

文章编号: 1007-4619 (2004) 01-0014-09

流形群运动目标自动识别与跟踪技术研究

——以 MCS 自动追踪方法为例

方兆宝^{1,2,3}, 林 琿², 吴立新¹, 江吉喜⁴, 黄 笠⁴, 过仲阳^{2,5}

(1. 中国矿业大学, 北京 100083; 2. 香港中文大学, 中国科学院 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;
5. 华东师范大学地理系, 上海 200062)

摘 要: 从流形群运动目标的形状特征及其本质属性出发, 提出了多种适合计算机自动识别与跟踪流形群运动目标的匹配模板的构建技术。充分顾及流形群运动目标的区域整体描述、几何形状特征、不变矩特性, 以及流形群目标的本质属性(纹理特征), 通过最大欧几里得贴近度的择近原则, 实现模板匹配, 完成目标识别; 通过交替更新匹配模板元素参量及交叉匹配算法, 实现目标跟踪。应用这种算法, 对 1998 年 6 月至 8 月的青藏高原上空中尺度对流系统(MCS)进行了识别与跟踪实验。实验结果表明, 这种技术较适合计算机自动识别和跟踪类似 MCS 的流形群运动目标, 与专家目测屏幕扫描跟踪法相比, 准确率达 90%。同 Arnaud 等人提出的面积重叠跟踪法相比, 其准确率提高了一个多数量级。

关键词: 流形群运动目标; 中尺度对流系统(MCS); 目标空间特征; 目标自动识别和跟踪

中图分类号: O235 **文献标识码:** A

1 引 言

运动目标识别与跟踪技术已有 20 多年的研究历史, 它作为计算机视觉研究的核心技术一直备受青睐, 是研究的热点。它融合了图像处理、模式识别、人工智能、自动控制以及计算机等许多领域中的先进技术^[1], 在军事视觉制导^[2]、防空反潜、反恐反恐特别行动、机器人视觉导航^[3]、安全监测、交通管制、医疗诊断以及气象分析等诸多领域都有越来越广泛的应用及不可估量的发展前景。

流形群运动目标的自动识别与跟踪技术是多运动目标识别与跟踪的一大技术难点。研究它的目的是在二维图像平面上确定流形群运动目标中同一类目标中心的移动途径。目前, 非流形(刚体)运动目标的识别与跟踪技术比较成熟, 但这些技术对几何形状发生变化(平移、尺度和旋转形变)时的流形群运动目标识别与跟踪却难以适用。

中尺度对流系统(Mesoscale Convective Systems, MCS)的自动识别与跟踪是流形群运动目标自动识别与跟踪技术的一个典型的应用例子。

目前, 国内外常用的 MCS 追踪方法有: 专家目视判别法, 面积重叠法。

专家目视判别法, 也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屏显示研究区域内的逐时卫星红外影像, 通过目视结合专家经验知识逐个判断 MCS 的移动和传播。这种方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, 但可用于对比及极验或评价其它算法的跟踪结果。

为了能让计算机自动化跟踪, 提高跟踪效率, Yves Arnaud, Michel Desbois, Joel Maizi 等人提出了面积重叠比较法^[4,5]。这种方法虽然适合计算机自动化运算, 但在多目标跟踪时, 如果面积相当, 就会

收稿日期: 2002-12-27; 修订日期: 2003-03-25

基金项目: 香港特区政府研究资助项目(资助号: CUHK 4132/99H)。

作者简介: 方兆宝(1962—), 男, 浙江省义乌市人, 中国矿业大学(北京校区)在职博士生。现任中国人民解放军 91561 部队高级工程师, 上校军衔。1983 年毕业于大连海军学院海洋测绘系, 1999 年获武汉测绘科技大学大地测量学与测量工程硕士学位。主要从事数字海洋、遥感数字图像处理、3S 集成与应用、空间数据挖掘等领域的工作与研究。在军内外发表论文 10 多篇。

出现多值性问题,需要人工干涉或事先设定一些阈值;对于跟踪目标的面积变化较大时,容易产生错误跟踪;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。

为了解决上述问题,作者对它进行了改良,改良后的面积重叠跟踪法模型^[6]为:

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

然而单独使用改良后的面积跟踪法仍然不能满足小目标、快速目标跟踪精度要求,仅适用于大目标跟踪。因此,为满足较高跟踪准确率的要求,需寻求其它方法。

2 流形目标、流形群、目标形状及形态、MCS 的定义

定义 1 如果目标上任意两点的相对位置(或大小)在运动过程中不断变化,则称此目标为流形目标(这里的“流形”,是指形状及属性的渐进变化)。流形目标,就像打烂的一杯液体,四处流溢,液体流淌所形成的边界形状随时间变化多端。天空中运动变化的云朵,就是一个典型的流形体。

定义 2 多个流形目标的集合,构成一个流形群目标(这里的群,是“多”的意思)。天空中各种各样的云系,就是一个典型的流形群体。

定义 3 目标的形状是对物体目标边界特征的认知表达。例如,现实世界中有圆形的,椭圆形的,方形的,扁形的,凸的,凹的等各式各样物体。目标的状态,是指物体的形状及位置运动变化的情况。

