科学计算可视化

陶煜波

浙江大学　计算机科学与技术学院

计算机辅助设计与图形学国家重点实验室

www.cad.zju.edu.cn/home/ybtao

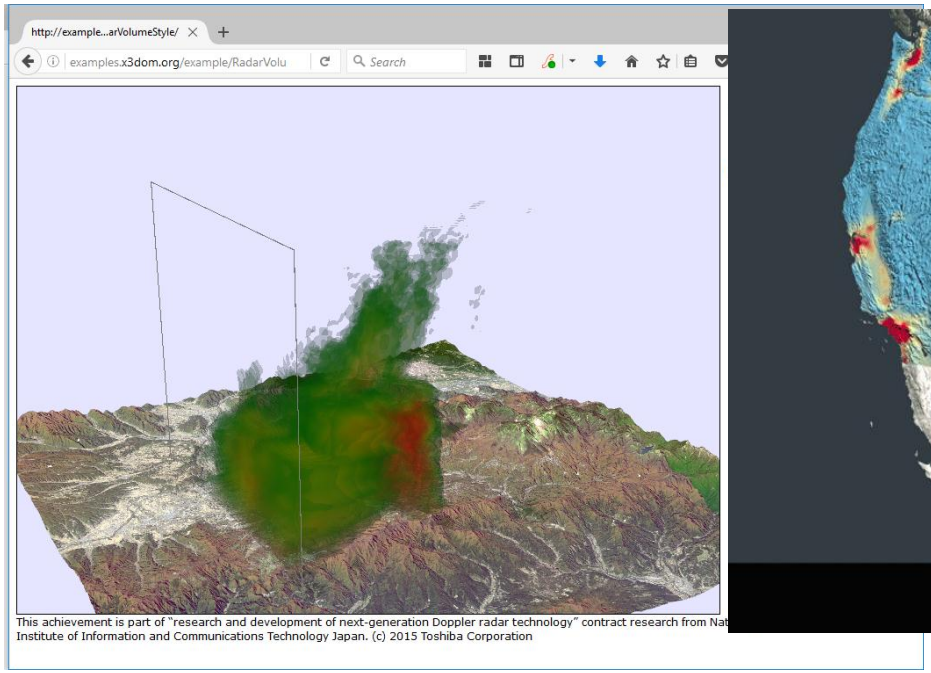
科学计算可视化

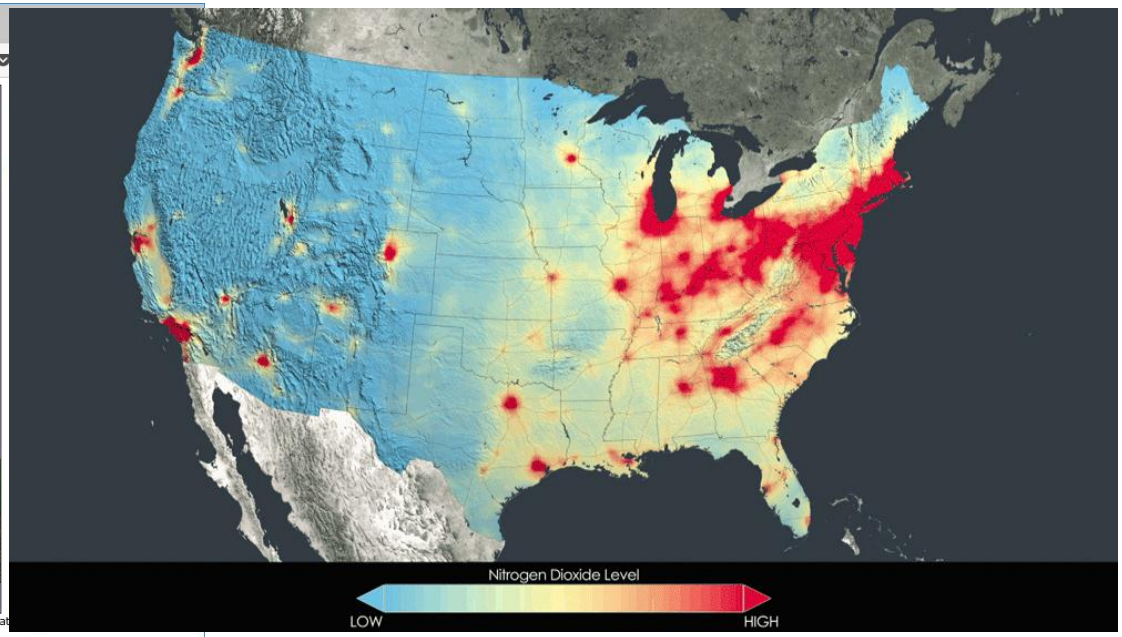
基础与概念

1

科学计算可视化

- 运用计算机图形学的原理和方法，将科学与工程计算等产生的大规模数据转换为图形、图像，以直观的形式进行展示

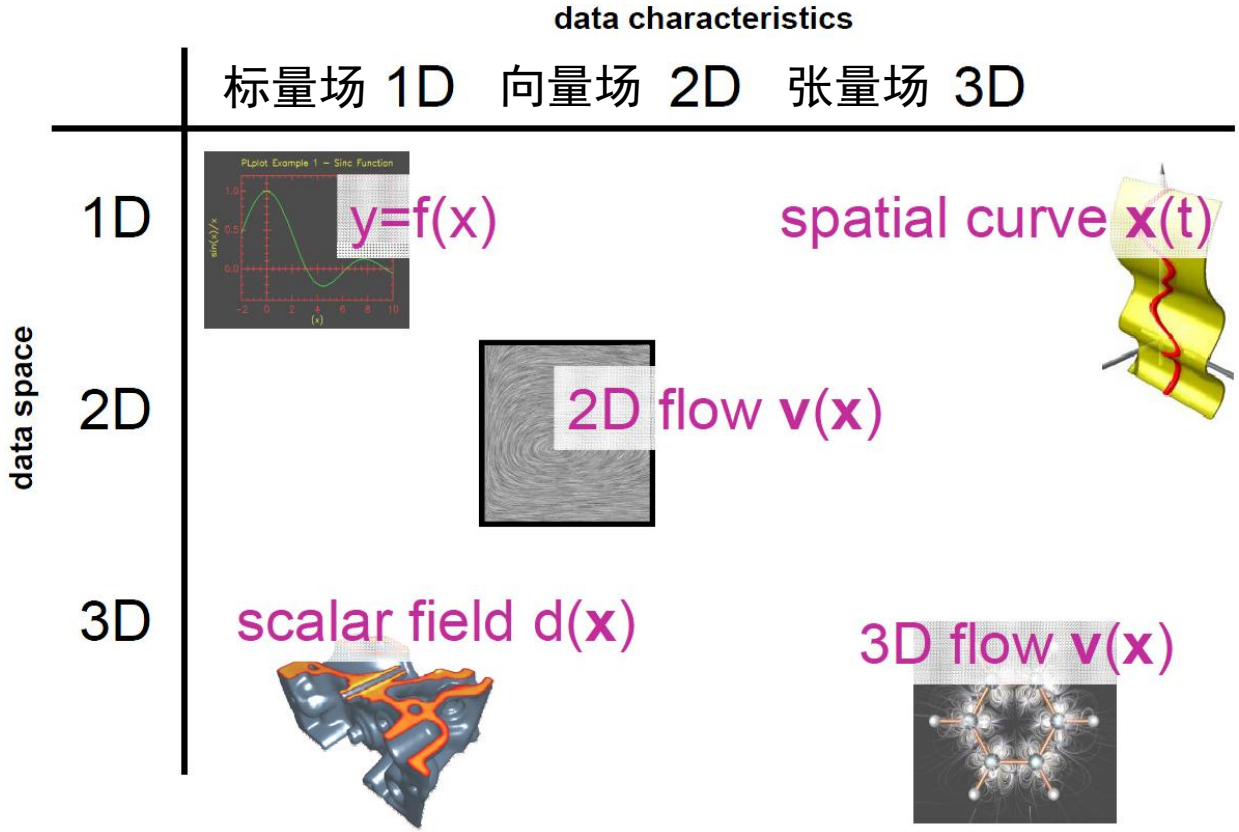




气象数据可视化 http://examples.x3dom.org/example/RadarVolumeStyle/　2005-2011年美国二氧化氮污染

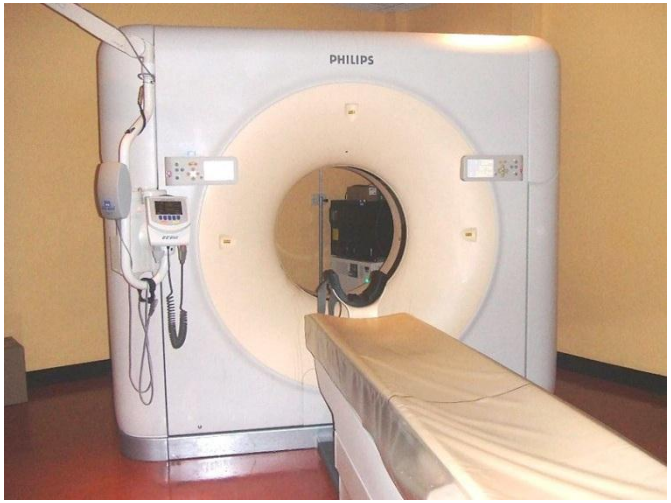
科学计算可视化

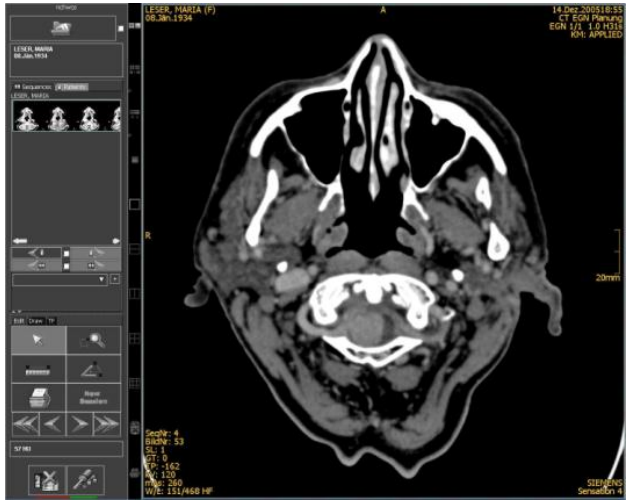
