



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 1825979 B

(45) 授权公告日 2010.09.29

(21) 申请号 200610004380.1

审查员 金笑聪

(22) 申请日 2006.01.27

(30) 优先权数据

200500673-9 2005.02.01 SG

(73) 专利权人 索尼电子(新加坡)股份有限公司

地址 新加坡新加坡城

专利权人 索尼株式会社

(72) 发明人 李朝旭 白仓明

(74) 专利代理机构 中国专利代理(香港)有限公

司 72001

代理人 杨凯 梁永

(51) Int. Cl.

H04N 13/00(2006.01)

H04N 15/00(2006.01)

(56) 对比文件

US 2003/0156308 A1, 2003.08.21, 全文.

JP 特开平 10-171335 A, 1998.06.26, 全文.

US 5510058 A, 1996.04.23, 全文.

US 5694488 A, 1997.12.02, 全文.

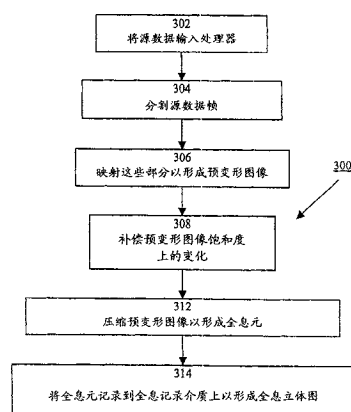
权利要求书 3 页 说明书 18 页 附图 24 页

(54) 发明名称

减少全息立体图中的重影的方法及设备

(57) 摘要

减少全息立体图中的重影多个源数据帧被输入处理器。该多个源数据帧被分割成多个部分,其被映射以形成多个预变形图像。对多个预变形图像饱和度(衍射效率)上的变化进行补偿以减少重影,并进行压缩以形成多个全息图元,这些全息图元被记录到全息记录介质上以形成全息立体图。



1. 一种用于从多个源数据帧形成全息立体图的方法,该方法包括:
将多个源数据帧分割成多个部分;
映射所述多个部分以形成多个预变形图像;
补偿所述多个预变形图像在饱和度上的变化;
压缩所述多个预变形图像以形成多个全息元;以及
将所述多个全息元记录到全息记录介质上以形成所述全息立体图。
2. 如权利要求 1 所述的方法,其中通过将补偿算法应用于所述多个预变形图像中的一个或多个像素来对所述多个预变形图像进行补偿。
3. 如权利要求 2 所述的方法,其中所述补偿算法调节所述多个预变形图像中的一个或多个像素,以在所述多个全息元被记录到所述全息记录介质上时,至少部分地补偿接着发生的饱和度的变化。
4. 如权利要求 2 所述的方法,其中一个或多个衰减因数被应用于所述多个预变形图像中的一个或多个像素。
5. 如权利要求 4 所述的方法,其中应用于像素的所述衰减因数将该像素的值减少到被记录在所述全息记录介质上的所述多个全息元的最低预测的非零像素值的水平。
6. 如权利要求 1 所述的方法,还包括在另一全息立体图的多个预变形图像中的多个像素的平均像素值与从所述另一全息立体图再现的图像的亮度之间建立参考关系。
7. 如权利要求 6 所述的方法,其中所述参考关系是从一系列具有彩色梯度的参考源数据帧确定的。
8. 如权利要求 6 所述的方法,其中所述参考关系是通过以下步骤建立的:
 - (a) 生成一系列具有彩色梯度的参考源数据帧;
 - (b) 分割和映射该系列参考源数据帧中的每一个,以形成一组预变形图像;
 - (c) 压缩该组预变形图像,以形成一组全息元;
 - (d) 将该组全息元记录到第二全息记录介质上,以形成所述另一全息立体图;
 - (e) 测量从所述另一全息立体图再现的图像的亮度;以及
 - (f) 绘制该组预变形图像中的像素的平均像素值对从所述另一全息立体图再现的图像的亮度的曲线图。
9. 如权利要求 8 所述的方法,其中所述第二全息记录介质与所述全息记录介质是相同类型的介质。
10. 如权利要求 8 所述的方法,其中建立所述参考关系还包括:对另一系列参考源数据帧重复步骤(a)至(e),并使用另外的亮度值绘制在步骤(f)中绘制的所述曲线图的更多部分。
11. 如权利要求 8 所述的方法,其中从所述另一全息立体图再现的图像的亮度是从多个观察位置测量的。
12. 如权利要求 11 所述的方法,其中当每个连续的观察位置之间的间隔太窄以至于不能获得基本可区分的所述亮度的测量结果时,生成额外的系列源数据帧。
13. 如权利要求 6 所述的方法,其中所述平均像素值是穿过所述多个预变形图像的压缩轴进行平均。
14. 如权利要求 6 所述的方法,其中所述平均像素值是穿过所述多个预变形图像的两

个压缩轴进行平均,所述两个压缩轴相互正交。

15. 如权利要求 6 所述的方法,其中所述多个预变形图像是基于从所述全息立体图再现的图像的预测亮度进行补偿的。

16. 如权利要求 15 所述的方法,其中所述图像的预测亮度是从基于所述多个预变形图像的平均像素值的参考关系确定的。

17. 如权利要求 15 所述的方法,还包括对所述预测亮度应用加权因数。

18. 如权利要求 17 所述的方法,其中所述加权因数是从像素中的一个颜色成分的加权因数对该像素的一个或多个其他颜色成分的平均像素值的曲线图获得的。

19. 如权利要求 18 所述的方法,其中所述曲线图是通过以下步骤建立的:

生成第一组加权因数参考源数据帧;

从得自所述加权因数参考源数据帧的立体全息图中获得图像;

从所述图像中的参考部分生成参考比率;

为所述图像中的其他部分生成另外的比率;

将所述另外的比率中的每一个除以所述的参考比率,以获得沿加权因数轴的坐标;以及

绘制多个点,每个点用一个沿所述加权因数轴的坐标和一个沿所述像素中的其他颜色成分的每个平均像素值轴的坐标表示,以形成所述曲线图,其中所述像素被用来生成相关的另外的比率。

20. 如权利要求 19 所述的方法,其中所述第一组加权因数参考源数据帧包括至少第一和第二源数据帧,每个所述源数据帧具有多个部分,每个部分具有颜色成分的不同组合,所述第二源数据帧在一侧具有黑色区域。

21. 如权利要求 18 所述的方法,其中所述曲线图是通过以下步骤建立的:

(a) 生成不同颜色成分的第一组加权因数参考源数据帧;

(b) 从得自所述第一组加权因数参考源数据帧的立体全息图中获得图像;

(c) 从所述图像中的参考部分生成参考比率;

(d) 为所述图像中的另外部分生成另外的比率;

(e) 将所述另外的比率除以所述参考比率,以获得沿加权因数轴的坐标;

(f) 绘制点,该点用一个沿所述加权因数轴的坐标和一个沿所述像素中的其他颜色成分的每个平均像素值轴的坐标表示;以及

(g) 为一个或多个另外组的参考源数据帧重复步骤 (a)、(b) 和 (d) 至 (f)。

22. 如权利要求 21 所述的方法,其中所述第一组参考源数据帧包括至少多个第一源数据帧和多个第二源数据帧,其中所述多个第一源数据帧中的每一个是相同或类似的,所述多个第二源数据帧中的每一个是相同或类似的,所述第一源数据帧包括不同颜色的两个带,而所述第二源数据帧包括与所述源数据帧中的那些相同的两个颜色的两个带和黑色的第三带。

23. 一种用于减少全息立体图中重影的方法,其中多个源数据帧被分割,且作为结果的部分经映射以形成多个预变形图像,该方法包括:

补偿所述多个预变形图像在饱和度上的变化。

24. 一种改变用于从多个源数据帧形成全息立体图的预变形图像的方法,通过将所述

源数据帧分割成多个部分并映射所述多个部分以形成多个预变形图像从而提供所述预变形图像,该方法包括:

补偿所述多个预变形图像在饱和度上的变化。

25. 如权利要求 23 或 24 所述的方法,还包括在对所述多个预变形图像进行补偿之前:将多个源数据帧分割成多个部分;以及映射所述多个部分以形成多个预变形图像。

26. 如权利要求 23 或 24 所述的方法,还包括:

压缩所述多个经补偿的预变形图像以形成多个全息元;以及将所述多个全息元记录到全息记录介质上,以形成所述全息立体图。

27. 如权利要求 1-24 中的任一项所述的方法,其中所述饱和度上的变化包括记录所述全息立体图的记录介质的衍射效率上的变化。

28. 一种用于在记录介质上产生减少了重影的全息立体图的方法,包括对所述记录介质的非线性特性进行预补偿,所述记录介质的非线性特性导致饱和度的变化。

29. 一种用于从多个源数据帧形成全息立体图的设备,包括:

用于将多个源数据帧的多个分割成多个部分的单元;

用于映射所述多个部分以形成多个预变形图像的单元;以及

用于补偿所述多个预变形图像在饱和度上的变化的装置;

用于压缩所述多个预变形图像以形成多个全息元的装置;以及

用于将所述多个全息元记录到全息记录介质上以形成所述全息立体图的装置。

减少全息立体图中的重影的方法及设备

技术领域

[0001] 本发明一般地涉及全息立体图。更确切地说,本发明涉及减少全息立体图中的重影。

背景技术

[0002] 全息立体图是一种由被摄体的一组二维视图构成或合成的立体图,这些二维视图被作为全息元(全息胶(hologel))顺序地记录在全息记录介质上。

[0003] 图1说明了一种用于形成仅具有水平视差的立体图10的处理。以包含物体15的二维视图的多个源数据帧14的形式存在的源数据12被输入到处理器16,在此处对每个源数据帧14进行分割。然后使用重新映射算法(如通过重定中心、摇摄或旋转,这些方法是指摄像机拍摄被摄体的方式)来分配源数据帧14的每个部分18,以形成多个预变形图像20,然后,这些图像被输入到空间光调制器(SLM)22,如液晶显示器(LCD)。随后,预变形图像20通过会聚透镜24(它是一种非常复杂的透镜组合)被投射到全息记录介质26上,如光聚合物。

[0004] 会聚透镜24将预变形图像20压缩成多个全息元28,然后每个全息元被顺序地记录到全息记录介质26上,以形成全息立体图10。

[0005] 图2说明了一组源数据12和用如图1所示的方法生成的全息立体图10再现的一组相应的图像30。这是一种对观察者在现实生活中看到的图景的粗略描述。亮度、对比度等等可以不同。理想情况下,全息立体图10能提供对源数据12的精确再现。然而,如图2所示,往往会在从全息立体图10再现的图像30上出现阴影。在从全息立体图10再现的图像30上出现的“阴影”被称为重影。重影现象不精确地再现金息立体图上的图像30。

[0006] 考虑到前述问题,希望提供一种用于形成全息立体图的方法,其中在从全息立体图再现的图像中的重影被减少或被消除,以使最终的立体图图像能尽可能精确地象原始图像30。

发明内容

[0007] 本发明提供了一种用于形成全息立体图和作为结果的立体图的方法。应当意识到,可以以多种方式实施本发明,其中包括工艺、设备、系统、装置或方法和其他的事物。

[0008] 根据本发明的第一方面,提供了一种用于从多个源数据帧形成全息立体图的方法。多个源数据帧被分割成多个部分,映射该多个部分以形成多个预变形图像。对该多个预变形图像饱和度上的变化进行补偿,并将其压缩成多个全息元,该多个全息元被记录到全息记录介质上,以形成全息立体图。

[0009] 通过对多个预变形图像中的一个或多个像素应用补偿算法来对多个预变形图像优选地进行补偿。例如,当多个全息元被记录到全息记录介质上时,该补偿算法调整多个预变形图像中的一个或多个像素,以至少部分地对变化的饱和度进行补偿。可以对多个预变形图像中的一个或多个像素应用衰减因数。例如,应用于像素的衰减因数可以沿在相同帧

以及其他帧上的相同的压缩轴减小与像素值相关的该像素的值。应用于像素的衰减因数可以沿相同的压缩轴将该像素的值减小到最低的像素值的水平。

[0010] 优选地,该方法包括在多个预变形图像中的多个像素的平均像素值和从全息立体图再现的图像的亮度之间建立图形关系。可以穿过多个预变形图像的压缩轴对平均的像素值进行平均。优选地是通过以下方法建立图形关系:生成一系列具有彩色梯度的源数据帧,对这一系列源数据帧中的每一个进行分割和映射以形成一组预变形图像,压缩该组预变形图像以形成一组全息元,将该组全息元记录到第二全息记录介质上以形成第二全息立体图,测量从第二全息立体图再现的图像的亮度,以及绘制该组预变形图像中的像素的平均像素值相对于从第二全息立体图再现的图像的亮度的曲线图。

[0011] 基于来自预变形图像的平均像素值的测量结果,可以用多个预变形测试图像的平均像素值和从全息立体图再现的图像的亮度之间的图形关系来预测从最终的全息立体图再现的实际图像的亮度。然后,可以基于预测的亮度对预变形图像进行补偿。

[0012] 可以基于颜色对预测的亮度应用加权因数。可以从像素中的一个颜色成分的加权因数相对于该像素中的其他颜色成分的平均像素值的曲线图中获得这样的加权因数。优选地是通过生成第一源数据帧和第二源数据帧来建立该曲线图,每个源数据帧具有多个部分,每个部分具有颜色成分的不同组合,第二源数据帧在一侧具有黑色区域,分别从第一源数据帧和第二源数据帧得到第一图像和第二图像,从第二图像中的参考部分生成参考比率,为第二图像中的每个剩余部分生成比率,用参考比率除以每个剩余部分的比率以获得沿加权因数轴的坐标,并且绘制多个点,每个点用一个沿加权因数轴的坐标和一个沿像素中的其他颜色成分的每个平均像素值轴的坐标来表示,以形成曲线图。

[0013] 根据本发明的第二方面,提供了一种用于减少全息立体图中的重影的方法。其中对多个源数据帧进行了分割,并且作为结果的部分经映射以形成多个预变形图像,对该多个预变形图像饱和度上的变化进行补偿。

[0014] 根据本发明的第三方面,提供了一种用于改变从多个源数据帧形成全息立体图的预变形图像的方法。通过将源数据帧分割成多个部分并映射这多个部分以形成多个预变形图像,从而提供预变形图像,对该多个预变形图像饱和度上的变化进行补偿。

[0015] 第二和第三方面可以包括,在对多个预变形图像进行补偿之前,将多个源数据帧分割成多个部分,并映射这些部分以形成多个预变形图像。第三和第四方面可以包括,在补偿多个预变形图像后,压缩补偿的预变形图像,以形成多个全息元,这些全息元被记录到全息记录介质上以形成全息立体图。

[0016] 根据本发明的第四方面,提供通过第一至第三个方面的任一个方面的方法形成的全息立体图。

[0017] 根据本发明的第五方面,提供一种用于从多个源数据帧形成全息立体图的设备。该设备包括:用于将多个源数据帧分割成多个部分的单元;用于映射多个部分以形成多个预变形图像的单元;以及用于对多个预变形图像中的一个或多个像素应用补偿算法以补偿饱和度上的变化的单元。

[0018] 根据本发明的第六方面,提供了一种用于从多个源数据帧形成全息立体图的计算机系统。该计算机系统包括用于接收多个源数据帧的外部装置接口。耦合到该外部装置接口上的处理器分割和映射多个源数据帧,以形成多个预变形图像。耦合到该处理器的存储

器储存补偿算法,该补偿算法被应用于多个预变形图像中的一个或多个像素,以补偿饱和度上的变化。

[0019] 根据本发明的第七方面,提供用于从多个源数据帧形成全息立体图的计算机程序产品。该计算机程序产品包括用于分割和映射多个源数据帧以形成多个预变形图像的、计算机可读的程序代码,以及用于补偿多个预变形图像饱和度上的变化的、计算机可读的程序代码。

[0020] 第五方面的设备、第六方面的计算机系统和第七方面的计算机程序产品均可以根据第一至第三方面中的任一方面的方法来操作。

[0021] 结合附图以及对本发明原理的举例说明,从以下详细描述中可以清楚地看出本发明的其他方面和优点。

附图说明

[0022] 通过结合附图对下面的非限制性示范实施例的详细说明,可以更容易地理解本发明。为了方便该说明,相同的标号表示相同的结构元件。

[0023] 图 1 说明了用于根据现有技术形成全息立体图的处理;

[0024] 图 2 说明了从根据现有技术的全息立体图再现的图像中的重影;

[0025] 图 3(a) 说明了根据现有技术的一系列预变形图像;

[0026] 图 3(b) 说明了根据现有技术从图 3(a) 的一系列预变形图像形成的、被记录到全息记录介质上的一系列全息元;

[0027] 图 3(c) 说明了根据现有技术的、以未压缩形式存在的图 3(b) 的一系列全息元;

[0028] 图 4(a) 说明了根据本发明的实施例的、应用补偿算法前的预变形图像;

[0029] 图 4(b) 说明了根据本发明的实施例的补偿的预变形图像;

[0030] 图 4(c) 说明了从图 4(b) 中的补偿的预变形图像形成的未压缩的全息元;

[0031] 图 5 说明了用于为 RGB 成分之一建立 $pAvg$ 和 Br 之间关系的方法;

[0032] 图 6 说明了计算预变形图像中的像素的 $pAvg$;

[0033] 图 7 说明了用于建立 $pAvg$ 和 Br 之间关系的方法;

[0034] 图 8(a) 说明 Br 对 $pAvg$ 的曲线图;

[0035] 图 8(b) 说明 Br 对 $pAvg_{ratio}$ 的曲线图;

[0036] 图 8(c) 说明 $atten$ 对 Br 的曲线图;

[0037] 图 9 说明了计算预变形图像中的像素的 $pAvg$;

[0038] 图 10 说明了对不同 R 、 B 值的 Br_G 对 $pAvg_{ratio,G}$ 的三条曲线;

[0039] 图 11(a) 是说明 $Weight_G$ 与 $pAvg_{ratio,R}$ 和 $pAvg_{ratio,B}$ 之间关系的曲线图;

[0040] 图 11(b) 是说明 $Weight_R$ 与 $pAvg_{ratio,G}$ 和 $pAvg_{ratio,B}$ 之间关系的曲线图;

[0041] 图 11(c) 是说明 $Weight_B$ 与 $pAvg_{ratio,R}$ 和 $pAvg_{ratio,G}$ 之间关系的曲线图;

[0042] 图 12(a) 说明了一组源数据帧;

[0043] 图 12(b) 说明了一组源数据帧的一组图像,该源数据帧是从图 12(a) 的源数据帧生成的全息立体图再现的;

[0044] 图 13 说明了从图 12(b) 的图像计算用于绘制图 11(a) 的曲线图的值;

