

8-3-2020

New 2D Flow Visualization Method Based on Mutual Information and Image Fusion

Weihua Shen

1. Lishui University, Lishui 323000, China; ;

Shengbo Wang

2. Digital Media and HCI Research Center, Hangzhou Normal University, Hangzhou 310013, China; ;

Zhigeng Pan

2. Digital Media and HCI Research Center, Hangzhou Normal University, Hangzhou 310013, China; ;3. High-tech R&D Center, VIXIO Animation and Game Company, Changchun 130000, China;

Follow this and additional works at: <https://dc-china-simulation.researchcommons.org/journal>



Part of the Artificial Intelligence and Robotics Commons, Computer Engineering Commons, Numerical Analysis and Scientific Computing Commons, Operations Research, Systems Engineering and Industrial Engineering Commons, and the Systems Science Commons

This Paper is brought to you for free and open access by Journal of System Simulation. It has been accepted for inclusion in Journal of System Simulation by an authorized editor of Journal of System Simulation.

New 2D Flow Visualization Method Based on Mutual Information and Image Fusion

Abstract

Abstract: A overview of flow visualization method based on *information theory* was made. After a comparative analysis of several classic two-dimensional flow visualization techniques, *the concept of mutual information from information theory and image fusion technique* was used to deal with the existing classical two-dimensional flow visualization techniques. A new two-dimensional flow visualization technique was obtained. The visualization results of the new method is very well.

Keywords

mutual information, image fusion, 2D flow, visualization

Recommended Citation

Shen Weihua, Wang Shengbo, Pan Zhigeng. New 2D Flow Visualization Method Based on Mutual Information and Image Fusion[J]. Journal of System Simulation, 2015, 27(8): 1796-1800.

基于互信息和图像融合的二维流场可视化

沈伟华¹, 王盛波², 潘志庚^{2,3}

(1. 丽水学院, 丽水 323000; 2. 杭州师范大学数字媒体与人机交互研究中心, 杭州 310013; 3. 吉林纪元时空, 长春 130000)

摘要: 对基于信息论的流场可视化方法进行概述, 在比较分析了几种经典的二维流场可视化技术之后, 运用信息论中互信息的概念以及图像融合的技术, 对已有的经典二维流场可视化技术进行处理, 得到一种新的二维流场可视化技术, 并得到不错的可视化结果。

关键词: 互信息; 图像融合; 二维流场; 可视化

中图分类号: TP391.9

文献标识码: A

文章编号: 1004-731X (2015) 08-1796-05

New 2D Flow Visualization Method Based on Mutual Information and Image Fusion

Shen Weihua¹, Wang Shengbo², Pan Zhigeng^{2,3}

(1. Lishui University, Lishui 323000, China; 2. Digital Media and HCI Research Center, Hangzhou Normal University, Hangzhou 310013, China; 3. High-tech R&D Center, VIXIO Animation and Game Company, Changchun 130000, China)

Abstract: A overview of flow visualization method based on *information theory* was made. After a comparative analysis of several classic two-dimensional flow visualization techniques, *the concept of mutual information from information theory and image fusion technique* was used to deal with the existing classical two-dimensional flow visualization techniques. A new two-dimensional flow visualization technique was obtained. The visualization results of the new method is very well.

Keywords: mutual information; image fusion; 2D flow; visualization

引言

向量场数据大多来自对流场的模拟或观察, 如在流体力学中对水流的模拟或气象站对大气中风向的观测, 所以向量场数据也可以看成是流场数据: 每一个时空中的点都有一个代表在这一点上流向的向量。流场数据可视化的方法多种多样, 适用于不同的数据、用户和任务, 按照数据处理的模式, 可将他分为标记法、积分曲线法、纹理法和拓扑法。也有作者^[1]在汇总现阶段的工作之后, 将流场可视

