45	37		43	46	45	37	
Σ	在 0~4 时次中共有 32 个 MCSs, 分布在 146 个时次中。					23 个被跟踪, 有效率 71.9%, 完全正确的 21 个, 正确率 65.6%; 出错 (漏跟踪) 38 个时次, 成功率 74%					26 个被跟踪, 有效率 81.3%, 完全正确的 25 个, 正确率 78.1%; 出错 (漏跟踪) 23 个时次, 成功率 84.4%				

备注

1. × 表示该时次的 MCS 未被跟踪出来 (漏跟踪)。黑体数字表示 MCS 序列的不完全性。

2. 8 月份随机抽样 8 月 30 日 00 时次至 05 时次 6 幅 GMS 卫星影像图, 共计 294 个 MCS 目标。

## 5 结束语

改良后的面积重叠跟踪法对 MCSs 的跟踪准确率比原面积重叠跟踪法有了较大的

提高, 因此, 如果跟踪准确率要求在 80% 时, 建议采用改良后的面积重叠法, 并取其判断阈值为 0.4。然而, 单独使用改良后的面积跟踪法仍然不能克服第 2 节中所阐述的第三条缺陷, 改良后的面积跟踪法仅适用于面积较大、运动速度较慢的目标跟踪。因此, 为满足较高跟踪准确率的要求, 需寻求其他方法<sup>[12~14]</sup>。

## 参 考 文 献

- 1 王立琨、陶祖钰、杨阳等, 1998 年长江洪水大暴雨的卫星云图分析, 北京大学学报, 2000, **36** (1), 87~94.
- 2 仪清菊、徐样德, 不同尺度云团系统上下游的传播与 1998 年长江流域大暴雨, 气候和环境研究, 2001, **6** (2), 139~145.
- 3 Shan Yin, Lin Hui, Ada Waichee Fu et al., The features of MCS over Tibetan Plateau, the 22nd Asian Conference on Remote Sensing 5-9 November 2001, Singapore (c) 2001 CRISP, SISV, AARS, 418~421.
- 4 江吉喜、范梅珠, 夏季青藏高原上的对流云和中尺度对流系统, 大气科学, 2002, **26** (2), 263~270.
- 5 Thompson, W. B., P. Lechleider, and E. R. Stuck, Detecting moving objects using the rigidity constraint, *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*. 1993, **15** (2), 162~166.
- 6 Ishida, T., and E. K. Richard, Moving-target search: a real-time search for changing goals, *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*. 1995, **17** (6), 609~619.
- 7 关海英、阮秋琦, 基于 Hausdorff 距离的非刚体目标自适应轮廓跟踪, 通信学报, 1998, **19** (11), 38~43.
- 8 <http://www.icspat.com/papers/221mfi.pdf>; Image Analysis with Moment Descriptor.
- 9 Arnaud, Y., M. Desbios, and J. Maizi, Automatic tracking and characterization of African convective systems on Meteosat Pictures, *J. Appl. Meteor.*, 1992, **31** (5), 443~453.
- 10 王登炎, MCS 的形态特征和外推预报, 气象, 2000, **26** (8), 22~24.
- 11 Carvalho, L. M. V., and C. Jones, A satellite method to identify structural properties of mesoscale convective systems based on the Maximum Spatial Correlation Tracking Technique (MASCOTTE), *J. Appl. Meteor.*, 2001, **40** (10), 1683~1701.
- 12 <http://www.jlgis.cuhk.edu.hk>.
- 13 方兆宝、林琿、吴立新等, 流形群运动目标自动识别与跟踪技术研究, 遥感学报, 2004, **8** (1), 14~22.
- 14 方兆宝、林琿、吴立新等, 流形群运动目标自动识别与跟踪模型参数的最优配置, 武汉大学学报 (自然信息版), 2004, **29** (3), 269~273.

## A Study of Automatic Tracking Mesoscale Convective Systems with Improved Area-Overlapped Method

Fang Zhaobao<sup>1,2,3)</sup>, Lin Hui<sup>2)</sup>, Wu Lixin<sup>1)</sup>, Jiang Jixi<sup>4)</sup>, and Huang Qian<sup>4)</sup>

1) (*China University of Mining and Technology, Beijing 100083*)

2) (*Joint Laboratory for Geoinformation Science, Chinese University of Hong Kong, Hong Kong*)

3) (*The P. L. A. 91561 Command, Guangzhou 510320*)

4) (*National Satellite Meteorological Center, China Meteorological Administration, Beijing 100081*)

**Abstract** The activities and evolutions of mesoscale convective systems (MCSs) is one of the mostly factors which heavy rainstorm arise from. Many scholars have increased the interest in the study on MCSs from these years. However, the progression on studying activities and evolutions of MCSs is restricted by the technology of automatic identifying and tracking MCSs. The thesis first introduces area-overlapped method of automatic tracking MCSs. Then aiming at its shortage, the area-overlapped method is improved. Using improved-based method, the experiments are performed with data of MCSs over the Tibetan Plateau and its surrounding area in summer of 1998. The experiments show that the precision of tracking MCSs is about 80% with improved-based area-overlapped method, it is increased more ten percents than before improvement.

**Key words:** mesoscale convective systems (MCSs); area-overlapped method; improvement; tracking model