[0045] 图 14 是流程图,它说明了用于形成全息立体图的方法;

- [0046] 图 15 是流程图,它说明用于补偿预变形图像饱和度上的变化的方法;
- [0047] 图 16 是用于生成全视差全息立体图的一组数据源帧的实例;
- [0048] 图 17 是用于生成全视差全息立体图的全息胶和预变形图像阵列的示意图;
- [0049] 图 18 说明了全视差预变形的实例;
- [0050] 图 19 说明了用于生成全视差全息立体图的第一组参考数据帧;
- [0051] 图 20(a) 和图 20(b) 分别说明了预变形图像和从图 19 的第一组参考数据帧生成的、未经补偿的全息胶;
- [0052] 图 21 是观察平面和全视差全息立体图照片的透视图;
- [0053] 图 22 是全视差全息立体图照片的观察平面的顶平面视图;
- [0054] 图 23 是从图 19 的第一组参考数据帧生成的曲线图;
- [0055] 图 24 说明了用于生成全视差全息立体图的第二组参考数据帧;
- [0056] 图 25(a) 和图 25(b) 分别说明了预变形图像和从图 24 的第二组参考数据帧生成的、未经补偿的全息胶;
- [0057] 图 26 是由图 19 的第一组参考数据帧和图 24 的第二组参考数据帧生成的组合的曲线图;
- [0058] 图 27(a) 说明了用于在彩色全视差系统中生成参考曲线的源数据帧的阵列;
- [0059] 图 27(b) 说明了来自图 27(a) 的源数据帧的作为结果的全息胶阵列;
- [0060] 图 28 是来自具有图 27(b) 的全息胶的全息立体图照片的图像;
- [0061] 图 29 示出了参考绿色加权因数曲线,使用来自图 28 的图像的值绘制的曲线的点之一;
- [0062] 图 30 是流程图,示出了生成彩色全视差全息立体图所涉及的一些步骤;以及
- [0063] 图 31 说明了用于从多个源数据帧形成全息立体图的计算机系统。

具体实施方式

[0064] 描述了一种用于形成全息立体图的新途径。在以下描述中,阐明了许多具体的细节,以便彻底理解本发明。然而,将会明白对于本领域的技术人员而言,在不具备某些或所有这些具体细节的情况下,也可以实施本发明。在其他实例中,没有对已知的处理操作进行详细描述,以便不至于不必要地使本发明的实施例的细节不清楚。

[0065] 在研究全息立体图中的重影现象的过程中,发明人确定,当全息元被记录到全息记录介质上时,会发生重影现象。已经发现,重影是由于记录介质的非线性特征造成的,因而会导致饱和度水平的变化。这便在表面上给人这样一种印象,来自邻近的源数据帧的数据“污染”了全息元。

[0066] 产生重影的机制是由记录材料(如光聚合物)的局限性引起的。光聚合物的衍射效率(亮度)并不随落在其上的激光功率增加而线性地或是无限地增加。如果落到全息胶上的功率低(由预变形图像确定),光聚合物的性能便没有受到“过劳”。另一方面,如果落到全息胶上的功率高(由具有高调色板值的预变形图像确定),则光聚合物的性能将受到“过劳”,并很快达到其性能极限,即它饱和了。

[0067] 图 3(a) 至 3(c) 说明了根据现有技术当一系列预变形图像作为全息元被记录到全息记录介质上时发生的变化。特别是,图 3(a) 说明了一系列预变形图像,图 3(b) 说明了被

记录到全息记录介质上时从图 3(a) 的一系列预变形图像形成的一系列全息元,而图 3(c) 以一种延长的形式说明了图 3(b) 的系列全息元,以表示预变形图像。

[0068] 在被记录到全息记录介质的全息元中观察到了饱和(即随着落到记录介质上的激光功率的增加,亮度逐渐降低或变得稳定)。然而,由于重影的发生,构成全息元的像素的饱和达到了不同的程度。特别地,重影现象揭示了构成全息元的一些像素的饱和程度。因而,在全息元中便观察到了预变形图像中的单色 40 的多重色调 32、34、36、38。

[0069] 为减少重影现象,发明人设计了一种补偿算法,该算法被应用于预变形图像,通过在预变形图像中将相关像素值调整相关的数量,来对由重影现象引起的像素饱和度上的变化进行补偿。该算法根据对进一步往下处理的饱和度的预期而减少某些像素值。该补偿算法可以被写入到处理器的软件之中,该处理器基于源数据生成预变形图像。

[0070] 图 4(a) 说明了根据本发明的一个实施例的、在应用补偿算法之前的预变形图像。可以以与现有技术相同的方式从源数据中得到该预变形图像。

[0071] 需要指出的是,尽管在本实施例中仅使用了四个源数据帧,但源数据帧的数量可以大于四,也可以小于四。典型地,可以有 150 和 225 个这样的帧。同样地,尽管在这个实例中仅示出了 4 个预变形帧(出自总数 50),但可以是更多。压缩轴中的预变形帧数目是在同样的轴中的要生成的全息立体图的全息胶的数目。例如,如果最后的全息立体图为 45mm 宽,并且每个全息胶为 0.2mm 宽,则将有 225 个全息胶,需要 225 幅预变形图像。另一方面,如果最后的全息立体图为 10mm 宽,并且每个全息胶为 1.0mm 宽,则将有 10 个全息胶,需要 10 幅预变形图像。

[0072] 源数据可以是多种格式中的任何一种格式,如位映像图形(BMP),联合图像专家组(JPEG)或音视频数据交替(AVI)。相应地,每个源数据帧可以是顺序的 BMP 流中的个别位图图像、单个 JPEG 图像文件或以 AVI 文件形式的视频静止画面。

[0073] 图 4(b) 说明了根据本发明的一个实施例的补偿的预变形图像。由于重影现象,在图 4(b) 的平均像素值最高的顶部和底部区域中的像素,比处于中间区域 42、44、46 中的像素更为饱和。如果不加调整,中间区域 42、44、46 会显得比顶部和底部区域亮。因而,减少中间区域 42、44、46 中的像素的值,以使得它们不象顶部和底部区域中的像素那样饱和。这导致中间区域与顶部和底部区域相匹配,从而使得在最后的全息立体图中任何一种颜色(在本例中为绿色)的像素值是相同的(如 R0, G255, B0 代表绿色)。

[0074] 图 4(c) 示出了根据本发明的一个实施例的、从图 4(b) 中的补偿的预变形图像中形成的未经压缩的全息元。由于已对一些构成全息元的像素的减少的饱和度进行了补偿,因而在未经压缩的全息元中的与成像的物体相对应的部分周围,可以观察到单色。

[0075] 发明人得出了以下补偿方程,即方程(1),以调整预变形图像的受到影响的像素,以便在从预变形图像形成的全息元被记录到全息记录介质时,对后来的被减少的饱和度进行补偿:

[0076]
$$\text{palette}_{\text{New}} = \text{palette} \times \text{atten}(1)$$

[0077] 其中

[0078] $\text{palette}_{\text{New}}$ 代表在预变形图像中的像素的补偿的像素值,

[0079] palette 代表预变形图像中的像素的原始像素值,以及

[0080] atten 代表衰减因数,该因数确定了 palette 将被进行调整的程度,以减少重影现象。

[0081] 每个像素可以用三个数字成分来表示:红色成分,绿色成分和蓝色成分。每个数字成分是像素中特殊颜色成分的强度的指示。因此,包含每个成分颜色的值的像素值是该像

素颜色的指示。

[0082] 像素能表示的不同颜色的数量取决于每像素的位数 (bpp)。在 24-bpp 像素格式中,红-绿-蓝 (RGB) 成分中的每一个成分包括处于从 0 至 255 的数值范围之中的 8 位字节。因此,处于 24bpp 模式的一个像素可以具有 16777216 种颜色。例如,具有值 (0,0,0) 意即 (红=0,绿=0,蓝=0) 的像素是黑色的,具有值 (255,255,255) 的像素是白色的,具有值 (255,0,0) 的像素是红色的,具有值 (255,255,0) 的像素是黄色的,而具有值 (255,165,0) 的像素是橙色的。

[0083] 为说明本发明,本发明的的实施例用 24-bpp 模式进行描述。然而,读者将会意识到,本发明还可适用于其他模式,如 8bpp 像素格式,其中一个像素可以具有 256 种颜色,或是 16bpp 像素格式,其中一个像素可以具有 65536 种颜色。

[0084] 衰减因数 *atten* 的目的是将预变形图像中像素的实际像素值 *palette* 减小到被记录到全息记录介质的全息元中最低的像素值 (而不是表示物体的像素)。

[0085] 假设源图像仅具有一种颜色的一个色调 (忽略物体本身)。如果原始的源图像中仅含有一种色调,则最后的全息胶照片中也只具有一种色调。应当消除多重色调,以便只存在一种色调。该方法可以被简化成两步:

[0086] 步骤 1:识别最深的色调;以及

[0087] 步骤 2:降低任何较浅色调的亮度,以使之与最深色调的亮度相匹配。

[0088] 图 3(c) 中的中部的全息胶 (伸展的) 说明了四种不同的色调,即在图像的顶部和底部的带中的最深色调 32,以及三个朝向中心的较浅的带 34、36、38,在中心处的色调最浅的带和色调第二最浅的带紧接着色调最深的带 32。目标是降低印制的全息胶中的三个较浅带的亮度,使得它们与目标色调即最深色调 32 相匹配。理想的均匀色调如图 4(c) 所示。

[0089] 全息元最低的像素值取决于全息记录介质的性能。在落到全息记录介质上的光强度不变的地方,在性能越好的全息记录介质上形成的全息元越亮。记录材料的性能受到例如对其进行曝光的激光功率这样的因素的影响。

[0090] 记录材料的性能有多好,这可以非常容易地从全息立体图照片中看出来。全息图像越亮,记录材料的性能越好。这种性能通常被称为记录材料的衍射效率 (DE)。简单地说,DE 越高,则更多的光被反射,于是对于观察者图像便显得更亮。一旦全息立体图被记录到记录材料上,记录材料的不同部分将具有不同的衍射效率。

[0091] 通过首先建立沿预变形图像的压缩轴的平均像素值 *pAvg* 和从未经补偿的全息立体图再现的图像上对应像素的亮度 *Br* 之间的关系,可找到衰减因数 *atten*。优选地是为同一种全息记录材料确定该关系,以便该材料将被用于记录被摄体的全息图。一旦建立了 *pAvg* 与 *Br* 之间的关系,给出构成对应的预变形图像的像素的平均像素值 *pAvg*,便可预测构成未经补偿的全息元的各个像素的亮度。之后,当全息元被记录到全息记录介质上时,受到重影现象影响的像素便可被调整到一个合适的程度,以补偿不精确的亮度值。

[0092] 图 5 说明了用于为 RGB 成分中的一种建立 *pAvg* 与 *Br* 之间的关系的方法的一部分。如图所示,生成了一系列逐渐有越来越多的帧被物体遮盖的源或参考数据帧 50。如现有技术所述,通过映射算法分割和分配每个源数据帧,以形成一组预变形图像。压缩这些预变形图像,以形成一组全息元 52,每个全息元以与现有技术相同的方式被顺序地记录到全息记录介质,以形成全息立体图 54。为清楚起见,在图 5 中说明了全息元 52 的未压缩形式。

[0093] 电荷耦合装置 (CCD) 或分光计被放置在相对于全息立体图 54 的多个观察位置 56, 并测量从全息立体图 54 中再现的、与源数据帧 50 对应的一系列图像 58 的亮度 Br。

[0094] 对于被用来创建全息立体图 54 的相同的帧, 确定 pAvg 的值。

[0095] 在这个实例中, 有十个不同的帧和十个全息胶。该十个帧没有产生最后的全息胶中的物体, 而是产生了单个颜色 (如绿色) 的十个不同色调, 该十个不同色调由预变形图像 (这些图像是完全相同的) 中的十个不同的 pAvg 值产生。这些不同的色调出现在十个不同的层中。通过为处于与 10 个不同层相对应的位置的全息立体图确定亮度值, 可能的是可绘出联系 Br 和 pAvg 的曲线。

[0096] 每个预变形图像具有 n 行像素和 i 列像素。用下面的方程, 即方程式 (2) 可计算预变形图像 64 的每一像素行 n 中的像素 62 的平均像素值 pAvg:

[0097]

$$pAvg_n = \frac{\left(\sum_{i=1}^{num_horiz_pix} palette_{n,i} \right)}{num_horiz_pix} \quad (2)$$

[0098] 其中

[0099] num_horiz_pix 代表穿过压缩轴的像素总数目以及

[0100] pAvg_n 代表穿过像素行 n 的压缩轴所平均的像素值。

[0101] 对于彩色立体图, 单独计算每个 RGB 成分的 pAvg。

[0102] 预变形图像 64 的每个像素 62 在为黑色时具有最小像素值 0, 而对于特定的原色 (如绿色) 具有最大值 255。通过将穿过压缩轴的所有像素 62 的像素值合计, 并用穿过压缩轴的像素的总数除所获得的合计, 从而计算 pAvg。尽管是在水平视差系统中进行说明的, 但应当意识到, 本发明还可以被应用于垂直或者全视差系统中, 全视差系统将在后面进行介绍。

[0103] 在图 6 中, 尽管在每个水平和垂直方向上可能有几百个像素, 但仅有十个帧的事实意味着预变形图像可以被分成穿过压缩轴的十个不同带。在每个带中, 对于任何一行, 像素值是完全相同的。而且, 因为这些特定源数据帧的性质, 预变形图像可被视为具有十一个不同层。在每个层中, 对于任何一列像素, 像素值是完全相同的, 且在每个层中, 像素的行是相同的。因为仅有十一个这样的层且这些层是完全不同, 这便导致了十一个不同的 pAvg 值, 如表 1 所示。表 1 仅仅是对一个颜色通道, 假设是单色图像, 在本例中为绿色。当具有不止一个颜色时, 对于每个颜色进行类似的计算。

[0104] 表 1

[0105]

层	计算	pAvg
第 1 (顶层)	(255+255+255+255+255+255+255+255+255+255)/10	255
第 2	(255+255+255+255+255+255+255+255+255+0)/10	229.5
第 3	(255+255+255+255+255+255+255+255+0+0)/10	204
第 4	(255+255+255+255+255+255+255+0+0+0)/10	178.5
第 5	(255+255+255+255+255+255+0+0+0+0)/10	153
第 6	(255+255+255+255+255+0+0+0+0+0)/10	127.5
第 7	(255+255+255+255+0+0+0+0+0+0)/10	102
第 8	(255+255+255+0+0+0+0+0+0+0)/10	76.5

层	计算	pAvg
第 9	$(255+255+0+0+0+0+0+0)/10$	51
第 10	$(255+0+0+0+0+0+0+0)/10$	25.5
第 11(底层)	$(0+0+0+0+0+0+0+0)/10$	0

[0106] 为简单起见,为每一层的每个带仅示出了一个值,而不是为每一行进行计算。

[0107] 如上所述及参考图 5 获得的图像 58 中的像素的亮度 Br,以及如上所述及参考图 6 获得的预变形图像 64 中对应的像素 62 的平均像素值 pAvg,提供了一组点。图像 58 的每个不同视图的亮度 Br 及在预变形图像中对应的像素层的平均像素值 pAvg 形成了 Br 对 pAvg 的曲线图上的点。该组点被用于绘制 Br 对 pAvg 的曲线图。忽略了 pAvg 为 0 的行(和层)。因此全息立体图 54 的最左边的视图 58 对应于预变形图像 64 的第十层(即第一个非零层)。预变形图像 52 是原始图像 50 的隐含的表示。当眼睛看着最左的视图 58 时,它将看到每个全息元 52 的“最左”列。眼睛看到的所有这些列的“组装”合起来再现了在最左视图 58 中的视图。全息立体图 54 的最右视图 58 对应于预变形图像 64 的第一层。当眼睛看着最右视图 58 时,它将看到每个全息元 52 的“最右”列。眼睛看到的所有这些列“组装”起来再现了在最右视图 58 中的视图。

[0108] 如在后面[图 8(a)]示出的,为各个不同的点(在本例中是十个点)绘制最佳拟合的 n 次多项式(例如尽可能精确地代表该曲线的 5 次或 6 次多项式函数),在其中示出了 pAvg 和 Br 之间的关系。

[0109] 对于图 5 和图 6,我们假设使用单个颜色。然而,一般具有各种不同颜色。因此,为记录材料上的参考图像的红、绿、蓝中的每种颜色确定这样的测量和曲线图。

[0110] 在图 5 中,覆盖所有视图的观察角度约为 90° 。在十个帧的情况下,观察位置 56 中的每一个 9° 的步骤 60 产生不同的图像。当两个连续观察位置 56 之间的间隔 60 被断定为太小而不能获得 Br 的基本可区分的测量(其甚至可以是间隔 9° 的情形)时,可以使用用于确定 Br 的略微不同的方法,如图 7 所示。

[0111] 在图 7 中,生成了具有彩色梯度的第一和第二系列的源或参考数据帧 70、72。本质上,图 7 中的第一和第二系列的源数据帧 70、72 由与图 5 中相同的源数据帧组成。然而,第一系列 70 是由图 5 中的系列 50 的交替帧组成,且第一系列 70 中的每个帧重复一次(即出现两次)。同样地,第二系列 72 由图 5 中的系列 50 中剩余的交替帧组成,且第二系列 72 中的每个帧也重复一次,如图 7 所示。第一和第二系列的源数据帧 70 和 72 通过映射算法被进行分割和分配,以形成第一组和第二组预变形图像。该第一和第二组预变形图像被分别压缩成第一组和第二组全息元,其被分别顺序地记录到第一和第二全息记录介质上,以形成第一和第二全息立体图 74、76。对于每个立体图 74、76,电荷耦合装置(CCD)或分光计被放置在多个观察位置 78 处,以测量用第一和第二全息立体图 74、76 再现的源数据帧 70、72 的一系列图像 80 的亮度 Br。

[0112] 图像 80 中的像素的亮度 Br 和在两个对应的预变形图像中的对应像素的平均像素值 pAvg 提供了用于绘制 Br 对 pAvg 的曲线图和描绘曲线的一组点。

[0113] 如果在每个连续观察位置 78 之间的间隔 82 仍然过窄而不获得 Br 的基本可区分的测量,则可以将图 5 中的源数据帧 50 进行更多次的重复,来重复进行图 7 中说明的方法,直到每个连续的观察位置之间的间隔大到足以获得 Br 的基本可区分的测量为止。

