

全息摄影

一种不用透镜而能记录和再现物体的三维(立体)图象的照相方法。它是能够把来自物体的光波波阵面的振幅和相位的信息记录下来，又能在需要时再现出这种光波的一种技术。

原理

光波是一种电磁波，它在传播中带有振幅和相位的信息。普通照相是用感光材料(如照相底片)作记录介质，用透镜成像系统（如照相机）使物体在感光材料上成像。它所记录的只是来自物体的光波的强度分布图象，即振幅的信息，而不包括相位的信息。因此普通照相只能摄取二维(平面)图象。为要同时记录光波的振幅和相位的信息，可借助于一束相干的参考光，利用物光和参考光的光程差，以确定两束光波之间的相位差。因此借助参考光,便可记录来自物体的光波的振幅和相位的信息。 [1]

全息照相记录过程

在典型的离轴型全息照相的光路布局中(图 1)，由激光器发出的光束被分光镜 **B** 分成两束光，一束经反射镜 **M** 反射后直接投射于全息底片 **H**(一种高分辨率的感光材料)，称为参考光；另一束则照射物体，从物体反射(或透射)的光，称为物光。物光和参考光在全息底片上相互干涉的结果，构成一幅非常复杂而又精细的干涉条纹图，这些干涉条纹以其反差和位置的变化，记录了物光的振幅和相位的信息。全息底片经过常规的显影和定影处理之后，就成为全息图。全息图的外观和原物体的外形似乎毫无联系，但它却以光学编码的形式记录下物光的全部信息。 [2]

拍摄要求

为了拍出一张满意的全息照片，拍摄系统必须具备以下要求：

(1) 光源必须是相干光源：通过前面分析知道，全息照相是根据光的干涉原理，所以要求光源必须具有很好的相干性。激光的出现，为全息照相提供了一个理想的光源。这是因为激光具有很好的空间相干性和时间相干性，实验中采用 **He-Ne** 激光器，用其拍摄较小的漫散物体，可获得良好的全息图。

(2) 全息照相系统要具有稳定性：由于全息底片上记录的是干涉条纹，而且是又细又密的干涉条纹，所以在照相过程中极小的干扰都会引起干涉条纹的模糊，甚至使干涉条纹无法记录。比如，拍摄过程中若底片位移一个微米，则条纹就分辨不清，为此，要求全息实验台

是防震的。全息台上的所有光学器件都用磁性材料牢固地吸在工作台面钢板上。另外，气流通过光路，声波干扰以及温度变化都会引起周围空气密度的变化。因此，在曝光时应该禁止大声喧哗，不能随意走动，保证整个实验室绝对安静。我们的经验是，各组都调好光路后，同学们离开实验台，稳定一分钟后，再在同一时间内曝光，得到较好的效果。

(3) 物光与参考光应满足：物光和参考光的光程差应尽量小，两束光的光程相等最好，最多不能超过 2cm，调光路时用细绳量好；两束光之间的夹角要在 $30^{\circ}\sim 60^{\circ}$ 之间，最好在 45° 左右，因为夹角小，干涉条纹就稀，这样对系统的稳定性和感光材料分辨率的要求较低；两束光的光强比要适当，一般要求在 $1:1\sim 1:10$ 之间都可以，光强比用硅光电池测出。

(4) 使用高分辨率的全息底片：因为全息照相底片上记录的是又细又密的干涉条纹，所以需要高分辨率的感光材料。普通照相用的感光底片由于银化物的颗粒较粗，每毫米只能记录 50~100 个条纹，天津感光胶片厂生产的 I 型全息干板，其分辨率可达每毫米 3000 条，能满足全息照相的要求。

(5) 全息照片的冲洗过程：冲洗过程也是很关键的。我们按照配方要求配药，配出显影液、停影液、定影液和漂液。上述几种药方都要求用蒸馏水配制，但实验证明，用纯净的自来水配制，也获得成功。冲洗过程要在暗室进行，药液千万不能见光，保持在室温 20°C 左右进行冲洗，配制一次药液保管得当可使用一个月左右。

优点

全息照相显著的特点和优势有如下几点：

1. 再造出来的立体影像有利于保存珍贵的艺术品资料进行收藏。
2. 拍摄时每一点都记录在全息片的任何一点上，一旦照片损坏也关系不大。
3. 全息照片的景物立体感强，形象逼真，借助激光器可以在各种展览会上进行展示，会得到非常好的效果。

研究简史

全息图 (Hologram) 是盖伯 (Gabor) 在 1948 年为改善电子显微镜像质所提出的，其意义在于完整的记录。盖伯的实验解决了全息术发明中的基本问题，即波前的记录和再现，但由于当时缺乏明亮的相干光源 (激光器)，全息图的成像质量很差。1962 年随着激光器的问世，利思和乌帕特尼克斯 (Leith and Upatnieks) 在盖伯全息术的基础上引入载频的概念发明了离轴全息术，有效地克服了当时全息图成像质量差的主要问题——孪生像，三维物体显示成为当时全息术研究的热点，但这种成像科学远远超过了当时经济的发展，制作和观察

