

基于稀疏贝叶斯学习的遮挡场景深度恢复方法

淦相琦 曾蝶 吴婷

重庆对外经贸学院, 重庆, 401520;

摘要: 本文提出一种基于稀疏贝叶斯学习的光场深度恢复方法, 针对遮挡场景中传统方法存在的边界模糊和伪影问题, 通过建立层次化概率模型将遮挡问题转化为稀疏信号恢复任务。该方法利用自适应稀疏约束学习和贝叶斯推断机制, 自动识别并滤除遮挡噪声, 同时保持有效深度信息, 在复杂遮挡场景下实现了深度估计误差降低, 展现出优异的边缘保持能力和鲁棒性, 为光场相机的三维感知及虚拟现实、自动驾驶等应用提供了新的技术解决方案。

关键词: 稀疏贝叶斯学习; 遮挡场景; 深度恢复; 光场成像

Abstract: This article proposes a light field depth restoration method based on sparse Bayesian learning, which addresses the boundary blurring and artifact problems of traditional methods in occluded scenes. By establishing a hierarchical probability model, the occlusion problem is transformed into a sparse signal restoration task. This method utilizes adaptive sparse constraint learning and Bayesian inference mechanism to automatically identify and filter out occlusion noise while maintaining effective depth information. It achieves a reduction in depth estimation error in complex occlusion scenes, demonstrating excellent edge preservation ability and robustness, providing a new technical solution for 3D perception of light field cameras, virtual reality, autonomous driving and other applications.

Keywords: sparse Bayesian learning; occluded scenes; depth recovery; light field imaging

DOI: 10. 69979/3060-8767. 25. 03. 046

1 引言

光场相机通过单次拍摄获取四维光场信息和多视角数据, 相比传统相机能更高效、精确地实现深度估计, 但其深度图常同时包含正确与错误的深度信息, 尤其在复杂遮挡场景下这一问题更为突出。针对传统方法(多视角几何或全局优化)因过度平滑导致边界模糊, 以及深度学习方法受限于训练样本多样性的不足, 本文创新性地采用稀疏贝叶斯学习(SBL)框架, 通过三个关键优势实现突破: 首先, 将遮挡问题建模为稀疏信号重构, 自适应区分有效信号与噪声; 其次, 构建层次化概率模型自然表达边缘不连续性, 避免人工平滑; 最后, 利用贝叶斯推断的不确定性量化特性自动识别低置信区域。这一方法有效解决了“过平滑”与“欠恢复”的困境, 为提升复杂场景下的深度估计鲁棒性提供了新的解决方案。

2 相关研究

针对深度图的研究有很多。早期关于光场图像深度恢复的工作主要是开展关于针对焦点堆栈提取技术以及针对如何将场景深度进行扩展的研究。国际有许多相

关的研究。例如, Georgiev 和 Lumsdaine^[1]通过利用微透镜图像的特性, 引用标准化交叉相关性这个特性来估计图像之间的视差并形成视差图。通过视差图的相关信息来对深度进行一个较为完整的恢复。Bishop 和 Favaro^[2]在进行深度估计的过程中提出了一个特殊的贝叶斯框架来重建场景深度。通过框架的模拟来进行相关的深度估计。Perwass 和 Wietzke^[3]引入了一种利于深度恢复图像估计的通信技术来估计深度。Lin 等人^[4]描述了一种基于焦点堆栈对称分析和数据一致性测量的从光场图像中恢复深度的技术。Tao 等人^[5]采用单个光场相机拍摄场景, 使用光场相机的特性来获取视差的线索和脱焦线索并同时结合光场 EPI 图像计算图像中不同方向的计算视差和脱焦线索。用这种方法来达到满足适应自身缺点并且将不同深度进行有目的的融合的判断目的, 以此来实现在出现遮挡的复杂图像以及相关图像出现情况较为复杂的遮挡现象的深度估计。Yang 等人^[6]提出一种利用能量函数计算深度图来融合脱焦线索和视差线索的方法。Wanner 和 Goldluecke 等人^[7]提出了全局一致性的深度估计算法的框架思想, 通过利用 EPI 极线平

