



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 101366069 B

(45) 授权公告日 2012. 10. 10

(21) 申请号 200680049964. 9

代理人 褚海英 陈桂香

(22) 申请日 2006. 12. 21

(51) Int. Cl.

(30) 优先权数据

102005063159. 2 2005. 12. 30 DE

G09G 3/32 (2006. 01)

G09G 5/18 (2006. 01)

G06F 17/10 (2006. 01)

(85) PCT申请进入国家阶段日

2008. 06. 30

(56) 对比文件

(86) PCT申请的申请数据

PCT/EP2006/012362 2006. 12. 21

WO 03/091983 A1, 2003. 11. 06, 说明书第 4 页第 3 段 - 第 5 页第 2 段, 第 7 页第 3 段, 第 14 页第 4 段 - 第 16 页第 2 段、附图 4, 5.

(87) PCT申请的公布数据

W02007/079947 DE 2007. 07. 19

WO 97/16811 A1, 1997. 05. 09, 说明书第 5 页第 4 行 - 第 23 行.

(73) 专利权人 X- 莫提夫有限公司

审查员 索子繁

地址 德国萨尔布吕肯

专利权人 奥普特瑞克斯欧洲有限公司

马普科技促进协会

(72) 发明人 徐赤豪 于尔根·瓦尔

弗里德里希·艾森布兰德

安德烈亚斯·卡伦鲍尔 苏建明

克里斯托夫·希策尔斯贝格

(74) 专利代理机构 北京信慧永光知识产权代理

有限责任公司 11290

权利要求书 2 页 说明书 16 页 附图 12 页

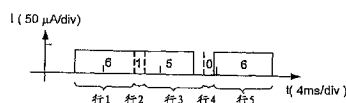
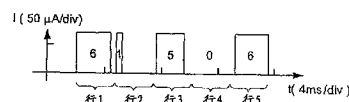
(54) 发明名称

用于驱动矩阵显示器的方法

(57) 摘要

本发明提供了一种用于驱动矩阵显示器 (D) 的方法, 所述矩阵显示器 (D) 由多条具有单个像素 (ij) 的线组成, 所述线被设置为行 (i) 和列 (j), 其中各个线通过使行 (i) 被激活限定的行寻址时间 (t_i) 而被选择性地驱动, 并且作用于与被激活的行 (i) 相关的列 (j) 的工作电流 (I) 或相应电压对应于像素中 (ij) 中的期望亮度 (D_{ij})。为了改进显示器的性能, 用于每行 (i) 的行寻址时间 (t_i) 被确定为行 (i) 的所有列的最大亮度 ($D'_{\max i}$) 的函数。

$$D = \begin{pmatrix} 5 & 6 & 5 \\ 1 & 1 & 1 \\ 6 & 5 & 6 \\ 1 & 0 & 1 \\ 5 & 6 & 5 \end{pmatrix} \text{ 亮}$$



1. 一种用于驱动自发光或非自发光矩阵显示器 (D) 或者所述矩阵显示器 (D) 的部分区域的方法, 所述矩阵显示器 (D) 由多条具有单独像素 (i,j) 的线组成, 所述线被设置为行 (i) 和列 (j), 其中各个所述线被有选择地驱动, 其驱动方式为所述行 (i) 被激活限定的行寻址时间 (t_i), 并且作用于与被激活行 (i) 相关的列 (j) 的工作电流 (I) 或相应电压对应于所述像素 (i,j) 中的期望亮度 (D_{ij}), 用于各所述行 (i) 的所述行寻址时间 (t_i) 被确定为所述行的所有列的最大亮度 ($D_{\max}^i$) 的函数, 其特征在于,

所述矩阵显示器 (D) 的图像数据或者所述矩阵显示器 (D) 的图像数据的部分区域被分解成多个图像数据矩阵 (S, M2, M3, M4),

所述多个图像数据矩阵 (S, M2, M3, M4) 包括至少一个矩阵 (M2, M3, M4) 用于驱动所述矩阵显示器的多条线,

所述多个矩阵 (S, M2, M3, M4) 还包括一个矩阵 (S) 用于驱动所述矩阵显示器的单条线, 其中,

基于各矩阵, 所述多条线与所述单条线被单独驱动, 并且所有所述矩阵的叠加以各个所述像素 (i,j) 的期望亮度 (D_{ij}) 生成所述矩阵显示器 (D) 的图像。

