

基于 WebGL 的风廓线雷达风场三维 可视化技术与实现

王亚冬 解小寒 刘培宁

(江苏省苏州市气象局, 苏州 215131)

摘要 风廓线雷达二维显示系统无法显示三维风场, 针对此问题, 本文研究了基于 WebGL 的风廓线雷达风场的三维可视化方法。文中介绍了基于 WebGL 的三维图形渲染技术的原理和优势, 详细阐述了风廓线雷达风场的三维建模和渲染方法, 在此方法的基础上, 开发了 B/S 模式的风廓线雷达风场三维可视化系统, 并介绍了系统的功能特点和优势。相对于风廓线雷达二维显示系统, 三维可视化系统以更直观、逼真的形式展现了风场的空间分布, 用户能够以任意视角观察三维风场, 便于气象工作者分析风场辐合(辐散)、边界层辐合线, 为强对流天气监测预报工作提供一种有效的技术手段。

关键词 风廓线雷达; WebGL; 风场; 三维显示

中图分类号: P409 DOI: 10.19517/j.1671-6345.20180475 文献标识码: A

引言

目前国内有一些气象数据三维显示方法的研究^[1-5], 但从公开的文献资料来看, 风廓线雷达数据三维可视化方法的研究几乎没有, 而且现有的气象数据三维显示系统都是基于 C/S 模式的系统, 这类系统需要在应用终端安装客户端程序, 不具有跨平台的特点。随着互联网技术的发展, WebGL 这一开放的跨平台 Web3D 图形绘制标准以其优越的性能得到人们越来越多的关注, 利用 WebGL 技术, 可以实现各类数据在浏览器端的三维渲染, 由于无需插件或对浏览器进行扩展, 使得基于 WebGL 开发的各类系统具有很好的跨平台性和可维护性。目前国内外关于 WebGL 应用的文献较多^[6-12], 但针对气象领域应用的研究较少, 结合已有的研究和应用现状, 本文研究了基于 WebGL 的风廓线雷达风场的三维可视化方法, 并开发了 B/S 模式的风廓线雷达风场三维可视化系统。

1 WebGL 简介

WebGL 是一种新的 Web 三维绘图标准, 这种绘图技术标准允许把 JavaScript 和 OpenGL ES 2.0 结合在一起, 具有跨平台、跨浏览器等特点。与传统

的 OpenGL、DirectX 等三维图形渲染技术相比, 用户无需安装客户端程序和浏览器插件, 即可在浏览器中实现三维图形的渲染。WebGL 开发人员通常借助各种类库进行代码编写, 目前比较流行的是 Three.js 库, Three.js 是 JavaScript 编写的 WebGL 第三方库, 提供了摄像机控制、灯光设置、加载模型和绘制 3D 物体等多种功能。

2 总体设计思路

本文采用风矢和色标的方式绘制三维风场, 如图 1, 风矢由风向杆、风羽和风三角组成, 风向杆表示水平风向, 风羽由长划线和短划线构成, 一条长划线表示 4 m/s, 一条短划线表示 2 m/s, 风三角表示 20 m/s。WebGL 的基本图元包括点、线段和三角形, 风矢由线段构成, 因此使用线段作为绘制风场的基本图元, 通过计算出所有线段的两个顶点, 便可实现三维风场的绘制; 根据风速, 赋予线段不同的材质, 可设置线段的颜色, 实现色标功能。基于此思路, 本文主要研究风廓线雷达风场的三维建模和渲染方法, 其总体流程如图 2 所示。

