

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl.

H04N 9/04 (2006.01)



# [12] 发明专利申请公布说明书

[21] 申请号 200680027474.9

[43] 公开日 2008 年 7 月 30 日

[11] 公开号 CN 101233762A

[22] 申请日 2006.7.13

[21] 申请号 200680027474.9

[30] 优先权

[32] 2005.7.28 [33] US [31] 11/191,729

[86] 国际申请 PCT/US2006/027454 2006.7.13

[87] 国际公布 WO2007/015765 英 2007.2.8

[85] 进入国家阶段日期 2008.1.28

[71] 申请人 伊斯曼柯达公司

地址 美国纽约州

[72] 发明人 J·T·坎普顿

J·F·小哈米尔顿

[74] 专利代理机构 中国专利代理(香港)有限公司

代理人 王庆海 王忠忠

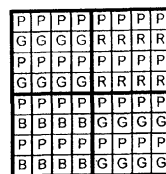
权利要求书 11 页 说明书 23 页 附图 10 页

## [54] 发明名称

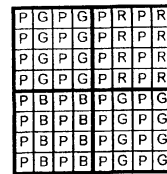
具有改善的光敏感度的图像传感器

## [57] 摘要

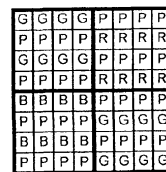
一种用于采集彩色图像的图像传感器，其包括具有第一组像素和第二组像素的二维阵列，其中来自第一组像素的像素具有比来自第二组像素的像素更窄的光谱光响应，并且其中第一组像素所具有的各个像素有与一组至少两种的颜色相对应的光谱光响应。进一步地，第一组像素和第二组像素的布置定义了一个图案，该图案具有包括至少十二个像素的最小重复单元，该最小重复单元具有多个细胞，其中每个细胞具有从第一组像素中选择的代表一种特定颜色的至少两个像素和从第二组像素中选择的多个像素(全色=白色像素)，这些细胞被排列为允许在不同照明条件下再现所采集的彩色图像。



A



B



C

1. 一种用于采集彩色图像的图像传感器，包括：

a) 具有第一组像素和第二组像素的二维阵列，其中来自第一组像素的像素具有比来自第二组像素的像素更窄的光谱光响应，并且其中第一组像素所具有的各个像素有与一组至少两种颜色相对应的光谱光响应；以及

b) 第一组像素和第二组像素的布置定义了一个图案，该图案具有包括至少十二个像素的最小重复单元，该最小重复单元具有多个细胞，其中每个细胞具有从第一组像素中选择的代表一种特定颜色的至少两个像素和从第二组像素中选择的多个像素，这些细胞被排列为允许在不同照明条件下再现所采集的彩色图像。

2. 权利要求1所述的图像传感器，其中最小重复单元具有至少三个细胞。

3. 权利要求1所述的图像传感器，其中最小重复单元具有至少三个细胞，其中包括具有至少两个第一颜色的像素的至少一个第一颜色的细胞，具有至少两个第二颜色的像素的至少一个第二颜色的细胞，以及具有至少两个第三颜色的像素的至少一个第三颜色的细胞。

4. 权利要求3所述的图像传感器，其中第一颜色是绿色，第二颜色是红色，且第三颜色是蓝色。

5. 权利要求3所述的图像传感器，其中第一颜色是品红色，第二颜色是蓝绿色，且第三颜色是黄色。

6. 权利要求1所述的图像传感器，其中最小重复单元具有至少四个细胞。

7. 权利要求6所述的图像传感器，其中细胞包括具有至少两个绿色像素的至少一个绿色细胞，具有至少两个红色像素的至少一个红色细胞，以及具有至少两个蓝色像素的至少一个蓝色细胞。

8. 权利要求6所述的图像传感器，其中细胞包括每个具有至少两个绿色像素的至少两个绿色细胞，具有至少两个红色像素的至少一个红色细胞，以及具有至少两个蓝色像素的至少一个蓝色细胞。

9. 权利要求1所述的图像传感器，其中第二组像素线性分布在最小重复单元的行、列或对角线上。

10. 权利要求9所述的图像传感器，其中第一组像素中的各个彩色像素在每个行和列上通过至少一个不同像素与相邻的类似彩色像素分隔开。

11. 权利要求10所述的图像传感器, 其中最小重复单元是:

P P P P P P P P  
A B A B C B C B  
P P P P P P P P  
A B A B C B C B

其中P表示第二组像素, 并且

A表示第一组像素中的第一颜色

B表示第一组像素中的第二颜色

C表示第一组像素中的第三颜色。

12. 权利要求11所述的图像传感器, 其中A、B和C分别从红色, 绿色和蓝色中选择。

13. 权利要求11所述的图像传感器, 其中A, B和C分别是红色, 绿色和蓝色。

14. 权利要求11所述的图像传感器, 其中A, B和C分别从蓝绿色, 品红色或黄色中选择。

15. 权利要求11所述的图像传感器, 其中A, B和C分别是蓝绿色, 黄色和品红色。

16. 权利要求10所述的图像传感器, 其中最小重复单元是:

P P P P P P P P  
A B A B C D C D  
P P P P P P P P  
A B A B C D C D

其中P表示第二组像素, 并且

A表示第一组像素中的第一颜色

B表示第一组像素中的第二颜色

C表示第一组像素中的第三颜色

D表示第一组像素中的第四颜色。

17. 权利要求16所述的图像传感器, 其中A, B, C和D分别从红色, 绿色, 蓝色和第四种颜色中选择。

18. 权利要求16所述的图像传感器, 其中A, B, C和D分别是红色, 绿色

的第一光谱带，蓝色，和绿色的第二光谱带。

19. 权利要求 16 所述的图像传感器，其中 A, B, C 和 D 分别从蓝绿，品红，黄色或第四种颜色中选择。

20. 权利要求 16 所述的图像传感器，其中 A, B, C 和 D 分别是蓝绿，黄色，品红和绿色。

21. 权利要求 9 所述的图像传感器，其中第一像素组的彩色像素在每个行和列上被第二像素组的至少一个像素分隔开。

22. 权利要求 21 所述的图像传感器，其中最小重复单元是：

P	P	P	P	P	P	P	P
A	P	A	P	B	P	B	P
P	P	P	P	P	P	P	P
A	P	A	P	B	P	B	P
P	P	P	P	P	P	P	P
B	P	B	P	C	P	C	P
P	P	P	P	P	P	P	P
B	P	B	P	C	P	C	P

其中 P 代表第二组像素

A 代表第一组像素中的第一颜色

B 代表第一组像素中的第二颜色，并且

C 代表第一组像素中的第三颜色。

23. 权利要求 22 所述的图像传感器，其中 A, B 和 C 分别从红色，绿色或蓝色中选择。

24. 权利要求 22 所述的图像传感器，其中 A, B 和 C 分别是红色，绿色和蓝色。

25. 权利要求 22 所述的图像传感器，其中 A, B 和 C 分别从蓝绿，品红或黄色中选择。

26. 权利要求 22 所述的图像传感器，其中 A, B 和 C 分别是蓝绿，黄色和品红。

27. 权利要求 21 所述的图像传感器，其中最小重复单元是：

P	P	P	P	P	P	P	P
---	---	---	---	---	---	---	---

A P A P B P B P  
 P P P P P P P P  
 A P A P B P B P  
 P P P P P P P P  
 D P D P C P C P  
 P P P P P P P P  
 D P D P C P C P

其中P代表第二组像素

A代表第一组像素中的第一颜色

B代表第一组像素中的第二颜色

C代表第一组像素中的第三颜色，并且

D代表第一组像素中的第四颜色。

28. 权利要求27所述的图像传感器，其中A，B，C和D分别从红色，绿色，蓝色和第四颜色中选择。

29. 权利要求27所述的图像传感器，其中A，B，C和D分别是红色，绿色的第一光谱带，蓝色，和绿色的第二光谱带。

30. 权利要求27所述的图像传感器，其中A，B，C和D分别从蓝绿，品红，黄色和第四颜色中选择。

31. 权利要求27所述的图像传感器，其中A，B，C和D分别是蓝绿，黄色，品红和绿色。

32. 权利要求21所述的图像传感器，其中最小重复单元是：

P B P B P B P B  
 A P A P C P C P  
 P B P B P B P B  
 A P A P C P C P

其中P代表第二组像素，并且

A代表第一组像素中的第一颜色

B代表第一组像素中的第二颜色，并且

C代表第一组像素中的第三颜色。

33. 权利要求32所述的图像传感器，其中A，B和C分别从红色，绿色或

蓝色中选择。

34. 权利要求 32 所述的图像传感器，其中 A，B 和 C 分别是红色，绿色和蓝色。

35. 权利要求 32 所述的图像传感器，其中 A，B 和 C 分别从蓝绿，品红或黄色中选择。

36. 权利要求 32 所述的图像传感器，其中 A，B 和 C 分别是蓝绿，黄色和品红。

37. 权利要求 21 所述的图像传感器，其中最小重复单元是：

P B P B P D P D

A P A P C P C P

P B P B P D P D

A P A P C P C P

其中 P 表示第二组像素，并且

A 表示第一组像素中的第一颜色

B 表示第一组像素中的第二颜色

C 表示第一组像素中的第三颜色，并且

D 表示第一组像素中的第四颜色。

38. 权利要求 37 所述的图像传感器，其中 A，B，C 和 D 分别从红色，绿色，蓝色和第四颜色中选择。

39. 权利要求 37 所述的图像传感器，其中 A，B，C 和 D 分别是红色，绿色的第一光谱带，蓝色，和绿色的第二光谱带。

40. 权利要求 37 所述的图像传感器，其中 A，B，C 和 D 分别从蓝绿，品红，黄色或第四颜色中选择。

41. 权利要求 37 所述的图像传感器，其中 A，B，C 和 D 分别是蓝绿，黄色，品红和绿色。

42. 权利要求 1 所述的图像传感器，其中在最小重复单元中的第一组像素的多个相同彩色像素按照并排关系线性排列。

43. 权利要求 42 所述的图像传感器，其中最小重复单元是：

P P P P P P P P

A A A A B B B B

```

P P P P P P P P
A A A A B B B B
P P P P P P P P
B B B B C C C C
P P P P P P P P
B B B B C C C C

```

其中P代表第二组像素，并且

A代表第一组像素中的第一颜色

B代表第一组像素中的第二颜色，并且

C代表第一组像素中的第三颜色。

44. 权利要求 43 所述的图像传感器，其中 A、B 和 C 分别从红色，绿色或蓝色中选择。

45. 权利要求 43 所述的图像传感器，其中 A、B 和 C 分别是红色，绿色和蓝色。

46. 权利要求 43 所述的图像传感器，其中 A、B 和 C 分别从蓝绿，品红或黄色中选择。

47. 权利要求 43 所述的图像传感器，其中 A、B 和 C 分别是蓝绿，黄色和品红。

48. 权利要求 42 所述的图像传感器，其中最小重复单元是：

```

P P P P P P P P
A A A A B B B B
P P P P P P P P
A A A A B B B B
P P P P P P P P
D D D D C C C C
P P P P P P P P
D D D D C C C C

```

其中P表示第二组像素，并且

A表示第一组像素中的第一颜色

B表示第一组像素中的第二颜色

C 表示第一组像素中的第三颜色, 并且

D 表示第一组像素中的第四颜色。

49. 权利要求 48 所述的图像传感器, 其中 A, B, C 和 D 分别从红色, 绿色, 蓝色和第四颜色中选择。

50. 权利要求 48 所述的图像传感器, 其中 A, B, C 和 D 分别是红色, 绿色的第一光谱带, 蓝色, 和绿色的第二光谱带。

51. 权利要求 48 所述的图像传感器, 其中 A, B, C 和 D 分别从蓝绿, 品红, 黄色或第四颜色中选择。

52. 权利要求 48 所述的图像传感器, 其中 A, B, C 和 D 分别是蓝绿, 黄色, 品红和绿色。

53. 权利要求 42 所述的图像传感器, 其中最小重复单元是:

P P P P

A A B B

P P P P

B B C C

其中 P 代表第二组像素, 并且

A 代表第一组像素中的第一颜色

B 代表第一组像素中的第二颜色, 并且

C 代表第一组像素中的第三颜色。

54. 权利要求 53 所述的图像传感器, 其中 A, B 和 C 分别从红色, 绿色或蓝色中选择。

55. 权利要求 53 所述的图像传感器, 其中 A, B 和 C 分别是红色, 绿色和蓝色。

56. 权利要求 53 所述的图像传感器, 其中 A, B 和 C 分别从蓝绿, 品红或黄色中选择。

57. 权利要求 53 所述的图像传感器, 其中 A, B 和 C 分别是蓝绿, 黄色和品红。

58. 权利要求 42 所述的图像传感器, 其中最小重复单元是

P P P P

A A B B



P P P P  
D D C C

其中P表示第二组像素，并且

A表示第一组像素中的第一颜色

B表示第一组像素中的第二颜色

C表示第一组像素中的第三颜色，并且

D表示第一组像素中的第四颜色。

59. 权利要求 58 所述的图像传感器，其中 A, B, C 和 D 分别从红色，绿色，蓝色和第四颜色中选择。

60. 权利要求 58 所述的图像传感器，其中 A, B, C 和 D 分别是红色，绿色的第一光谱带，蓝色，和绿色的第二光谱带。

61. 权利要求 58 所述的图像传感器，其中 A, B, C 和 D 分别从蓝绿，品红，黄色或第四颜色中选择。

62. 权利要求 58 所述的图像传感器，其中 A, B, C 和 D 分别是蓝绿，黄色，品红和绿色。

63. 权利要求 1 所述的图像传感器，其中在最小重复单元中的第一组像素的多个相同彩色像素按照并排关系沿对角线排列并且其中第二组像素中的像素按照并排关系沿对角线排列。

64. 权利要求 63 所述的图像传感器，其中最小重复单元是：

P A P A P B P B  
A P A P B P B P  
P A P A P B P B  
A P A P B P B P  
P B P B P C P C  
B P B P C P C P  
P B P B P C P C  
B P B P C P C P

其中P代表第二组像素，并且

A代表第一组像素中的第一颜色

B代表第一组像素中的第二颜色，并且

C 代表第一组像素中的第三颜色。

65. 权利要求 64 所述的图像传感器, 其中 A, B 和 C 分别从红色, 绿色或蓝色中选择。

66. 权利要求 64 所述的图像传感器, 其中 A, B 和 C 分别是红色, 绿色和蓝色。

67. 权利要求 64 所述的图像传感器, 其中 A, B 和 C 分别从蓝绿, 品红或黄色中选择。

68. 权利要求 64 所述的图像传感器, 其中 A, B 和 C 分别是蓝绿, 黄色和品红。

69. 权利要求 63 所述的图像传感器, 其中最小重复单元是:

P A P A P B P B  
A P A P B P B P  
P A P A P B P B  
A P A P B P B P  
P D P D P C P C  
D P D P C P C P  
P D P D P C P C  
D P D P C P C P

其中 P 表示第二组像素, 并且

A 表示第一组像素中的第一颜色

B 表示第一组像素中的第二颜色

C 表示第一组像素中的第三颜色, 并且

D 表示第一组像素中的第四颜色。

70. 权利要求 69 所述的图像传感器, 其中 A, B, C 和 D 分别从红色, 绿色, 蓝色和第四颜色中选择。

71. 权利要求 69 所述的图像传感器, 其中 A, B, C 和 D 分别是红色, 绿色的第一光谱带, 蓝色, 和绿色的第二光谱带。

72. 权利要求 69 所述的图像传感器, 其中 A, B, C 和 D 分别从蓝绿, 品红, 黄色或第四颜色中选择。

73. 权利要求 69 所述的图像传感器, 其中 A, B, C 和 D 分别是蓝绿, 黄色,

品红和绿色。

74. 权利要求 63 所述的图像传感器, 其中最小重复单元是:

P A P B

A P B P

P B P C

B P C P

其中P代表第二组像素, 并且

A代表第一组像素中的第一颜色

B代表第一组像素中的第二颜色, 并且

C代表第一组像素中的第三颜色。

75. 权利要求 74 所述的图像传感器, 其中 A, B 和 C 分别从红色, 绿色或蓝色中选择。

76. 权利要求 74 所述的图像传感器, 其中 A, B 和 C 分别是红色, 绿色和蓝色。

77. 权利要求 74 所述的图像传感器, 其中 A, B 和 C 分别从蓝绿, 品红或黄色中选择。

78. 权利要求 74 所述的图像传感器, 其中 A, B 和 C 分别是蓝绿, 黄色和品红。

79. 权利要求 63 所述的图像传感器, 其中最小重复单元是:

P A P B

A P B P

P D P C

D P C P

其中P表示第二组像素, 并且

A表示第一组像素中的第一颜色

B表示第一组像素中的第二颜色

C表示第一组像素中的第三颜色, 并且

D表示第一组像素中的第四颜色。

80. 权利要求 79 所述的图像传感器, 其中 A, B, C 和 D 分别从红色, 绿色, 蓝色和第四颜色中选择。

81. 权利要求 79 所述的图像传感器, 其中 A, B, C 和 D 分别是红色, 绿色的第一光谱带, 蓝色, 和绿色的第二光谱带。

82. 权利要求 79 所述的图像传感器, 其中 A, B, C 和 D 分别从蓝绿, 品红, 黄色或第四颜色中选择。

83. 权利要求 79 所述的图像传感器, 其中 A, B, C 和 D 分别是蓝绿, 黄色, 品红和绿色。

84. 权利要求 1 所述的图像传感器, 其中图像阵列由有源像素或电荷耦合装置像素组成。

85. 权利要求 84 所述的图像传感器, 其中为在第一组像素中的每个彩色像素提供与希望的颜色相对应的滤色器。

86. 权利要求 84 所述的图像传感器, 其中第二组像素中的每个像素包括中性密度滤光片。

87. 权利要求 1 所述的图像传感器, 其中第二组像素具有比第一组的特定颜色的像素的尺寸小。

88. 一种用于采集彩色图像的图像传感器, 包括:

a) 具有第一组像素和第二组像素的二维阵列, 其中来自第一组像素的像素具有比来自第二组像素的像素更窄的光谱的光响应, 并且其中第一组像素所具有的各个像素有与一组至少两种颜色相对应的光谱的光响应; 以及

b) 第一组像素和第二组像素的布置定义了一个图案, 该图案具有包括至少十二个像素的最小重复单元, 该最小重复单元具有多个细胞, 其中每个细胞具有从第一组像素中选择的代表一种特定颜色的至少两个像素和从第二组像素中选择的多个像素, 这些细胞被排列为允许在不同照明条件下再现所采集的彩色图像, 该细胞定义了低分辨率的滤色器阵列图像, 并且第二组像素定义了高分辨率的全色图像, 这样该低分辨率的滤色器阵列图像和高分辨率的全色图像经处理被合并以生成高分辨率的彩色图像。

## 具有改善的光敏感度的图像传感器

### 技术领域

本发明涉及一种具有改善的光敏感度的二维图像传感器。

### 背景技术

电子成像系统依靠电子图像传感器来建立可视图像的电子表示。这样的电子图像传感器的示例包括电荷耦合器件(CCD)图像传感器和有源像素传感器(APS)器件(因能够在互补金属氧化物半导体处理中制得,所以 APS 器件经常被称为 CMOS 传感器)。典型地,这些图像传感器包括许多光敏感像素,通常以行和列的规则图案排列。为了取得彩色图像,典型地在该像素的图案上制作滤色器的图案,使用不同的滤波材料制作这些滤波器以使各个像素仅对可见光谱中的一部分敏感。该滤色器必然减少了到达各像素的光量,并且由此降低各像素的光敏感度。改善电子彩色图像传感器的光敏感度或拍照速度,以便允许在较低的照明水平上采集图像或允许在较短的曝光时间内采集较高照明水平上的图像的需求持续存在。

图像传感器是直线形或是二维的。通常,这些传感器具有两种不同类型的应用。二维传感器典型地适合于图像采集装置如像数码相机、手机及其它应用。线型传感器常用于扫描文本。在以上任一情况下,当使用滤色器时图像传感器的敏感度就降低了。

由伊斯曼柯达公司生产的 KLI-4104 型线型图像传感器,包括四个线状的单个像素宽的像素阵列,滤色器应用到这些阵列其中的三个以使每个阵列整体地对红、绿或蓝中的任一个敏感,并且没有滤色器阵列应用到第四个阵列;而且,三个彩色阵列具有较大的像素,以补偿由滤色器造成的在光敏感度上的下降,且第四阵列具有较小的像素以采集高分辨率的单色图像。当使用该图像传感器采集图像时,图像被表示为一幅高分辨率、高摄像感光度单色图像,和三幅具有大致相同摄像感光度的低分辨率图像,三幅图像中的每个对应来自图像的红、绿或蓝光中任意一个;因此,在电子图像中的每一个点包括一个单色值,一红色值,一绿色值以及一蓝色值。然而,因为其线型图像传感器,其需要图像传感器和图像之间的

相对机械运动，以便在像素的四个线型阵列之间扫描图像。这限制了图像被扫描的速度，并且阻止了该传感器在手持式相机中或在采集包含运动目标的场景时的应用。

在现有技术中还有一种电子图像系统，在 Akira Muramatsu 的美国专利 4,823,186 中描述了这种电子图像系统，其包括两个传感器，其中每个传感器包括一个像素二维阵列，但一个传感器没有滤色器，另一个传感器包括与像素一起的滤色器图案，并且具有光束分离器以向每个图像传感器提供图像。因为彩色传感器有应用的滤色器的图案，在该彩色传感器中的每个像素仅提供一种颜色。当用该系统采集图像时，在电子图像中的每个点包括一个单色值和一个彩色值，该彩色图像必须从邻近的彩色值中内插得到在每个像素位置缺失的彩色值。虽然该系统比单个传统图像传感器改善了光敏感度，但由于需要两个传感器和一个波束分离器，该系统总体上的复杂度、尺寸和成本更大。而且，波束分离器只把来自图像的一半的光量引入每个传感器，限制了摄像速度的改善。

除了上面提到的线型图像传感器，在现有技术中还有带有像素二维阵列的图像传感器，这里的像素包含多个没有被应用滤色器的像素。例如，Sato 等人的美国专利 4,390,895, Yamagami 等人的美国专利 5,323,233 和 Gindele 等人的美国专利 6,476,865。在每个所引用的专利中，未滤色或单色像素的敏感度显著地高于彩色像素，需要对彩色像素应用增益以匹配来自像素阵列的彩色和单色信号。增加增益也使噪声与信号一起增大，引起结果图像的整体信噪比的下降。美国专利申请 2003/0210332 中的结构公开了大多数像素被未滤色的像素阵列，但是如上所述彩色像素的敏感度不够。

因此，继续存在改善使用具有像素二维阵列的单个传感器的电子图像采集装置的光敏感度的需求。

#### 发明内容

本发明提供一种图像传感器，具有提供高敏感度并且有效生成全色图像的二维彩色和全色像素阵列。

简单概括，按照本发明的一个方面，本发明提供一种采集彩色图像的图像传感器，该图像传感器包括一个具有两组像素的像素二维阵列，来自第一像素组的像素具有与来自第二像素组的像素相比较窄的光谱响应，来自第一像素组中的各个像素具有与一组至少两种颜色相对应的光谱响应，第一和第二组像素的分布定

