

# 全光照像的新进展

J. Blum

自从伦敦帝国科技学院的盖伯使用几乎相干的光，在照像胶卷或干板——全光照片——上记录物体的位相和强度信息，然后在空间重构该物的影像以来，全光照像术已经历了一段很长的路程。在过去几年中，全光照像术已成为一门科学，其研究预算为 1,000 万到 2,000 万美元，进行此项研究的实验室扩展至约 100 个。

虽然目前还没有得到正式应用，但从三维彩色电视到图形识别，其应用的可能性都是存在的。

研究工作已突破了几个方面：

- 不用相干光，而用普通的白光重构全光影像。
- 复色全光照片。
- 全光电影。它将多重曝光结果贮存在同一照像底片中。
- 以普通的非相干光形成质量极佳的复杂物体影像。
- 全光等高线地图。
- 全光振动分析技术。
- 180° 和 360° 全光照片。
- 由计算机产生的人工全光照片。这种照像无需实物。

由于激光器的发展，人们又重新对全光照像术感到兴趣。这方面的研究基本上正由私人企业进行，但据估计，研究经费的四分之一来自如像国家科学基金委员会这种政府机构。

## I 最初的情况

盖伯作成第一张全光照片是在 1947 年。那时，他开始试探靠克服透镜的球差来增进电子显微镜的分辨率。他预示，如能得到一埃左右的分辨率，就可能看见几乎任何物质的单个原子。但由于不能激起英国和美国公司从事干涉显微术的兴趣，因此盖伯在 1951 年放弃了这种打算。

盖伯将含有描述物体的位相和振幅信息的底片称为全光照片(hologram)，此词来源于希腊文“全部的”(holos)，意在表明，整个图画都被这种波前记录所代表。位相和振幅信息以衍射图样的形式贮存在底片中，图样由两列相干光波——一列经物体散射，另一列经透明背景透射过来——干涉后构成。相干光还用来重新照明底片，并重构物体的波前，因此，它的像就出现在空中。盖伯放弃计划之前，曾以巨大的努力，想作成几幅两维景物的高质量全光照片。以后十年之内，这方面的工作几乎没有进行。

目前，这方面的工作主要集中在密西根大学。十年来，他们的研究一直集中在相干光信息处理上。这是因为他们过去所作的工作与全光照像有密切的关系，因此，研究它是很自然

的。此外，他们还有必需的装置和有关的经验。

密西根大学的福尔克纳(D. Falconer)根据盖伯“全光照片”一词，为这一新领域取了一个众所公认的名字——全光照相。1962年，该大学的利思(Leith)和乌珀特奈克斯(J. Upatnieks)首先使用两束分离的光束，一束用来照明有连续色调的物体，另一束则由一倾斜角度射来，作为参考光束。由于只使用了一束光，盖伯只能重构如显微胶卷之类的透明物体。第一张全光照片是由利思和乌珀特奈克斯摄得的，他们以激光器作相干光源，利用了双光束干涉量度学。双光束干涉量度学消除了大部分以前存在于所有全光照片中的离焦(孪生的或共轭的)像，因而得到了质量极佳的像。目前，这种技术被用来拍摄大多数全光照片。

利思和乌珀特奈克斯还在全光照像的另一方面迈进了一大步：他们用漫射光照明整个景物，而不是只照明它的一小部分。这样，全光影像不通过目镜或其他透镜就能观察到。观察者只须透过全光照片(就好像透过一面窗)观察，就能看到悬挂在照片后面的虚像和照片前面的实像。

不仅当点光源和物体之间放有漫射体(如毛玻璃)时，分辨率能够提高，缺陷能够消除，而且，如盖伯所说：“漫射全光照片几乎是理想编码的完美例子；由每个物点发出的信息几乎都均匀分布在整個全光照片上，这对通讯理论来说，是一个重要的进展。”这种新技术帮助利思和乌珀特奈克斯摄成了第一张三维激光全光照片，他们并不利用少量透过两维透明物的光，而是从三维实体反射漫射光。