三维建模由数据处理程序完成, 数据处理程序定时读取同一采样时刻多个风廓线雷达数据文件中的纬度、经度、海拔高度、采样高度、水平风向和风速

<http://www.qxkj.net.cn> 气象科技

作者简介: 王亚冬, 男, 1980 年生, 学士, 工程师, 主要从事气象数据处理和三维可视化研究, Email: 47918085@qq.com

收稿日期: 2018 年 3 月 20 日; 定稿日期: 2019 年 2 月 25 日

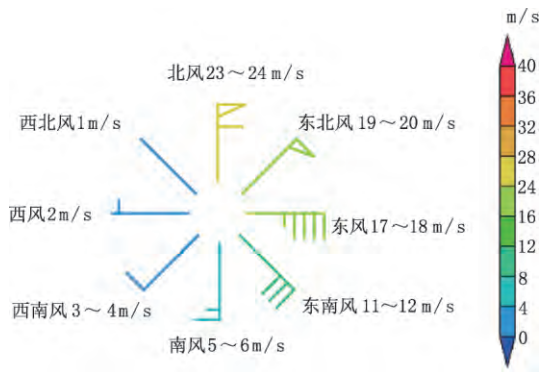


图 1 风矢和色标

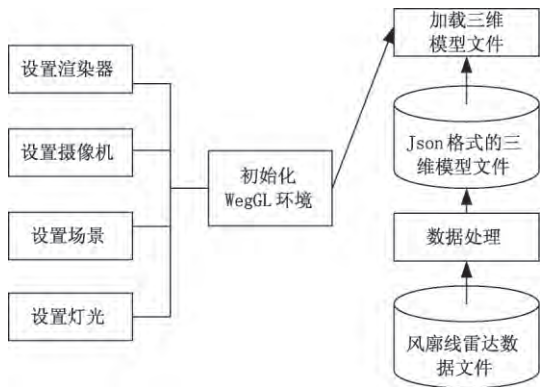


图 2 风廓线雷达风场三维建模和渲染流程

等数据,通过坐标转换,计算出构成风场的所有线段的顶点坐标,并创建 WebGL 支持的 Json 格式的风场三维模型文件。

三维风场的渲染由 WebGL 的第三方开发库 Three.js 实现,利用 three.js 渲染风场需要设置渲染器、设置摄像机、设置场景、设置灯光和加载显示风场三维模型文件 5 个步骤。

3 风廓线雷达数据的读取

本文使用的实验数据是苏州 6 个风廓线雷达的实时采样高度上的产品数据文件(以下简称产品数据文件),该文件为文本文件,主要包含 5 部分内容。第 1 部分位于文件的第 1 行,记录了数据格式的版本信息;第 2 部分位于文件的第 2 行,记录了区站号、经度、纬度、海拔高度等信息;第 3 部分位于文件的第 3 行,记录产品数据开始标志,固定编发为“ROBS”;第 4 部分从文件的第 4 行到文件的倒数第 2 行,记录了各采样高度上的产品数据实体部分,每一行的格式参见表 1;第 5 部分位于文件的最后 1 行,为数据结束标志,固定编发为“NNNN”。通过数

据处理程序,对数据文件逐行进行读取,提取纬度、经度、海拔高度、采样高度、水平风向、水平风速等数据,为构建风场三维模型文件提供基础数据。

表 1 产品数据实体格式说明表

	长度/字节	说明
采样高度	5	5 位整数
水平风向	5	3 位整数,1 位小数
水平风速	5	3 位整数,1 位小数
垂直风速	6	3 位整数,1 位小数
水平方向可信度	3	3 位整数
垂直方向可信度	3	3 位整数
垂直方向 Cn2	8	

4 风廓线雷达风场三维模型文件的构建

4.1 风廓线雷达采样点三维坐标的计算

产品数据文件中包含了经度、纬度、海拔高度和采样高度等空间位置数据,这些数据是在大地坐标系^[13]中的表达,即采用纬度、经度和高程来描述空间位置。在三维场景中,空间位置用三维坐标值表示,因此需要把产品数据文件中的纬度、经度和高程转换为在三维坐标系(笛卡尔坐标系)的坐标值。选择其中一个风廓线雷达作为笛卡尔坐标系原点,坐标系的 x 轴向东为正, y 轴向北为正, z 轴垂直于 xoy 平面,向上为正,此坐标系即为通常使用的站心坐标系,以下阐述的顶点坐标均为该坐标系下的坐标值。

设笛卡尔坐标系原点的纬度为 B_0 ,经度为 L_0 ,海拔高度为 H_0 , p 点为任意一个风廓线雷达的空间点,纬度为 B ,经度为 L ,海拔高度为 H , p_0 点为该雷达的采样点,采样高度为 h ,根据大地坐标系到地心空间直角坐标系的变换公式^[14]和地心空间直角坐标系到站心坐标系的变换公式^[15],可计算出 p_0 点的坐标值 x_0, y_0, z_0 ,如图 3。

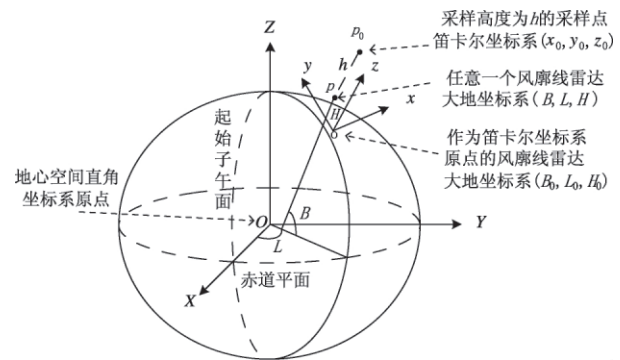


图 3 采样高度为 h 的采样点

4.2 风矢三维模型数据的计算方法

4.2.1 风向杆三维模型数据的计算方法

在产品数据文件中,水平风向是极坐标系下的数据,极坐标原点位于风廓线雷达采样高度上的 p_0 点,极轴与 y 轴方向重合,观测数值表示风向与正北方向的夹角。把 p_0 点作为风向杆的一个点,另一个点指向风的来向,距离 p_0 点的距离为 r (风向杆的长度),用 p_1 点表示,设水平风向的角度为 θ ,如图 4,则 p_1 点坐标可表达为:

$$p_1: p_0 + r(\sin\theta, \cos\theta, 0) \quad (1)$$

把 p_0 点的坐标值 x_0, y_0, z_0 代入式(1),可求出 p_1 点的坐标值。

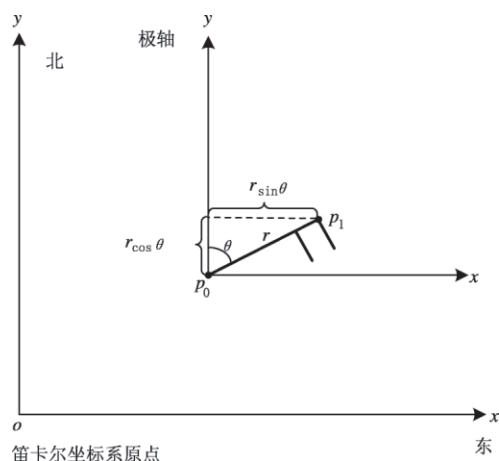


图4 风向杆示意

4.2.2 长划线、短划线和风三角个数计算方法

设风速为 v , 整数 m, k, n 分别为风矢中长划线、短划线和风三角的个数, “[\cdot]”为取整数部分符号, mod 为求余数符号, 当 $[v] \leq 1$ 时, 风矢中仅有风向杆, m, k, n 均等于 0, 当 $[v] > 1$ 时, m, k, n 和风速的关系为:

$$m = \begin{cases} 0, & 0 \leq ([v] \bmod 20) \leq 2 \text{ 或 } ([v] \bmod 20) = 19 \\ 1, & 3 \leq ([v] \bmod 20) \leq 6 \\ 2, & 7 \leq ([v] \bmod 20) \leq 10 \\ 3, & 11 \leq ([v] \bmod 20) \leq 14 \\ 4, & 15 \leq ([v] \bmod 20) \leq 18 \end{cases} \quad (2)$$

$$k = \begin{cases} 0, & ([v] \bmod 4) = 0 \text{ 或 } ([v] \bmod 4) = 3 \\ 1, & ([v] \bmod 4) = 1 \text{ 或 } ([v] \bmod 4) = 2 \end{cases} \quad (3)$$

$$n = \left\lceil \frac{[v] + 1}{20} \right\rceil \quad (4)$$

4.2.3 长划线三维模型数据的计算方法

设整数 i 为风向杆上点的编号, $i \geq 1$, 沿风的去向增大, p_i 表示风向杆上的点, 当 $i=1$ 时, p_i 和风向杆的 p_1 点重合, 设风向杆上两点之间的距离为 d , 长划线和风三角垂直于风向杆的边长度均为 s , 垂直于风向杆顺时针一侧的点用 p'_i 表示, 则长划线两个点的坐标可表达为:

$$\begin{cases} p_i: p_0 + \{[r - (i-1)d]\sin\theta, [r - (i-1)d]\cos\theta, 0\} \\ p'_i: p_0 + (\sqrt{[r - (i-1)d]^2 + s^2}\sin(\theta + \alpha), \\ \sqrt{[r - (i-1)d]^2 + s^2}\cos(\theta + \alpha), 0) \end{cases} \quad (5)$$

其中, α 为线段 $p_i p_0$ 和线段 $p'_i p_0$ 的夹角, $\alpha = \arctan\left(\frac{s}{r - (i-1)d}\right)$ 。

当 $[v] \leq 19$ 时, 风矢中不存在风三角, 如图 5a, 变量 i 的取值范围为 $[1, m]$; 当 $[v] \geq 19$ 时, 风三角的个数 $n > 0$, 如图 5b, 变量 i 的取值范围为 $[n+2, m+n+1]$; 根据风速, 把变量 i 的取值范围依次代入式(5), 可求出所有长划线两个点的坐标值。