[0114] 图 8(a) 示出了对于一种记录材料的一个颜色成分的从参考图像中生成的 Br 对 pAvg 之间的关系。只要所有值是用同样的方式测量的,用于 Br 的单位便可随意的或无关的。当描绘曲线时,与第一层(该层具有最低的 Br 值和最高的 pAvg 值)对应的 Br 被赋值 1.0(使得当预变形图像被进行补偿时,对于其他具有相同 pAvg 的行/层的 atten 为 1,即这样的行/层未被变得更暗),并通过将其他 Br 值改变与对应第一层的 Br 相同的数量,从而被绘制的其他 Br 值被改变成给定的值 1.0。

[0115] 在另一个实施例中,可以用以下方程式 (3) 将 pAvg 表示成分数 $pAvg_{ratio}$:

$$[0116] \quad pAvg_{ratio} = (pAvg/palette_{Max}) \times 100\% \quad (3)$$

[0117] 其中

[0118] $palette_{Max}$ 代表基于被使用的颜色模型的最大像素值,在本例中为 255。

[0119] 因此,可以绘制 Br 对 $pAvg_{ratio}$ 的一组点以及如图 8(b) 所示的描绘的线,示出对于 RGB 成分之一的 $pAvg_{ratio}$ 和 Br 之间的关系。Br 的最小值又一次被设为 1.0。

[0120] 如前所述,重影现象降低了在形成全息立体图的全息元中的像素的饱和度。因此,衰减因数 atten 反比于从未经补偿的全息立体图再现的图像中的像素的亮度 Br。在本实施例中,得到的衰减因数 atten 是亮度 Br 的倒数:

$$[0121] \quad atten = 1/Br \quad (4)$$

[0122] 这个关系如图 8(c) 所示。

[0123] 一旦从参考图像中确定了 Br 和 pAvg 之间或 $pAvg_{ratio}$ 和 Br 之间的关系,来自要转化成全息立体图的实际图像的 pAvg 的测量结果可以被用来读出对应的 Br 值,以允许能够进行正确的补偿。

[0124] 图 9 说明了预变形图像 48 的计算的 pAvg,预变形图像 48 得自被简化成全息立体图的源数据帧。预变形图像 48 的每一个像素 46 具有为黑色时的最小的像素值 0,以及最大值 255。如方程式 (2) 所示,通过将穿过压缩轴的所有像素的像素值合计并用穿过压缩轴的像素的总数(即用像素表示的预变形图像的图像宽度)除以所获得的合计,从而计算 pAvg。

[0125] 应当为所有的像素行确定 pAvg。因此,如果图像的高度为 480 像素,则我们理论上需要为所有 480 个像素行计算 pAvg 值。然而,为了简单起见,图中仅示出了 7 个测量结果,其中的每一个值是使用四个像素值计算的,因为只有四个帧。图 9 中用在其一侧的括号示出了具有相同 pAvg 值的区域。

[0126] 尽管是在水平视差系统中进行说明的,将会意识到,本发明还能被应用于垂直或全视差系统中,将在后面对其中的后者进行说明。在垂直视差系统中,在所述的处理中被应用于水平和垂直方向的各种不同的处理将分别被应用于垂直和水平方向。

[0127] 在图 9 中,在预变形图像 48 中有四个帧和七个可辨别的层 46。这便导致了七个可能不同的 pAvg 值,尽管如下面的表 2 所示,实际上只有四个不同的 pAvg 值。

[0128] 表 2

[0129]

像素层	计算(对一个颜色通道)	pAvg
第 1(顶层)	$(255+255+255+255)/4$	255
第 2	$(255+255+0+255)/4$	191.25
第 3	$(255+0+0+0)/4$	63.75
第 4	$(0+0+0+0)/4$	0

像素层	计算 (对一个颜色通道)	pAvg
第 5	$(255+0+0+0)/4$	63.75
第 6	$(255+255+0+255)/4$	191.25
第 7	$(255+255+255+255)/4$	255

[0130] [0130] 对于预变形图像中的任何像素层,可以测量 pAvg 值。对于每个 pAvg,可以从图 8(a) 中所示的 Br 对 pAvg 的曲线图中获得 Br 的预测值 [或使用来自图 8(b) 所示的 Br 对 $pAvg_{ratio}$ 曲线图的 $pAvg_{ratio}$]。可以将 Br 的预测值代入方程式 (4) 中以计算预变形图像中的每个像素的衰减因数 atten。或者,对于图 8(a) 和图 8(b) 的曲线图中绘制的 Br 值的范围,如图 8(c) 所示可以将方程式 (4) 用图形表示。可以从图 8(c) 中所示的 atten 对 Br 曲线图中读出预测的图像亮度 Br 的衰减因数 atten。作为一种另外的备选的方案,可以绘制单个的 pAvg 对 atten (或 $pAvg_{ratio}$ 对 atten) 的曲线图。

[0131] 利用图 8(a) 至图 8(c) 中的曲线图以及方程式 (1)

$$[0132] \quad palette_{New} = palette \times atten \quad (1)$$

[0133] 和方程式 (4),可以使用下面方程式 (5), (6), (7) 中的任一个来确定单色系统中的预变形图像的像素的经过补偿的像素值 $palette_{new}$, 其中像素的三个颜色成分中的两个具有零值:

$$[0134] \quad palette_{New} = palette \times (1/Br) \quad (5)$$

$$[0135] \quad palette_{New} = palette \times \{1/[f(pAvg_{ratio})+1]\} \quad (6)$$

$$[0136] \quad palette_{New} = palette \times \{1/[f(pAvg)+1]\} \quad (7)$$

[0137] 彩色系统

[0138] 在全息立体图包括三个 RGB 成分中的不止一个成分的彩色系统中,单个 RGB 成分的预测亮度 Br 受到其他 RGB 成分的像素值的影响。由于一个像素的像素值不直接与三个 RGB 成分中的每个成分的像素值的和成正比,因而彩色系统的实施例使用加权因数 $weight_x$ 来补偿其他 RGB 成分的像素值对该单个 RGB 成分的像素值的影响。因此,Br 可以用以下方程式 (8) 表示:

$$[0139] \quad Br_{X(colour)} = (Br_{X(mono)}/Weight_x) \quad (8)$$

[0140] 其中 $Br_{X(colour)}$ 代表彩色系统中像素的成分 X (RGB 成分之一) 的亮度, $Br_{X(mono)}$ 代表单色系统中像素的 X 成分的亮度,以及 $Weight_x$ 代表其他两种 RGB 成分 Y 和 Z 对 $Br_{X(mono)}$ 的影响。

[0141] $Weight_x$ 是关于预变形图像中像素的两个其他 RGB 成分的每一个的平均像素值 $pAvg_{ratio,Y}$ 和 $pAvg_{ratio,Z}$ 的函数:

$$[0142] \quad Weight_x = f(pAvg_{ratio,Y}, pAvg_{ratio,Z}) \quad (9)$$

[0143] 即

$$[0144] \quad Weight_G = f(pAvg_{ratio,R}, pAvg_{ratio,B}) \quad (10)$$

$$[0145] \quad Weight_R = f(pAvg_{ratio,G}, pAvg_{ratio,B}) \quad (11)$$

$$[0146] \quad Weight_B = f(pAvg_{ratio,R}, pAvg_{ratio,G}) \quad (12)$$

[0147] 以与对单色系统上述的方法相类似的方法,可以为不同颜色组合绘制 Br 对 $pAvg_{ratio}$ 的曲线图和描绘的线,示出每种组合的 RGB 成分之一的 $pAvg_{ratio}$ 和 Br 之间的关系。图 10 说明了三条 Br_G 对 $pAvg_{ratio,G}$ 的曲线。顶部曲线对应于 $R, B = 0$ 的情况,它与图 8(b) 中所示曲线相同。中间曲线代表 R 和 B 的中间值,其中 R、B 是非零的。底部曲线则对应于

$R = 255$ 、 $B = 255$ 的情形。从这组曲线可以确定,不同颜色的加权曲线实际上是面曲线,如图 11(a)、11(b)、11(c) 所示。

[0148] 因而 $Weight_x$ 与 $pAvg_{ratio,Y}$ 和 $pAvg_{ratio,Z}$ 之间的关系可以如图 11(a)、11(b) 和 11(c) 所示用图形来表示。图 11(a) 是说明 $Weight_G$ 与 $pAvg_{ratio,R}$ 和 $pAvg_{ratio,B}$ 之间的关系的曲线图,图 11(b) 是说明 $Weight_R$ 与 $pAvg_{ratio,G}$ 和 $pAvg_{ratio,B}$ 之间的关系的曲线图,图 11(c) 是说明 $Weight_B$ 与 $pAvg_{ratio,R}$ 和 $pAvg_{ratio,G}$ 之间的关系的曲线图。

[0149] 根据本发明的一个实施例,参阅图 12(a)、12(b) 和 13,在以下段落中对用于得出图 11(a) 的曲线图的方法进行了描述。

[0150] 如图 12(a) 所示,该方法包括生成一组源数据帧 200,并产生一组图像 212,如图 12(b) 所示。

[0151] 源数据帧 200 包括第一源数据帧 202 和第二源数据帧 204。第一源数据帧 202 包括第一组部分 206,每个部分 206 具有不同的 RGB 成分的组合,并因而具有不同的颜色。表 3 说明了第一源数据帧 202 的每个部分 206 的每个 RGB 成分的像素值。

[0152] 表 3

[0153]

R	G	B
0	255	0
128	255	0
255	255	0
0	255	128
0	255	255
128	255	128
128	255	255
255	255	128
255	255	255

[0154] 在第一源数据帧 202 中绿色成分的像素值被保持不变,在本实施例中为最大像素值,以确定蓝色和 / 或红色成分的存在对 Br_G 的影响。通过改变每个部分 206 的蓝色和红色成分的像素值,可以获得每个部分 206 的不同的颜色。当绿色成分的像素值被保持在最大像素值处不变时,蓝色和 / 或红色成分的存在对 Br_G 的影响更为明显。

[0155] 一方面,第二源数据帧 204 包括第二组部分 208,该第二组部分 208 具有与第一组部分 206 相同的颜色。然而,另一方面,第二源数据帧 204 的一部分 210 上的每个 RGB 成分的像素值为 0,从而在图 12(a) 的右侧的第二源数据帧 204 上形成了黑色的区域。

[0156] 如前所述,该组源数据帧 200 被印制到全息记录介质上,以形成第一全息立体图。

[0157] 图 12(b) 说明了从第一全息立体图再现的该组源数据帧 200 的一组图像 212。该组图像 212 包括第一图像 214 和第二图像 216。第一图像 214 是第一源数据帧 202 的再现,而第二图像 216 是第二源数据帧 204 的再现。分别在第一图像 214 和第二图像 216 的右侧部分 218 和 220 中观察到了饱和。

[0158] 图 13 说明了来自图 12(b) 的图像 214 的点的计算,用于绘制图 11(a) 的曲线图。使用具有手动超驰功能的正如消费者 CCD (如 SonyCybershot DSC-V1™ 或等价物),可以测量来自图像 214 的值。手动超驰允许用户选定拍摄条件,如:1) 焦距;2) 白平衡;3) f 数;4) 光圈等等。

[0159] 因为所有进行的计算仅与绿色成分相关,因而,能够将第一图像 214 的颜色分解成三种 RGB 颜色成分中的每一个的像素值的软件,如可购买到的照片编辑软件套件(如 photoshop™),可被用来确定第一图像 214 和第三图像 264 的不同部分处的绿色成分的像素值。

[0160] 为图 12(b) 的第一图像 214 生成参考比率 Ref。对于仅含有绿色的非饱和部分,即 $R = 0, G = 255, B = 0$ (第一图像 214 中的顶层),该参考比率 Ref 是饱和部分与非饱和部分的像素值的比率。

[0161] 同样,也为第一图像 214 的每个剩余部分生成了饱和部分与非饱和部分的像素值的比率 $r_1, r_2, \dots, r_8$ 。

[0162] 将比率 $r_1, r_2, \dots, r_8$ 中的每一个除以参考比率 Ref,以便分别获得用于绘制图 11(a) 的曲线图的点 $pt_1, pt_2, \dots, pt_8$ 的沿 $Weight_G$ 轴的坐标。

[0163] 点 $pt_1, pt_2, pt_3, pt_4, pt_5, pt_6, pt_7, pt_8$ 中的每个点用沿 $Weight_G$ 轴的坐标、沿 $pAvg_{ratio,R}$ 轴的坐标和沿 $pAvg_{ratio,B}$ 轴的坐标,即 $(Weight_G, pAvg_{ratio,R}, pAvg_{ratio,B})$ 来表示,并被如图 13 所示进行绘制。分别从第一源数据帧 202 的部分 206 的各个线中的红色和蓝色成分的像素值获得 $pAvg_{ratio,R}$ 和 $pAvg_{ratio,B}$ 轴的坐标。

[0164] 重复用于得出图 11(a) 的曲线图的方法,以得出图 11(b) 和图 11(c) 的曲线图。对于图 11(b) 的曲线图,源数据帧中的红色成分的像素值被保持不变,且基于再现的图像中的红色成分的像素值计算图 11(b) 的曲线图的各点。对于图 11(c) 的曲线图,源数据帧中的蓝色成分的像素值被保持不变,且基于再现的图像中的蓝色成分的像素值计算图 11(c) 的曲线图的各点。

[0165] 从这些曲线图中可以明显看出,在其他两种成分的每一个的像素值为 0 的情况下, $Weight_X$ 是值为 1 的常数,且 $Br_{X(colour)}$ 等于 $Br_{X(mono)}$ 。

[0166] 利用图 11(a) 至图 11(c) 中的曲线图,以及使用以下方程式 (13) 至 (21) 中的任何一个方程式,可以计算彩色系统中预变形图像的像素的每个 RGB 成分的经过补偿的像素值:

[0167] $palette_{New, G(colour)}$

$$= palette_G \times (1/Br_{G(colour)}) \quad (13)$$

$$= palette_G \times \{1/([Br_{G(mono)}/Weight_G]+1)\} \quad (14)$$

$$= palette_G \times \{1/([Br_{G(mono)}/f(palette_R, palette_B)]+1)\} \quad (15)$$

[0171] $palette_{New, R(colour)}$

$$= palette_R \times (1/Br_{R(colour)}) \quad (16)$$

$$= palette_R \times \{1/([Br_{R(mono)}/Weight_R]+1)\} \quad (17)$$

$$= palette_R \times \{1/([Br_{R(mono)}/f(palette_G, palette_B)]+1)\} \quad (18)$$

[0175] $palette_{New, B(colour)}$

$$= palette_B \times (1/Br_{B(colour)}) \quad (19)$$

$$= palette_B \times \{1/([Br_{B(mono)}/Weight_B]+1)\} \quad (20)$$

$$= palette_B \times \{1/([Br_{B(mono)}/f(palette_R, palette_G)]+1)\} \quad (21)$$

[0179] 例如,通过确定绿色成分的像素值 $palette_G$ 、确定像素的 $pAvg$ 并因此从图 8(a) 确定 $Br_{G(mono)}$ 、以及确定像素的 $pAvg_{ratio,R}$ 和 $pAvg_{ratio,B}$ 并因此从图 11(a) 确定 $Weight_G$,从而

利用方程式 (14) 可计算彩色系统中的预变形图像的像素的绿色成分的经过补偿的像素值 $palette_{New, G(colour)}$ 。

[0180] 图 14 是说明根据本发明的一个实施例的用于形成全息立体图的方法 300 的流程图。该方法 300 包括将含有多个源数据帧的源数据输入处理器 302, 在该处理器中源数据帧被分割 304, 源数据帧包含被摄体的二维视图。源数据帧的每个部分被进行映射 306 以形成多个预变形图像。通过将补偿算法应用于预变形图像中的多个像素来对预变形图像在饱和度上的变化进行补偿 308, 以减少重影现象。之后, 经过补偿的预变形图像被输入到 SLM。对经过补偿的预变形图像进行压缩 310, 以形成多个全息元, 每个全息元被顺序地记录到全息记录介质上, 以形成全息立体图。

[0181] 在图 15 中, 对每个预变形图像的补偿 308 进行了更为详细的描述。特别地, 图 15 是说明根据本发明的一个实施例的、用于补偿预变形图像在饱和度上的变化的方法 400 的流程图。该方法 400 由确定 402 预变形图像是单色还是彩色的而开始。

[0182] 在确定 402 预变形图像是单色的情形下, 则确定 404 预变形图像中的每个像素的像素值 $palette$ 和平均像素值 $pAvg$ 。

[0183] 例如根据参考图 5 至 9 的上述的方法, 建立预测的亮度 Br 对平均像素值 $pAvg$ 的曲线图。之后, 从预测的亮度 Br 对平均像素值 $pAvg$ 的曲线图确定 410 预测的亮度 Br 。

[0184] 然后, 使用方程式 (5)、(6)、(7) 中的任一个可以为预变形图像中的每个像素计算经过补偿的像素值 $palette_{New}$ 。

[0185] 在确定 402 预变形图像是彩色的情形下, 确定 414 预变形图像中的每个像素的每个 RGB 成分的像素值 $palette_x$ 和平均像素值 $pAvg_x$ 。

[0186] 例如根据参考图 5 至 9 的上述的方法, 建立 418 对于 $X = R, G$ 和 B 成分中的每一个时的预测的亮度 Br_x 对平均像素值 $pAvg_x$ 的曲线图。之后, 从预测的亮度 Br_x 对平均像素值 $pAvg_x$ 的曲线图确定 420 对于 $X = R, G$ 和 B 成分中的每一个时的预测的亮度 Br_x 。

[0187] 例如根据参考图 11 至 13 的上述的方法, 建立 424 对于 $X = R, G$ 和 B 成分中的每一个时的加权因数 $Weight_x$ 对平均像素值 $pAvg_y$ 和 $pAvg_z$ 的曲线图。之后, 从加权因数 $Weight_x$ 对平均像素值 $pAvg_y$ 和 $pAvg_z$ 的曲线图可以确定 426 对于 $X = R, G$ 和 B 成分中的每一个时的加权因数 $Weight_x$ 。

[0188] 之后, 分别使用方程式 (13) 至 (15)、(16) 至 (18) 和 (19) 至 (21) 中的任一个方程式, 可以为预变形图像中的每个像素计算每个 RGB 成分的经过补偿的像素值 $palette_{New, R}$ 、 $palette_{New, G}$ 和 $palette_{New, B}$ 。

[0189] 对每个从源数据帧形成的预变形图像重复图 15 中说明的方法 400。

[0190] 全视差

[0191] 上述的处理和实施例是用于水平视差全息立体图的, 即全息立体图仅在单个平面内产生图像。本发明还可适用于全视差全息立体图, 其在多重平面内产生图像。

[0192] 根据本发明生成全视差全息立体图, 使用了上述的用于水平视差全息立体图的许多方面。

[0193] 在图 16 中, 示出了一组用于全视差全息立体图的源数据帧 502。源数据帧 502 包含多重系列的帧 504a、504b、504c、504d, 而每个系列又包含四个帧 506a、506b、506c、506d。如以前一样, 通常在每个系列中可以存在比仅仅四个帧多的帧, 以及可以存在比仅仅四个