2. 根据权利要求 1 所述的方法, 其特征在于, 相邻的行 (i, i+1) 被同时驱动。

3. 根据权利要求 1 或 2 所述的方法, 其特征在于, 脉宽调制被用于控制亮度。

4. 根据权利要求 1 或 2 所述的方法, 其特征在于, 幅值调制被用于控制亮度。

5. 根据权利要求 1 或 2 所述的方法, 其特征在于, 脉宽调制与幅值调制被相结合用于控制亮度。

6. 根据权利要求 1 或 2 所述的方法, 其特征在于, 所述矩阵显示器 (D) 被转换成流矩阵 (d'), 所述流矩阵具有对应于满足所述列中的各个像素的亮度差异的元顶点。

7. 根据权利要求 6 所述的方法, 其特征在于, 所述流矩阵由两个矩阵之间的差异生成, 其中第一矩阵包括所述矩阵显示器 (D) 和具有零元的行, 所述具有零元的行附于所述矩阵显示器 (D) 末尾, 并且第二矩阵包括所述矩阵显示器 (D) 和所述矩阵显示器 (D) 上游的具有零元的行。

8. 根据权利要求 6 所述的方法, 其特征在于, 所述顶点由称为弧线的箭头连接, 所述弧线被分配数值, 并且所述弧线按照它们的长度对应于所述多个被单独驱动的矩阵 (S, M2, M3, M4) 的元。

9. 根据权利要求 8 所述的方法, 其特征在于, 所述多个图像数据矩阵 (S, M2, M3, M4) 的每行被分配一个容量。

10. 根据权利要求 9 所述的方法, 其特征在于, 所述容量的值是可变的并且被增加直到获得了所述弧线的有效数值。

11. 根据权利要求 9 或 10 的任一项所述的方法, 其特征在于, 所述容量被增加, 这是根据局部标准选定的。

12. 根据权利要求 11 所述的方法, 其特征在于, 所述局部标准是 MinCut。

13. 根据权利要求 12 所述的方法, 其特征在于, 有关上述 MinCut 的信息也用作选择标准。

14. 根据权利要求 9 或 10 所述的方法, 其特征在于, 所述容量的值被增加的步长大小可以被动态调整。

15. 根据权利要求 6 所述的方法,其特征在于,所述矩阵显示器 (D) 被分解成多个子矩阵,并且所述子矩阵 (S, M2, M3, M4) 被单独地分解成流子矩阵。

16. 根据权利要求 15 所述的方法,其特征在于,进行局部和全局混合优化,其中多线矩阵 (M2, M3, M4) 和 / 或 (剩余的) 单线矩阵 (S) 的一行或几行从流子矩阵中得到。

17. 一种具有显示控制器和显示驱动器的显示控制系统,所述显示驱动器用于驱动自发光或非自发光矩阵显示器 (D) 或者所述矩阵显示器 (D) 的部分区域,所述矩阵显示器 (D) 由多条具有单独像素 (jj) 的线组成,所述线被设置为行 (i) 和列 (j),其中各个所述线被有选择地驱动,其驱动方式为所述行 (i) 被激活限定的行寻址时间 (t_i),并且作用于与被激活行 (i) 相关的列 (j) 的工作电流 (I) 或相应电压对应于所述像素 (ij) 中的期望亮度 (D_{ij}),用于各所述行 (i) 的所述行寻址时间 (t_i) 被确定为所述行的所有列的最大亮度 ($D_{\max}^i$) 的函数,其特征在于,