这种全息图的代价是很昂贵的，全息术基本成了以高昂的经费来维持不切实际的幻想的代名词。1969 年本顿（Benton）发明了彩虹全息术，掀起以白光显示为特征的全息三维显示新高潮。彩虹全息图是一种能实现白光显示的平面全息图，与丹尼苏克（Denisyuk）的反射全息图相比，除了能在普通白炽灯下观察到明亮的立体像外，还具有全息图处理工艺简单、易于复制等优点。

趣味历史

凡是见过法国肖维岩洞(Chauvet Cave)中的那些史前绘画的人，无不为其那细微的明暗变化、运用自如的透视法和优雅流畅的线条所折服。这些原始人用赭石绘制于 32000 年前的犀牛、狮子和熊，虽经岁月侵蚀，却依然能够给人带来极大的视觉撼动。但是，并不是所有人都像让-马林·肖维和他的两位朋友那么运气：当他们在 1994 年 12 月 18 日于偶然之中发现了这个岩洞的时候，所有的岩洞都为他们敞开大门，所有的绘画都无条件展现在他们简陋的探照灯下。然而，当这一发现被公之于众，并作为当年最伟大的考古和艺术发现之一被法国政府斥巨资加以研究保护之后，肖维岩洞的大门却对公众关闭了。连从事相关研究的专家，在入洞考察之前，都不但要经过繁琐的审批过程，还要披挂齐全，做足保护功夫，并且保证不能接触洞壁。普通人就更无缘一睹真容，只能望着杂志上平板的图片凭空摹想了。

不过，居住在古老的葡萄酒之乡波尔多城郊小镇上的伊夫·根特及其兄弟菲力普·根特却可能用他们的全息照片将这一切变为历史。

一个世纪以前，当电报的发明人塞缪尔·摩尔斯第一次见到使用银版照相术拍摄下来的照片时，曾惊讶地认为，如此逼真的图象决不当被称作大自然的复制品，它们就是自然本身的一部分。在如今见多识广的人们眼中，摩尔斯的反应未免有些大惊小怪。在这个数码相机能充分展现其魅力的时代中，没人会像当初圣彼得堡中初见照片的人们那样，害怕照片中的人会对自已眨眼睛，看出自己的想法。但是，当南巴黎大学的化学物理学家和胶片感光专家杰奎琳·贝洛妮(Jacqueline Belloni)在一次学术会议上将伊夫·根特制作的一幅蝴蝶的全息照片展示给大家时，一位恰巧同时也是蝴蝶标本收集爱好者的物理学家却非常费解地问她，到底为什么要在作学术报告时候展示这种鳞翅类昆虫的标本盒子。那位物理学家无论如何都不肯相信这只不过是一幅全息照片。

其实，那位物理学家的惊疑也在情理之中，尽管全息摄影术对大多数人而言早就不是一个新鲜概念。早在激光出现以前，1948 年伽博为了提高电子显微镜的分辨本领而提出了全息照相的理论，并开始全息照相的研究工作。1960 年以后出现了激光，为全息照相提供了一个高亮度高度相干的光源，从此以后全息照相技术进入一个崭新的阶段。相继出现了多种全息的方法，不断开辟全息应用的新领域。伽伯也因全息照相的研究获得 1971 年的诺贝尔物理学奖金。

无论是全息摄影，还是最早的银版照相术，它们的奥秘都在对光的记录。所有的光都拥有三种属性，它们分别是光的明暗强弱、光的颜色以及光的方向。早期的银版照相和黑白照片只能记录下光的明暗变化，而彩色照片在此之外，还能通过记录光的波长变化，反应出它的颜色。全息摄影是唯一能同时捕捉到光的三种属性的一种摄影术，通过激光技术，它能记录下光射到物体上再折射出来的方向，逼真地再现物体在三维空间中的真实景象。

然而，一直到根特兄弟的作品问世之前，所谓的真实再现一直都只不过是理论上的。或许是因为好的全息图象罕见而且难于生成，或许因为全息摄影的科学原理过于深奥，在全息摄影发明了半个世纪之后，它却仍然是一项充满了神秘色彩的技术。