化方法概括成 5 类, 分别是直接法, 纹理法, 线形法, 特征法以及信息论法。

1 相关工作

在流场可视化研究领域, 基于信息论的方法变得流行, 越来越多的相关工作正定量地分析流场可视化结果。Chen^[2]做了一个调查研究, 关于信息论的方法是否能成为可视化的理论框架, 最终得出信息论中的很多概念都是跟可视化相关的。流场可视化的过程其实可以看成是一个可视通信通道, 输入的是流场的原始数据, 输出的是经过可视化算法的结果, 因此, 可以通过计算经过该通道后还剩下多少信息量来评估一种可视化方法。Wang^[3]讨论了信息论中的概念是如何被使用到可视化过程中的, 以及通过联系数据通信与数据可视化来解释信息是



收稿日期: 2015-05-10 修回日期: 2015-06-14;
基金项目: 国家自然科学基金(61332017); 国家科技支撑计划项目(2013BAH24F00);
作者简介: 沈伟华(1976-), 男, 浙江, 硕士, 研究方向为虚拟现实和计算机辅助设计; 王盛波(1990-), 男, 浙江, 硕士, 研究方向为智能媒体与人机交互技术; 潘志庚(1965-), 男, 江苏, 博士, 教授, 博导, 研究方向为虚拟现实、多媒体、图形学、游戏。

<http://www.china-simulation.com>

• 1796 •

怎样被定量测量的。Lijie^[4]提出可以运用信息熵来测量流场中的信息量这个方向上来可视化二维流场。若流体场可视化中的基本组成元素为流线, 它们在可视化结果中显示的效果是能被测量的。首先从已有的流线组成的流体场中衍生出一种新的流场分布, 然后通过条件信息熵计算比较这种新的分布与原始数据集的区别, 这两者之间的条件信息熵暗示了用被选取的流线来可视化流场后原始数据有多少被隐藏起来了。每次在原有流场可视化显示图中加入新的流线直到条件信息熵变得很小, 这样做可以使流场的可视化效果提升。

信息论方法的目标是定量地分析如何将流场的输入数据一步步地通过流场表示线来显示流场, 而信息论中的信息熵、条件信息熵和互信息量的概念被充分利用来达到这个目标。如果将流体场的原始数据看成是随机变量 X , X 是由流场原始数据值 x_1, x_2, \dots, x_n 组成, 每一个数据值 x_i 都具有一个概率 $P(x_i)$ 。那么在这个随机变量 X 中所包含的不确定的平均量, 或者说能表示 X 所需的最小信息位就是该随机变量 X 的信息熵 $H(X)$ 。通过流场可视化方法之后得到的结果看成是由流场表示线集合组成的另一个随机变量 Y , 显然随机变量 X 和 Y 是有联系的, 用条件信息熵 $H(X|Y)$ 来表示在用可视化方法显示之后的 Y 中保留有多少原始流场 X 中的信息。运用条件信息熵的方法, 流线替代算法就能自适应地在流场特征域及那些没有被完全显示流场信息的区域中产生更多的流线。当存在一个供参考的可视化方法时, 还可以运用互信息的概念来生成新的可视化方法, 关于这点, 本文后面提出的新方法就是采用了这一思想。互信息 $\varphi(X, Y)$ 计算的是在获得随机变量 Y 的信息后, 随机变量 X 的不确定信息的减少量^[2]。

在流场可视化过程中, 香农信息熵可以灵活地评估流场数据。Wang^[5]用熵场来处理 2 维飓风数据。Janicke^[6]运用归一化的互信息量 $\varphi(X; Y) / \sqrt{H(X)H(Y)}$ 来计算由气象数据转换而来的两个功率谱之间的距离, 以距离为参数进行聚

类, 再加上小波分析使得整个 2 维气象场数据能够被合理有效地可视化。Bruckner^[7]用另一版本的归一化互信息量 $2\varphi(X; Y) / (H(X) + H(Y))$ 来评估两个等值面见的相似性。Janicke^[8]通过从有限状态元胞自动机来扩展局部统计复杂性的概念来达到检测流场中重要区域的目的。为了改进局部统计复杂性方法的这一缺陷, Janicke^[9]引入了因果状态这一概念, 表示的是流场之前被观察到的状态与之后将要出现的状态之间的原因与结果的关联, 将该因果状态运用到飓风场以及涡流场中都能得到很好的可视化效果。在所有基于信息论的方法中, 只有少许的方法(因果状态、局部统计复杂性)能够处理时序数据的可视化, Janicke^[10]总结了关于流场中关键区域自动检测的算法, 用涡流场进行可视化实验, 得出可以联合使用上述方法来得到比单独使用更有效的可视化结果。