所述矩阵显示器 (D) 的图像数据或者所述矩阵显示器 (D) 的图像数据的部分区域被分解成多个图像数据矩阵 (S, M2, M3, M4),

所述多个图像数据矩阵 (S, M2, M3, M4) 包括至少一个矩阵 (M2, M3, M4) 用于驱动所述矩阵显示器的多条线,

所述多个矩阵 (S, M2, M3, M4) 还包括一个矩阵 (S) 用于驱动所述矩阵的单条线,其中,

基于各矩阵,所述多条线与所述单条线被单独驱动,并且所有所述矩阵的叠加以各个所述像素 (ij) 的期望亮度 (D_{ij}) 生成所述矩阵显示器 (D) 的图像。

用于驱动矩阵显示器的方法

技术领域

[0001] 本发明涉及一种驱动矩阵显示器的方法,所述矩阵显示器由多条具有单独像素的线组成,这些线被设置为行和列,其中各条线通过使所述行被激活限定的行寻址时间而被选择性地驱动,并且工作电流或相应电压,即施加于与所述被激活行相关的所述列的电驱动信号对应于所述像素中的期望亮度。

背景技术

[0002] 在下文中,水平线称为行并且垂直于所述水平线的竖直线称为列。这是为了清楚起见。然而本发明确实不限于这种设置。具体可以交换行和列的功能或选择行与列之间的非正交关系。

[0003] 图像数据或单独像素 ij 的期望亮度 D_{ij} 由以下所示的矩阵 D 描述。

$$[0004] \quad D = \begin{bmatrix} D_{11} & D_{21} & \cdots & D_{1m} \\ D_{21} & D_{22} & \cdots & D_{2m} \\ & \cdots & \cdots & \\ D_{n1} & & \cdots & D_{nm} \end{bmatrix}$$

[0005] 下标对应于显示器上像素的位置,显示器由矩阵或矩阵显示器 D 给定。矩阵 D 的每行 i 和矩阵 D 的每列 j 在各种情况下对应于显示器上的几何行和列。像素二极管或类似的元件被指定给矩阵显示器 D 的可驱动像素 ij 以用于生成显示器的像素。在每个像素中所有对于时间平均的光强度(对应于亮度 D_{ij})与矩阵 D 中的相应元素对应。矩阵 D 的所有元共同形成被显示的图像。

[0006] 矩阵显示器 D 上的像素 ij 至此已被行激活,所述像素 ij 中的每一个具体地可以被设置为 OLED(有机发光二极管)。为此,所选行 i 上的 OLED 通过例如将开关接地而被激活。工作电流 I 被作用在每列 j 上,该工作电流使行 i 和列 j 交叉点处的像素亮起。在首次近似中光强度 L 与在激活时段内(行寻址时间)所施加并在 OLED 像素中辐射状地重新组合的电荷成比例。在相对高的显示器矩阵或矩阵显示器 D 的寻址帧速率的情况下,人眼察觉到光强度 L 的以下均值:

[0007]

$$L_{Licht} \sim \frac{\int_0^{T_{Frame}} I_{OLED} \cdot dt}{T_{Frame}} \approx \frac{I \cdot \frac{T_{Frame}}{n}}{T_{Frame}} = \frac{I}{n}$$

[0008] T_{Frame} 是当矩阵显示器 D 的所有 n 行被激活一次时建立完整图像所需的总时间。工作电流 I_{OLED} 或 I 或 I_0 被作用于每个像素。当幅值调制用于控制亮度时,工作电流在对应于行寻址时间的整个周期 T_{Frame}/n 内是激活的。在脉宽调制中,工作电流的持续时间较短,即 $d \cdot T_{Frame}/n$ 。这里, d 是脉宽调制的占空比并且处于 0 和 1 之间:

[0009]

$$L_{Licht} \sim d \cdot \frac{I_0}{n}$$

[0010] 电流 I_0 现在是固定的而与像素的光强度无关。强度 L 通过占空比 d 予以调节。这种类型的亮度控制与幅值调制相比更简便和精确,因为电子装置中的时间单元可以被非常精确地调整,从而 d 也是如此。参考电流 I_0 恰好足以驱动所有的像素 ij 。相反,在幅值调制中,幅值必须在各种条件下按照期望亮度 D_{ij} 予以调节。

[0011] 通过驱动各种情况下的仅一行的所有列 j ,每个二极管或每个像素可以被激活仅总时间 T_{Frame} 的 n 分之一的最大值。为了获得限定的平均亮度 D_{ij} ,相应的工作电流必须乘以行的数目 n ,即与一个像素在整个总时间 T_{Frame} 内被提供电流的情况形成对比。即行的数目越大,脉冲工作电流 I 或 I_0 就必须越高。而且当脉宽调制用于调节亮度时工作电流通常是高的,即使是在被驱动的像素 ij 是非常暗时。在这种情况下,只是工作电流的作用时间是很短的。