在一些媒体对伊夫·根特及其兄弟成就的报道中，有人将他们描述为“唯一真正实现了全息摄影的再现自然功能的人”，还有人说，他们的作品就像摩尔斯所说那样，是“大自然的一部分”。这些评论可能有些言过其辞，因为实际上，全世界也有许多其他人在从事着全息摄影的研究，国际全息图象制造者联合会（**International Hologram Manufacturers Association**）就是一个聚集了全球全息摄影专家和爱好者的组织。但伊夫·根特毫无疑问是这些专家中的翘楚，在 2001 年冬季，这个联合会将“本年度最佳全息摄影作品”和“最新全息摄影技术”这两项最有分量的大奖颁发给了伊夫，就是最好的说明。一次在奥地利召开的全息摄影学术会议上，当根特兄弟发言并展示自己的作品时，“140 多位经验丰富的全息摄影高手都充满钦佩之情地深吸了一口气”。菲力普在回忆当时的场景时不无得意，他说，“当人们涌上来观看我们制作的全息图片的时候，整个屋子都为之一空。”当时在场的所有专家都被那些几可乱真的图片迷住了，他们忍不住伸手去触摸作品中身着老挝传统舞蹈服装的小木偶衣服上的精美花纹，还有人想要拭去挂在正在吃小甜饼的小姑娘嘴边的饼干碎屑——当然，他们摸到的，同那位物理学家一样，只不过是一层薄薄的玻璃而已。

伊夫的工作得到了业界承认和赞许，可是，当他在 1992 年因为所在的实验室倒闭而被解雇，回到家乡小镇上以一个自由职业者的身份开始自己的全息摄影技术研究时，情况却完全不同。他花了两年左右时间研究出所有必需设备，包括一台最重要的便携全息肖像照相机。但当这一切就绪之时，唯一一家生产他所需要的胶片的制造商——爱克发公司（**Agfa**）——却突然决定停止生产此种胶片。在发明了“牛”之后，伊夫还必须教会自己制造出“草”来。

在随后的几年中，伊夫·根特就在自己简陋的实验室中自学相关的化学原理，并反复实践。菲力普的加入给了他很大帮助。后来，他们终于发明出名为“终极”（**Ultimate**）的感光乳剂。同其他的感光乳剂一样，“终极”的主要成分也是感光性极好的溴化银颗粒，但“终极”中的溴化银颗粒直径只有 10 纳米，是普通胶片上感光颗粒的 1/10 到 1/100。正是这些微小的颗粒使“终极”能记录下细至纤毫的每一个细节，并在同一个感光层上同时记录下红、绿、蓝三色。

伊夫找到了被他称为“30 年来所有人都在寻找的感光乳剂”，但他却还有很长的路要走。他做出了复制肖维岩洞壁画的整个方案，却因为找不到政府的权威人士而求告无门。他还建议为巴黎的迪斯尼乐园建立一个来访名人的全息摄影肖像馆，谈判却一拖再拖。所有见过他

作品的人，都承认那是完美的全息图象，但法国的投资者过于谨慎，他们不仅要下金蛋的鹅，还要一群这样的鹅能够工业化、大规模下出金蛋，才肯从自己的口袋里掏钱。为了寻求投资人，根特兄弟及其父亲甚至想过要移民到魁北克。

转机出现在一位美国合伙人的加入之后。他所拥有的机器能将“终极”母版上的全息图象复制到杜邦公司制造的某种聚合体材料上。尽管这些图象还达不到“终极”胶片上的图象水准，但却远比从前的聚合体材料上的全息图象好多了。伴随着这种杜邦材料上的全息图象的大规模生产，使用“终极”胶片的工业化生产也是指日可待。此外，国际全息图象制造者联合会的首肯也为根特兄弟的工作增添了分量。

应用

全息照相的应用领域很广泛。

实验应力分析范畴

常用于实验应力分析范畴的是全息干涉法，如用来研究物体的三维位移场和应力分布(见位移场全息干涉分析，全息光弹性法)以及分析复杂构件的振型、振幅等。采用脉冲全息照相，还可研究固体中应力波的传播和裂纹扩展过程以及在风洞实验中研究飞行器的空气动力特性等。在无损检验中，可用来检测物体的内部缺陷和微小裂纹。

图象识别和无损检验

将微波技术、超声波技术和全息照相结合起来，形成了微波全息术和声全息术，在图象识别和无损检验等领域中得到广泛应用。

照相领域

全息技术应用到照相领域要远远优越于普通的照相，普通照相是根据透镜成像原理，把立体景物“投影”到平面感光底板上，形成光强分布，记录下来的照片没有立体感，因为从各个视角看照片得到的像完全相同。全息照相再现的是一个精确复制的物光波，当我们“看”这个物光波时，可以从各个视角观察到再现立体像的不同侧面，犹如看到逼真物体一样，具有景深和视差。如果拍摄并排的两辆“奔驰”汽车模型，那么当我们改变观察方向时，后一辆车被遮盖部分就会露出来。难怪人们在展览会会为一辆“奔驰”汽车拍摄的全息图而兴奋不已：“看见汽车的再现像，好像一拉车门就可以就坐上‘奔驰’，太精彩了！”一张全息图相当于从多角度拍摄、聚焦成的许多普通照片，在这个意义一张全息的信息量相当 100 张或 1000 张普通照片。用高倍显微镜观看全息图表面，看到的是复杂的条纹，丝毫看不到物体的形象，这些条纹是利用激光照明的物体所发出的物光波与标准光波（参考光波）干涉，在平面感光