面图像，将结构张量应用到图像上，以此获取主要含导向性的方向和深度值，将二者一一对应，进行深度估计。

3 稀疏贝叶斯学习方法的深度恢复理论

基于稀疏贝叶斯学习的深度估计的框架如图 3-1 所示。在进行稀疏贝叶斯（SBL）分析的时候，主要是先考虑对一个变量进行观测。取一个为矩阵的观测区域，对未知的像素变量进行观测。稀疏变量根据贝叶斯公式来估计，该过程需要得知先验概率，后验概率和似然概率。但是在生活中后验概率是比较难推出的，所以要找到稀疏最优化比较难。为了得到优化的稀疏贝叶斯，采用以下优化公式来进行估算公式如 (3-1) 所示。

$$P(\varphi | x) = (2\pi\sigma^2)^{-N/2} \exp\left[-\frac{1}{2\sigma^2}(\varphi - \theta x)^H (\varphi - \theta x)\right] \quad (3-1)$$

x 是一个服从参数化的均值为 0，方差为 γ_i 的高斯分布，在算法迭代的过程当中， γ_i 会逐渐变小，极限为 0，稀疏贝叶斯学习根据 γ_i 的特点取一个阈值趋于 0 的 γ_i ，直接将 γ_i 设置为 0。通常情况下阈值的大小是由实际所取场景中的数据 and 所遇噪声来决定的。 $\gamma_i = 0$ 之后，与之相对应的 x 也为 0，然后得到对应的稀疏解。可以得到 (3-2)

$$P(\varphi; \gamma) = \int_x (2\pi\sigma^2)^{-N/2} \exp\left[-\frac{1}{2\sigma^2}(\varphi - \theta x)^H (\varphi - \theta x)\right] (2\pi)^{-\frac{M}{2}} |\Gamma|^{-\frac{1}{2}} \exp\left[-\frac{1}{2}\gamma^{-1}x^H \Gamma x\right] dx \quad (3-2)$$

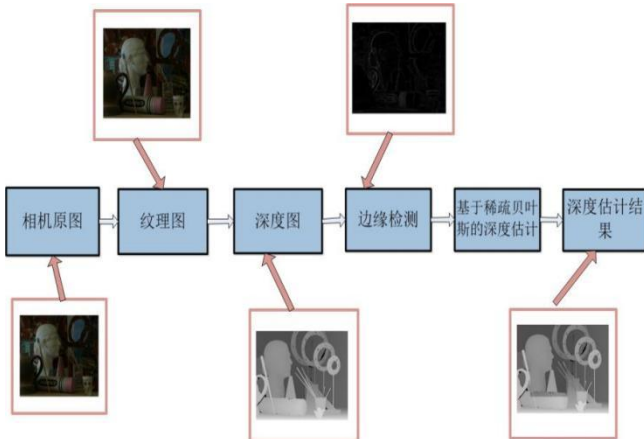


图 3-1 基于稀疏贝叶斯学习的深度估计的框架

先对相机原图得到纹理图和深度图，在深度图的基础上进行稀疏贝叶斯深度估计

在公式 (3-2) 上找到驻点得最优解

$$x = (\theta^H \theta + \sigma^2 \Gamma^{-1})^{-1} \theta^H \varphi \quad (3-3)$$

因此全概率公式为

$$P(\varphi; \gamma) = S \exp\left\{-\frac{1}{2} \varphi^H [I - \theta(\theta^H \theta + \sigma^2 \Gamma^{-1})^{-1} \theta^H] \varphi\right\} \quad (3-4)$$

可以看出该式子是一个高斯分布，其均值为 0，方

差矩阵的逆矩阵为

$$\Sigma_\varphi = \sigma^2 I + \Gamma \theta^H \theta \quad (3-5)$$

则可以由贝叶斯公式和驻点公式推出 $P(x|\varphi; \gamma)$ 的均值 $\bar{P}x = (\Gamma \theta^H \Sigma_\varphi^{-1})$ 和方差 $\Sigma x = \Gamma - \Gamma \theta^H \Sigma_\varphi^{-1} \Gamma \theta$ ，在 EM