定义 4 目标的形态是形状及其状态的总称。一方面是以目标本身为参照系,它是否静止,是否不变;另一方面是以地球为参照系,看是否运动变化。

定义 5 中尺度对流系统(MCS)在卫星云图上表现为^[7-10]:生命史为几小时至几天,水平尺度为几百至近千公里的白亮云团、云带、云线或涡旋状云系。我们把 MCS 规定为^[7-10]:云顶亮温(the black-body temperature, T_{bb})小于 -32°C ,生命史大于 3h,面积大于 1250km^2 的对流云。

3 顾及流形群运动目标形状特征及本质属性的自动识别与跟踪技术

3.1 流形群运动目标识别原理

基本原理是:在一定的时间内,流形群运动目标的变化是渐进的变化过程。也就是说,所引起的形状或面积或其本质属性(例如, MCS 的 T_{bb} 值)在相邻时次内的变化很少发生突变。其内涵是后一时刻的 MCS 与前一个时刻的 MCS 具有某种程度上存在形态不变性,相似性,保留性,耐变性,抗变性。另外一方面,其形态变化是连续的、渐变的过程,即不可能发生极大的偏离变化规律(突变)。图 1 是流形群运动目标自动识别与跟踪的基本原理图。

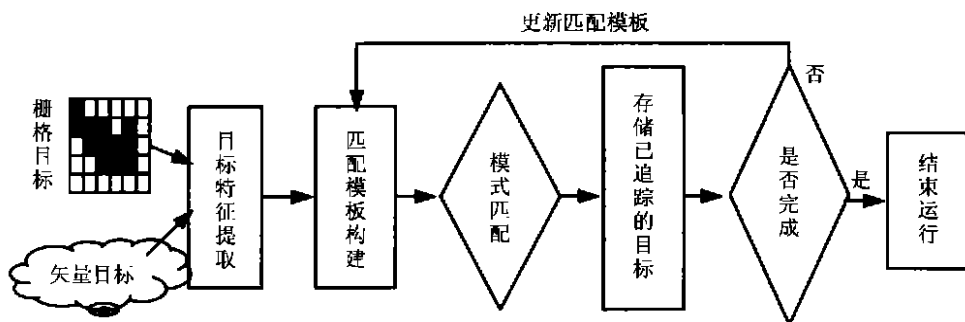


图 1 目标识别与跟踪原理图

Fig. 1 A basic principle for identifying and tracing targets

图 1 说明了流形群运动目标识别与跟踪分为 5 个过程:

(1) 从遥感图像或从雷达图像中获取研究区域的图像,经图像处理及相关数学变换,得到矢量图形数据集。

(2) 提取目标特征(如采用遥感图像的边缘检测算法,提取图形的边界——轮廓线的点坐标)。

(3) 构建匹配模板^[1],包括匹配模板元素的选择,以及匹配模板元素参量的计算。

(1)–(3)为运动图像自动识别的模板匹配算法

作了准备。

(4) 进行模式匹配,即匹配模板与待识目标匹配元素间的贴进度比较。

(5) 选取贴进度最大的规定为同一簇类目标,并将其记录存储下来,标上已识别目标记号,同时对匹配模板参量交替更新,进行下一个目标的识别与跟踪。

3.2 流形群运动目标空间特征提取

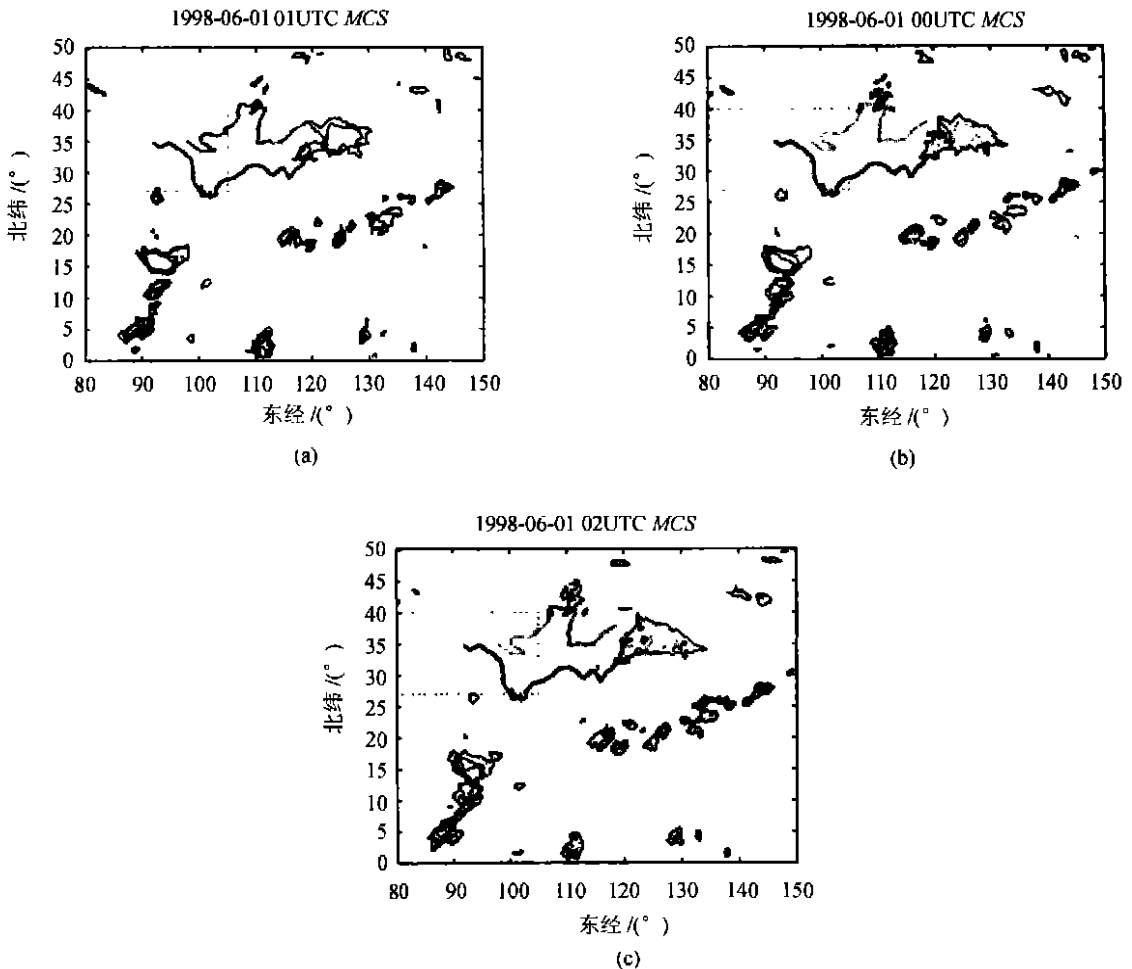
红外遥感影像目标空间特征值的提取方法很多,针对由日本地球静止气象卫星 GMS-5 获得的青藏高原及邻近红外遥感云图,经过弗朗克函数变换,得到 $0.5^\circ \times 0.5^\circ$ 经纬度格点云顶红外辐射亮温 (T_{bb}) 值的特点,采用“区域增长法”^[11],搜索、侦测每一时次红外影像中符合 MCS 条件中 T_{bb} 值小于 -32°C 的区域点集 $\{X, Y, T_{bb}\}$,即 T_{bb} 值及其相对应的坐标(坐标值可以是经纬度坐标或格点坐标,以

下类同)作为该时次的某个 MCS 区域,并赋予其一个 ID 号,搜索整幅红外影像图,获得每个时次的所有 MCS 区域点集。同时采用边缘检测法提取每个 MCS 对应区域的边界点坐标及方向链码^[11-13]。从而可分别计算出同一时次各个 MCS 的质心坐标、强度、面积、周长、圆形度、散射度、7 个不变矩,以及 MCS 的纹理特征值等 MCS 的空间几何形状特征及其本质属性。图 2 中的 (a), (b), (c) 分别显示了 1998-06-01 00UTC, 01UTC, 02UTC 时次经搜索侦测得到的 MCS 影像。

3.3 流形群运动目标自动识别与跟踪匹配模板的构建

3.3.1 顾及流形群运动目标区域整体描述参数的匹配模板的构建

选取区域的周长、面积、密集度及体态比^[14-17]作为匹配模板的元素。



(C)1994-2021 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. <http://www.cnki.net>

图 2 3 个连续时次的 MCS 影像图
Fig. 2 MCS Images during three continuous periods of time

设目标边界线(轮廓线)是由 $N+1$ 个点组成, 其坐标为: $L_j(x, y), (j=0, 1, 2, \dots, N)$, 则周长为:

$$P = \sum_{j=1}^N \sqrt{(x_j - x_{j-1})^2 + (y_j - y_{j-1})^2} \quad (2)$$

区域的面积:

$$A = \frac{1}{2} \sum_{j=0}^N \begin{vmatrix} x_j & y_j \\ x_{j+1} & y_{j+1} \end{vmatrix} \quad (3)$$

区域的密集度:

$$C = \frac{P^2}{4\pi A} \quad (4)$$

区域在 X 轴上的投影长度为:

$$P_x = x_{\max} - x_{\min} \quad (5)$$

区域在 Y 轴上的投影长度为:

$$P_y = y_{\max} - y_{\min} \quad (6)$$

区域的体态比规定为:

$$G = \frac{P_x}{P_y} \quad (7)$$

3.3.2 顾及流形群运动目标形状特征的匹配模板的构建

形状的内部及外部特征

形状是表征感兴趣物体的主要描述方法之一。形状的分析与识别是图像信号处理和计算机视觉的重要组成部分^[18-20]。形状的模板匹配能很好地应用于形状的分析与识别。

顾及目标外部及内部形状特征^[12, 15-17]的标准匹配模板元素是由圆形度(表征目标接近圆的程度)、细长度(表征目标矩形特征)、凹度、形心偏离度、散发度及面积和周长组成。

形状特征参数的计算^[13-17]

见图 3, 目标的边界(轮廓线)是一条封闭的曲线, 它可以用周期为 2π 的参数方程描述。假设某一目标边界线 $L(t)$ 共有 N 个边界点, 其坐标为 $L_1(x_1, y_1), L_2(x_2, y_2), \dots, L_N(x_N, y_N)$ 。选择边界点的间距为参数, 并化为以 2π 周期, 即参数变量:

$$t_j = \frac{2\pi D_j}{G} \quad (8)$$

($j=1, 2, 3, \dots, N$)