底板上被记录形成的，即用编码方法把物光波“冻结”起来。一旦遇到类似于参考光波的照明光波照射，就会衍射出成像光波，它好像原物光波重新释放出来一样。所以全息照相的原理可用八个字来表述：“干涉记录，衍射再现”。

发展

全息照相的方法从光学领域推广到其他领域。如微波全息、[声全息](#)等得到很大发展，成功地应用在工业医疗等方面。地震波、[电子波](#)、X 射线等方面的全息也正在深入研究中。全息图有极其广泛的应用。如用于研究火箭飞行的冲击波、飞机机翼蜂窝结构的无损检验等。激光全息，而且研究成功白光全息、[彩虹全息](#)，以及全景彩虹全息，使人们能看到景物的各个侧面。全息三维立体显示正在向全息彩色立体电视和电影的方向发展。

最新技术

以色列特拉维夫大学科学家发明的一种全新的全息摄影术或将完全实现这些设备的功能。如果想要利用现有技术产生三维效果，就必须将二维图像重制，即旋转或扩展。但是，特拉维夫大学创新团队的纳米天线技术，允许新设计的全息图复制图案的深度，而不再需要图像重制。研究人员认为，这项技术的应用将极为广泛和多样性，已有多家商业实体对此表示浓厚的兴趣。

对光的参数和相位进行研究，是一个有趣的想法。如果我们能够动态地改变光波之间的关系，就可以制造出某种动态发射的事物，就好像全息电视一样。这样技术的应用将是无限的。如果我们能够获得光线，并将其以一种特定的纳米结构照射出去，就可以以你想要的任何方向和以你想要的任何形式投影出去。这将得到有趣的结果。

科学家们在实验室中开展了历时一年的相关研究工作，并发明了一种小型金属纳米天线芯片，以及一种相适应的全息算法，这种算法可以检测一束光波的“相图”。相位与光波从你所看到的物体到你的眼睛的传播距离有关。在现实情况中，我们的大脑知道如何理解相位信息，因此就可以有深度感。但是当你看一幅照片时，你常常会失去这种信息，因此照片看起来就很平滑。全息摄影则保留了这种相位信息，而这种信息则是 3D 成像的基础。 [\[3\]](#)

研究人员认为，与相关的技术相比，他们的技术首次成功形成了高分辨率全息图，并且可以从任何方向投影。斯切尔教授表示，“我们利用这项技术可以反映任何想要反映的事物。此前，科学家们只能产生一些基本的形状，如圆形、条纹等。利用我们的方法就可以得到诸如特拉维夫大学的标志等特别设计的图案，而且可以得到最佳效果。”

这项技术还可以应用于科学研究、安全、医学、工程等领域以及实现娱乐目的。比如，一位外科医生必须要重制许多扫描图像才可以产生一幅精确的图片。但是，他只需要生成一

幅全息图，就可以从每一个角度来检查身体的症状。再比如，一位建筑设计师可以绘制出一幅全息设计图，就有如身临其境走进一般。其应用真的无穷无尽。此外，新技术还可以应用于军事目的和防伪技术，如用来提升激光雷达的性能等。目前，研究人员正在研究另一项新技术，即能够让全息图来改变形状和运动。

该项研究由以色列特拉维夫大学一创新团队完成，创新团队负责人为特拉维夫大学纳米科学与纳米技术中心主任雅尔-哈内恩教授、电机工程学院雅各布-斯切尔教授和埃梅尔-鲍格教授。在哈内恩等科学家的带领和指导下，特拉维夫大学博士生尤瓦尔-伊菲特、迈克尔-艾坦和泽夫-伊鲁兹等人利用纳米天线技术发明了一种高效全息摄影术。该项技术利用光源本身的参数形成动态、复杂的全息图像。科学家们的研究成果发表于美国化学学会刊物《纳米快报》之上。[\[4\]](#)

参考资料

- 1. R. I. Collier, C. B. Burkhardt and L. H. Lin, Optical Holography, Academic Press, New York, 1971.
- 2. 词条作者：柯敬唐. 《中国大百科全书·力学》（第一版），中国大百科全书出版社，1985-08：403页.
- 3. 裸眼 3D . 全息图原理[引用日期 2013-09-20]
- 4. 以色列发明最新全息摄影：动态改变光波关系 . 新浪网[引用日期 2014-07-17]