对二维流场可视化结果进行一些交互处理也是一种很好的方式来达到用户所需可视化要求, 因为交互处理相较于用户研究简单很多, 但又比自动方法得到的效果更好, 所以说交互式的方法是一种用户研究和自动方法之间的折中方法。二维流场可视化领域, 有经典的六种方法。分别是 GRID (icons on a regular grid), JIT (icons on a jittered grid), LIC (line-integral convolution), LIT (icons using one layer of a visualization method that borrows concepts from oil painting), OSTR (image-guided streamlines), GSTR (streamlines seeded on a regular grid)。David^[11]设计了 User Study 的方法对六种方法做了详细地比较分析, 发现在选取流场中所有特征点时, 线积分卷积(LIC)是效果最好的方法, 因为该方法能够显示流场中几乎所有的细节信息, 然而 LIC 不能表示出流场流向信息, 所以在确定流场中某点流向时效果最差。这一点 OSTR 和 GSTR 表现得最好。能否有可视化方法既能表征出流场的详细信息, 又能显而易见地确定任何一点的流向, Wolfram^[12]引入了交互的处理方式来达到这一目的。在分析了 Laidlaw 的结果之后, Daniel^[13]提出一种新的二维

流体场可视化设计,是由视觉设计专家在比较了几种常用二维流体可视化方法之后书面画出来的,通过保留 LIC 方法的触感信息,在加上线形法中类似 OSTR 的流向信息,这使得可视化的结果更加清晰和更具信息量。也有些学者用联合的思想来交互实现二维流体场的可视化, Schrodner^[14]提出在二维流体场可视化中,将 LIC 方法得到的流场为背景,交互地在之上用其他颜色画出一些线条,当然线条的流向是通过算法来符合该流场数据的,这样既提供了流场的详细信息也增加了流场中关系区域的流向信息。这些交互处理二维流场可视化的方法使本人想到了信息论方法中互信息的概念,保留两种方法中的优势部分。互信息被广泛的用在处理不确定数据的分析和可视化中。互信息能够测量一个随机变量 X 和另一个随机变量 Y 之间互享的信息^[15],也能被用来定量分析某一种可视化方法得到的结果。图像之间的融合技术能够把两幅或者更多的对于同一事物的图像减少成一幅并且所得结果能够更具有可视效果和信息量。由于缺少一个标准的目标,这使得融合出来的图像很难被解释说明, Roger^[16]就根据互信息的概念来自动融合医学数据,通过调整输入数据到同一数据空间和一个融合的过程来得到更好地可视化结果。在参考了基于信息论的一些流场可视化方法后,本文提出了一种新的二维流场可视化技术。

2 算法及结果

我们的目标是想要得到一种二维流体场的可视化方法,能够更加有效地显示数据,而单纯的通过一种可视化技术来显示的结果或多或少会存在着缺陷,所以最终在互信息和图像融合上得到了灵感,既保留了 LIC 方法的对流场细节描述的优势,又增加了 OSTR 方法对流场流向的把握,使得可视化结果清晰明了,特征点定位、类型判断也快速准确。具体算法流程图如图 1 所示。