系列多的系列。而且,每系列的帧数和系列数可以有所不同。

[0194] 尽管水平视差全息立体图由仅沿一个轴压缩的全息胶组成,全视差全息立体图却由一系列沿两个轴压缩的全息胶组成,如图 17 所示。预变形图像 508 的二维阵列被转化成了全息立体图 510 的全息胶。在这个实例中,图中示出该阵列具有 225 个水平预变形图像和 280 个垂直预变形图像,从而给出其一起形成全息立体图的 225×280 的全息胶的阵列。

[0195] 为生成根据一个实施例的单色的全视差全息立体图,仍然采用了来自预变形的平均像素值。然而,平均是在两个维度而不是在一个维度上发生的。因此,上述的方程式 (2) 被方程式 2(a) 所代替,如下所示:

$$[0196] \quad pAvg_{n,i} = \frac{\left(\sum_{j=1}^{num_horiz_pix} palette_{n,j} + \sum_{k=1}^{num_vert_pix} palette_{k,i} \right)}{num_horiz_pix + num_vert_pix} \quad (2a)$$

[0197] 其中

[0198] num_horiz_pix 代表水平方向的像素总数,

[0199] num_vert_pix 代表垂直方向的像素总数,以及

[0200] pAvg_{n,i} 代表像素 (n, i) 的平均像素值,即行 n 的像素值之和与列 i 的像素值之和相加到一起后,除以水平方向上的像素数目 (列数目) 和垂直方向上的像素数目 (行数目) 的总和得出的结果。

[0201] 图 18 说明了全视差预变形 512 的实例,在这个实例中它是 480 个像素宽,640 个像素高。对于任意的像素 $n = 100$ 、 $i = 80$,则 pAvg 为:

[0202] $pAvg_{100,80} = [(0+0+0 \dots +255+255) + (255+255 \dots +0+0)] / (480+640)$ (仅对一种颜色进行计算,在本例中为绿色通道)。

[0203] 使用一组不同于用于水平视差途径的参考数据帧来生成 pAvg 对 Br 的关系。图 19 示出了用于全视差方案的一组合适的参考数据帧 514 的实例。该组参考数据帧 514 具有各 10 个帧 (F1-F10) 的 10 个系列 (S1-S10)。略超过一半的参考数据帧是单色的 (即仅仅绿色或仅仅红色或仅仅蓝色,并且无黑色),而剩下的为黑色。在第一系列 S1 中,没有黑色帧。在第二系列 S2 中,仅最后一个帧是黑色的。在第三个系列中,最后两个帧是黑色的。当此数列发展到最后一个系列 S10 时,除了第一个帧其余所有帧为黑色。

[0204] 图 20(a) 说明了从图 19 的那组参考数据帧 514 生成的预变形图像 516。所有预变形图像是相同的。图 20(b) 说明了从预变形图像 516 生成的未经补偿的全息胶 518。所有的全息胶也是相同的。物理地再现,516 变成了“不精确的”518。

[0205] 在全视差照片 520 中,当眼睛位置 522 沿观察平面 524 (如沿图 21 中的轴 x, y) 改变时,全息立体图会产生图像。在沿对角线 526 的不同位置上看观察平面 524 时,可以获得不同的图像 526,如图 22 所示。该对角线从照片的左上角进行延伸,因为左上角是含有非黑色区域的仅有的部分。测量每个不同图像 526 的亮度,以便为该图像给出 Br 值。在这种情况下,每个沿该线的特定观察位置也与沿预变形图像 516 的对角线的特定的像素相对应 (由于所有预变形图像都相同,所以哪个图像 516 没关系)。与以前的一样,确定每个这样的像素的 pAvg 值,生成能被绘制的和能被连接在曲线上的一组点。所有预变形形成了眼睛看到的图像,且从该图像进行测量。因此,仅沿实际立体图照片的对角线进行测量便已足够。

例如,在本例中,如果测量了沿对角线的 3 个点,可以获得 3 个由 528 表示的不同亮度的图像。

[0206] 图 23 中示出了这样一条曲线 530。然而,这只是所需要的连续曲线的一部分;曲线 530 仅包括了较深的图像(Br 值较低)和较高的 pAvg 值。

[0207] 为获得 pAvg 对 Br 的曲线的其余部分,生成了另外的第二组参考数据帧 534,如图 24 所示。该第二组参考数据帧 534 同样具有各 10 个帧(F1-F10)的 10 个系列(S1-S10)。然而,除第一系列 S1 的头四个帧、第二系列 S2 的头三个帧、第三系列 S3 的头两个帧以及第四系列 S4 的第一个帧之外,其余帧均是黑色的。根据为其生成该曲线的颜色,除了第一系列 S1 的头四个帧之外的这些帧均是单色的。

[0208] 生成了一组如图 25(a) 所示的相同的预变形图像 536,以及一组如图 25(b) 所示的相同的未经压缩的全息胶 538。

[0209] 以与上述获得如图 23 中所示的曲线 530 的方式相类似的方式,生成一组 Br 值和对应的 pAvg 值。从该第二组参考数据帧 534 获得的点具有更高的亮度 Br 值和更低的 pAvg 值,从而允许绘制如图 26 中所示的完全的参考曲线 540。被包围的那部分曲线 542 是通过使用第二组参考数据帧 534 获得的。

[0210] 对于单色的全视差全息立体图,可以使用参考曲线 540 来得到衰减值,用于衰减被转化成全息立体图的源数据帧的预变形图像中的像素的 pAvg 值。与以前一样,仍然可以使用上述方程式 (1) 和方程式 (3) 至 (7)。

[0211] 全视差-彩色系统

[0212] 如同上述的水平视差彩色系统一样,在全息立体图包括三个 RGB 成分中的不止一个成分的全视差彩色系统中,单个 RGB 成分的预测亮度 Br 受到了其他 RGB 成分的像素值的影响。加权因数 $Weight_x$ 又一次被用来补偿其他 RGB 成分的像素值对该单个 RGB 成分的像素值的影响。因此,可以用上面给出的方程式 (8) 来表示 Br。然而,用于获得仅仅水平视差彩色系统的加权因数的曲线供全视差系统使用是不理想的。因此,以理想的方式生成新曲线。

[0213] 用于为全视差彩色系统的该实施例生成加权因数的方法与上述的参考图 12 和 13 进行描述的、用于仅仅水平视差的彩色系统的方法类似,并且现在将参考图 27 至 29 进行描述。通过为绿色生成加权曲线对本方法进行举例说明。

[0214] 图 27(a) 说明了源数据帧的阵列。该阵列的 50 个系列中的每个系列具有 100 个帧。系列 S1 至 S25 是相同的,系列 S26 至 S50 是相同的。在系列 S1 至 S25 中,帧 1 至 50 是全部相同的,在黄色层 ($G = 255, R = 128, B = 0$) 上具有绿色层 ($G = 255$),且帧 51 至 100 是全部相同的,每个帧除了左半部分为黑色之外,均与帧 1 至 50 相同。在系列 S26 至 S50 中,与系列 S1 至 25 的帧 51 至 100 一样帧 1 至 50 是全部相同的,并且与系列 S1 至 25 的帧 1 至 50 一样帧 51 至 100 是全部相同的。

[0215] 图 27(b) 说明了来自图 27(a) 的源数据帧的作为结果的全息胶阵列。用于本实例的全视差照片具有 150 列和 200 行(如 $60 \times 45\text{mm}$ 的照片,每个全息胶为 0.3mm^2)。行 $n1$ 至 $n100$ 是相同的,且行 $n101$ 至 $n200$ 是相同的。在行 $n1$ 至 $n100$ 中,列 $i1$ 至 175 是相同的,全息胶被分成四部分,其右上部和左下部是黑色的,而其左上部和右下部是绿色的,以及列 $i76$ 至 $i150$ 是相同的,为绿色。在行 $n101$ 至 $n200$ 中,列 $i1$ 至 175 是相同的,全息胶被分成

四部分,其右上部和左下部是黑色的,而其左上部和右下部是黄色的以及列 i76 至 i150 是相同的,为黄色。

[0216] 在类似于图 21 和 22 中的观察平面 524 的观察平面中,看全视差照片,又一次在左上角,图像如图 28 中所示。图像 540 具有四个不同的等分,其左上为绿色,左下为黄色。右上也是绿色,但是绿色色调更深。右下也是黄色的,但黄色色调更深。右上的值与左上的值之比产生参考值 Ref。右下的值与左下角的值之比产生结果 r4。

[0217] 图 29 示出了用 9 个点绘制的参考绿色的加权因数曲线。第一点 pt0 是为纯绿色设置的,并被设置在 $Weight_c$ 轴上的 1.0 处。以与上述参考图 27 和 28 的方式类似的方式,从生成全视差彩色全息立体图中得出其余 8 个点。

[0218] Pt4 是 Red- $Weight_c$ 平面上的且 $red = 0.5$ 的值 $r4/Ref$,也就是 red 轴上的中途的点。

[0219] 从类似于图 27 中的源数据帧生成点 Pt1,但其中黄色具有红色值 $R = 255$ (而不是 $R = 128$)。对于作为结果的、从这些源数据帧生成的全视差彩色全息立体图,从观察平面中的图像得出值 r1 和 Ref。对于 $red = 1.0$,在 Red- $Weight_c$ 平面上 $Pt1 = r1/Ref$ 。

[0220] 使用其下半部分包含 $R = 0, G = 255, B = 255$ 的源数据帧,类似地得到 Pt2。对于 $blue = 1.0$,在 Blue- $Weight_c$ 平面上 $Pt2 = r2/Ref$ 。

[0221] 使用其下半部分包含 $R = 255, G = 255, B = 255$ 的源数据帧,类似地得到 Pt3。在 $red = 1.0, blue = 1.0$ 处, $Pt3 = r3/Ref$ 。

[0222] 使用其下半部分包含 $R = 0, G = 255, B = 128$ 的源数据帧,类似地得到 Pt5。对于 $blue = 0.5$,在 Blue- $Weight_c$ 平面上 $Pt5 = r5/Ref$ 。

[0223] 使用其下半部分包含 $R = 128, G = 255, B = 128$ 的源数据帧,类似地得到 Pt6。在 $red = 0.5, blue = 0.5$ 处, $Pt6 = r6/Ref$ 。

[0224] 使用其下半部分包含 $R = 128, G = 255, B = 255$ 的源数据帧,类似地得到 Pt7。在 $red = 0.5, blue = 1.0$ 处, $Pt7 = r7/Ref$ 。

[0225] 使用其下半部分包含 $R = 255, G = 255, B = 128$ 的源数据帧,类似地得到 Pt8。在 $red = 0.5, blue = 0.5$ 处, $Pt8 = r8/Ref$ 。

[0226] 对于所有这些计算,值 Ref 应当相同。

[0227] 类似地,可以生成红色和蓝色成的加权因数曲线图。

[0228] 以上给出的方程式 (9) 至 (12) 也适用于全视差彩色系统。此外,一旦生成三个加权因数曲线,便可以使用之前给出的方程式 (13) 至 (21) 计算全视差彩色系统中的预变形图像的像素的每个 RGB 成分的经过补偿的像素值 $palette_{New}$ 。

[0229] 图 30 是示出了在生成彩色全息立体图中进行像素补偿所需要的步骤的流程图。在步骤 S552、S554、S556 中,分别为 G、B 和 R 中的每一个找到 Br 对 $pAvg_{ratio}$ 的曲线。在步骤 558、560、562 中,分别为 G、B 和 R 中的每一个找到加权因数曲线。一旦确定了这些参考曲线,便可对被转化成全息立体图的源数据帧的预变形图像的像素进行补偿。对于每个预变形图像 564,为 R、G 和 B 中的每一个在步骤 S566 (方程式 (2) 用于水平视差,方程式 (2a) 用于全视差) 确定各像素的 $pAvg_{n,i}$ 。在步骤 568,使用来自相关曲线的 Br 值和加权因数值还为每个像素确定新的调色板值 (在图 30 中 Y 代表当前颜色, X 和 Z 代表其他两种颜色)。

[0230] 图 14 和 15 的流程图还适用于全视差全息立体图,如同它们适用于仅仅水平视差

全息立体图一样。

[0231] 上述处理可以仅使用硬件来实现,该硬件带有专用于所需的处理的电路,或者利用硬件和软件模块的组合,即使该硬件只是传统的计算机系统的硬件。

[0232] 可以用硬件或者软件实现模块,尤其是实现该模块的功能。从软件的含义上说,模块是指一个处理、程序或其部分,其通常执行特定功能或相关功能。从硬件的含义上说,模块是被设计用来和其他部件或模块一起使用的功能硬件单元。例如,可以使用分立的电子部件实现模块,或是模块可以形成如专用集成电路 (ASIC) 的整个电子电路的一部分。还存在许多其他的可能性。

[0233] 图 31 是对适于执行参考图 1 至 30 描述的技术的计算机系统 600 的示意性表示。计算机 602 的存储器中装载了合适的软件,其软件可以被用来执行实现在此处描述的技术的处理中的步骤。可以执行程序,并使用这样的计算机系统 600 获得结果。在安装于计算机系统 600 上的合适的操作系统下,执行该计算机软件。

[0234] 该计算机软件包含一组经过编程的逻辑指令,该逻辑指令能够被例如 CPU 的处理器进行解释,该逻辑指令用于指令计算机系统 600 执行由这些指令规定的预定功能。该计算机软件可以是以任何语言、代码或符号记录的表达式,它包含一组用以使得兼容的信息处理系统直接或在将所述表达式转化成另一种语言、代码或符号后执行特定的功能的指令。

[0235] 通过计算机程序可以编制计算机软件,该计算机程序包括适当的计算机语言形式的语句。使用编译器可将该计算机程序处理成具有适于操作系统执行的二进制格式的计算机软件。以包括执行所描述的技术处理中的特定步骤的各种软件成分或代码单元的方式,编制该计算机软件。

[0236] 计算机系统 600 的部件包括:计算机 602,输入和输出装置如键盘 604,鼠标 606 和外部存储装置 608(如一个或多个软盘驱动器,CD 驱动器,DVD 驱动器和 USB 闪存驱动器),显示器 610,用于连接至因特网 612 的网络连接,SLM614 和 CCD616(或其他用于确定 Br 的机构)。计算机 602 包含:处理器 622,第一存储器如 ROM624,第二存储器如 RAM626,用于连接到外部网络的网络接口 628,用于连接到所述输入和输出装置的输入/输出(I/O)接口 630,用于连接到显示器的视频接口 632,储存装置如硬盘 634 和总线 636。

[0237] 处理器 622 执行操作系统,以及在操作系统下执行计算机软件。在处理器 622 的指导下使用随机存取存储器(RAM)626、只读存储器(ROM)624 和硬盘 634。

[0238] 视频接口 632 被连接到显示器 610,并为显示器 610 提供在其上显示的视频信号。通过键盘 604 和鼠标 606 来提供用户输入,以操作计算机 602。

[0239] 此处将内部储存装置例示为硬盘 634,但可包括任何其他非易失性的存储介质。

[0240] 计算机 602 的每个部件被连接到包括数据、地址和控制总线的总线上,以便相互通信。

[0241] 通过因特网、局域网或其他网络可以将计算机系统 600 与一个或多个其他类似的计算机相连。

[0242] 可以提供作为计算机程序产品的计算机软件程序。在正常的使用过程中,该程序可以被储存在硬盘 634 上。然而,也可以提供被记录在便携式储存介质(如通过外部存储装置 680 读取的 CD-ROM)上的计算机软件程序。或者,从网络 612 可直接访问该计算机软

件。

[0243] 在任一种情况下,用户都可以使用键盘 604 和鼠标 606 来与计算机系统 600 进行交互,以操作在计算机 602 上执行的经编制的计算机软件。

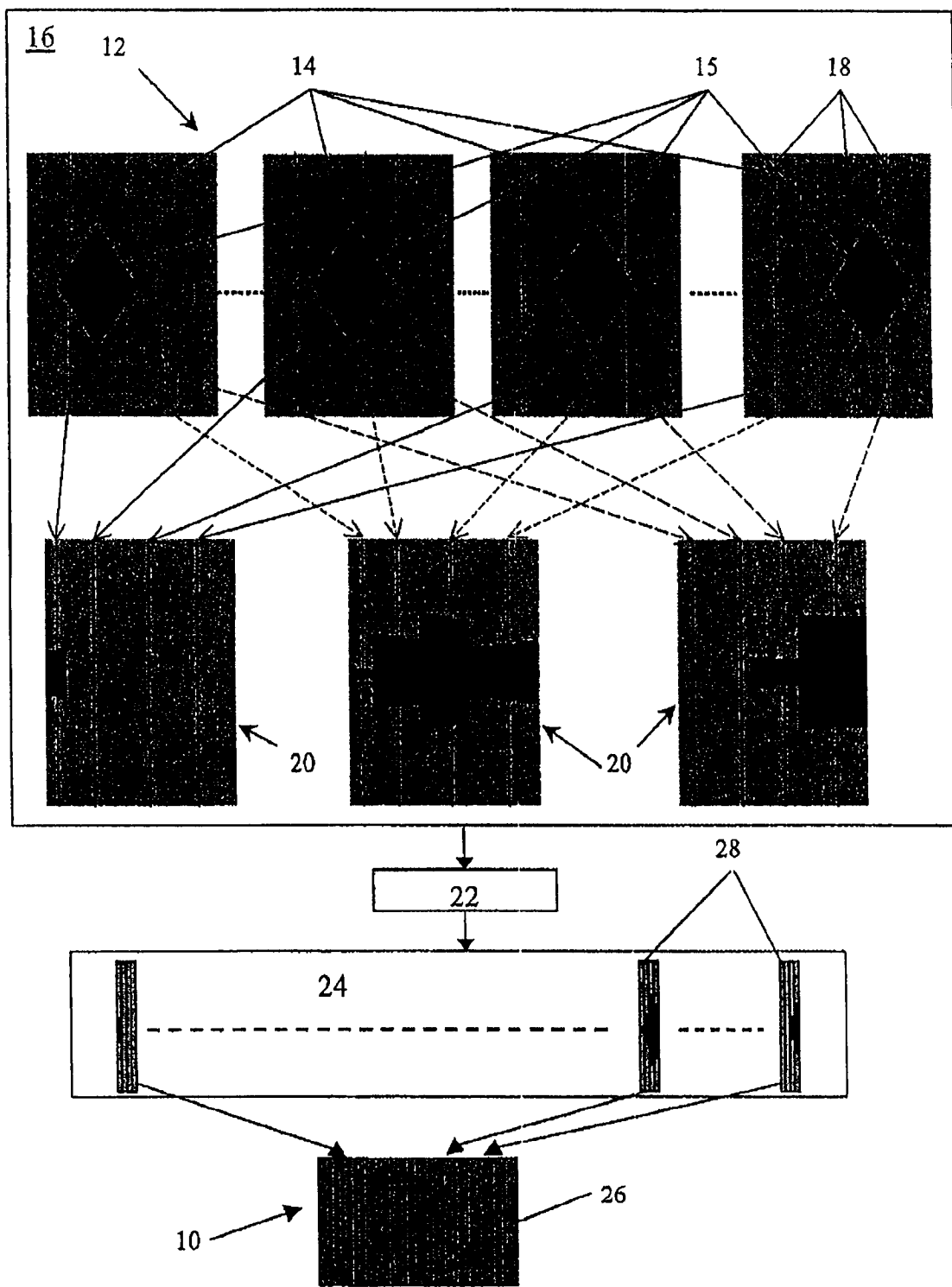
[0244] 通过 I/O 接口 630 或网络接口 628 将源数据帧输入到处理器 622 之中。处理器 622 分割源数据帧并根据计算机程序产品中的、被下载到系统 600 上的且被储存在存储器 626 上的映射算法来分配被分割的源数据帧,以形成多个预变形图像。

