

[12] 发明专利申请公开说明书

[21] 申请号 99807391.1

[43]公开日 2001年7月25日

[11]公开号 CN 1305619A

[22]申请日 1999.4.20 [21]申请号 99807391.1

[30]优先权

[32]1998.4.20 [33]US [31]60/082,442

[32]1998.11.20 [33]US [31]09/196,553

[32]1999.4.14 [33]US [31]09/291,315

[86]国际申请 PCT/US99/08618 1999.4.20

[87]国际公布 WO99/54849 英 1999.10.28

[85]进入国家阶段日期 2000.12.15

[71]申请人 帝曼斯诺梅迪亚联合有限公司

地址 美国纽约市

[72]发明人 阿兰·萨立文

[74]专利代理机构 北京康信知识产权代理有限公司

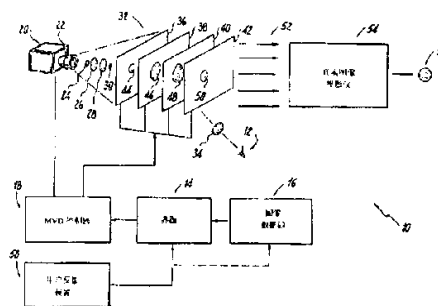
代理人 吴磊

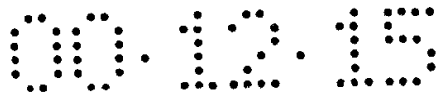
权利要求书 10 页 说明书 47 页 附图页数 14 页

[54]发明名称 多平面立体显示系统及采用三维去混叠的操作方法

[57]摘要

一种多平面立体显示系统(10)及实施方法利用下述部件来产生立体三维图像(34和56):一个包含排列成阵列形式的多个单独的光学元件(36、38、40和42)的多表面光学装置(32);一用于有选择地将一组图像投影在多表面光学装置的各个光学元件(36、38、40和42)上以生成多表面光学装置(32)中第一个可见的立体三维图像(34)的图像投影仪(20);和一用于利用多表面光学装置中的第一个立体三维图像(34)来产生好象浮在与多表面光学装置(32)相离的某一位置处的空间中的第二个可见的立体三维图像(56)的浮动图像产生器(54)。去混叠对所显示的在光学元件之间过渡的像素(24、26、28和30)进行调整。以便像素(24、26、28和30)的颜色值可作为像素与光学元件(36、38、40和42)之间距离的函数来进行调整。从而在立体三维图像的部分(44、46、48和50)间产生一平滑的过渡。





权利要求书

1. 一种用于对显示在多个光学元件上的一个三维图像的第一个三维象素实施去混叠的方法，其中第一个三维象素的第一个三维象素深度值处在对应于以第一个三维象素为边界的一对光学元件的一对光学元件深度值之间，所述方法包含以下步骤：

从第一个三维象素的深度值产生一深度调整值；

利用该深度调整值对与第一个三维象素相关的第一个颜色值进行调整；以及

利用该调整后的颜色值在该对光学元件中的至少一个元件上显示第二个三维象素。

2. 如权利要求 1 所述的方法还包含以下步骤：

对第一个三维象素深度值进行标定以使其处在一预定的与多个光学元件有关的指数范围之内；

其中产生深度调整值的步骤包含从经标定的三维象素深度值产生深度调整值的步骤。

3. 如权利要求 2 所述的方法，其中产生深度调整值的步骤包含下述步骤：

将经标定的三维象素深度值的小数部分确定为深度调整值。

4. 如权利要求 3 所述的方法，其中调整第一个颜色值的步骤包含以下步骤：



用小数部分的一个函数乘以第一个颜色值以产生第二个颜色值来作为调整后的颜色值，其中第二个颜色值与第二个三维像素相关。

5. 如权利要求 1 所述的方法，其中产生深度调整值的步骤包含以下步骤：

用一去混叠参数对深度调整值进行修正以控制在三维图像中的对第一三维像素显示的去混叠的程度。

6. 如权利要求 1 所述的方法，其中调整第一个颜色值的步骤包含利用深度调整值从经调整的第一颜色值来产生第二个和第三个颜色值的步骤；以及

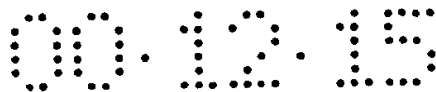
其中显示第二个三维像素的步骤包含以下步骤：

分别利用第二和第三个颜色值在所述光学元件对的各自一个光学元件上显示第二个和第三个三维像素。

7. 如权利要求 6 所述的方法，其特征在于多个光学元件间的间隔是一致的。

8. 如权利要求 6 所述的方法，其特征在于多个光学元件间的间隔是不一致的。

9. 如权利要求 6 所述的方法，其特征在于多个光学元件间的间隔是可变的。



10. 如权利要求 6 所述的方法，其中确定光学元件对的包含以下步骤：

对与多个光学元件相关的多个深度值进行搜索以确定所述的光学元件对，其中第一个三维象素的第一个三维象素深度值介于与所述光学元件对相关的光学元件对的深度值之间。

11. 如权利要求 6 所述的方法，其中产生深度调整值的步骤包含以下步骤：

从分别与三维象素和所述光学元件对相关的第一个三维象素深度值和光学元件深度值来产生深度调整值。

12. 如权利要求 11 所述的方法，其中产生一深度调整值 λ 的步骤包含以下步骤：

按照下式将第一个三维象素深度值 DV 内插于光学元件对的深度值 DNEAR1 和 DNEAR2：

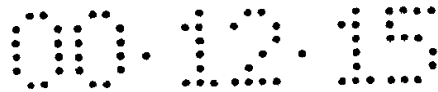
$$\lambda = (DV - DNEAR1) / (DNEAR1 - DNEAR2)$$

其中 X 表示的是数值或变量 X 的绝对值或幅值函数。

13. 一种产生立体三维图像的方法，所述方法包含以下步骤：

给图像投影仪提供对应于三维图像中一组二维片段的图像数据；以及

有选择地将来自图像投影仪的各个二维片段投影到选自组成多表面光学装置的多个光学元件的各自光学元件上，包含以下步骤：



对在至少一对光学元件之间过渡的三维象素进行去混叠处理以产生具有取自去混叠三维象素的调整后的颜色值的片段；以及

从有选择地投影在多个液晶元件上的去混叠片段产生出在多表面光学装置中可见的第一个立体三维图像。

14. 如权利要求 13 所述的方法还包含以下步骤：

将利用一浮动图像产生器的多表面光学装置中的第一个立体三维图像进行投影以产生看起来浮动在离开多表面光学装置的某一位置处的空间中的第二个立体三维图像。

15. 如权利要求 14 所述的方法还包含以下步骤：

将利用一光学元件控制器的多表面光学装置中的各个个体光学元件的半透明度进行控制以分别接收和显示去混叠片段。

16. 如权利要求 15 所述的方法，其中控制步骤包含以下步骤：

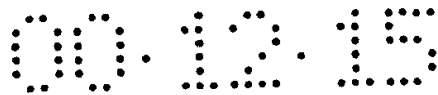
使一单个的液晶元件处于不透明光散射状态以接收和显示去混叠片段；以及

使其余的液晶元件具有允许图像组被分别投影的半透明度。

17. 一种用于产生立体三维图像的系统，所述系统包含：

一个包含多个排列成阵列的个体光学元件的多表面光学装置；以及

一个图像投影仪，该投影仪用于对在光学元件对间过渡的三维象素实施去混叠以产生具有取自去混叠三维象素的调整后颜色值的片段，还



用于选择性地包含去混叠三维象素的一组图像投影到多表面光学装置的各个光学元件上以产生多表面光学装置中可见的第一个立体三维图像。

18. 如权利要求 17 所述的系统还包含:

一用于将多表面光学装置中的第一个立体三维图像进行投影以产生看上去浮在离开多表面光学装置的某一位置处的空间中的第二个立体三维图像的浮动图像产生器。

19. 如权利要求 17 所述的系统, 其特征在于多表面光学装置中的各个个体光学元件包含一个具有可控变化的半透明度的用来接收去混叠图像的液晶元件。

20. 如权利要求 19 所述的系统还包含:

一个用于控制液晶元件的半透明度的光学元件控制器, 其中:

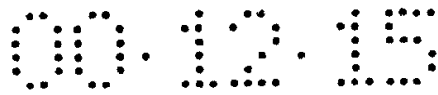
使一单个的液晶元件被控制成具有不透明光散射状态以接收和显示来自图像投影仪的各自的去混叠图像组; 以及

其余的液晶元件被控制成大体上为透明的以允许看见在不透明的液晶元件上所显示的图像。

21. 一种用于产生立体三维图像的系统, 该系统包含:

一个包含排列成阵列形式的多个个体光学元件的多表面光学装置;

一个用于有选择地将一组图像投影在多表面光学装置的各个光学元件上以生成在多表面光学装置中可见的第一个立体三维图像的图像投影



仪；以及

一个用于将多表面光学装置中的第一个立体三维图像进行投影以产生看上去浮在与多表面光学装置相离开的某一位置处的空间中的第二个立体三维图像的浮动图像产生器。

22. 如权利要求 21 所述的系统，其中多表面光学装置中的各个个体光学元件包含一个具有可控变化半透明度的液晶元件。

23. 如权利要求 22 所述的系统还包含：

一个用于控制液晶元件的半透明度的光学元件控制器，其中：

一单个的液晶元件被控制成具有不透明光散射状态以接收和显示来自图像投影仪的各自的图像组；以及

其余的液晶元件被控制成大体上是透明的以允许看见在不透明的液晶元件上所显示的图像。

24. 如权利要求 23 所述的系统，其特征在于光学元件控制器在多个成像周期期间以一高速率扫过液晶元件以从中选择一个液晶元件并使之在一特定成像周期内处于不透明光散射状态中，且光学元件控制器由此使不透明光散射状态移过液晶元件以用于连续接收图像组并产生出具有三维深度的立体三维图像。

25. 如权利要求 21 所述的系统，其中图像投影仪将图像组投影到多表面光学装置中以在多表面光学装置中以一大于 35Hz 的、可以防止出现人感觉得到的图像闪烁的频率产生完整的第一个立体三维图像。

26. 如权利要求 25 所述的系统, 其中多表面光学装置包含约 50 个光学元件; 以及

图像投影仪以至少 2kHz 的频率将各个图像组投影到各自的光学元件上。

27. 如权利要求 21 所述的系统, 其中图像投影仪包含:

一用于输出图像组的投影透镜; 以及

一用于将各个图像组聚焦到各自光学元件上的以控制来自投影透镜的图像组的投影深度及分辨率的自适应光学聚焦系统。

28. 如权利要求 21 所述的系统, 其特征在于图像投影仪包含:

分别用来发射红、绿、和蓝色激光从而可以产生和投影多种颜色图像组的多个激光源。

29. 一种用于产生处在空间中的立体三维图像的系统, 该系统包含:

一个包含多个具有可控变化半透明度的平面液晶元件的多平面光学装置;

一个用于有选择地将作为三维图像的二维片段的一组图像投影到各个液晶元件上以产生在多表面光学装置中可见的第一个立体三维图像的图像投影仪; 以及

一个用于将多表面光学装置中的第一个立体三维图像进行投影以产生看上去浮在与多表面光学装置相离开的某一位置处的空间中的第二个立体三维图像的浮动图像产生器。

30. 如权利要求 29 所述的系统，其中多个平面液晶元件堆成一线性阵列来形成多表面光学装置。

31. 如权利要求 29 所述的系统，其中至少一个平面液晶元件具有用于接收和显示各自图像的曲线表面。

32. 如权利要求 29 所述的系统还包含：

一个用于控制液晶元件的半透明度的光学元件控制器，其中：

一单个的液晶元件被控制成与从图像投影仪给这一单个的液晶元件的各自图像组的输出相同步以具有不透明光散射状态从而接收和显示来自图像投影仪的各自的图像组；以及

其余的液晶元件被控制成与各自图像组的输出相同步从而大体上是透明的以允许看见在不透明的液晶元件上所显示的图像。

33. 如权利要求 29 所述的系统，其中多平面光学装置包含至少 50 个平面液晶元件，其各个液晶元件具有至少 512 点 × 512 点的横向分辨率，由此而形成的多平面光学装置包含至少 1 千 3 百万个三维像素。

34. 一种用于产生立体三维图像的方法，该方法包含以下步骤：

给图像投影仪提供对应于三维图像的一组二维片段的图像数据；

有选择地将来自图像投影仪的各个二维片段投影到选自组成多表面光学装置的多个液晶元件中的各自液晶元件上，以产生在多表面光学装置中可见的第一个立体三维图像；

将利用一浮动图像产生器的多表面光学装置中的第一个立体三维图

像进行投影以产生看上去浮在与多表面光学装置相离开的某一位置处的空间中的第二个立体三维图像。

35. 如权利要求 34 所述的方法还包含以下步骤:

对利用一光学元件控制器的多表面光学装置中的各个个体光学元件的半透明度进行控制。

36. 如权利要求 35 所述的方法, 其中控制步骤包含以下步骤:

使一单个的液晶元件处于不透明光散射状态; 以及

使其余的液晶元件具有一种允许图像组被分别投影的半透明度。

37. 如权利要求 36 所述的方法, 其中控制步骤包含以下步骤:

在多个成像周期期间对液晶元件进行快速扫描;

从中选出一液晶元件作为单个在某一特定成像周期内的处于不透明光散射状态中的液晶元件;

使有透明光散射状态移过液晶元件;

将投影在相应的处于不透明光散射状态的单个液晶元件上显示的各自图像予以同步; 以及

利用在各个处于不透明状态的液晶元件上的同步投影图像来产生具有三维深度的立体三维图像。

38. 如权利要求 34 所述的方法, 其中选择投影的步骤包括以下步骤:

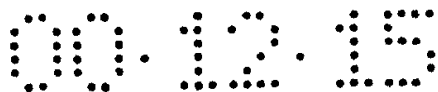
将图像组投影到多表面光学装置中以在多表面光学装置中以一大于 35Hz 的、可以防止出现人感觉得到的图像闪烁的频率产生完整的第一个立体三维图像。

39. 如权利要求 38 所述的方法，其中多表面光学装置包含约 50 个光学元件；以及

选择投影步骤包含以至少 2kHz 的频率将各个图像组投影到各自的光学元件上的投影步骤。

40. 如权利要求 34 所述的方法，其中选择投影步骤包含以下步骤：

分别从多个激光源发射红、绿、和蓝色激光，从而可以在多个光学元件上产生和投影多种颜色的图像组。



说明书

多平面立体显示系统及采用三维去混叠的操作方法

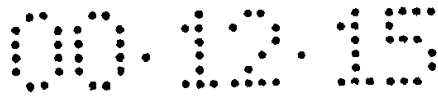
本发明涉及三维(3D)成像,更具体地说是涉及一种利用3D去混叠方式在空间中产生立体三维图像的多平面显示系统。

众所周知,三维(3D)图像可以制造出来并且看上去可显现在空间之中。但一般都需要使用如护目镜和/或头戴物一类的特制眼镜,而这类特制眼镜会成为一种累赘。另外,对人眼睛来说这类特制眼镜必竟是一个附加物,因此它们会减弱观看实际3D图像的感觉。使用这类特制眼镜还会造成眼睛疲劳,而只有通过限制观看图像的时间来缓减眼睛疲劳,而且这类特制眼镜的体积一般比较大,因此戴着会感觉不舒服。

于是,就产生了一种可产生立体3D图像并可将其显示出来而无需使用具有上述缺陷的特制眼镜的需求。

其他立体系统利用例如自发光立体元素也就是三维像素(voxel)来产生这种立体3D图像。位于加利福尼亚州山景市的三维技术实验室的(3D Technology Laboratories of Mountain View, California)系统就是一个例子,在该系统中,红外激光束在一渗入稀土杂质离子的固态玻璃或塑料体中相互交汇而产生这种以三维象素为基础的图像。但是,由两个不可见的红外激光束产生可见光的非线性效应使其效率很低仅约为1%,因此要在大型显示器中产生明亮的图像就需要大功率的激光。而这种大功率激光对眼睛具有潜在的危害性,因此需要在显示器周围安装一个很有效果的防护罩。另外,扫描激光的分辨率一般很低而使得三维象素个数较少,而且立体机制的实体性质使得整个系统具有很大的重量。

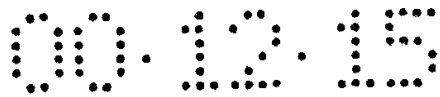
位于马萨诸塞州剑桥市的阿客里提系统有限公司(Actuality



Systems, Inc. of Cambridge, Massachusetts)的另一个立体显示系统采用了一个激光二极管线性阵列，通过一快速旋转的多面反射镜将二极管反射到了一个快速旋转的投影屏上。但是，必须小心地使这种尺寸相对大的快速旋转的部件保持平衡以避免发生振动和可能是灾难性的损坏。另外，显示器中的三维像素的尺寸、形状和方向都取决于它们的位置，从而导致了依赖于位置的显示分辨率。

位于佛罗里达州墨尔本的尼奥斯技术有限公司(Neos Technologies, Inc. of Melbourne, Florida)提供了另一种立体显示系统，该系统采用声光方式将激光束扫描到一快速旋转的螺旋状投影屏幕上。这一庞大的旋转部件需要独立于显示动作而小心翼翼地保持平衡。这种激光仪系统具有低分辨率和低速率的特点，这就大大地限制了三维像素的个数。另外，显示器中的三维像素的尺寸、形状和方向都取决于它们的位置，从而导致了依赖于位置的显示分辨率。最后，显示器的极为显目的非直线特性大大地增加了计算不同的二维图像的处理要求。

还有其他类型的公知的3D成像系统，例如立体显示器，这种立体显示器给各个眼睛提供存在细微差别的一个画面的不同透视图。然后大脑再将分立的图像合为一个单一的3D图像。一些系统仅提供单一的一个观察点且还需要特制的眼睛配戴物，或者可以通过实施头部跟踪来避免使用眼睛配戴物，但那样3D图像只能被单个的一个观察者看到。或者，有的显示器可以为在不同的角度的多个观察区提供在各个观察区的适合于那一观察点的图像，例如多观察点自动立体显示器就是这样的。用户的两个眼睛必须处在不同的但又相邻的观察区内来观看3D图像，而且观察区必须非常窄以防止当观察者相对于显示器移动时出现不连续的跳跃。一些系统只有水平视差/环视。另外，深度焦点会聚差异很快就会导致眼睛疲劳从而大大地限制了观察时间。另外，立体显示器的视野有一定的限制从而不能实际用于如虚拟(virtual)现实和/或力反馈界面(force feedback interface)等直接的交互技术。



头戴式显示器 (HMD) 通常用于虚拟现实应用中, 在该显示器中一对视频显示器为各个眼睛呈现合适的透视图。一个 HMD 一次只能用于一个人, 且每只眼睛的视野范围有限。必须采用头部跟踪来提供视差。

其他的显示系统还包含全息显示器, 在该显示器中相干激光与一组被称为全息光栅的非常细的线栅相互作用而生成图像。光栅改变入射光的方向和强度以使其看起来是来自被显示物体的位置。但是, 一般的光学全息包含大量的信息, 因此要以高速率更新全息显示所进行的运算是巨大的。对于具有较大尺寸和足够视野范围的全息显示器, 像素个数一般大于 2 亿 5 千万。

因此, 需要一种其运算量可以为处理系统所接受的且具有改善的可视性和可实施性的高品质的立体 3D 成像技术。

另外, 在三维成像中, 离散像素的使用由于象素化使得部分图像会呈现锯齿状, 例如在立体 3D 图像的不连续深度间的过渡中就会出现上述情况。因此也需要一种可以柔化立体 3D 图像各部分间的过渡过程的方法。

本发明公开了一种用于产生立体三维图像的多平面立体显示系统 (MVD) 及其操作方法。该 MVD 系统包含一个多表面光学装置, 该装置又包含排列成阵列形式的多个分立光学元件; 一用于有选择地将一组图像投影在多表面光学装置的各个光学元件上以生成多表面光学装置中第一个可见的立体三维图像的图像投影仪; 和一用于利用多表面光学装置中的第一个立体三维图像来产生好象浮在离开多表面光学装置的某一位置处的第二个可见的立体三维图像的浮动图像产生器。