- 空间数据分类

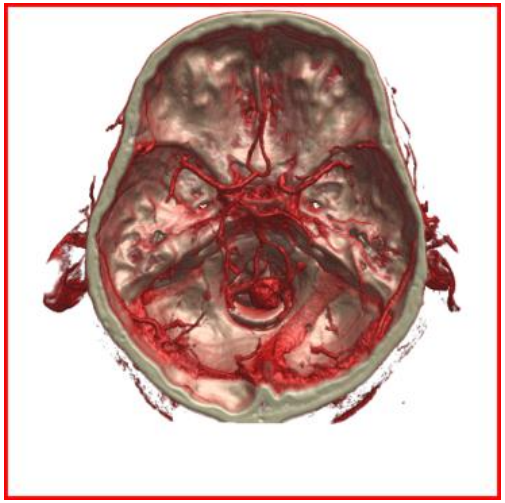


科学计算可视化应用领域

- 医学：CT、MRI、PET、Ultrasound



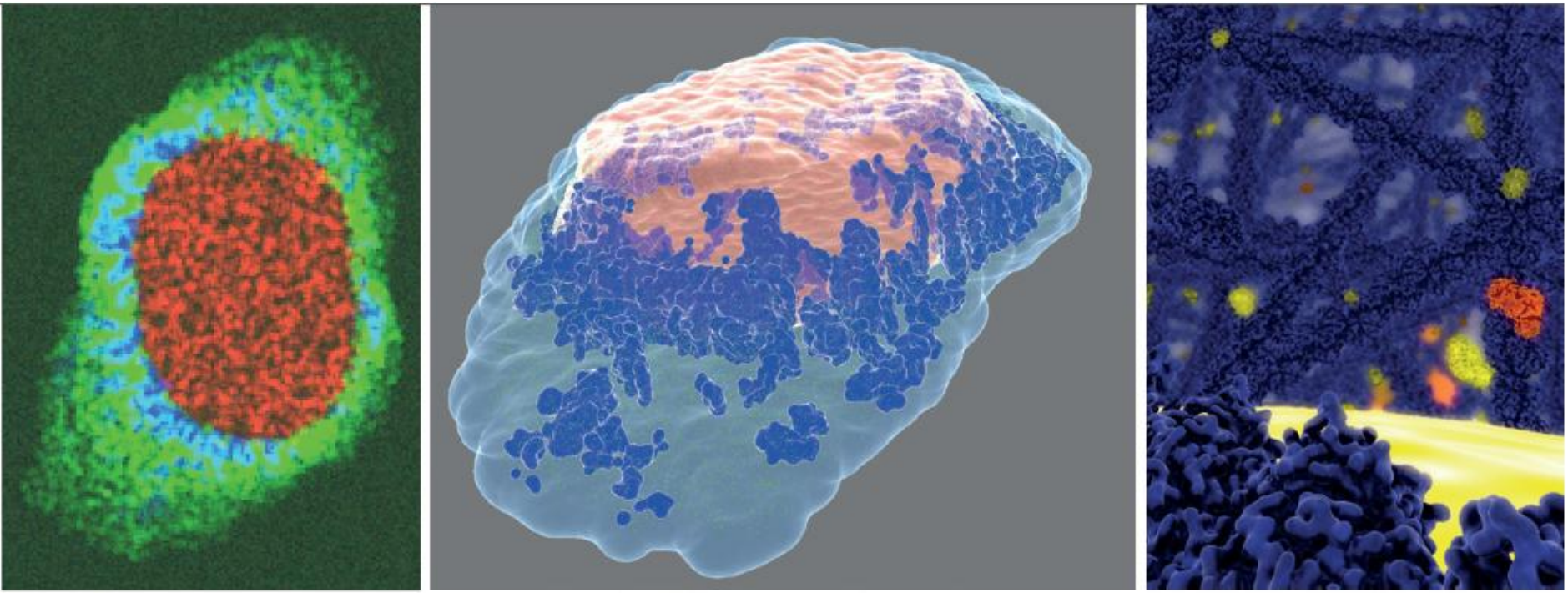




CT扫描设备、CT切片、3D脑血管可视化

科学计算可视化应用领域

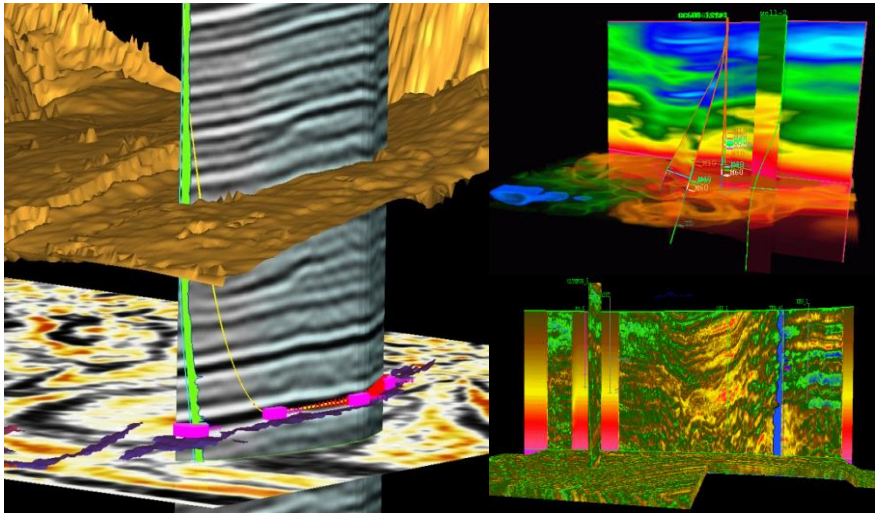
- 生物：共聚焦显微镜等



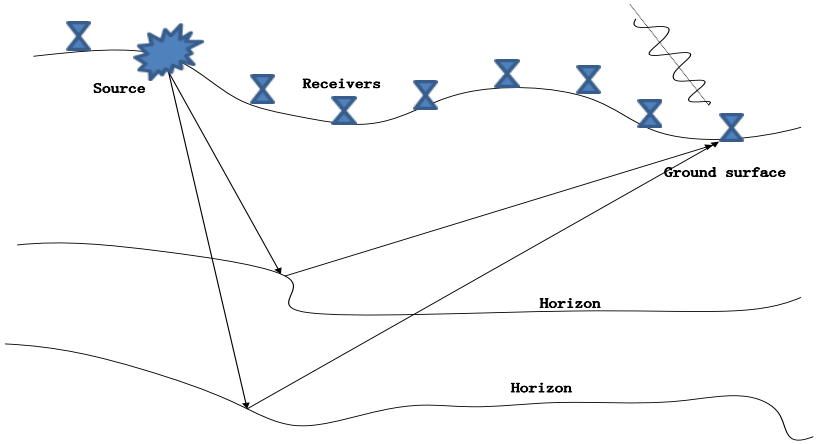
HeLa细胞显微镜图像、3D可视化、原子结构 [Ciechomski et al. 2013]

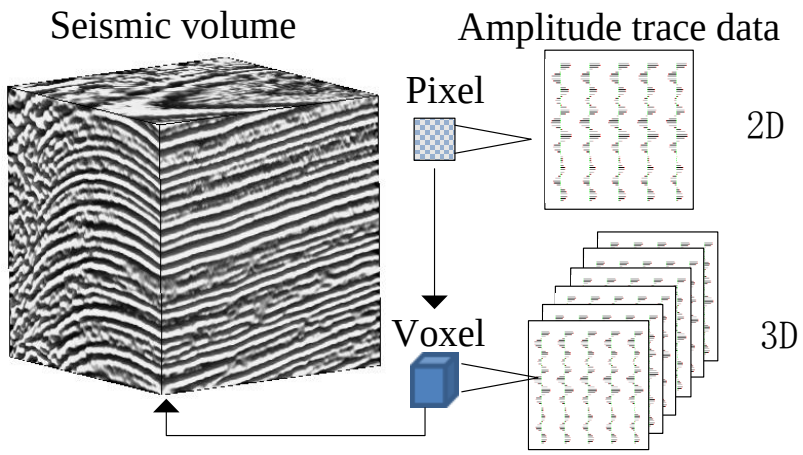
科学计算可视化应用领域

- 地质勘探



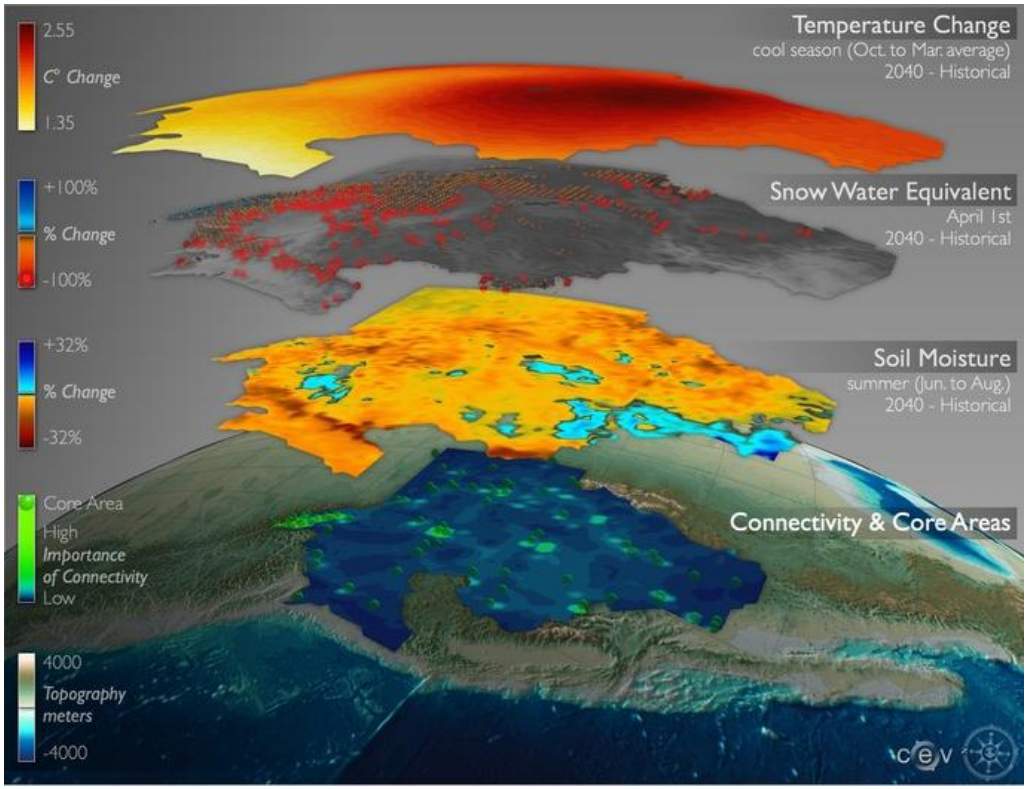
[Petrel软件]