[0012] 但是高工作电流可以导致 OLED 寿命的显著降低。为了得到需要的高工作电流, OLED 的电压也必须增大,因此能耗增加并且效率降低。这一增加的能耗不但使可再充电的或一次性电池放电更快,而且使显示器更热,因此同样地寿命降低。

[0013] 为了实现大的、高分辨率的显示器,可以使用如 LCD(液晶显示器)中的“有源矩阵”,通过这种方式工作电流不再以脉冲的形式传送而是以固定的电流出现。但是有源矩阵驱动(TFT 背板)需要相当数量的附加成本用于 OLED 显示器。

[0014] W003/091983 A1 描述了一种用于上面介绍部分述及的 OLED 显示器的驱动器,所述驱动器用于以相对高级别的效率驱动无源矩阵显示器。为此,驱动器电路里面为空的像素行,即那些不亮或者微亮的像素行设置有辨识器。这些行在驱动过程中被完全省略。这就增大了其余被驱动行的亮度。这种效果可用于与被忽略行成比例地降低对显示器的能量供应。行被驱动的时间总是相同的。Clare Micronix 的数据单 MXED301 公开了一种用于 OLED 显示器的控制器,所述控制器在部分扫描工作模式以及屏幕保护工作模式下有选择地驱动限定的行,并且在驱动的时候不包括显示器的其它行。但是,被驱动的行被扫描所提供的行寻址时间。

[0015] W097/16811 A1 公开了一种驱动电致发光矩阵显示器的方法,在该方法中,除了第一行,在每种情况下两行被同时驱动,从而这些行中的每一个总计被驱动两次。通过像素每驱动周期被去激活两次,像素每次被驱动时的亮度由此被降低。以同样的电流亮度被加倍。类似地,JP2001-337649A 公开了相同图像内容的两条或者多条行可被一起驱动,从而增长显示器的平均发光寿命。

[0016] 发明内容

[0017] 本发明的目的是提供一种用于驱动矩阵显示器的方法,所述矩阵显示器和开始所提到的类型相应,通过该方法 OLED 显示器的寿命可以增长或任意矩阵显示器的性能可以改善。

[0018] 根据本发明的一种用于驱动自发光或非自发光矩阵显示器(D)或者所述矩阵显示器(D)的部分区域的方法,所述矩阵显示器(D)由多条具有单独像素(ij)的线组成,所述线被设置为行(i)和列(j),其中各个所述线被有选择地驱动,其驱动方式为所述行(i)被激活限定的行寻址时间(t_i),并且作用于与被激活行(i)相关的列(j)的工作电流(I)

或相应电压对应于所述像素 (ij) 中的期望亮度 (D_{ij}), 用于各所述行 (i) 的所述行寻址时间 (t_i) 被确定为所述行的所有列的最大亮度 ($D_{\max}^i$) 的函数, 其特征在于, 所述矩阵显示器 (D) 的图像数据或者所述矩阵显示器 (D) 的图像数据的部分区域被分解成多个图像数据矩阵 ($S, M2, M3, M4$), 所述多个图像数据矩阵 ($S, M2, M3, M4$) 包括至少一个矩阵 ($M2, M3, M4$) 用于驱动所述矩阵显示器的多条线, 所述多个矩阵 ($S, M2, M3, M4$) 还包括一个矩阵 (S) 用于驱动所述矩阵显示器的单条线, 其中, 基于各矩阵, 所述多条线与所述单条线被单独驱动, 并且所有所述矩阵的叠加以各个所述像素 (ij) 的期望亮度 (D_{ij}) 生成所述矩阵显示器 (D) 的图像。

[0019] 根据具有上述特征的本发明可以实现该目的, 具体在于每行 i 的行寻址时间 t_i 被可变化地确定为行 i 的所有列 j 的最大亮度 $D_{\max}^i$ 的函数。因此行寻址时间 t_i 可以被选定为小于或等于固定的行寻址时间 t_L , 其中当矩阵显示器的每行被寻址所述固定的行寻址时间 t_L , 通过所施加的工作电流就可以实现最大像素亮度 $D_{\max}$ 。因此根据本发明的行寻址时间 t_i 对应于固定的行寻址时间 t_L 乘以行 i 的所有列 j 中像素的最大亮度 $D_{\max}^i$ 与整个矩阵显示器中最大的可能像素亮度 $D_{\max}$ 的比值。