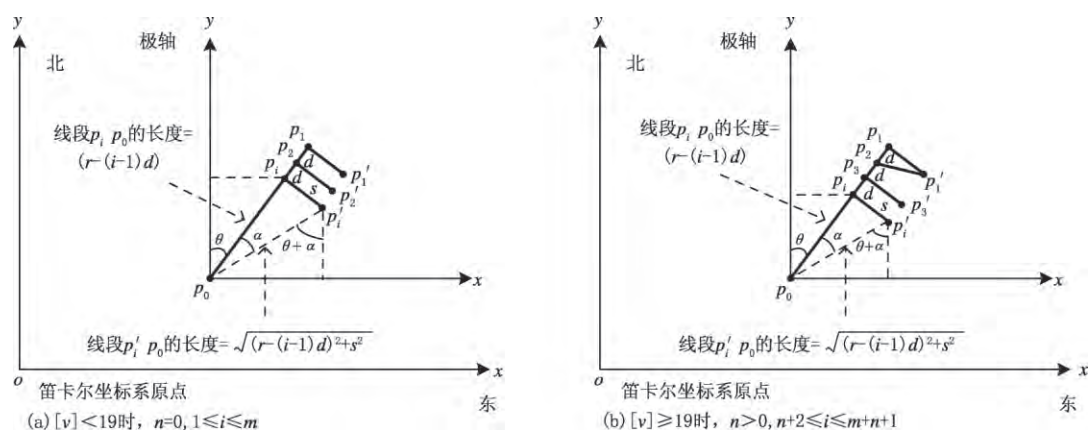
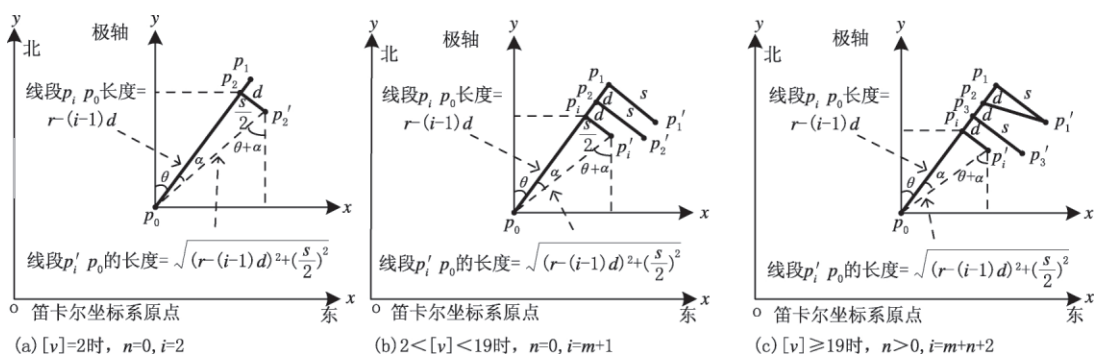
4.2.4 短划线三维模型数据的计算方法

当短划线的个数 $k=1$ 时, 表示风羽中存在短划线, 短划线两个点的坐标可表达为:

$$\begin{cases} p_i: p_0 + \{[r - (i-1)d]\sin\theta, [r - (i-1)d]\cos\theta, 0\} \\ p'_i: p_0 + (\sqrt{[r - (i-1)d]^2 + (s/2)^2}\sin(\theta + \alpha), \\ \sqrt{[r - (i-1)d]^2 + (s/2)^2}\cos(\theta + \alpha), 0) \end{cases} \quad (6)$$

其中, α 为线段 $p_i p_0$ 和线段 $p'_i p_0$ 的夹角, $\alpha = \arctan\left(\frac{s/2}{r - (i-1)d}\right)$ 。

当 $[v]=2$ 时, 风羽仅由一条短划线构成, 如图 6a, 变量 i 的取值为 2; 当 $2 < [v] < 19$, 且 $k=1$ 时, 风羽由长划线和短划线构成, 短划线位于最后一条长划线的下一个点, 如图 6b, 变量 i 的取值为 $m+1$; 当 $[v] \geq 19$, 且 $k=1$ 时, 风三角个数 $n > 0$, 短划线位于最后一条长划线或风三角的下一个点, 如图 6c, 变量 i 的取值为 $m+n+2$; 根据风速, 把变量 i 的取值代入式(6), 可求出短划线两个点的坐标值。

图 5 长划线示意: (a) $[v] < 19$, (b) $[v] \geq 19$ 图 6 短划线示意: (a) $[v] = 2$, (b) $2 < [v] < 19$, (c) $[v] \geq 19$

4.2.5 风三角三维模型数据的计算方法

风三角的三维模型数据由三角形的 3 个点构成,分别为 p_i 、 p'_i 和 p_{i+1} ,如图 7,则 3 个点的坐标可表达为:

$$\begin{aligned} p_i: & p_0 + \{[r - (i-1)d]\sin\theta, [r - (i-1)d]\cos\theta, 0\} \\ p'_i: & p_0 + (\sqrt{[r - (i-1)d]^2 + s^2} \sin(\theta + \alpha), \\ & \sqrt{[r - (i-1)d]^2 + s^2} \cos(\theta + \alpha), 0) \\ p_{i+1}: & p_0 + [(r - id)\sin\theta, (r - id)\cos\theta, 0] \end{aligned} \quad (7)$$

式中, $\alpha = \arctan\left(\frac{s}{r - (i-1)d}\right)$, 为线段 $p_i p_0$ 和线段 $p'_i p_0$ 的夹角。

当 $[v] \geq 19$ 时,风三角的个数 $n > 0$,变量 i 的取值范围为 $[1, n]$,把变量 i 的取值范围依次代入式(7),可求出风三角 3 个点的坐标值。

4.3 创建 Json 格式的风场三维模型文件

Json 格式文件是 Three.js 库支持的一种文本文件。Json 有两种表示结构,分别为对象和数组。对象结构以“{”开始和结束,中间部分由多个以“,”分隔的“key(关键字)/value(值)”对构成,关键字和

