

用三色光栅和黑白感光胶片作彩色摄影术的研究与进展

白光信息处理课题组

(南开大学现代光学研究所, 天津 300071)

摘 要 报道南开大学现代光学研究所白光信息处理课题组近十几年在将白光光学信息处理用于黑白胶片作彩色摄影的研究中, 各阶段所取得的技术进展, 以期社会予以评论和指导。

关键词 白光信息处理, 傅里叶变换, 三色光栅, 彩色摄影编码, 数字解码技术。

1 由来与发展

1) 在以傅里叶光学为基础的光学信息处理领域中, 人们经过对相干光信息处理作了相当充分的研究和取得了许多创造性的重要成果之后, 于 70 年代末和 80 年代初, 开始注意非相干的白光信息处理及其应用的研究。美国 Francis T. S. Yu(杨振寰) 教授等 80 年代初开始开展了白光图像处理的研究^[1, 2], 取得了许多有价值的成果。如: “白光处理方法用于胶片的档案存储”^[3]、 “褪色胶片的彩色恢复”^[4] 的研究等。它利用伦奇光栅(Ronchi Rolling) 的空间方位对彩色图像进行编码和用傅里叶变换的白光光学 $4f$ 系统解码, 构成处理彩色图像的技术。这个技术成为稍后一些时间, 即 1981~ 1982 年在南开大学开展用三色光栅和黑白感光胶片作彩色摄影术研究的引导和重要参考。

2) 在现代彩色摄影中, 为获得彩色图像, 一般用多层不同乳剂构成的彩色感光胶片为中介, 而不论是彩色反转片还是彩色负片, 它们在曝光后的处理都比黑白感光胶片的处理复杂得多, 要求也严格得多。尤其是大量的这种化学处理还有污染环境问题。此外, 还由于化学染料层的不稳定性而有不可避免的褪色问题, 不利于彩色信息的存储。所以如果能寻求一种方法能以黑白感光胶片作中介, 像黑白照相一样来作彩色摄影, 不仅有科学意义, 也会有很大的经济和社会效益。正是基于这种考虑, 同时认识到上述白光信息处理技术具有噪声低、光源简单和适于处理彩色图像的潜在优点, 所以自 1981 年以来作者开展了一系列的有关白光信息处理用于黑白胶片作彩色摄影术的研究。除 1983 年的用三色光栅和黑白胶片作彩色摄影术的研究^[5] 外, 还作了全息图像编码、衍射级间干涉编码^[6]、定向散斑屏编码^[7] 以及计算机散斑屏的图像处理^[8] 等方面的研究。

论文[5]中, 作者采用了以白光信息处理为理论基础的三色光栅空间编码和傅里叶频谱彩色滤波的解码技术。但对上述 Yu 教授等人的、为在一张黑白片记录彩色图像信息需用伦

奇光栅(Ronchi Rolling)和三原色红(R)、绿(G)、蓝(B)滤光片作三次曝光的编码术作出了重要进展,即作者通过一枚特殊设计和制造的“三色光栅”的一次空间编码代替顺时的三次编码在黑白胶片上获得彩色图像的编码片,它记录了所需的全部彩色信息。然后通过白光4f系统的傅里叶变换和频谱的三原色滤波获得原彩色物的图像。这样就突破了顺时的三次编码不能一次曝光作彩色摄影的难点,从而有效地促进了黑白胶片光栅编码彩色摄影术的实用化。

作为一种技术研究成果,本文作者在1983年第4卷第2期的《仪器仪表学报》上发表第一篇研究文章^[5]。它重点地报道了设计和制造红、绿、蓝三色光栅,实际地完成了相应的彩色摄影实验,并对编码的模型作了分析。文中概述了70年代发表的Ives^[9]、Mueller^[10]及F. T. S. Yu文章^[3, 4]的要点。并明确地说明了“在原理上本文所说的编码与Yu的基本原理相同,只是用三色光栅将Yu的三次编码并为一次编码(见文献[5]第125页原理部分)”。

3) 本成果于1983年12月通过天津市科委鉴定,1986年1月申请发明专利,1989年获中国专利权^[11];1987年某单位了解本技术后,拟开发成产品在侦察摄影中应用;1988年1月立项研制,与南开大学签订研制合同,会同南京3304厂、中科院长春光机所、江西照相机总厂分工合作,进行工艺与工程的研究和专门设计与制造。经4年的努力完成了研制某一型号的光学信息处理机的任务。它包含三色光栅编码器、135型以及120型一米焦距编码相机和彩色解码仪。该机于1990年12月通过了上级部门组织的产品鉴定会,认为该机是国际首创(首创指作为成型的实用产品)具有国际先进水平的产品。随后在实用部门进行了使用试验,证明该机适合实际需要,是一种新型的现代化装备。1991年11月批准设计定型。至此,可以说所进行的从原理到技术的研究在取得重要技术进展后进入实用阶段。