[0020] 最大像素亮度 $D_{\max}$ 被定义为一个像素 ij 中的光强度 (亮度), 当在固定的行寻址时间 t_L 内工作电流 I_0 作用于像素时可以实现所述光强度。这样的效果是: 所有 n 行的行寻址时间 t_i 的时间总和 T_{Sum} 小于或等于激活所有 n 行的总计时间 T_{Frame} , T_{Frame} 由 $n \times$ 固定的行寻址时间 t_L 给定。如果工作电流 I_0 是固定的, 则用于驱动矩阵显示器的总时间根据本发明因此可以被降低至行寻址时间的时间总和 $T_{\text{Sum}} < T_{\text{Frame}}$ 。这可以实现例如较高的帧速率并且提高矩阵显示器的可达到的性能。

[0021] 由于首次近似中像素 ij 的光强度与施加于像素 ij 的电荷成比例, 即与行寻址时间 t_i 和工作电流的乘积成比例, 行寻址时间 t_i 对一行的所有列的最大亮度的依赖关系也可以用于降低工作电流。为此, 用于激活所有行 i 的总计时间 T_{Frame} 可以保持不变从而所有 n 行的行寻址时间 t'_i 的总和对应于总计时间 T_{Frame} 。因此行寻址时间 t'_i 根据本发明方法的这种变化实施例被延长, 从而它们的总和等于总时间 T_{Frame} 。同时根据本发明工作电流 I_0 可以通过所有 n 行的 (完全需要) 行寻址时间 t_i 的时间总和 T_{Sum} 与按照固定行寻址时间 t_L 用于激活所有行的总时间 (T_{Frame}) 的比值被降低至工作电流 I_1 。各个像素的光强度不改变, 因为行寻址时间和工作电流的乘积 $t_i * I_0 = t'_i * I_1$ 保持不变。在 OLED 的情况下, 在较低工作电流范围内的量子效率 η 通常大于较高工作电流时的量子效率。因此工作电流 I_1 同时可以通过量子效率的比 $\eta(I_1) / \eta(I_0)$ 被降低。为了简便, 行寻址时间 t'_i (被延长或标准化为 T_{Frame}) 在以下也称为 t_i 。

[0022] 因此根据本发明的行寻址时间 t_i 对二极管像素寻址的适应允许显示器 D 的各个二极管像素 ij 的时段 (行寻址时间) 是可选择的, 即工作电流 I 作用于二极管像素 ij 的时间将被大大地延长。激活的工作电流 I_1 可以与选定时段的持续时间成反比地被降低。整体看来矩阵显示器 D 的效率可以被提高, 并且特别是在 OLED 显示器的情况下, 寿命可以被延长。因此本发明的基本观点在于通过随行而定的行寻址时间的缩短或适应来延长工作电流的持续时间。由于电荷对限定的光强度起主要的决定性作用, 因此工作电流的作用时间越长意味着电流幅值的降低。

[0023] 如果矩阵显示器 D 被分解成多个单独驱动的矩阵 S, M , 则可以实现工作电流的改

进处理和进一步的降低。那么所有矩阵的叠加以各个像素 ij 的期望亮度 D_{ij} 形成了矩阵显示器 D 的图像。由多个矩阵的各个亮度 S_{ij}, M_{ij} 的总和形成的总亮度 D_{ij} 应该对应于矩阵显示器 D 在像素 ij 中的总期望亮度 D_{ij} 。根据本发明,矩阵可以逐一或相互嵌套地显示,在每种情况下优选使用上述的方法逐行或者逐列显示。在分解成两个矩阵的情况下,其中一个矩阵 S 提供一行 i 的驱动,并且一个矩阵 $M2$ 提供两行 i 的同时驱动,矩阵 $S, M2$ 的行可以被交替地寻址。对于例如 OLED 显示器或 LCD 的无源矩阵显示器类型,由矩阵显示器 D 所描述的源图像因此可以被分成多个图像矩阵。这些所得到的矩阵中的每个将根据显示器类型被很好地完成,例如通过以下所述的多线寻址完成,从而图像的总和比基于原始矩阵 D 的显示器的直接驱动实现得更好。

