

doi: 10.3969/j.issn.0490-6756.2020.06.010

一种大气风场急流线计算方法

甘建红¹, 漆慧¹, 胡文东¹, 舒红平¹, 罗飞¹, 何童丽¹, 尹麒名¹, 黎仁国²

(1. 成都信息工程大学, 成都 610200; 2. 西华师范大学, 南充 637002)

摘要: 大气风场急流是影响天气的重要因素之一, 风场急流的识别能为天气系统自动识别以及智能天气预报计算提供重要的数据基础. 在实际气象业务中以手工绘制急流线, 现有算法在地理位置、风向等方面不同程度存在不具通用性问题. 根据急流轴位于大风区的几何中心的性质, 提出了一种急流提取算法. 首先, 利用风向相干性获得风场急流区域; 然后, 通过骨架提取方法获得急流区域的骨架点, 并利用重心公式进行微调; 最后, 连接骨架点得到急流结果. 该文对 MICAPS 第 11 类数据进行实验, 一方面与预报员手动绘制的结果进行对比, 另一方面与现有的方法进行对比分析, 结果表明, 本方法能有效地获取急流区域和急流轴.

关键词: 风场; 格点数据; 骨架提取; 急流区域; 急流轴

中图分类号: TP311.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 0490-6756(2020)06-1084-06

A method for computing atmospheric jet

GAN Jian-Hong¹, QI Hui¹, HU Wen-Dong¹, SHU Hong-Ping¹,
LUO Fei¹, HE Tong-Li¹, YIN Qi-Ming¹, LI Ren-Guo²

(1. Chengdu University of Information Engineering, Chengdu 610200, China;

2. China West Normal University, Nanchong 637002, China)

Abstract: Atmospheric jet is one of the important factors affecting weather patterns, and the jet identification can provide important data for automatic identification of weather system and intelligent weather forecast calculation. According to the property that jet axis locates at the geometric center of strong wind area, a new jet axis identification method is presented. First of all, the coherence feature of wind direction is used to obtain the jet areas, and skeleton extraction method is employed to get area geometric skeleton. The jet axis is obtained by connecting the tuned skeleton points which is computed by gravity formula. The experiment basing on MICAPS 11th format data and comparing with manual way and other methods shows that the present method can get the jet axis effectively.

Keywords: Wind field; Grid data; Skeleton extraction; Jet stream region; Jet stream axis

1 引言

大气风场急流现象最早在 20 世纪 30 年代被人们发现, 急流与对强对流天气形成发展、风能转

化、空气污染物的输送和扩散、森林火灾的蔓延等有着密切联系^[1-2]. 目前实际气象业务中通过人工手动方式在软件上进行识别和绘制急流, 一定程度上限制了过程自动化、预报智能化的快速发展. 随

收稿日期: 2019-09-30

基金项目: 四川省基础应用研究重点项目(2018JY0056); 四川省应用基础研究(2019YJ0361); 气象信息共享与数据挖掘四川省高校重点实验室开放课题(QGX16009, QGX18004); 四川省教育厅一般项目(16ZB0222)

作者简介: 甘建红(1978-), 男, 四川邻水人, 副教授, 博士, 主要研究方向为图像处理, 气象信息分析. E-mail: 76565122@qq.com

通讯作者: 黎仁国. E-mail: lrgliren.123@163.com

着智能天气预报和格点预报兴起, 计算机自动识别并标识气象风场急流的研究逐渐受到人们重视。

Molnos 等^[3]以风速、风向和纬度导向函数构造代价函数, 通过 Dijkstra 方法寻找最短路径方式计算副热带急流 (Subtropical Jet Stream) 和极锋急流 (Polar Jet Steam), 由于该急流线是两条的闭合线, 没有考虑分叉和急流合流的现象, 且算法需要已知起点, 可见该算法不适合于非全球范围风场数据中计算具有多个急流的情况。

