

光学层析技术在中央处理单元 散热中的应用研究

吴东楼 贺安之

(南京理工大学应用物理系, 南京 210094)

摘 要 将光学层析技术实际应用于中央处理单元(CPU)散热产生的温度场的重建中,指出了由多方向干涉投影重建三维场的实际应用意义。成功地解决了稳态场和似稳态场的多方向干涉投影的获取问题。

关键词 光学层析, 代数迭代法, 干涉仪。

1 引 言

由于光学层析技术有着非接触、无干扰等优点,自 70 年代以来,国内外在此领域中作了深入的研究,发表了大量有关光学层析技术方面的文章。文献[1]中给出了上千篇有关的文章,但是仅局限于理论上的研究,并未实际应用于三维场的重建中。本文首次将光学层析技术应用于中央处理单元散热温度场的重建。光学层析技术集中于解决三方面的问题;1) 多方向干涉投影的获取;2) 由于干涉图提取相位差信息;3) 重建算法。由于信息处理的迅速发展,对第二部分的相位提取已有较为圆满的解决。

本文应用可旋转的法布里-珀罗干涉仪,成功地解决了稳态和似稳态温度场的多方向干涉投影的捕获问题。获得了稳定的、同一口径的多方向干涉投影,消除了多光路干涉仪获得的多方向干涉投影的定标和投影光线的定位的问题,给数据提取和计算带来了极大的方便。

对于非完全数据的重建算法,本文对有限观察角引起的非完全投影数据重建^[2, 3]和含遮挡物引起的非完全数据投影重建^[4]进行了综合,给出了改进的代数迭代法,较为圆满地解决了非完全数据的重建问题。

2 多方向干涉投影的获取

本文采用了可旋转的法布里-珀罗干涉仪获得多方向干涉投影数据。图 1 是旋转干涉仪系统的原理简图。系统由旋转平台、光学系统、数据采集系统三部分组成。旋转平台为 80CM X 80CM 的带有角度传感器的大理石平板,底盘为减震板。光学系统由法布里-珀罗干涉仪、He-Ne 激光器和光学镜片组成,将光学系统置于旋转平台上,采用了旋转整个法布里-珀罗等厚干涉仪系统的方法,置物体或被测场于系统的转动圆盘中心,实现 0~ 180°范围内投影数据的获取。在数据采集系统,应用电子耦合器件 CCD 捕获干涉图,用 RT 300 多媒体视频捕获卡将数据存入计算机,时间分辨率大于 1000 帧/s,采样频率 0~ 30 帧/s 可调。系统

的优点是观察角大, 干涉条纹锐利, 对比度高, 能在 180° 范围内记录干涉图, 系统的防震性能良好, 易做成大口径干涉仪, 本实验采用的是口径为 80 mm 的法布里-珀罗干涉仪。旋转干涉仪系统适合于稳定场和似稳场的测试, 同时可实现轴对称场的测试。

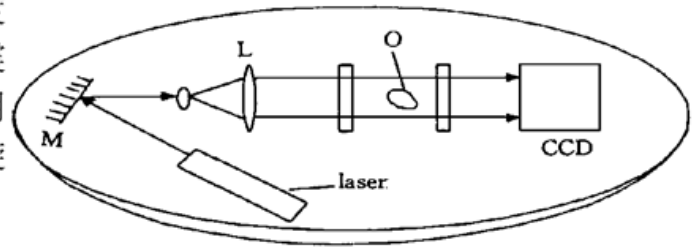


Fig. 1 Schematics of the rotary interferometer

3 重建算法

基于捕获的投影干涉图可提取由于光线通过温度场引起的相位差 $\mathcal{Q}(x, y)$ 。待测的温度场是由中央处理单元的散热产生的, 温度的变化引起空气密度的变化, 密度的变化引起折射率的变化, 因此, 光线通过待测场时产生光程差。光程差与波长之比的 2π 倍即为相位差 \mathcal{Q}

$$\mathcal{Q} = (2\pi/\lambda) \int_L [n(x, y, z) - n_0] ds \quad (1)$$

n 为折射率, L 为积分路径。为了将投影数据与积分方程对应起来, 应用 Rodan 变换, 上式为

$$\mathcal{Q}(p, \theta) = (2\pi/\lambda) \iint [n(r, \vartheta) - n_0] \delta[p - r \sin(\vartheta - \theta)] dx dy = \int \Delta n(r, \vartheta) ds \quad (2)$$

式中 θ 为投影方向角, p 为光线的位置, r, ϑ 为极坐标参数。实际重建过程是利用该式进行的。所谓重建, 就是已知上式中的积分值 \mathcal{Q} , 利用一定的算法将上式中的被积函数 Δn 求出来。