有关这一阶段的成果的文章于1992年应邀发表在美国光学工程的《Electro-Optical Displays》专集上^[12],它对新的白光光学信息处理器的性质,红、绿、蓝的三色光栅的彩色图像编码,黑白编码片的彩色图像解码及有关关键器件制备的技术要点等都作了详细的报告,并且在引言中作为参考文献概述了前人包括Mueller^[10]、Yu^[3, 4]、Macovski^[13]、Grousseau和Kinany^[14]等人的工作。

4) 由于上述光学设备具有很好的效果,有关部门于1993年又下达了研制新型大幅面航空摄影用的光学图像处理系统的任务。为此要研制幅面达180×180 mm的红、绿、蓝的三色光栅、相应的大尺寸的彩色解码的光学处理机和新型的用计算机进行解码的计算机解码系统。这是一项因尺度增大而增加了难度的高科技项目。作者与中科院长春光机所、南京3304厂、南京5311厂及某单位分工合作,经过4年研究,完成了大幅面180×180 mm三色光栅的设计与制造;研制了装有该三色光栅的航空摄影相机以及用于大幅面的彩色图像解码仪等任务。它使得研究进入了一个新阶段:它不仅在陆地摄影中得到实际应用,而且也可在航空摄影中应用。

5) 在完成上述任务中,本文作者又开拓了计算机解码的新路,实现了光学编码与计算机解码的彩色图像的数字处理技术。并以此新技术为主要内容,于1992年向美国申请专利,1993年6月获美国专利局立项。经过与他们前后三年的与美国相关专利(包括Mueller^[15, 16]专利,Macovski^[17, 18]专利等)和国际专著^[19, 20]进行比较和核查,于1995年9月获得美国专利权(U. S. Patent No. 5452002)^[21],保护期17年。概述这一新技术的文章发表在由Academic Press出版的、国际光学委员会主席主编的ICO-Book III, “Trends in Optics” pp527~ 542,

1996 年^[22]。

2 差别与创新

2.1 本文作者的用三色光栅和黑白感光片作彩色摄影术的基础

首先, 本文作者的用三色光栅和黑白感光胶片作彩色摄影技术不像最近《光学学报》发表的文章^[23](作者言放)所说的“由一篇文章和一个专利组成”, 而是以上述的 1983 年发表在仪器仪表学报上的文章^[5]、1989 年的中国专利^[11]、1992 年发表在美国光学工程专辑《Electro-Optical Display》的文章^[12]、1995 年的美国专利^[21]和 1996 年发表在国际光学委员会会长主编的 ICO-Book III 的文章^[22]为代表的十数篇文献[6~ 8]和若干专项设计和大量工程图纸组成的。

在申请美国专利过程中, 作者回答了美国专利局提出的关于与有关已发表的美国专利(包括 Mueller, Macovski 和 Yu 等人的专利)之间的异同的问题。作为论证, 这些专利的名字已刊在作者专利的第一页的额首(reference cited)^[21]。这表示美国专利局是在查阅了这些专利之后才批准作者的专利。作者在自己的上述文章中, 也都概述了 Ives、Mueller、Yu 和 Macovski 等人的有关工作, 是尊重历史, 实事求是的。

总的来说, 作者的技术是建立在 80 年代初形成的白光光学信息处理术的基础上的, 它具有较完整的傅里叶变换模型及相应的系统理论和实验基础。而 Mueller 和 Macovski 等工作都是在白光信息处理之前的大约 10 年时形成的。这点就基本上决定了作者与这些专利之间的原理模型上是不同的。下面将作者的技术与 Mueller 和 Macovski 作一比较和分析。

2.2 与 Muller 的方法的比较

将 Mueller 的两个专利(1970 年 No. 3609010, 1971 年的 No. 3586434)和他 1969 年在 App. Opt. 上发表的文章与作者的技术相比, 可以看出他所用的编码的物理原理虽与作者三色光栅编码的原理相同, 但是在以下几个关键技术方面有明显区别:

1) Mueller 建议三色光栅的三色为黄、品、青(Y. M. C.), 见图 1(a) [见专利^[15, 16]的 Fig. 4(b) 及专利描述中的第二页 7~ 14 行, 文章的 2052 页公式 7 与 8 之间的文字说明], 而作者方法的三色光栅, 根据实验中的效果和考虑到现代光学显示的特点, 却始终是红、绿、蓝(R. G. B.)为三原色, 见图 1(b)。在色度学中, 黄、品、青是红、绿、蓝的补色, 两者是有