式中 G 为边界周长, D_j 为第 j 个边界点到起始边界点间的弧距, 则边界线参数方程的复数形式可表示为:

$$L(t) = x(x) + iy(t) \quad (9)$$

它的傅里叶级数的形式为:

$$L(t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} C_n e^{in t} \quad (10)$$

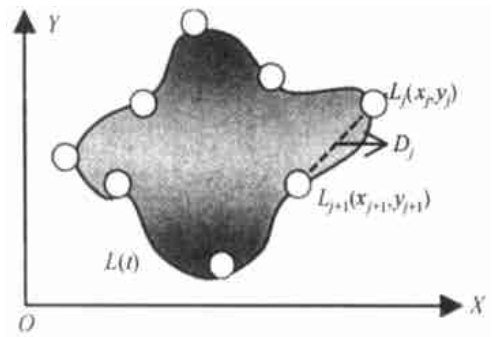


图 3 流形目标边界线及边界点示意图

Fig. 3 A description of borderline and its points for a flow-shaped target

$$C_n = \frac{1}{2\pi} \int_{-\pi}^{\pi} L(t) e^{-in t} dt \quad (11)$$

$n = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$

C_n 的离散化表达式为^[12, 13]

当 $n \neq 0$ 时,

$$C_n = -\frac{1}{2n\pi i} L(t) e^{-in t} \Big|_0^{2\pi} + \frac{1}{2n\pi i} \int_0^{2\pi} e^{-in t} dL(t) \approx \frac{1}{2n\pi i} \sum_{j=1}^N e^{-in t_j} [L(t_j) - L(t_{j-1})] \quad (12)$$

当 $n=0$ 时,

$$C_0 = L(0) - \frac{1}{2\pi} \sum_{j=2}^N [L(t_j) - L(t_{j-1})] t_{j-1} \quad (13)$$

$L(0)$ 表示边界线起始位置点:

$$L(0) = x_0 + iy_0 \quad (14)$$

可见, C_0 是与坐标有关的项。

由傅里叶级数系数, 可以构成目标形状的特征参数, 以此作为匹配模板参数。

圆形度:

$$Q_1 = \frac{|C_1|}{\sum_{n=1}^{\infty} (|C_n| + |C_{-n}|)} \quad (15)$$

散发度:

$$Q_3 = \frac{P^2}{4\pi A} \quad (16)$$

在具体计算形状特征参数时, n 一般取 6 即可满足问题要求, 特征参数还可进一步扩充, 如细长度、凹度、形心偏差度等。

3.3.3 基于流形群运动目标不变矩描述的匹配模板的构建

矩描述^[14, 15]是一种经典的区域形状分析方法。

设目标区域的密度函数为 $T(x, y)$, 则给定区域

的 $(p+q)$ 阶矩定义为:

$$u_{p,q} = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} x^p y^q T(x, y) dx dy \quad (17)$$

$(p+q)$ 阶中心矩定义为:

$$m_{p,q} = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} (x - \bar{x})^p (y - \bar{y})^q T(x, y) dx dy \quad (18)$$

对于 MCS 目标区域的密度函数 $T(x, y)$ 值, 就是所对应的 Tbb 值。也可以取常量 1, 即 $T(x, y) = 1$ 。

$(p+q)$ 阶中心矩的离散化形式表示:

$$m_{p,q} = \sum_x \sum_y (x - \bar{x})^p (y - \bar{y})^q T(x, y) \quad (19)$$

$$\begin{aligned} m_{0,0} &= \sum_x \sum_y (x - \bar{x})^0 (y - \bar{y})^0 T(x, y) \\ &= u_{0,0} \end{aligned} \quad (20)$$

表示区域的质量。

由公式(18)、(19)可算得目标的中心矩, 并经标准化处理后可进一步提到 7 个不变矩, 以这 7 个不变矩构成不变矩匹配模板。

3.3.4 基于目标本质属性的匹配模板的构建

以目标本质属性值统计量的数字特征作为匹配参数

这里所说的目标本质属性是指, 目标区域内各点的属性值 x 。例如, 对于 MCS 来说, 它的属性值就是亮温 Tbb 值, 最简单的本质属性的匹配模板元素, 可以取属性值统计量的数字特征^[14,17], 如均值 \bar{x} 、方差 σ^2 、离差系数 $C_v = \frac{\sigma}{\bar{x}}$ 、偏度 C_s 、峰度 C_e , 以及属性值的 k 阶中心矩 M_k 。数字特征的计算公式如下:

$$\bar{x} = E(X) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (21)$$

$$\begin{aligned} \sigma^2 &= D(X) = E[X - E(X)]^2 \\ &= \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \end{aligned} \quad (22)$$

$$C_v = \frac{\sigma}{\bar{x}} \quad (23)$$

$$\begin{aligned} M_k &= E([X - E(X)]^k) \\ &= \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^k \end{aligned} \quad (24)$$

$$C_s = \frac{M_3}{\sigma^3} \quad (25)$$

$$C_e = \frac{M_4}{\sigma^4} \quad (26)$$

以目标纹理特征量作为匹配参数

目标纹理的一个重要特征就是目标的粗糙性。用空间自相关函数^[21]可以较好地描述目标纹理的粗糙程度, 而目标的纹理特征能很好地描述其本质

属性。

如果选取流形群运动目标的纹理特征量作为匹配参数, 则可构成一个顾及目标纹理特征的匹配模板。

设目标影像为 $f(x_i, y_j)$, 其窗口大小为 $M \times N$, i 和 j 的取值范围分别为 $0-M-1$ 和 $0-N-1$, 则目标空间自相关函数定义为:

$$r(\epsilon, \eta) = \frac{\sum_{i=0}^{M-1} \sum_{j=0}^{N-1} f(x_i, y_j) f(x_i + \epsilon, y_j + \eta)}{\sum_{i=0}^{M-1} \sum_{j=0}^{N-1} [f(x_i, y_j)]^2} \quad (27)$$