多表面光学装置中的各个分立光学元件的每一个包含有一个具有可控变化半透明性的液晶元件。还提供有用于控制液晶元件的半透明度的光学元件控制器, 以控制该液晶元件的半透明性, 以使一分立的液晶元



件得到控制而具有一种用来接收和显示来自图像投影仪的图像组中的各自图像的不透明光散射状态，而将其余的液晶元件控制成大体上透明的状态以允许看到在不透明的液晶元件上所显示的图像。

光学元件控制器在一特定成像周期期间以一高速率扫过液晶元件，以从中选择一个液晶元件并使之在一特定成像周期内处于不透明光散射状态中，且使不透明光散射状态移过液晶元件用于连续接收图像组而产生出具有三维深度的立体三维图像。

图像投影仪将图像组投影到多表面光学装置中以在多表面光学装置中以一大于 35Hz 的可以防止出现人感觉得到的图像闪烁的频率形成完整的第一个立体三维图像。例如，空间频率可以为约 40 Hz。例如在一个实施例中，如果采用了约 50 个光学元件且空间频率为约 40Hz，那么图像投影仪需以 2kHz 的频率将各个图像组投影到各自的光学元件上。

图像投影仪包含一用于输出图像组的投影透镜。该投影仪也包含一用于将各个图像组聚焦到各自光学元件上的以控制来自投影透镜的图像组的投影深度及分辨率的自适应光学聚焦系统。另外或此外，图像投影仪包含多个激光源以分别用来发射红、绿、和蓝色激光，从而可以以多种颜色产生和投影图像组。

另外，采用一种 3D 去混叠方法来光滑在多表面光学装置中的光学元件之间过渡区的投影图像部分。去混叠对在光学元件之间过渡区所显示的像素进行调整，以便像素的颜色值可作为像素与光学元件之间距离的函数来调整，从而在立体三维图像部分间产生一光滑的过渡。

附图的简要说明：

图 1 显示的是这里所公开的多平面立体显示系统；

图 2 显示了一基于液晶的呈透明态的光学元件;

图 3 显示的是图 2 所示光学元件处于散射不透明的状态中;

图 4-7 显示的是形成一立体 3D 图像的多个光学元件上的图像连续显示;

图 8 显示了一薄膜态的光调制器;

图 9 显示的是一用于图像投影仪中的自适应光学系统;

图 10 显示的是图 9 所示自适应光学系统与一个多光学元件系统相结合的情况;

图 11 显示的是铁电液晶 (FLC) 空间光调制器 (SLM) 中的一个像素的侧剖视图;

图 12-14 显示了图 11 所示的 FLCSLM 的座标轴的角度取向;

图 15 显示了用于产生多平面数据组的方法的流程图;

图 16 显示了在多个光学元件中的一个三维象素的 3D 去混叠处理;

图 17 表示的是没有经过 3D 去混叠的三维象素的显示情况;

图 18 表示的是经过 3D 去混叠的三维象素的显示情况;

图 19 表示的是有和没有 3D 去混叠情况下的视深度之间的比较图;

图 20 表示的是实施 3D 去混叠的方法的流程图;

图 21-22 表示的是不进行去混叠处理的包含半透明前景物体的 3D

图像的产生情况;

图 23-34 表示的是进行了去混叠处理的包含半透明前景物体的 3D 图像的产生情况。

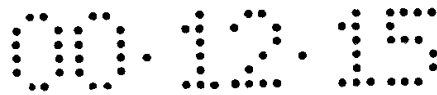
优选实施例的详细描述

图 1 显示的是一个多平面立体显示系统 10, 该系统可产生实质上为立体的三维 (3D) 图像, 即, 所产生的 3D 图像占据一个具体的、有限的 3D 体积, 因此真正存在于图像出现的位置。因此, 这样的 3D 图像是真正的 3D 图像, 不同于例如立体照相等仅仅是由于视觉所产生的光学错觉而被认为是 3D 的图像。

由系统 10 所产生的 3D 图像具有很高的分辨率且能以多种颜色显示出来, 因此具有与观看真实物体相关的特点。例如, 这样的 3D 图像可以具有水平向和垂直向的活动视差或环视性, 即观察者 12 活动后仍接收到视觉光线而维持 3D 图像的 3D 形象。

另外, 观察者 12 不必要戴任何例如立体成像面罩或眼镜等特制的护目镜来观看 3D 图像, 这一优点就避免了戴护目镜, 护目镜对观察者来说是一个拖累、还会引起眼睛疲劳等。而且, 所述 3D 图像在水平方向和垂直方向都具有一个连续的观察视野, 在一定情况下可视的水平视野范围可为 360°。另外, 观察者在距离 MVD 系统 10 的任意远处都不会失去 3D 感。

多平面立体显示系统 10 包含一用于从例如计算机等图像数据源 16 处接收 3D 图像数据的界面接口 14: 所述计算机可以与系统结合成一体, 也可通过通讯接口实现与系统 10 的远程连接, 也可与常规的远程通讯连接器可例如互联网(Internet)等任何网络相连。界面接口 14 可以是 PCI 总线, 也可以是加利福尼亚州圣克拉拉市的英特尔公司 (INTEL of Santa



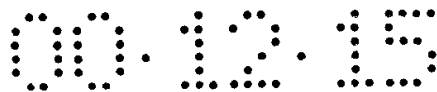
Clara, California)可以提供的加速图像通道 (AGP)。还可使用下述的其他界面接口：以 IEEE1014 标准为标准的 VME 后板互连总线系统、小计算机系统接口 (SCSI)、在苹果马斯图克(Apple Macintosh)计算机及其他系统中使用的 NuBus 高性能扩展总线系统、工业标准构造(Industry Standard Architecture)(ISA)接口、扩展 ISA(Extended ISA)(EISA)接口、通用系列总线(Universal Serial Bus)(USB)接口以及现已按照 IEEE 1394 标准制成为标准化的且能提供计算机中的高速通讯和同步实时数据服务的火线(Fire Wire)总线接口，也可以是其他通用的或专用接口。

接口 14 将 3D 图形数据传输到多平面立体显示系统 (MVD) 控制器 18，该控制器包含一级高速的图像缓冲器。MVD 控制器 18 将可视成为立体 3D 图像的三维图像转换成一系列的取自 3D 图像的不同深度的二维图像片段。然后，对应于图像片段的帧数据被快速地从 MVD 控制器 18 的高速图像缓冲器中送到图像投影仪 20。

该 MVD 控制器 18 和接口 14 的功能可在一计算机中实施，例如加利福尼亚州山景市硅图公司 (SILICON GRAPHICS of Mountain View, California)可以提供的欧克坦图形工作站 (OCTANE graphics workstation)。也可使用其他通用的以计算机为基础的系统，例如采用 195MHz 精简指令集计算 (RISC) 微处理器的个人计算机 (PC)。相应地，应理解为所公开的 MVD 系统 10 及其元件也不限于用特定的硬件和/或软件来实施。

图形数据源 16 可选择为一个计算机的图形应用程序，所述程序操作一应用程序接口 (API) 及一设备驱动器，以便以适当的格式通过诸如接口 14 等的输入/输出 (I/O) 装置将 3D 图像数据提供给计算机的 MVD 控制器 18。所述 MVD 控制器 18 可以是应用于个人计算机并选择使用特定数据处理扩展卡的硬件和/或软件。

例如，MVD 控制器 18 中的扩展卡可以包含用于将来自图形数据源

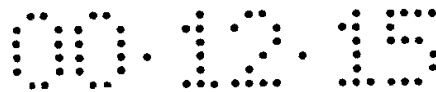


16 的 3D 数据组转换成系列的、形成了对应于片段 24-30 的一个多平面数据组的二维图像片段的图形硬件和/或软件。这样就以实时或近于实时的更新速率产生可用于例如外科手术模拟、空中交通控制、或军事演习和控制等真实场合的 3D 图像 34。所述的扩展卡也可包含一用于操纵 3D 数据组和进行 3D 图像的结构绘制的结构内存的几何引擎。

在图像数据传输到图像投影仪 20 之前, MVD 控制器 18 或者是图形源 16 可以在图像数据上进行 3D 去混叠处理以便平滑 3D 图像 34 所显示的特征, 从而避免例如在沿 Z 方向的平行板间的纵深向出现锯齿状线, 所述锯齿状线的出现是由于在垂直于 Z 轴的 x-y 平面内成行排列的光学元件 36-42 所组成的 MOE 装置 32 的内在固有的离散三维象素结构而引起的。当对应于图像片段 24-30 的数据产生时, 在平面过渡的边缘附近也就是在例如光学元件 36-38 的光学元件之间可能出现图像元素。为了避免具体图像元素有一个突然的过渡, 可以产生两个片段 24、26 以使图像 44-46 中的各个图像都包含有这一具体的图像元素, 这样这一具体的图像元素就在由光学元件 36-38 所形成的两个平面间共享, 以此来弱化过渡而使 3D 图像 34 看上去显得更连续些。在各个连续的光学元件上的图像元素的亮度是不同的, 其亮度是按照图像元素在图像数据中的位置而定的。

为了最大限度提高将图像数据传送到产生图像的 MVD 控制器 18 的速率, 图形数据源 16 和 MVD 控制器 18 也可以通过接口 14 执行零运行编码。不言而喻, 其他技术的图像数据传送也可以采用, 例如采用运动图形专家组 (Motion Picture Experts Group)(MPEG) 数据通讯标准及 delta(Δ) 压缩。

3D 图像可以维持以 40Hz 的速率更新的 50 SVGA 量级分辨率的图像, 其结果是原始数据以大于 2GB/sec 的速率被显示出来。由于不传送零数据, 这种原始数据率可以大大地减小。一个立体三维图像一般具有大

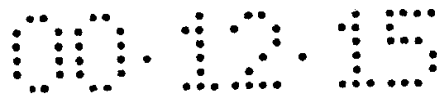


量的代表着物体内部、被前景物体遮住的背景物体、及周围空间的零数据。图形数据源 16 可以对图像数据进行编码以便于用一个零运行标志 (ZRF) 或零运行码且在其后跟随或相关于一运行长度来代表零的运行。这样为了显示只需传送零数据的个数而不需传送零数据了。在 MVD 控制器 18 中的 3D 图像缓冲器可以进行初始化以存储所有的零数据, 那么在图像数据在缓冲器中进行存储时, 借助于等于零数据的串长度的数据位置或像素的数目来实现对 ZRF 标志的检测, 使得 MVD 控制器 18 跳到了缓冲器的前面。那么在 3D 图像缓冲器就容纳了要输出到图像投影仪 20 的 3D 数据, 其中可能包含用于使 SLM 工作以生成二维图像的 SLM 驱动器。

图像投影仪 20 包含有用于将 3D 图像的二维片段 24 - 30 以高帧频和按时间顺序的方式投射到用于析出图像的多光学元件 (MOE) 装置 32 处, 以产生在观察者 12 看来出现在 MOE 装置 32 所在空间的第一个立体三维图像 34 的相关光学元件 22。MOE 装置包含多个光学元件 36 - 42, 该光学元件在 MVD 控制器 18 的控制下有选择地接收片段 24 - 30 中的各个片段, 所接收的片段显示成了二维图像 44 - 50, 其中一个光学元件在每一帧频周期期间接收和显示各自的片段。由 MVD 控制器 18 产生的片段的深度数等于光学元件 36 - 42 的数目, 也就是说每个光学元件代表着所产生和显示的立体 3D 图像的一个深度分辨率单位。

光学元件 36 - 42 可以是由例如由向列型、铁电型、或胆甾醇型材料、或诸如采用本领域中用于这种组份所公知的、已作修改的肯特形态(Kent State)公式的胆甾醇结构的其他稳定的高分子材料等所组成的液晶显示器。

由 MOE 装置 32 的光学元件 36 - 42 将每一片段 24 - 30 作为一组显示图像所做的全部显示, 是以下述的足够高帧频来进行的, 例如帧频要大于 35Hz 以使观察者 12 不需要立体成像头罩而是直接就可看到一个连



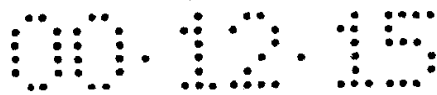
续的立体 3D 图像 34 而不是分立的二维图像 44 - 50。因此，如图 1 所示，图像 44 - 50 可以是一个球的横剖面，这样所产生的 3D 图像 34 对处在组成 MOE 装置 32 的光学元件 36 - 42 中间的观察者 12 看来是一个球体。

在另一个实施例中，图像 44 - 50 可以被产生出来用以显示完整的、具有 2D 和 3D 的混和图像，例如 2D 文本作为标题处在球体的下方或其上方。一种应用可以是具有 2D 和 3D 图像特点、以使观察者 12 可以看到诸如微软视窗(MICROSOFT WINDOW)95 的图形用户界面 (GUI) 的图形用户界面控制板，其中 2D 屏幕图形呈现为一种虚拟 (virtual) 的平面屏幕显示，而诸如球体的 3D 图像则呈现在一种虚拟的平面屏幕显示之上。

在一定的取向范围内可以看到第一个立体 3D 图像 34。另外，来自第一个立体 3D 图像 34 的光 52 进一步经一实像投影仪 54 处理后产生了第二个立体 3D 图像 56，在观察者 12 看来第二个立体图像是漂浮在与 MOE 装置 32 有一定距离的空间中的与第一个立体 3D 图像大体相同的图像。实像投影仪 54 或者是浮像投影仪可以由一组用于收集来自 MOE 装置 32 的光 52 而将 3D 图像 34 再成像到自由空间中的光学元件和/或镜组成。实像投影仪 54 可以是一个高清晰度立体显示器 (HDVD)，该高清晰度立体显示器 (HDVD) 包含有用以产生一个位于 MOE 装置 32 的光轴上的可视信号区的球面或抛物线面镜。

例如，实像投射系统可以是下述专利中所描述的装置：授予 Prince 的第 5, 552, 934 号美国专利和授予 Crabtree,IV 的第 5, 572, 375 号美国专利，这些专利在此作为参考文献。在另一个实施例中，实像投影仪 54 可以使用全息光学元件，该全息元件所起作用与产生浮像 56 的常规球形或抛物面形镜所起作用相同，只是可以产生多个可视区，例如一个是在光轴线上的中心区域处可视区、以及在光轴两侧的可视区，这样多个观察者就可以看到多个 3D 浮像。

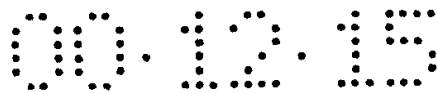
在另一个实施例中，实像投影仪 54 可包含全息光学元件 (HOEs)，



也就是常规意义上的不显示已存在物体的记录图像的全息图。HOE 可以起到诸如透镜和/镜子等常规光学元件所起的接收、反射、和改变入射光光路的作用。与例如玻璃或塑料等常规光学元件相比，HOEs 具有重量很轻和廉价再生的特点，还具有常规光学元件所不能获得的独特光学特性。例如，HOE 可以从与预定光轴成不同的角度处对同一物体生成多个图像，因此使用一个相对小的 HOE 后，不需要象常规光学元件所要求的那样通过增大元件尺寸就可以使显示的视野得到很大程度的提高。相应地，如实像投影仪 54 一样使用至少一个 HOE，就可构造出相对紧凑的具有 360 视野范围的 MVD 系统 10。另外，对于一个结合使用了激光光源的图像投影仪 20 来说，由于 HOE 所具有的波长选择性使得 HOEs 特别适合于上述的带有激光光源的高性能仪器。

既然在观察者 12 看来两个立体 3D 图像 34、56 都具有一定体积和深度，还可以选择颜色，那么多平面立体显示系统 10 就可用于虚拟事实和触觉应用中，例如应用于下面描述的外科教学的触觉动画的例子中。实像投影仪 54 使得浮动的 3D 图像 56 可以直接用于实际的场合。MVD 系统 10 还可包含一用于接收观察者 12 试图操纵两个图像 34、56 的手的动作用户反馈装置 58。所述的手动作可以由用户反馈装置 58 将其转换成控制信号，该控制信号传输到接口 14 再到 MVD 控制器 18 以使图像 34、56 中的一个或两个发生相应于观察者 12 的动作的改变。或者，也可以将反馈装置 58 结合到包含有 3D 图形处理器的图形数据源 16 处以实现图像 34、56 中的一个或两个的修改。

许多新的交互技术可以使采用了实像投影仪 54 的 MVD10 的性能得到提高。例如，由马萨诸塞州剑桥市的感应装置有限公司 (Cambridge, Massachusetts, SENSIBLE DEVICES, INC.) 开发的一种力 (force) 反馈接口就是一项强有力的使动技术，该技术使得 MVD 系统 10 具有了可以用手实际触摸和操纵 3D 图像 34、56 的能力。如果配以适当的程序，观察者 12 就可以对三维图像进行造型，仿佛图像是用粘土制成



的，方式是使用一个被称为数字粘土的系统，该系统是本申请受让人帝曼斯诺梅迪亚联合有限公司(DIMENSIONAL MEDIA ASSOCIATES)的商品。

具有有力反馈接口的 MVD 系统 10 的另一个应用是外科模拟器和训练器，其使用者可以看到和摸到三维的虚拟解剖，包括虚拟心跳和对使用者虚拟刺激作出反应的动画，这一 MVD 的应用可以：获得外科医师资格、实施创新的新方法、或者例如通过利用互联网通讯协议在互联网上实施远程外科手术。

这样，触觉效果和动画结合起来可以为利用 MVD 系统 10 所产生的 3D 图像来工作的使用者提供实时的模拟和刺激。例如观察者 12 是一个正在对医学学生进行教学的外科医师，那么只要外科医师在一个虚拟的现实中观察和操纵第一个 3D 图像 34，学生就可通过观看由于采用了实像投影仪 54 而产生的随着第一个 3D 图像 34 的改变而发生相应变化的第二个 3D 图像 56 来学习了。学生也可以轮流单独地操纵诸如心脏图象的图象 34，这样甚至可以将其动画成象为 3D 图象 34，54 的心跳。教学医师可以对正在对例如模拟心脏外科的仿佛是真的图像实施操作的学生进行观察和评分。

MOE 装置

在一个图示实施例中，MOE 装置 32 由一组作为光学元件 36-42 的由玻璃制成的单个像素液晶显示器 (LCDs) 组成，光学元件 36-42 间通过玻璃、塑料、或者空气间隔区来彼此分开。光学元件 36-42 也可以由塑料或其他具有例如重量轻的构造的各种优点的材料组成。玻璃、塑料、和/或空气间隔区可以和 LCDs 结合起来以形成一连续的光学构型来消除在相互界面处发生反射。LCDs 和间隔器间可通过光学接触、折射率匹配流体或光学胶接剂而连接起来。另外，也可以用例如水、矿物油、或折射率匹配流体等液体来替代间隔器，这些液体可以在一外部冷却装置中

循环以使 MOE 装置 32 冷却。而且在运输和安装这种具有液体间隔的 MOE 装置 32 的过程中，可以将其中的液体弄空以使总重量减轻，而在安装好之后再间隔液体注入。

在一个优选实施例中，光学元件 36-42 是平面矩形的，也可以呈现例如圆柱形等曲线的和/或任何其他形状。可以采用例如挤塑等不同的技术来构造圆柱形 LCD 显示器，而且圆柱形显示器还可以彼此套叠。光学元件 36-42 间的间隔距离可以是固定的，而在另外的实施例中也可以是变化的以便于在不增加光学元件 36-42 的个数的条件下大大增加 MOE 装置 32 的深度。例如，既然随着观察距离的增加观察者 12 的眼睛就失去了对深度的敏感性，因此离观察者 12 越远的光学元件间的距离就可以越大些。可以实施对数间距，即光学元件 36-42 间的距离随与观察者 12 间的距离成线性增加。

组成光学元件 36-42 的液晶显示器具有通过 MVD 控制器 18 中的一个 MOE 装置驱动器以实现在下述两个状态间的电子快速切换的特性：如图 2 所示的清晰、高透明状态和如图 3 所示的不透明、高分散状态。图 2-3 所示是光学元件 36 的横剖面图，其中液晶分子 60-64 悬浮在可以是玻璃、塑料、或空气间隔件的基板 66-68 之间，也可以具有分别施加在基板 66-68 之上的透明传导层 70、71。