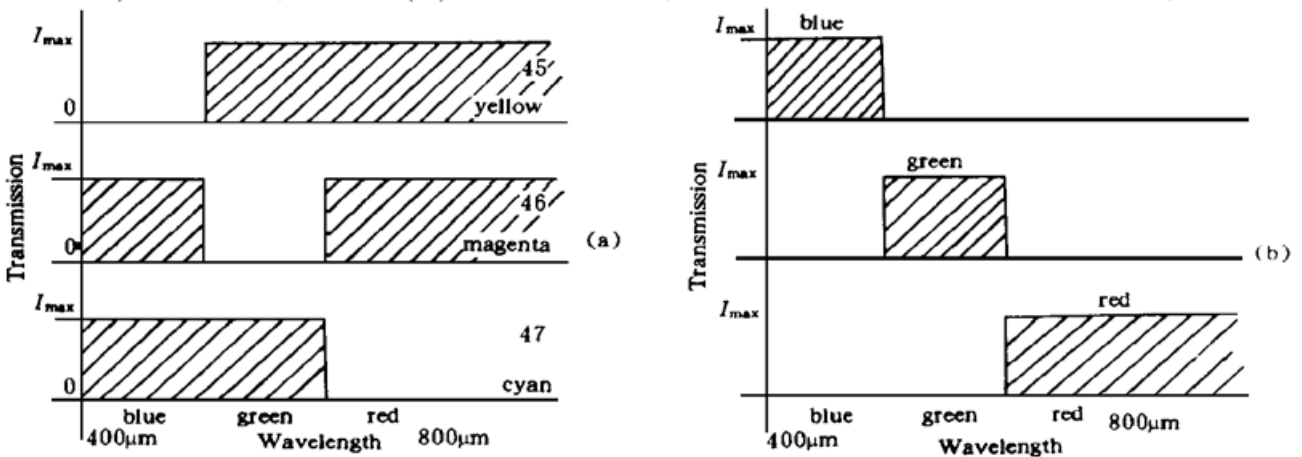


Fig. 1 Comparison of Y. M. C. with R. G. B. (a) Schematic diagram of spectrum transparency in the Fig. 4B of Mueller's patent, (b) Schematic diagram of spectrum transparency of author's tricolor grating

原则区别的。Mueller 编码是用负片记录彩色信息的。而作者的方法是用正片,亦可直接数字编码,易于与今日彩色电视或其它光电彩色显示相接,符合现代显示的要求,宜于与现代多媒体接轨。

2) 对解码系统的光源, Mueller 在他的专利和文章^[10]中,规定要使用多色光源(Poly-chromatic Source),并且明确地规定它是由三个独立的准单色光组成(见文献[11]第 2052 页 Fig. 1 下方的文章说明);而作者所用的是具有连续光谱的白光光源(用色温来表征)和白光 $4f$ 光学系统。光源的这种差别表现了系统在相干与非相干方面的技术思路差别。白光系统具有噪声低、结构简单和宜于彩色图像处理的特点,具有通过 $4f$ 系统进行傅里叶变换计算的功能。Mueller 建议的用三个准单色光源,暂且不论在实际上如何实现,它不可避免地要产生更多的噪音和干涉条纹的问题。这是作者的方法与 Mueller 方法的又一个区别。

3) Mueller 虽然叙述了用他的黄、品、青光栅一次曝光记录彩色像的原理,但是他没有实验结果。在他的演示实验上采用的是顺时制(Sequential Method,即三次曝光制)(见文献[10]第 2055 页的实验结果描述),即将三种滤色片按顺序依次地放在照相镜头前面分三次进行曝光,他没有给出同时对三原色进行编码的结果。他给出的实验照片(文中 Fig. 7)准确地说是对于一个不动的彩色物体依三次曝光制作出来的。而作者的方法是三原色一次编码,正是由于这样才有实用的前途和能够用于彩色摄影以及航空摄影、遥感等。

4) 综上所述, Mueller 方法是以黄、品、青为原色的三色光栅作编码器,解码用的光源是由三个独立(光谱)的准单色光组成的,他的实验是三次曝光的。而作者的方法是以红、绿、蓝为原色的三色光栅作编码器,一次完成编码。解码是用 $4f$ 白光光学图像处理系统,解码后可直接与电视相接显示彩色图像,是实时的,是白光的。可见两者之间有显著的不同。因而无论 Mueller 文章的技术是否成功的应用,它也完全不能涵盖作者的创造和进步。

2.3 与 Macovski 的方法的比较

文章[23]的作者说, Macovski 是一次编码记录方法的发明者,他设计制作了三色光栅和一次编码相机并进行了成功的实验,而且说本文作者的技术是抄袭 Macovski 的、甚至是倒退。把 Macovski 的专利的原文和本文作者的专利和文章一比就清楚了。