式中: ϵ 为常数, 表示纵坐标方向的移动步长; η 为常数, 表示横坐标方向的移动步长; $r(\epsilon, \eta)$ 为自相关系数。

在实际中, 我们取 MCS 的云顶亮温格点值 Tbb 作为上式中的 $f(x_i, y_j)$, 分别计算水平方向、垂直方向, 以及 45° 和 135° 方向的空间自相关系数, 构成了目标的纹理特征匹配系数。

3.4 匹配算法

设流形群在 t 时刻在 M 块匹配模板为 A_m ($m = 1, 2, 3, \dots, M$), 匹配元素参量分别为 $A_m(u_i)$, ($i = 1, 2, 3, \dots; m = 1, 2, 3, \dots, M$), 待识别的流形群目标有 N 个, 它们的描述特征分别为 B_n ($n = 1, 2, 3, \dots, N$), 其特征值为 $B_n(u_i)$, ($i = 1, 2, 3, \dots; n = 1, 2, 3, \dots, N$) 则它们间的贴近度^[16,22]可由下面公式求得。

欧几里得贴近度:

$$N(A, B) = 1 - \frac{1}{\sqrt{n}} \left[\sum_{i=1}^n [A(u_i) - B(u_i)]^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (28)$$

海明贴近度:

$$N(A, B) = 1 - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |(A(u_i) - B(u_i))| \quad (29)$$

任选以上一种贴近度, 取最大贴近度者^[16,22]为同一簇目标, 既完成此次时刻的流形群目标识别。

在计算(28)和(29)式时, 需要对匹配元素进行归一化处理, 归一标准化处理后的计算式变为:

$$N(A, B) = 1 - \frac{1}{\sqrt{n}} \left[\sum_{i=1}^n \left[\frac{A(u_i) - B(u_i)}{\max(A(u_i), B(u_i))} \right]^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (30)$$

$$N(A, B) = 1 - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left| \frac{A(u_i) - B(u_i)}{\max(A(u_i), B(u_i))} \right| \quad (31)$$

3.5 MCS 追踪技术的实现方法

3.5.1 流形群运动目标交叉匹配及匹配模板的交替更新变换

初始模板的建立

因为流形群目标的形状是变化的,所以在目标跟踪时不能用单一目标的固定匹配模板进行匹配。因此,我们首先要自动获取和建立可以用于跟踪的多个初始模板。在多目标跟踪时,首先确定目标个数,并对所有目标都选择适当相对应的匹配模板元素,按照上节所介绍的匹配模板参数的计算方法,计

算每个目标每个时次的匹配模板元素参量值,建立多目标匹配模板集如表 1。

表 1 是对 98060100 时次 *Tbb* 影像图搜索侦测到 MCS 的空间特征结果:在 $0-50^{\circ}\text{N}$, $80-150^{\circ}\text{E}$ 范围上空,共有 38 个 MCS 形成(如图 2),分别用序号 0, 1, 2, ..., 表示,并记录下了它们的区域点集坐标、边界点坐标、几何形状特征、7 个不变矩、纹理特征等空间特征值,由这些空间特征值可以构成 MCS 目标匹配模板。这些空间特征值,是在搜索侦测 MCS 时自动建立的,特征值的选择可根据需要灵活选择。

表 1 MCS 匹配模板集

Table 1 The matching template set of MCS

时次	98060100	MCS 个数	38	范围	$0^{\circ}-50^{\circ}\text{N}, 80^{\circ}-150^{\circ}\text{E}$
MCS 序号	MCS 区域点集	MCS 边界点	几何形状特征	7 个不变矩	纹理特征
0	127;128;267;	127;128;267;	周长:712.1	1. 2.73086	水平方向:0.586233
	268;407;408;	268;407;408;	面积:28750.0	2. 0.42738	垂直方向:0.526168
	547;548;549;	547;549;687;	圆弧度:0.712755	3. 0.891633	45°方向:0.771336
	687;688;689	688;689	长轴:2.400397 短轴:1.261787	4. 1.518074 5. 1.762425 6. 1.00879 7. -0.114941	135°方向:0.419351
1	354;355;356;	354;355;356;	924.2	1. 3.827732	0.720649
	357;493;494;	357;493;494;	31250.0	2. 7.662966	0.394302
	495;496;497;	495;496;497;	0.459942	3. 1.739179	0.458029
	498;499;638;	498;499;638	2.632302	4. 1.454735	0.394701
	778		2.000446	5. 1.680377 6. 3.009622 7. 1.590770	
2	362;363;364	362;363;364	341.4	1. 0.653847	0.678117
			6250.0	2. 0.427515	0
			0	3. 0.00037	0
			0	4. 0.00037	0
			0	5. 0.00001	
				6. 0.000242 7. 0	
...
备注	点集坐标值=行号+列号×行宽(本文中行宽=140)				