义了一个图案，该图案具有包括至少十二个像素的最小重复单元，该最小重复单元进而被定义为具有多个细胞，其中每个细胞具有从第一像素组中选择的代表一种特定颜色的至少两个像素和从第二像素组中选择的被排列为允许在不同照明条件下再现所采集的彩色图像的多个像素。

按照本发明的图像传感器特别适合于低水平照明条件，其中所述低水平照明条件是由场景照明低，曝光时间短，光圈小或对光到达传感器的其它限制造成。它们具有广泛的应用，这些传感器可有效地应用于多种图像采集装置。

从下面对优选实施例和附加的权利要求的详细介绍的论述中，并参照附图，将更加清楚地理解和意识到本发明的这些及其它的方面、目标、特点以及优点。

#### 附图说明

图1是可应用传统传感器和处理方法或者本发明的传感器和处理方法的传统数字静止照相机系统的框图；

图2（现有技术）是示出最小重复单元和非最小重复单元的传统拜尔滤色器阵列图案；

图3提供了红、绿和蓝像素的典型光谱量子效率曲线，以及宽光谱全色量子效率，全部乘以红外截止滤波器的传输特性。

图4A—D提供了本发明的滤色器阵列图案的多个变形的最小重复单元，其具有按行和列排列的相同颜色光响应的彩色像素；

图5表示图4A的最小重复单元的细胞结构；

图6A是图4A的内插全色图像；

图6B是与图4A和图5中的细胞相对应的低分辨率彩色图像；

图7A—C表示合并图4A中的像素的多种方法；

图8A—D表示图4A的滤色器阵列图案，其具有可选择的颜色光响应特性的彩色像素，包括四种颜色选项以及青色、洋红和黄色选项；

图9提供本发明的可选择的滤色器阵列的最小重复单元，其中全色像素以对角线排列；

图10A—B提供本发明的可选择的滤色器阵列的两个变形的最小重复单元，其中的全色像素形成彩色像素嵌入其中的栅格；

图11A—D提供本发明的可选滤色器阵列的两个变形的最小重复单元和平铺分布，其中每个细胞有两种颜色；

图 12A—B 提供本发明的可选滤色器阵列的两个变形的最小重复单元，其中每个细胞有两种颜色且全色像素以对角线分布；

图 13A—C 提供图 4A 的变形，其中最小重复单元小于  $8 \times 8$  像素；

图 14A—B 提供本发明的可变滤色器阵列的两个变形的最小重复单元，其中最小重复单元是  $6 \times 6$  像素；

图 15A—B 提供本发明的可选滤色器阵列的两个变形的最小重复单元，其中最小重复阵列是  $4 \times 4$  像素；

图 16 是图 4A 的最小重复单元，该最小重复单元中的各个像素带有下列：

图 17A—E 表示图 16 的一个细胞的全色像素和彩色像素，以及合并彩色像素的多种方法；

图 18 是本发明的处理框图，表示在本发明的传感器中处理彩色和全色像素数据的方法；

图 19A—D 说明本发明的在图 18 所示的低分辨率局部彩色图像中内插缺失颜色的方法。

#### 具体实施方式

由于采用图像装置和相关电路进行信号采集和校正以及曝光控制的数码相机是公知的，这里的介绍将特别针对构成按照本发明的方法和设备的一部分的元件，或者更直接地与按照本发明的方法和设备相配合的元件。在此没有特别表示或介绍的元件从现有技术中公知的元件中被选择。将要加以介绍的实施例的某些方面以软件提供。假设在下面按照本发明加以展示和介绍的系统中对应用本发明有用的材料、软件在此没有特别表示、介绍或建议，则其是传统的且在该领域现有普通技术知识之内。

现在关注图 1，示出的是作为是本发明具体化的数码相机的图像采集装置的框图。虽然将在这里说明数码相机，但本发明显然可应用于其它类型的图像采集装置。在公开的相机中，来自目标场景的光线 10 输入到图像级 11，这里光线被透镜 12 聚焦以在固态图像传感器 20 上成像。图像传感器 20 为每个图像单元（像素）将入射光线转化为电信号。优选实施例中图像传感器 20 是电荷耦合器件（CCD）型和有源像素传感器（APS）型（APS 器件因其能够在互补金属氧化物半导体处理中加以制作而经常被称为 CMOS 传感器），在使用本发明的模式的情况下，其它类型的具有像素二维阵列的图像传感器可被应用。本发明也使用具有彩色和全



色像素的二维阵列的图像传感器 20，其在图 1 被描述之后的详细说明中将更加清楚。在图像传感器 20 中使用的本发明的彩色和全色像素的图案示例可参见附图 4A—D，附图 8A—D，附图 9，附图 10A—B，附图 11A，附图 11C，附图 13A—C，附图 14A—B 和附图 15A—B，也可以使用在本发明的精神范围内的其它图案。

到达传感器 20 的光量被光圈模块 14 调节，该光圈模块改变孔径和包括插在光路上的一个或多个中性密度滤光片的中性密度 (ND) 滤光片模块 13。还调整整体照明水平是快门模块 18 打开的时间。曝光控制器模块 40 响应由亮度传感器模块 16 测量的场景中可用的光量并控制全部三个调整功能。

本领域技术人员对详细的相机结构的描述是熟悉的，并且显然存在很多变形和附加特征。例如，可以增加自动聚焦系统，或者镜头是可拆开和可互换的。可以理解本发明可应用于任何种类的数码相机，其中可选择的组件可以提供相似的功能。例如，该数码相机是相对简单的指向拍照数码相机，其中快门 18 是相对简单的可动叶片快门或类似形式，而不是更为复杂的焦平面结构。本发明也能够在如移动电话和机动车等非相机装置包含的图像部件中加以实现。

来自图像传感器 20 的模拟信号由模拟信号处理器 22 处理并应用到模数 (A/D) 转换器 24。时序发生器 26 产生各种时钟信号来选择行和像素并使模拟信号处理器 22 和 A/D 转换器 24 的操作同步。图像传感器级 28 包括图像传感器 20，模拟信号处理器 22，A/D 转换器 24 和时序发生器 26。图像传感器级 28 的组件是分别制作的集成电路，或者像通常 CMOS 图像传感器那样制作为单个集成电路。来自 A/D 转换器 24 的数字像素值的结果数据流存储在与数字信号处理器 (DSP) 36 相关联的存储器 32 中。

数字信号处理器 36 是本实施例中三个处理器或控制器中的一个，另外还有系统控制器 50 和曝光控制器 40。尽管在若干个控制器和处理器之间相机功能控制的这种划分是典型的，但是这些控制器和处理器可以按多种方式合并而不影响相机的功能操作和本发明的应用。这些控制器和处理器能够包含一个或多个的数字信号处理器装置，微控制器，可编程逻辑装置或其它数字逻辑电路。尽管描述了这些控制器和处理器的合并形式，指定一个控制器或处理器执行全部所需功能也是显而易见的。所有这些变形可以执行相同的功能并落入本发明的范围之内，需要在一个短语中包含全部这些功能时使用术语“处理级”，例如，如图 1 中的处理级 38。

在图解说明的实施例中,在图像采集时 DSP36 按照永久地存储在程序存储器 54 并复制到存储器 32 以便执行的软件程序操作在它的存储器 32 中的数字图像数据。DSP36 运行执行图 18 所示的图像处理所必需的软件。存储器 32 包括任意类型的随机存取存储器,例如 SDRAM。包括地址和数据信号的路径的总线 30 把 DSP36 连接到其相关的存储器 32、A/D 转换器 24 和其它相关装置。

系统控制器 50 基于在程序存储器 54 中存储的软件程序控制相机的全部操作,程序存储器 54 包括快闪 EEPROM 或者其它非易失性存储器。该存储器也可用于存储图像传感器校准数据,用户设置选择和其它在相机关机时必须保存的数据。系统控制器 50 通过指示曝光控制器 40 按前面介绍的那样操作镜头 12, ND 滤光片 13, 光圈 14 和快门 18, 指示时序发生器 26 操作图像传感器 20 和相关元件,以及指示 DSP36 处理采集的图像数据来控制图像采集的序列。在图像被采集和处理后,保存于存储器 32 的最终图像文件经接口 57 被传输到主机,保存在移动存储卡 64 或其它存储装置,并在图像显示器 88 上为用户显示。

总线 52 包括地址、数据和控制信号的路径,并将系统控制器 50 连接到 DSP36, 程序存储器 54, 系统存储器 56, 主机接口 57, 存储卡接口 60 和其它相关装置。主机接口 57 提供到个人电脑(PC)或其它主机计算机的高速连接,以便传输图像数据进行显示,存储,处理或打印。该接口是 IEEE1394 或 USB2.0 串型接口或任何其它合适的数字接口。存储卡 64 典型地是压缩闪存(CF)卡,其插入插槽 62 并经存储卡接口 60 连接到系统控制器 50。可采用的其它类型的存储装置包括但不限于 PC 卡,多媒体卡(MMC)或安全数字(SD)卡。

处理后的图像复制到系统存储器 56 中的显示缓冲器,并经由视频编码器 80 连续地读出以生成视频信号。该信号被直接从相机中输出以便在外部显示器上显示,或者被显示控制器 82 处理并在图像显示器 88 上表示。该显示器典型地为一有源矩阵彩色液晶显示器(LCD),其它类型的显示器也是可用的。

用户接口,包括取景显示器 70、曝光显示器 72, 状态显示器 76 和图像显示器 88 以及用户输入 74 的全部或任意组合,由在曝光控制器 40 和系统控制器 50 上执行的软件程序的组合所控制。用户输入 74 典型地包括一些按键、摇杆开关,操纵杆,旋转刻度盘或触摸屏的组合。曝光控制器 40 执行测光、曝光模式、自动聚焦和其它曝光功能。系统控制器 50 管理在一个或更多的显示器,例如图像显示器 88 上显示的图像用户接口(GUI)。该 GUI 典型地包括用于做出各种选项选择

的菜单和检查采集的图像的回顾模式。

曝光控制器 40 接受用户输入选择曝光模式，透镜孔径，曝光时间（快门速度）和曝光指数或 ISO 速率并为随后的采集相应指示镜头和快门。使用亮度传感器 16 测量场景亮度并提供曝光计量功能供用户在手工设置 ISO 速率，光圈和快门速度时参考。在该情况下，在用户改变一个或更多的设置时，显示在取景显示器 70 上的照明计量指示器告知用户图像曝光过度或不足的程度。在自动曝光模式中，用户改变一项设置则曝光控制器 40 自动地改变其它设置以维持正确的曝光，例如，在给定 ISO 速率的条件下当用户减小透镜孔径时曝光控制器 40 自动增加曝光时间以维持相同的整体曝光。

ISO 速率是数码静止相机的一项重要特性。曝光时间，透镜孔径，镜头透光率，场景照明的水平和光谱分布以及场景反射系数决定了数码静止相机的曝光水平。当来自数码静止相机的图像是采用不足的曝光获得的时候，可以通过增加电子或数字增益总体上维持适当的色调再现，但是图像将会包含不可接受的噪声数量。随着曝光的增加，增益下降，因而图像噪声通常可以下降到可接受的水平。如果曝光过分地增加，在图像较亮区域中的结果信号可能会超出图像传感器或相机信号处理的最大信号水平容量。这可能引起图像的高亮部分被截取成为一个均匀亮度区域，或者发晕到图像的周边部分。指导用户设置合适的曝光是重要的。ISO 速率旨在用作为这种指导。为了使摄影者易于理解，数字静止相机的 ISO 速率直接联系到摄影胶片相机的 ISO 速率。例如，如果数字静止相机具有 ISO200 的 ISO 速率，则相同的曝光时间和光圈将适合于 ISO200 速率的胶片/处理系统。