科学计算可视化应用领域

- 气象



温度变化

雪水当量

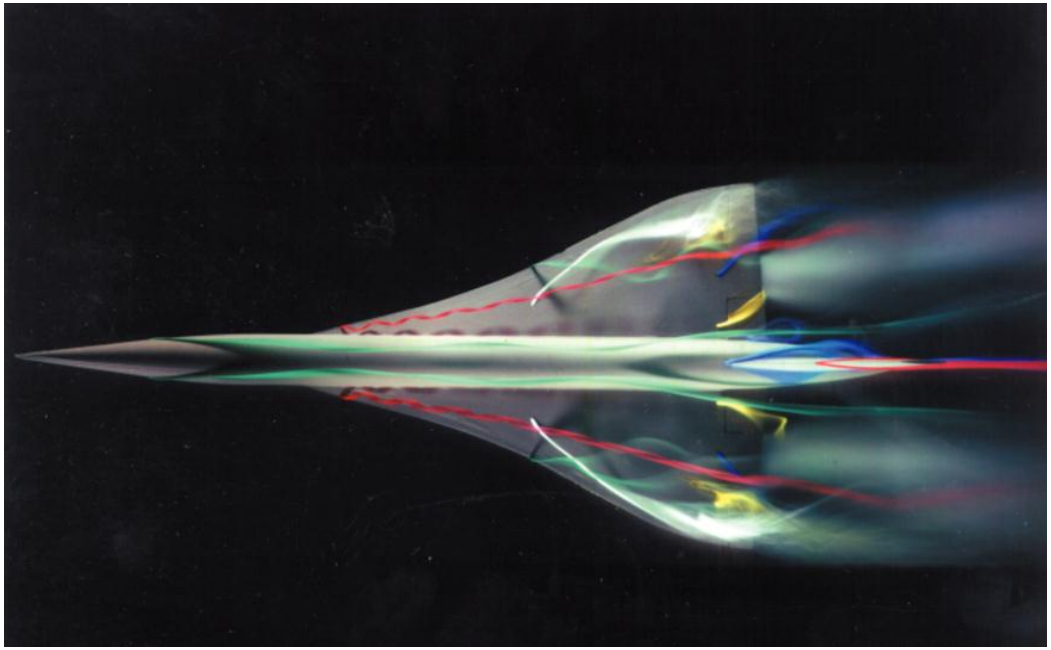
土壤水分

连通区域

科学计算可视化应用领域

科学计算可视化应用领域

- 科学计算与模拟仿真

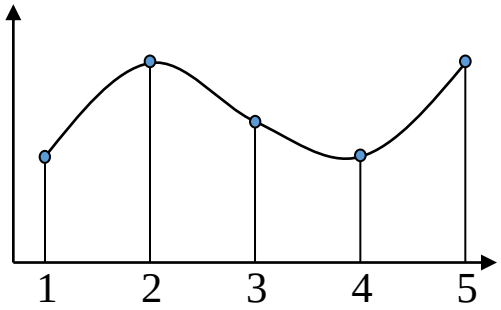


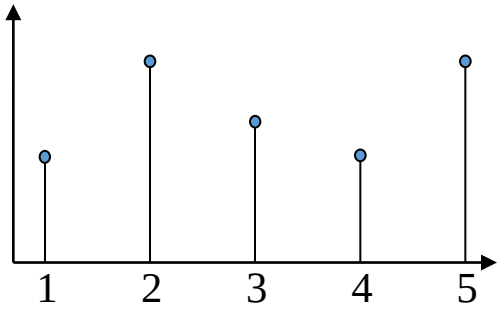
科学计算可视化

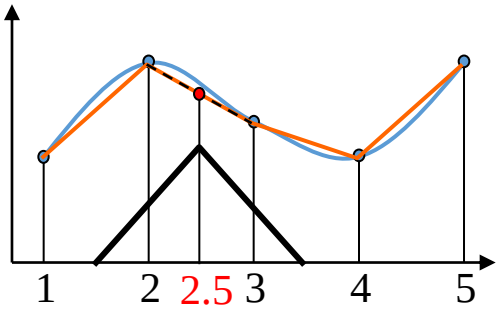
标量场数据可视化方法与实例

2

标量场数据







$v = (1-t)v_1 + tv_2$

连续三维数据

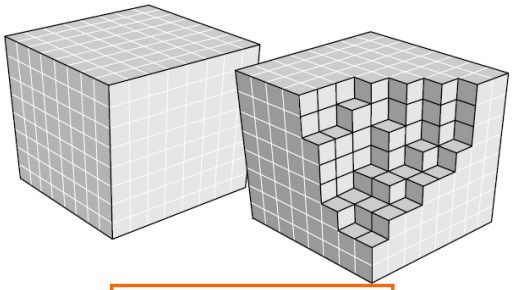
采样

离散标量场

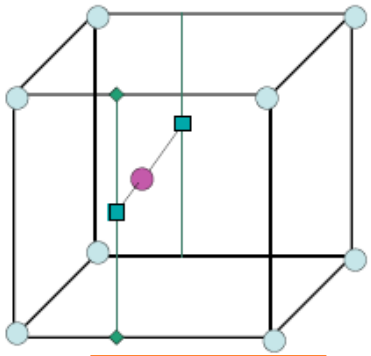
重构/重采样

二维图像
三维数据

设备采集
模拟仿真



标量场数据



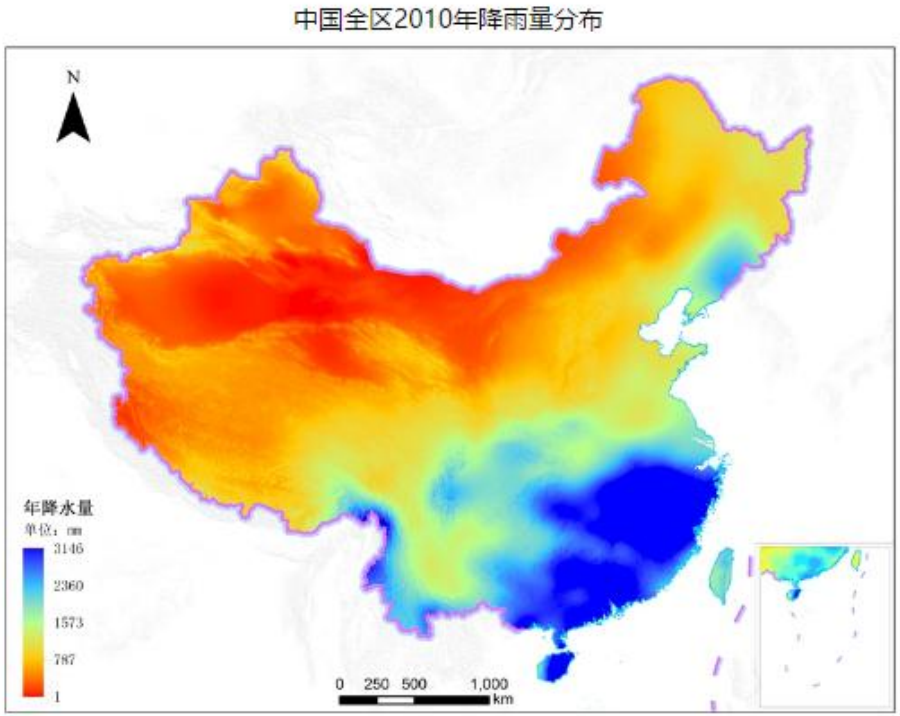
线性插值

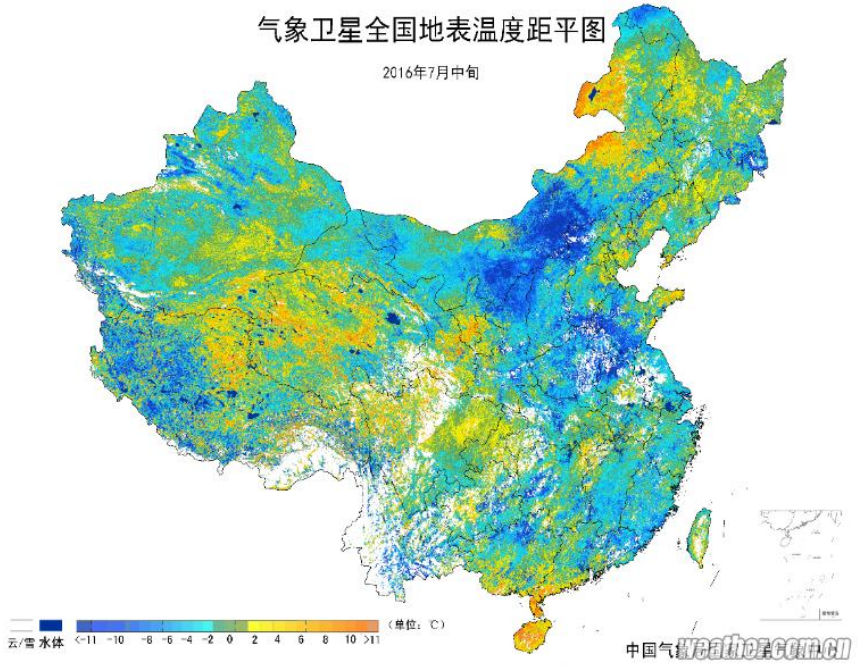
二维标量场可视化

- 二维标量场可视化方法
  - 颜色映射
  - 高度图 (Heightmap)
  - 等值线 (isocontour)

二维标量场可视化

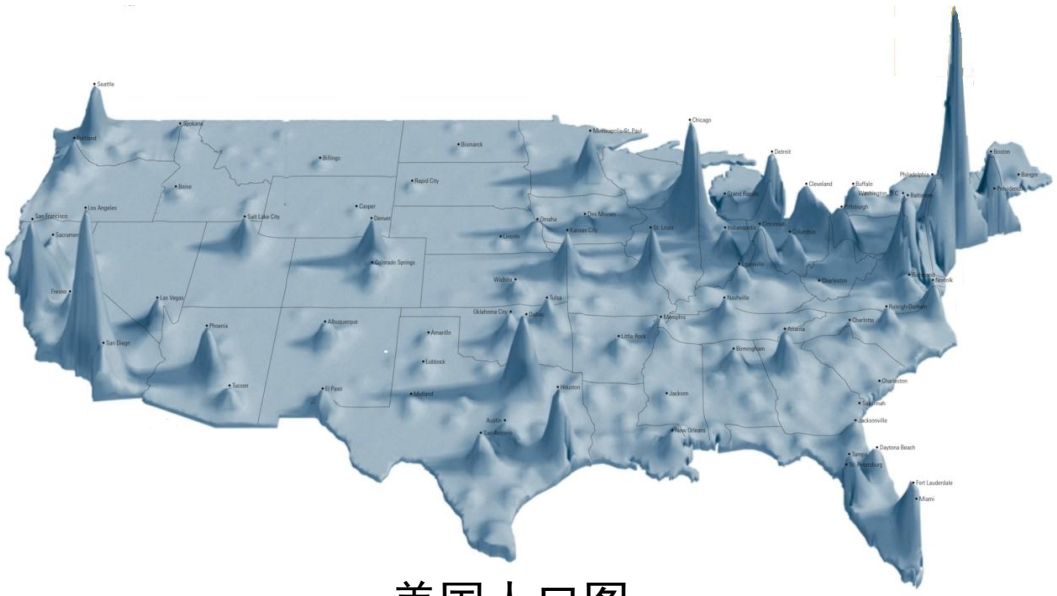
- 颜色映射
  - 用颜色编码数据 (连续或分段映射)





二维标量场可视化

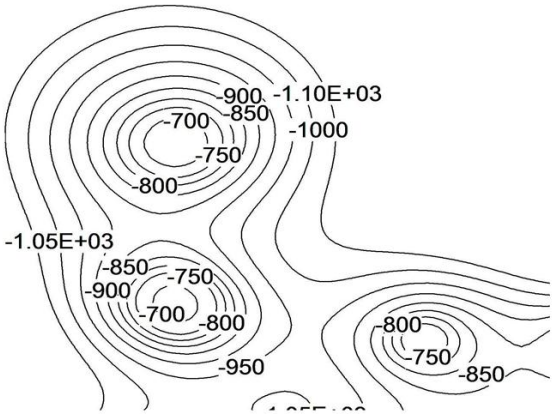
- 高度图 (Heightmap)
  - 用高度编码数据
- 实例
  - 美国人口图中，高度用于编码人口数量