金宏忆^[4]以 VAD 算法为基础, 用雷达探测资料以及多普勒天气雷达二次产品, 探讨了机器识别低空急流的检测方法。章晗等人^[5]也利用雷达资料研究急流识别, 该算法只针对西南风低空急流自动识别做出了研究, 未对其它类型的急流提取回波特征。

路志英等^[6]和王萍等^[7]的方法类似, 对站点风数据计算急流线并用 MICAPS 进行显示, 该方法利用地面站的观测资料, 经过预处理、聚类及拟合实现了 850 hPa 等压面上中国东南部沿海地区低空急流的绘制。该方法根据该地区以东南风和西南风为主的特征进行识别, 对其它地方适用性需要进一步优化。

随着智能网格预报的兴起, 不但预报数据采用格点形式, 实况数据也逐渐采用格点数据形式进行应用^[8-9]。本文针对格点类型的风场数据进行急流轴计算, 首先通过方向相干性计算急流区域, 然后采用骨架提取算法获取接近几何中心的格点, 基于获取格点位置采用重心公式计算急流轴的点, 最后连接急流轴的点得到急流轴。

2 急流计算方法

算法主要经过三个阶段实现: 计算急流区域, 计算中心轴 (骨架) 点及其微调, 连接点得到急流线, 具体算法流程如图 1 所示。

3 计算急流区域

大气风场急流具有风速较大、局部区域内风向具有一致性特点。对于站点数据可采用图的方法计算点间的相似性, 而本文输入格点数据为棋盘格分布的数据, 因此采用 Hessian 的方法计算相邻点的相干系数。本文分两步计算急流区域: (1) 计算风向一致性好的区域; (2) 从得到区域中去掉风速小的地方, 保留下来的区域即为急流区域。

为了便于使用算子进行计算, 在格点数据的上

边增加一行数据, 其值等于最边上一行数据, 同理在格点的下边增加一行数据, 在左边、右边也各增加一列数据, 将增加数据之前的格点称为原格点。

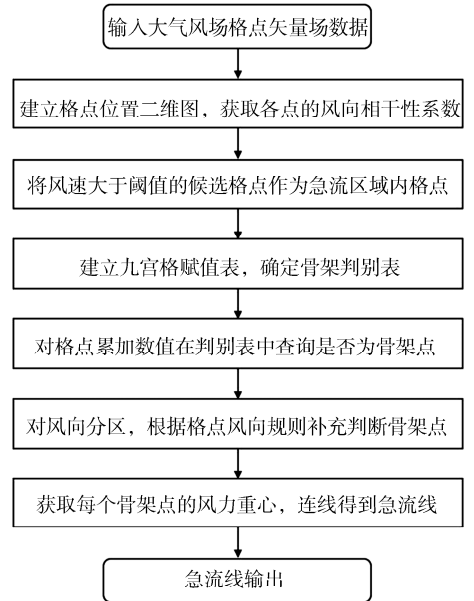


图 1 急流自动识别流程图

Fig. 1 Jet automatic identification

(1) 计算风向一致性较好的区域。

首先, 对全部原格点数据计算方向相干性系数。在图像处理等领域内相干性系数计算主要面向标量场, 而风场是一个矢量场, 为了能让其刻画方向保持一致性特性, 提出算子范围内水平、竖直方向的最大风向夹角作为 X 、 Y 方向差分并构建 Hessian 矩阵^[10]的方法计算相干性系数, 得到 Hessian 矩阵在此表达式为

$$H = \begin{pmatrix} F_x^2 & F_x F_y \\ F_x F_y & F_y^2 \end{pmatrix} \quad (1)$$

其中, $F_x = \max\{\theta | \text{邻域内水平方向两两格点风向夹角}\}$; $F_y = \max\{\theta | \text{邻域内竖直方向两两格点风向夹角}\}$ 。