ISO 速率旨在与胶片 ISO 速率相协调。然而，在电子和基于胶片的图像系统之间存在区别使二者不能严格一致。数字静止相机可以包括可变增益，并可以在图像数据被采集之后提供数字处理，允许在相机曝光范围之上实现色调再现。因而对数码静止相机来说具有一定范围的速率是可能的。该范围被定义为 ISO 速度范围。为了防止混乱，指定一个单一值为固有 ISO 速率，由具有 ISO 速度范围的上下限指示该速率范围，即，包括不同于固有 ISO 速率的有效速率的范围。在此思想下，固有 ISO 速率是从数字静止相机的焦平面上提供的曝光中计算获得的数值，以产生特定相机输出信号特性。该固有速率通常是令给定的相机系统在正常场景下产生最高图像质量的曝光指数值，其中曝光指数是与向图像传感器提供的曝光成反比例的数值。

对数码相机的上述介绍对本领域技术人员而言是熟知的。显然具有本实施例的多种可能的变形，可以选择这些变形以减少成本，增加特性或改善相机的性能。下面将详细描述按照本发明该相机采集图像的操作。尽管该介绍是关于数码相机的，可以理解本发明可应用于任何种类的具有带彩色和全色像素的图像传感器的图像采集设备。

图 1 所示的图像传感器 20 典型地包括制作在硅衬底上的光敏感像素的二维阵列，该衬底提供把每个像素上的入射光转化成被测量的电信号的方法。当该传感器被曝光时，生成自由电子并在每个像素的电子结构之内俘获这些自由电子。在一段时间内俘获这些自由电子，通过测量俘获的自由电子数，或者测量自由电子生成的速率，可以测量每个像素的照明水平。在之前的情况下，积累的电荷被转移出像素阵列，充电至电压测量电路，如在电荷耦合装置（CCD）中那样，或者靠近各个像素的区域包含充电到电压测量电路的元件，如有源像素传感器（APS 或 CMOS 传感器）中那样。

在下面的介绍中无论何时概括的提到图像传感器，则可以理解表示为图 1 中的图像传感器 20。更进一步地可以理解在本说明书中公开的本发明的图像传感器体系和像素图案的所有示例和其等效方式可用于图像传感器 20。

在图像传感器的环境中，像素（“图像元素”的概括）指的是离散的光传感区域和与该光传感区域相关联的电荷转移或电荷测量电路。在数字彩色图像的环境中，术语像素一般指的是具有相关的彩色值的图像中的特定位置。

为了生成彩色图像，图像传感器中的像素阵列典型地具有置于其上的滤色器图案。图 2 表示常用的红，绿，蓝滤色器图案。如在 US3,971,065 中公开的内容，该特定图案一般因其发明人 Bryce Bayer 而被称为拜尔滤色器阵列（CFA）。该图案可以有效地应用于具有彩色像素的二维阵列的图像传感器。结果，每个像素具有一个特定的颜色光响应，其在这种情况下是对红，绿或蓝光的主要敏感度。颜色光响应的另一个有用的变形是对品红，黄或蓝绿色光的主要敏感度。在各个情况下，特定的颜色光响应对可见光谱中的特定部分具有较高的敏感度，且同时对可见光谱中的其它部分具有较低的敏感度。术语彩色像素指的是具有颜色光响应的像素。

选择用于传感器的一组颜色光响应通常具有三种颜色，如在拜尔 CFA 中所示，但是它也可以包括四种或更多颜色。正如这里使用的，全色光响应指的是具

有比那些选中的一组颜色光响应中所表示的光谱敏感度要宽的光谱敏感度的光响应。全色光敏性在整个可见光光谱内具有高敏感度。术语全色像素指的是具有全色光响应的像素。尽管全色像素总体上具有比一组颜色光响应要宽的光谱敏感度，每个全色像素可以具有相关的滤波器。该滤波器可以是中密度过滤器或滤色器。

当彩色和全色像素的图案处于图像传感器的表面上时，每个所述图案具有一个重复单元，该重复单元作为基本结构块的像素邻近子阵列。通过毗邻设置该重复单元的多个拷贝，生成整个传感器图案。该重复单元的多个拷贝的毗邻设置可沿对角线方向以及水平和垂直方向上完成。

最小重复单元是这样的重复单元，使得没有其它重复单元具有更少的像素的。例如，图2中的CFA包括 $2 \times 2$ 像素的最小重复单元，如图2中的像素块100所示。平铺多个该最小重复单元的拷贝以覆盖图像传感器的整个像素阵列。所示最小重复单元在其右上角是绿色像素，但是通过向右、向下或沿向着右下方的对角线移动粗线区域一个像素距离可以容易地看出三个可选择地最小重复单元。尽管像素块102是一个重复单元，它并不是最小重复单元，因为像素块100是一个重复单元且像素块100具有的像素比像素块102少。

用具有图2中的CFA的二维阵列的图像传感器采集的图像在每个像素上只有一个彩色值。为了产生全色图像，存在多种技术用来推断或内插每个像素处缺失的颜色。这些CFA内插技术是现有技术中公知的，可参照以下专利：US5506619，US5629734和US5652621。

图3表示在典型的相机应用中带有红、绿和蓝色滤色器的像素的相对光谱敏感度。图3中的X轴按纳米表示光波长，Y轴表示效率。在图3中，曲线110表示用于阻断红外和紫外线到达图像传感器的典型滤波器的光谱传输特性。需要该滤波器是因为典型地用于图像传感器的滤色器不阻断红外线，因此像素不能区分红外线和在与像素相关联的滤色器的通带内的光线。由曲线110表示的红外阻断特性防止红外线混淆可见光信号。光谱量子效率，即对具有红、绿和蓝色滤色器的典型硅传感器而言，被俘获并转化成可测量的电信号的入射光子的比例，乘以用曲线110表示的红外阻断滤波器的光谱传输特性以生成组合的系统的量子效率，用代表红色的曲线114，代表绿色的曲线116，代表蓝色的曲线118来表示。从这些曲线中可以理解每个颜色光响应仅对可见光谱一部分敏感。作为对比，不使用滤色器（但是包括红外阻断滤波特性）的相同的硅传感器的光响应曲线112

示出，这是全色光响应的示例。通过在颜色光响应曲线 114，116 及 118 和全色光响应曲线 112 之间比较，很清楚全色光响应比任意颜色光响应对宽光谱光线敏感三到四倍。

图 3 所示的更高的全色敏感度允许通过见含有滤色器的像素和不包含滤色器的像素互混合来改善图像传感器的整体敏感度。然而，滤色像素敏感性显著弱于全色像素。在这种情况下，如果全色像素被适当的曝光，以使来自场景的光强度的范围覆盖全色像素的全部测量范围，则彩色像素将会显著地曝光不足。因此，调整滤色像素的敏感度以使它们具有与全色像素大致相同的敏感度是有利的。例如，通过增加彩色像素相对于全色像素的尺寸，相关联减少空间像素，来增加彩色像素的敏感度。

图 4A 表示具有两个组的像素二维阵列。来自第一像素组的像素比来自第二像素组的像素具有较窄的光谱响应。第一组像素包括关于对应于至少两种滤色器的至少两种不同光谱响应的各个像素。互混合这两组像素以改善传感器的整体敏感度。在本说明书中将会更清楚看到，第一和第二组像素的分布定义了具有包括至少十二个像素的最小重复单元的图案。该最小重复单元包括第一和第二组像素，第一和第二组像素排列成允许在不同照明条件下采集的彩色图像的重现。

图 4A 中所示的完整图案表示了被平铺以覆盖整个像素阵列的最小重复单元。与图 2 中一样，具有多个其它的最小重复单元用于描述彩色和全色像素的整体分布，但是它们在特性上全都实质上相同，并且每个都是像素的子阵列，该子阵列在范围上均为  $8 \times 8$  像素。该图案的一个重要特性是交替的全色和彩色像素行，其中彩色像素行把相同颜色光响应的像素聚合在一起。具有相同光响应的像素组连同它们的一些相邻全色像素被认为形成组成最小重复单元的四个细胞，每个细胞是毗邻的像素子阵列，具有的像素比最小重复单元少。

这四个细胞，在图 4A 中用黑线绘制，在图 5 中表示为细胞 120，122，124 和 126，每个包含四组  $4 \times 4$  个像素，其中 120 表示左上方细胞，122 表示右上方细胞，124 表示左下方细胞且 126 表示右下方细胞。四个细胞中的每一个包括八个全色像素和八个具有相同的颜色光响应的彩色像素。在一个细胞中的彩色像素被合并以表示整个细胞的颜色。因此，图 5 中的细胞 120 认为是一个绿色细胞，细胞 122 认为是红色细胞，以此类推。每个细胞包括至少两个相同颜色的像素，从而允许相同颜色的像素被合并以克服彩色像素和全色像素之间的光敏感度的差

异。

在最小重复单元具有四个非重叠的细胞的情况下，其中每个细胞具有两个相同颜色的像素和两个全色像素，很明显最小重复单元包括十六个像素。在最小重复单元具有三个非重叠细胞的情况下，其中每个细胞具有两个相同颜色的像素和两个全色像素，很明显最小重复单元包括十二个像素。

按照本发明，当考虑到图5所示的细胞结构的光时，图4A的最小重复单元可以呈现高分辨率全色图像和低分辨率拜尔图案彩色图像的组合，其排列为允许在不同照明条件下采集的彩色图像的再现。拜尔图案图像的各个元素代表对应细胞中的彩色像素的组合。第一组像素定义了一个低分辨率滤色器阵列图像，且第二组像素定义了一个高分辨率全色图像。参见图6A和图6B，图6A表示与图4A相对应的高分辨率全色图像，包括来自图4A的全色像素P和内插的全色像素P'；图6B表示低分辨率拜尔图案彩色图像，其中R'，G'和B'代表图5中描画的各个细胞，细胞颜色与细胞中的组合彩色像素相关联。

在下面的讨论中，在图4B—D，8A—D，9，10A—B，11A，11C，12A—B，13A—C，14A—B和15A—B中全部细胞以粗线勾勒，如同其在图4中一样。

除了图4A中的可选最小重复单元，该图案中每个细胞可以旋转90度以形成图4B所示的图案。这实质上是相同的图案，但是它将最高全色采样频率置于纵向方向而不是横向方向。选择使用图4A或图4B取决于希望在纵向方向还是在横向方向上具有较高的全色空间采样。然而，很明显在两种图案中组成最小重复单元的最终细胞为两个图案生成相同的低分辨率彩色图像。因而，图4A和图4B从颜色的角度来看是等效的。总的来说，图4A和4B是以全色像素在行或列上线性分布来实施本发明的示例。而且，图4A具有单行全色像素，每一行通过彩色像素行与相邻的全色像素行分开；图4B在列的方向上具有相同的特征。

图4C表示图4A的另外的可选最小重复单元，具有实质上相同的细胞颜色特性。然而，图4C表示全色和彩色行以逐个细胞为基础交错。这可以改善垂直全色分辨率。图4A的另外的可选最小重复单元示于图4D，其中全色和彩色行以列对相交错。这也具有改善垂直全色分辨率的潜力。图4A—D中所有最小重复单元的特征都是两个或更多的相同彩色像素的组在行或列上并排分布。