1) 首先, Macovski 在他的专利^[17, 18]的 Fig. 1 中[如本文的图 2(a)],明确地表明了 Yellow(黄)、Magenta(品)和 Cyan(青)是他作三色光栅(Fig. 2、Fig. 3 和 Fig. 4)的三原色。而对

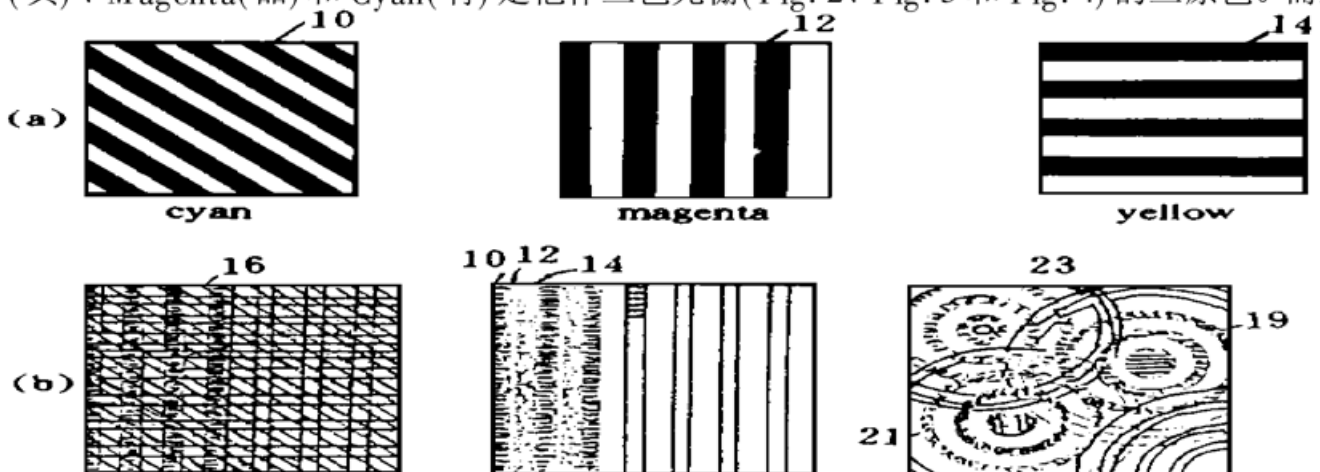


Fig. 2 Tricolor grating in the Macovski's patent. (a) Quoted from Fig. 1 of Macovski's patent, (b) Quoted from Fig. 2, Fig. 3, Fig. 4 of Macovski's patent

这三个光栅，暂且不论它们在实际应用上是否可行和有没有原则上的问题，也不论是三补色光栅(Fig. 2)、变频三补色光栅(Fig. 3)还是有菲涅耳带的三补色光栅(Fig. 4)，却没有一个和作者的红、绿、蓝三原色光栅一样。

其次，人们从图 3^[18](Macovski 专利中的 Fig. 6、Fig. 7、Fig. 8 和 Fig. 9) 很清楚地看到，Macovski 专利所提出的编码方式，是多次曝光的编码，而不是一次编码。

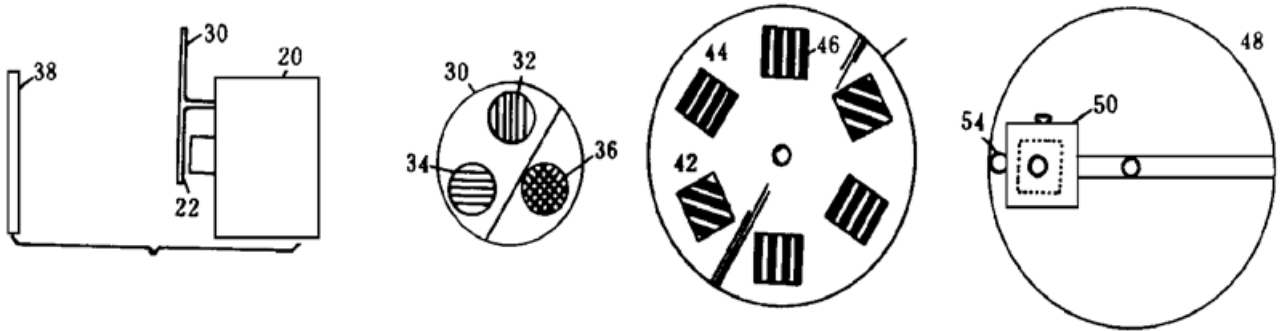


Fig. 3 A copy of schematic diagram of encoding photograph in Fig. 6~ Fig. 9 of the Macovski's patent^[18] demonstrating multi-exposure encoding