具体离散点中计算方法如下: 假设当前计算风向相干系数格点位置为 (x_0, y_0) , 本文实验中邻域尺寸为 3×3 , 如图 2 所示。计算 (x_0, y_0) 点风向与 (x_{0+1}, y_0) 点风向构成的夹角, 记为 F_{x1} ; 计算 (x_0, y_0) 点风向与 (x_{0-1}, y_0) 点风向构成的夹角, 记为 F_{x2} ; 计算 (x_{0+1}, y_0) 点风向与 (x_{0-1}, y_0) 点风向构成的夹角, 记为 F_{x3} 。于是, F_{x1} 、 F_{x2} 、 F_{x3} 的最大值即为 F_x 。同理, 得到 y 方向的差分值 F_y 。

然后, 计算该 Hessian 矩阵的特征值 λ_1 和 λ_2 , 并按照式 (2) 计算风向相干性系数 k 。如果原格点

的系数小于阈值 T , 则为急流区域候选点.

$$k = |\lambda_1 - \lambda_2| \quad (2)$$

(2) 提取急流区域.

按照公式(3)计算每个候选格点风矢量的模值, 即风大小, 如果模值大于阈值 S , 则为急流区域内的格点, 否则不是急流区域的格点. 至此可得到一个或多个急流区域.

$$|v| = \sqrt{v_x^2 + v_y^2} \quad (3)$$

其中, v_x 、 v_y 分别为风矢量在水平、垂直方向的分量.

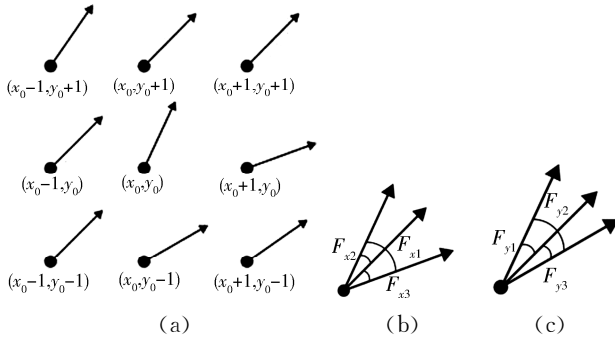


图 2 局部邻域内风向变化量计算

(a) 3×3 邻域风向分布; (b) X 方向夹角; (c) Y 方向夹角
Fig. 2 Computing for wind direction variation in location
(a) Wind direction distribution in 3×3 neighborhood;
(b) Variation in X direction; (c) Variation in Y direction

4 计算急流区域几何中心轴

《中尺度天气图技术规范(修改稿)》, 低空急流的技术要求是: 当有两个以上连续测站风速超过 12 m/s 时, 沿 12 m/s 以上大风区的几何中心分析

低空急流. 基于该规范的思想, 算法在计算出急流区域后利用骨架提取方法计算区域的骨架点, 骨架点即也是格点.

4.1 计算急流轴附近的格点

骨架提取算法^[11-12]是提取几何中心轴常用的方法, 而查表法是骨架提取的一个重要方法. 查表法将一系列约束条件用周围像素权重乘积之和通过查表方式进行表达, 比如内部点不能删除、孤立点不能删除、直线端点不能删除等约束条件. 在此, 每个格点的值只能为 1 或 0, 如果为急流区域的点, 则为 1, 否则为 0. 权重分布如图 3 所示, 对于任意一格点, 取其周围紧邻 8 个格点为邻域, 并按照一定顺序给与权重, 权重分别为 1、2、4、8、16、32、64、128, 中间方格表示当前格点.

1	2	4
8		16
32	64	128

图 3 邻域权重分布图

Fig. 3 Weight distribution in neighborhood

计算方法为将当前格点周围 8 个格点的值分别乘以对应位置的权重, 并对乘积之和除以 255 得到最终结果, 在表 1 中查询该最终结果对应的值, 对应值如果是 1, 则表示这个点应该删掉, 反之若值为 0, 表示这个点应该保留.