[0245] 计算机程序产品中的且被下载到系统 600 上的补偿算法也被储存在存储器 626 中。处理器 622 将该补偿算法应用于预变形图像,以补偿由于重影引起的预变形图像中的像素的饱和度的变化。如果要确定用于加权和衰减或亮度的参考曲线图,则可通过使用 CCD616 输入亮度值。

[0246] 经过补偿的预变形图像通过 I/O 接口 628 被输出到 SLM614,以通过会聚透镜投射到全息记录介质上,来形成全息立体图。

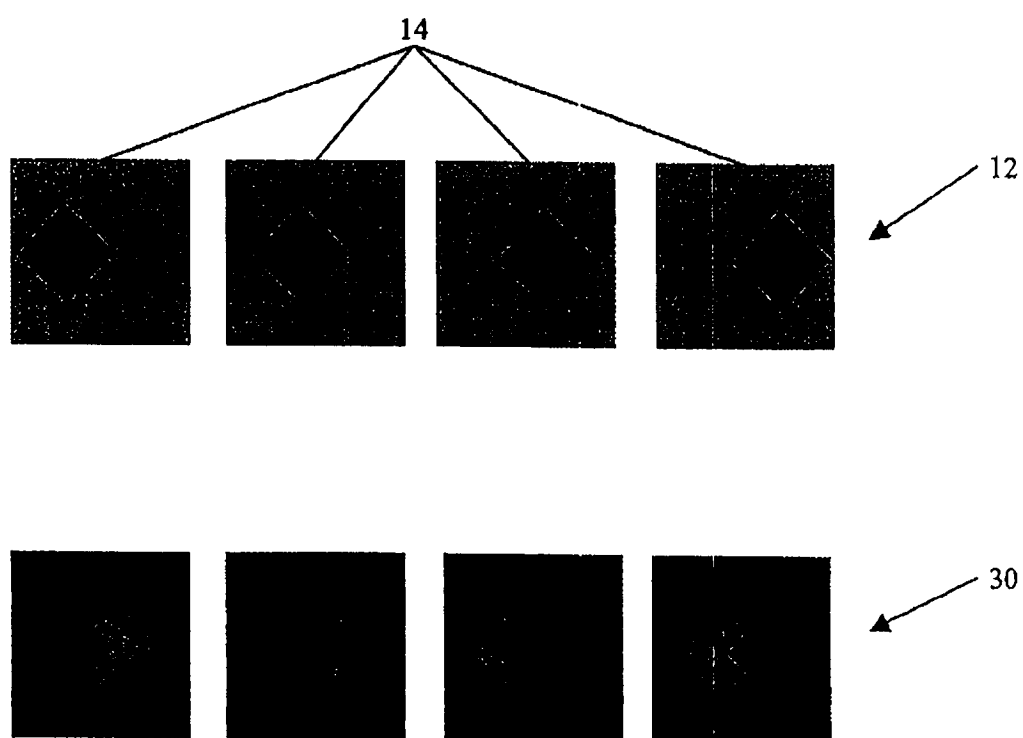
[0247] 描述的计算机系统 600 是为了说明的目的,也可以使用其他配置或其他类型的计算机系统来同样好地实现所描述的技术。前述仅是适于实现所描述的技术的特定类型计算机系统实例。

[0248] 对于那些本领域的技术人员来说,考虑本发明的相关详细说明和实际应用,显然还存在本发明的其他实施例。而且,为说明清楚起见,使用了一些特定术语,但这并不是为了限制本发明。应当将上述的实施例和优选特征视为示例性的,本发明由所附的权利要求和 / 或如所描述的来确定。



现有技术

图 1

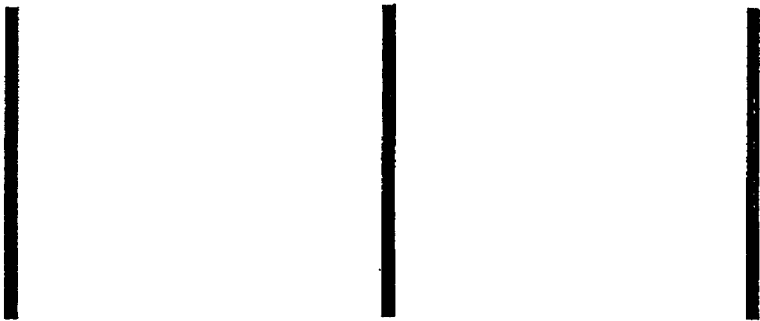


现有技术

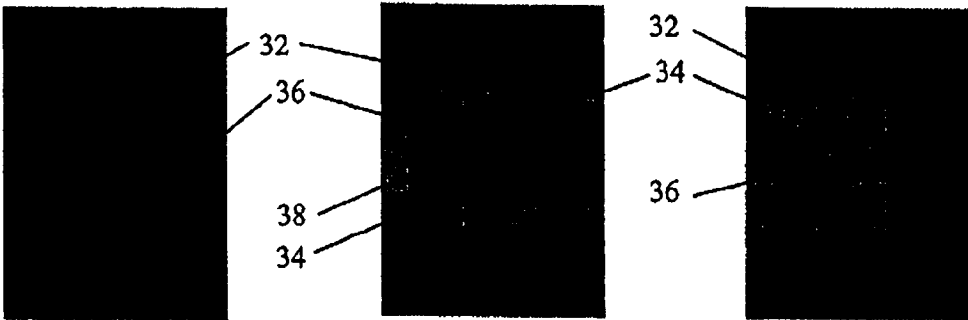
图 2



现有技术
图 3(a)



现有技术
图 3(b)



现有技术
图 3(c)



图 4(a)

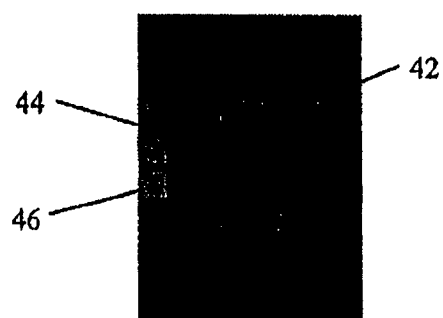


图 4(b)



图 4(c)

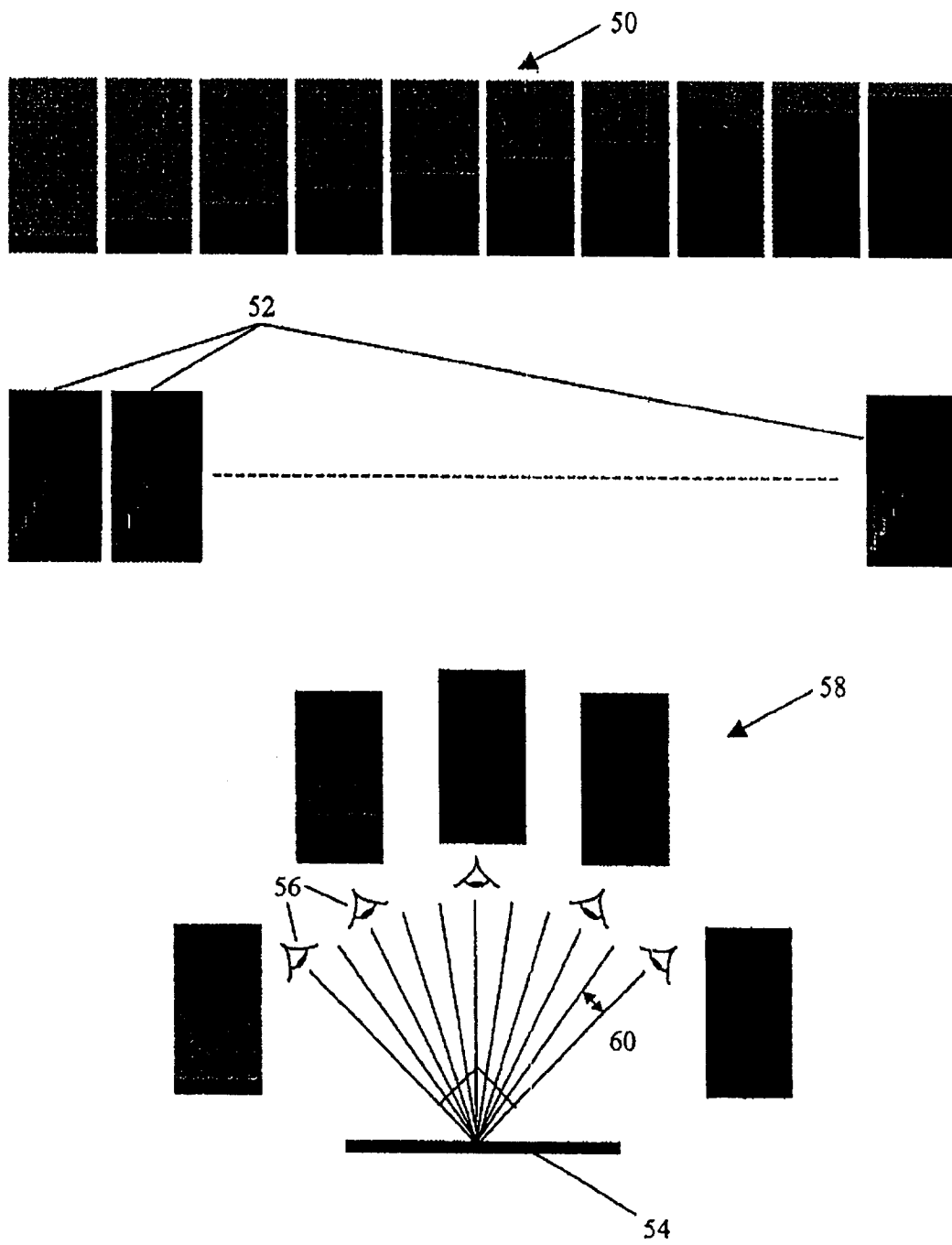


图 5

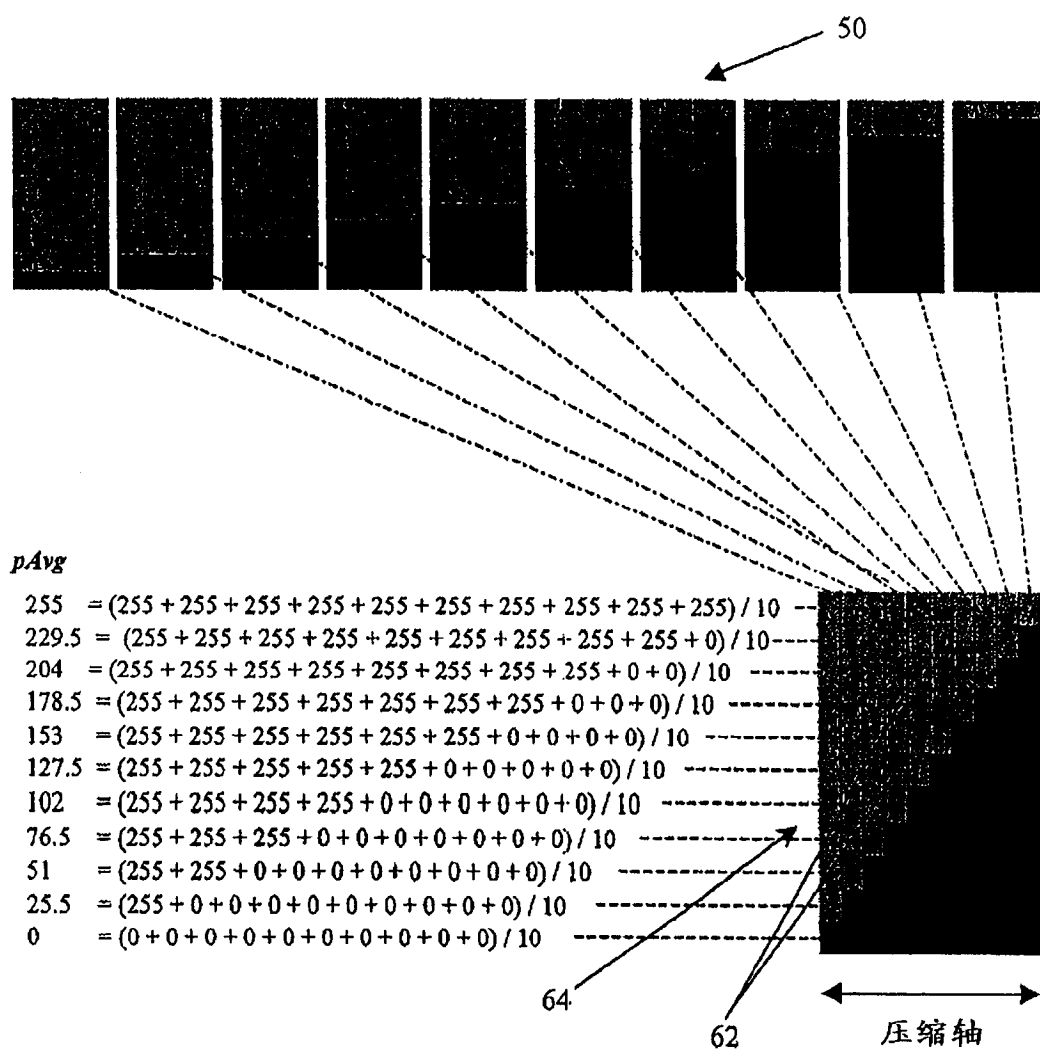


图 6

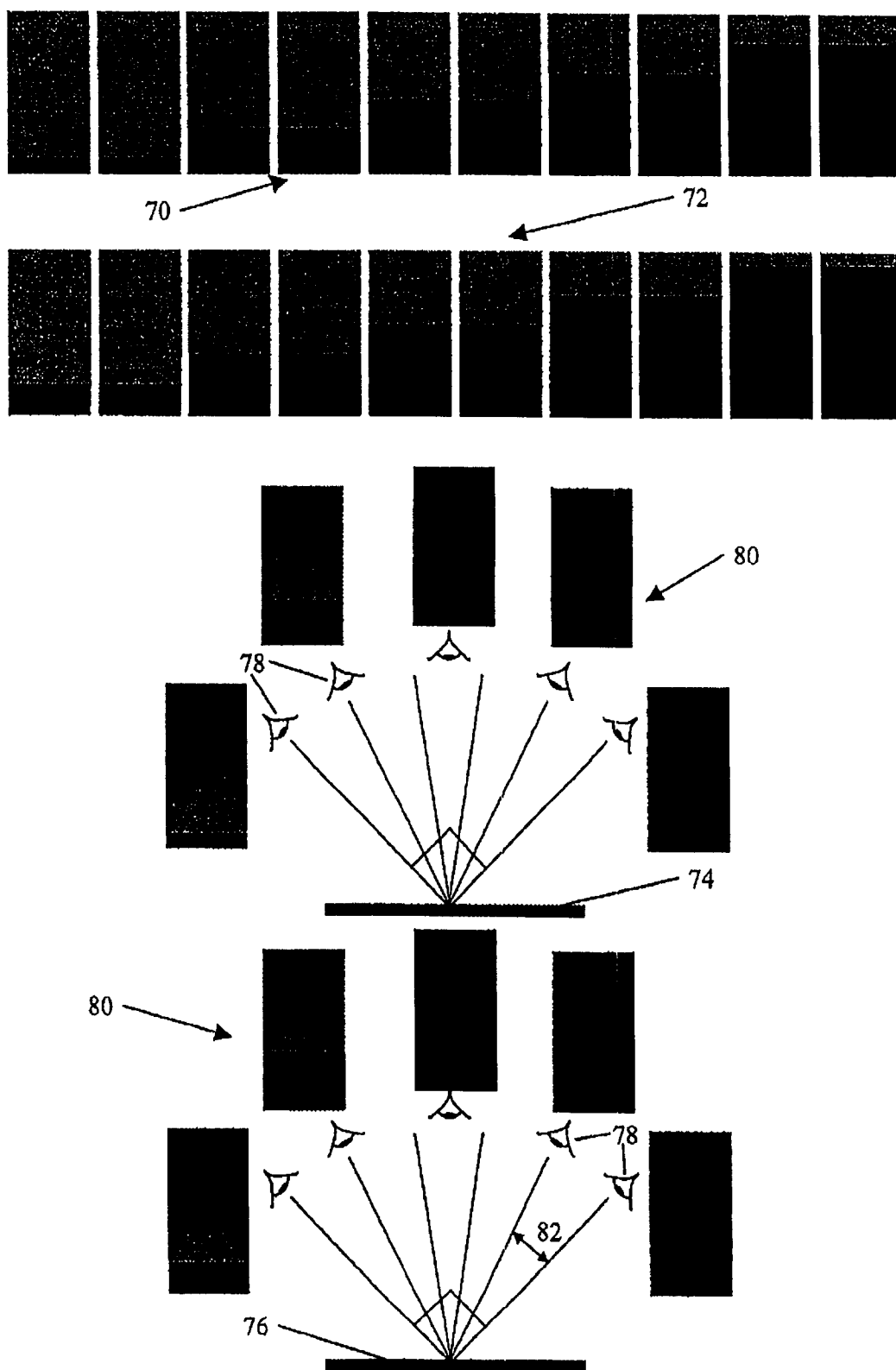


图 7

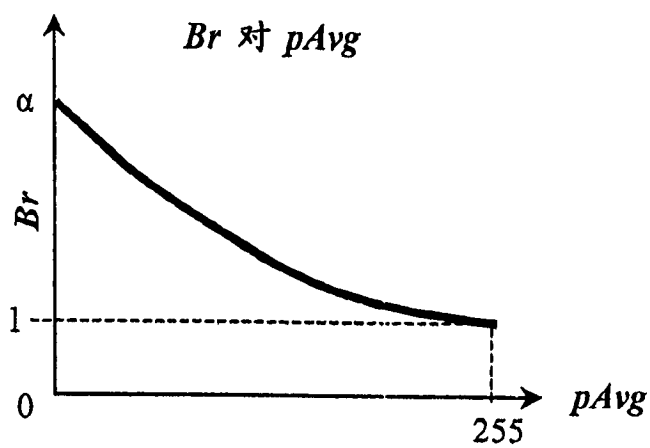


图 8(a)