流形群目标识别——目标交叉匹配方法

交叉匹配原理见图 4。在建立了初始模板(假设第一时次,对应第一帧图像)后,再计算待识别目标群(例如第二时次,对应第二帧图像)的各自匹配元素参量,然后:

① 在初始模板中任取一模板(例如图 4 中的 a_1)。

② 计算它与待识别目标群中各个目标(例如,

图 4 中的 a_2, b_2, c_2, d_2)相对应的匹配元素参量间的贴适度。

③ 以最大贴适度作为择近原则,得到最值匹配的识别结果(图 4 中的 a_1 对应 a_2)并做上标记。

④ 接着,再取初始模板中的另一块模板(图 4 中的 b_1)。

⑤ 重复以上②、③、④过程,直到所有待识别目标都被识别。

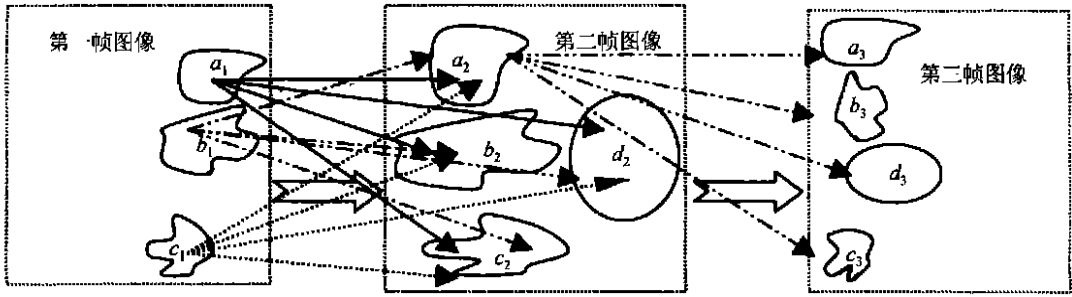


图 4 流形群目标交叉匹配及匹配模板交替更新原理图

Fig. 4 The principium of matching across and updating by turn for identifying and tracking multi-flow-shaped targets

流形群目标跟踪——匹配模板的交替更新

匹配模板的交替更新原理图见图 4。

所谓模板交替更新,实质上是目标交叉匹配在时序上的延续循环。利用初始模板,可以跟踪下个时次的目标,再利用下个时次目标的匹配参数作为下下个时次的匹配模板参数,依次交替更新。图 4 中:

① 运用交叉匹配算法完成第一帧图像到第二帧图像识别过程后,转向第二帧图像到第二帧图像的识别过程。

② 更新匹配模板,即此时的被匹配模板参数为第二帧图像中的各个目标匹配参数,而待匹配模板参数为第三帧图像中对应目标的匹配参数,用并叉匹配法完成所有目标识别后再转向第三帧图像到第四帧图像的识别过程。

③ 匹配模板按①、②依次交替更新,最终完成所有时次所有目标的识别与跟踪。

在实际跟踪中可能会出现图像时间序列的不完整,此时应该考虑匹配模板参数的变化率,利用其运动惯性量来估计它的持续变化,从而确保连续跟踪。基本公式为:

$$E_t = E_0 + \rho \Delta T$$

$$\left(\Delta T = T_t - T_0; \rho = \frac{E_t - E_{t-1}}{E_t} \right) \quad (32)$$

式中 E 为模板匹配元素参数集, ρ 为模板参数的变化率, ΔT 为间断时间段, T_t 为图像恢复时次, T_0 为图像间断时次。

3.5.2 MCS 跟踪实验

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 日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 T_{bb} 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。每幅影像图都可建立如表 1 所示的 MCS 匹配模板集。

实验方法 分别单独采用上述 Yves Arnaud 等人的面积重叠法、方兆宝等人的基于改良的面积重叠法、本文的形状特征匹配法及纹理特征匹配法等几个方法进行了实验,并用专家目视判别法对实验结果进行随机抽样比对。其实验及比对结果如表 2、表 3。

表 2 不同方法对夏季青藏高原及其附近上空 MCS 进行识别与跟踪结果比较

Table 2 A comparison on the results from using different methods for identifying & tracking targets of MCS over Tibetan Plateau

方法	面积重叠法		不变矩法		整体描述法		智能快速法	
	MCS 个数	CPU-time/s	MCS 个数	CPU-time/s	MCS 个数	CPU-time/s	MCS 个数	CPU-time/s
资料日期								
1998 年 6 月	2265	16	3253	9	3087	8	2802	17
1998 年 7 月	2457	17	3326	9	3090	9	2822	18
1998 年 8 月	2563	18	3429	10	3217	10	2931	19
Σ	7285	51	10008	28	9394	27	8555	54

表 3 不同方法对夏季青藏高原及其附近上空 MCS 随机抽样数据进行识别与跟踪结果比较

Table 3 A comparison on the results from using different methods for identifying and tracking targets of MCS by the sample data over Tibetan Plateau