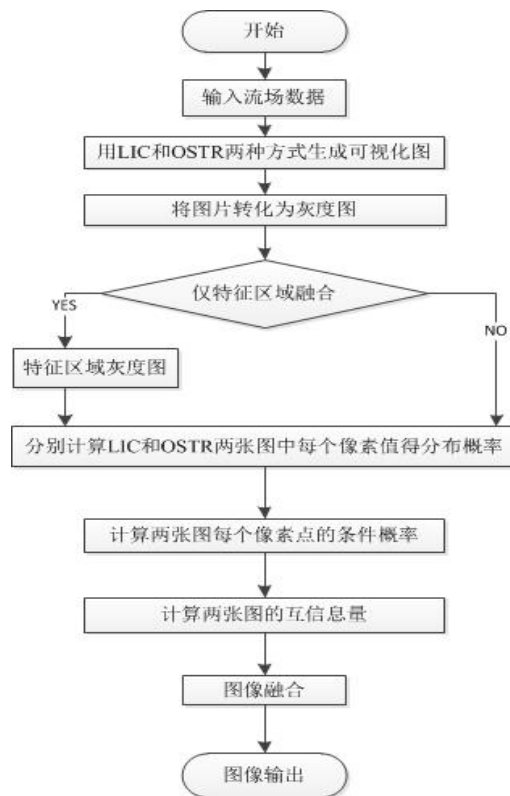
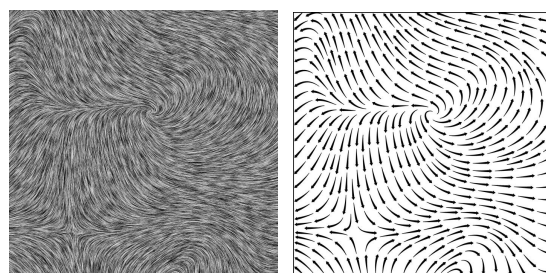


图 1 算法流程图

2.1 算法步骤

步骤一: 输入流场数据, 根据线积分卷积和 OSTR 的方式分别生成流场可视化图, 如图 2 所示。



(a) LIC

(b) OSTR

图 2 LIC 和 OSTR 生成的流场可视化图

步骤二: 将图片转化成为灰度图。全局融合虽然不错,但是如果仅融合流体场关键区域的话,效果是不是会更好,因为这样就能使用户着眼于那些关键区域,而不需要考虑不感兴趣的其他信息。参考 itti^[17-18]的工作,是处理图像或者视频中的关键区域选择问题,他们的方法能实时地依次找出图像中关键区域的坐标。这样一来可以通过一种可视化

方法的结果为基础, 与另一种方法的可视化结果进行融合的时候, 仅融合特征区域的圆域内的信息, 这样就能使可视化结果更加清晰。如果打算仅流场特征区域进行融合, 自动获得流场中特征区域的坐标, 并以此为圆心, 50 个像素点的大小为半径画出的圆形区域, 仅保留圆形区域内部的像素值, 将 OSTR 方式获得的流场可视化图仅取步骤中特征区域内的图像, 获得新的 OSTR 流场特征图, 选取特征区域的结果如图 3 所示。

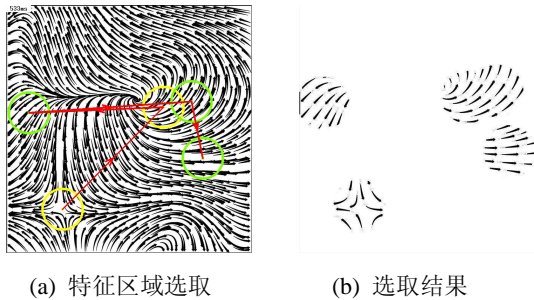


图 3 流场特征区域选择

步骤三: 分别计算两张需要融合的流场可视化图的像素值的分布概率; 计算出两张图的条件概率 $P(Y|X)$ 和 $P(X|Y)$; 根据互信息理论, 可以得到两张可视化图之间的互信息关系, 接下来就需要将两张图进行图像融合了。对每一个像素点都比较过之后, 就可以生产最终的结果图并输出, 如图 4 所示。计算两张需要融合流场可视化图像素值 X 分布概率的方法是: 因为流场图已转化成为灰度图, 所以像素值的范围为 0-255, 则某一像素值 x 的分布概率可以表示为: $P(X) = n(x)/N$, 其中 $n(x)$ 表示该像素值在整幅图像中的个数, 而 N 则表示整幅图像中像素点的个数。