传导层 70、71 可以由喷涂或蒸发的一层氧化铟锡 (ITO) 薄膜构成，该氧化铟锡薄膜具有极好的透光性和低阻抗性，但与玻璃或塑料基板相比该氧化铟锡薄具有相对高的折射率。而这两种材料折射率的不同使得在二者的界面处产生反射，因此需要在基板 66-68 上在传导层 70、71 和基板 66-68 之间有选择地设置另外的抗反射 (AR) 材料涂膜或涂层，以减少例如不需要的反射引起的反向光的数量。例如，采用一光学厚度为典型波长的四分之一如 76nm 的、折射率为约 1.8 的 AR 层就可将基板-传导层界面处的反射减少到很低的水平。

由于使用了 AR 涂层，就可以去掉光学元件 36-42 间的间隔材料而在其间留有空气或真空，这样便可减少 MOE 装置 32 的总重量。这种 AR 涂层可以是经真空淀积、蒸发或喷涂上去的电介质。另外，AR 涂层可以用溶胶-凝胶 (SOL-GEL) 制成的旋涂层、浸涂层、或是新月形涂层。

参见图 2，在采用这种传导层 70、71 的情况下，在两传导层之间设置一例如是引自 MVD 控制器 18 的电源 72，这样就在光学元件 36 的两基板 66-68 之间产生了一个电场 74，该电场使得液晶分子 60-64 进行了排列从而使光 76 没有或几乎没有散射地通过了光学元件 36，因此光学元件 36 大体上是透光的。

参见图 3，可采用例如打开一受 MVD 控制器 18 控制的快速切换开关 78 而使传导层 70、71 间的回路断开，这相当于去掉了电源 72。在去掉电源 72 的情况下，液晶分子 60-64 发生自由取向，这样光 76 就发生了任意散射而产生散射光 80。在这种构型下，光学元件 36 似乎是不透明的，因此可以将其作为一个接收和显示由投影仪 20 聚焦在其上的图像 44 的投射屏幕。

在另一个实施例中，如图 2-3 中所示，光学元件 36 可以由下述方式启动而处于如图 2 所示的透明状态中：使与第一基板 66 相邻的传导层 70 与地相连，同时使与第二基板 68 相邻的传导层 71 与一例如电压值约为 50V-250V 的供电电压相连。而为了使光学元件 36 处在如图 3 所示的分散、不透明状态中，可以将上述的电源反接，也就是在一例如约为 1ms-5ms 的预定延迟时间之后将传导层 71 与地相接，然后再将传导层 70 接到供电电压上。再通过反转上述过程还可使光学元件 36 再回到透明状态中。在光学元件 36 中没有平均直流 (DC) 或电压，如具有恒定的外加电压就会导致故障。也没有可产热的且对光学元件会增加能量需求的连续的交流电流 (AC) 或电压。

在工作过程中，仅有 MOE 装置 32 的光学元件 36-42 中的单独一个

元件在任何给定的时间内都处在散射的不透明状态中而形成一散射平面或表面。当图像投影仪 20 高速率地在每个投射周期内投射一个片段的方式投射片段 24 - 30 时，散射平面就在 MOE 装置的整个深度范围内快速放映而形成一有效深度可变的投射屏幕，而其余的透明光学元件可使观察者 12 看到从接收到的图像片段 24 - 30 所显示出来的图像。

如图 4 - 7 所示，MVD 控制器 18 向图像投影仪 20 输入了连续的帧数据，由此产生了图像 82 - 88，MVD 控制器 18 与光学元件 36 - 42 的开关相同步，以便使光学元件 36 在向其上发送如图 4 所示的图像 82 时是不透明的；使光学元件 38 在向其上发送如图 5 所示的图像 84 时是不透明的；使光学元件 40 在向其上发送如图 6 所示的图像 86 时是不透明的；使光学元件 42 在向其上发送如图 7 所示的图像 88 时是不透明的。MVD 控制器 18 可以在向图像投影仪 20 输入各组帧数据与使某一相应光学元件呈现不透明状态之间设置一个延迟，以便于图像投影仪 20 在所述延迟期间有足够的时间对应于帧数据组 1 - 4 分别生成各个图像 82 - 88。

参见图 4 - 7，当其中一个光学元件是不透明的而分别显示出其上的图像时，剩余的光学元件却是透明的，因此在光学元件 36 上所呈现的如图 4 中所示的图像 82 透过例如至少光学元件 38 仍是可见的，类似地，至少透过光学元件 40 后图 5 中所示的图像 84 仍是可见的，至少透过光学元件 42 后图像 86 仍是可见的。由于图像投影仪 20 以高频率将图像 82 - 88 显示到光学元件 36 - 42 上，相应地光学元件 36 - 42 也以一相对高的频率在不透明和透明两个状态间切换，因此图像 82 - 88 便形成了一个单一的立体 3D 图像 34。

为了形成一个连续的没有可以感觉到的闪烁的立体 3D 图像 34，每一光学元件 36 - 42 须以一个大于约 35Hz 的帧频来接收各自的图像并切换到不透明的状态。相应地，为了刷新和/或更新完整的 3D 图像，图像投影仪 20 的帧频也须大于约 $N \times 35\text{Hz}$ 。对于一个由 50 个 LCD 元件组成

的 MOE 装置 32 来说，如果各个光学元件的帧频为 40Hz，那么图像投影仪 20 的总的帧频便须大于约 $50 \times 40\text{Hz} = 2\text{kHz}$ 。如果要用 MVD 系统 10 呈现出高性能和/或高品质的立体 3D 图像，则图像投影仪 20 需要在 15kHz 量级上具有更高的帧频。

在一个实施例中，图 4-7 中所示的图像 82-84 被连续显示出来，以这种连续的帧排序在每个空间周期内对深度范围更新一次来更新 MOE 装置 32 中的光学元件 36-42 的整个空间。这种连续的帧排序在最低限度的帧频条件下可能是足够的，例如对静止的图像 82-88 是约 32Hz 的帧频，对显示运动的图像 82-88 是帧频为约 45Hz。在另一个实施例中，采用了半随机平面排序以减弱图像抖动和减少动作所显现的人工迹象，在这一方法中虽然各个光学元件在每个空间周期仍旧是只更新一次，却以一个更高的频率来实现深度的更新。所述的半随机平面排序包含有多平面交错，其中偶数平面由图像来照明，然后奇数平面再被照明，这样不需提高图像投影仪 20 的帧频便可提高可被感知的空间更新率。

MOE 装置 32 保持图像投影仪 20 产生的图像分辨率以提供高逼真度的三维图像。液晶板 36-42 处在清晰透明状态中时是高度透光的且无晕阴，所述液晶板还能在清晰透明状态和不透明散射状态之间快速切换，在所述的不透明散射状态中来自图像投影仪 20 的光和图像大体上被有效地和大致地散射开了。

在另外的实施例中，可以制造出重量轻的 MOE 装置 32。液晶板 36-42 可以由一组在其内表面涂膜的玻璃基板组成，透明的传导层 70、71 上涂有一层绝缘层。可在绝缘层上选择性地设置一高分子排列层。在某一液晶板的基板之间的液晶成份薄层的厚度设置为约 10-20 微米。

液晶板的大部分体积和重量与玻璃基板有关，随着液晶板的数目和横向尺寸的增加，MOE 装置 32 的重量就会显著增加。采用塑料基板来组成液晶板 36-42 是解决重量增加的一个办法。其他的措施包括通过采用

辊-辊处理来将塑料基板制得很薄的方法来生产 MOE 装置 32 中的光学元件，所有的制造工艺要能以连续的低成本的方法来进行。

如果 MOE 装置 32 采用了这种相对轻的组成的话，那么在该装置不工作时可以将其折叠起来，这样就可将 MVD 系统 10 制成便携式的。除了或代替液晶技术之外，光学元件 36-42 也可包含其他无机材料，例如有机地采用旋转或浸沉涂布的 ITO 层。

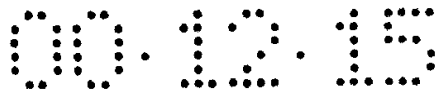
高帧频图像投影仪

由 MVD 系统 10 产生的三维图像 34、56 的最大分辨率和颜色深度都是直接由高帧频图像投影仪 20 的分辨率和颜色深度所决定的。MOE 装置 32 的作用基本上是将来自图像投影仪 20 的二维图像系列转换成一个 3D 立体图像。

在一个实施例中，图像投影仪 20 包含一个具有短弧的弧灯光源。来自光源的光被分色光学元件分成红、绿和蓝成份，用于照明三个分立的空间光调制器 (SLMs)。经 SLMs 调制后，三个颜色通道再合成一单光束并从例如是聚焦透镜的光学元件 22 射出而进入 MOE 装置 32，这样，来自片段 24-30 的每个二维图像分别在光学元件 36-42 其中的一个上显示出来。

在另一个实施例中，图像投影仪 20 以高功率固态激光器替代了弧光灯泡和分色元件。激光源具有效率高、光束方向性强、单一波长操作等许多优点。另外，激光源可产生高饱和的明亮色彩。

在另外的实施例中，如果可获得高速率的工作，那么也可以采用其他不同的技术来实施 SLM。例如，采用高速液晶装置，以微电机装置为基础的调制器或其他的光调制方法以提供这种高帧频成像。例如，可采用下述的各种技术来对图像投影仪 20 所输出的图像进行调制：德克萨斯



州达拉斯市的德克萨斯仪器公司的数字化光线处理(Dallas,Texas,TEXAS INSTRUMENTS,Digital Light Processing) (DLP)技术; 加利福尼亚州萨尼威尔市硅光机器公司的光栅光线阈值(Sunnyvale,California,SILICON LIGHT MACHINES,Grating Light Valve)(GLV)技术; 科罗拉多州博尔达市博尔达非线性系统公司出品的模拟铁电 LCD 装置(Boulder,Colorado,BOULDER NONLINEAR SYSTEMS,Analog Ferroelectric LCD)。SLM 也可以是铁电液晶 (FLC) 装置, 并可完成 FLC SLM 的极化偏置。

为了在 MVD 系统 10 中获得极高分辨率的图像, 图像 44 - 50 必须能正确快速地再聚焦到 MOE 装置 32 的各个相应的光学元件上, 这也是为了使各个图像能在具有合适深度的光学元件上显示出来。为了满足这种再聚焦的要求, 采用了本领域中公知的自适应光学系统装置, 例如可以是在互网址<http://guernsey.et.tudelft.nl/focus/index.html>上获取的的文章“利用小型器具的自适应镜面的图像光学聚焦”(focusing of imaging optics using micromachined adaptive mirrors) 中描述的快速聚焦装置。如图 8 中所示, 膜状光调制器 (MLM) 90 具有一个薄的弹性膜片 92, 该弹性膜片具有如镜子一样的可控反射和聚焦特性, 可以由塑料、硝化棉、“MYLAR”、或者涂有一具有反射特性的传导反射层的处于拉伸状态中的诸如铝等的金属膜片构成。在大体上临近膜片 92 处设置有一个电极和 / 或压电致动元件 94。电极 94 可以是在相对于膜片 92 表面的二维空间内延伸的扁平形或近似的平面形。膜片 92 通过一个例如椭圆形安装环或圆形环的安装结构 96 被安装在大体上临近电极 94 处。

电极 94 能够被设置于源自于一个电源 98、例如约 1000 伏特的高电压之下。电压可以在一个预定的范围内变化以吸引和 / 或排斥膜片 92。可以通过将膜片 92 连接到地 100 而使之具有地电位, 这样由于静电吸引就会使膜片变形成例如抛物线等曲线形状。当发生上述变形时, 膜片 92 就会起到如聚焦光学元件的作用, 且其焦距和投影距离会随着电极电压

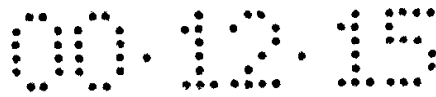
的改变而迅速变化。例如，膜片 92 弯曲表面的焦距可以等于膜片 92 曲率半径的一半，所述的曲率半径由下述因素决定：膜片 92 的张度、膜片 92 材料的机械特性、92 与电极 94 间的距离、以及电极 94 上的电压值。

在一个实施例中，膜片 92 总是弯向电极 94。另外，在 92 离开电极 94 的一侧设置一个包含有透明传导涂层的金属带，且使该金属带具有一固定的电压值，这样，膜片 92 会在两个方向上发生变形，即膜片 92 可弯离或弯向电极，因而可使聚焦图像的范围扩大。在下述例举的一篇论文中描述了这种变化受控的多方向膜片 92：在 1976 年的斯派研讨会学报的 75 卷的 97-102 页（SPIE CONFERENCE PROCEEDINGS, VOL.75, pp.97-102(1976)）上的由马丁·叶林（Martin Yellin）撰写的论文。

MLM90 的形变光学效果可以被投影光学元件 22 放大，使来自目标板的被投影的图像可以以高再聚焦速率聚焦在与图像投影仪 20 距离不同的地方。另外，MLM90 还能在它的全部聚焦范围内保持近似恒定的放大倍数。

参见图 9，MLM90 可以与一自适应光学系统 102 结合成一体，例如可以使 MLM90 临近于四分之一波片 104 和分光器 106 从而将图像聚焦到投影光学元件 22 处。来自目标或目标板 112 的图像 110 经过偏振器 108 被分光器 106 水平起偏，再经过四分之一波片 104 后环形偏振光入射在用于反射和聚焦的膜片 92 上。经反射后聚焦图像 114 返回经过四分之一波片 104，且光 114 与入射光 110 间的偏振角为 90°。分光器 106 接着使光 114 反射到投影光学元件 22 上以形成目标图像。由于与 MLM90 一起还采用了四分之一波片 104 和偏振器 108，就使得自适应光学系统可以折叠成一个相对紧凑的构型，这样就避免了将 MLM90 进行离轴安装和 / 或安装在与投影透镜 22 有一定距离的地方。

图像可以聚焦在一个距离投影元件 22 标准远 FN 处的标准投影板



116, 并且图象还可在距最小投影板 118 的最小距离 F_{MIN} 至距投影元件 22 最大投影板 120 的最大距离 F_{MAX} 范围之间高速率地再聚焦, 同时图象的高分辨率仍得到保持。

如图 10 所示, 包含带有 MLM90、四分之一波片 104、和偏振器 108 的自适应光学系统的图像投影仪 20 可以有选择地快速地将 3D 图像的个体 2D 片段投影到个体光学元件 36-42 上去, 以便于使 2D 片段聚焦到至少一个光学元件上, 这种高准确性的聚焦就使得 2D 片段不会入射在 MOE 装置 32 中的光学元件 36-42 间的间隔件 122 上。

参见图 9-10, 在另一个实施例中, 图像投影仪 20 可以包含一具有多个像素 126 的 SLM124, 用于调制来自目标板 112 的光 110。可以使用扭转向列形 (TN) SLMs, 其中通过在 SLM124 的前后基板上制造方位角相差 90° 的两结合层而形成一个可切换的半波片。TN SLM 的液晶与各表面上的结合层成列排列, 然后光滑地进入两基板之间以形成二分之一螺旋线结构。如果所选择的螺旋线结构的螺距接近光的波长, 则螺旋线结构就可起到了半波片的作用而使入射光旋转 90° 。对 TN SLM 施加一足够强度的电场可使处于两基板之间的液晶材料的松散粒子重新定位成垂直于基板的点, 从而解开螺旋结构而损坏掉半波片, 这样就可消除入射光的偏振旋转。TN 液晶材料中缺乏固有偏振使得 TN SLM 对所施加的电压的方向不敏感, 电压的正负都对波片有同样的衰减作用, 因此 TN SLM 相当于一个具有延迟作用的波片, 且是所施加电压的数值的函数。

另外, 如图 11 所示, SLM124 可以是由多个像素 126 组成的基于铁电液晶 (FLC) 的装置, 各个像素 126 包含位于例如硅基板 130 等半导体基板上的 FLC 材料 128, 在基板和 FLC 材料之间设置有一个电极 132。所述电极可以由铝组成。在 FLC 材料 128 之上置有一透明导体 134, 且该导体与一例如工作电压为 2.5V 的电压源相连。一个例如用玻璃组成的滑动盖板 136 放置在透明导体 134 之上。

由这样的像素 126 组成的 FLC SLMs 的工作方式与扭绞向列相(TN) SLMs 的工作方式相似, 其中例如在电极 128 和导体 134 间所施加的电场使得入射光可发生偏振旋转。旋转角度与所施加的电压成比例, 在 00 - 900 之间变化。如与一例如偏振器 108 等外部偏振器结合使用, SLM124 的偏振旋转就会对入射光进行强度调制。

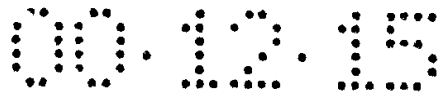
与 TN SLM 不同, FLC SLM 具有固有偏振, 这使得 FLC SLM 具有理想厚度以形成一不依赖于所施加的电压就可产生延迟的波片。这样 FLC SLM 就相当于一个具有辨向能力的波片, 且随所施加电压的数值和方向变化。

对于图 11 中所示的 FLC SLM124 中的像素 126, FLC SLM124 半波片不施加电压时通常具有一个大约与一水平参考轴成 22.50 的方位角, 使入射光偏振旋转 450。当施加电压时, 透明导体 134 的偏置为 2.5V, 这相当于像素 126 的电极 132 上的电压范围的一半。

参见图 12 - 14, 分别显示的是在 0V、2.5V、5V 时, 由 FLC SLM124 中的像素 126 所形成的半波片的分别具有 00、450、900 偏振时的基轴取向。

TN SLMs 和 FLC SLMs 都需要有均衡的直流 (DC) 才能维持正常的工作。如果对像素 126 施加连续的 DC 电场, 就会由于杂质离子辐射而损坏基板上的结合层, 进而也就损坏了像素 126。为了防止发生这种破坏, 该电场被定期性地和/或不规则地予以变向, 其为 TN SLMs 采用频率为约 100Hz 级, 而对 FLC SLMs 采用频率为约 1Hz 级。TN SLM 对电场方向的敏感性的不足使得通过它的图像在电场反向时能够保持恒定不变。但是 FLC SLM 通常对电场方向是敏感的, 这就会导致发生灰度倒置, 即: 在 SLM 处于 DC 均衡状态下的图像的黑区变白而白区变黑。

为了防止在 SLM124 的 DC 均衡期间发生灰度倒置, 对入射光的偏振进行偏置以使由于施加到像素 126 上的电场而产生的正负图像具有相

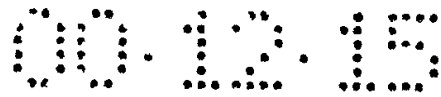


同的样子。SLM124 和 / 或单个的像素 126 之上设置有一静态的半波片 138 用以在 SLM124 之前接收入射光 110。将波片 138 设置成可以使入射光偏振旋转 22.50, 从而使所得到的灰度在给电极 132 施加以 0V 或 5V 时有最大的亮度而在给电极 132 施加以 2.5V 时有最小的亮度。在另外的实施例中, 为了防止由于采用了波片 138 会使最大亮度降低, 可以采用具有 450 的静态取向的 FLC 材料 128, 这样就可使经偏振偏置的 FLC SLM124 的最大亮度和不含有波片 138 的未经偏置的 SLM 的最大亮度相符。

如上所述, 在关于图像投影仪 20 的另外实施例中, 在目标板 112 处可使用诸如有色和 / 或固态生色激光等激光器。这种激光例如可以是在例如 CDROMs 和激光视频系统等其他信息存储和恢复技术中可获得的结合蓝绿固态激光。

在图像投影仪 20 的另一个实施例中, 自适应光学元件可用在头上显示中以产生在深度上不固定而是可以移向或移离观察者 12 的 3D 图像。如果不使用 MOE 装置 32, 则 2D 图像片段 24 - 30 被直接投影进观察者 12 的眼睛中而出现在正确的深度位置处。通过快速显示所述片段 24 - 30, 观察者 12 就可感知到一个 3D 图像。在这个 MVD 系统 10 的实施例中, 可以将图像投影仪 20 中的自适应光学元件和其他元件做得非常紧凑而使之能结合到现有的用于头盔显示的头上显示器中或交通工具的驾驶室中或仪表盘系统中。

在另一个实施例中, 片段 24 - 30 可被产生和投影出来, 以使图像 44 - 50 中的一些图像分别在一个以上的光学元件 36 - 42 上得以显示, 从而通过把 MOE 装置 32 中一定深度范围内的各图像而非相应于单个光学元件的一个单一深度的图像显示出来的方式对其深度作过度取样。例如, 如果 MOE 装置 32 具有比图像片段 24 - 30 数目更多的光学元件 36 - 42 平面, 过取样就更具优势, 这样图像 44 - 50 的数目就大于图像片段 24