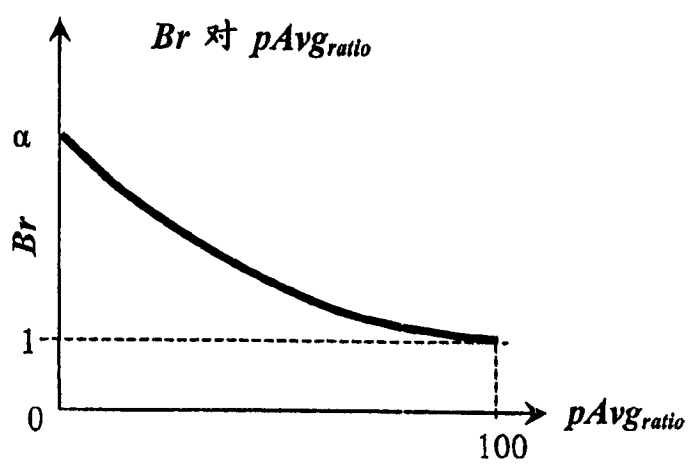


图 8(b)

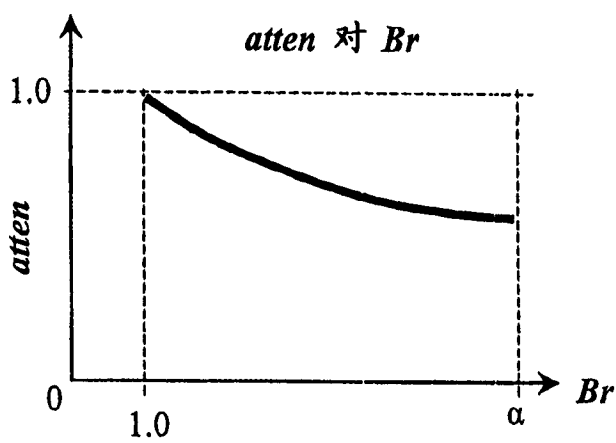


图 8(c)

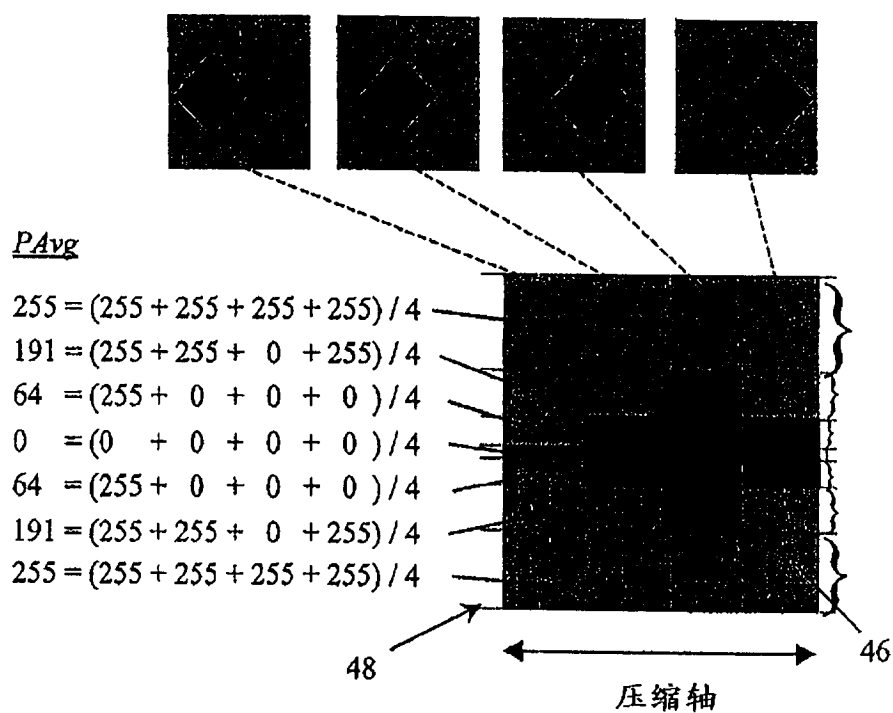


图 9

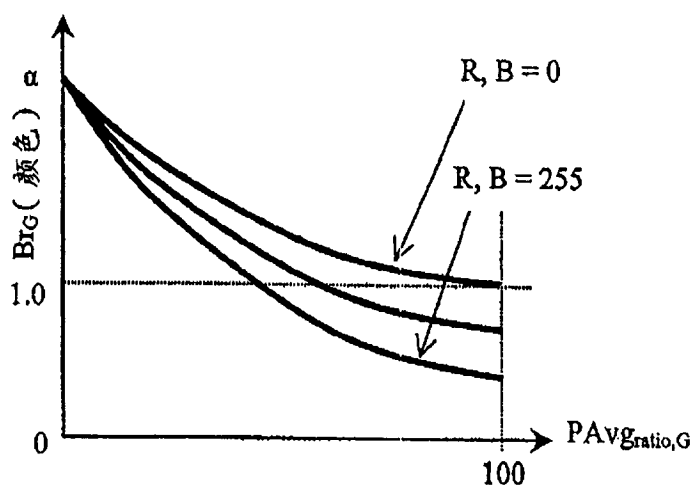


图 10

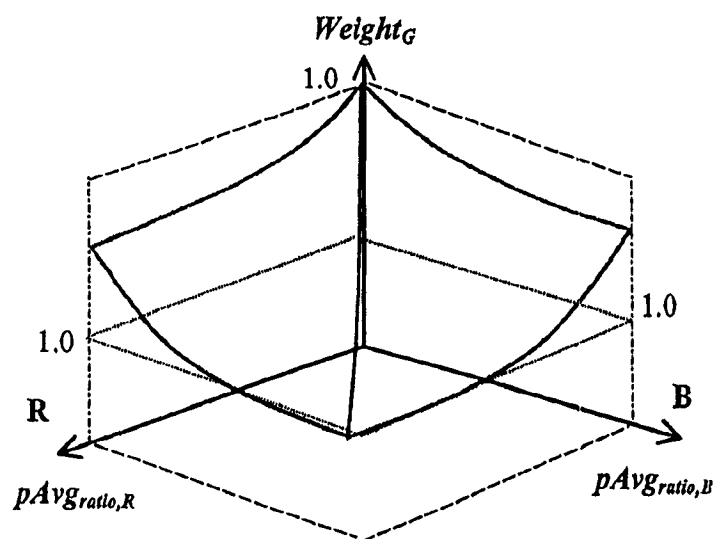


图 11(a)

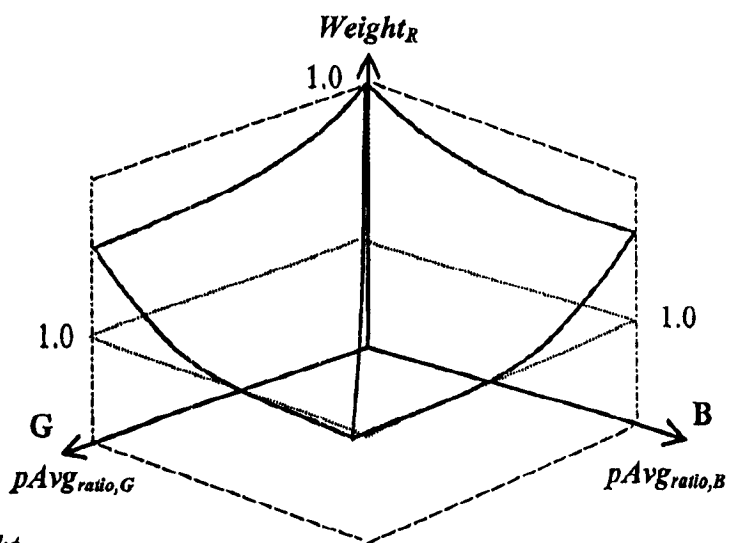


图 11(b)

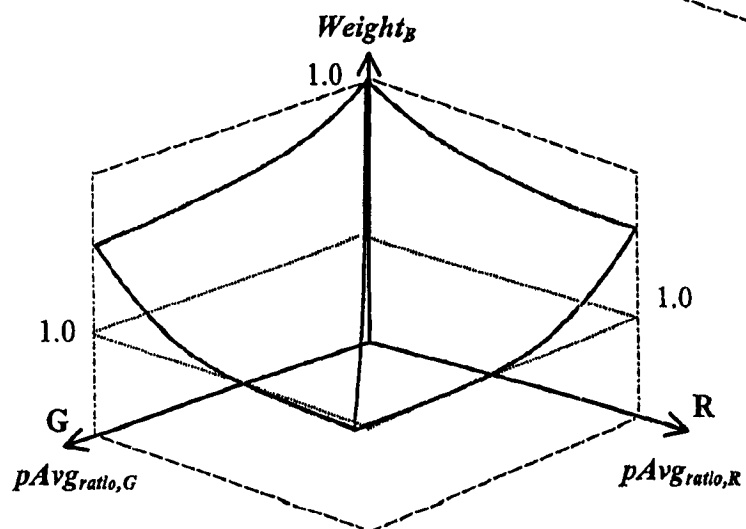


图 11(c)

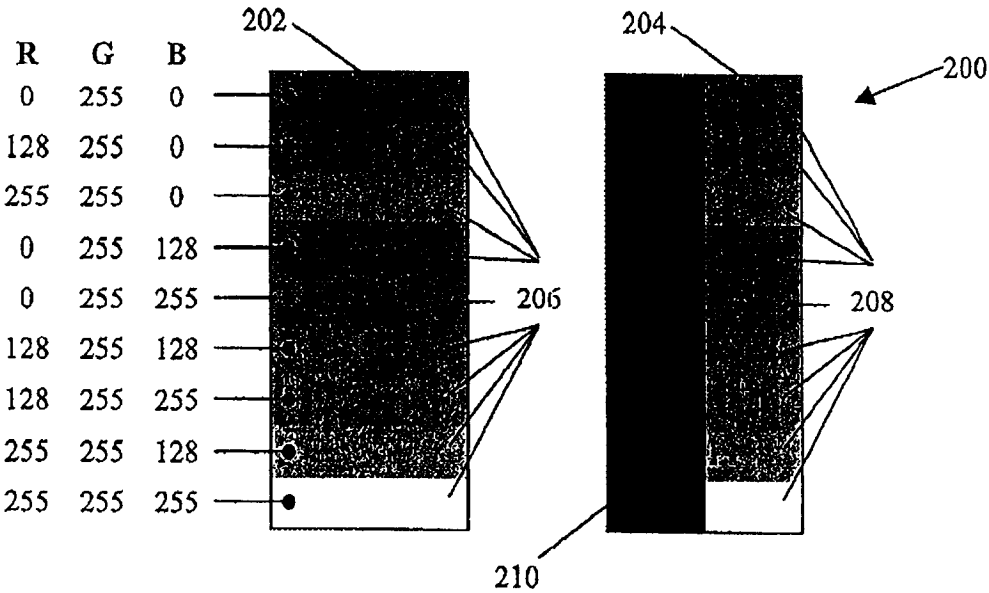


图 12(a)

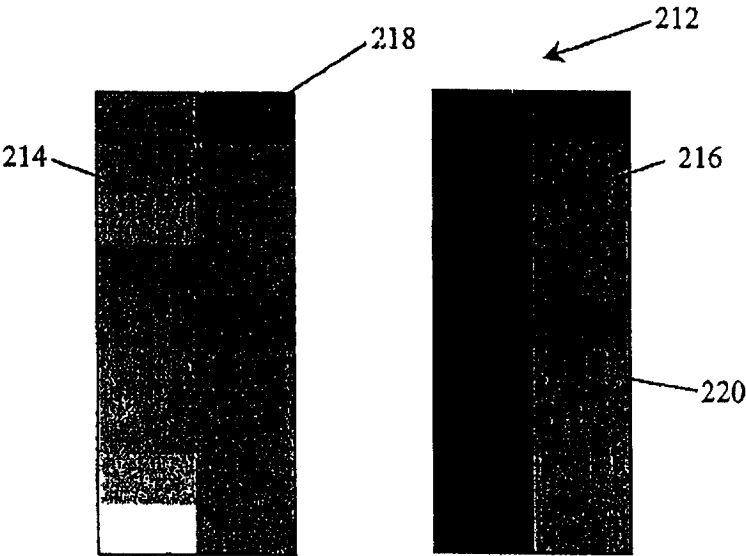


图 12(b)