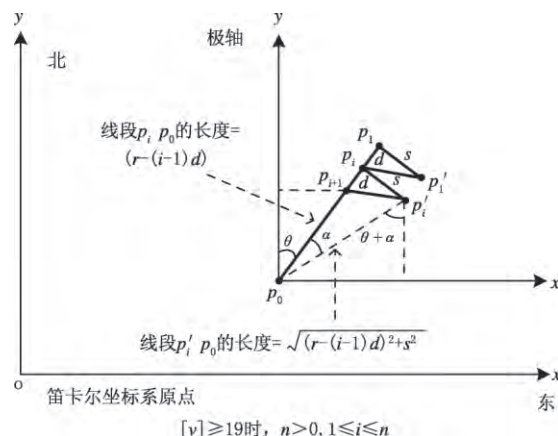


图 7 风三角示意

值之间以“:”分隔。数组结构以“[]”开始和结束,中间由多个以“,”分隔的值列表组成。

运用文中 4.1 节和 4.2 节介绍的方法,把产品数据文件中的数据转换为三维风场的顶点数据,并将顶点数据组织存储为 Json 格式的风场三维模型文件,如图 8,数组“geometries”中存储了构成风场

的几何体,“array”中存储了每个线段的顶点坐标值,“materials”中存储了图元的材质信息,“children”中存储了线段类型的基本图元。

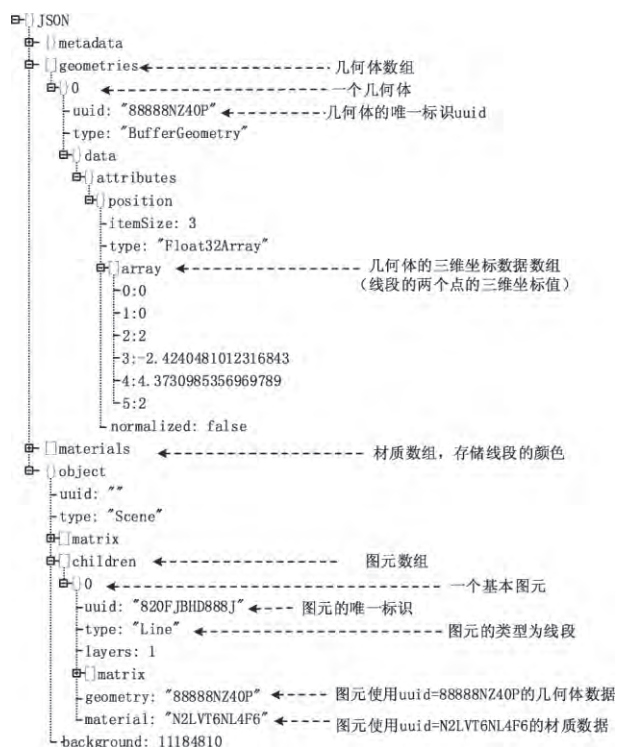


图8 Json 格式风场三维模型文件

5 风场三维模型的渲染

风场三维模型的渲染通过 WebGL 的 Three.js 库实现,Three.js 库通过设置渲染器、摄像机、场景、灯光和加载风场三维模型文件实现三维风场的渲染,实现渲染功能的部分源代码如下:

```
renderer=new THREE.WebGLRenderer();
camera=new THREE.PerspectiveCamera(45,window.innerWidth/window.innerHeight,1,2000);
scene=new THREE.Scene();
var ambientLight=new THREE.AmbientLight(0xccccee,0.4);
scene.add(ambientLight);
var loader=new THREE.ObjectLoader();
loader.load("WPR201803041942.json",function(obj){
    scene.add(obj);
});
```

在源代码中,变量 renderer、camera、scene 和 ambientLight 分别表示渲染器、摄像机、场景和灯光,THREE.ObjectLoader()实现 Json 文件的加载功能,WPR201803041942.json 表示风场三维模型文件。

6 系统简介和个例分析

6.1 系统构架

为了验证基于 WebGL 的风廓线雷达风场三维可视化方法的可行性与渲染效果,基于上述方法,开发了 B/S 模式的风廓线雷达风场三维可视化系统。系统的服务端包括 Web 服务器、风廓线雷达数据服务器和数据处理程序,客户端为支持 WebGL 运行的 HTML5 浏览器访问终端,如图 9。

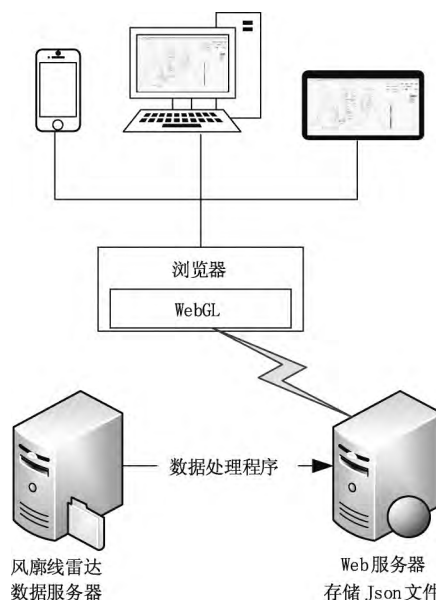


图9 系统构架

6.2 服务端简介

服务端的硬件设备包括风廓线雷达数据服务器和 Web 服务器,风廓线雷达数据服务器存储基础的产品数据文件,Web 服务器存储风场三维模型文件,并通过 http 协议与客户端实现数据共享。软件系统主要是数据处理程序,数据处理程序使用 C# 语言开发,主要功能是定时从风廓线雷达数据服务器读取产品数据文件,通过坐标转换算法,把产品数据文件转换为 Json 格式的风场三维模型数据文件,并存储到 Web 服务器。