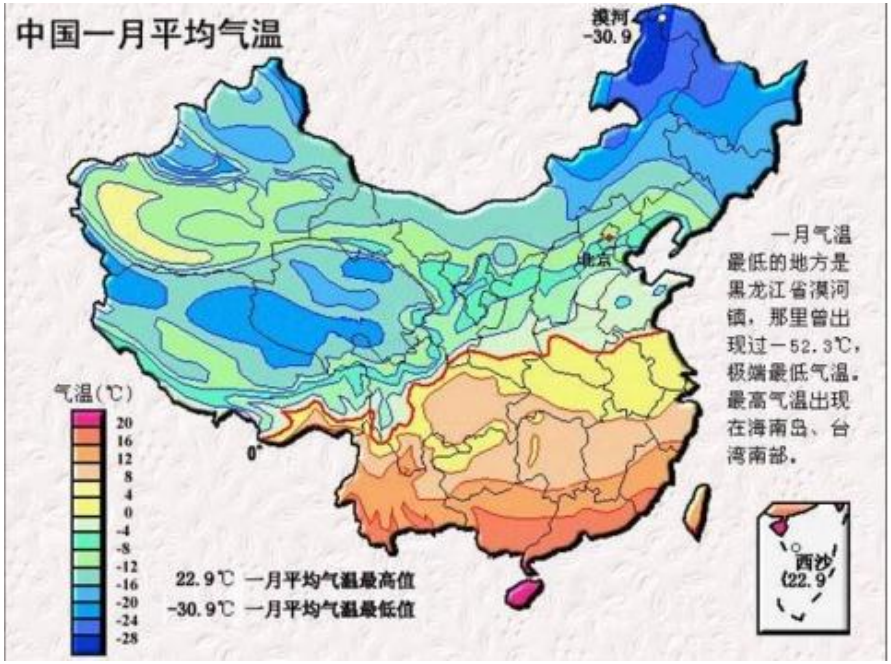


美国人口图

二维标量场可视化

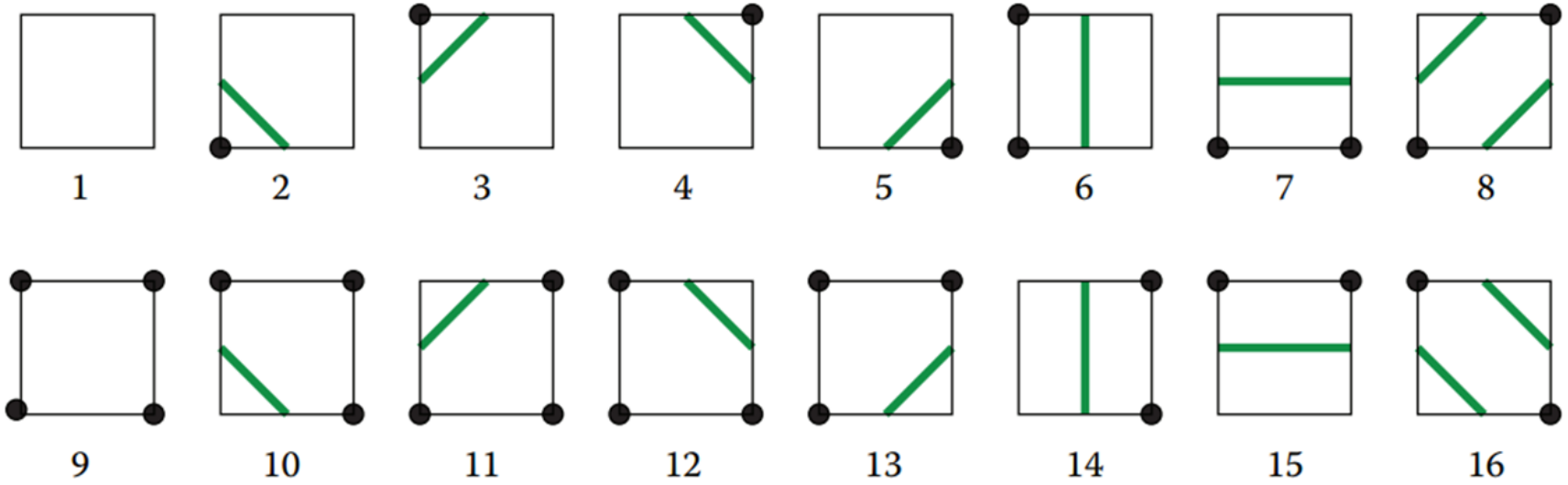
- 等值线 (isocontour)
  - 用曲线表示相同的数值，例如，等高线、等温线



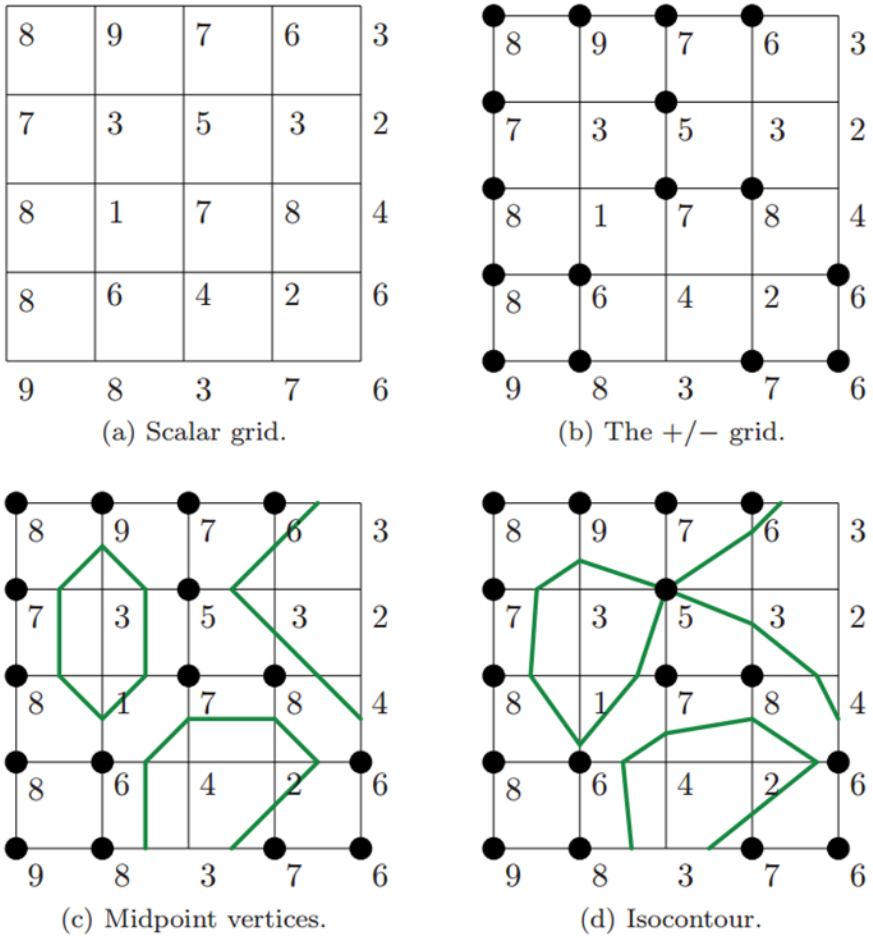


二维标量场可视化

- 等值线举例
  - 实现方式



二维标量场可视化

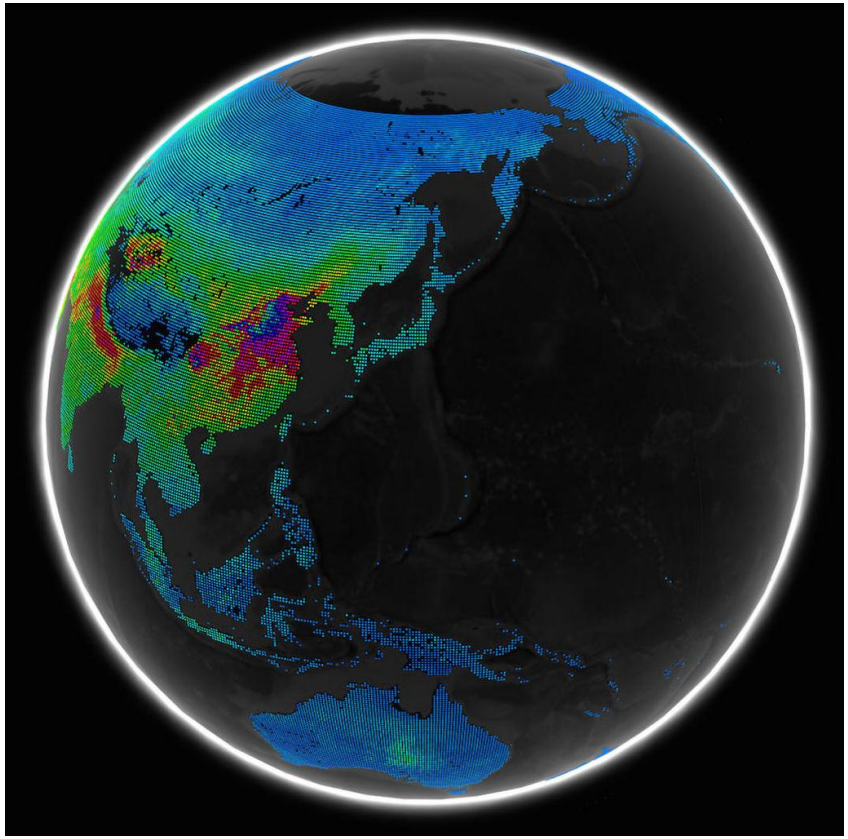


(a) Scalar grid. (b) The +/− grid.

(c) Midpoint vertices. (d) Isocontour.

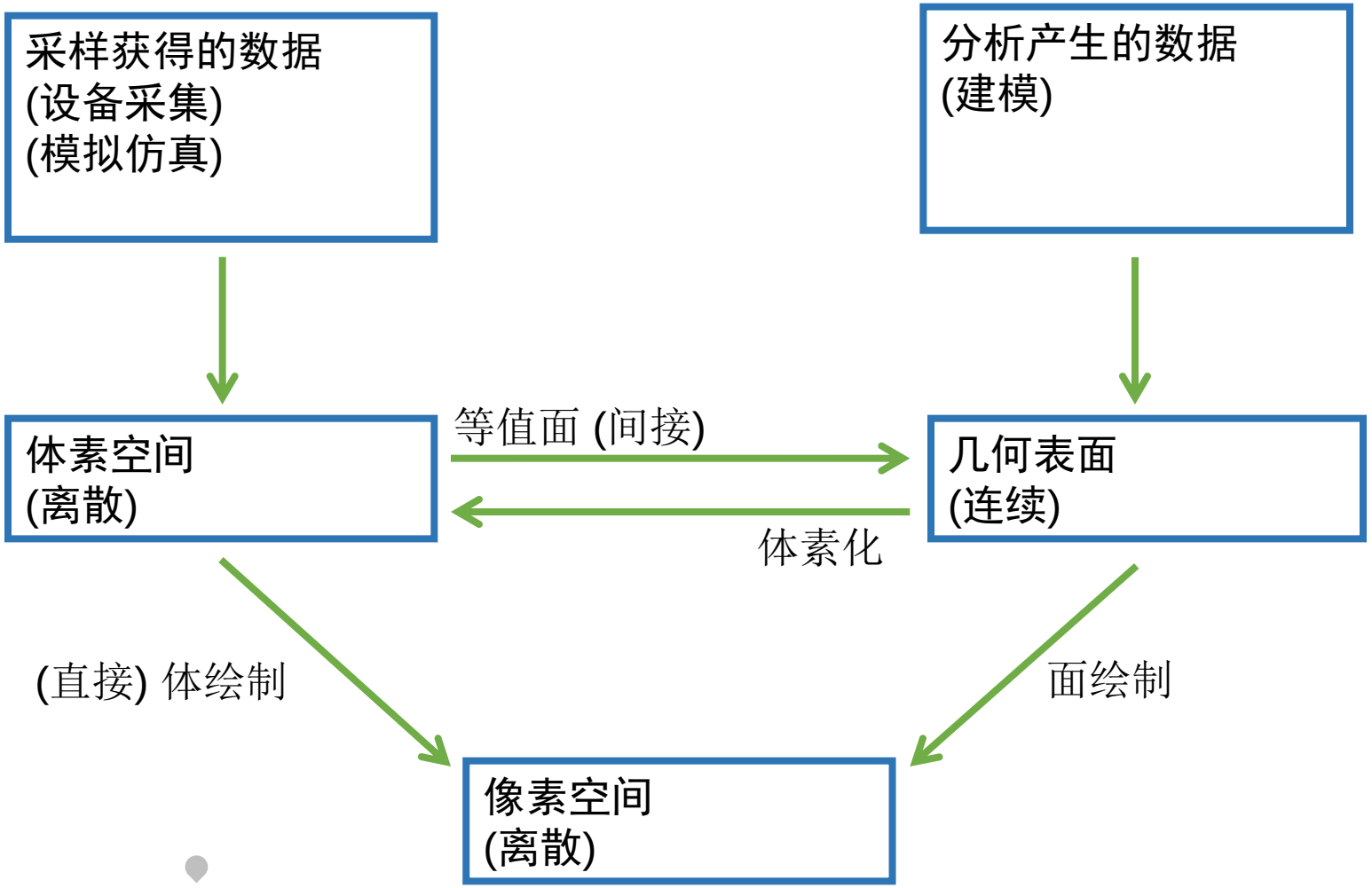
二维标量场可视化

- 全球PM2.5分布可视化实例
- 数据下载
  - NASA网站下载2001-2010年数据
- 数据格式转换
  - 利用地理信息系统（如QGIS）将数据转换为纬度，经度，数值量级
- 数据可视化 – 颜色映射
  - 利用Google的WebGL-Globe工具
  - 采用Three.js绘制地球和颜色映射