## II 用全光照像术进行放大

利思及其同事的另一成绩是表演了以全光照像术进行放大：用全光照片重现放大约60倍的苍蝇翅膀。最近，他们考虑了在一张全光照片上记录几种不同景物的各种方法。这些方法的特点是每一景物都能独立地观察到，没有相互影响的情况。据说用白光重现全光图以及记录在一张底片上的第一部全光电影也是他们研究成功的。

最近最明显的进展是用白光重现全光照片。利思和乌珀特奈克斯用普通白光重现了由相干光摄得的全光照片的影像。从底片背面引进参考光束后，他们建立了垂直于底片表面的驻波。在乳剂中形成的、平行于底片的各层，只许用以摄制全光照片的波长重现影像。图1所示的照片表示一具分子模型，其全光照片由红色激光摄得。这个三维像用白光重现的。影像呈绿色。是因为在显影过程中，乳剂收缩之故。起初，乳剂中的干涉条纹之间的距离为红色波段的波长之半。乳剂收缩后，这一距离为绿色波长之半。这种乳剂滤光片滤掉了除绿光之外的所有波长。

巴特耳纪念研究所的施瓦茨(C. Schwarz)显示全光照片时也用白光。他还用入射到照片背面上的参考光束产生

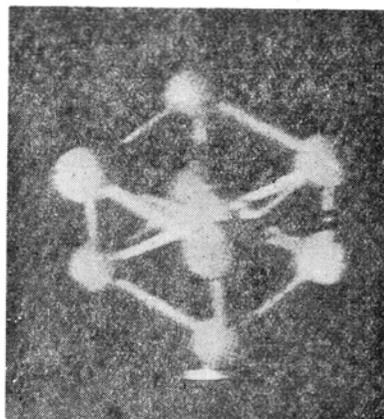


图1 分子模型。其三维影像用普通白光重现，全光照片用激光摄制(原图为绿色)。

苍蝇的三维影像以及平行棒的两维图。

1962年，苏联的迪尼苏克(Y. N. Denisyuk)最先在理论和实验上完成了白光重现的概念。他的理论指出，贮于厚乳胶中的信息能用“具有复杂光谱”的光——白光——以复色的形式显示出来。迪尼苏克理论的基础系1894年法国研究工作者李普曼(G. Lippman)提出的。李普曼所描述的产生彩色照片(而不是全光照片)的过程，使用的是用白光照射的高分辨率的黑白胶片。但是，重现贮存于乳剂中的干涉条纹原理却是相同的。

利思及其同事所作的另一工作是用由两台激光器产生的三种不同的波长照明一个点心缸，由此获得复色全光照片。用激光照明所得的照片，便得到三维再现影像(图2)。点心缸的左右两边都产生了附加的像，这是因为每一种激光波长都重现一个不同的像。这些不需要的像几乎能够完全消除，只须由不同角度引入照明光束或倚赖乳剂的厚度使各种波长在全光照片内部分离便可。这种用三种不同颜色摄制复色全光照片的技术就是由他们首先研究成功的。但是，林(L. H. Lin)、彭宁格顿(K. S. Penington)、斯特娄克(G. W. Stroke)和拉比里(A. E. Labeyrie)也获得了复色全光影像，他们用两台激光器的两种波长来照明物体，然后用普通白光来重现影像。已获得两种以上颜色的影像，但其机理尚不完全了解。

### III 全光电影

全光电影是第三种改革。这是在厚乳剂全光照片中贮存几层重迭的干涉图样作成的。每次曝光时，全光照片的位置都要变更。使全光照片的角度在激光中相继旋转，便能完成显示。当全光照片旋转时，在照片后面的空间，便能看到一只正在饮水的鸟的三维影像。取得这种运动效果的另一种方法是斯坦福大学的利门(M. Lehman)和亨特利(W. Huntley)于1965年8月发明的。他们摄制成一系列静止的全光照片，然后接连不断地把它们显示出来。这种方法要求被摄物的每一位置都有一张全光照片。