方法 资料日期	目视判别法		面积重叠法		不变矩法		整体描述法		智能快速法	
	MCS 个数	MCS 个数	准确度/%	MCS 个数	准确度/%	MCS 个数	准确度/%	MCS 个数	准确度/%	
1998 年 6 月	25	19	76	20	80	17	68	23	92	
1998 年 7 月	34	26	76.5	28	82.3	26	76.5	31	91.1	
1998 年 8 月	33	24	72.7	26	78.8	25	75.8	31	93.9	
Σ	92	69	75	74	78.3	68	73.4	85	92.4	
备 注	1. 栏目中的准确度是指该方法跟踪结果与目视判别法相比的百分比值 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。 3. 7 月份随机抽样 7 月 15 日 00 时次至 05 时次 6 幅 GMS 卫星影像图, 共计 278 个 MCS 目标。 4. 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. 各方法下的 MCS 个数为被正确跟踪数(与目视判别法比较)。									

表 3 表明,若采用上述的单独模板进行 MCS 的识别与跟踪,准确率较低,一般小于 80%。

为了进一步提高准确度,在进行 MCS 自动识别与跟踪时,需要对上述匹配模板的匹配元素进行优化组合,分级分层进行模板匹配,可以构成一个多级串行或者并行匹配模板的目标识别与跟踪模型^[23]。在实际操作时,匹配模板先后次序可优化组合,灵活组织运用。

我们采用多级串行模板匹配智能快速识别与跟踪技术,对 1998 年夏季 6 月至 8 日青藏高原上 MCS 进行了识别与跟踪,跟踪结果与目视判别法相比,准确率达 90%。跟踪结果见表 2 及表 3。

表 2 表明,采用上述几种模板进行单独识别与跟踪青藏高原上 MCS,在同等计算机硬件条件下,所化计算时间相差不大,但跟踪结果(3 个月 MCS 的总个数)相等。面积跟踪法的个数小于其它方法,智能快速法所得的 MCS 个数介于这些方法的中间。这说明了智能快速法的有效性,从表 3 中看它们的跟踪准确度,也说明了这一点。

4 结 论

本文继承和发展了刚体运动目标自动识别与跟踪的基本原理和方法,吸取了地图符号自动识别技术的精华;定义了流形目标、流形群运动目标,并对流形群运动目标的识别与跟踪技术进行了研究;提出了以流形群运动目标的形状特征及其本质属性作为匹配模板的匹配元素,分别介绍了顾及目标整体描述的匹配模板、顾及目标几何形状特征的匹配模板、顾及目标 7 个不变矩,以及顾及目标本质属性的

数字特征及纹理特征的匹配模板的构建方法。在建立了匹配模板归一标准化集后,建立了运动目标匹配模板的交叉匹配及其交替更新算法。实验结果表明,运用这种技术,可实现类似 MCS 的流形群运动目标的自动识别与跟踪。

参 考 文 献 (References)

- [1] Shen Tingzhi, Fang Ziwen. Digital Image Process and Pattern Identifying[M]. Beijing: Peking Natural Science & Engineering University Publishing Company, 2000. [沈庭芝, 方子文. 数字图像处理及模式识别[M], 北京:北京理工大学出版社, 2000.]
- [2] Altoni G. A Real-time Video Tracking System[J]. *IEEE Trans PAMI*, 1980, 2(1): 47-56.
- [3] Ishida T, Richard E K. Moving-target Search: a Real-time Search for Changing Goals[J]. *IEEE Trans. PAMI*, 1995, 17(6): 609-619.
- [4] Leila M V Carvalho, Charles Jones. A Satellite Method to Identify Structural Properties of Mesoscale Convective Systems Based on the Maximum Spatial Correlation Tracking Technique (MASCOTTE)[J]. *Journal of Applied Meteorology*, 2001, 10: 1683-1701.
- [5] Yves Arnaud, Michel Desbios, Joel Malzi, Automatic Tracking and Characterization of African Convective Systems on Meteosat Pictures [J]. *Journal of Applied Meteorology*, 1992, 31(5): 443-453.
- [6] Fang Zhaobao, Lin Hui, Wu Lixin, et al. Automatic Tracking MCSs with the Improved-based Area-overlapped Method[A]. International Conference of GIS and Remote Sensing in Hydrology, Water Resources and Environment[C]. Yichang, China, 2003. [方兆宝, 林珩, 吴立新等. 基于改良的面积重叠法自动跟踪 MCSs[A]. GIS 及遥感技术在水文水资源及环境中的应用国际会议[C]. 中国宜昌, 2003.]
- [7] Jiang Jixi, Fan Meizhu. Convective Clouds and Mesoscale Convective Systems over the Tibetan Plateau in Summer[J]. *Atmosphere Science*, 2002, 26(2): 262-269. [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[J]. 大气科学, 2002, 26(2): 262-269.]
- [8] Wang Likun Tao Zuyun, Yang Yang, et al. Analysis of Satellite Im-