2) 言放在他的文中图 2 上用英文注释图 2 为“Design for tricolor grating, given by A. Macovski in 1967”(由 Macovski 给出的三色光栅的设计)以资说明 Macovski 设计了三色光栅。而按 Macovski 自己对他的图 2 用英文的说明却是“Fig. 2 illustrates a spatial filter with the three grids shown in Fig. 1. superimposed on one another”。言放如能如实地把原图 1 也引到文中，并且不改 Fig. 2 的原注释，那就是说：“Fig. 2 是由 Fig. 1 中的 Y. M. C. 三个栅迭加而成的一个空间滤波器的示意图”，没有说是设计了一个三色光栅，显然，是言放改了原注释。作者从光谱、色度、材料、工艺和应用等多方面考虑为制造 R. G. B. 三色光栅所作的设计(见本文 3.1 节)与言放所认识的“设计”截然不同。

3) 言放把 Macovski 的 Fig. 5，用英文标为“Design for camera implementing the snapshot method using a tricolor grating, given by A. Macovski”(由 Macovski 给出的用一个三色光栅做照快像的照相机的设计)“似乎这样就证明 Macovski 实现了一次编码相机设计和制作。但是，在 Macovski 的原专利的第 3 页的 Brief description of the drawings 中，却清楚地写道“Fig. 5 is a schematic illustration of a camera equipped with a spatial filter(带有一个空间滤波器的照相机的结构示意图)”，又是言放没有较好理解原文注释。这里既没有设计又无照快像(Snapshuot)，将原理和要求具体化为工程并规定出工艺和实施条件的技术工作称设计，而示意只是表明一个概念。不能把示意与设计混为一谈。

Macovski 在他专利中，建议了图 3 中的 Fig. 3 和 Fig. 4 的三补色光栅，但是实际上从没有见到这两种三色光栅的任何实物和有关实验报道。事情是清楚的。唯不知言放从 Macovski 专利中用来说明他的三色光栅和编码的由 Fig. 1 到 Fig. 8 的八个图中，选出两个并加以自己的注释是为什么？

4) 再次，在 Macovski 的专利中，他把解码器(专利^[17]的图 11) 视为一个投影系统(Projection System)。它能够将编码片上记录的信息在空间分开并成像于投影屏上，其光学原理是清楚的。而本文作者的方法中的解码器是以白光信息处理的 $4f$ 系统作傅里叶变换和三原色的频谱滤波的思想而构成的，又有严格的数学表达式并且有明显的“ $4f$ 系统是光学模拟计算机”的概念。所以很自然产生了用计算机代替光学系统来解码的思路。实践证明是可行的，

图 5 给出了由这种计算机解码新技术得出的结果。而从投影系统的概念是难以构成这种新结局的,这是作者与 Macovski 的又一区别。

综上所述,可见作者技术与 Macovski 专利的区别是明显的,因而不论 Macovski 技术在历史上是否成功应用,也不能说后来的以不同色度制式和不同的系统模型而研制成的具有实用价值的作者的技术不是进步和发展。何谈“抄袭”和“倒退”!

2.4 重要进展

基于长期实践,越来越多地掌握了这项技术的核心和技术发展,从而于 1993 年,作者在申请美国专利中提出由 R、G、B 的三色光栅作空间方位调制与传感器(Colorblind Sensor)组成数字编码盒^[21]。它将彩色光学信息数据 $I(x, y)_r + I(x, y)_g + I(x, y)_b$ 压缩成为光强分布数据 $I(x, y)$, 并以数字形式给出。由这种器件组成的照相机与上述用计算机解码技术的联合运用,是适应当前新技术发展所需要的。在这个意义上作者的技术与历史上提出的原理和工作相比,不仅不是抄袭和倒退,而是有了很大的发展。

光栅的原理人们早已知晓,并且也知道有各种各样的光栅,但是怎能说后人依已有原理,在新的高度和理论系统上,结合实际应用的需要而精心设计和制成的各种现代光学仪器和器件是抄袭,是倒退,而不是前进和重要的技术进步?

3 技术突破和光学工程及应用研究的进展

众所周知,从基础理论和原理性的研究到实验和技术的研究,进而以其成果进行光学工程的研究,是一个很长的研究过程。这一过程在理论、设计、技术、工艺、制造上以及实用方面要进行大量的实验和创新的研究工作,要攻克许多技术难关。作者提出的“黑白感光胶片三色光栅彩色摄影技术”以及进行的三色光栅编码器、彩色编码相机和彩色图像解码仪的研究经历了三个阶段:1981 年~1983 年是以白光信息处理的傅里叶光学基本理论出发进行该技术基本理论和实验研究,并获得成功,1983 年对实验成果进行鉴定。1984 年~1986 年进行实用化技术的研究,1986 年申报了中国专利。1987 年到现在的近十年,一直进行光学工程