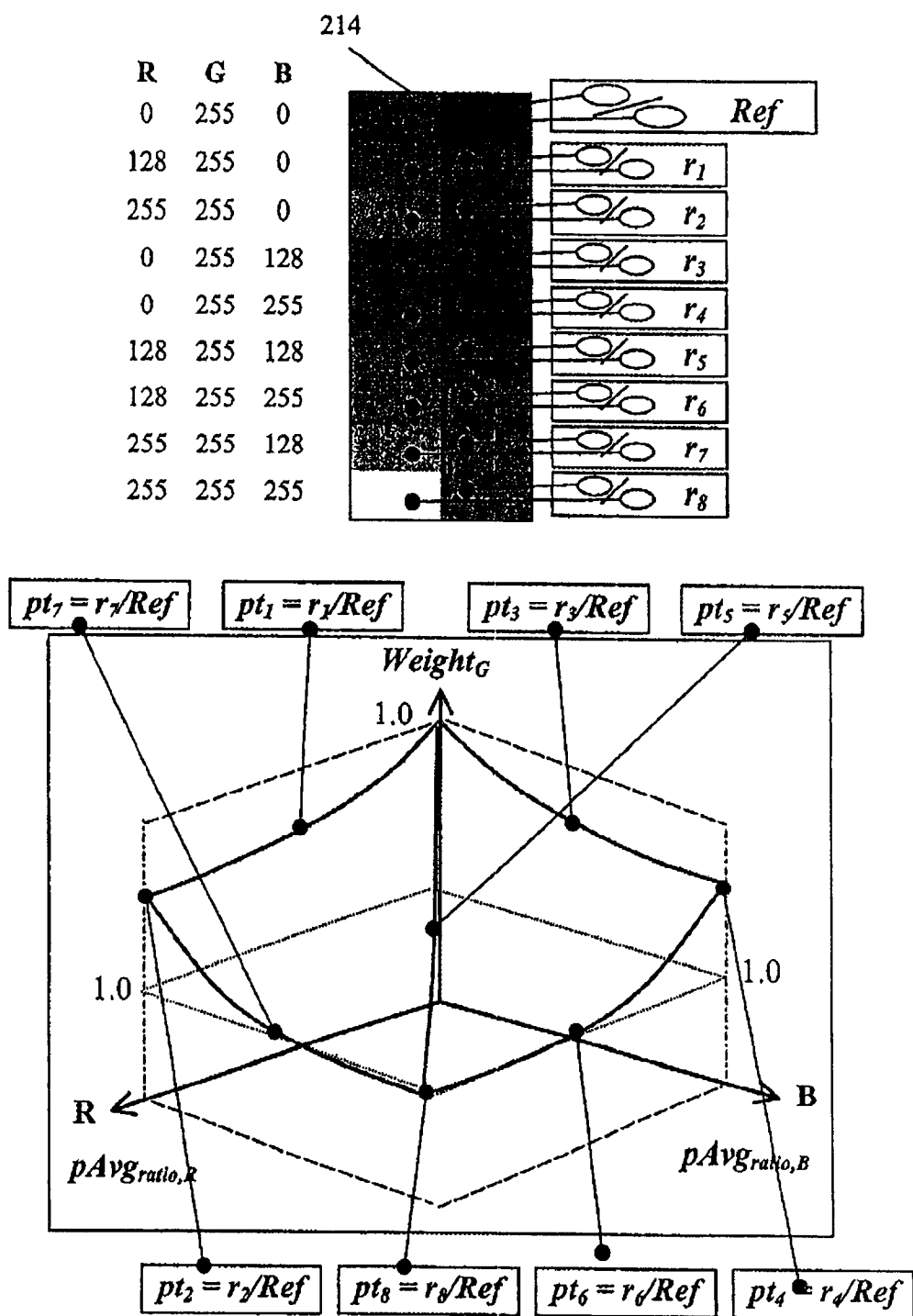


图 13

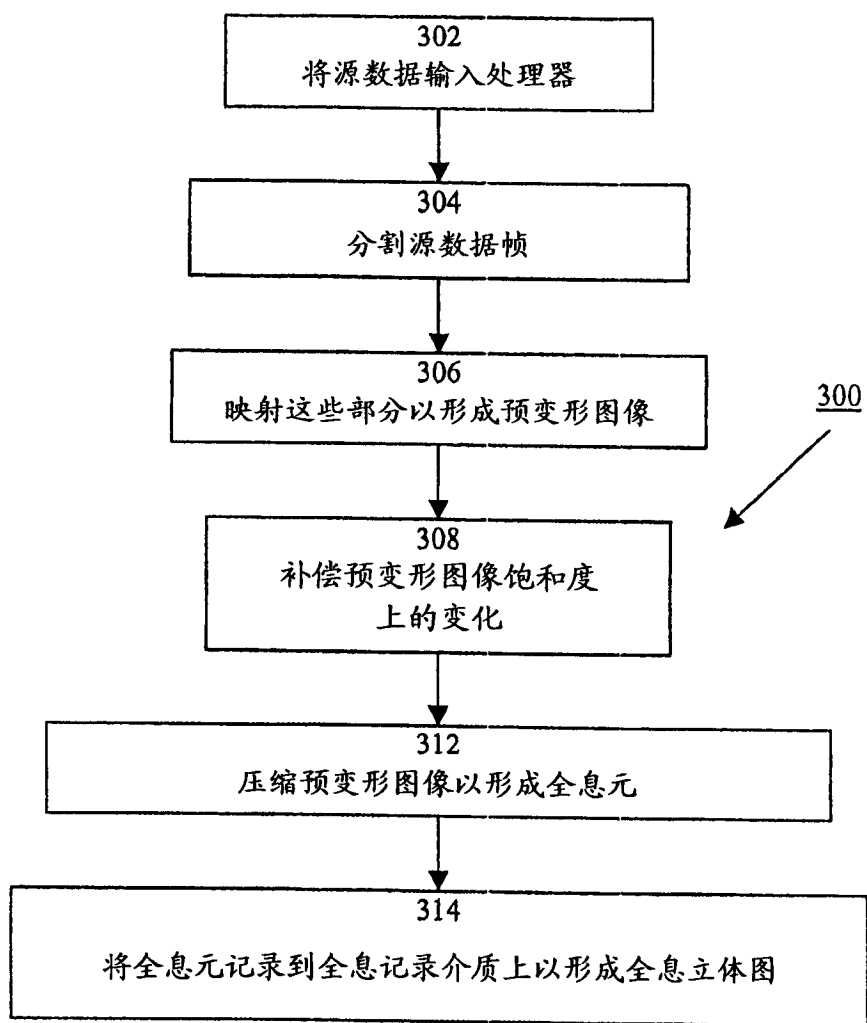


图 14

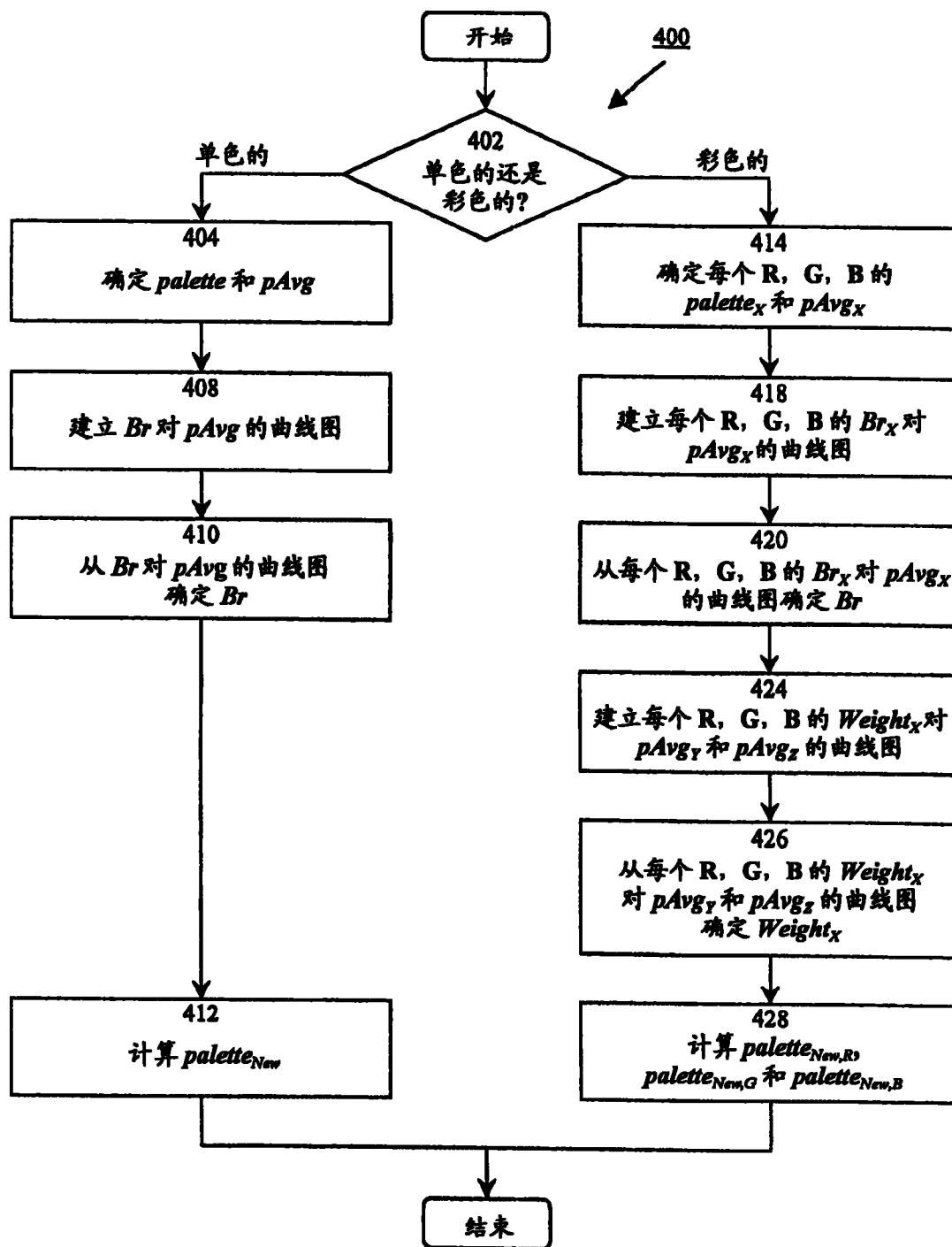


图 15

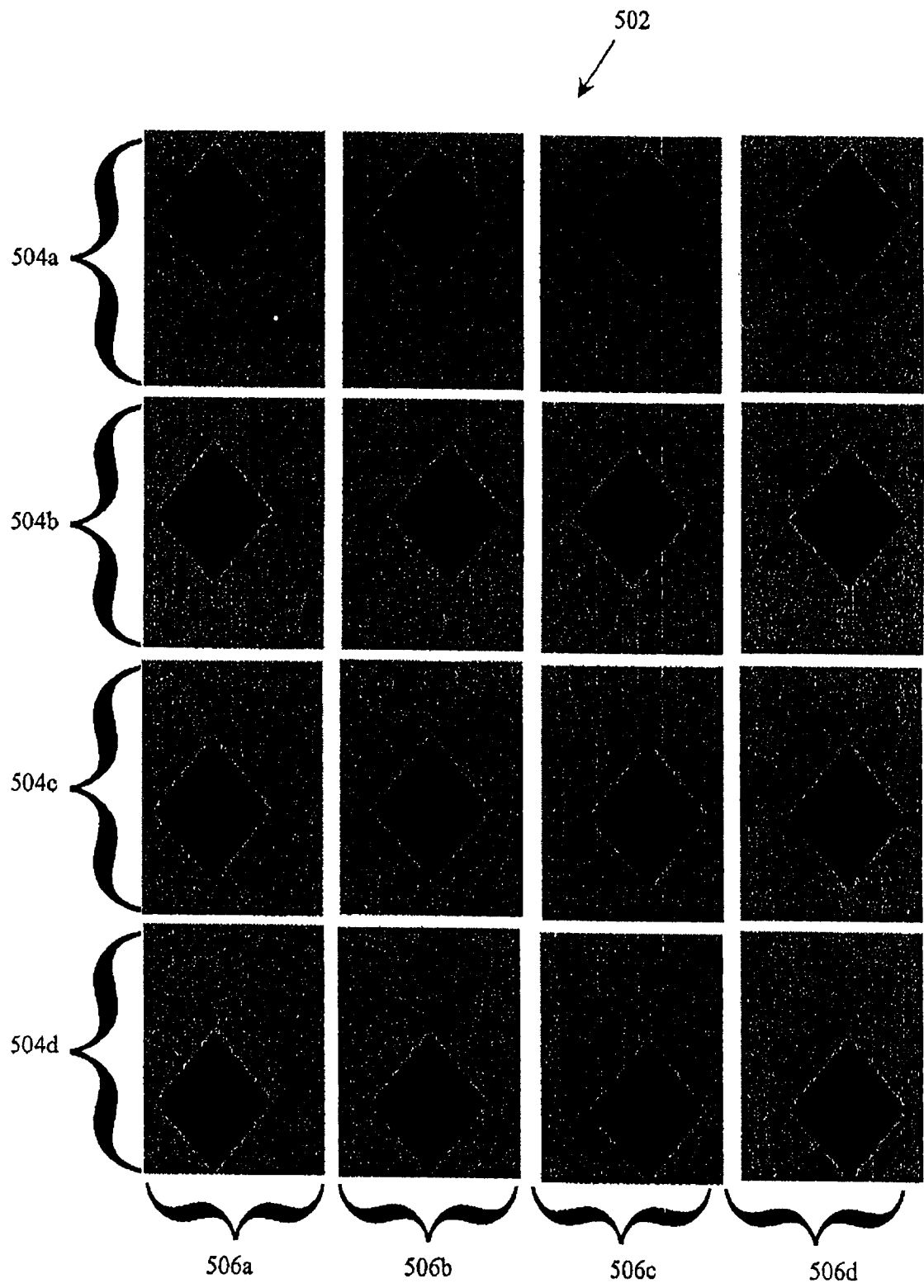


图 16

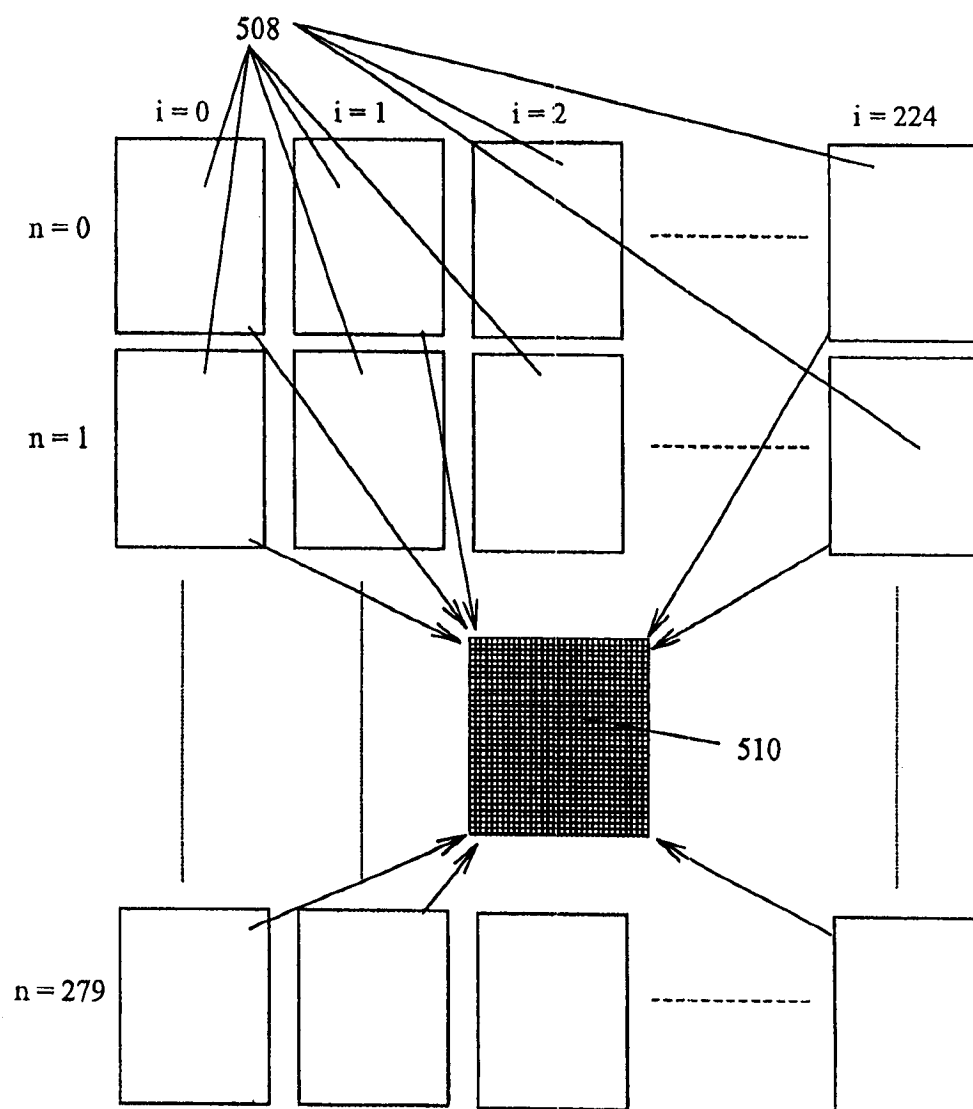
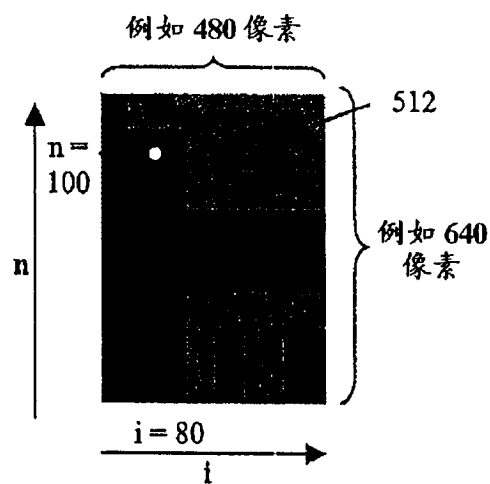


图 17



$$pAvg_{100,80} = [(0+0+0\dots+255+255) + (255+255\dots+0+0)] / (480 + 640)$$

图 18

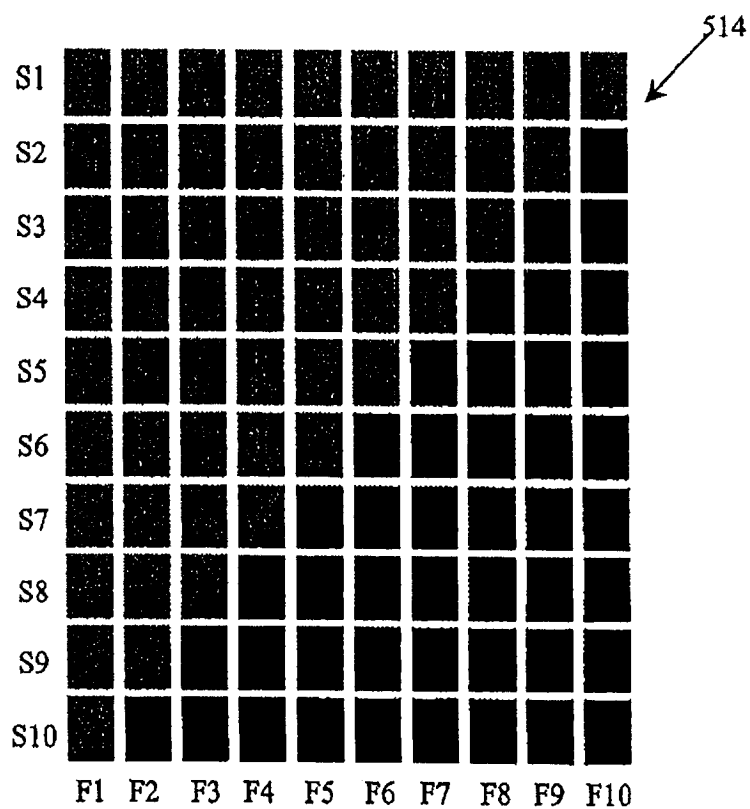


图 19

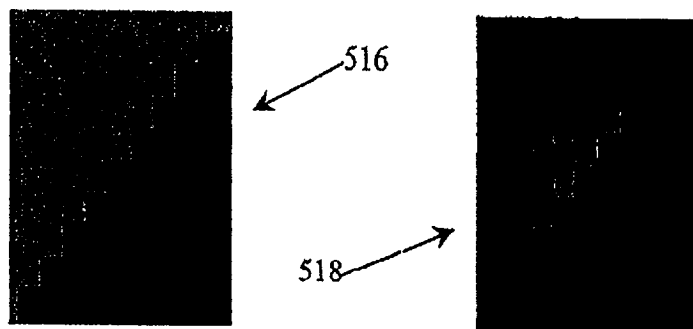


图 20(a)

图 20(b)

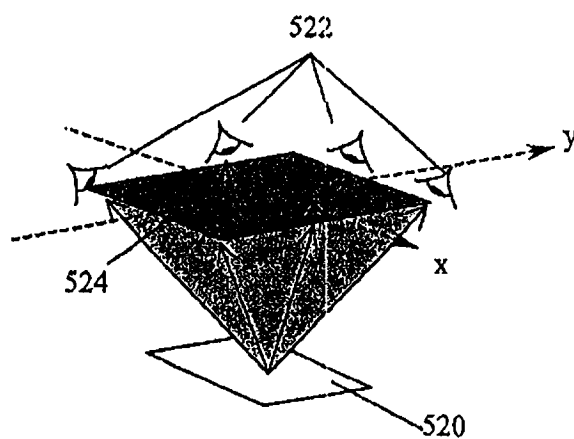


图 21

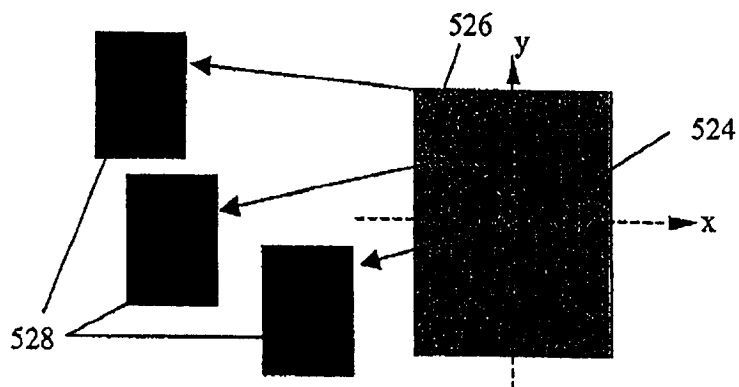


图 22

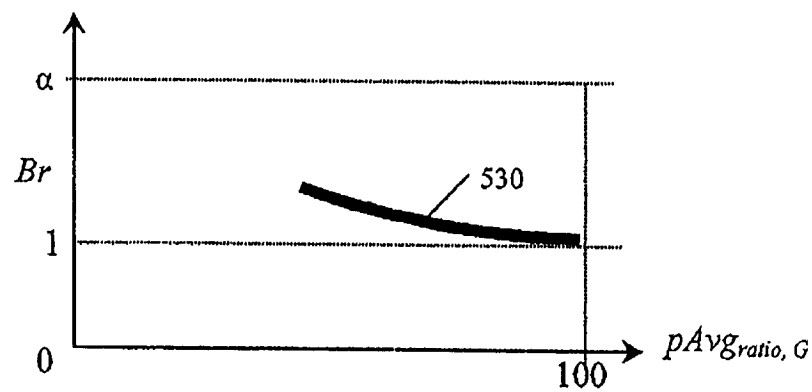


图 23

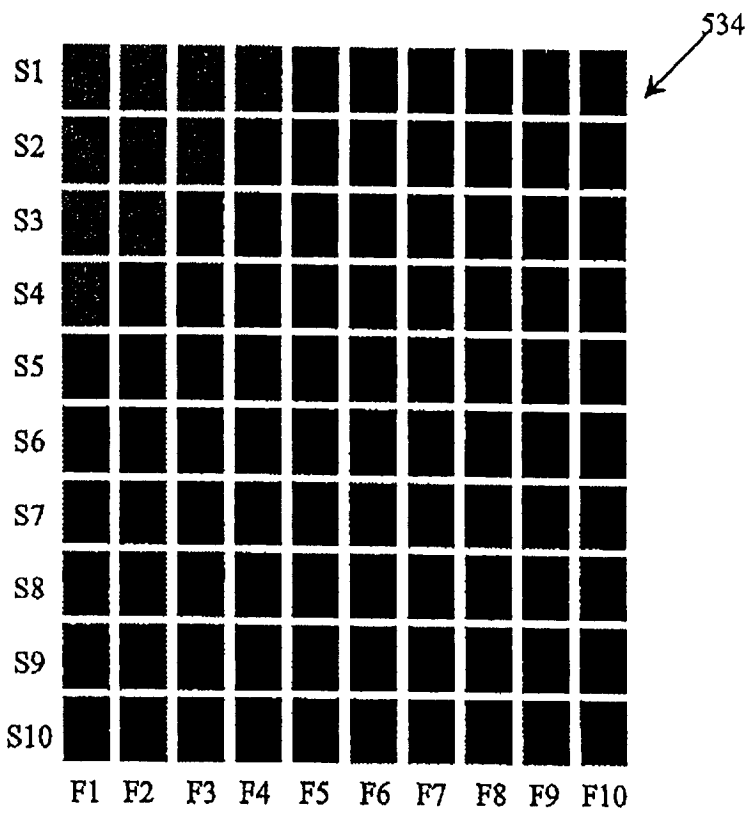


图 24

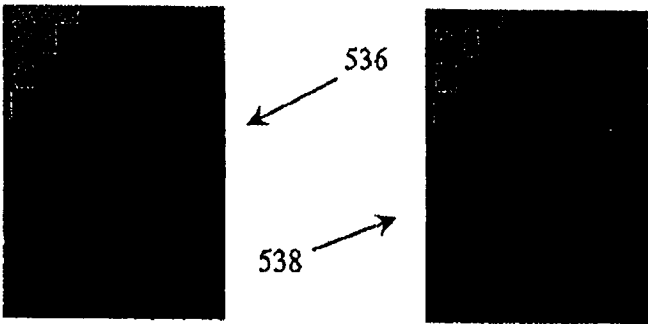


图 25(a)