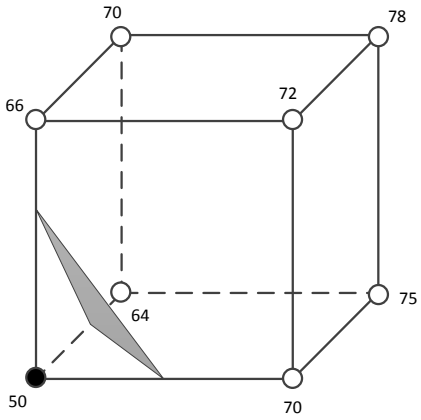
http://www.jianshu.com/p/494673f65d92

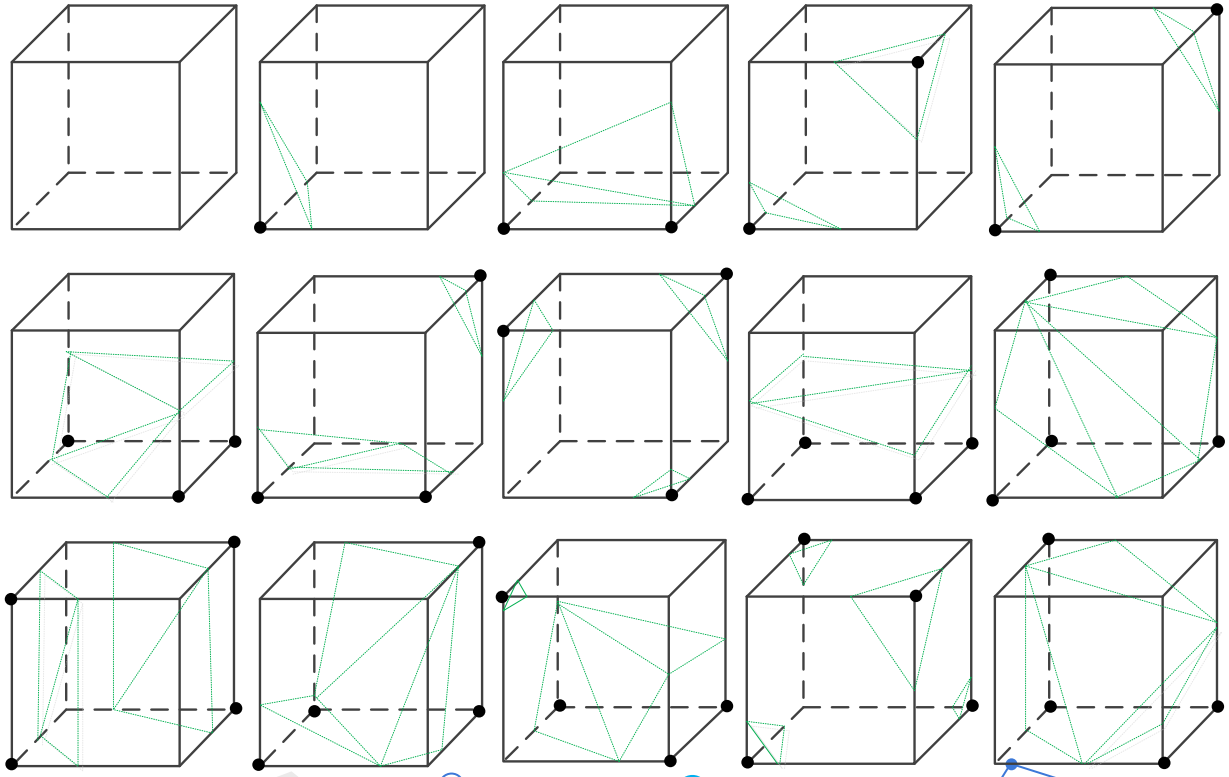
三维标量场可视化


采样获得的数据
(设备采集)
(模拟仿真)
分析产生的数据
(建模)
体素空间
(离散)
等值面 (间接)
几何表面
(连续)
体素化
(直接) 体绘制
面绘制
像素空间
(离散)

三维标量场可视化

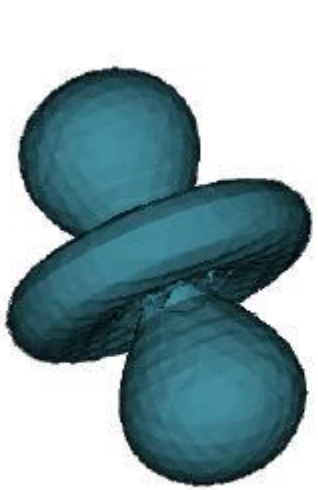
- 间接体绘制 – 将标量场转换为表面进行绘制
  - Marching cubes [Lorensen1987]

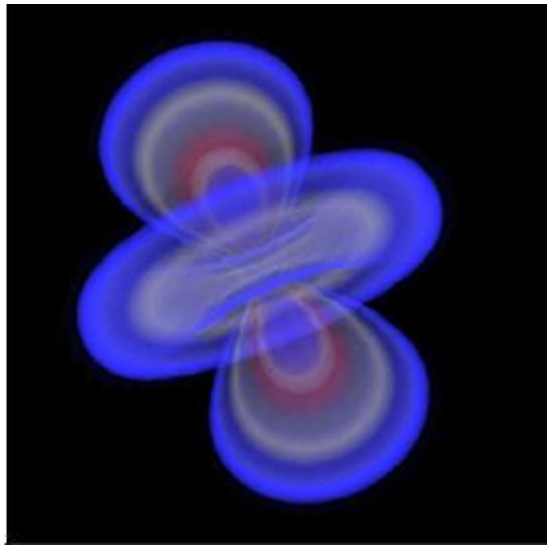




三维标量场可视化

- 直接体绘制 – 标量场的可视表达
  - Ray casting [Levoy1988]



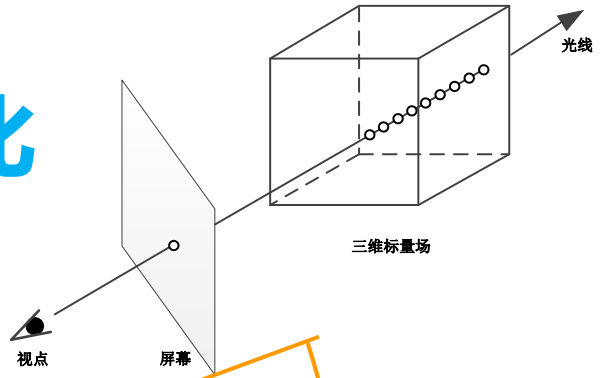


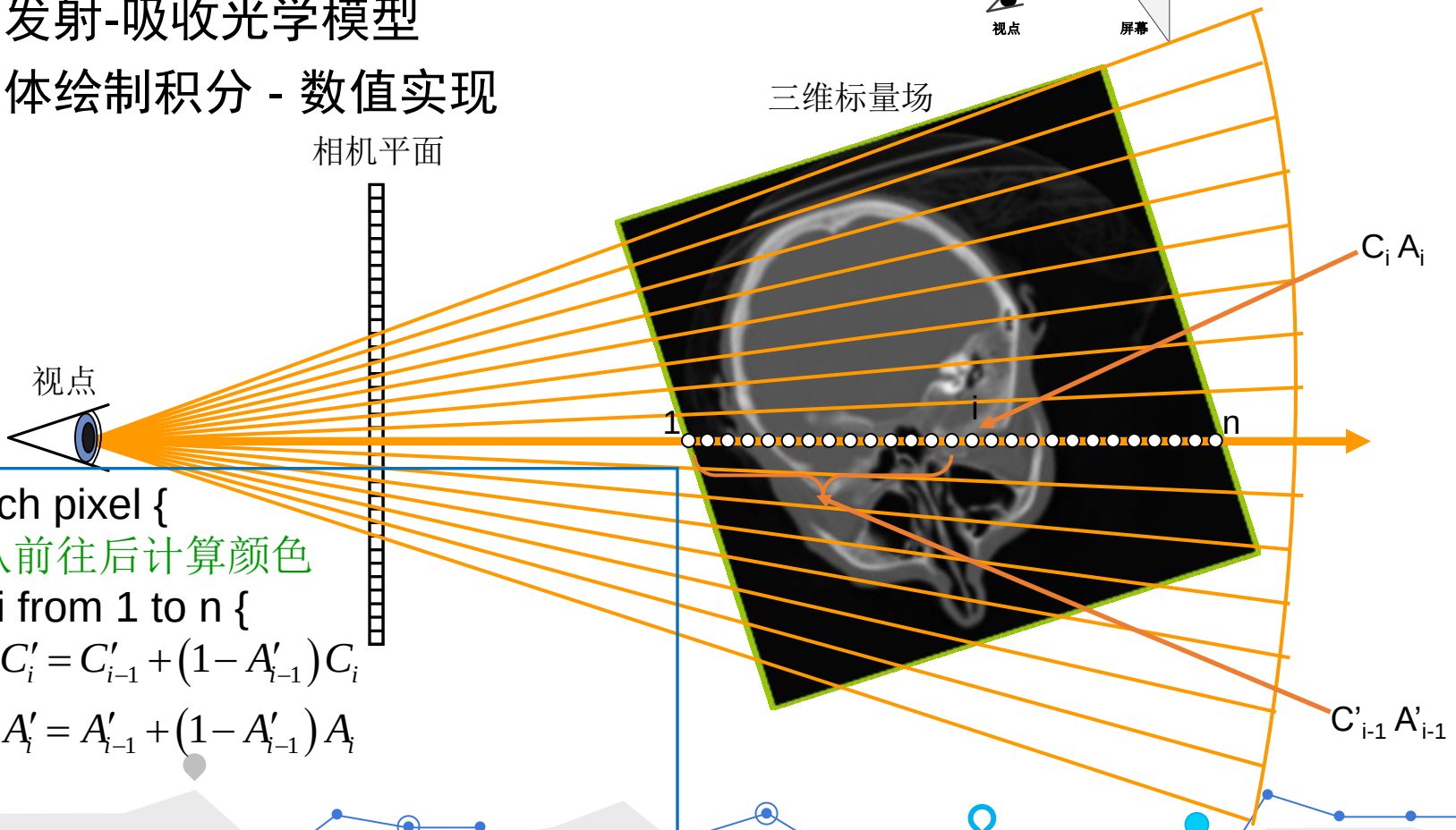
氢原子间接体绘制和直接体绘制

血管间接体绘制和直接体绘制

三维标量场可视化

- 发射-吸收光学模型
- 体绘制积分 - 数值实现

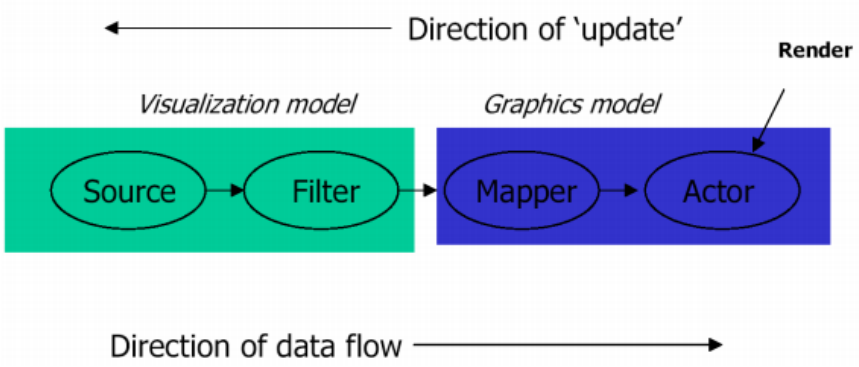




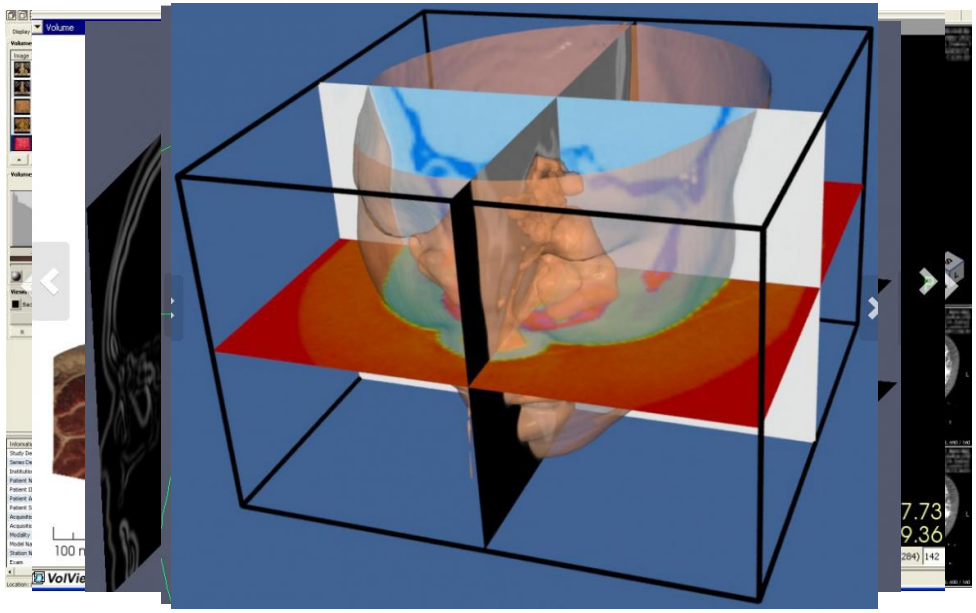

```
for each pixel {
    // 从前往后计算颜色
    for i from 1 to n {
        C'_i = C'_{i-1} + (1 - A'_{i-1}) C_i
        A'_i = A'_{i-1} + (1 - A'_{i-1}) A_i
    }
}
```