表 1 骨架计算判别表

Tab. 1 Judgement table for skeleton calculation

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
0	0	1	1	0	0	1	1	1	1	0	1	1	1	0	1
17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32
1	1	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1
33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48
0	0	1	1	0	0	1	1	1	1	0	1	1	1	0	1
49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64
1	1	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1
65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80
1	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
97	98	99	100	101	102	103	104	105	106	107	108	109	110	111	112
1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	1	1	1	0	1

(续表 1)

113	114	115	116	117	118	119	120	121	122	123	124	125	126	127	128
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
129	130	131	132	133	134	135	136	137	138	139	140	141	142	143	144
0	0	1	1	0	0	1	1	1	1	0	1	1	1	0	1
145	146	147	148	149	150	151	152	153	154	155	156	157	158	159	160
1	1	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1
161	162	163	164	165	166	167	168	169	170	171	172	173	174	175	176
0	0	1	1	0	0	1	1	1	1	0	1	1	1	0	1
177	178	179	180	181	182	183	184	185	186	187	188	189	190	191	192
1	1	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
193	194	195	196	197	198	199	200	201	202	203	204	205	206	207	208
1	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
209	210	211	212	213	214	215	216	217	218	219	220	221	222	223	224
1	1	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
225	226	227	228	229	230	231	232	233	234	235	236	237	238	239	240
1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	1	1	1	0	1
241	242	243	244	245	246	247	248	249	250	251	252	253	254	255	256
1	1	0	0	1	1	1	0	1	1	0	0	1	0	0	0

4.2 微调急流轴点

通过上述算法获取的急流轴位于格点之上,但在实际情况中,风场的急流轴刚好经过格点的概率非常小.采用重心公式对骨架点进行微调,使得骨架点接近风速最大位置,与实际情况一致.具体方法为,设第 i 个骨架点为当前待微调的骨架点,将当前骨架点及其左、右、上、下、左上、右上、左下、右下共 9 个格点的风矢量的模带入式(4)和(5),9 个格点中如果某个格点不在急流区域将其风大小 F 设置为 0 进行计算,得到微调后的骨架点位置 (X_i, Y_i) .

$$X_i = \frac{\sum (x_{i,j} \cdot F_{i,j})}{\sum F_{i,j}} \quad (4)$$

$$Y_i = \frac{\sum (y_{i,j} \cdot F_{i,j})}{\sum F_{i,j}} \quad (5)$$

其中, x_{ij}, y_{ij} 分别是当前骨架点的横坐标与纵坐标; F_{ij} 是格点的风矢量的模.图 4(a)中圆点标注的是计算得出的急流区域,五角星标注的是微调后的骨架点.

最后,将计算的急流轴点(微调后的骨架点)进行连接得到急流线,如图 4 所示,通常需要对其进行平滑处理,平滑处理不是本文研究重点且方法较为成熟,不在赘述.

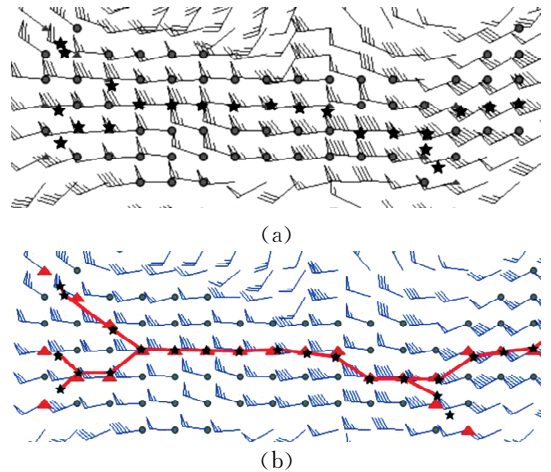


图 4 骨架点微调 and 连线
(a) 微调后的骨; (b) 急流轴连线

Fig. 4 Tune skeleton points and connecting points
(a) Tunedskeleton; (b) jet axis

5 算法测试结果及分析

算法实验采用 MeteoInfo 开源组件读取数据,在 VisualStudio2015 开发环境中使用 C# 语言实现,输入数据为 MICAPS 第 11 类数据,程序结果为急流轴的经纬度坐标.