图4A—D全都具有相同的颜色结构，具有组成表示低分辨率的拜尔图案的最小重复单元的细胞。因此能够看到在本发明的精神之内可以构造多种全色像素

和分组的彩色像素的排列。

为了增加彩色光敏性以克服全色光敏性和彩色光敏性之间的不一致，每个细胞内的彩色像素以多种方式加以组合。例如，在 CCD 图像传感器或允许贮存（binning）的有源像素传感器类型中来自相同彩色像素的电荷被合并或贮存。可选地，例如通过被充电到这些电压的并联电容来平均在相同彩色像素中与电荷的测量值相对应的电压。在其它的方式中，在相同彩色像素上的照明水平的数字表示被相加或平均。来自两个像素的合并或贮存电荷使信号电平加倍，而与采样和读取合并信号相关的噪声保持相同，因此以两倍的因数增加了信噪比，代表在合并像素的光敏性相应地增加两倍。在对来自两个像素的照明水平的数字表示相加的情况下，结果信号以两倍因数增加，但是来自读取的两个像素的相应噪声电平按积分合并，因此按照 $\sqrt{2}$  倍增加噪声；合并像素的结果信噪比与未合并信号相比按 $\sqrt{2}$  倍增加。类似的分析可应用于电压或数字平均。

上面提到的合并来自一个细胞内的相同彩色像素的合并信号的方法可单独使用或联合使用。例如，通过纵向地合并来自图 4A 中每两个一组的相同彩色像素的电荷，生成具有图 7A 所示的合并信号 R',G'和 B'的合并像素。在这种情况下，每个 R',G'和 B'具有非合并像素两倍的敏感度。可选地，横向地合并来自图 4A 中四个一组的相同彩色像素的测量值（电压或数值）可生成具有图 7B 所示的合并信号 R',G'和 B'的合并像素。在此情况下，虽然信号以四倍因数增加，但噪声增加两倍，每个 R',G'和 B'具有非合并像素两倍的敏感度。在其它的可选的合并方案中，纵向合并来自图 7A 所示的每两个一组的相同彩色像素的电荷，并横向相加或平均图 7A 的每四个一组的合并像素的测量值以产生图 7C 的最终合并彩色像素，其中 R'',G''和 B''表示相同彩色像素的最终合并结果。在该合并排列中，图 7C 中的每个最终合并彩色像素具有非合并像素四倍的敏感度。一些传感器结构，特别是特定 CCD 结构，允许每个细胞内的全部八个相同彩色像素按照图 7C 的方式合并，使合并彩色像素在敏感度上增加八倍。

如前所述，可以理解在为了调整彩色像素的光敏性而合并彩色像素方面具有一定的自由度。本领域技术人员可以采用公知的合并方式，这些合并方式基于场景内容，场景照度，整体照明水平或其它因素。此外，选择合并方式以便有意地使合并像素比全色像素具有较低或较高的敏感度。

至此图像传感器已被介绍采用红、绿和蓝色滤色器。本发明可以采用可选地



滤色器来实施。使用品红、蓝绿和黄色传感器的图像传感器是本领域公知的，本发明可以采用品红、蓝绿和黄色滤色器来实施。图8A表示图4A的品红，蓝绿和黄色滤色器等效形式，其中C代表品红像素，M代表蓝绿像素且Y代表黄色像素。本发明也可以用于具有多于三种的颜色光响应的像素。

图8B表示本发明的最小重复单元，其包含品红像素（用C表示），蓝绿像素（用M表示），黄色像素（用Y表示）以及绿色像素（用G表示）。其保留图5所示的最小重复单元的整体细胞排列，但是包括四种不同彩色像素和因此四种不同颜色相对应细胞。图8C表示另外的可选的四种颜色排列，包括红色像素（用R表示），蓝色像素（用B表示），具有一种颜色光响应的绿色像素（用G表示）和可选地具有不同的颜色光响应的绿色像素（用E表示）。图8D表示另外的可选的四种颜色分布，其中图4A中的绿色细胞之一被黄色细胞代替，其中黄色像素用Y表示。

本发明能以除全色像素以外少于三种颜色加以实施。例如，具有对应红色和蓝色的细胞的最小重复单元是适于使用的。

在本发明的精神之内图4A的多个变形可加以实施。例如，图9表示本发明可选的最小重复单元，具有与图4相同的细胞结构，但是具有全色像素的棋盘图案。该图案提供图像的均衡的全色采样，克服了图4A，4C和4D中的垂直全色采样缺陷。图9的特征在于它是将全色像素按对角线排列来实施本发明的示例。图9的更进一步的特征在于具有全色像素的单行对角线，其中每一个对角线与全色像素的相邻对角线通过一条彩色像素对角线分开。图9的其它特征是两个或更多的相同彩色像素组以对角线并排排列。

目前已经展示的图案具有相同数量的全色和彩色像素。本发明不仅限于这种排列，而可以具有比彩色像素更多的全色像素。图10A表示本发明的另一实施例，其中彩色像素被嵌入全色像素的栅格之内。相比按图4A和图9排列的相同颜色细胞，该图案提供了非常好的全色空间采样。图10B提供了该全色栅格图案的四种颜色实施例的示例。总的来说，图10的最小重复单元的特征是通过一个或多个全色像素使每个彩色像素和相邻彩色像素进行分隔开。

对给定的像素图案，最小重复单元先前已经被定义为没有具有更少像素的其它重复单元的重复单元。在相同的定义下，来自不同像素图案的重复单元的尺寸按照该重复单元中的像素总数加以比较。例如，来自一个像素图案的4\*8像素重

复单元小于来自另一像素图案的  $6 \times 6$  像素重复单元,这是因为在第一个重复单元中的像素总数 ( $4 \times 8 = 32$ ) 小于第二个重复单元中的像素总数 ( $6 \times 6 = 36$ )。进一步举例,一个小于具有  $8 \times 8$  像素的重复单元的重复单元包含的全部像素少于 64 个。

目前表示的全部图案展示了细胞结构,其中每个细胞除全色像素之外还包括一种单色。此外,目前表示的全部图案都展示了  $8 \times 8$  像素范围的最小重复单元。具有在每个细胞中多于一种颜色的细胞的最小重复单元也可被使用;同样,最小重复单元可被定义为在范围上小于  $8 \times 8$  像素。例如,图 11A 所示的最小重复单元具有两个细胞,每个细胞包含两种颜色:在左侧的细胞中是蓝色和绿色(分别表示为 B 和 G),在右侧的细胞中是红色和绿色(分别表示为 R 和 G)。在图 11A 中细胞包含两种颜色,出于改善颜色敏感度的目的这些颜色按照方便合并相同颜色的方式排列。图 11B 表示图 11A 的最小重复单元是如何平铺以便交错红色和蓝色。图 11C 提供使用四种颜色且每个细胞两种颜色的最小重复单元。图 11D 表示图 11C 的最小重复单元是如何平铺以便交错红色和蓝色。在图 11D 中粗的颜色图案的特征在于在绿色范围内的两种不同颜色光响应(用 G 和 E 表示)的棋盘与红色和蓝色(分别用 R 和 B 表示)的棋盘相交错。图 12A 提供图 11A 的全色棋盘形式,而图 12B 提供图 11C 的全色棋盘形式。总的来说,图 11A 和图 11C 中的最小重复单元的特征在于通过不同的像素、不同颜色的像素或者全色像素,将每个彩色像素与在行和列上相邻的彩色像素分隔开。

目前介绍的最小重复单元是  $8 \times 8$  或者  $4 \times 8$  像素范围。然而,最小重复单元可以更小。例如,图 13A 与图 4A 类似,但是其中每个颜色细胞为 3 个像素宽乘以 4 个像素高,整个最小重复单元为 6 个像素宽乘以 8 个像素高。图 13B 去掉图 13A 中的两行彩色像素,因而产生  $3 \times 3$  个像素的细胞和  $6 \times 6$  个像素的最小重复单元。图 13C 进一步去掉两个全色行,因而产生 3 个像素宽乘以 2 个像素高的细胞(每个细胞包括三个全色像素和三个彩色像素)和 6 个像素宽乘以 4 个像素高的最小重复单元。如果合并每个细胞中的颜色的方案需要少于图 4A 和其它图案中所示的像素的数量,则图 13A 到图 13C 中所示的图案特别适用。

图 14A 表示其它的最小重复单元。图 14A 中的最小重复单元为  $6 \times 6$  像素,其中每个细胞包括一种单色的四像素菱形图案,剩余 5 个像素是全色像素。图 14A 所示的全色空间采样图案是略微不规则的,建议采用图 14B 的图案,其中有一个

全色棋盘，在每个  $3 \times 3$  像素细胞中的其余像素被一种单色占据。

图 15A 表示  $4 \times 4$  像素的最小重复单元，包括四个  $2 \times 2$  像素细胞。注意每个细胞包括两个全色像素和两个相同颜色的像素。该发明需要在每个  $2 \times 2$  细胞中放置两个相同颜色的像素以便方便合并每个细胞内的彩色像素。图 15B 类似于图 15A，但是使用了全色棋盘图案。

现在转到图 16，图 5 中所示的最小重复单元被划分为四个细胞，细胞是具有比最小重复单元的像素还要少的像素的毗邻像素子阵列。提供如下的处理所需的软件包含于图 1 中的 DSP36 中。细胞 220，224，226 和 228 是细胞的示例，其中这些细胞包含分别具有绿色，红色，蓝色和绿色光响应的像素。在此示例中，细胞 220 包括全色像素和绿色像素两者，绿色像素被标识为像素组 222。最终的目的是通过合并来自在像素组 222 中的绿色像素的八个绿色信号为细胞 220 产生单个绿色信号。取决于图像传感器的操作模式，通过合并模拟域的全部八个绿色信号（例如，通过电荷贮存）生成单个绿色信号，或者通过合并从像素组 222 中取出的更小的像素组来生成多个绿色信号。细胞 220 中的全色像素如图 17A 所示。在下面的示例中，对来自这些全色像素的全部八个信号各个进行数字化。细胞 220 的绿色像素在图 17B—图 17E 中示出，其中根据它们的信号在模拟域中是如何被合并来将它们一起分组。图 17B 描述了全部八个绿色像素被合并从而为细胞 220（图 16）产生单一绿色信号的例子。传感器可以产生两个绿色信号，例如，可通过先合并来自像素 G21，G22，G23 和 G24 的信号，然后再合并来自像素 G41，G42，G43 和 G44 的信号，如图 17C 所示。两个信号也可以以其它方式产生。传感器可以首先合并来自像素 G21，G22，G41 和 G42 的信号，然后再合并来自像素 G23，G24，G43 和 G44 的信号，如图 17D 所示。传感器也可以通过合并四对信号为细胞 220 生成四个绿色信号，例如，合并像素 G21 和 G22，然后合并 G23 和 G24，然后合并 G41 和 G42，最后合并 G43 和 G44，如图 17E 所示。很清楚具有很多另外的方法来合并细胞 220（图 16）内的绿色信号对。如果传感器不作任何合并，则细胞 220 的全部八个绿色信号各自被报告。因而，在细胞 220 的例子中，传感器可以为细胞 220 产生一个，两个，四个或八个绿色信号值，并按不同的方式产生它们，这取决于它的操作模式。

对于细胞 224，226 和 228（图 16），传感器依靠它的操作模式生成类似的彩色信号。细胞 224，226 和 228 的颜色信号分别是红色，蓝色和绿色的。

回到细胞 220 的例子，不论对该细胞的多少个信号进行了数字化，本发明的图像处理算法进一步合并数字化的绿色值以为该细胞生成单一绿色值。获得单一绿色值的一个方法是对为细胞 220 生成的全部数字化绿色值求平均值。如果细胞包含不同光响应的彩色像素，该细胞内的全部颜色数据类似地被合并以便该细胞内的每个颜色光响应具有一个单一值。

重要的是区分属于在采集最初图像数据的原始传感器中的像素的彩色值和属于原始传感器中的细胞的彩色值。两种类型的彩色值都用于产生彩色图像，但是产生的彩色图像的分辨率不同。具有与原始传感器中的像素相关的像素值的图像被称为高分辨率图像，而具有与原始传感器内的细胞相关的像素值的图像被称为低分辨率图像。