6.3 客户端简介

客户端使用 HTML5 和 Three.js 库开发,实现了风廓线雷达风场在浏览器中的三维渲染,如图 10,具体功能如下:

(1)文件加载功能,系统可加载存储在 Web 服务器上的风场三维模型文件。

(2) 三维风场的跨平台渲染, 系统实现了三维风场在浏览器中的快速渲染, 支持多种访问终端。

(3) 摄像机视角调整功能, 系统支持摄像机位置和角度的任意调整, 以使用户从不同视角观察和分析风场。

(4) 色标功能, 系统支持色标配置, 根据风速, 使风矢具有不同的颜色, 以达到突出显示急流目的。

(5) 时次选择功能, 用户可以查看任意采样时次的风场, 可以快速翻阅相邻时次的风场。

(6) 动画播放功能, 该功能支持对连续时次的风场进行动画播放, 用户可以查看风场的演变情况。

(7) 观测站数据的显隐功能, 系统可以仅显示指定观测站的数据, 隐藏用户不关心的观测站数据。

(8) 风场显示高度设定功能, 系统可以仅显示一定高度范围内的风场。

(9) 高度轴的显隐功能, 该功能可以对高度轴进行显示或隐藏。

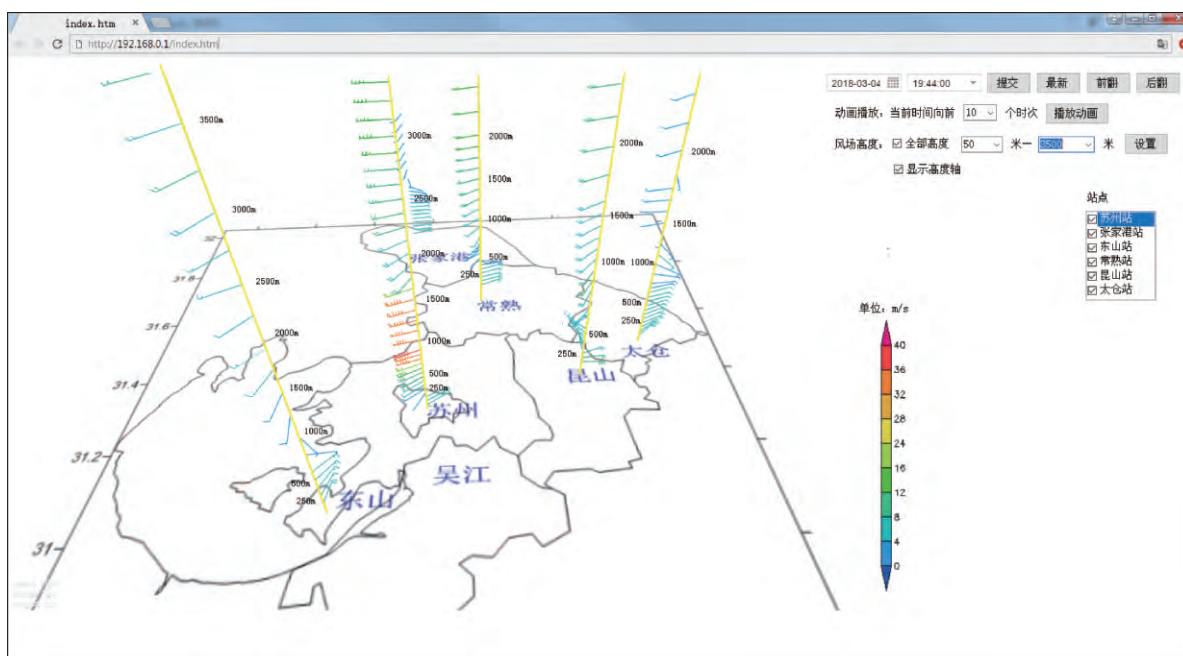


图 10 浏览器中显示的风廓线雷达三维风场

6.4 个例分析

为了说明该系统在强对流天气预报中的作用, 以及相对于二维显示系统的特点和优势, 本文使用苏州发生强对流天气时的风廓线雷达数据, 对二维显示系统和三维可视化系统进行对比分析。