12 | encoding camera Aero encoding camera 135 encoding camera

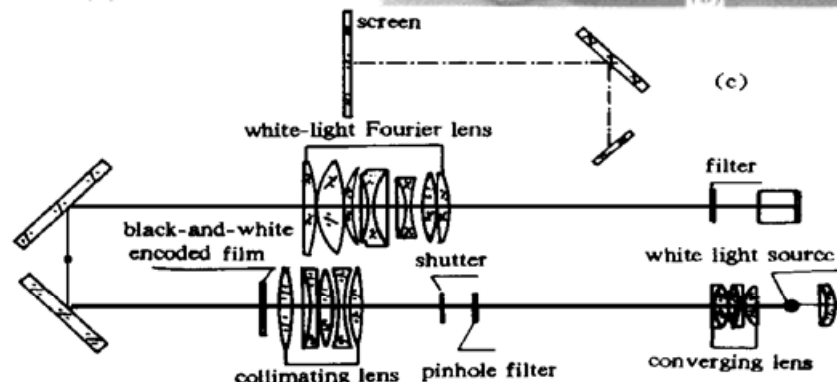


Fig. 4 Partial instruments. (a) Three encoding cameras, (b) Picture decoder, (c) Optical system of the decoder

和实际应用的研究。先后与六个单位合作,研制成三种型号的三色光栅编码器、彩色编码相机、以及彩色图像解码仪,部分产品如图 4 所示。这些器件和仪器设备是光学、机械、电子、计算机等诸多方面相结合的新产品。研制成的某一型号光学信息处理机经技术鉴定和试用,被认为是国际首创的实用产品,具有国际先进水平,并通过设计定型。这一研究成果获国家发明奖。实现了从实验到产品定型的飞跃。兹再就某些技术关键概述如下。

3.1 三色编码光栅的设计和制造

三色光栅编码器是决定该技术能否成功的关键器件。应当指出的是 Macovski 和 Mueller 的三色光栅,都只是提出一种构想和结构示意图,并没有实际给出制造三色光栅和彩色编码相机的设计,更没有制造彩色图像解码仪的设计。而本文作者经过多年的反复设计和实验,成功地制造出三种型号的三色光栅编码器。在研制过程中解决了许多技术上的问题:

1) 三色光栅的色匹配问题,它决定能否编码记录景物的真实颜色。要选择三色滤色片的光谱透过率,使得三色光栅的 R. G. B. 能合成为所规定的白色。要从色度学的计算入手进行设计,并在制造时控制光谱透过率,达到白平衡。为此本文作者专门制造了用于制造三色光栅的复制曝光机。

2) 光栅的空间频率影响编码图像的分辨率,而光栅的空间频率必须与制作三色光栅的材料相匹配。因而选择材料并对材料进行处理是十分重要的。

3) 为了得到高衍射效率,对光栅的对比度、母光栅的形状以及空占比等均作了实验研究和理论分析,取得了行之有效的经验。

4) 在三色光栅中,如果三个光栅间夹角不合适,会使频谱面的衍射谱的交叉项和衍射级重叠,难于滤波而产生莫尔条纹,作者通过理论分析和实验,对三个方向光栅的夹角计算出最佳夹角,避免了莫尔条纹和重叠。

5) 解决三色光栅的耐磨和防潮问题。作为一个光学器件置于照相机中,对于实际使用要求来说,它必须是能耐磨、防潮和便于清洁。本文作者研究了一种特殊材料和工艺,镀以保护薄膜,很好地解决了这一问题。

6) 制造一个符合实际使用要求的三色光栅,尤其是大幅面的三色光栅,从材料、工艺、制备到测试要克服一系列的技术关键,是一件难度很大的光学工程。

3.2 彩色编码相机的设计和制造

1) 彩色编码相机的一个重要技术问题是在底片前装置一枚三色光栅编码器,并且要求在拍摄时底片与三色光栅密接,卷片时三色光栅与底片要自动分离。且操作方便,以保证编码效果和避免摩擦。原理上很容易,而实际上为达到实用要求,就给设计和制造上带来困难。作者与协作单位共同努力,精心设计机械传动结构,巧妙地解决了这一问题。

2) 加上三色光栅后,需要根据总透过率设计相机的曝光条件。

3.3 彩色图像解码仪的设计和制造

彩色图像解码仪是依傅里叶变换和频谱滤波的原理用白光光学图像处理器解码再现原景物彩色图像的仪器[见图 4(b), (c)]。解决的关键技术问题和特点是:

1) 白光光源的选择及照明系统的设计。从色度学角度做到与编码相机匹配,以保证再现逼真彩色图像。同时为保证系统的像质,要求一个优质的大相对孔径的白光照明系统。

2) 系统的光学结构和镜头的设计要求精度高、难度大,特别是大相对口径的复消色差的准直透镜和傅里叶变换镜头[图 4(c)]。作者与长春光机所合作设计和制造了高质量的镜头,