标量场可视化类库与工具

- VTK (Visualization Toolkit)
  - 开源、跨平台、可自由获取、支持并行处理的C++可视化类库，支持Python、Java和Tcl等多种语言
  - 功能包括图像处理、图形绘制、科学可视化和信息可视化等

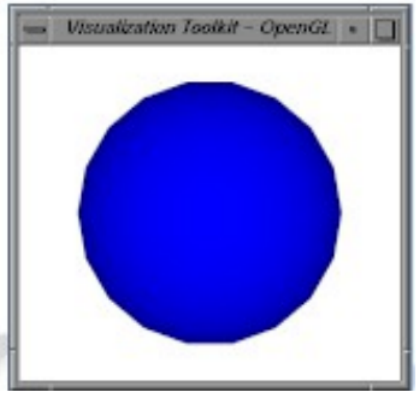


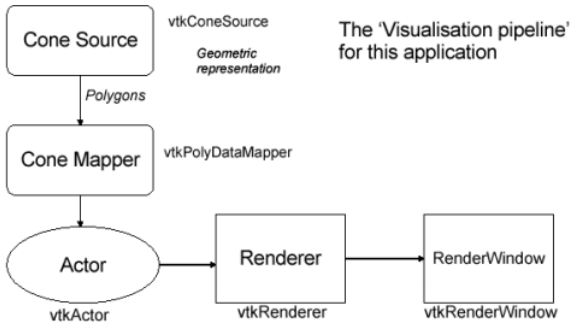
http://www.vtk.org/



标量场可视化类库与工具

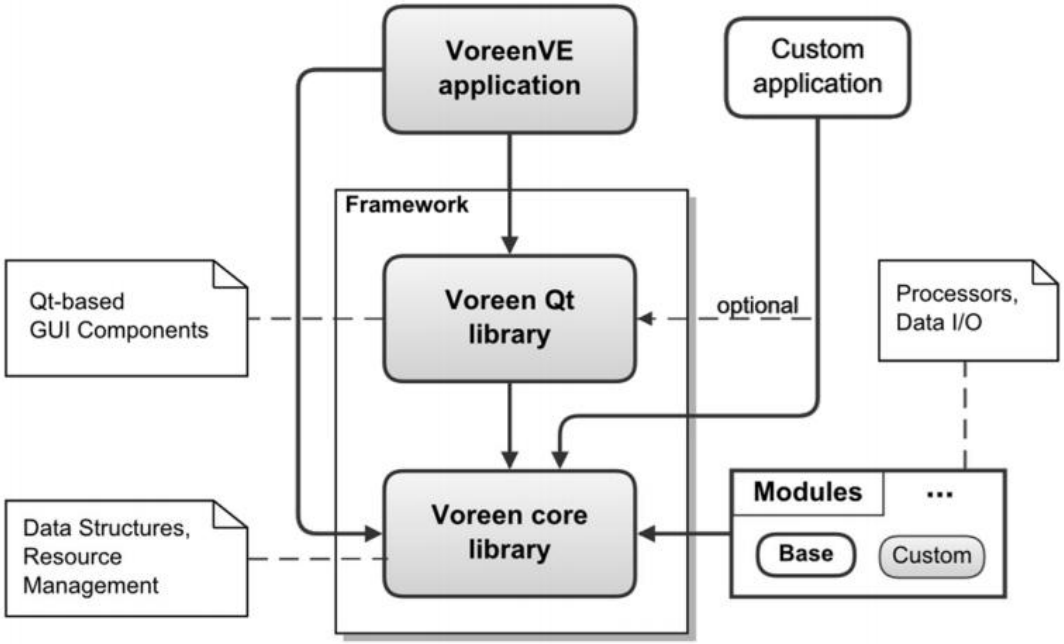
```
// geometry for sphere created
vtkSphereSource *sphere = vtkSphereSource::New();
sphere->SetRadius(1.0);    sphere->SetThetaResolution(18); sphere->SetPhi…(18);

// map to graphics library
vtkPolyDataMapper *map = vtkPolyDataMapper::New();
map->SetInput(sphere->GetOutput());

// actor coordinates geometry, properties, transformation
vtkActor *aSphere = vtkActor::New();
aSphere->SetMapper(map);                    aSphere->GetProperty()->SetColor(0,0,1); //
      sphere color blue

// renderer and render window
vtkRenderer *ren1 = vtkRenderer::New();

// render window
vtkRenderWindow *renWin = vtkRenderWindow::New(); renWin->AddRenderer(ren1);

// interactor
vtkRenderWindowInteractor *iren = vtkRenderWindowInteractor::New();
iren->SetRenderWindow(renWin);

ren1->AddActor(aSphere);                    // add the actor to the scene
renWin->Render();                           // render an image
iren->Start(); }                            // begin mouse interaction
```

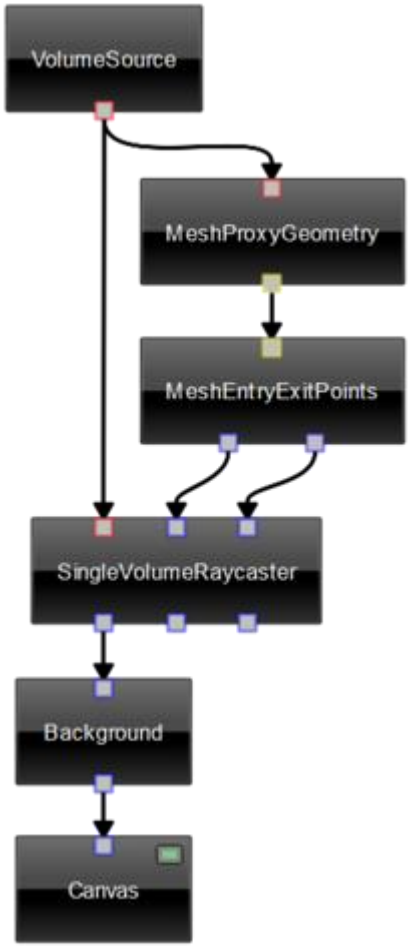




标量场可视化类库与工具

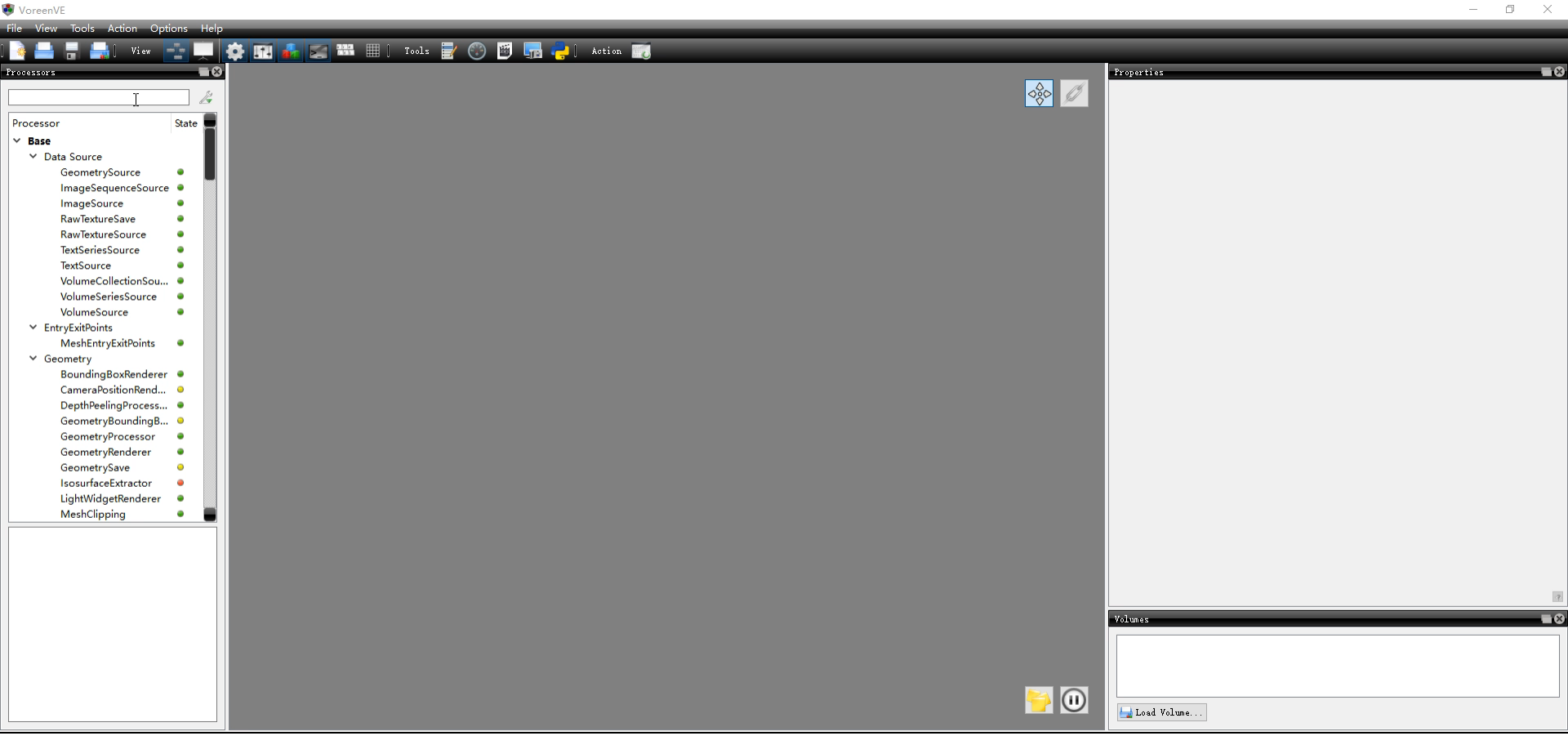
- Voreen (volume rendering engine)
  - 开源体绘制引擎，大量科学可视化组件模块
  - 基于组件的快速原型开发平台