- 30 的数目。例如，一个片段 24 可以作为图象 44-46 分别在两个光学元件 36-38 上显示出来。这种过取样可以使所产生的 3D 图像 34 显得更加连续，而无需增加光学元件 36-42 的个数或提高图像投影仪 20 的帧频。过取样可以这样来进行：例如，将多个光学元件切换成不透明状态，并在各自的多投影周期内将一个单个的投影片段接收到各自不透明状态的多个光学元件上。

从多平面数据组中制成 3D 图像

为了制成将显示为一组 2D 图像 44-50 的 2D 图像片段组 24-30 从而形成 3D 图像 34，需要将由 MVD 控制器 18 从图形数据源 16 处接收的 3D 图像数据转换生成多平面数据组。各个片段 24-30 在 MOE 装置 32 的合适深度处显示出来；也就是片段 24-30 被有选择地投影到光学元件 36-42 中的一个具体元件上。如果将 3D 图像 34 的片段 24-30 制作得足够近，则图像 34 看起来就是一个连续的 3D 图像。这里所述的多平面去混叠技术可以用以增强 3D 图像 34 的连续性。

计算多平面数据组 (MPD) 的方法由 MVD 系统 10 来执行。具体地说，MVD 控制器 18 执行这样一种方法以将来自颜色缓冲器和图形数据源 16 的帧缓冲器的深度 (或 Z) 缓冲器的信息结合起来，这可以是一个图形计算机。所述的方法也包含固定深度运算和去混叠。

参见图 15，在步骤 140 中该方法响应于操作 MVD 系统 10 的使用者 12 的交互行为，例如可通过一 GUI 或可选择的用户反馈装置 58 来选择和 / 或操纵要显示的图像。根据这种操作和 / 或交互行为，MVD 系统 10 执行步骤 142 以根据存储在帧缓冲器中的图像数据而生成图像，其中所述的帧缓冲器可以是 MVD 控制器 18 中的一个存储器。帧缓冲器可以包含例如颜色和深度缓冲器等子缓冲器。在一般的生成过程中，图形计算机计算深度缓冲器中的在相同 (X, Y) 位置处的各个像素的颜色和深度。如果一个新像素的深度小于以前计算出的像素的深度，那么新像素就更

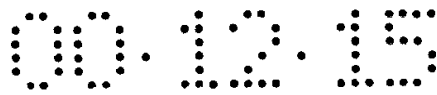


接近于观察者，因此新像素的颜色和深度就分别替代了颜色和深度缓冲器中的旧像素的颜色和深度。一旦一幅画面中的所有物体都生成了图像数据集，该方法就会反复执行步骤 144 - 152。另外，在帧缓冲器中所生成的图像可以在一个 2D 计算机屏幕上以 3D 图像的方式显示给观察者 12 以作为生成的立体 3D 图像 34 的前序，这样就允许观察者 12 来选择以哪个图像来生成为 3D 图像 34。

在执行用于 MPD 计算的方法中，在步骤 144 中是从颜色缓冲器中读取数据，在步骤 146 中是从深度缓冲器中读取数据。例如，帧缓冲器中在 X 向和 Y 向的像素的个数与所需图像片段 24 - 30 大小相同，这由光学元件 36 - 42 的像素维数决定。如果帧缓冲器中每维上的像素个数和图像片段 24 - 30 中的每维上的像素个数不相等，则在步骤 148 中对颜色和深度缓冲器中的数据进行标定以使之与具有对图像片段 24 - 30 所期望的像素维数的 MVD 系统 10 具有相同的分辨率。MVD 控制器 18 在用于存储由颜色和深度缓冲器中的已经过上述标定的数据所产生的最终 MPD 的存储器中包含有一个输出缓冲器。

输出缓冲器中存储着一组对应于 2D 图像的数据，所述的 2D 图像具有与由片段 24 - 30 所投影的图像 44 - 50 相同的分辨率和颜色深度。在一个优选实施例中，图像 44 - 50 的个数等于由 MOE 装置 32 中的光学元件 36 - 42 所形成的平面的个数。在 MPD 计算完成、2D 图像的像素在步骤 150 中被存储在输出缓冲器中之后，输出缓冲器转变成保持在图像投影仪 20 中的一个存储器中的 MVD 图像缓冲器，经图像投影仪 20，2D 图像被转换成了图像片段 24 - 30，用以形成上述的可由观察者 12 看到的 3D 图像 34。该方法例如在 3D 图像 34 产生的同时重新返回到步骤 140 以处理新的输入并由此更新或改变 3D 图像 34 例如以产生动画 3D 图像。

MVD 系统 10 可以以两种模式运行：可变的深度模式和固定的深度模式。在可变的深度模式中，在完成包括有步骤 146 的 MPD 计算之前要

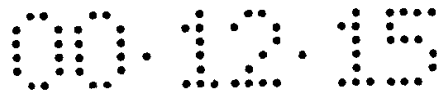


对深度缓冲器进行检测,以便确定一个最大的深度值 Z_{max} 和最小的深度值 Z_{min} , 它们与在 MVD 系统 10 制成 3D 立体图像之前出现在一个独立的 2D 屏幕上的 3D 图像的极限深度值相对应。在固定深度模式中, 观察者 12 以交互行为或者是在程序启动过程中分别指定由 MVD 系统 10 所生成的 3D 图像的前后边界来对 Z_{max} 和 Z_{min} 进行赋值。可变深度模式可以使所有在 2D 屏幕上可见的物体都显示在 MOE 装置 32 中, 而不管深度范围也不管由于对包含某物体的画面进行交互操作而造成的图像深度的改变。

在固定深度模式中, 由于某些物体可能处在 MOE 装置 32 的虚拟深度范围之外, 所以在 2D 屏幕上可见的物体可能在 MOE 装置 32 中就是不可见的。在固定深度模式的另外的实施例中, 相对于观察者 12 来说, 被确定安置在越过 MOE 装置 32 “背部” 或最后的光学元件位置的图像像素就可能被取而代之地显示在最后的光学元件上。例如, 从图 1 中所示的观察者 12 的角度来看, 光学元件 36 就是在其上投影有远处图像的最后的光学元件。在这种模式中, 尽管整个物体景象保持可见, 但只有在 MOE 装置 32 产生的立体 3D 图像中其深度处在 Z_{max} 和 Z_{min} 之间的物体才是可见的。

在这里所述的 MPD 方法中, 在深度缓冲器中的深度值可以利用 Z_{max} 和 Z_{min} 值在步骤 148 中来进行补偿和标定, 以便于使具有 Z_{min} 深度的像素的标定深度为 0, 具有 Z_{max} 深度的像素的标定深度等于 MOE 装置 32 中的光学元件 36 - 42 平面的个数。在步骤 150 中, 通过检测标定深度值 d_i 的整数部分 $[d_i]$ 和通过颜色缓冲器对在相同 (x, y) 坐标处的适当的 MPD 片段 24 - 30 赋以颜色值的方式而将具有标定深度的像素分类存储在输出缓冲器中。颜色值指示着相关像素或三维象素的亮度。

采用已公开的 MPD 方法, 由 MVD 系统 10 所产生的立体 3D 图像 34 可能是不完整的, 也就是说, 如果某些物体或部分从观察 2D 计算机屏幕

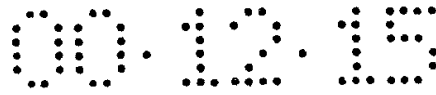


上的相应的 3D 图像的观察者的观察角度来看是不可见的的话, 这些物体或部分就会被完全消除。在由 MVD 系统 10 所产生的立体显示中提供了环视 (look-around) 图像, 以允许图 1 中的观察者 12 可以改变一个观察角度以便于看到先前被隐藏着的物体, 因此这种 MVD 系统 10 比现有的 3D 图像的 2D 显示更具有优势。

在另外的实施例中, 本 MPD 方法还可以通过利用标定深度值的小数部分即 $d_i - [d_i]$ 来将像素的颜色值的这一小数部分赋值给片段组 24 - 30 中的两个邻近的 MVD 图像片段来实现这里所述的去混叠。例如, 如果一个标定深度值是 5.5 且各个片段对应于一个固定的深度值, 那么就将像素的一半亮度赋值给片段 5 和片段 6。如果标定深度是 5.25, 那么就将就 75% 的颜色值赋值给片段 5, 这是由于片段 5 “更接近” 于标定深度, 而将 25% 的颜色值赋值给片段 6。

不同程度的去混叠适合于不同的显形任务。去混叠程度可以从一个极端, 即忽略小数深度值而进行颜色赋值, 变化至另一个利用所有小数深度值进行赋值的另一个极端, 或者去混叠程度可以变化至这些极端之间的任何值。可以通过用一个去混叠参数乘以标定深度的小数部分然后再用去混叠参数的一半抵消结果值的方法来实现这种可变的去混叠。最终的颜色值可以由固定的经反向抵消的在一例如 0 - 1 之间的预定范围之内的值来确定。去混叠参数 1 对应于完全的去混叠, 无穷大的去混叠参数对应于不进行去混叠。也可以实施去混叠参数小于 1 的情况。

在标定深度缓冲器值时, 可以利用开放式图形库 (Open Graphics Library) (OpenGL) 中的用于支持形成和成像操作的图形硬件的多平台软件界面具体包含的透视法投影。这种透视投影会造成深度缓冲器中的非线性值。在 3D 图像 34 的虚拟深度和可视深度之间存在准确关系时, MVD 控制器 18 会在生成标定深度的步骤 148 中考虑到这种非线性。另外也可在步骤 148 中利用正射投影来标定深度缓冲器值。

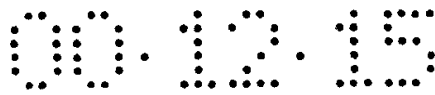


在现有的 2D 监视器中，在 3D 数据的显形之中可以计算产生透视性以创造一种深度感，以便于在观察者的角度看来物体显得更小、而平行线呈现为交汇在一起。在公开的 MVD 系统 10 中，具有计算透视性的 3D 图像 34 得以产生，以创造一种前述的深度感，因此 3D 图像 34 的深度被加强了。

在另一个实施例中，片段 24 - 30 可被产生和投影出来，以使图像 44 - 50 中的一些图像分别在一个以上的光学元件 36 - 42 上得以显示，从而通过把 MOE 装置 32 中一定深度范围内的各图像而非相应于单个光学元件的一个单一深度的图象显示出来的方式对其深度作过度取样。例如，如果 MOE 装置 32 具有比图像片段 24 - 30 数目更多的光学元件 36 - 42 平面，过取样就更具优势，这样图像 44 - 50 的数目就大于图像片段 24 - 30 的数目。例如，一个片段 24 可以作为图象 44-46 在两个光学元件 36 - 38 上分别显示出来。这种过取样可以使所产生的 3D 图像 34 显得更加连续，而无需增加光学元件 36 - 42 的个数或提高图像投影仪 20 的帧频。过取样可以这样来进行：例如，将多个光学元件切换成不透明状态，并在各自的多投影周期内将一个单个的投影片段接收至各自不透明状态的多个光学元件上。

MVD 系统的其他实施例

在一个实施例中，MOE 装置 32 包含有 10 个液晶板 36 - 42，且装置的尺寸为长 5.5 英寸(14cm) × 宽 5.25 英寸(13.3cm) × 深 2 英寸(4.8cm)。图像投影仪 20 包含一个声光激光束扫描仪，它利用一对离子激光器来产生红、绿和蓝光，经调制后再进行高频声波扫描。激光扫描仪能够以 200 × 200 个点的分辨率每秒向量扫描 166000 个点。当与 10 个平面 MOE 装置 32 相结合以 40Hz 运作时，MVD 系统 10 就可产生总共包含 400,000 个三维象素的 3D 图像，即：3D 图形元素。如图像更新率为 1Hz，就可获得 24 比特 RGB 分辨率的颜色深度。如使用实像投影仪 54，就可获得

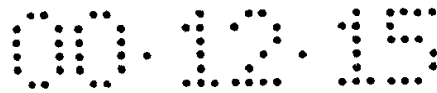


1000 × 450 的视野。

在另一个实施例中，MOE 装置 32 包含有 12 个液晶板 36 - 42，且装置的尺寸为长 6 英寸(15.2cm) × 宽 6 英寸(15.2cm) × 深 3 英寸(7.7cm)。图像投影仪 20 包含一对德克萨斯仪器公司 (TEXAS INSTRUMENTS) 制造的 DLP 视频投影仪，该仪器被设计为在以场顺序颜色模式下工作，在 180Hz 的帧频上产生灰度图像。通过交错利用两个投影仪，一个帧频为 360Hz 的、实际上单一的投影仪就形成了，它用于以 30Hz 的频率来产生 12 平面立体图像。其可获得的横向分辨率为 640 × 480 点。当与 12 平面 MOE 装置 32 相结合以 30Hz 运作时，MVD 系统 10 就可产生总共包含 3,686,400 个三维象素的灰色 3D 图像。如图像更新率为 10Hz，就可获得 8 比特灰度分辨率的颜色深度。如使用实像投影仪 54，就可获得 1000 × 450 的视野。

在另一个实施例中，MOE 装置 32 包含有 50 个液晶板 36 - 42，且装置的尺寸为长 15 英寸(38.1cm) × 宽 13 英寸(33.0cm) × 深 10 英寸(25.4cm)。图像投影仪 20 包含一个可由博尔达非线性系统公司 (BOULDER, NONLINEAR SYSTEMS) 提供的高速模拟铁电 LCD，其速度极高，帧频约为 10kHz。其可获得的横向分辨率为 512 × 512 点。当与 50 平面 MOE 装置 32 相结合以 40Hz 运作时，MVD 系统 10 就可产生总共包含 13,107,200 个三维象素的 3D 图像。如图像更新率为 10Hz，就可获得 24 比特 RGB 分辨率的颜色深度。如使用实像投影仪 54，就可获得 1000 × 450 的视野。具有了这样的分辨率和 40Hz 非连接的空间频率，MVD 系统 10 就具有了相当于对角线尺寸为 20 英寸(50.8cm)的常规显示器的显示能力。

在另一个实施例中，光学元件 36 - 42 可能具有 1280 × 1024 的横向分辨率和 256 平面的深度分辨率。该系统可能以深度交错的模式工作，以这种模式就可以 75Hz 的频率对间隔平面进行写操作，而全部空间的更



新频率为 37.5Hz。这种交错模式使得在不必要提高图像投影仪 20 帧频的条件下就可提供更高的可感知的空间频率。

在另一个改进实施例中，MOE 装置 32 包含 500 个平面，这就具有了极大的深度分辨率和 2048×2048 个像素的横向分辨率，从而使三维象素的总数超过了 20 亿。具有这种结构的 MOE 装置 32 的尺寸为长 33 英寸(84cm)×宽 25 英寸(64cm)×深 5 英寸(12.7cm)，这相当于一个对角尺寸为 41 英寸(104cm)的常规显示器。在这一实施例中的图像投影仪 20 包含硅光机器有限公司的 (SILICON LIGHT MACHINES) 光线光栅阈值 (Grating Light Valve) 技术，以提供 20kHz 的帧频。

虚拟的交互应用

将用户反馈装置 58 结合为力反馈接口的 MVD 系统 10 的另一实施例可以使观察者 12 看到并能对在 3D 图像 34、56 出现位置处的 3D 图像 34、56 进行触摸和感知。MVD 系统 10 可产生高分辨率的 3D 图像 34、56，因而在 MVD 系统 10 中可形成虚拟的交互行为，其中该系统 10 采用适当的力反馈装置以产生高分辨率表面结构和非常硬的表面，即：在观察者 12 看到部分表面的虚拟的现实运动时，呈现阻力和/或具有低柔顺性的表面。

相应地，用户反馈装置 58 包含高分辨率的位置编码器和一高频反馈环，用以将观察者 12 手的动作与对 3D 图像 34、56 的修正以及作用在观察者 12 上的力反馈感觉相匹配。用户反馈装置 58 最好包含重量轻、紧凑的虚拟现实元件，例如可引发力反馈的手套，这样就可将质量、体积、相关元件的重量和惯性对观察者 12 所进行的动作的阻碍作用减小到最低程度。

用户反馈装置如采用重量轻的碳复合材料就可大大地降低观察者 12 使用的任何可穿戴的元件的重量。而且，可以用非常紧凑和具有高分辨

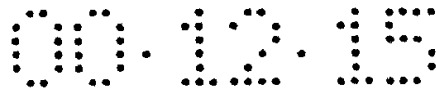
率的光纤或电容位置编码器代替本领域中公知的庞大的光位置编码器来确定例如观察者 12 手和头的方位位置。

可穿戴在观察者 12 身上的元件包括用以控制用户反馈装置 58 的包埋式处理器系统，以此来缓减 MVD 控制器 18 和/或接口界面 14 的总处理量。通过采用其唯一任务就是驱动接口 14 的包埋式处理器，整个 MVD 系统 10 的反馈率就可大于 100kHz。当与极高分辨率的编码器结合使用时，MVD 系统就包含有极高保真度的力反馈接口界面。

在能够显示立体 3D 图像 34、56 的 MVD 系统 10 上使用这种虚拟的交互技术，就可施用一 3D GUI 以使观察者 12 接触到并直接操纵 3D 数据。可采用例如数据手套、视频体形识别装置、和可从位于麻萨诸塞州剑桥市麻省理工学院梅迪亚实验室的 (MIT MEDIA LAB, Cambridge, Massachusetts) 鱼感应器 (FISH SENSOR) 等已知的界面装置来使使用者可在例如 3D 图形和计算机辅助设计 (CAD) 系统中直接操纵 3D 数据。

为了操作 3D 图像和数据，MVD 系统 10 还可结合一种例如可从位于麻萨诸塞州洛维尔市的空间技术有限公司获得的 (Spacetec Inc of Lowell, Massachusetts) 的太空球 (SPACE BALL) 的 3D 鼠标装置，以及一种用来使一 3D 游标以与观察者 12 在真实空间中移动手相同的方式在图像 34 的显示空间中的任何位置移动的 3D 指示装置。另外，通过用户反馈装置 58，MVD 系统 10 可以将观察者 12 的手的动作演译成 3D 游标的移动。

在一个实施例中，用户反馈装置 58 可以包含用来感知观察者 12 的手的位置和方向的元件。例如，观察者 12 可以握着或戴着一个例如可从博理黑姆斯有限公司 (POLYHEMUS, INC.) 获得的磁传感器等位置传感器和/或例如结合在虚拟现实数据手套中的位置传感器等其他类型的传感器。另外，通过计算机图像处理或对例如由麻省理工学院梅迪亚实验室 (MIT MEDIA LAB) 开发的射频传感器的使用，就可以在 3D 图像 34 的显示空间范围内感知到手的位置。为了避免肌肉疲劳，用户反馈装置



58 可以在一个与所显示的 3D 图像 34 实际分离的一个很小的感知空间内来感知观察者 12 手或手指的活动，其方式类似于用于控制个人计算机的 2D 屏幕上的 2D 光标位置的在一桌面表面上进行的对常规 2D 鼠标操作的 2D 活动方式。

MVD 系统的优点

采用 MVD 系统 10，所产生的 3D 图像 34、56 给观察者 12 提供了自然的观察状态，也就是说，3D 图像 34、56 实质上具有与观察真实物体有关联的全部深度信号，这样就可降低眼睛的紧张程度而允许进行长时间观察也不会感到疲劳。

MVD 系统 10 可以提供高分辨率/三维象素数，其中 MOE 装置 32 提供的三维象素数例如大于 3,000,000，这比本领域中已知的许多立体显示至少大一个数量级。另外，优先使用直线几何学来显示 3D 图像 34，例如具有适于将图像片段 24 - 30 显示成 2D 图像 44 - 50 的矩形横截面的 MOE 装置 32，MVD 系统 10 采用了与许多公知的图形计算机和图形应用程序的内部坐标系相匹配的坐标系，这有利于在不需要另外的转换软件的前提下最大限度地发挥计算机特性和显示更新率。另外，在一个优选实施例中，MOE32 的图像三维象素具有相同和稳定的形状、尺寸、和方位，这样就可消除 3D 图像 34 中的图像畸变。