产生了很好的解码效果。另外在光学整体设计上,将需用二个傅里叶变换镜头的 $4f$ 系统简化为一个等效的傅里叶变换系统,减少了仪器尺寸和造价。

3) 设计和提供了三种输出彩色图像的方式和装置,即可由电视监视器屏显示、毛玻璃显示以及印制彩色相片。

4) 设计了特殊频谱彩色滤波器,该滤波器的红、绿、蓝滤色片的透过率可调整,并且在零级处设置特殊结构以消减杂散光。

5) 黑白编码片的输片机构具有创新性,正倒向输片灵活可调。工作时保证胶片平整。

6) 研究和分析了输出像面的信噪比及噪声来源^[24, 25]。它是影响再现图像质量的重要因素之一。在该系统中虽然没有严重的相干噪声,但却发现有一些颗粒噪声。作者从理论和实验上详细地分析了这种噪声的来源,给出胶片的颗粒与输出面颗粒噪声的关系,与准直滤波小孔的位置与大小的关系及与波长的关系等。并采取了有关措施消除或降低输出噪声。并通过提高光栅的对比度,选择最佳的空占比和光栅形状来提高衍射效率,从而提高信噪比。

7) 为实现计算机解码,解决了应用于这项技术的快速傅里叶变换及频谱滤波的运算及彩色图像输出等问题,其结果如图 5 所示。图 5(a) 为黑白编码片,图 5(b) 为数字解码彩色打印输出(原图为彩色)

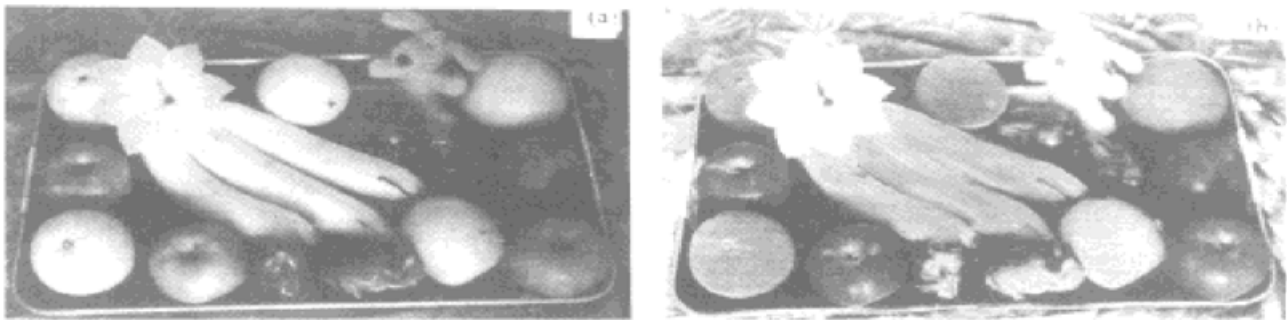


Fig. 5 The color image retrieval by digital decoding. (a) The encoded black-and-white transparency, (b) The color image retrieved by digital decoding

4 结 论

综上所述,本文作者将光栅空间调制彩色图像的原理与白光信息处理相结合,完成用黑白胶片作彩色摄影技术与前人如 Mueller 和 Macovski 等人所做的不同,技术上有创新和发展,研制成功的三色光栅编码器及彩色编码相机和彩色图像解码仪设备解决了工程技术方面的许多难点而进入实际应用,属国际首创。所研究的光学数字编码和数字解码的彩色图像处理系统更为本技术开辟了一条新路。

作者认为这项技术也还存在一些问题和不足,有待进一步研究和完善。作者从来也没有说它能完全代替彩色胶片。因此在选题上已注意到此技术的应用条件和范畴。

言放对本文作者的研究工作和成果似还缺乏了解,也未具体指出本文作者的什么文章、什么技术或专利的那一点是错误的,说这项技术 100 年前就有了,说作者的成果是抄袭的和倒退的,说这项技术是无前途的。通过作者的这篇报告,相信人们可以清楚地看到,100 年前 Wood 的在他自己的书上的概念构不成今天这里所讨论的技术,二十世纪六、七十年代的技术也并没有终止于 Mueller 和 Macovski,八十年代初 F. T. S. Yu 等人又开展用黑白胶片存

储彩色图像的白光光学图像处理的研究,随后本文作者在白光光学处理的基础上开展黑白底片彩色摄影术的研究。作者的研究始于原理性和技术性的,而今天已是突破重重难关,研制成了应用于陆地和航空摄影用的新型设备产品并且开拓了用计算机解码的崭新技术,给这个领域赋予了新的内容,发展这项技术,使之步入实用阶段。作者做的不是抽象的评论或文章,而是摸得着、看得见和用得上的成果,是参与这个项目的广大科技人员的汗水和智慧和实践给出有价值的成果,得到了国内外同行专家的承认与鼓励。