图 11 是二维显示系统显示的水平风时间序列图, 可以看出, 二维显示系统仅能单独显示观测站各探测高度的水平风, 无法将各观测站数据整合为直观的风场, 不便于用户分析各采样高度上风向和风速的辐合辐散。针对此问题, 三维可视化系统不仅可以把多个观测站的数据整合显示为逼真的三维风场, 而且可以通过时次选择、动画播放功能, 查看三维风场的动态演变, 可以通过摄像机视角调整、风场显示高度设定、观测站数据显隐、色标配置等功能, 隐藏用户不关心的数据, 突出重点数据, 使用户能够

从最佳的视角观察风场, 分析低空急流、边界层辐合线等强对流的触发条件。图 12a 是三维可视化系统显示的 2018 年 3 月 4 日 18:44 的三维风场, 通过摄像机位置和角度的调整, 用户可以近距离观察苏州站和常熟站的探测数据, 可以看出, 在苏州站 500 m 以上已经出现低空急流, 且苏州站 250 m 高度以上是西南风, 常熟站 500 m 以下为偏东风, 在苏州站和常熟站 250~500 m 之间的各高度, 存在着偏东风和西南风的风向辐合, 图 12b 是同时次的常州站多普勒雷达 0.5° 仰角的基本反射率, 可以看出, 此时在苏州附近已经出现大于 55 dBz 的强回波, 强回波区域与三维可视化系统显示的风向辐合区域基本一致, 说明该系统对强对流天气的预报能够起到一定的辅助作用。

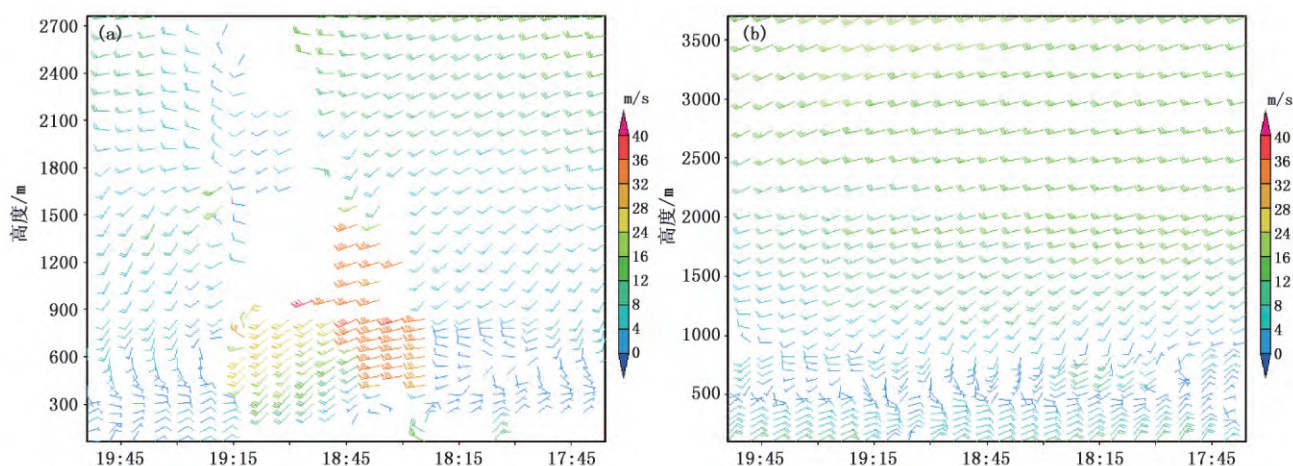


图 11 2018 年 3 月 4 日 17:36—19:54 苏州(a)和常熟(b)风廓线雷达水平风时间序列

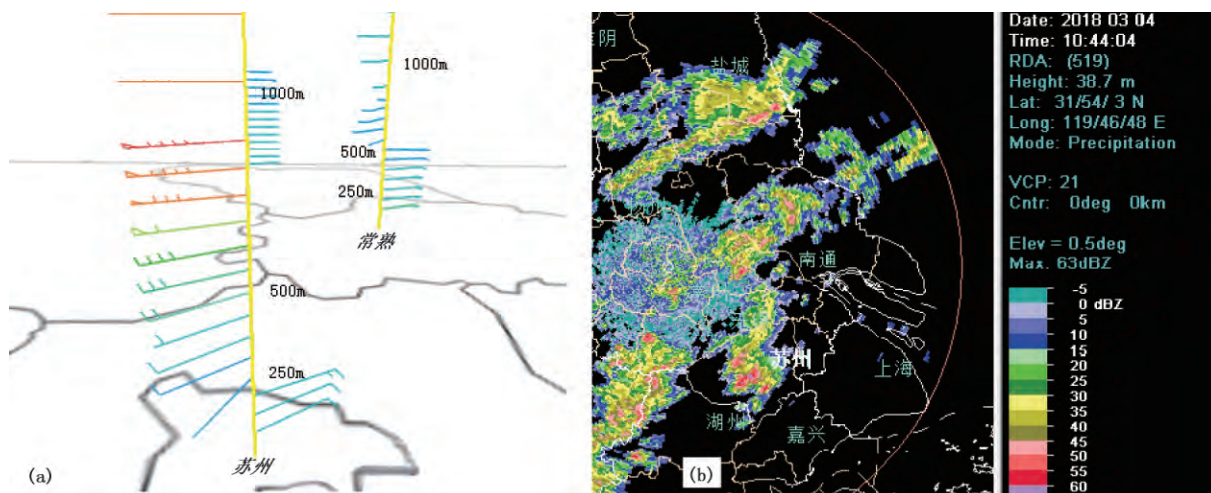


图 12 2018 年 3 月 4 日 18:44 三维风场(a)和常州站多普勒雷达 0.5°仰角的基本反射率(b)