5.1 统计分析

将算法应用于 2010 年 1 月 1 日至 7 月 1 日及 2017 年 7 月 1 日至 12 月 31 日 08~20 时 500 hPa

风场数据中的 352 组数据进行测试. 将测试结果交若干位专家进行核实, 如果专家认为与手动绘制较吻合则定义为准确击中; 如果与人工绘制偏差较大但是流线方向与风向趋势一致则定义为偏差击中; 若本算法识别存在低空急流但人工分析不存在低空急流则认为空报; 反之, 若人工分析存在低空急流但本算法并未识别出, 则认为漏报. 实验结果如表 2 所示.

图 5 是 2010 年 1 月 1 日至 4 日 08 时高度为 500 hPa 的 UV 数据实验结果, 红色线条为计算的急流线, 蓝色为表示风向的风廓线. 算法获得的急流走向和风向走势具有良好的一致性.

表 2 算法应用于 2012 年和 2017 年部分数据结果

Tab. 2 Application of the algorithm to some data results in 2012 and 2017

样本数	准确击中率/%	偏差击中率/%	漏报率/%	空报率/%
352	91.28	5.57	3.15	0

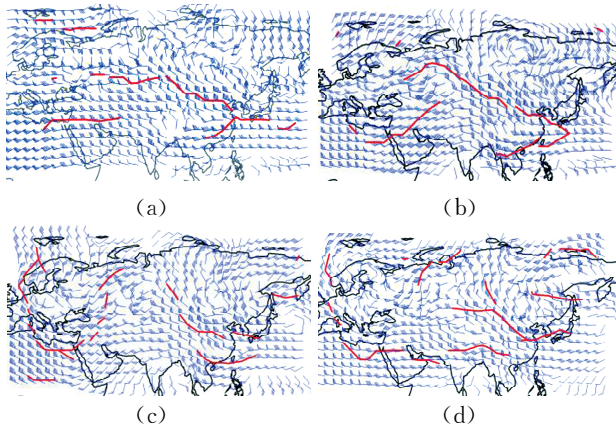


图 5 对 2010 年 1 月 1 日至 4 日数据计算急流结果
Fig. 5 Jet result of 08:00 from 1st to 4th January 2010

5.2 个例分析

将本算法应用于 2017 年 7 月 14 日 8 时 150 hPa 的 UV 数据, 结果如图 6 所示. 图 b 中圆形点为急流区域内的格点, 圆形格点组成的区域即为急流区域. 五角星为微调后得到的骨架点, 粗线即为急流轴. 通过自动检测能快速检测出急流轴, 对于小短的急流轴也能找到, 而这些通常是人工识别容易忽略的急流轴. 急流的合并与分流是描述风场变化的重要特性, 算法计算的急流轴也保持了合并与分流的情况.

文献[7]对 2009 年 3 月 21 日 8 时、2009 年 4 月 19 日 8 时地面站数据进行了急流线分析, 本文针对 2009 年 3 月 21 日 8 时、2009 年 4 月 19 日 8

时的实况格点数据进行实验, 本文算法的急流线在北海附近更靠近最大风速、更靠近风力大的站点, 与急流线的定义更一致. 由于文献[7]基于站点数据计算急流, 因此本文算法急流经过海洋较多, 文献[7]的急流主要在陆地, 由于数据源的不同, 结果存在一定差异.