现在转向图 18，所示数字信号处理模块 36（图 1）从数据总线 30（图 1）接收采集的原始图像数据。该原始图像数据被传送到低分辨率的部分颜色模块 202 和高分辨率的全色模块 204。图像传感器的最小重复单元的示例已经在图 5 和图 16 中示出。在细胞 220（图 16）的例子中，采集的原始图像数据包括由图 17A 所示的各个全色像素产生的全色数据。同样，对细胞 220（图 16）来说，也包括一个或多个绿色（颜色）值，例如，来自图 17B—E 中所示的组合。

在低分辨率的部分颜色模块 202（图 18）中，从采集的原始图像数据中生成部分颜色图像，部分颜色图像是一种彩色图像，其中每个像素具有至少一个彩色值并且每个像素同样缺失至少一种彩色值。取决于传感器的操作模式，采集的原始数据包含由每个细胞中的彩色像素产生的一些彩色值。在低分辨率的部分颜色模块 202 中，这些彩色值被减少到在细胞中表示的每种颜色的一个单一值。作为示例，对细胞 220（图 16）来说，产生一个单一绿色值。相似的，对细胞 224，226 和 228 来说，分别产生单一红色，蓝色和绿色彩色值。

低分辨率的部分颜色模块 202 以类似的方法处理各细胞，结果得到一彩色值阵列，每个细胞对应一个彩色值。因为产生的图像阵列基于细胞而非原始传感器中的像素，其在每个维度上比最初采集的原始图像数据阵列小四倍。因为结果阵列是基于细胞的，并且每个像素具有若干但并非全部的彩色值，产生的图像是低分辨率的部分颜色图像。在这点上，低分辨率的部分颜色图像是色平衡的。

现在注意高分辨率的全色模块 204，使用与图 16 中所示相同的原始图像数据，尽管只使用全色值（图 17A）。这次的任务是通过在那些还没有全色值的像素上估

计全色值来内插完整的高分辨率的全色图像。在细胞 220（图 16）的例子中，必须为像素组 222（图 16）中的绿色像素估计全色值。一个估计缺失的全色值的简单方法是进行垂直平均。因而，例如，我们可以估计像素 22 处的全色值如下：

$$P22 = (P12 + P32) / 2$$

也可以采用自适应的方法。例如，一种自适应的方法是计算三个梯度值并取其绝对值：

$$SCLAS = ABS(P31 - P13)$$

$$VCLAS = ABS(P32 - P12)$$

$$BCLAS = ABS(P33 - P11)$$

使用图 17A 所示的全色值。类似的，三个预测值被计算：

$$SPRED = (P31 + P13) / 2$$

$$VPRED = (P32 + P12) / 2$$

$$BPRED = (P33 + P11) / 2$$

然后，将 P22 设置为等于与最小的分类值相对应的预测值。在相等的情况下，将 P22 设置为等于指定的预测值的均值。全色内插贯穿整个图像持续地进行而不关于细胞边界。当高分辨率的全色模块 204 的处理完成时，产生的数字全色图像与最初采集的原始图像大小相同，这使它成为高分辨率的全色图像。

低分辨率的全色模块 206 接收由模块 204 产生的高分辨率的全色图像阵列并生成与模块 202 产生的低分辨率的部分颜色图像的大小相同的低分辨率的全色图像阵列。通过在一个给定的细胞内为那些带有滤色器的像素平均所估计的全色值来获得各个低分辨率的全色值。在细胞 220（图 16）的例子中，先前为像素组 222 中的绿色像素所估计的高分辨率的全色值现在一起被平均以便为该细胞生成单一低分辨率的单色值。类似的，使用带有红色滤色器的像素处估计得到的高分辨率的全色值为细胞 224 计算单一低分辨率的全色值。以这种方式，每个细胞以一个单一低分辨率的全色值结束。

低分辨率的色差模块 208 从模块 202 接收低分辨率的部分颜色图像并从模块 206 接收低分辨率的全色阵列。通过在来自低分辨率的全色图像的指导下颜色内插低分辨率的部分颜色图像形成低分辨率的中间颜色图像。下面将详细讨论，颜色内插算法的精确性质取决于使用哪种像素光响应图案来采集最初的原始图像数据。

在低分辨率的中间颜色图像形成之后对其进行颜色校正。一旦低分辨率的中间颜色图像被颜色校正，通过从每个低分辨率的颜色平面中减去低分辨率的全色图像来计算色差的低分辨率图像。高分辨率的色差模块 210 从模块 208 接收低分辨率的色差图像，并使用双线性内插，上采样低分辨率的色差图像以与最初的原始图像数据的尺寸相匹配。其结果是高分辨率的色差图像与模块 204 产生的高分辨率的全色图像尺寸相同。

高分辨率的最终图像模块 212 接收来自模块 210 的高分辨率的色差图像和来自模块 204 的高分辨率的全色图像。接着通过每个高分辨率的色差平面与高分辨率的全色图像相加，形成高分辨率的最终颜色图像。然后可以对作为结果的高分辨率的最终颜色图像作进一步的处理。例如，将其存储于 DSP 的存储模块 32 中（图 1）并接着对其进行锐化和压缩以便储存在存储卡模块 64（图 1）中。

图 4A—D, 8A, 9, 10A, 13A—C, 14A—B 和 15A—B 所示的传感器滤色器图案具有最小重复单元，从而在模块 202 中生成的作为结果的低分辨率的部分颜色图像对于滤色器显示重复的拜尔图案：

G R  
B G

除了通过低分辨率的部分颜色图像给出的单一彩色值，每个细胞还具有由低分辨率的全色图像给出的全色值。

现在，考虑在低分辨率的部分颜色图像中呈现拜尔图案的例子，可以更具体的介绍在低分辨率的色差模块 208（图 18）中的颜色内插任务。颜色内插以在不具有绿色值的像素上内插绿色值开始，如图 19A 中的像素 234 所示。四个相邻像素，如像素 230, 232, 236 和 238 所示，全都具有绿色值且它们还全部具有全色值。中心像素 234 具有全色值，但是不具有用问号表示的绿色值。

第一步是计算两个分类值，第一个涉及水平方向，且第二个涉及垂直方向：

$$HCLAS = ABS(P4 - P2) + ABS(2 * P3 - P2 - P4)$$

$$VCLAS = ABS(P5 - P1) + ABS(2 * P3 - P1 - P5)$$

接着，计算两个预测值，第一个涉及水平方向，且第二个涉及垂直方向：

$$HPRED = (G4 + G2) / 2 + (2 * P3 - P2 - P4) / 2$$

$$VPRED = (G5 + G1) / 2 + (2 * P3 - P1 - P5) / 2$$

最后，令 THRESH 等于一个根据经验确定的阈值，按照下面的程序，我们可

以自适应地计算缺失值, G3:

```

IF MAX (HCLAS, VCLAS) < THRESH
G3 = (HPRED + VPRED) / 2
ELSEIF VCLAS < HCLAS
G3 = VPRED
ELSE
G3 = HPRED
END

```

因而, 如果两个分类值都小于阈值, 则计算两个预测值的平均值作为 G3。否则, 根据分类值 HCLAS 或 VCLAS 中的哪个更小来决定使用 HPRED 或者 VPRED。

一旦估计出全部缺失的绿色值, 就开始内插缺失的红色和蓝色值。如图 19B 所示, 像素 242 缺失红色值, 但是它的两个水平相邻像素 240 和 244 分别具有红色值 R2 和 R4。三个像素全部具有绿色值。在这些条件下, 对像素 242 的红色值 (R3) 的估计可以被计算如下:

$$R3 = (R4 + R2) / 2 + (2 * G3 - G2 - G4) / 2$$

在相似的条件下来以相似的方式计算缺失的蓝色值。此时, 仍然具有缺失的红色和蓝色值的像素只有那些需要垂直内插的像素。如图 19C 所示, 像素 252 缺失红色值且它的两个垂直相邻的像素 250 和 254 分别具有红色值 R1 和 R5。在这种情况下, 对像素 252 的红色值 (R3) 的估计可以计算如下:

$$R3 = (R5 + R1) / 2 + (2 * G3 - G1 - G5) / 2$$

在相似的条件下来以类似的方式计算缺失的蓝色值。这完成了低分辨率的部分颜色图像的内插, 结果得到低分辨率的中间颜色图像。如前面所述, 现在可以通过从每个颜色平面——在刚刚讨论的例子中是红色、绿色和蓝色——中减去低分辨率的全色值来计算低分辨率的色差。

并不是所有的传感器都产生显示彩色值的重复拜尔图案的低分辨率的部分颜色图像。例如, 图 11A 中所示的传感器图案决定了每个细胞接收两种彩色值: 绿色和红色或者绿色和蓝色。因此, 在这种情况下, 在低分辨率的色差模块 208 (图 18) 中的颜色内插任务为每个像素估计缺失的红色值或者缺失的蓝色值。参照图 19D, 所示像素 264 具有绿色值 (G3) 但是没有红色值 (R3)。四个相邻像

素 260, 262, 266 和 268 具有绿色值和红色值。为像素 264 (图 19D) 内插红色值的方法与为像素 234 (图 19A) 内插绿色值使用的方法相似。

第一步是计算两个分类值, 第一个涉及水平方向, 而第二个涉及垂直方向:

$$HCLAS = ABS(G4 - G2) + ABS(2 * G3 - G2 - G4)$$

$$VCLAS = ABS(G5 - G1) + ABS(2 * G3 - G1 - G5)$$

然后, 计算两个预测值, 第一个涉及水平方向, 且第二个涉及垂直方向:

$$HPRED = (R4 + R2) / 2 + (2 * G3 - G2 - G4) / 2$$

$$VPRED = (R5 + R1) / 2 + (2 * G3 - G1 - G5) / 2$$

最后, 令 THRESH 等于一个根据经验确定的阈值, 按照下面的程序自适应地计算缺失的值 G3:

```
IF MAX (HCLAS, VCLAS) < THRESH
```

```
  R3 = (HPRED + VPRED) / 2
```

```
ELSEIF VCLAS < HCLAS
```

```
  R3 = VPRED
```

```
ELSE
```

```
  R3 = HPRED
```

```
END
```

因而, 如果两个分类值都小于阈值, 则计算两个预测值的平均值作为 R3。否则, 根据分类值 HCLAS 或 VCLAS 中的哪个更小来决定使用 HPRED 或者 VPRED。

使用蓝色值来代替红色值, 缺失的蓝色值以完全相同的方法被内插。一旦完成, 产生低分辨率的中间颜色图像。至此, 按先前的介绍计算低分辨率的色差。

这里本发明是特别参照特定的优选实施例加以详细介绍的, 但是可以理解在本发明的思想和范围之内可以进行改变和修正。

#### 部件列表

10 来自目标场景的光线

11 图像级

12 镜头

13 中性密度滤光片



---

14	光圈
16	亮度传感器
18	快门
20	图像传感器
22	模拟信号处理器
24	模数 (A/D) 转换器
26	时序发生器
28	图像传感器级
30	数字信号处理器 (DSP) 总线
32	数字信号处理器 (DSP) 存储器
36	数字信号处理器 (DSP)
38	处理级
40	曝光控制器
50	系统控制器
52	系统控制器总线
54	程序存储器
56	系统存储器
57	主机接口
60	存储卡接口
62	存储卡槽
64	存储卡
68	用户控制和状态界面
70	取景显示器
72	曝光显示器
74	用户输入
76	状态显示
80	视频编码器
82	显示控制器
88	图像显示器
100	拜尔图案的最小重复单元