与本领域中公知的投影自动立体荧光显示器不同，MVD 系统 10 可以为水平和垂直视差提供广阔的视野范围，以允许可以在多个方向而不是仅在一个方向“环视”到 3D 图像。另外，与投影自动立体荧光显示器不同，MVD 系统 10 所提供的视野在所有方向都是连续的，也就是说当观察者 12 相对于 MOE 装置 32 移动时在 3D 图像 34 中不会出现紊乱的跳跃。

而且由于 MOE 装置 32 中的光学元件 36 - 42 的静态构造，没有什么



移动部件会在 MOE 装置 32 失去平衡时引起图像变形、显示颤动、和甚至是 MOE 装置 32 的灾难性的机械故障。

MVD 系统 10 还可以避免发生遮挡情况，也就是，前景中的物体挡住了背景中物体发出的光。为了提高图像构造和显示的速率，以通过挑选一特定视点而不绘出从这一视点无法观察到的表面的方式可制成一种被称为计算遮挡的有限形式的遮挡。但是，当观察者 12 试图对前景物体环视时，也无法看到那些没有被绘出的背景物体部分了。在一个实施例中，MVD 系统 10 将一些显示图像的散射光学元素散布于处在散射状态中的光学元素并以吸收背景光而产生遮挡的方式对遮挡的不足进行补偿。客-主聚合物弥散液晶可以用于光学元件 36-42 之中，其中，一种染料混合于液晶分子中以其材料颜色可以随着所施加的电压发生改变。

由于 MVD 系统 10 的周围照明使得 MVD 系统 10 也几乎没有对比度衰减，由于所采用的实像投影仪 54 要求外罩延伸到 MOE 装置 32 处，这反过来就减少了到达 MOE 装置 32 的周围光的数量，因此防止了对比度衰减。

另外，也可通过与周围照明成比例地增加来自图像投影仪 20 处的照明、以及通过在 MOE 装置 32 周围安装一吸收塑料外壳以使图像亮度降低到可见水平来减弱对比度衰减。

周围光必须两次通过吸收外壳才能到达观察者 12，一次是在传输过程中另一次是在 MOE 装置 32 的光学元件 36-42 散射之后。相反，来自图像投影仪 20 以形成图像 44-50 的光只在传输到观察者 12 的过程中经过吸收外壳，因此照明的损失有所降低，其仅是周围光所遭到的损失的平方根函数。

另一个实施例中，采用了一个具有可以使红、绿和蓝光通过的三个窄的通频带而对通频带之外的光具有高吸收性的外壳来减弱周围光的作

用，这一方法对减弱周围光的作用非常有效。如果图像投影仪 20 中采用激光源可以获得更好的性能，这是由于来自激光源的窄带光在经 MOE 装置 32 散射后仍能没有减弱地通过，而来自周围照明的大部分宽带光就会被吸收掉了。

MOE 装置中的去混叠

在另一个实施例中，参见图 16 及以下的描述，在图像数据传输到图像投影仪 20 及随后到 MOE 装置 32 的光学元件 160 - 168 之前，MVD 控制器 18 或图形数据源 16 可以对图像数据进行 3D 去混叠处理以平滑在光学元件 160 - 168 上所显示的 3D 图像 34。采用 3D 去混叠处理后，系统 10 就可以避免例如在沿 Z 方向的平行平面 162 - 164 之间成像出锯齿状线或出现深度上的不完整区域，这是由于具有平行于 x-y 平面、且垂直于 z 轴的光学元件 160 - 168 的 MOE 装置 32 的内在固有的三维象素构造而引起的显示象素化。

由于对应于图像片段的数据已被产生出来，图像元素 170 可能出现在平面过渡的边缘附近，也就是出现在两个例如光学元件 162 - 164 的光学元件之间。仅是为了说明的目的，图 16 - 18 中所示的光学元件 160 - 168 和三维象素 170 都被放大了以能更加清晰地描述和说明所公开的去混叠系统和方法，因此实际上光学元件 160 - 168 之间可以具有相对小的间隔。

为了避免某一具体的图像元素 170 以及在至少由三维象素和/或图像元素 170 组成的 3D 图像中出现突然的过渡，可以生成两个这里所述的来自投影仪 20 而投影在光学元件 162 - 164 上的片段，以便于分别出现在光学元件 162 - 164 上的各个图像 172 - 174 包含有图像元素 170 或其一部分或由此而得的衍生形式，因此图像元素 170 就由光学元件 162 - 164 所形成的两个平面间共享，以此来弱化过渡而使得图 1 中所示的 3D 图像 34 显得更加连续。分别在接连的两个光学元件 162 - 164 上的图像元素

172 - 174 的亮度按照图像元素 172 - 174 在图像数据中的位置而不同。

参见图 16, 光学元件 160 - 168 的数字 N 可以是平面 LCD 的表面, 因此可以表示为 P1, P2, P3...PN, 横跨距离 D 表示 MOE 装置 32 的宽度。相应地, 各个光学元件 160 - 168 设置在沿 z 轴与一共同参考点距离 D1, D2, D3...DN 处的位置上, 以使得 $DN - D1 = D$ 。例如, 共同的参考点是沿 z 轴最靠近投影仪 20 的光学元件 160, 则 $D1 = 0$ 、 $DN = D$ 。另外, 也可以从投影仪 20 的透镜 22 处开始测量光学元件 160 - 168 的距离, 则从由透镜 22 到光学元件 160 - 168 的绝对距离 D1, D2, D3...DN 中减去一个从光学元件 160 到透镜 22 的抵消距离 DOFFSET 就可得到从光学元件 160 起始的相对距离。对应地, $D1 = DOFFSET$ 。光学元件 160 - 168 之间的间隔可以是一个统一的距离 S, 也可以具有不同的间隔距离。

如这里所述的一样, 从参考点 (或是以透镜 22 为参考点或是以光学元件 160 为参考点) 起沿 z 轴测得各个三维象素 170 的深度值, 这样的深度值存储在一深度缓冲器中, 相关的颜色值存储在一颜色缓冲器中。例如, 深度值 DV 与三维像素 170 相关。

为了实施去混叠以平滑位于光学元件 162 - 164 之间的像素 170 的外形, 深度值 DV 与光学元件 162 - 164 之间的距离 DA、DB 分别得到确定, 利用这样的距离值来生成去混叠参数。然后再利用去混叠参数来分别生成光学元件 162 - 164 上的两个三维象素 172 - 174, 与三维象素 170 相应的颜色值也分别经去混叠参数调整后为两个三维象素 172 - 174 生成各自的颜色值。

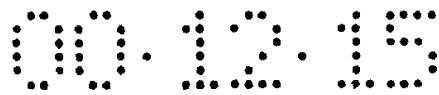
图 17 显示的是未经去混叠处理的三维象素。如图 17 所示, 在光学元件 162 上的三维象素 176 - 178 与在光学元件 164 上的三维象素 180 - 184 在由三维象素 178 - 180 所确定的边界处形成了一陡然的过渡。如果光学元件 162 - 164 间的距离较大, 则由所显示的三维象素 176 - 184 相结合而形成的图像 34 就会具有明显的锯齿状的或断裂的外形。例如, 三



维像素 178 - 180 可能具有处于光学元件 162 - 180 之间的深度值，例如三维像素 178 可能更靠近但并不在光学元件 162 上，三维像素 180 也可能更靠近但也不在光学元件 164 上。那么为了显示像素 178 - 180，这种中间深度值可能就被分别转换成了光学元件 162 - 164 的固定的深度值 D2、D3。而且图 17 中所示的像素 178 - 180 的颜色值没有变化，因此对于这种不同光学深度，像素 178 - 180 的颜色强度就会显得相似。在另外的实施例中，也可能忽略掉处于过渡中的像素 178 - 180，这是由于它们具有中间深度，但此时由像素 176 和 182 - 184 所组成的 3D 图像 34 就可能显现出孔洞或裂痕。

在采用如图 18 所示的去混叠处理的情况下，两过渡像素 178 - 180 可用来生成新的像素 178A - 178B 和 180A - 180B，其中像素 178A - 180A 显示在光学元件 162 上，像素 178B - 180B 显示在光学元件 164 上。此外，如图 18 所示，当像素 176 和 182 - 184 的颜色值不改变时，通过实施去混叠处理，新像素的颜色值可能发生改变以使各个新像素 178A - 178B 和 180A - 180B 具有经调整的颜色以柔化在 x-y 平面中不同深度的图像过渡。相应地，如图 19 所示，在图 17 中所示的像素 176 - 184 如曲线 176 所示在明显的深度向具有一个突然的过渡时，图 18 中所示的像素 176、178A - 178B、180A - 180B 和 182 - 184 即按照曲线 188 在明显的深度上具有一个相对平滑的过渡。应注意到仅是为了说明的目的，为了清晰地显示曲线 186 - 188 在图 18 中就没有包含曲线 186 - 188，因此应理解为在图 18 中像素 176 和 182 - 184 的视深度在有和没有去混叠处理的情况下是相等的。

在图 19 中，图 18 中的像素 178A - 178B 跨越光学元件 162 - 164 形成了一具有介于像素 178A - 178B 深度之间的深度值 178C 的图像，该深度值较靠近于图 17 中所示像素 178 相应的原始深度但并不在光学元件 162 上。类似地，图 18 中的像素 180A - 180B 跨越光学元件 162 - 164 形成了一具有介于像素 180A - 180B 深度之间的深度值 180C 的图像，该深



度值较靠近于图 18 中所示像素 180 相应的原始深度但也并不在光学元件 164 上。

应予明确，去混叠并不限于最靠近的两个相邻的光学元件，相反可利用像素 178 - 180 来生成分别出现在多个光学元件 160 - 168 上的多个相应的像素，由此可以提供比图 19 中所示的曲线 188 更平滑的深度过渡曲线。例如，去混叠而引起的深度过渡曲线 188 可以近似于一 S 形或正切函数。

参见图 16，为了对三维像素 170 进行去混叠，至少需要生成一个至少从一个光学元件中三维像素 170 的距离的函数的深度调整值 λ 。在一个实施例中，生成的调整值 λ 、 μ 是起始于各个光学元件 162 - 164 的距离 DA, DB 的标定值的函数。调整值 λ 、 μ 然后被用来调整与像素 170 相关的颜色值 CV 以产生分别与新产生的像素 172 - 174 相关的新的颜色值 CA、CB，同时像素 172 - 174 各自具有与三维像素 170 的 x-y 位置相同的、在光学元件 162 - 164 上的 x-y 位置。

一个三维像素的颜色值至少可以确定将予显示的该三维像素的亮度。或者，该三维像素 170 与包含至少一个用以确定已经颜色化的三维像素亮度的标量的一组参数相关。相应地，通过用一个调整值乘以颜色值，可以实现颜色值的改变。例如，对于一个 $CV = 12$ 亮度单位的颜色值和一个 $\lambda = .5$ 的调整值而言，改变颜色值 CA 可确定为 $CV \lambda = (12 \text{ 亮度单位}) \times (.5) = (6 \text{ 亮度单位})$ 。

在一个实施例中，距离 DV 被标定为一个从 1 到 N 的深度值，其中 N 是光学元件 160 - 168 的个数，各个 1 到 N 的整数值对应于一个具体的光学元件 160 - 168，例如图 16 中所示的指数 P1, P2, P3...PN。调整值 λ 、 μ 由标定深度值来确定。如果光学元件 160 - 168 沿着距离 D 具有统一的间隔距离 S，则：

$$S = D/N - 1 \quad (1)$$

这样，三维像素 170 的标定距离为：

$$DSCALED = (DV - DOFFSET) / S + 1 \quad (2)$$

其中 DV 是从透镜 22 或其他参考点测得的绝对距离。例如，透镜 22 是 z 轴的起点，光学元件 160 的距离便是 $D1 = DOFFSET$ 。

DSCALED 是一个实数值以使 $1 \leq DSCALED \leq N$ ，DSCALED 的处在 0 和 1 之间的小数部分指示了从光学元件 162 - 164 的相对距离。对于沿 z 轴并在其两侧界定三维像素 170 的光学元件 162 - 164 来说，其指数分别是：

$$[DSCALE] \text{ 和} \quad (3)$$

$$[DSCALE] + 1 \quad (4)$$

其中 $[X]$ 表示一个数值或变量 X 的最低或整数函数；也就是一令最大整数小于 X 的函数。

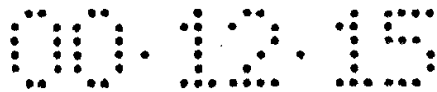
DSCALED 的小数部分是：

$$\lambda = DSCALED - [DSCALED] \quad (5)$$

这样：

$$\mu = 1 - \lambda \quad (6)$$

分别指示与三维像素 172、174 相关的亮度的颜色值 CA、CB 被赋值如下：



$$CA: = CV (1 - \lambda) \quad (7)$$

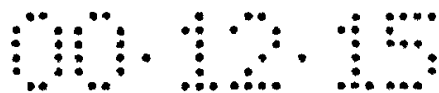
$$CB: = CV \lambda = CV (1 - \mu) \quad (8)$$

其中符号“: =”表示对新值进行赋值。

例如, 对于一个具有从透镜 22 起始的深度 $DV = 9.2$ 单位的三维像素 170, 抵消距离 $DOFFSET = 3.0$ 单位, MOE 装置 32 包含 5 个间隔相等的共长 20 单位的光学元件, 则 $N = 5$ 、 $D = 20$, 那么由等式 (1) 可得间隔距离 $S = 5$ 单位; 由等式 (2) 可得 $DSCALED = 2.24$ 。这样由等式 (3) - (4) 可知像素 170 位于指数分别为 $DSCALED = 2$ 和 $DSCALED = 3$ 的光学元件之间, 因此如图 16 中所示, 相应于像素 170 的要显示的新的像素 172 - 174 将分别在具有标号 P2 和 P3 的光学元件 162 - 164 上显示。

在这个例子中, 由等式 (5) - (6) 可得标定深度的小数值为 $\lambda = .24$, 因此 $\mu = .76$ 。相应地, $(1 - \lambda) = .76$ 和 $(1 - \mu) = .24$, 再由等式 (7) - (8) 可得三维像素 172 的颜色值为 $CA = .76 CV = 76\%$ 即为原始三维像素 170 的亮度的 76%, 三维像素 174 的颜色值为 $CB = .24 CV = 24\%$ 即为原始三维像素 170 的亮度的 24%。这样, 由于三维像素 170 离光学元件 162 比离光学元件 164 “更近”, 相应的新三维像素 172 - 174 具有一种配给亮度, 因此较近的光学元件 162 显示两个三维像素 172 - 174 间的大部分颜色, 而较远的光学元件 164 对 3D 立体图像在三维像素 170 处的在两光学元件 162 - 164 之间的过渡处的外现的作用小些但也并不是不起作用。

如果三维像素 170 的深度值就正好在光学元件 160 - 168 上, 那么就不需要进行去混叠了。相应地, 由等式 (2) - (4) 简化成整数, 由等式 (5) - (6) 可得调整值 λ 、 μ 分别为 0 和 1, 或者分别为 1 和 0, 因此对颜色值就不需进行调整了。为了避免不必要的计算, MVD 控制器 18 可以检测等式 (2) 的计算结果在一定的例如 1% 的容错范围之内是否



为一整数，如果是整数，则三维像素 170 就被确定或认为正好处在其中的一个光学元件 160 - 168 上。那么就会终止对正被处理的三维像素 170 进行去混叠处理，而继续对 3D 图像 34 中的其他三维像素进行处理。

在这个使用了等式 (1) - (8) 的实施例中，由于 MOE 装置 32 中的统一的间隔和其他的特点是已知的，就不必要寻找最靠近的边界光学元件了，因为根据等式 (3) - (4) 由三维像素 170 的距离 DV 和 MOE 装置的特点就确定出了哪些光学元件形成了三维像素 170 的边界。

在另一个实施例中，对于具有统一间隔或变化和/或非统一间隔的 MOE 装置 32 中的光学元件 160 - 168 来说，需要利用下述的等式 (9) - (13) 结合上述的等式 (7) - (8) 来实施去混叠。例如，对于具有可变间隔和/或来自投影仪 20 和透镜 22 的 MOE 装置可变补偿的 MOE 装置来说，可以在改变光学元件 160 - 168 的间隔和构造的过程中飞击式地实施去混叠方法。在这一实施例中，由于光学元件 160 - 168 的距离/深度可能变化，去混叠方法需要确定出至少两个以界定正被处理的三维像素 170 的边界的光学元件，方式是通过对各光学元件 160 - 168 的深度值进行搜索来确定具有距离/深度值和两个边界光学元件，这样：

$$DNEAR1 \leq DV \leq DNEAR2 \quad (9)$$

可变值 NEAR1 和 NEAR2 可以是指示光学元件 160 - 168 中的相关的光学元件的整数系数。例如，在图 16 中，NEAR1 = 2 和 NEAR2 = 3，对应于沿 z 轴界定三维像素 170 边界的光学元件 162 - 164。

深度调整值 λ 、 μ 可由下式确定：

$$\lambda = (DV - DNEAR1) / (DNEAR1 - DNEAR2) \quad (10)$$

$$\mu = (DV - DNEAR2) / (DNEAR1 - DNEAR2) \quad (11)$$

其中 X 表示的是数值或变量 X 的绝对值或数值大小的函数。

由等式 (10) - (11) 所得的深度调整值都是正实数且满足：

$$0 \leq \lambda, \mu \leq 1 \quad (12)$$

$$\lambda + \mu = 1 \quad (13)$$

因此深度调整值对光学元件之间的非统一和/或可变距离进行标定，然后用于等式 (7) - (8) 中以相应的经调整的颜色值的来生成三维像素 172 - 174。如等式 (10) - (11) 所示，深度调整值 λ 、 μ 基于分别与光学元件 162 - 164 相关的像素 172 - 174 的深度范围之内的三维像素 170 的深度内插。

对于上述的具有统一间隔的那个例子，将 $DV = 9.2$ 单位、 $DNEAR1 = D2 = 8$ 单位和 $DNEAR2 = D3 = 13$ 代入等式 (9) - (13) 中，也可得：

$$\lambda = (9.2-8)/(8-13) = 1.2/5 = .24$$

$$\mu = (9.2-13)/(8-13) = 3.8/5 = .76$$

可见所得结果与利用等式 (1) - (8) 所得的调整值相同。另外的实施例可用于 MOE 装置 32 和光学元件 160 - 168 的维度和空间特点发生变化的情况，但是在这种情况下就需要进行搜索以确定用以产生新的三维像素 172 - 174 的合适的界定光学元件 162 - 164。

图 20 表示的是一种实施这里所述的 3D 去混叠的方法流程图，其中，对于一个正要被显示的三维像素例如三维像素 170，该方法在步骤 190 中分别从深度和颜色缓冲器读出相应的深度值 DV 和颜色值 CV 。然后该方法在步骤 192 中确定光学元件间的间隔是否为一恒定值；例如，MVD 控制器 18 中的某一构造设置可以指示光学元件 160 - 168 是否固定、具有

均匀的或非均匀的分布、和/或 MVD 控制器 18 和 MOE 装置 32 能如上所述以可变间隔模式工作。

如果间隔是恒定的，则该方法在步骤 194 中利用等式 (1) - (2) 对深度值 DV 进行标定以使其处在光学元件 160 - 168 的指数范围之内，接着该方法在步骤 196 中确定最靠近深度值 DV 和以深度值 DV 为边界的光学元件，在步骤 196 中利用了等式 (3) - (4)。否则，如果在步骤 192 中确定间隔不是恒定的，则该方法不执行步骤 194 而执行步骤 196 以确定光学元件是否满足等式 (9)；也就是对各个光学元件 160 - 168 的距离/深度值采用一种搜索程序。在另外的方法中，可以有选择地执行步骤 192 或忽略掉步骤 192，这取决于 MVD 控制器 18 和 MOE 装置 32 的构造和工作模式。

接着该方法在步骤 198 中利用等式 (5) - (6) 或等式 (10) - (11) 来确定一个深度调整值 λ 和/或第二个调整值 μ ，其中利用哪组等式取决于所选择的实施例。该方法接着在步骤 200 中利用等式 (7) - (8) 和该深度调整值对在最靠近的边界光学元件上的三维像素进行颜色值的调整，该方法在步骤 202 中将具有调整后的颜色值的经调整的三维像素显示在最靠近的边界光学元件上。