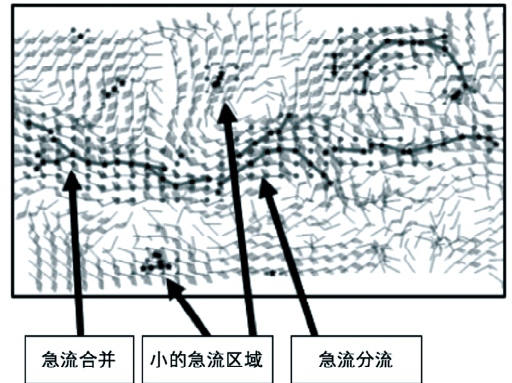


图 6 高空风场计算结果
Fig. 6 Result of high level UV

一定程度上, 风场本身也是流体, 根据流线的性质, 二维平面内同一时刻的不同流线不能相交, 因此, 本实验结果没有出现急流相交的情况, 更具有可解释性, 符合流体力学性质.

6 结论

本文根据大气风场格点矢量数据, 利用相干性系数获取特征值, 将格点矢量数据转为标量. 再利用骨架提取的方法可以自动识别急流区域并绘制急流线. 相比人工处理效率更高、准确度更高, 为天气预报自动化、智能化提供方法参考. 为了得到更好的结果, 可对原始格点数据进行插值预处理, 比如基于径向基的插值方法.

根据《中尺度天气图技术规范(修改稿)》, 低空急流的技术要求是: 当有两个以上连续测站风速超过 12 m/s 时, 沿 12 m/s 以上大风区的几何中心分析低空急流. 可见算法首先计算急流区域然后通过骨架提取几何中心轴与该规范思路一致.

参考文献:

- [1] 赛瀚, 苗峻峰. 中国地区低空急流研究进展[J]. 气象科技, 2012, 40: 766.
- [2] Zhao Y C. Numerical investigation of a localized extremely heavy rainfall event in complex topographic area during midsummer [J]. Atmos Res, 2012, 4: 22.

- [3] Molnos S, Mamdouh T, Petri S, *etal.* Mamdouh, A network-based detection scheme for the jet stream core [J]. *Earth Syst Dynam*, 2017, 8: 75.
- [4] 金宏忆. 基于多普勒天气雷达的低空急流自动识别方法的探讨[D]. 南京: 南京信息工程大学, 2007.
- [5] 章晗, 黄健, 赵玉梅. 利用多普勒天气雷达资料对低空急流进行自动识别[J]. *科技视界*, 2013 (2): 36.
- [6] 路志英, 刁长莹, 卢焕珍, 等. 基于 MICAPS 风场信息的低空急流自动识别及绘制[J]. *计算机工程与应用*, 2017, 53: 230.
- [7] 王萍, 王琮, 王迪. 低空急流识别及急流轴自动绘制方法研究[J]. *气象*, 2018, 44: 952.
- [8] 王彬, 周斌, 魏敏. 气象计算网格模式预报系统的建立与优化[J]. *计算机应用研究*, 2010, 27: 4182.
- [9] 郑波, 李湘, 何文春, 等. 基于 CIMISS 全国精细化格点预报业务数据环境系统设计与实现[J]. *气象科技*, 2018, 46: 670.
- [10] Ma S S, Li D S. Existence and boundary asymptotic behavior of large solutions of Hessian equations[J]. *Nonlinear Anal*, 2019, 2019: 1.
- [11] 熊伟, 谢剑薇, 曾峦. 检测骨架图形特征点的新方法[J]. *红外与激光工程*, 2002, 31: 302.
- [12] 张雨, 王志晖, 李柏林. 基于截线法的铁路扣件骨架提取算法[J]. *铁道标准设计*, 2019, 63: 69.

引用本文格式:

中文: 甘建红, 漆慧, 胡文东, 等. 一种大气风场急流线计算方法[J]. *四川大学学报: 自然科学版*, 2020, 57: 1084.

英文: Gan J H, Qi H, Hu W D, *et al.* A method for computing atmospheric jet [J]. *J Sichuan Univ: Nat Sci Ed*, 2020, 57: 1084.