7 结论

本文基于 WebGL 技术,研究了风廓线雷达风场的三维可视化方法,该方法具有一定的通用性,对实现其它气象数据在 Web 端的三维显示有一定的借鉴意义。基于此方法开发的风廓线雷达风场三维可视化系统能够以任意视角展现风场的空间分布以及风场的演变,便于用户分析风场的辐合辐散、边界层辐合线,对强对流天气的监测预报有着积极的作用。WebGL 具有跨平台的优势,随着 HTML5 标准的 Web 浏览器的广泛应用,在可见的未来,WebGL 将在气象数据三维可视化领域得到普及应用。

参考文献

- [1] 毕力格,达布希拉图,苏立娟,等. 基于三维 GIS 的内蒙古人工影响天气电子沙盘系统设计及应用[J]. 气象科技, 2018, 46(1): 207-213.
- [2] 朱传林,王学良,范宏飞,等. 闪电数据三维可视化统计分析系统设计与实现[J]. 气象科技, 2017, 45(1): 59-63.
- [3] 王赞,刘彬,段燕楠,等. 利用 MATLAB 实现 CINRAD/CC 雷达回波三维显示[J]. 气象科技, 2016, 44(2): 177-183.
- [4] 邱拓,刘锦丽,李勋. 基于 OpenGL 的组网雷达三维显示系统的开发与应用[J]. 气象科技, 2015, 43(5): 833-838.
- [5] 张志强,刘黎平,王红艳. 三维可视化技术在雷达三维组网产品显示中的运用[J]. 气象科技, 2010, 38(5): 605-608.
- [6] 龚湜均. 基于 WebGL 的三维符号绘制技术研究[J]. 测绘与空间地理信息, 2015, 38(11): 50-52.
- [7] 杨帆,杜凯. 基于 WebGL 的三维虚拟地球系统设计与实现

- [J]. 地理信息世界, 2016, 23(2): 113-118.
- [8] 欧阳峰, 龚桂荣, 何列松. 面向 WebGL 的矢量数据三维绘制技术[J]. 测绘科学技术学报, 2016, 33(6): 635-638.
- [9] 黄若思, 李传荣, 冯磊, 等. 基于几何的 WebGL 矢量数据三维渲染技术研究[J]. 遥感技术与应用, 2014, 29(3): 463-468.
- [10] 杜鹃. 基于 WebGL 的三维气象虚拟地球可视化平台构建技术研究[D]. 天津: 天津师范大学, 2017.
- [11] Feng Lei, Wang Chaoliang, Li Chuanrong, et al. A Research for 3D WebGIS based on WebGL [C]// International Conference on Computer Science and Network Technology, 2011: 348-351.
- [12] Kim H, Nam S, Park J, et al. Direct canvas: Optimized WebGL rendering model [C]// 2018 IEEE International Conference on Consumer Electronics (ICCE), 2018: 1-3.
- [13] 宁津生. 现代大地测量参考系统[J]. 测绘通报, 2002(6): 1-5.
- [14] 刘山洪, 邓彩群. 坐标转换与坐标变换研究[J]. 吉林建筑大学学报, 2016, 33(1): 43-47.
- [15] 孙旭民. 矢量闭合差在空间直角坐标系和站心坐标系下的转换[J]. 物探装备, 2017, 27(1): 48-49.

Research and Implementation of 3D Visualization of Wind Profiler Radar Wind Fields Based on WebGL

Wang Yadong Xie Xiaohan Liu Peining

(Suzhou Meteorological Service, Jiangsu, Suzhou 215131)

Abstract : Aiming at this problem that the 2D display systems of wind profiler radar cannot display 3D wind fields, the 3D visualization method of wind fields from the wind profiler radar based on WebGL is studied in this paper. The principles and advantages of 3D graphics rendering based on WebGL are introduced, and the 3D modeling and rendering method of wind fields from wind profiler radar are described in detail. On the basis of this method, a 3D visualization system for the wind fields from wind profiler radar based on the B/S mode is developed, and the functional characteristics and advantages of the system are introduced. Compared with the 2D display system, the 3D visualization system presents the spatial distribution of the wind fields in a more intuitive and realistic form, and users can observe the 3D wind fields from any angle of view, which is convenient for meteorologists to analyze wind convergence (divergence) and boundary layer convergence lines, and provides an effective technical means for monitoring and forecasting severe convective weather.

Keywords : wind profile radar; WebGL; wind field; 3D display