http://www.uni-muenster.de/Voreen/

标量场可视化类库与工具



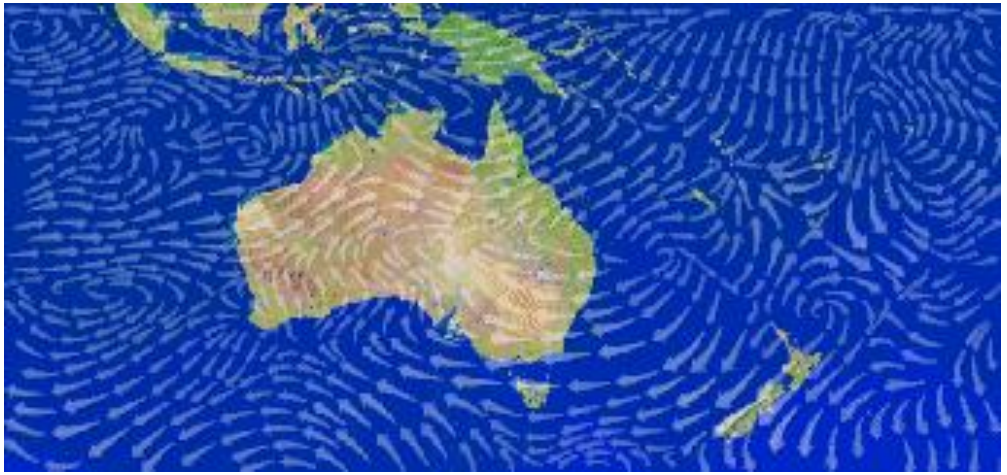
科学计算可视化

向量场数据可视化方法与实例

3

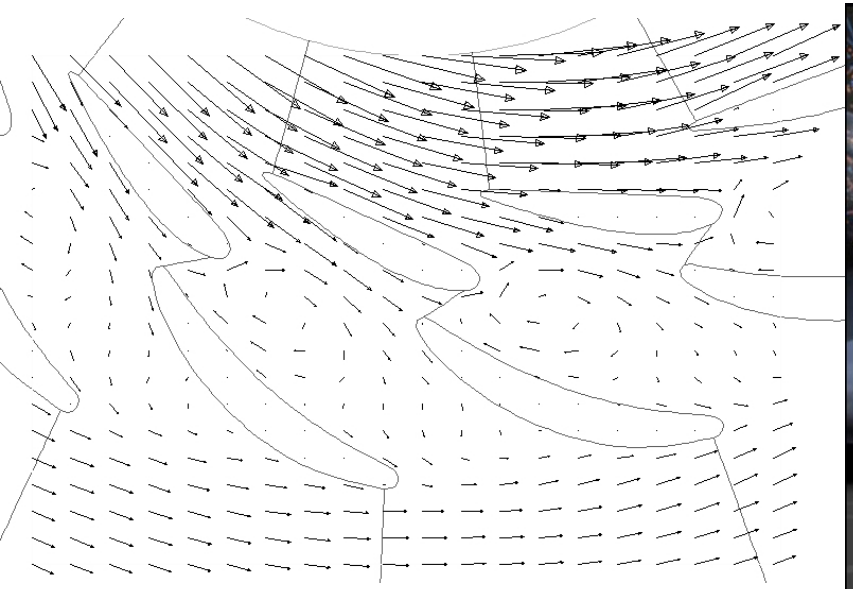
向量场可视化

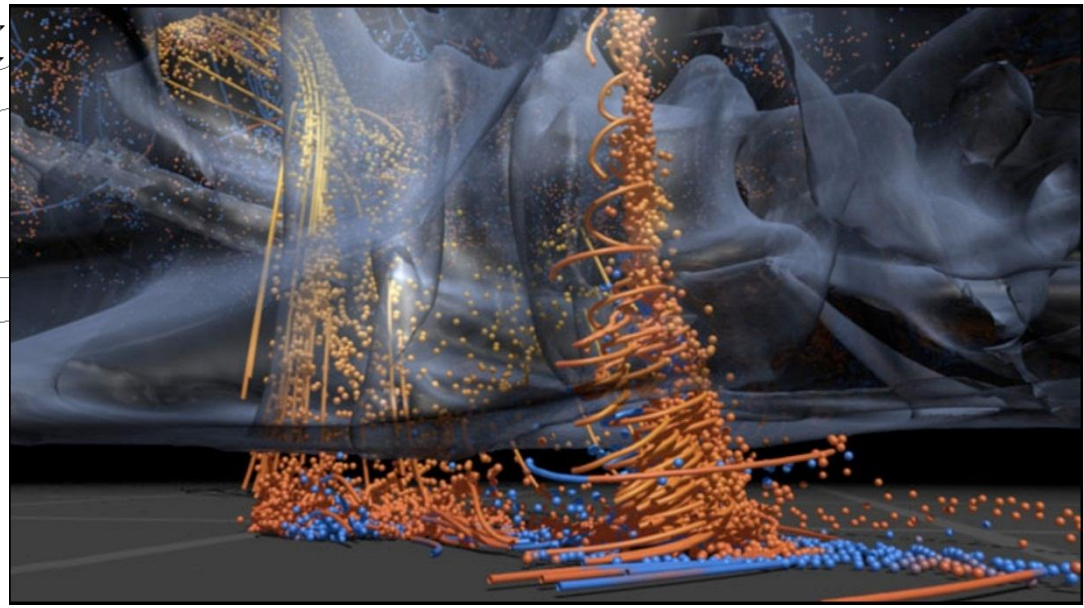
- 数据：向量方向、大小
- 可视化目标
  - 展示场的导向趋势信息
  - 表达场中的模式
- 向量场可视化方法
  - 图标法
  - 基于曲线/曲面的可视化
  - 基于纹理的可视化



向量场可视化方法

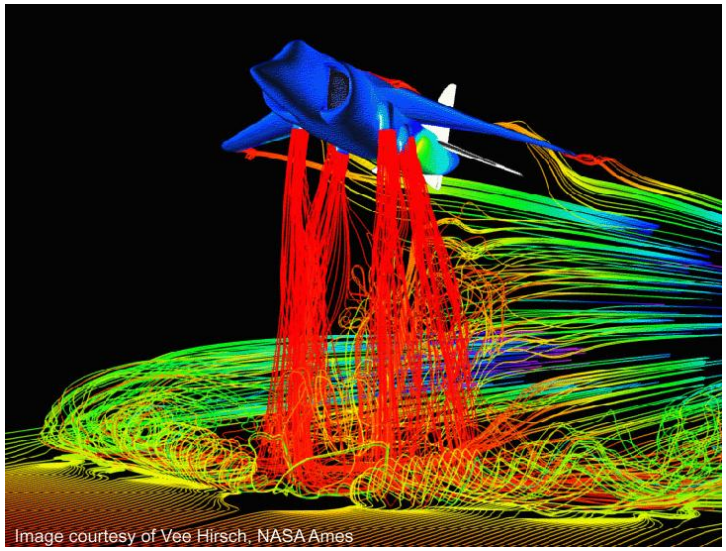
- 图标法
  - 线条（hedge hogs）
  - 箭头
  - 方向标志符





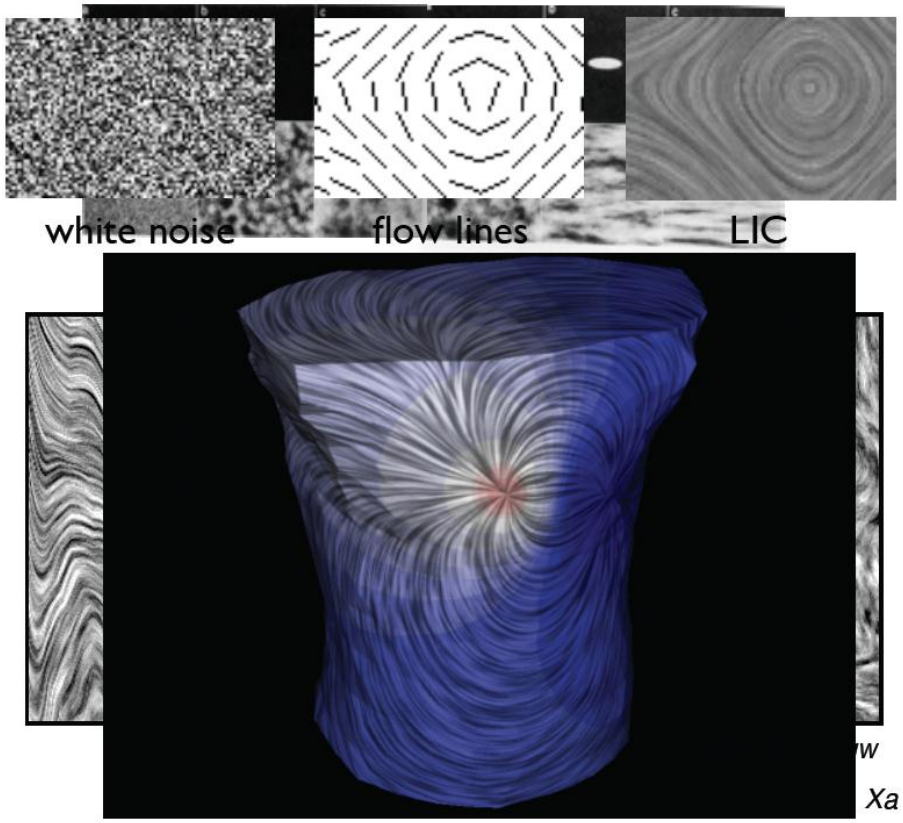
向量场可视化方法

- 基于曲线/曲面的可视化
- 流线（streamline），迹线（pathline），时间线（timeline），纹线（streakline）
- 条带（ribbons）
- 管道和气泡
- 流面（stream surfaces）
- 流体（stream volumes）

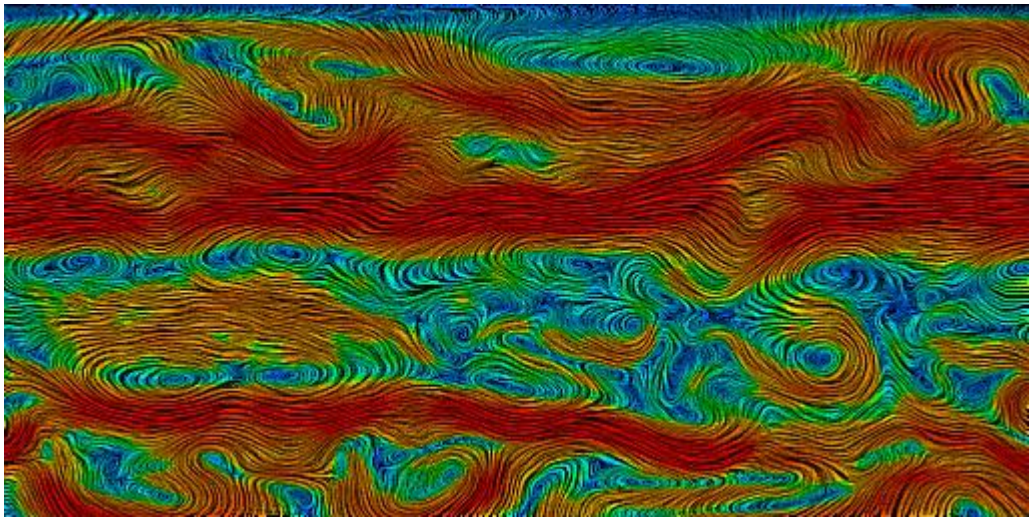


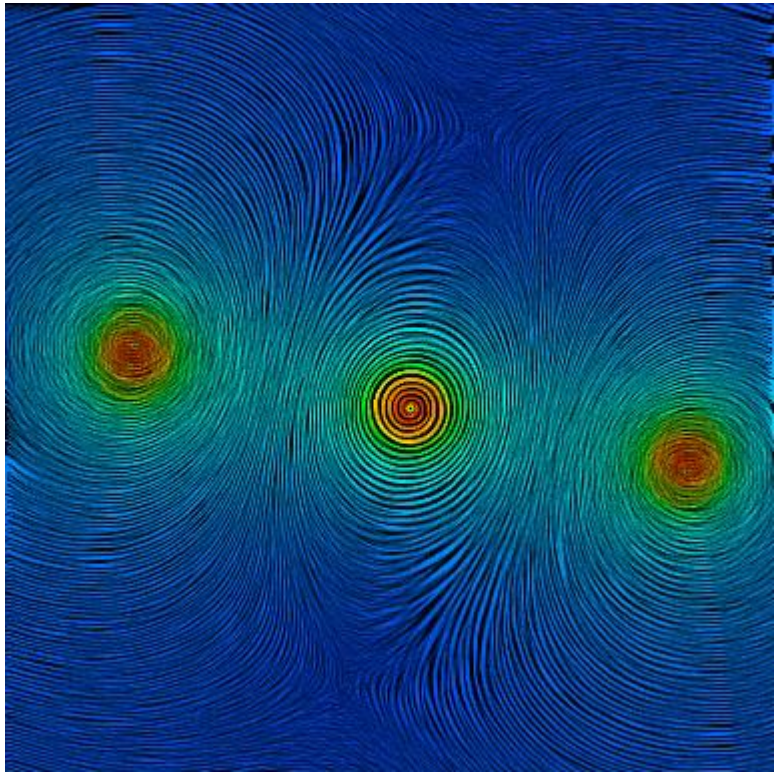
向量场可视化方法

- 基于纹理的可视化
- 点噪音
  - 带有随机噪声的卷积模糊点
- 线卷积积分（line integral convolution, LIC）
  - 将白噪声与流畅进行卷积