算法迭代中，可以得到新的参数：

$$\gamma^{new} = \frac{\|Px\|_2^2 + (\Sigma_x)_{M \times M}}{M} \quad (3-6)$$

$$(\sigma^2)^{new} = \frac{f_i}{M} \quad (3-7)$$

公式 (3-7) 即本方法重构出来的新的图像深度，深度估计的流程如图 3-2 所示。

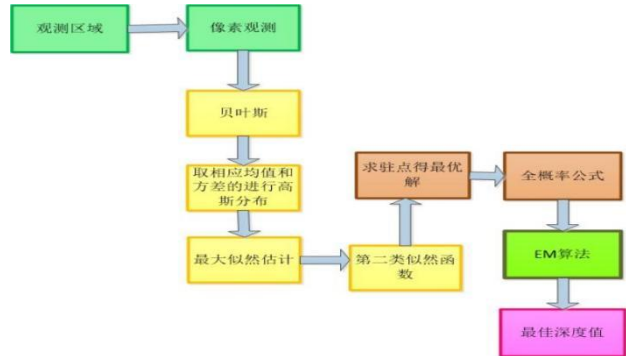


图 3-2 基于稀疏贝叶斯学习深度估计的流程

4 实验结果及分析

为了更好地得出该方法的优点和缺点以便于观察数据分析结果，本文分别和 Chen^[8] 等人还有 Tao^[5] 等人的结果做了一个对比。实验结果如图 3-3 所示。实验先取场景的纹理图，以此深度图像，在深度图中找到深度缺失的区域并生成深度缺失的深度图。然后，分别用 Chen 和 Tao 等人的方法以及本文所采取的方法分别进行实验取实验结果。本文引入峰值信噪比 (PSNR) 作为客观评级图像的一个指标。在实验中通过上述三种不同的深度估计方法所得到的 PSNR 值如表 4-1 所示。

从图 4-1 中可以看到，在真实的场景发生遮挡现象的情况下，Chen 等人的方法在深度估计过程中，随着噪音水平的增加，其深度估计的性能也会逐渐下降，对于图像的深度估计具有一定的局限性。相比之下，本文提出的算法对噪音容忍更强。在 Tao 等人的研究中，针对噪音带来的影响和纹理图像的边缘深度估计的深度不够，存在着一定的深度缺失。本文所提出的深度估计因为利用了稀疏贝叶斯的特性，对噪音具有较好的抵抗能力，对于边界以及噪音影响有着较好的容错率，可以做到有效地恢复相应的深度值，还原出高精度的深度图。从表 4-1 中得出在实验结果所得出的 PSNR 值中，本文提出的方法所获得的 PSNR 的值均大于 Chen 等人和 Tao

等人的 PSNR 值。

表 4-1 实验 PSNR 值 (dB)

Scene	Our results	Chen	Tao
Art	31.7	31.0	31.5
Books	32.4	32.3	31.5
Disinfect	31.7	30.9	31.1



图 4-1 基于稀疏贝叶斯学习的深度估计实验结果

将本文的结果和 Chen 等人以及 Tao 等人的实验结果做了对比

5 结束语

本文针对光场相机在复杂遮挡场景下的深度估计难题,提出了基于稀疏贝叶斯学习的深度恢复方法。通过将遮挡问题转化为稀疏信号重构任务,并构建层次化概率模型,该方法突破了传统方法在“过平滑”与“欠恢复”之间的两难困境。理论分析和实验验证表明,所提出的方法具有三个显著优势:自适应稀疏学习能力有效区分场景信号与遮挡噪声;概率建模机制自然保持边缘不连续性;不确定性量化为深度优化提供可靠指引。这些特性使得该方法在遮挡边界处理精度和算法鲁棒性方面均优于现有技术。本研究为光场深度估计提供了新的概率推断框架,其技术路线可进一步拓展至多模态数据融合、动态场景处理等方向。

参考文献

- [1]MaiYiWei, “Reducing plenoptic camera artifacts,” Computer Graphics Forum, vol. 29, no. 6, pp. 1955 – 1968, 2010.
- [2]T. E. Bishop and P. Favaro, “The light field camera: Extended depth of field, aliasing, and superresolution.” IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell. (PAMI), vol. 34, no. 5, pp. 972 – 986, 2012.
- [3]C. Perwass and P. Wietzke, “Single lens 3d-camera with extended depth of field,” in SPIE Elect. Imaging, 2012.
- [4]H. Lin, C. Chen, S. B. Kang, and J. Yu, “Depth recovery from light field using focal stack symmetry.” in Proceedings of the IEEE International Conference on Computer Vision (ICCV), 2015.
- [5]M. W. Tao, S. Hadap, J. Malik, and R. Ramamoorthi, “Depth from combining defocus and correspondence using light-field cameras[C],” in Proc. IEEE Int. Conf. Comput. Vis., 2013, pp. 673 – 680.
- [6]Yang D G, Xiao Z L, Yang H, et al. Depth estimation from light field analysis based multiple cues fusion[J]. Chinese Journal of Computers, 2015, 38(12): 2437-2449.
- [7]S. Wanner and B. Goldluecke, “Globally consistent depth labeling of 4D light fields[C],” in Proc. IEEE Conf. Comput. Vis. Pattern Recog., 2012, pp. 41 – 48.
- [8]H. Lin, C. Chen, S. B. Kang, and J. Yu, “Depth recovery from light field using focal stack symmetry.” in Proceedings of the IEEE International Conference on Computer Vision (ICCV), 2015.

作者简介: (一作) 淦相琦, 女, 汉族, 重庆市江北区, 硕士研究生, 职称: 无, 研究方向: 计算机多视点成像。

单位: 重庆对外经贸学院, 省市: 重庆市, 邮编: 401520