在另一个实施例中，可以实施一种中间程度的去混叠。例如，将调整值 λ 、 μ 固定为例如 0.5 的一个数值，以将三维像素 170 的一半亮度赋值给各个三维像素 172 - 174。这种中间去混叠会产生例如图 19 中曲线 189 所示的对应于中间过渡曲线的中间深度 180D 的视深度。

在其他实施例中，去混叠的程度可以在一个极端，即忽略小数深度值 λ 、 μ 到另一个极端，即利用所有的小数深度值 λ 、 μ 之间变化，或者去混叠的程度可以变化到这两个极端值间的任意值。可以通过下述方法来完成这种可变化的去混叠：用一去混叠参数 P 除标定深度的小数部分 λ ，然后再从 1 中反向抵消掉所得到的结果值。也就是，利用等式

(5) 和 (10) 计算出 λ 后, 再计算可变值 λVAR 以使:

$$\lambda \text{VAR} = \lambda / P \quad (14)$$

最终的颜色值可以通过将反向抵消后的值固定在一个例如 0 到 1 之间的预定范围内来确定。相应地, 对于可变去混叠而言可将等式 (7) - (8) 进行调整以使:

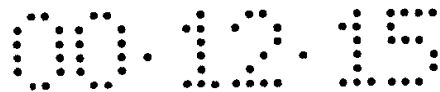
$$\text{CA2} = \text{CV} (1 - \lambda \text{VAR}) \quad (7)$$

$$\text{CB2} = \text{CV} \lambda \text{VAR} \quad (8)$$

图 20 所示的步骤 198 - 202 可分别执行等式 (14) - (16) 以提供可变的去混叠。

$P = 1$ 的去混叠参数对应于完全地去混叠; 无穷大 $P \rightarrow \infty$ 去混叠参数, 即可以由任意高的数值计算取得的参数, 对应于不进行去混叠。也可以执行小于 1 的去混叠参数。例如, 当 $P = 1$ 时, 执行的就是上述的利用等式 (1) - (13) 进行的去混叠。

在另一个例子中, 当去混叠值 $\lambda = .24$ 、去混叠参数为 3 时, 可由等式 (14) 得 $\lambda \text{VAR} = .08$, 因此由等式 (15) - (16) 可得: $\text{CA2} = .92\text{CV} = 92\%$ 即为三维像素 170 颜色值的 92%, 而 $\text{CB2} = .08\text{CV} = 8\%$ 即为三维像素 170 颜色值的 8%。与前面的例子相比可见: 这种可变的去混叠将三维像素 172 在视深度中的比例由 76% 增加到了 92%, 而将三维像素 174 的比例由 24% 或四分之一降低到了小于 10%。在一个改进的例子中, 当 $P \rightarrow \infty$ 时, 就不进行去混叠了, 由等式 (14) 也可得 $\lambda \text{VAR} = 0.00$ 。这样由等式 (15) - (16) 可得: $\text{CA2} = 1.0\text{CV} = 100\%$ 即为三维像素 170 颜色值的 100%, 而 $\text{CB2} = 0.0\text{CV} = 0\%$ 即为三维像素 170 颜色值的 0%。相应地, 位于光学元件 162 - 164 之间的任何三维像素 170 都显示在更靠近



的光学元件 162 上，而不需进行去混叠，因此在图 20 所示的步骤 202 中还包含当 $P \rightarrow \infty$ 时不产生和显示离参考点更远的第二个三维像素的步骤。例如，不产生三维像素 174。

在另一个利用可变去混叠的改进的实施例中，图 20 中所示的方法只有当调整后的颜色值大于一预定阈值 T 时才显示新的三维像素。例如：

$$\text{如果 } CV(1 - \lambda VAR) > T \quad \text{那么 } CA2 = CV(1 - \lambda VAR) \quad (17)$$

$$\text{否则 } CA2 = 0$$

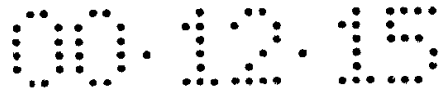
$$\text{如果 } CV \lambda VAR > T \quad \text{那么 } CB2 = CV \lambda VAR \quad (18)$$

$$\text{否则 } CB2 = 0$$

例如， T 可能等于 .05，因此如对颜色的贡献小于 5% 就可忽略不计，例如，当切换成不透明/散射模式时在光学元件 160 - 168 上就显示出经这种略掉不计处理后的颜色值的三维像素。相应地，这种忽略不计的贡献对整体 3D 图像的作用也忽略掉了，就不显示那些没有贡献的三维像素了，这样可减少要显示的三维像素的个数从而改善对 3D 图像的运算处理。

在另外的实施例中，MVD 系统 10 可以产生出具有部分半透明的外现的 3D 图像 34。也就是在 MOE 装置 32 的光学元件 36 - 42 上显示的图像 44 - 50 具有适度的阴影和颜色，这样一个图像的一部分呈显得半透明，而通过半透明的部分就可看见第二个图像的另一部分了。不论是否经过去混叠，这种半透明的外现都可以产生出来。

在生成 3D 图像 34 的过程中，MVD 系统 10 所采用的方法执行了利用例如象图形数据源 16 的帧缓冲器中的颜色和深度（或 z ）缓冲器一样的 OpenGL 帧缓冲器数据等的 MPD 运算。在深度缓冲器中的数值表示的

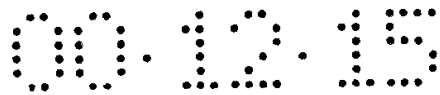


是在颜色缓冲器中的相应像素的深度，这一深度值用来确定在 MOE 装置 32 之内显示的、该象素或三维象素的位置，如位于图 16 所示的三维象素 170 处。这种 MPD 运算方法适合于下述情况：如果一些背景物体的图像被前景物体的图像挡住时，就不需要生成来自 MOE 装置 32 的立体图像 34 中的被挡住的那部分背景物体的图像的情况。

为了在 MOE 装置 32 中生成由于前景物体是半透明的从而使相应的被挡住的背景物体的图像可见的图像，就需采用一种 α 通道技术，在这种技术中一个 α 参数通过结合前景和背景物体的颜色以及 α 的数值来确定颜色缓冲器中像素/三维象素的颜色。 $\alpha = 1$ 表示完全不透明， $\alpha = 0$ 表示完全透明。采用这种 α 通道成像法来从彩色缓冲器生成似乎正确的彩色图像时，深度缓冲器中的深度值保持不变，因此仍对应于在前物体的图像的深度。

在已知的显示系统中，由于可能会存在有各种深度的、以一个深度值来显示的多个表面，因此这种未作改变的深度就阻碍了图像在立体显示系统中适当地显示出来，所公开的 MVD 系统 10 可生成例如使物体或其中的一部分成为半透明的立体图像 34 从而避免现有技术中的以一个深度值来显示多个深度处的多个表面的阻碍。所公开的 MVD 系统 10 利用了 OpenGL 的附加特性来产生位于 MVD 系统 10 的间隔内的夹平面，但只允许在所产生的每一夹平面的预定的一侧例如与一背侧相对的正侧上进行。

对于一个如图 21 - 24 中所示的 MOE 装置 32，即包含 N 个可用 1 到 N 来计数的平面 204 - 212、且平面间具有均匀的间隔 Δ 的装置 32，一个例如一立体图像 34 的画面在夹平面相互相对的条件下生成 N 次、以间隔 Δ 相分离、再集中于示范空间中平面 204 - 212 的某一给定 MOE 平面的位置处。这样，就生成了 N 个不同的图像，从帧缓冲器取出相对应的颜色缓冲器而将其送到 MVD 控制器 18。在将该颜色缓冲器送到 MVD 控制



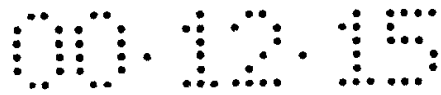
器 18 以便在 MOE 装置 32 中予以显示的时候， α 通道即被关闭，因为 MVD 系统 10 包含一个与正在用来生成 3D 立体图像 34 的 MOE 装置有关的内在 α 值。

夹平面成像的例子可以在没有图 21、22 表示的去混叠的情况下实施，其中夹平面 214 - 216 用来对应于位置较靠近观察者 218 的图像部分，在位于夹平面 214 - 216 之间的第一平面 206 上生成并显示出部分的图像 34，而处在夹平面 214 - 216 之间的那部分图像显示在第一平面 206 上。图像 34 的新的部分生成于夹平面 220 - 222 之间以在离观察者 218 较远的第二个平面 208 上予以显示并且定位于该夹平面 220-222 之间，而处在夹平面 220 - 222 之间的图像部分显示在了第二个平面 208 上。

为了在上述的利用 α 通道的方法中实施去混叠处理，需要利用 OpenGL 的其他特性，例如实施用于去混叠的雾样成像的大气效应。该雾气特性使得各个成像物体的颜色与雾气的颜色成比例结合，所述比例是由雾气的密度以及与涉及雾气所确定的远近值的深度范围相关的模型深度所确定的。

OpenGL 中可获得的气雾函数包含线性、指数、和指数平方函数。所公开的 MVD 系统 10 可以采用这些函数以及这种雾气函数的结合，例如图 23 - 24 中所示的叠加的线性雾气函数 224 - 227。在图 23 - 24 所示的实施例中，各个线性雾气函数 224 - 227 的结合都是以对应于一黑色设定的、在雾气的近深度处的零值为起点，然后以一线性方式上升到 1 值，并对应于一个真实颜色设定、且与近深度位置相距 $(FAR-NEAR)/2$ 。接着雾气函数又在远深度处降回至零。具有了这一雾气函数以及具有间隔为 2Δ 的且其中心位于将予显示图像 34 的示范空间的某一 MOE 平面上的夹平面，图像 34 即可被生成 N 次，且每一次来自颜色缓冲器的数据都被送到了 MOE 装置 32 的相应平面上。

在一实施例中，线性雾气函数的结合以及用这些函数的结合对三维

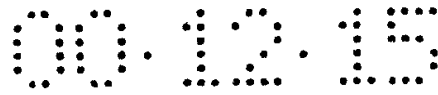


象素图象数据的处理通过为某一给定光学元件，例如图 23 中所示的平面 206，予以合成图象的方式至少经两种处理途径进行。在第一个处理途径中，两个夹平面被分开 Δ 的距离，其第一个夹平面 228 位于具有在当前光学元件 206 之前生成的图像的光学元件 204 之上，其第二个夹平面位于当前光学元件 206 之上。然后，具有其距离不断增加、且其 NEAR 小于 FAR 的上升线性雾气函数 224 与上述夹平面一起为光学元件 206 用于生成第一组图像。

在第二个途径中，两个夹平面间被分开 Δ 的距离，其第一个夹平面位于当前光学元件 206 之上，其第二个夹平面 230 位于在当前光学元件 206 之后将具有生成图像的光学元件 208 之上，且其第二个夹平面位于该当前光学元件 206 之上。然后，具有其距离不断减少的、且其 FAR 小于 NEAR 的下降的线性雾气函数 225 与上述夹平面一起为光学元件 206 用于生成第二组图像。

接着 MVD 系统 10 将利用不同的线性气雾函数 224 - 225 所生成的两组图像相叠加后显示在光学元件 206 上。

为生成如图 23 所示在第一个平面 206 上的第一个图像，雾气函数 224 - 225 集中于第一个平面 206，来自夹平面 228 - 230 的图像和它们之间的深度都由有关深度处的雾气函数 224 - 225 的相应值对其相应的颜色值作了调整。在利用函数 224 - 225 生成光学元件 206 上的叠加图像后，MVD 系统 10 如图 24 中所示开始在第二个平面 208 处生成连续的图像，其雾气函数 226 - 227 转变为集中到第二个平面 208 之上。来自夹平面 232 - 234 的图像和它们之间的深度都由有关深度处的雾气函数 226 的相应值对其相应的颜色值作了调整。MVD 系统 10 开始连续地移动雾气函数并利用 α 通道方法来对相应夹平面处的各个图像进行颜色调整。在另外的实施例中，为不同的平面 204 - 212 实施不同的雾气函数，以在距离观察者 218 更远的地方获得更高的雾气密度，从而增加所显示的 3D 立体图像 34



的深度感知效果。

例如，参见图 23，对于在深度 238 处标有 D 且其各个部分具有各自的颜色值 C_i 的图像 236，在深度 D 处的雾气函数 224 的值 240 为 αD ，因此为图像 236 所显示的经调整的颜色值为 $\alpha D C_i$ 。颜色值可以是这里所述的按等式 (7) - (8) 和/或 (15) - (16) 经深度调整后的颜色值，这样 α 通道的调整可以有选择性地在此图 20 所示的步骤 200 中实施以实现包含有这里所述的 α 通道技术的去混叠处理。

通过优选实施例的方式已公开了前述的一种新型的多平面立体显示系统 10 及其工作方式。但是，在不脱离本发明实质的前提下还可以进行多种变化和替换。例如，虽然优选实施例中讨论的是采用如平板液晶显示器的平面光学元件，但以前述的方式采用曲面光学元件也完全在本发明的预见之内。

MVD 系统 10 的实施会用到下述专利文献中所描述的装置和方法：于 1998 年 4 月 20 日申请的申请号为 60082442 的审查中的美国临时专利；也会用到于 1996 年 11 月 4 日申请的申请号为 08743483 的审查中的美国专利，该专利是第 5572375 号美国专利的一个继续，也是第 5090789 号美国专利中的一个部分。也可利用 1998 年 1 月 8 日申请的申请号为 09004722 的审查中的美国专利中所述的装置和方法来实施 MVD 系统 10。在这里可以合并参考上述的各个临时和非临时专利申请和已授权的专利。相应地，本发明是以例举而不是限定的方式来描述的。