本文采用可调网格的代数迭代法求解 Δn 。首先, 选取层析截面, 将重建区域划分为 $n \times n$ 个网格, 设其中第 k 个网格的折射率变化量为 $\Delta n_k(x, y)$, 则第 i 根光线产生的投影数据 $\mathcal{Q}(p, \theta)$ 应满足方程:

$$\mathcal{Q}(p, \theta) = \sum_{k=1}^n \Delta n_k(x, y, z) A_{ik} \quad (3)$$

式中 $i = 1, 2, \dots, I, I = M \times N, M$ 为投影方向数, N 为每个方向的采样数。 A_{ik} 为第 i 根光线在第 k 个网格中的长度。即采用网格划分将积分方程(2) 数值化处理。给定初始值 $\Delta n_k^{(0)}(x, y, z)$, 则迭代过程如下:

$$\Delta n_k^{(i)}(x, y, z) = \Delta n_k^{(i-1)}(x, y, z) + \omega \frac{\mathcal{Q}(p, \theta) - \sum_{k=1}^n \Delta n_k(x, y, z) A_{ik}}{\sum_{k=1}^n A_{ik} - A_{ik}} A_{ik}, \quad i = 1, 2, \dots, I \quad (4)$$

式中 ω 为迭代松弛系数, 一般当 $0 < \omega < 2$ 时, 算法具有良好的收敛性。应用迭代法重建截面的折射率场后, 结合气体状态方程和 Gladstone-Dale(简称 G-D) 公式, 可得温度与折射率变化 Δn 的关系式:

$$T = KMP/R\Delta n \quad (5)$$

式中, K 为气体的 G-D 常数, M 为气体质量, P 为气体压强, R 为气体普适常数。

4 实验结果

本文应用旋转干涉仪系统对多方向干涉投影进行捕获, 应用上述方法重建了中央处理单元散热产生的温度场, 首次将光学层析技术实际应用于三维温度场的重建中, 指出了光学层析技术实际应用意义。实验中对中央处理单元表面 0.2 cm 处的边界层温度场截面进行重建, 重建场宽度为 7 cm。选取投影方向数为 20 个, 采样范围是 $0^\circ \sim 180^\circ$ 。代数迭代法中的超松弛

迭代因子取 0.6, 迭代次数为 15 次, 重建区域划分网格数为 100 grid \times 100 grid。由迭代法重建的温度等值线如图 2 所示, 图中坐标为重建场划分的网格数, 即 100 grid \times 100 grid, 对应的实际温度场范围是 7 cm \times 7 cm, 三维温度分布曲线如图 3 所示。由重建结果可知, 距离中央处理单元表面 0.2 cm 的截面的温度分布是不均匀的。

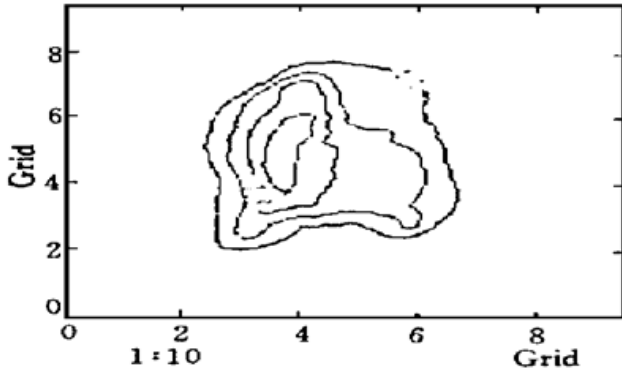


Fig. 2 Topogram of the selected cross-section of the temperature field

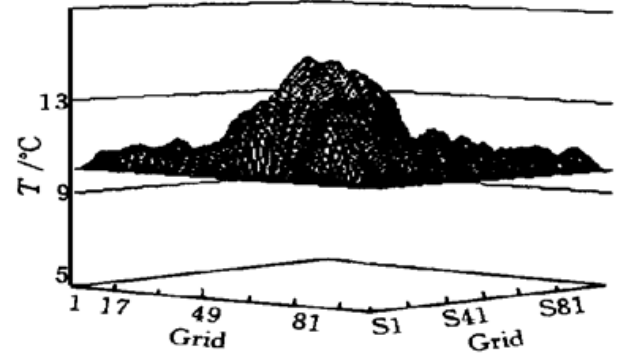


Fig. 3 Temperature distribution of the cross-section of the temperature field

应用光学层析方法研究中央处理单元的散热问题不仅可求出边界层的温度分布, 且还可进一步求出散热效率, 从而可知芯片的集成是否合理, 对件集成电路的设计具有指导意义。

参 考 文 献

- [1] Vest C M. *Holographic Interferometry*. New York: Wiley. 1979.
- [2] Sweeny D W, Vest C M. Measurement of three-dimensional temperature fields above heated surfaces by holographic interferometry. *Int. J. Heat Mass Transfer.*, 1974, **17**(11): 1443~ 1454
- [3] Rangayyan R, Dhawan A P. Algorithms for limited-view computed tomography: An annotated bibliography and a challenge. *Appl. Opt.*, 1985, **24**(12): 4000~ 4012
- [4] Cha Soyoun. Interferometric tomography for three-dimensional flow fields via envelope function and orthogonal series decomposition. *Opt. Engng.*, 1988, **27**(7): 557~ 563

Optical Computerized Tomography Used in the Study of Radiation from CPU

Wu Donglou He Anzhi

(Applied Physics Department, Nanjing University of Science and Technology, Nanjing 210094)

(Received 6 April 1998; revised 7 August 1998)

Abstract Optical computerized tomography (OCT) is used practically to reconstruct the temperature field generated by the radiation of the central processing unit (CPU). The practical significance of the OCT is figured out. The acquisition of the multi-direction interferometry projection of the stable temperature field and similar stable temperature field is successfully solved.

Key words optical tomography, algebra reconstruction technology, interferometer.