密西根大学的另一些人，科兹默(A. Kozma)和梅西(N. Massey)，则从事非相干光全光照片的工作。这种全光照片能用普通的白光摄制，但当被摄对象是一

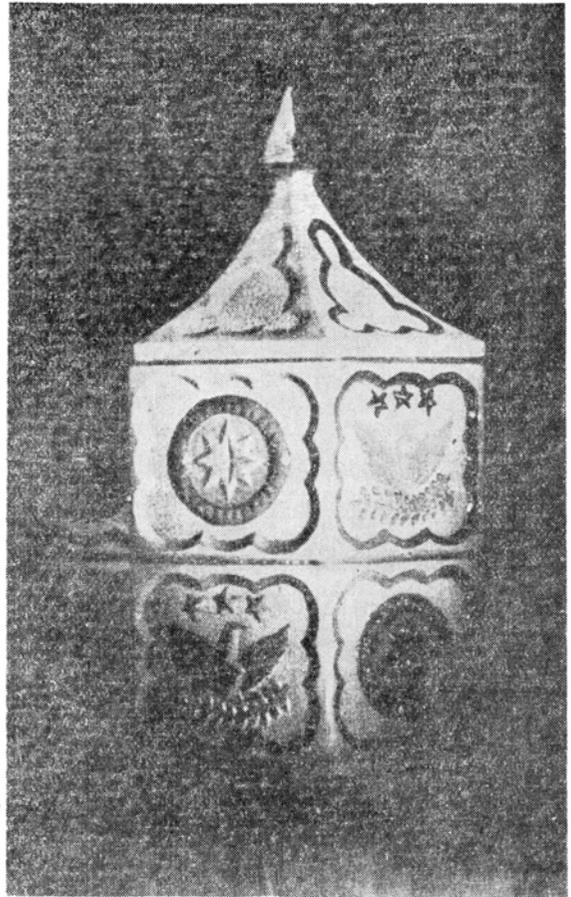


图2 由全光照片产生的点心缸的影像。照片用由两台激光器产生的三种不同颜色摄成。全色重现过程由激光完成(原图为三色照片)。

个复杂的有连续色调的物体时，所得影像的质量就很差。很多有任意间隔的强度图样在照相底片上的重迭产生了大量的噪声，这就妨碍了在胶片内的空间强度调制——重现影像必不可少的过程。科兹默和梅西利用为雷达研究出的光学信号相关技术，已消除了这种噪声。

研究者们利用一面振动镜对干涉仪中一条光路上负载信息的光束进行了时间调制。然后，将外部引入的正弦信号同振动镜产生的信号进行比较。这就在整个全光照片上逐点完成了这两种信号之间的时间相关。那就是说，信号得到倍增。而表现为与参考信号不同相的信号的噪声，其平均值则为零，因而在全光照片中不出现。如今，用非相干光获得的影像，其质量已能与用相干光获得的影像媲美。图3左部的照片代表用非相干光产生的影像；噪声几乎使之完全模糊不清。图右部的照片是消除噪声后得到的影像。在某些应用中，使用光学信号处理方法可能比将激光器作为光源更容易。



图3 右图表明使用了为雷达研制出来的信号处理技术后，使影像模糊不清的噪声已被消除。

密西根大学的希尔德布兰德(P. Hildebrand)和海恩斯(K. Haines)在用全光照片构成三维物体的等高线图时使用了倍频。在显示时使用单频。在参考图样的背景上得到一个影像。该影像由具有恒定深度的等高线重迭而成。一张全光等高线图由一系列畸变的同心圆组成，每一圆圈联接了具有相同高度的各点。圆圈之间的间隔表明一个弯曲物体的给定部分与平面之间有多大的偏离。圆圈之间的间隔越宽，所观察的面越平。这些全光照片能用来检验尺寸变化非常微小的物体，如精密加工的工具。如果全光照片准备用普通方式——用单频——摄制，则三维影像的焦深就不能精确表示尺寸微小的、相对的层次。

#### IV 材料的形变

密西根大学的前研究者斯特森(K. Stetson)指出，记录在全光照片上的衍射光可能是探测材料的微小周期性形变的实用方法。如果物体在振动，或发生应变，则不论其程度如何轻，这些运动都将扰乱重现出的干涉条纹。扰乱的程度取决于物体振动的振幅。观察重现影像变坏的程度，便能决定受扰的程度。