- 102 拜尔图案的非最小重复单元
- 110 红外阻断滤波器的光谱传输曲线
- 112 传感器的未滤色光谱光响应曲线
- 114 传感器的红色光响应曲线
- 116 传感器的绿色光响应曲线
- 118 传感器的蓝色光响应曲线
- 120 第一绿色细胞
- 122 红色细胞
- 124 蓝色细胞
- 126 第二绿色细胞
- 202 低分辨率的部分颜色模块
- 204 高分辨率的全色模块
- 206 低分辨率的全色模块
- 208 低分辨率的色差模块
- 210 高分辨率的色差模块
- 212 高分辨率的最终图像模块
- 220 第一绿色细胞
- 222 第一绿色细胞中的绿色像素
- 224 红色细胞
- 226 蓝色细胞
- 228 第二绿色细胞
- 230 对于内插缺失绿色值的上方像素值
- 232 对于内插缺失绿色值的左侧像素值
- 234 具有缺失绿色值的像素
- 236 对于内插缺失绿色值的右侧像素值
- 238 对于内插缺失绿色值的下方像素值
- 240 对于内插缺失红色值的左侧像素值
- 242 具有缺失红色值的像素
- 244 对于内插缺失红色值的右侧像素值
- 250 对于内插缺失红色值的上方像素值

- 252 具有缺失红色值的像素
- 254 对于内插缺失红色值的下方像素值
- 260 对于内插缺失红色值的上方像素值
- 262 对于内插缺失红色值的左侧像素值
- 264 具有缺失红色值的像素
- 266 对于内插缺失红色值的右侧像素值
- 268 对于内插缺失红色值的下方像素值

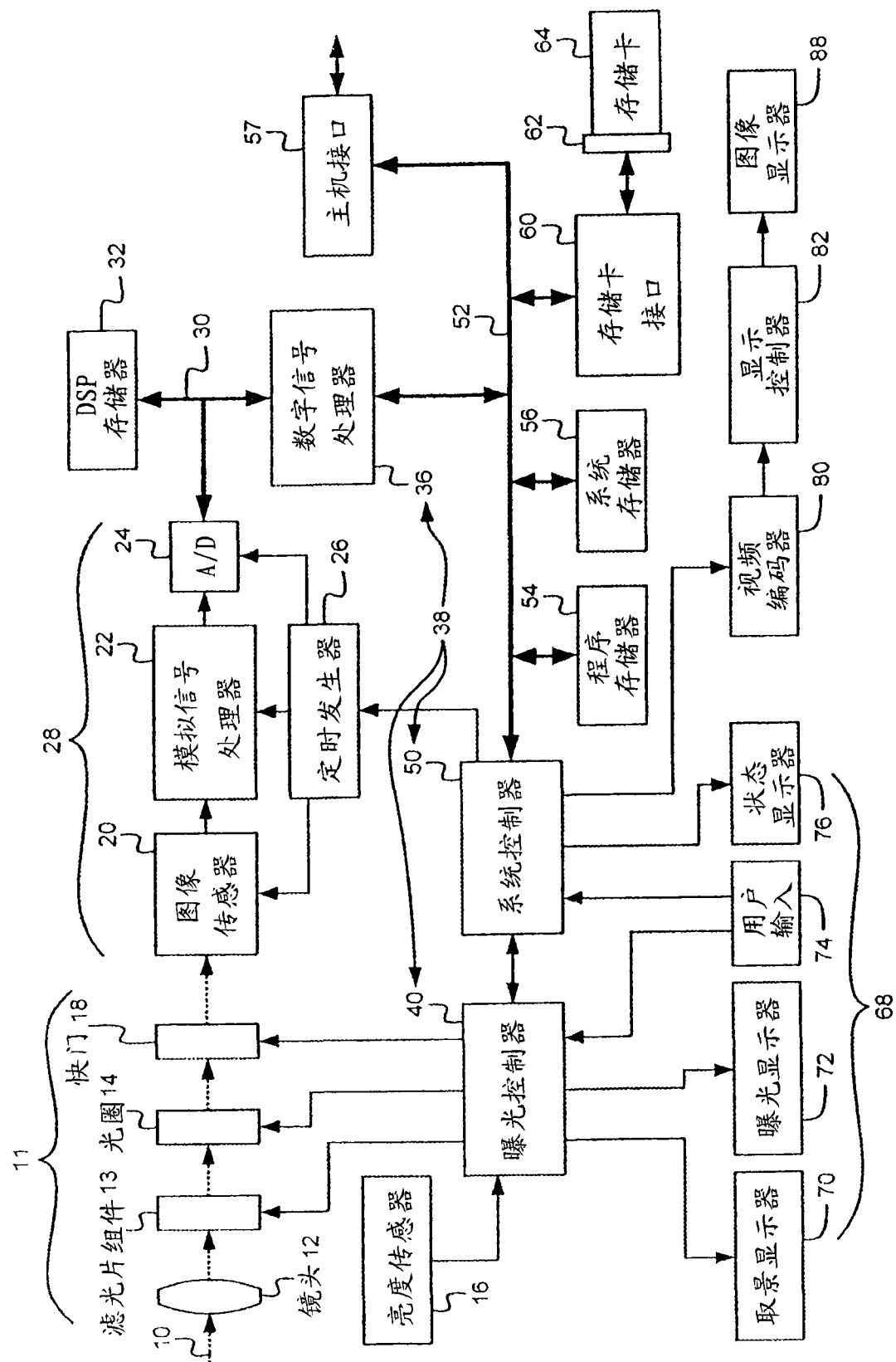


图 1

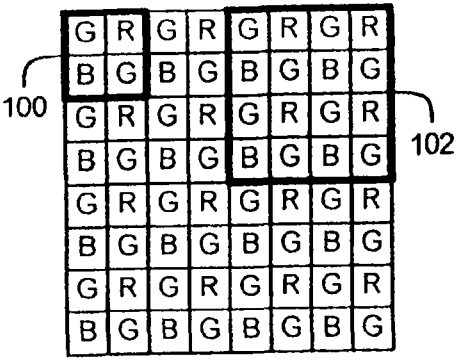


图 2  
(现有技术)

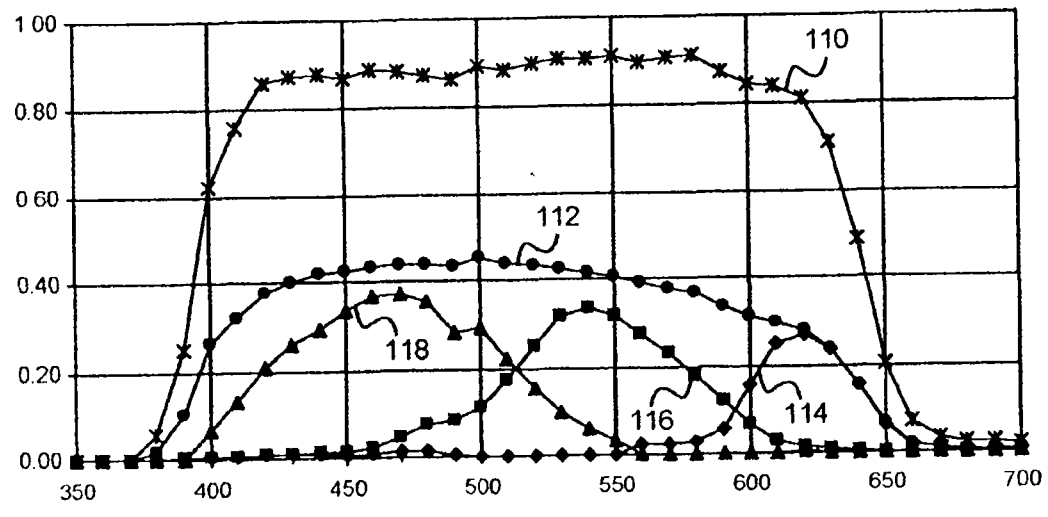


图 3

P	P	P	P	P	P	P	P
G	G	G	G	R	R	R	R
P	P	P	P	P	P	P	P
G	G	G	G	R	R	R	R
P	P	P	P	P	P	P	P
B	B	B	B	G	G	G	G
P	P	P	P	P	P	P	P
B	B	B	B	G	G	G	G

图 4A

P	G	P	G	P	R	P	R
P	G	P	G	P	R	P	R
P	G	P	G	P	R	P	R
P	G	P	G	P	R	P	R
P	B	P	B	P	G	P	G
P	B	P	B	P	G	P	G
P	B	P	B	P	G	P	G
P	B	P	B	P	G	P	G

图 4B

G	G	G	G	P	P	P	P
P	P	P	P	R	R	R	R
G	G	G	G	P	P	P	P
P	P	P	P	R	R	R	R
B	B	B	B	P	P	P	P
P	P	P	P	G	G	G	G
B	B	B	B	P	P	P	P
P	P	P	P	G	G	G	G

图 4C

P	P	G	G	P	P	R	R
G	G	P	P	R	R	P	P
P	P	G	G	P	P	R	R
G	G	P	P	R	R	P	P
P	P	B	B	P	P	G	G
B	B	P	P	G	G	P	P
P	P	B	B	P	P	G	G
B	B	P	P	G	G	P	P

图 4D

120	P	P	P	P	P	P	P	122
	G	G	G	G	R	R	R	
	P	P	P	P	P	P	P	
	G	G	G	G	R	R	R	
124	P	P	P	P	P	P	P	126
	B	B	B	B	G	G	G	
	P	P	P	P	P	P	P	
	B	B	B	B	G	G	G	

图 5

P	P	P	P	P	P	P	P
P'	P'	P'	P'	P'	P'	P'	P'
P	P	P	P	P	P	P	P
P'	P'	P'	P'	P'	P'	P'	P'
P	P	P	P	P	P	P	P
P'	P'	P'	P'	P'	P'	P'	P'
P	P	P	P	P	P	P	P
P'	P'	P'	P'	P'	P'	P'	P'

图 6A

G'	R'
B'	G'

图 6B

G'	G'	G'	G'	R'	R'	R'	R'
B'	B'	B'	B'	G'	G'	G'	G'

图 7A

G'	R'
G'	R'
B'	G'
B'	G'

图 7B

G''	R''
B''	G''

图 7C

P	P	P	P	P	P	P	P
Y	Y	Y	Y	C	C	C	C
P	P	P	P	P	P	P	P
Y	Y	Y	Y	C	C	C	C
P	P	P	P	P	P	P	P
M	M	M	M	Y	Y	Y	Y
P	P	P	P	P	P	P	P
M	M	M	M	Y	Y	Y	Y

图 8A

P	P	P	P	P	P	P	P
Y	Y	Y	Y	C	C	C	C
P	P	P	P	P	P	P	P
Y	Y	Y	Y	C	C	C	C
P	P	P	P	P	P	P	P
M	M	M	M	G	G	G	G
P	P	P	P	P	P	P	P
M	M	M	M	G	G	G	G

图 8B

P	P	P	P	P	P	P	P
G	G	G	G	R	R	R	R
P	P	P	P	P	P	P	P
G	G	G	G	R	R	R	R
P	P	P	P	P	P	P	P
B	B	B	B	E	E	E	E
P	P	P	P	P	P	P	P
B	B	B	B	E	E	E	E

图 8C

P	P	P	P	P	P	P	P
G	G	G	G	R	R	R	R
P	P	P	P	P	P	P	P
G	G	G	G	R	R	R	R
P	P	P	P	P	P	P	P
B	B	B	B	Y	Y	Y	Y
P	P	P	P	P	P	P	P
B	B	B	B	Y	Y	Y	Y

图 8D

P	G	P	G	P	R	P	R
G	P	G	P	R	P	R	P
P	G	P	G	P	R	P	R
G	P	G	P	R	P	R	P
P	B	P	B	P	G	P	G
B	P	B	P	G	P	G	P
P	B	P	B	P	G	P	G
B	P	B	P	G	P	G	P