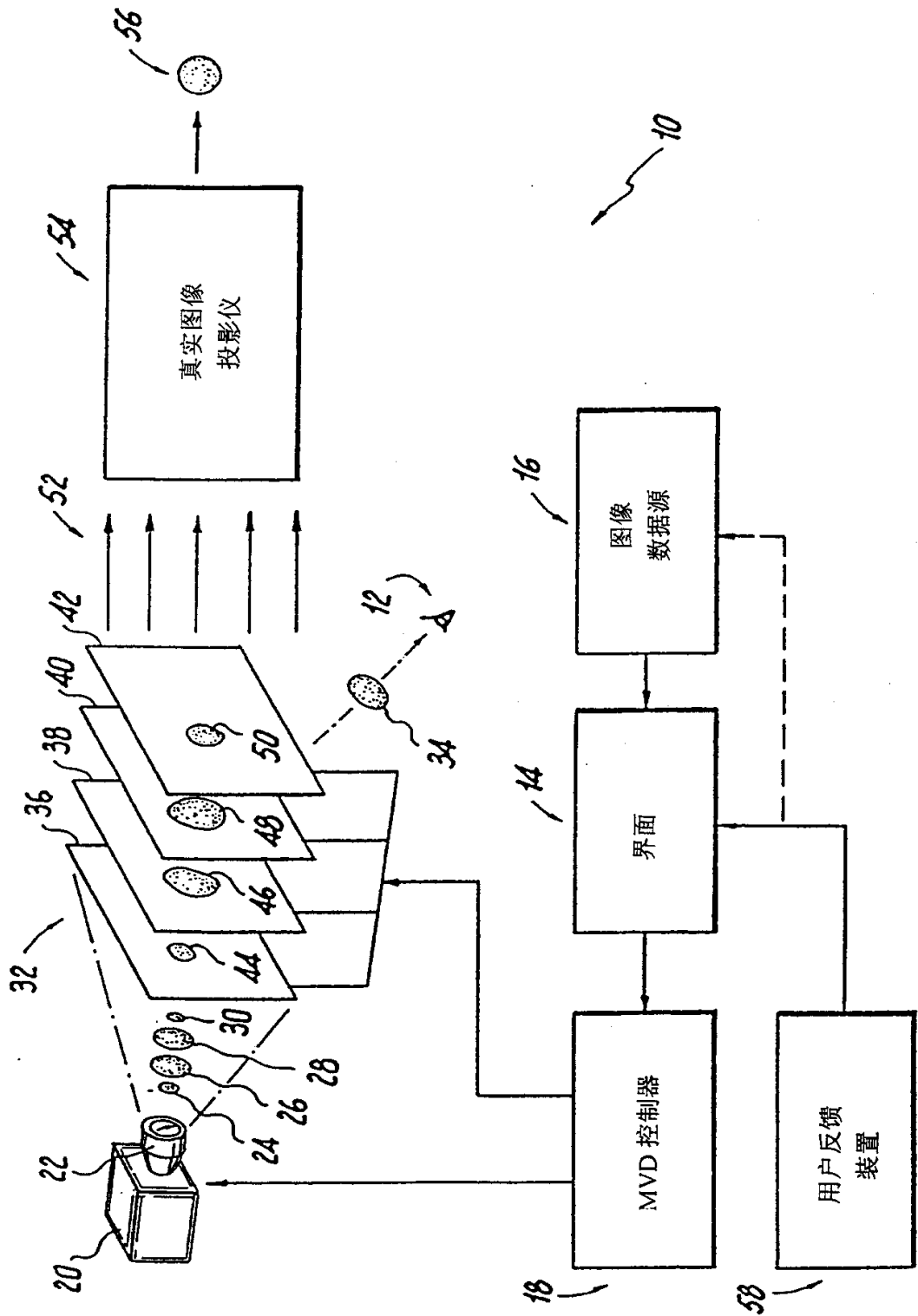


图 1

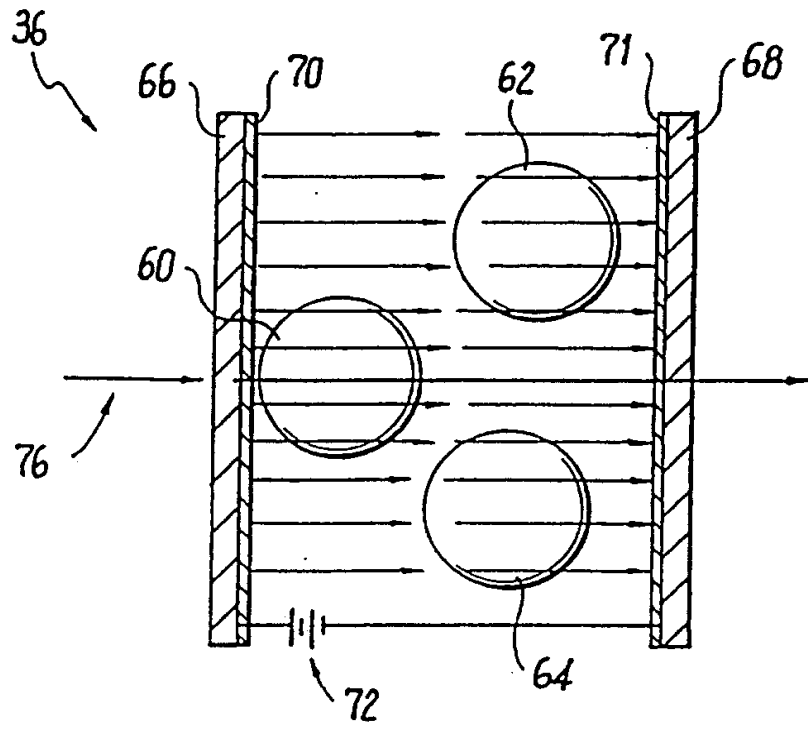


图 2

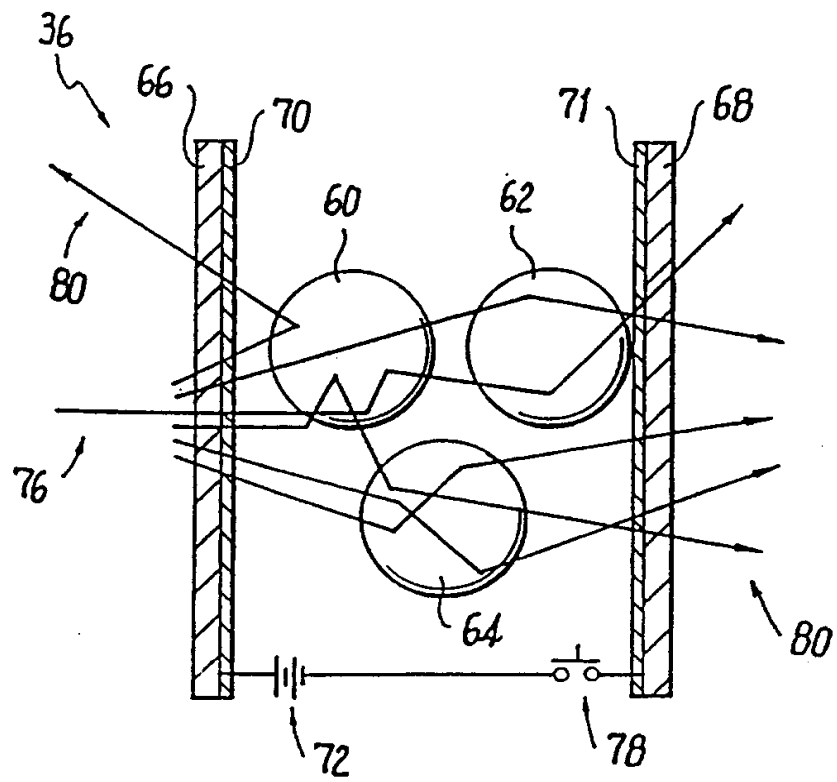


图 3

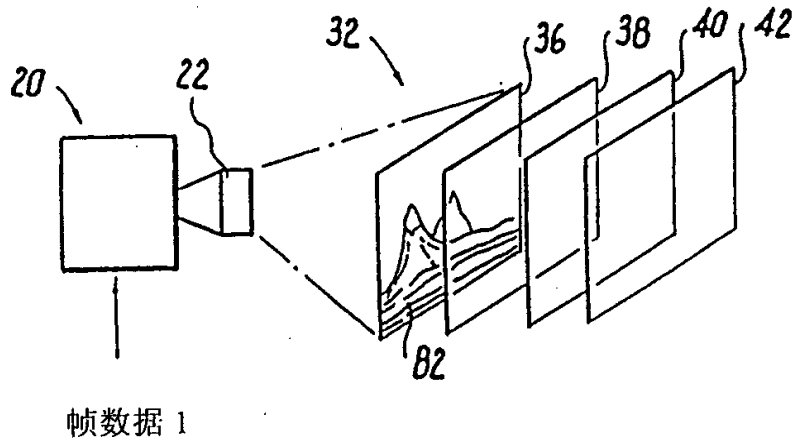


图 4

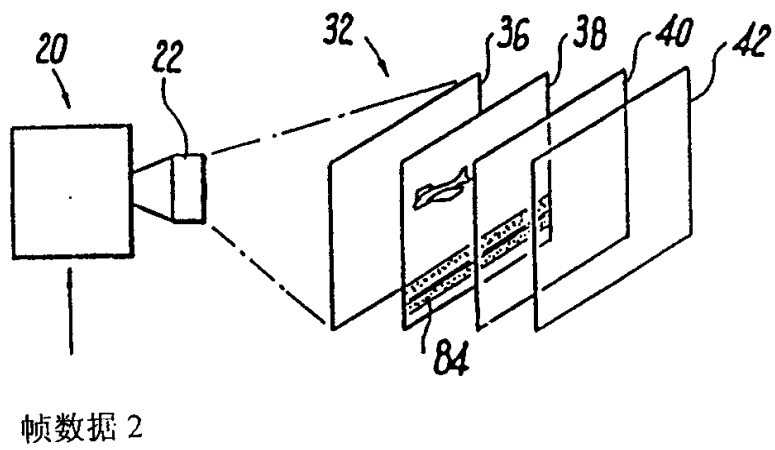


图 5

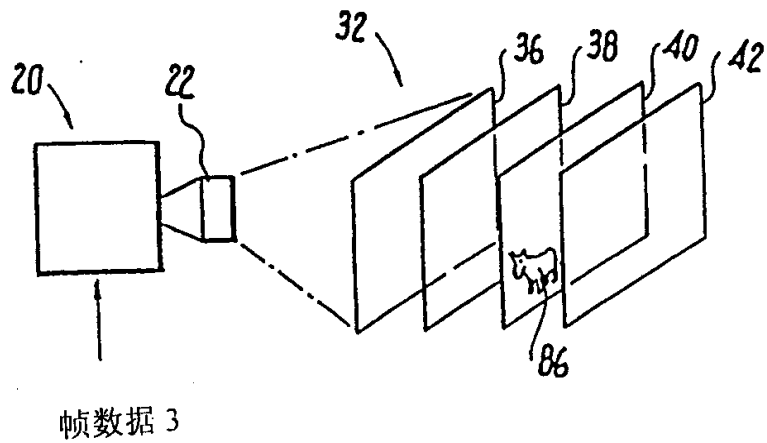


图 6

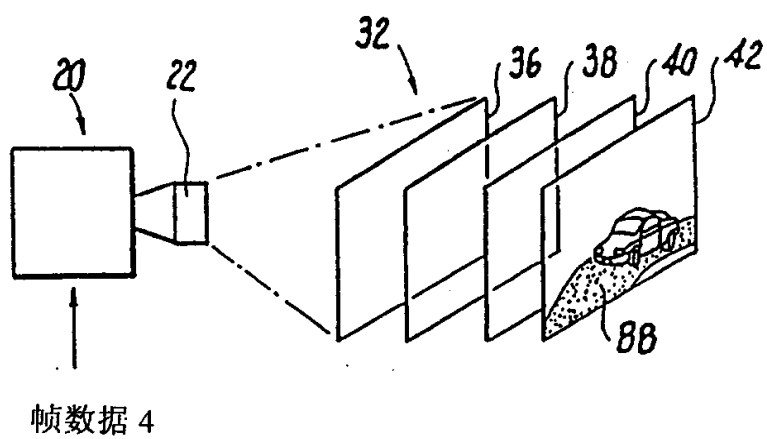


图 7

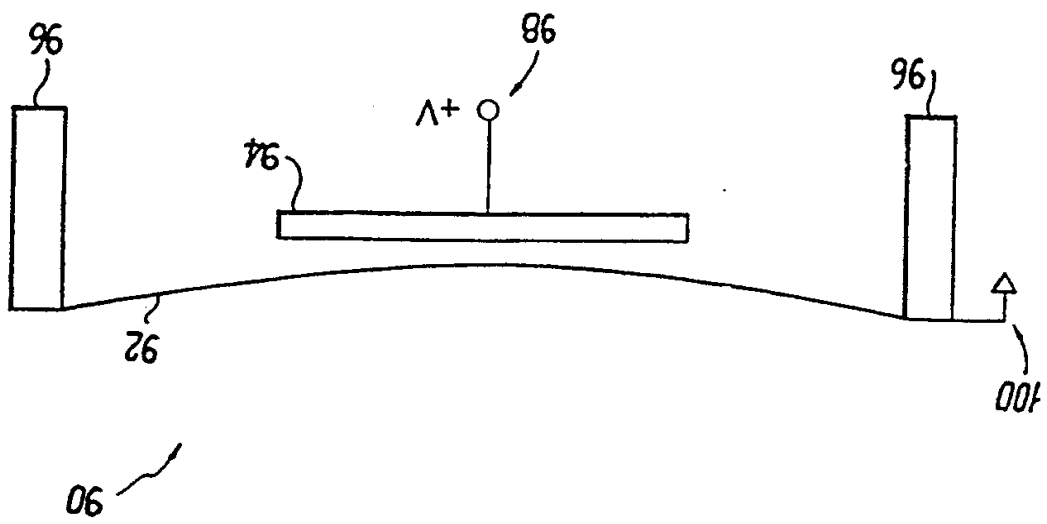


图 8

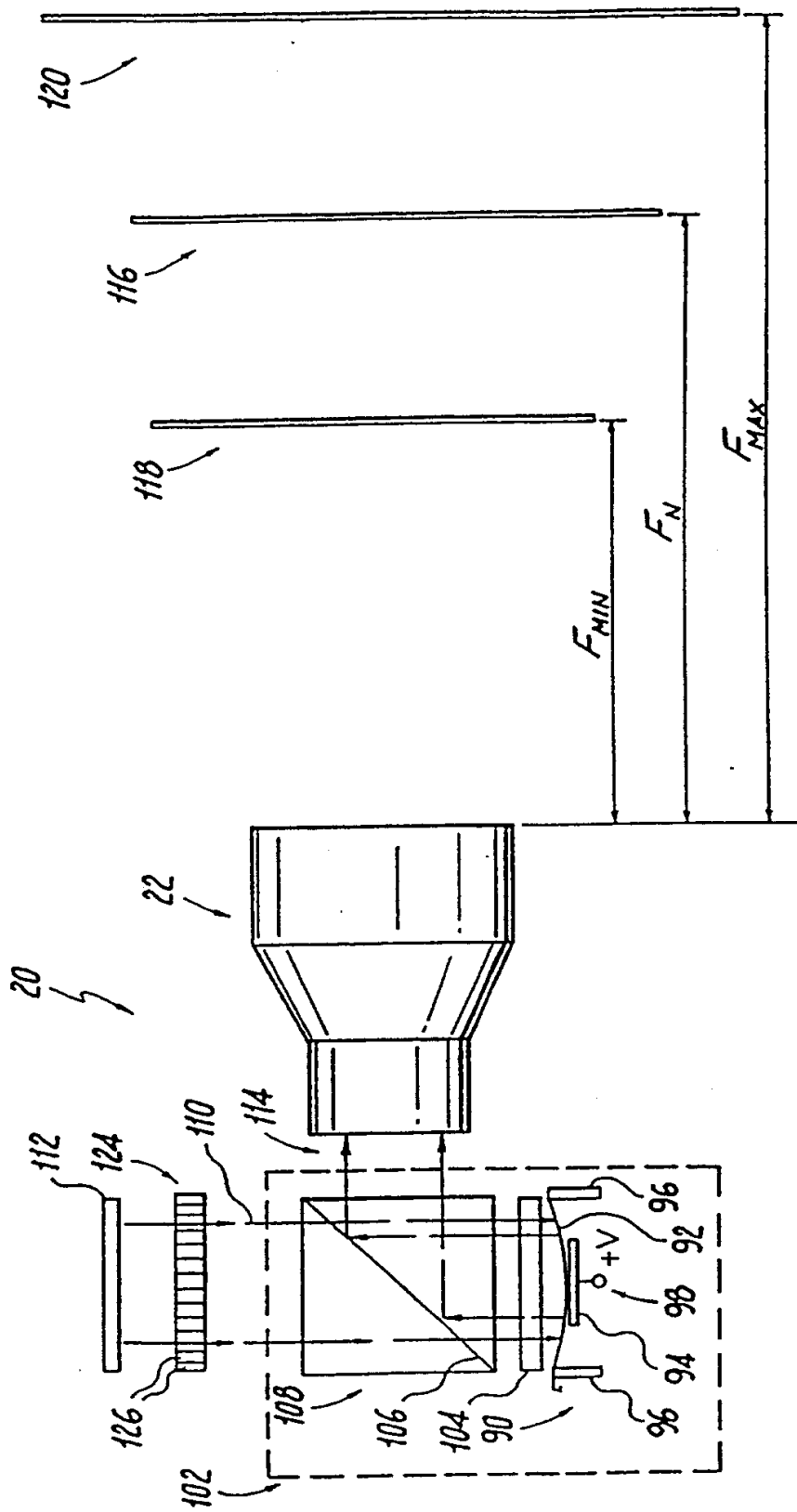


图 9

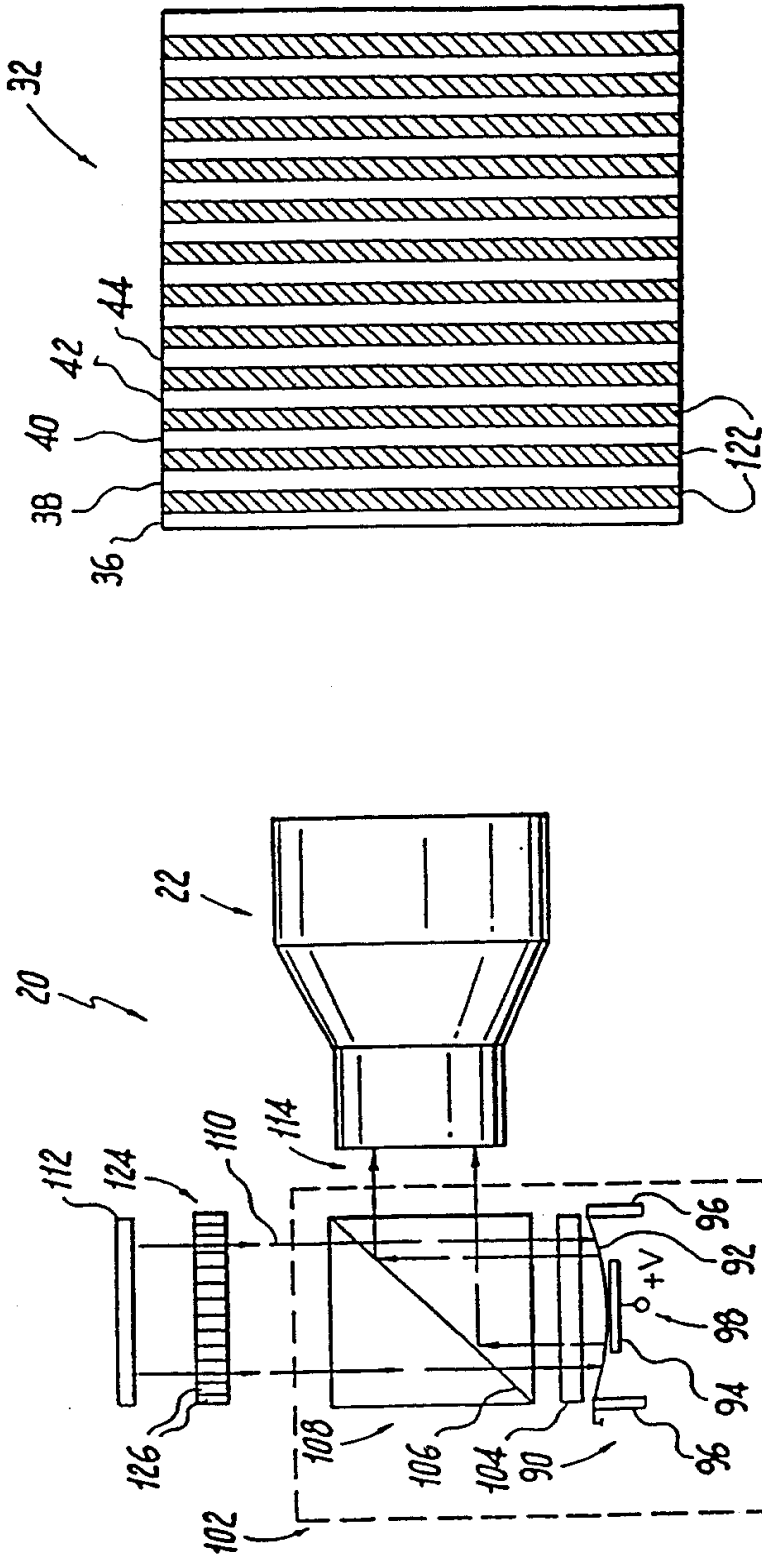


图 10

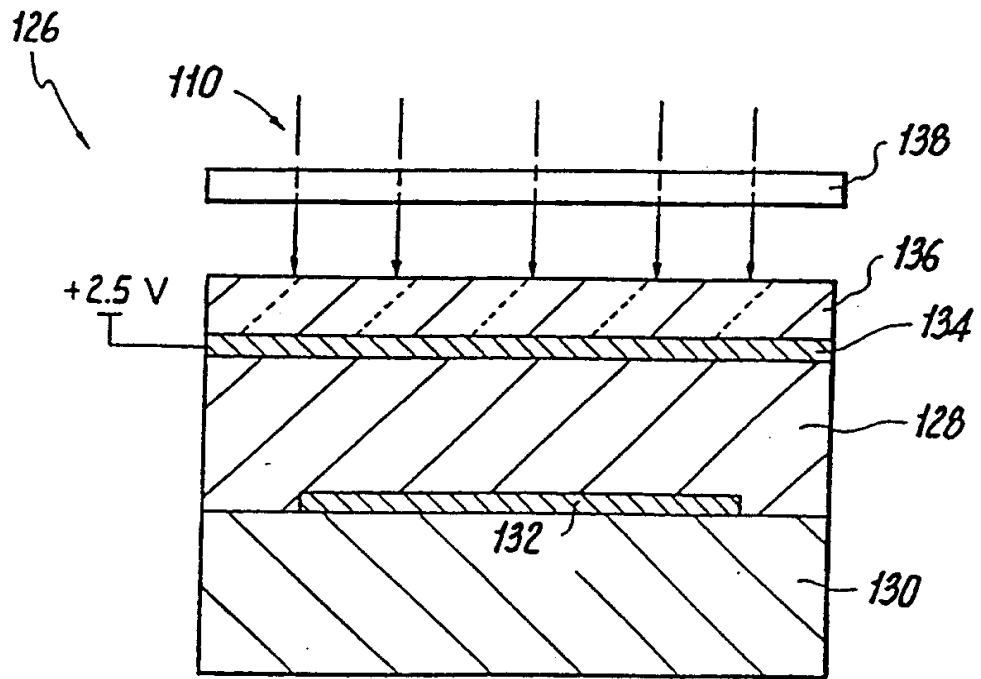


图 11



图 12

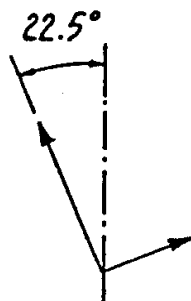