为了追求科技进步,发展不同学术观点的研讨,作者诚恳地欢迎言放先生以及社会上有兴趣的同志前来南开大学现代光学研究所白光信息处理课题组的实验室参观指导。

参 考 文 献

- [1] F. T. S. Yu, 庄松林, 母国光, 白光信息处理的现代进展. 光学学报, 1981, **1**(1) : 13~ 23
- [2] F. T. S. Yu, *Optical Information Processing*, New York, John Willy & Sons Inc, 1982, Chap. 8 and 9
- [3] F. T. S. Yu, White-light processing technique for archival storage of color films. *Appl. Opt.*, 1980, **19**(14) : 2457~ 2460
- [4] F. T. S. Yu, G. G. Mu, S. L. Zhuang, Color restoration of faded color films with white-light processing. *Optik*, 1981, **58**(6) : 389~ 393
- [5] 母国光, 王君庆, 方志良等, 用三色光栅和黑白感光胶片拍摄彩色景物. 仪器仪表学报, 1983, **4**(2) : 125~ 130
- [6] 方志良, 王君庆, 母国光, 用衍射级间干涉编码法作彩色透明片的档案存储. 光学学报, 1984, **4**(8) : 701~ 705
- [7] G. G. Mu, Z. Q. Wang, Q. Gong *et al.*, White-light image processing using oriented speckle screen encoding. *Opt. Lett.*, 1985, **10**(8) : 375~ 377
- [8] G. G. Mu, X. M. Wang, Z. Q. Wang, The application of computer-generated oriented speckle screen to image processing. *Proc. SPIE*, 1987, **673** : 508~ 511
- [9] H. E. Ives, Improvements in the diffraction process of colour photography. *Brit. J. Photo.*, 1969, **3** : 609~ 612, 1906
- [10] P. F. Mueller, Color image retrieval from monochrome transparencies. *Appl. Opt.*, 1969, **8**(10) : 2051~ 2057
- [11] 母国光, 方志良, 王君庆等, 用黑白感光片作彩色摄影技术. 中国专利, 审定号 CN1003811B, E28, 1989
- [12] G. G. Mu, Z. L. Fang, F. L. Lin *et al.*, *Optical Engineering 《Electro-Optical Display》*, Chap. 5: Color image display with back-white film, p187~ 210 Dekker, New York, 1992
- [13] A. Macovski, Encoding and decoding of color information. *Appl. Opt.*, 1972, **11**(2) : 416~ 420
- [14] R. Grousson, R. S. Kinany, Multicolor image storage on black and white film using a crossed grating. *J. Opt. (Paris)*, 1978, **9**(6) : 333~ 339
- [15] Mueller, Spectral zonal photography using color coded photo storage in colorblind panchromatic storage medium. *U. S. Patent*, 3586434, 6/1971
- [16] Mueller, Spectral zonal filter. *U. S. Patent*, 3609010, 9/1971
- [17] Macovski, Photography using spatial filter. *U. S. Patent*, Re27491, 9/1972
- [18] Macovski, Photographic coding-decoding system. *U. S. Patent*, 3533340, 6/1970
- [19] Galluzzo Tong, *Canon's RC-570 Still Video System*, Shutterby aug. 1992 : 142~ 143
- [20] Reynolds *et al.*, *Physical Optics Notebook: Tutorial in Fourier Optics*, Published by SPIE, 1989, 423~ 445
- [21] G. G. Mu, Z. L. Fang, F. L. Liu *et al.*, Color data image encoding method and apparatus with spectral zonal filter. *U. S. Patent*, 5452002, 9/1995

- [22] G. G. Mu *et al.*, Physical method for color photography, *Ico Book III* 《Treuds in Optics》, Academic Press, New York, 1996 : 527~ 542
- [23] 言放, 黑白胶片光栅编码彩色摄影术. 光学学报, 1997, **17**(8) : 1028~ 1039
- [24] 方志良, 周春燕, 许欣等, 白光图像处理中颗粒噪声的研究. 物理学报, 1990, **39**(5) : 741~ 748
- [25] 周春燕, 方志良, 许欣等, 采用随机振动法抑制白光处理系统中的颗粒噪声. 光学学报, 1990, **10**(10) : 927~ 931

The Progress of Technique on Color Photography with Tricolor Grating and Black-White Film

White-Light Information Processing Group

(*Institute of Modern Optics of Nankai University, Tianjin 300071*)

(Received 25 October 1997; revised 13 January 1998)

Abstract A brief introduction of the progress of technique on color photography with tricolor grating and black-white film by Institute of Modern Optics of Nankai University, was reported. Some new techniques and its results are discussed.

Key words white-light image processing, Fourier transformation, tricolor grating, color photograph by coding, digital decoding technique.