向量场可视化方法

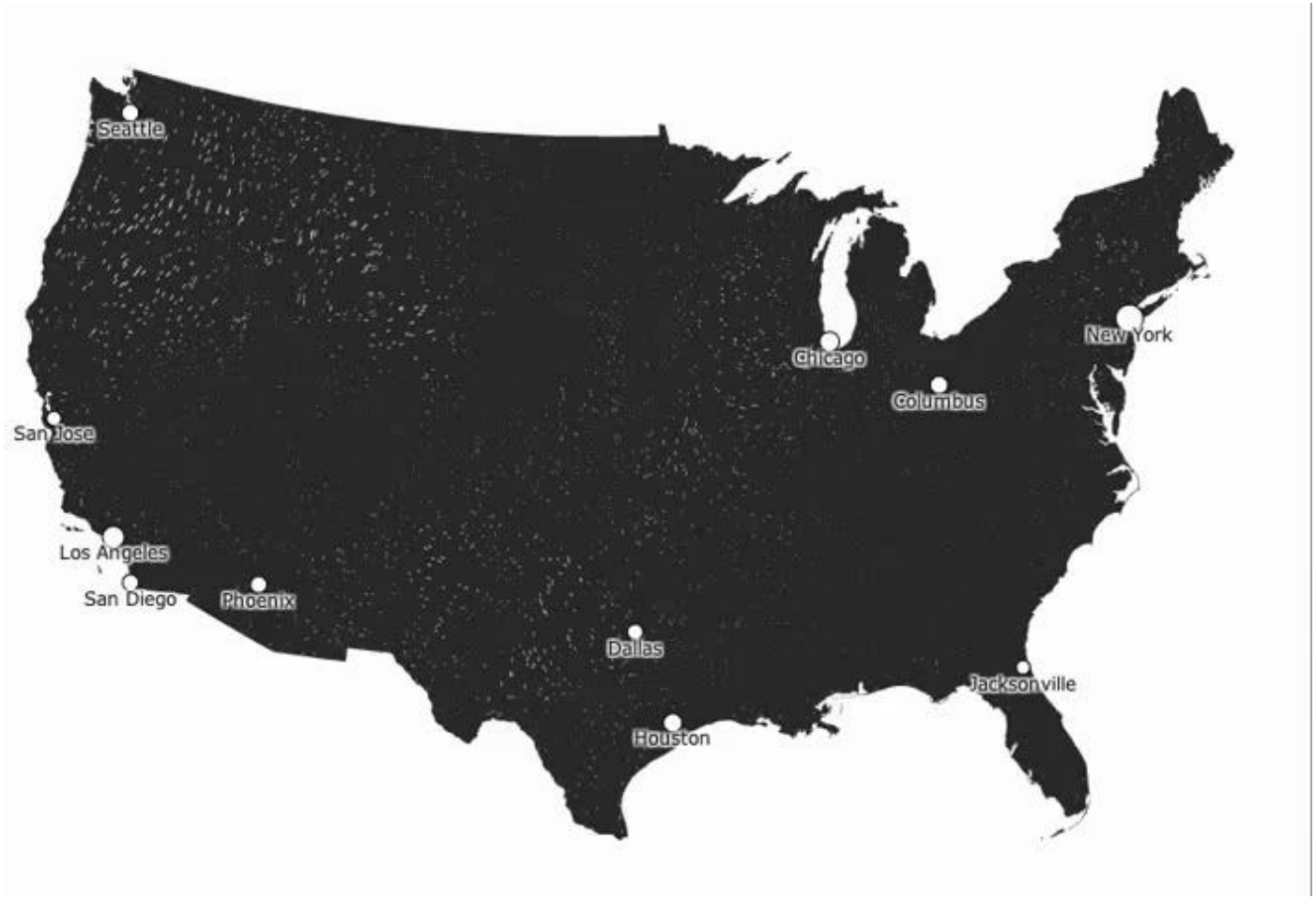




American Wind Field

http://hint.fm/wind/gallery/mar-14.js.html

向量场可视化实例



http://hint.fm/wind/

向量场可视化实例

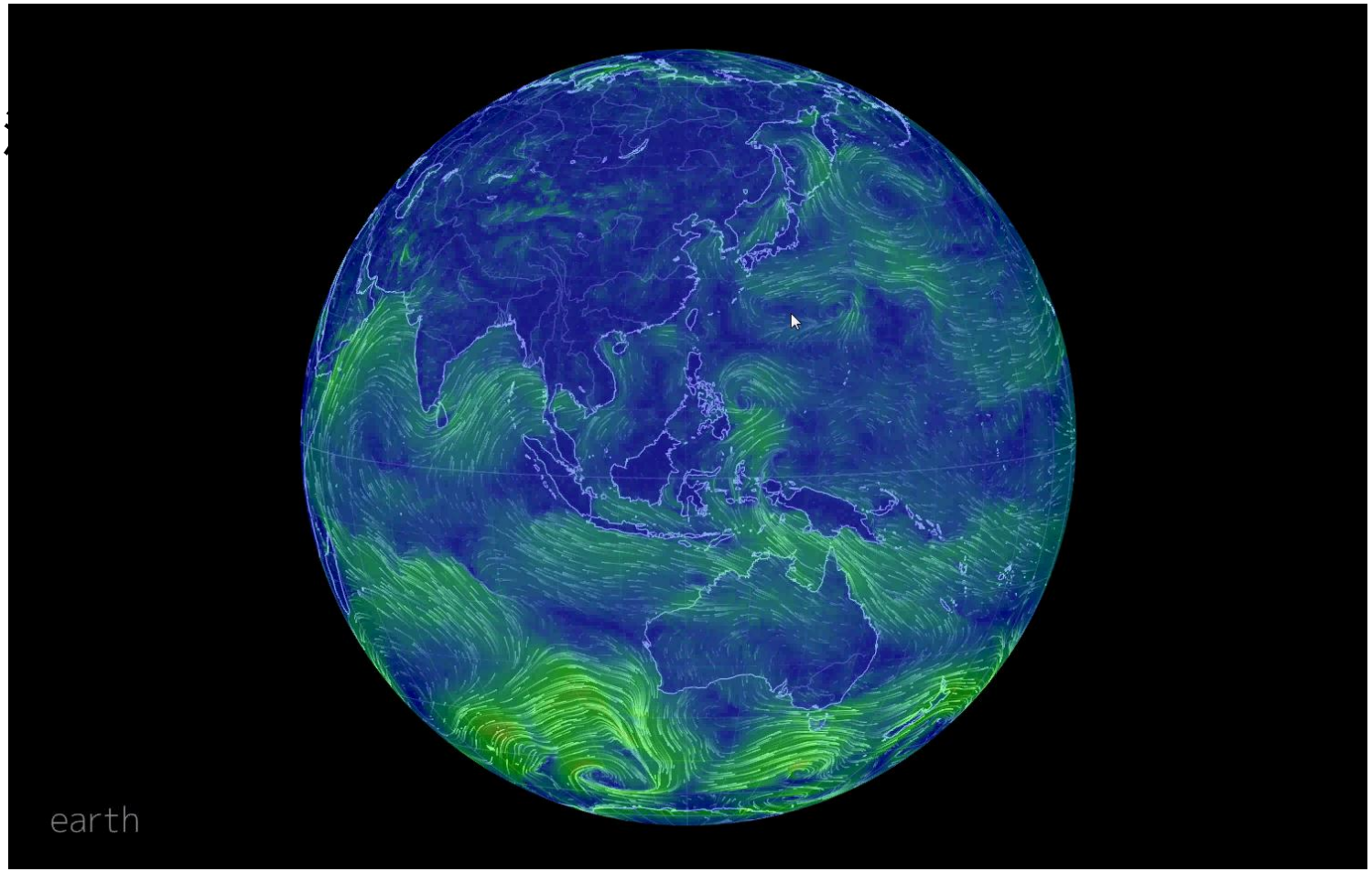
- 数据获取
  - National Digital Forecast Database，每小时预测地表风场数据
- 数据可视化 – 流线
  - 粒子沿着当前位置的风向运动
  - canvas中绘制粒子，通过age控制粒子亮度

```
MotionDisplay.prototype.moveThings = function(animator) {
    var speed = .01 * this.speedScale / animator.scale;
    for (var i = 0; i < this.particles.length; i++) {
        var p = this.particles[i];
        if (p.age > 0 && this.field.inBounds(p.x, p.y)) {
          var a = this.field.getValue(p.x, p.y);
            p.x += speed * a.x;
            p.y += speed * a.y;
            p.age--;
        } else {
            this.particles[i] = this.makeParticle(animator);
        }
    }
};
```

$$p_{i+1} = p_i + speed * v(p_i)$$

http://hint.fm/wind/

气象与空气污染数据可视化实例



https://earth.nullschool.net/

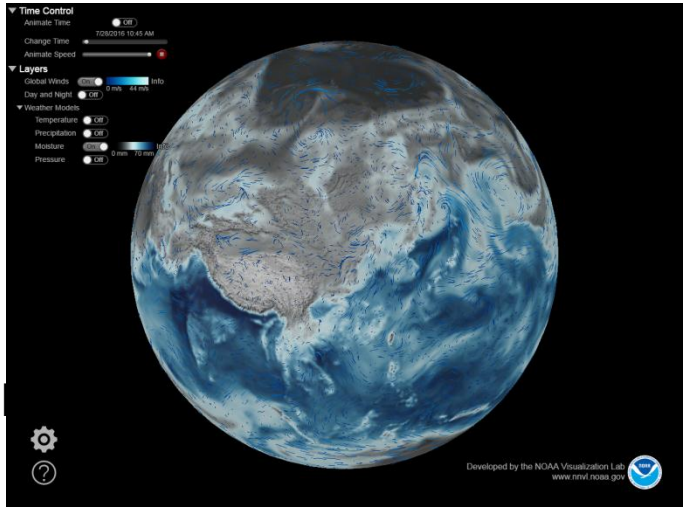
总结 - 科学计算可视化方法

- 二维标量场可视化方法
  - 颜色映射
  - 高度图
  - 等值线
- 三维标量场可视化方法
  - 间接体绘制
  - 直接体绘制
- 向量场可视化方法
  - 图标法
  - 基于曲线/曲面的可视化
  - 基于纹理的可视化

总结 - 科学计算可视化工具

- 科学计算可视化开发工具
  - OpenGL，WebGL (OpenGL ES)
  - VTK，three.js
  - Voreen
- 科学计算可视化软件
  - 生物医学可视化：VolView，3D Slicer，Osirix，Amira
  - 气象可视化：GrADS，Vis5D
  - 可视交互编程：Voreen，OpenDX
  - 并行可视化：ParaView，VisIt

总结 – 气象与空气污染数据可视化



- 工具与软件
  - three.js，WebGL-Globe，GrADS，Vis5D
- 可视化案例
  - https://earth.nullschool.net/
  - http://www.nnvl.noaa.gov/weatherview/index.html
- 参考文献
  - Qu et al., *Visual Analysis of The Air Pollution Problem in Hong Kong*. TVCG 2007
  - Gu et al., TransGraph: *Hierarchical Exploration of Transition Relationships*
  - *in Time-Varying Volumetric Data*, TVCG 2011
  - Biswas et al., *An Information-Aware Framework for Exploring Multivariate Data Sets*. TVCG 2013
  - Liu et al., *Association Analysis for Visual Exploration of Multivariate Scientific Data Sets*. TVCG 2016

谢谢

陶煜波

taoyubo@cad.zju.edu.cn