图 9



P	P	P	P	P	P	P	P
G	P	G	P	R	P	R	P
P	P	P	P	P	P	P	P
G	P	G	P	R	P	R	P
P	P	P	P	P	P	P	P
B	P	B	P	G	P	G	P
P	P	P	P	P	P	P	P
B	P	B	P	G	P	G	P

图 10A

P	P	P	P	P	P	P	P
G	P	G	P	R	P	R	P
P	P	P	P	P	P	P	P
G	P	G	P	R	P	R	P
P	P	P	P	P	P	P	P
B	P	B	P	E	P	E	P
P	P	P	P	P	P	P	P
B	P	B	P	E	P	E	P

图 10B

P	P	P	P	P	P	P	P
B	G	B	G	R	G	R	G
P	P	P	P	P	P	P	P
B	G	B	G	R	G	R	G

图 11A

P	P	P	P	P	P	P	P
B	G	B	G	R	G	R	G
P	P	P	P	P	P	P	P
B	G	B	G	R	G	R	G
P	P	P	P	P	P	P	P
R	G	R	G	B	G	B	G
P	P	P	P	P	P	P	P
R	G	R	G	B	G	B	G

图 11B

P	P	P	P	P	P	P	P
B	E	B	E	R	G	R	G
P	P	P	P	P	P	P	P
B	E	B	E	R	G	R	G

图 11C

P	P	P	P	P	P	P	P
B	E	B	E	R	G	R	G
P	P	P	P	P	P	P	P
B	E	B	E	R	G	R	G
P	P	P	P	P	P	P	P
R	G	R	G	B	E	B	E
P	P	P	P	P	P	P	P
R	G	R	G	B	E	B	E

图 11D

P	G	P	G	P	G	P	G
B	P	B	P	R	P	R	P
P	G	P	G	P	G	P	G
B	P	B	P	R	P	R	P

图 12A

P	E	P	E	P	G	P	G
B	P	B	P	R	P	R	P
P	E	P	E	P	G	P	G
B	P	B	P	R	P	R	P

图 12B

P	P	P	P	P	P
G	G	G	R	R	R
P	P	P	P	P	P
G	G	G	R	R	R
P	P	P	P	P	P
B	B	B	G	G	G
P	P	P	P	P	P
B	B	B	G	G	G

图 13A

P	P	P	P	P	P
G	G	G	R	R	R
P	P	P	P	P	P
P	P	P	P	P	P
B	B	B	G	G	G
P	P	P	P	P	P

图 13B

P	P	P	P	P	P
G	G	G	R	R	R
P	P	P	P	P	P
B	B	B	G	G	G

图 13C

P	G	P	P	R	P
G	P	G	R	P	R
P	G	P	P	R	P
P	B	P	P	G	P
B	P	B	G	P	G
P	B	P	P	G	P

图 14A

G	P	G	P	R	P
P	G	P	R	P	R
G	P	G	P	R	P
P	B	P	G	P	G
B	P	B	P	G	P
P	B	P	G	P	G

图 14B

P	P	P	P
G	G	R	R
P	P	P	P
B	B	G	G

图 15A

P	G	P	R
G	P	R	P
P	B	P	G
B	P	G	P

图 15B

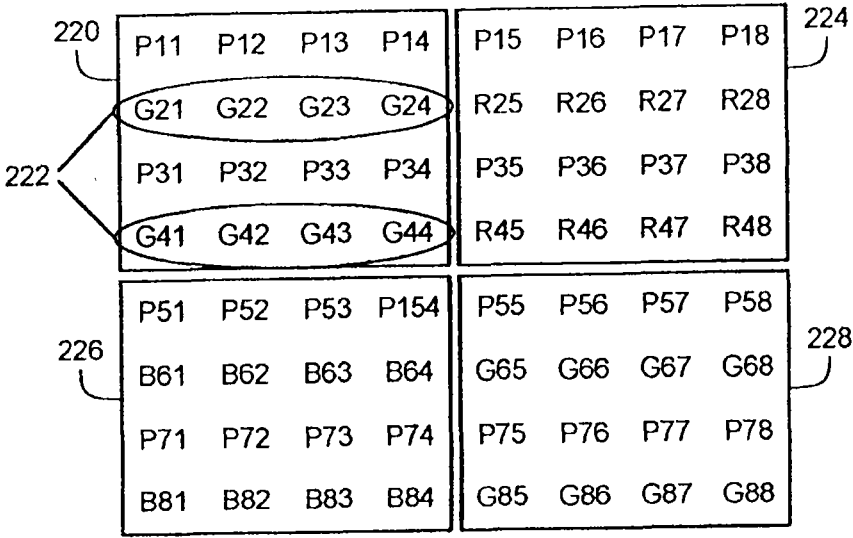


图 16

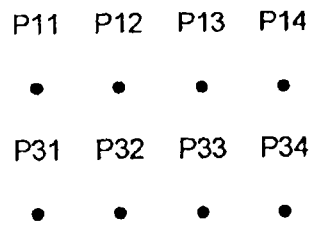


图 17A

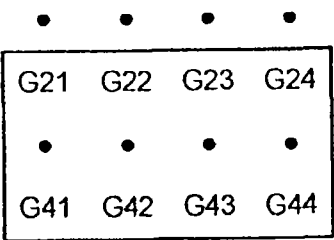


图 17B

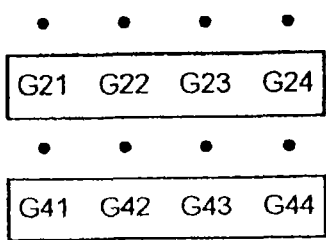


图 17C

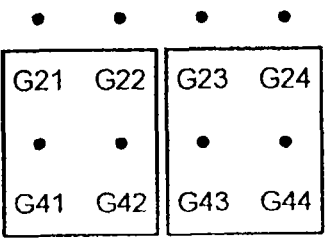


图 17D

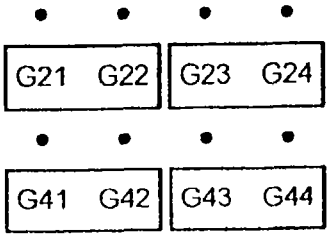


图 17E

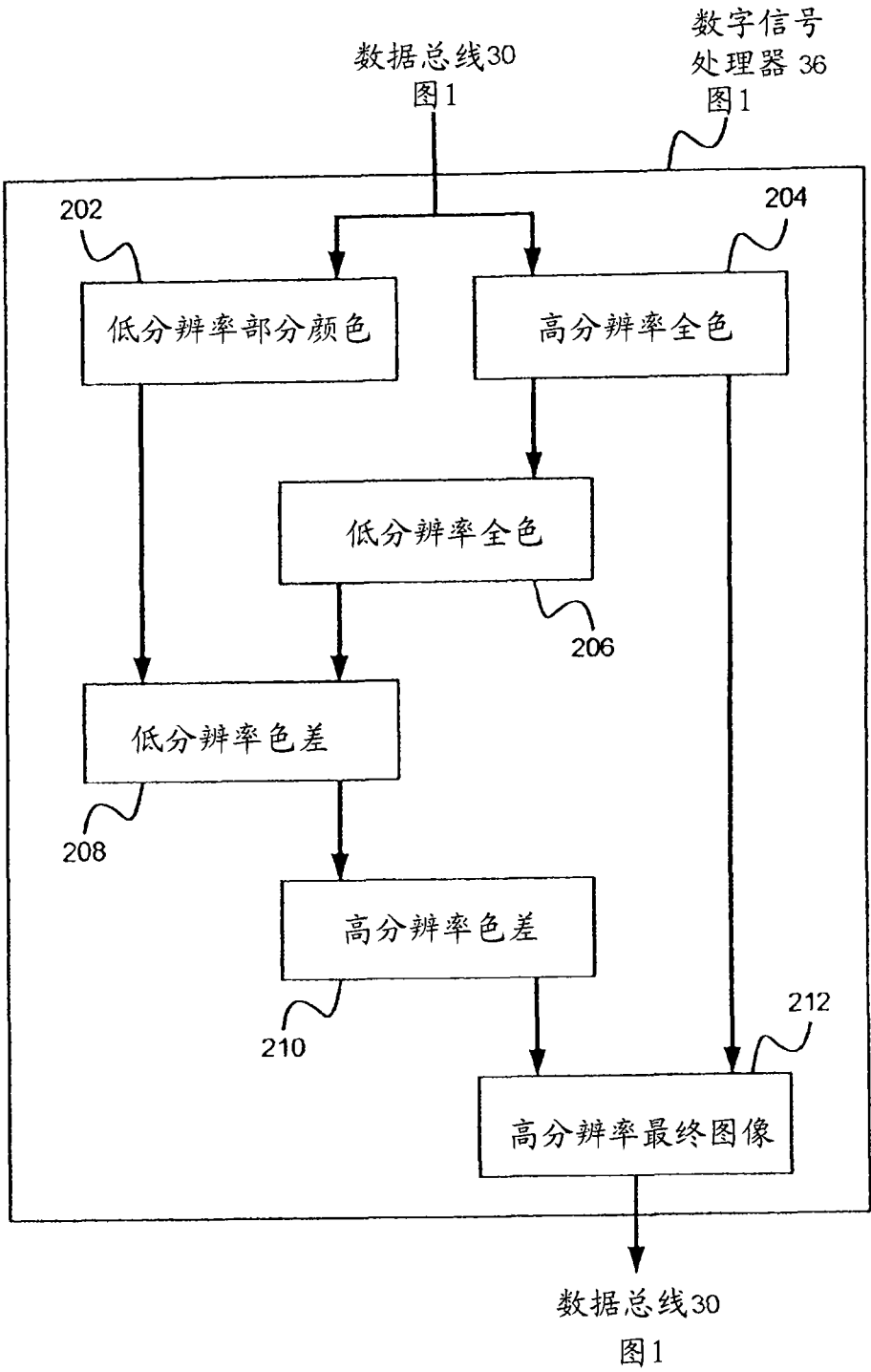


图 18

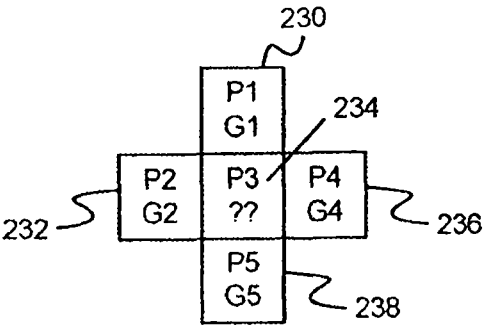


图 19A

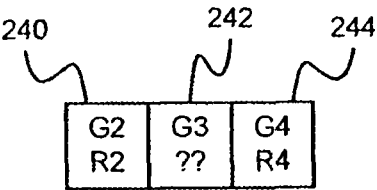


图 19B

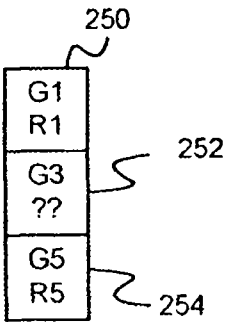


图 19C

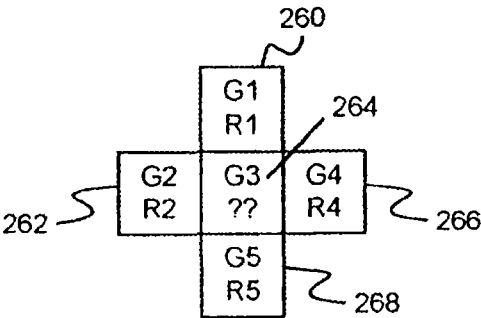


图 19D