图 13

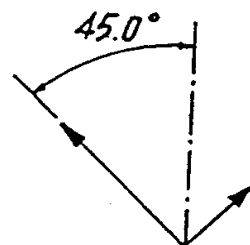


图 14

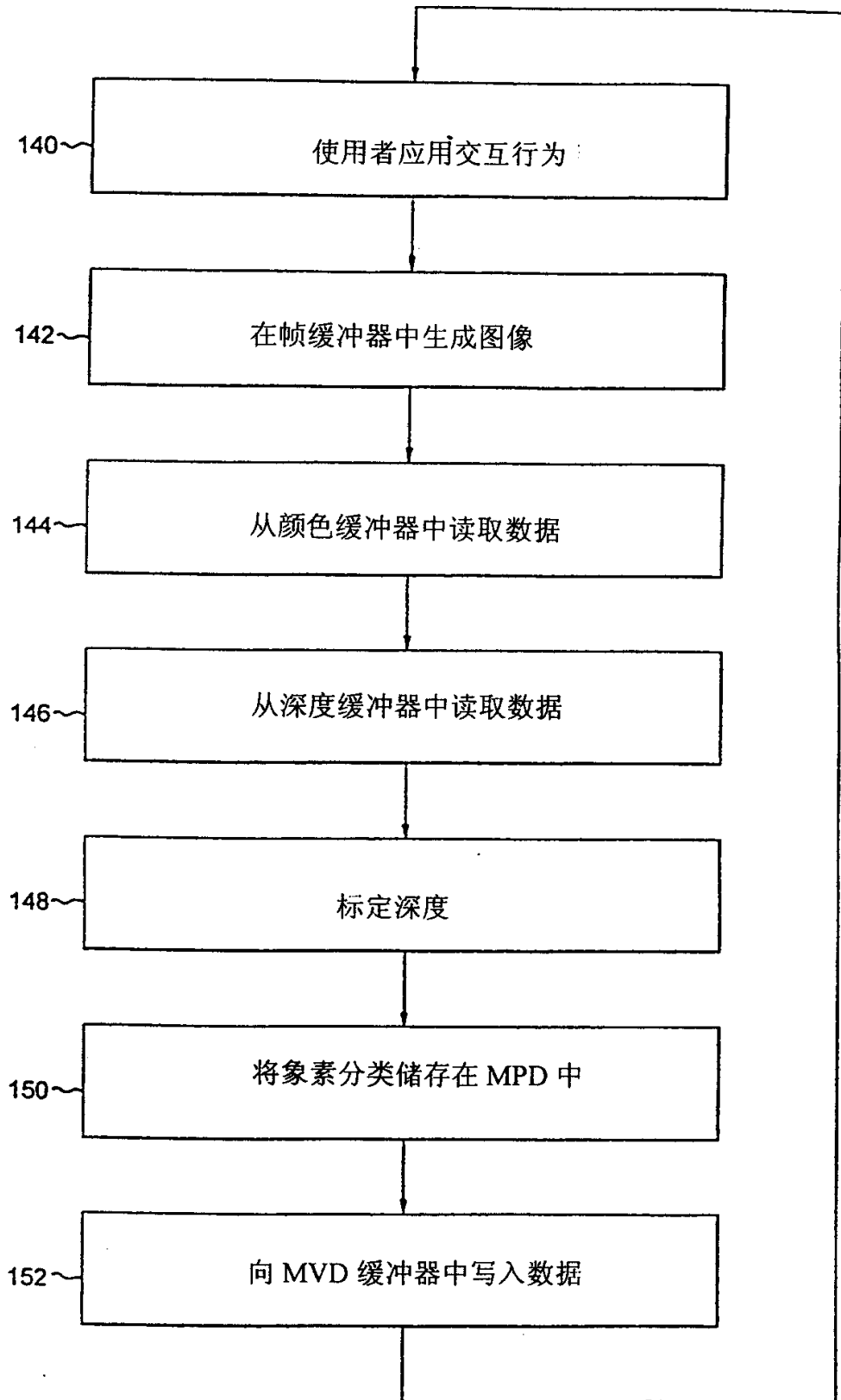


图 15

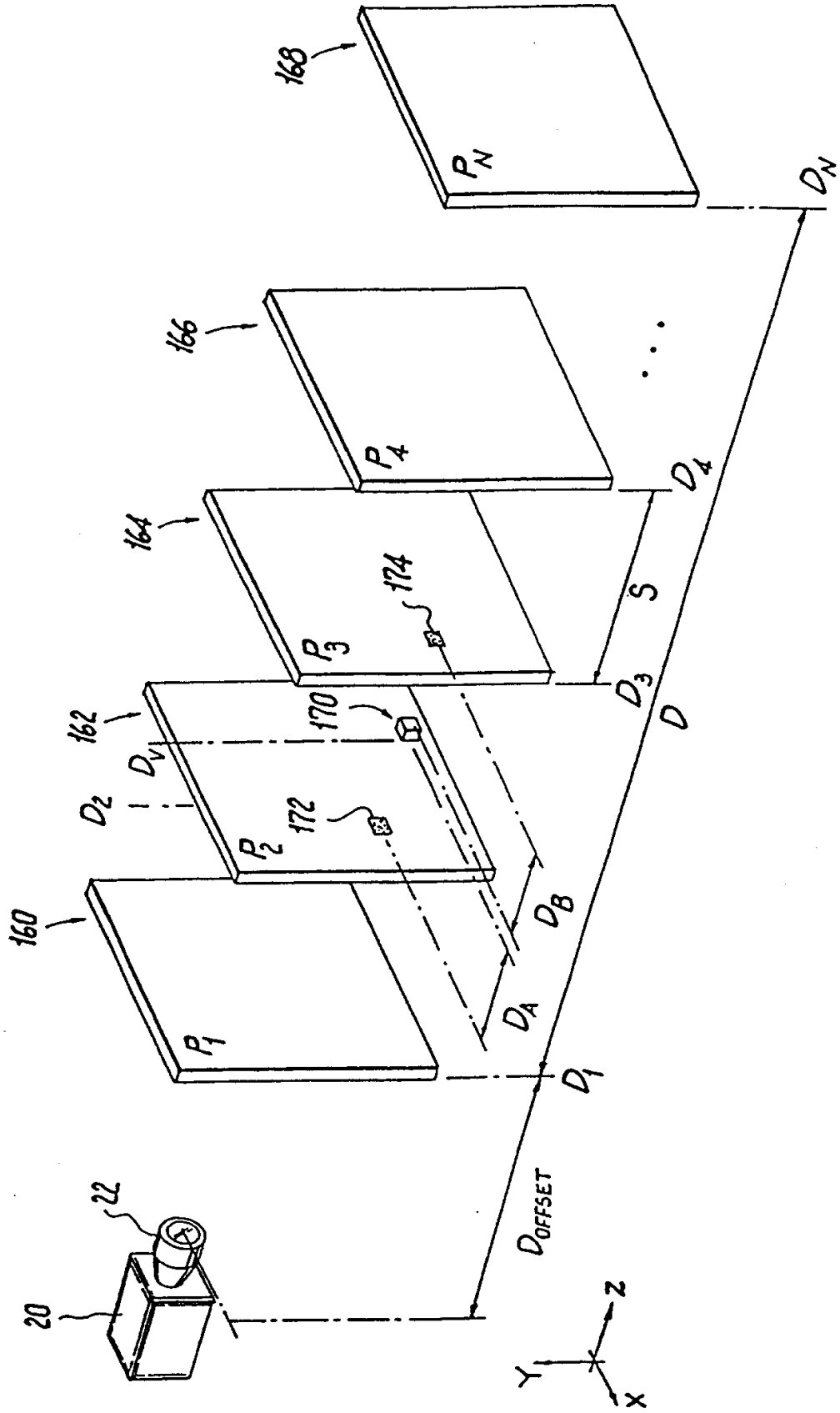


图 16

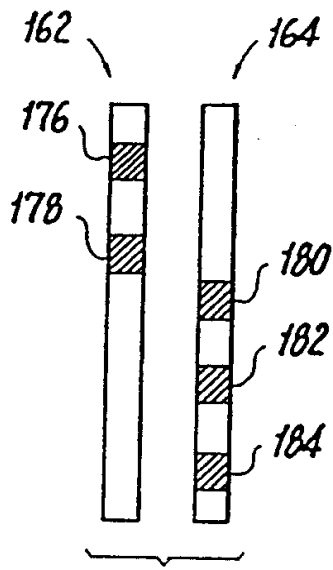


图 17

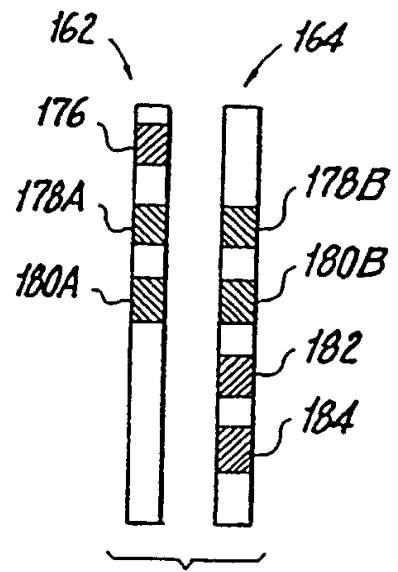


图 18

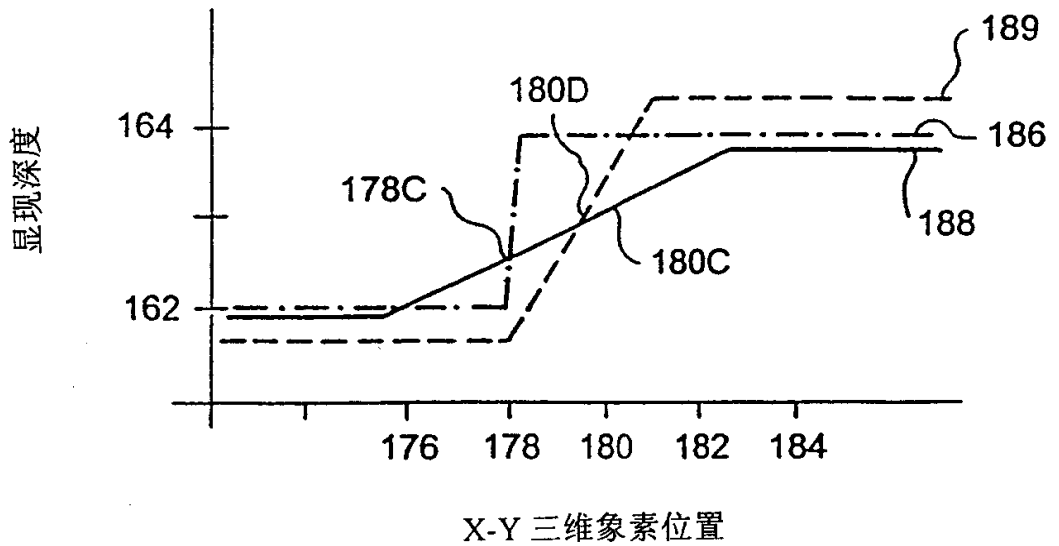


图 19

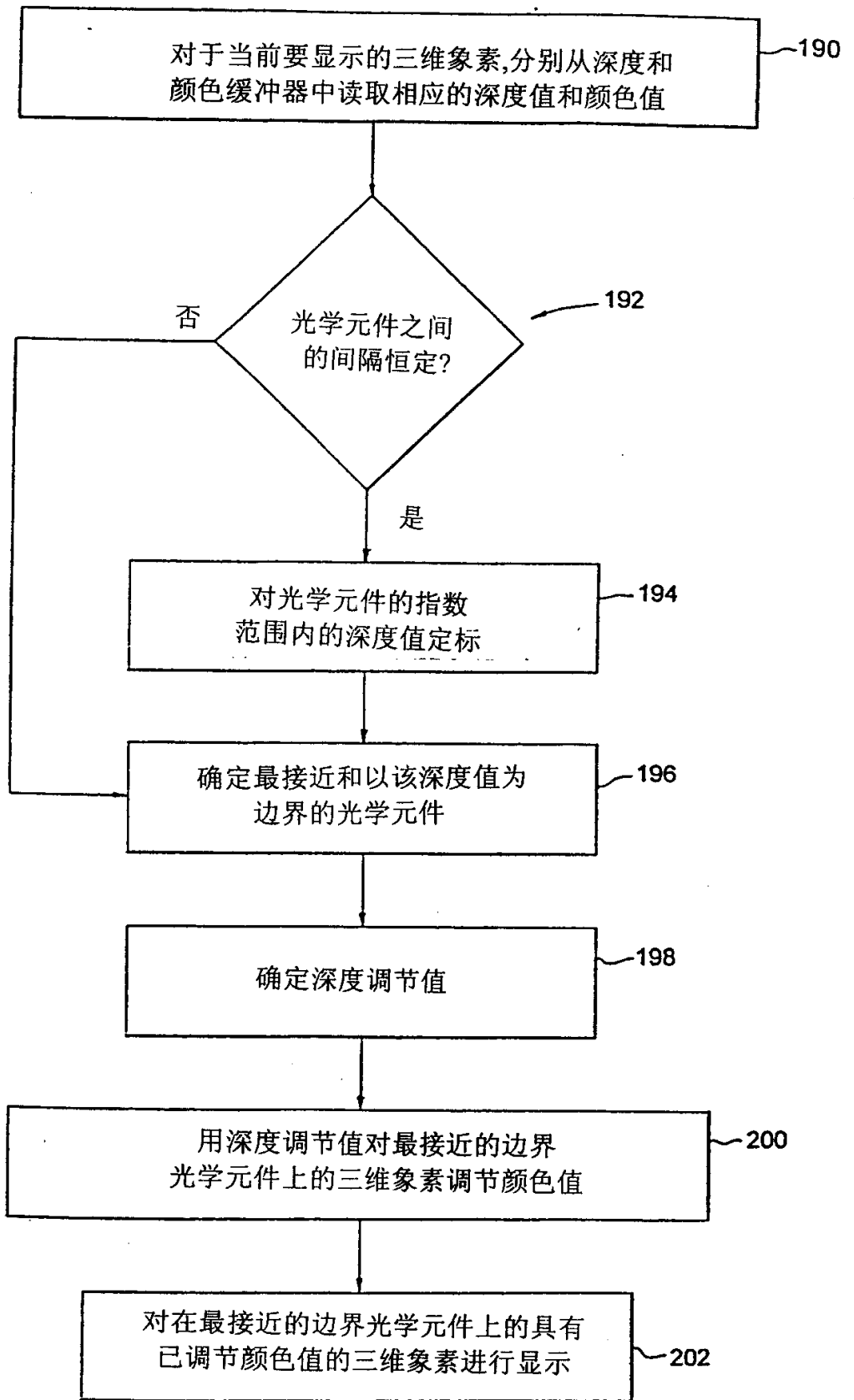


图 20

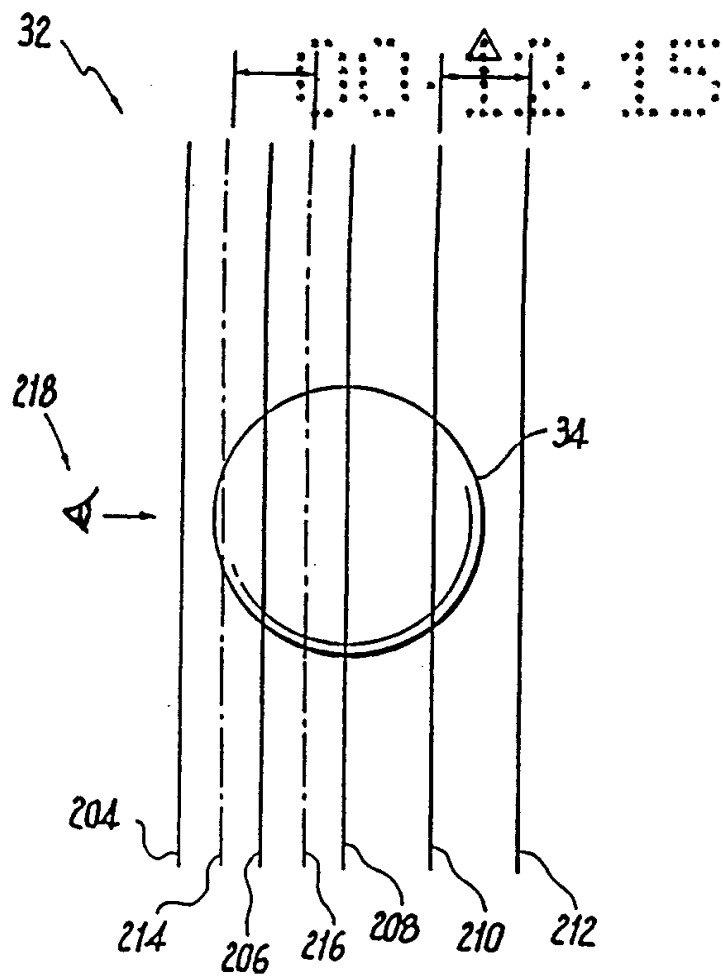


图 21

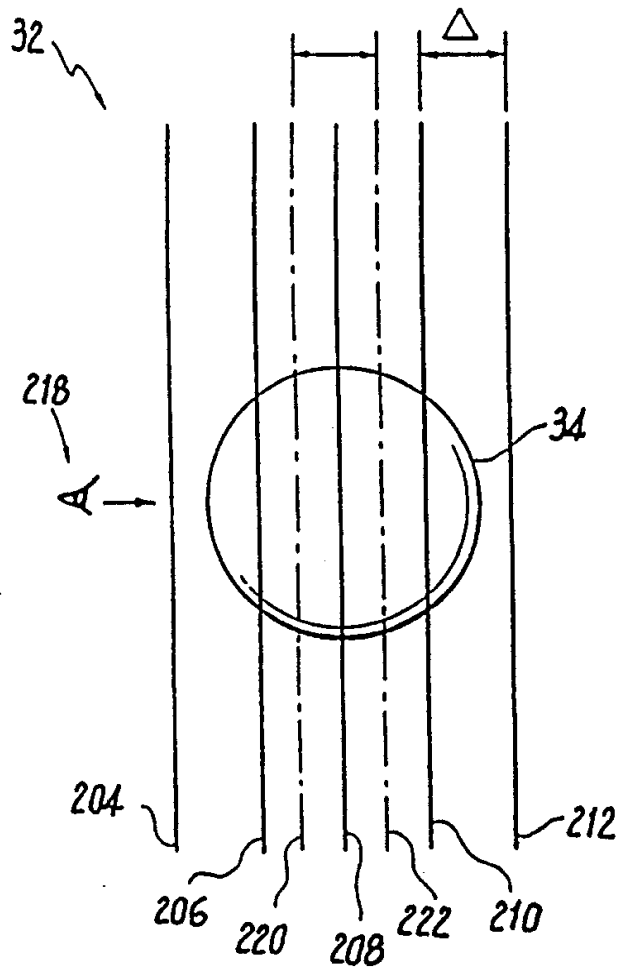


图 22

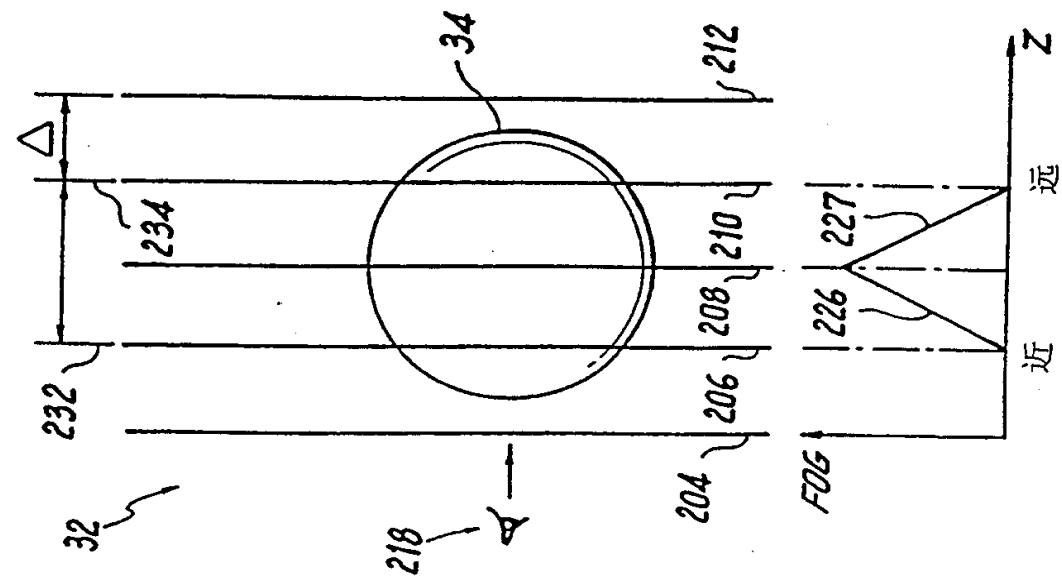


图 24

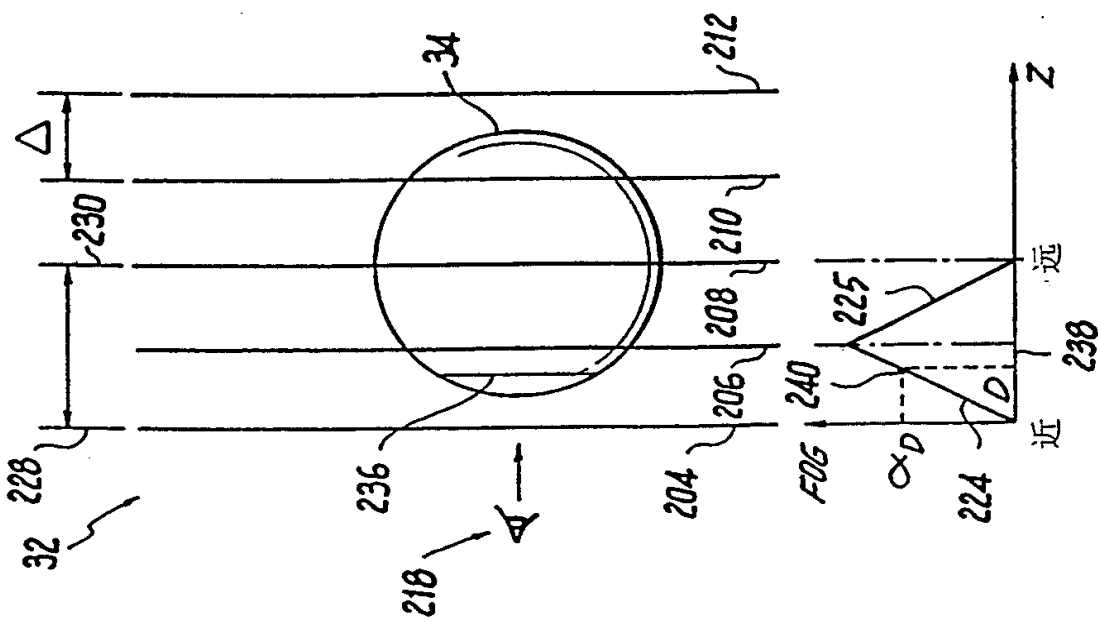


图 23