图 25(b)

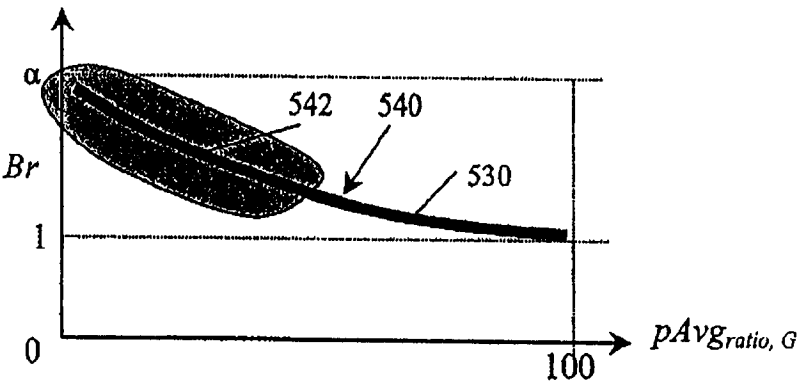


图 26

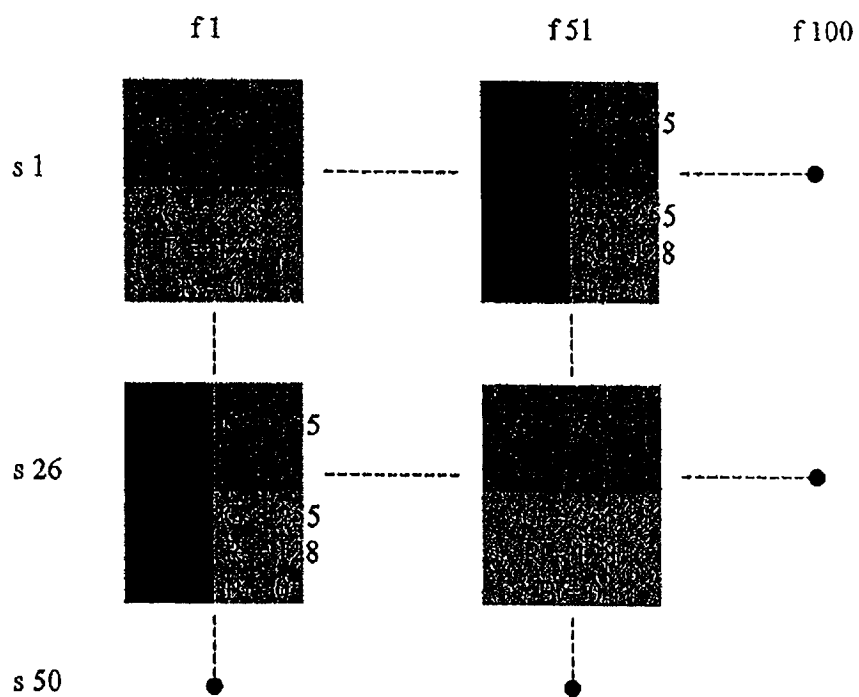


图 27(a)

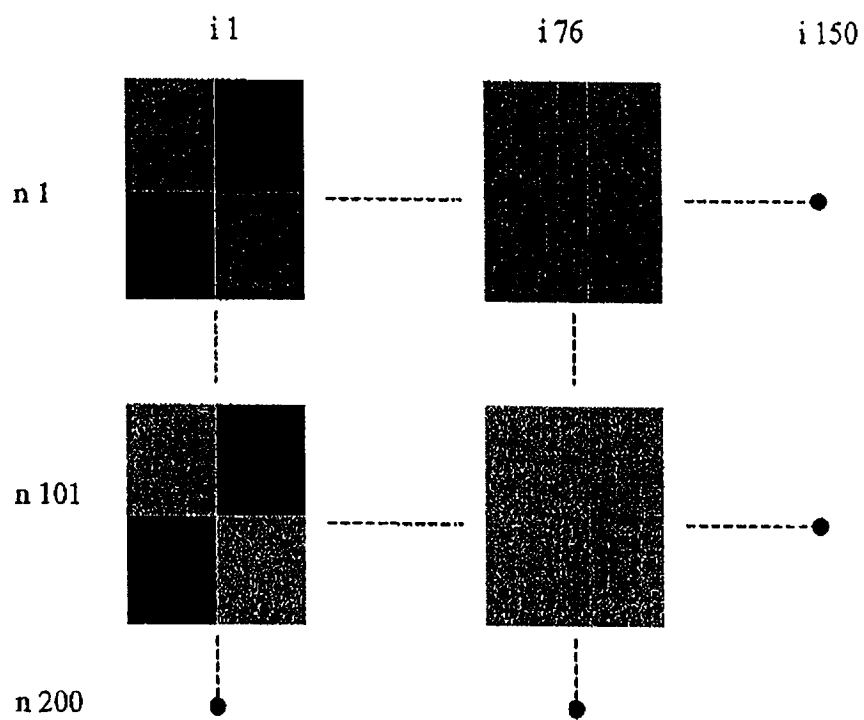


图 27(b)

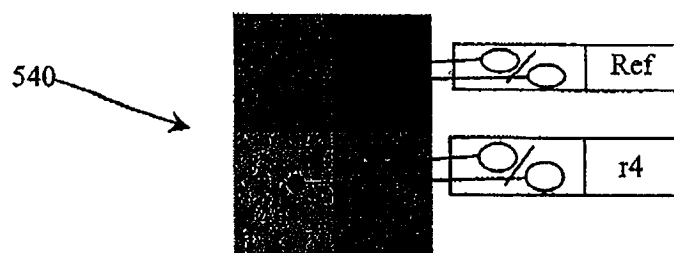


图 28

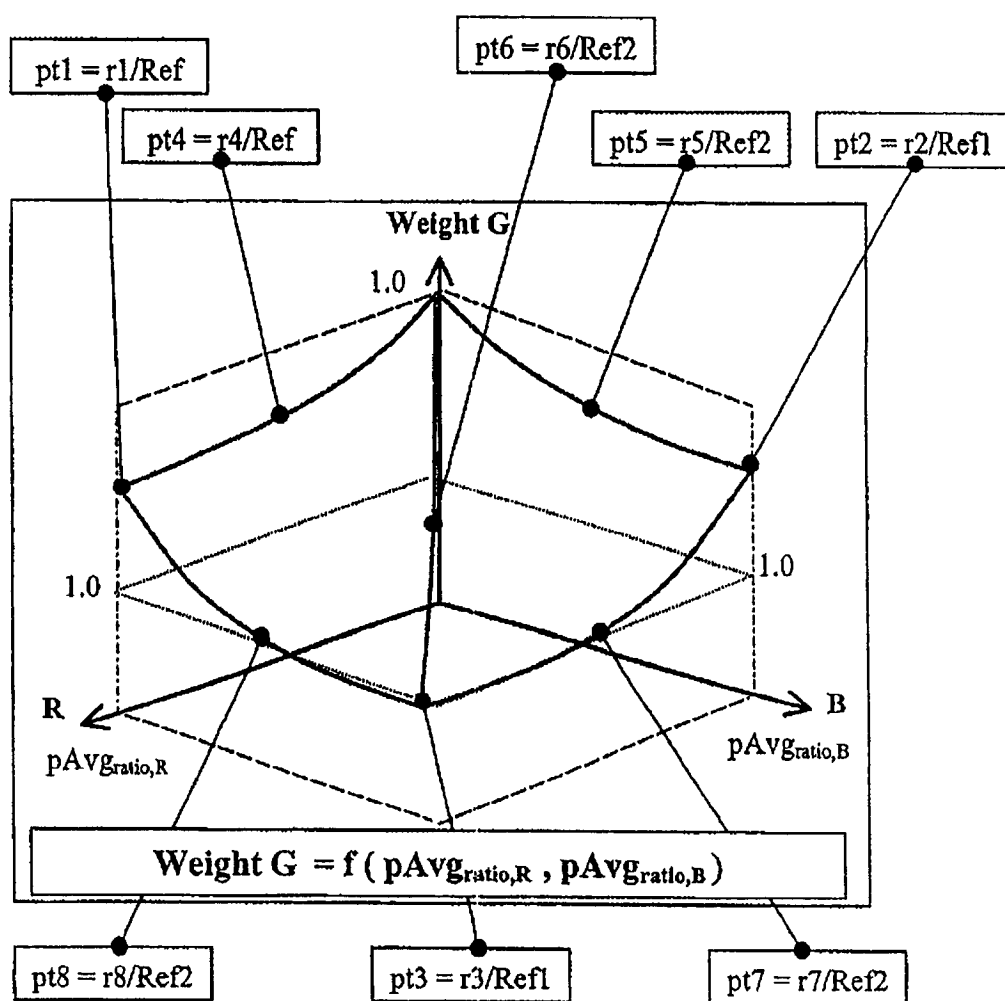


图 29

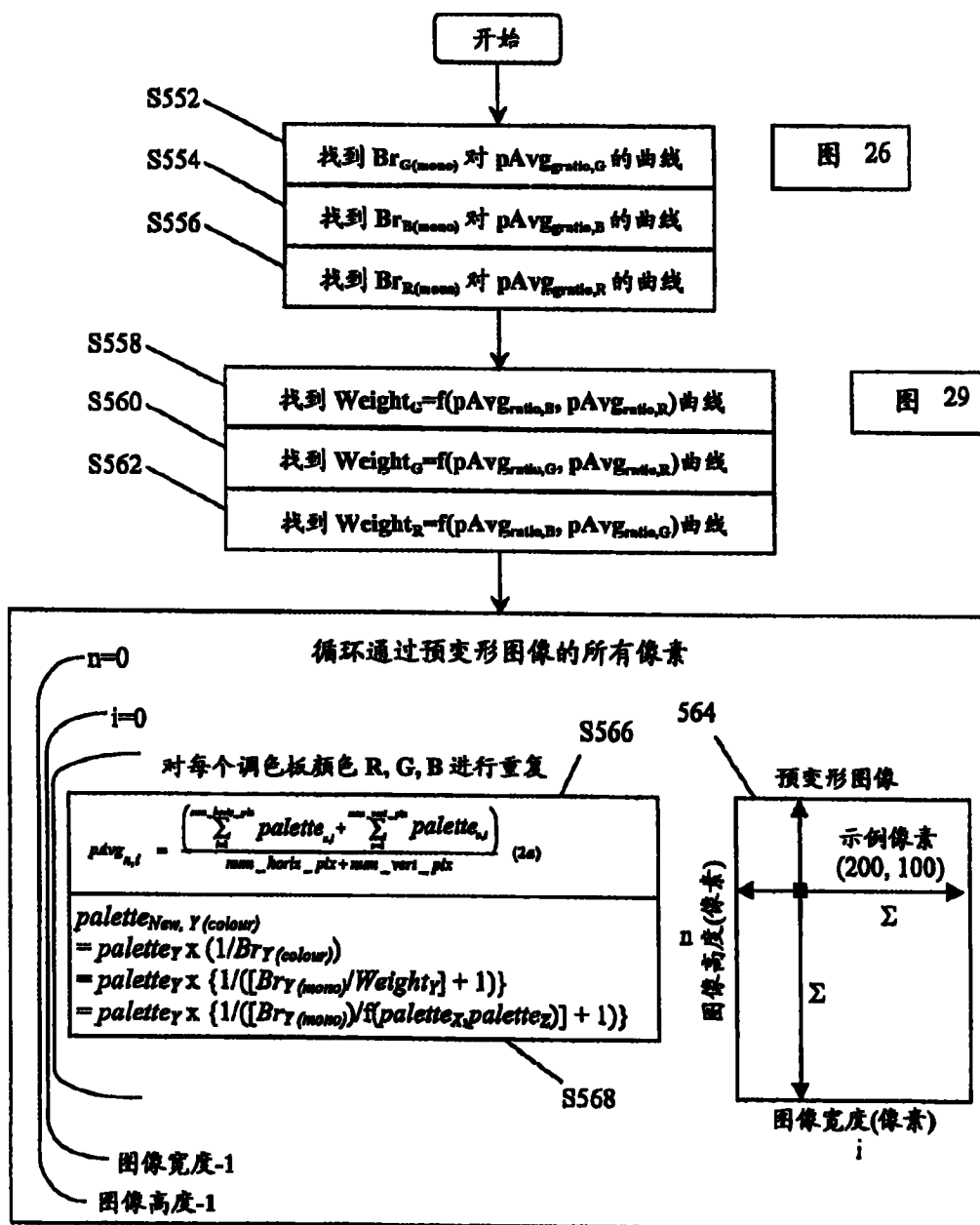


图 30

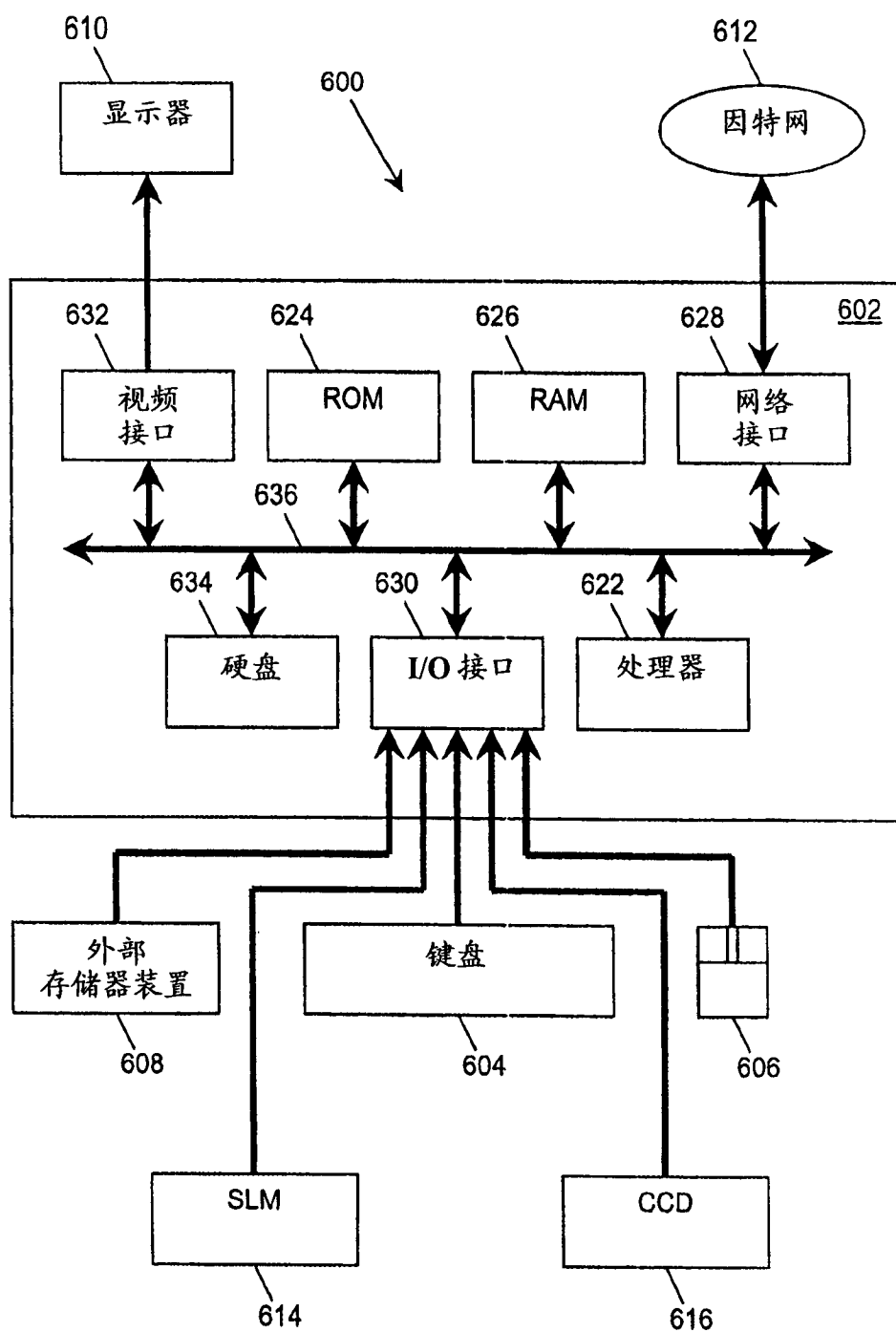


图 31