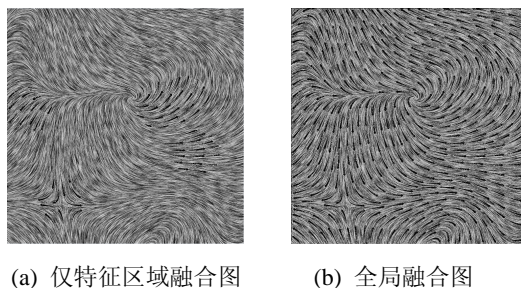


图 4 算法结果图

2.2 算法结果

计算 2 张图的条件概率 $P(Y|X)$ 和 $P(X|Y)$ 的方法是: 对于 X 中的某一像素点 x 和 Y 中的某一像素点 y , 可以分别得到两者的条件概率为公式(1)和公式(2)

$$p(y|x) = n(x, y)/n(x) \quad (1)$$

$$p(x|y) = n(x, y)/n(y) \quad (2)$$

其中的 $n(x, y)$ 表示 2 张图中相同坐标位置处, 像素值等于 x 和 y 的像素点对数, $p(x|y)$ 也可以用相同的方法获得。计算 2 张可视化图之间的互信息关系 $I(X;Y)$ 和 $I(Y;X)$ 的方法是公式(3)和公式(4)所示:

$$I(X;Y) = \sum_{x \in X} p(x) \sum_{y \in Y} p(y|x) \log \frac{p(y|x)}{p(y)} \quad (3)$$

$$I(Y;X) = \sum_{y \in Y} p(y) \sum_{x \in X} p(x|y) \log \frac{p(x|y)}{p(x)} \quad (4)$$

2 张可视化图像融合各像素点取舍依据满足公式(5):

$$z = \begin{cases} x & I(x;Y) > I(y;X) \\ y & \text{else} \end{cases} \quad (5)$$

其中: z 为最终可视化图中该位置处的像素值。还有一些实验结果如图 5 所示。

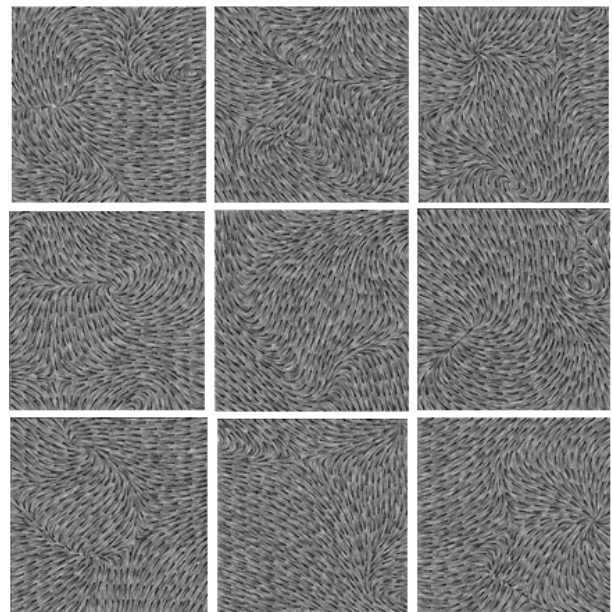


图 5 算法结果图

3 结论

在研究了基于信息论的可视化方法之后,发现基于信息论中互信息的思想,融合 2 种可视化方法能得到相对更加优秀的结果。因为 LIC 提供的是流场的所有详细信息,但它却不能提供流场的方向信息,导致用户比较难观察到流体场的流向,而 OSTR 和 GSTR 这两种图像驱动的可视化方法,方向性以及特征区域的可视化结果一目了然,却缺少更详细的流体场信息,如果能够将两者的优点整合在一起可视化效果就会更好。基于这样的想法,本论文设计了算法流程并进行实验,得到较好的结果。但本文的算法目前对两种融合方法中有一种是 LIC 的效果较为理想,而对于 2 种方法本身就不够稠密的话,改进就不明显,需要进一步研究。