人工全光照像方面的工作，已由国际商业机械公司的洛曼(A. Lohmann)和帕里斯(D. Paris)完成。洛曼并不从实际物体摄制全光照片，而是将物体的数学描述馈给计算机。计算机根据数学方程引导自动绘迹器在纸上画出物体的图形。这个像被记录在胶片上，全光照片即由胶片获得。摄取这种全光照片无需实物。这种技术可望在图形识别中得到应用。

180°全光照片已由西屋电气公司的修珀威(E. P. Supertzi)和里格勒(A. K. Rigler)摄得，而360°全光照片则由东京大学的日置笠一(Ryuichi Hioki)和铃木武雄(Takeomi Suzuki)摄得。这些技术使得影像所具有的视场角比由普通的矩形全光图所得的大。

修珀威和里格勒用从一对雕刻的人物小像上反射回的激光照射3呎长5吋宽的高分辨

(下转第22页)

等于放大器的 30 埃通带的光激励放大器时，其输出增量效率为 68%，总效率为 50%。

国家航空与宇宙航行局的目标，是在 1 瓦的输出功率范围内获得 20 分贝的增益。两项目标都已达到。

在使用外差光学探测的地方，这些放大器技术都应当有用。可用这些技术制成在 8,400 埃处  $10^{-8}$  瓦最大接收灵敏度的接收器。作发送器时，振荡器-放大器组合易于调制，并不影响振荡器的波长。

## 激光流速计

大会最现实的论文之一将论述激光多普勒速度计。此种速度计采用光学外差作用，以测量液体中微粒所造成的多普勒位移来感受液体的局部流速。在这种场合，用这种技术来测量普通的分接水流。

在这一实验中，将 50 毫瓦的 He-Ne 激光束聚焦于内径 2.21 厘米的玻璃管的中心。激光束以垂直于水流方向的角度进入管内。大部分光束穿过玻璃管，由另一面射出，通过一面透镜和中性密度滤光片，最后射到光电倍增管上。光束的另一部分被偏转至主光束的一边，最后也通入光电倍增管，与主光束会合。

光电倍增管的外差信号输出给一台宽带放大器，从该处再通至一台频谱分析仪。分析仪上显示的最强频率即为多普勒频率，并由此测定流速。

测量也用气体进行过。在速度约达 1,000 呎/秒处的风洞试验已作出可靠的流速测量结果。作者声称，此种技术最终可以测量每秒 4,000 呎/秒的速度。大大高于此种速率时，光电接收器的频率响应将成为限制因数。

原载 *Microwaves*, 1966, 5, №4, 35~36 (王克武译)

(上接第 18 页)

率航空侦察胶片。参考光束由放在激光路径上的球面反射镜供给。当观察者透过弯曲胶片的

不同部分，即从各种角度进行观察时，便能看到小像的三维影像。

日置和铃木作成一只浅的胶片圆筒，并在其中心放一物体，如图 4 所示。以一束激光同时照明镜 A 以及其上的物体 B。照明前者的目的在于提供参考光束。镜的中心部分是透明的，因而通过这一部分的光也射到物体上，产生附加的照明。代表物体所有波前的干涉花样在圆筒状胶片 C 上构成。重新照明全光照片以重现影像。产生影像的位置与物体原来占有的位置严格重合。影像的所有方面都能完全看见，这只需透过胶片的各部分进行观察便可。

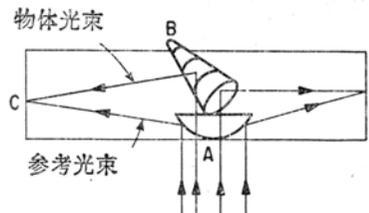


图 4 通过圆筒状胶片 C，迎面观察，便能看到像 B 的各个方面。镜 A 提供参考光束。

原载 *Electronics*, 1966, 39, №8, 139~143 (颜绍知译)