- age Characters of Severe Storm Rainfall During the Flood of Yangtze River in 1998[J]. *Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Pekinensis*, 2000, **36**(1): 87-94. [王立琨, 陶祖珏, 杨阳等, 1998 年长江洪水大暴雨的卫星云图分析[J]. 北京大学学报, 2000, **36**(1): 87-94.]
- [9] Yi Qingju, Xu Xiangde. The Propagation and Development of Cloud Cluster Systems and Severe Precipitation Event in 1998[J]. *Climatic and Environmental Research*, 2001, **6**(2): 139-145. [仪清菊, 徐祥德. 不同尺度云团系统上下游的传播与 1998 年长江流域大暴雨[J]. 气候和环境研究, 2002, **6**(2): 139-145.]
- [10] Shan Yin, Liu Hui, Ada Waichee Fu, et al. The Features of MCS over Tibetan Plateau [A]. The 22nd Asian Conference on Remote Sensing 5-9 November 2001, Singapore (C) 2001 CRISP, SISV, AARS, 418-421.
- [11] Kenneth R Castleman. Digital Image Processing[M]. Prentice-Hall, Inc, 1996.
- [12] Huang Wenqing. Shape Description and Recognition of Digital Map Symbols[J]. *Journal of Surveying & Mapping*. 1999, **28**(3): 233-239. [黄文骞. 数字地图符号的形状描述与识别[J]. 测绘学报, 1999, **28**(3): 233-239.]
- [13] Wang Dengyan. Morphology Feature and Extrapolate Forecast of MCS [J]. *Meteorological Monthly*, 2000, **26**(8): 22-24. [王登炎. MCS 的形态特征和外推预报[J]. 气象, 2000, **26**(8): 22-24.]
- [14] Mathematics Manual Editor. Mathematics Manua[M]. Beijing: Higher Education Publishing Company, 1979. [数学手册编写组. 数学手册[M]. 北京: 高等教育出版社, 1979.]
- [15] Zhu Guorei, Xu Zhaozhong, Math Methods in the General Map Cartography[M]. Beijing: Surveying and Mapping Publishing Company, 1990. [祝国瑞, 徐肇忠. 普遍地图制图中的数学方法[M]. 北京: 测绘出版社, 1990.]
- [16] Yang Lunbiao, Gao Yingyi. Fuzzy Mathematics Theory and Its Applications (Secondly Edition) [M]. Guangzhou: South China Natural Science & Engineering University Publishing Company, 2000. [杨伦标, 高英仪. 模糊数学原理及应用(第二版)[M]. 广州: 华南理工大学出版社, 2000.]
- [17] Chen Xiongnan. Altitude Mathematics (for mapping) [M]. Beijing: Surveying & Mapping Publishing Company, 1978. [陈雄南. 高等数学(测绘专业用)[M]. 北京: 测绘出版社, 1978.]
- [18] Haralick, R M, Shapiro L G. Computer and Robot Vision[M]. Addison-Wesley, 1993.
- [19] Matheron G. Random Sets and Integral Geometry[M]. Wiley, 1975.
- [20] Serra J. Image Analysis and Mathematical Morphology[M]. Academic Press, 1982.
- [21] Zhang Xiaochan, Huang Zhicai, Zhao Yuanhong. Remote Digital Image Processing[M]. Zhejiang University Publishing Company, 1997. [章孝灿, 黄智才, 赵元洪. 遥感数字图像处理[M]. 浙江大学出版社, 1997.]
- [22] Guang Haiying, Yuan Qiuyi. Adaptive Tracking of Non-Rigid Objects Contour based on Hausdorff Distance[J]. *Journal of China Institute of Communications*. 1998, **19**(11): 38-43. [关海英, 阮秋琦. 基于 Hausdorff 距离的非刚体目标自适应轮廓跟踪[J]. 通信学报, 1998, **19**(11): 38-43.]
- [23] Fang Zhaobao, Lin Hui, Wu Lixin, et al. A Robust Algorithm for the Automated Identifying & Tacking Flow Shape Group Moving Targets, [方兆宝, 林珺, 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[J]. 武汉大学学报·信息科学版, 近期刊登]

A Study on the Automatic Identifying and Tacking Flow Shape Group Moving Targets: a Case of MCS

FANG Zhao-bao^{1,2,3}, LIU Hui², WU Li-xin¹, JIANG Ji-xi⁴, HUANG Qian⁴, GUO Zhong-yang^{2,5}

(1. China University of Mining and Technology, Beijing 100083, China; 2. Joint Laboratory for Geoinformation Science, Chinese University of Hong Kong, Hong Kong, China; 3. The P. L. A. 91561 Command, Guangzhou 510320, China; 4. National Satellite Meteorological Center, China Meteorological Bureau, Beijing 100081, China; 5. Department of Geography, East China Normal University, Shanghai 200062, China)

Abstract: This paper firstly introduces basic methods for identifying and tracking MCS, and points out their advantages and disadvantages. It then improves the algorithm of area-overlapped method. Secondly, from the shape characters and essence attributes (e.g. textural attributes) of flow-shaped group moving targets, the paper brings forward several kinds of method for constructing matching template. By considering the whole description, geometric shape and immovability moments characteristic of flow-shaped group moving targets and its essence attributer, the templates matching is performed by using the principle of choosing minimum Euclid distance. Meanwhile, the method of identifying and tracking targets is realized by using the arithmetic of matching across and updating elements of the matching templates in turn. The experiments show that the methods and skills can make a computer to automatically identify and track these multi-flow-shaped moving targets such as MCS. It is full of availability to identify and track the MCS by using them.

Key words: multi-flow-shaped group targets; Mesoscale Convective Systems (MCS); spatial characters; automatic identifying & tracking