致谢

感谢马里兰大学帕克分校的陈健博士在该项研究工作中的指导。

参考文献:

- [1] 王盛波, 潘志庚. 二维流场可视化方法对比分析及综述 [J]. 系统仿真学报, 2014, 26(9): 1875-1888.
- [2] Min C. An Information-theoretic Framework for Visualization [J]. IEEE Transactions on Visualization & Computer Graphics (S1077-2626), 2010, 16(6): 1206-1215.
- [3] Chaoli W, Han-Wei S. Information Theory in Scientific Visualization [J]. Entropy (S1099-4300), 2011, 13(1): 254-273.
- [4] Lee X, HW S. An Information-Theoretic Framework for Flow Visualization [J]. IEEE Transactions on Visualization & Computer Graphics (S1077-2626), 2010, 16(6): 1216-1224.
- [5] Wang C, Yu H. Importance-driven time-varying data visualization [J]. IEEE Transactions on Visualization & Computer Graphics (S1077-2626), 2008, 14(6): 1547-1554.
- [6] Jänicke H, Bttinger M. Visual Exploration of Climate Variability Changes Using Wavelet Analysis [J]. IEEE Transactions on Visualization & Computer Graphics (S1077-2626), 2009, 15(6): 1375-1382.
- [7] Bruckner S, Möller T. Isosurface Similarity Maps [J]. Computer Graphics Forum (S0167-7055), 2010, 29(3): 773-782.
- [8] Jänicke H, Wiebel A, Scheuermann G, *et al.* Multifield Visualization Using Local Statistical Complexity [J]. IEEE Transactions on Visualization & Computer Graphics (S1077-2626), 2007, 13(6): 1384-1391.
- [9] Authors U. Automatic Detection and Visualization of Distinctive Structures in 3D Unsteady Multi-fields [J]. Computer Graphics Forum (S0167-7055), 2008, 27(3): 767-774.
- [10] Jänicke H. Information-theoretic Analysis of Unsteady Data [J]. Scientific Visualization Interactions Features Metaphors (S1868-8977), 2011, 2011,26(2):118.
- [11] Laidlaw D H, Kirby R M. Comparing 2D vector field visualization methods: a user study [J]. IEEE Transactions on Visualization & Computer Graphics (S1077-2626), 2005, 11(1): 59-70.
- [12] Von Funck W, Weinkauff T. Smoke surfaces: an interactive flow visualization technique inspired by real-world flow experiments [J]. IEEE Transactions on Visualization & Computer Graphics (S1077-2626), 2008, 14(6): 1396-1403.
- [13] Acevedo D, Jackson C D, Drury F, *et al.* Using Visual Design Experts in Critique-Based Evaluation of 2D Vector Visualization Methods [J]. IEEE Transactions on Visualization & Computer Graphics (S1077-2626), 2008, 14(4): 877-884.
- [14] Schroeder D, Coffey D, Keefe D. Drawing with the Flow: a sketch-based interface for illustrative visualization of 2D vector fields [C]// Sbm Sketch Based Interfaces & Modeling, The Eurographics Association. 2010: 49-56.
- [15] Chaoli W, Han-Wei S. Information Theory in Scientific Visualization [J]. Entropy (S1099-4300), 2011, 13(1): 254-273.
- [16] Feixas M, Rodriguez J, Bardera A, *et al.* Multimodal Data Fusion Based on Mutual Information [J]. IEEE Transactions on Visualization & Computer Graphics (S1077-2626), 2012, 18(9): 1574-1587.
- [17] Borji A, Sihite D N, Itti L. Quantitative Analysis of Human-Model Agreement in Visual Saliency Modeling: A Comparative Study [J]. IEEE Transactions on Image Processing A Publication of the IEEE Signal Processing Society (S1057-7149), 2013, 22(1): 55-69.
- [18] Borji A, Sihite D N. What stands out in a scene? A study of human explicit saliency judgment [J]. Vision Research (S2395-4536), 2013, 91(15): 62-77.