[0024] 既然根据本发明提供的是多行 i 被同时驱动,则被驱动的行 i 的每列 j 中的像素 ij 在各种情况下具有相同的信号和相同的光强度。从而像素 ij 的光强度对应于只有一行被驱动时的光强度,工作电流 I_0, I_1 通过对应于同时被驱动的行的数目的倍数被增加,因此当两行同时驱动时加倍。多行的同时驱动也叫“多线寻址”(MLA),其不同于称为“单线寻址”(SLA)的只有一行的驱动。

[0025] 当多行被同时驱动时,优选驱动相邻的行 $(i, i+1)$ 。然而根据本发明,也可以优选地同时驱动被几行相互隔开的行,例如是每个间隔的行。被同时驱动的行之间的密切接近是特别敏感的,因为矩阵显示器 D 的图像中相邻的行通常具有相似的亮度分配。

[0026] 为了在同时驱动多行时也能够各个行和 / 或列之间在强度上形成区别,其中有一行 (i) 被驱动的矩阵 (S) 和其中有多行 (i) 被驱动的一个或多个矩阵 $(M2, M3, M4)$ 可以根据本发明被相互组合。通过提供采用单线寻址的矩阵 S ,期望的亮度 D_{ij} 可以对每个像素 ij 进行单独的调整。这个矩阵 S 也叫做剩余的单线矩阵。

[0027] 根据本发明,脉宽调制可以用于控制亮度,即,例如工作电流 I 在行寻址时间 t_i 期间只施加行寻址时间 t_i 的一部分,并且工作电流 I 在行寻址时间 t_i 的其余时间是关断的。

[0028] 可选择地,幅值调制也可以用于控制亮度,即调整工作电流 I 的幅值以对应于期望亮度 D_{ij} 。根据本发明,脉宽调制和幅值调制也可以彼此组合从而控制亮度。则特别优选的是亮度 D_{ij} 在量化步骤中被预定义,因为工作电流的幅值在量化步骤中可以被降低,同时脉宽占空比与此相应地增大。这种驱动在应用中可以特别简便地实现。特别是当在增大脉宽占空比之后,在一列 j 中施加工作电流 I 的时间不超过行寻址时间 t_i 时,这种结合方法可以灵活地使用。将幅值调制和脉宽调制相结合的方案因此可以根据为此所需要的工作电流的应用时间和对矩阵显示器 D 的每行 i 和列 j 所提供的行寻址时间被单独地制定。通过脉宽和幅值组合调制,幅值可以因此在量化步骤中被降低,同时脉宽调制占空比与此相应地增大。量化可以由多个晶体管元件实现,由此也可以实现多线寻址。

[0029] 为了生成用于驱动矩阵像素的矩阵,根据一个优选的实施例提出将矩阵显示器转换成以顶点为元的流矩阵,其中所述顶点对应于各个列中各个像素亮度或亮度差异的要求。这可以通过实现上述方法并具有适合的处理器装置来实施所述各个处理步骤的适合的控制系统进行。这种类型的控制系统也构成了本发明的主要内容。这种转换使得矩阵分解通过基于已知的 MaxFlow/MinCut 原理的组合方法实施。可以知道用于这类组合算法的硬件实施费用是低的。而且组合算法可以被快速处理,从而这些 算法特别适合于控制矩阵显示器。

[0030] 已证明优选的是,流矩阵由两个矩阵之间的差异生成,其中第一矩阵包括矩阵显示器和附于矩阵显示器末尾的具有零元的行,并且第二矩阵包括矩阵显示器和矩阵显示器上游的具有零元的行。通过将矩阵分解成多线矩阵和(剩余的)单线矩阵,关键是最好隐藏列中各个像素在亮度上的差异。根据本发明所提出的流矩阵描述了列的像素之间的差异并且提供了通过组合方法用于优化的基础或优化起始点。

[0031] 在根据本发明的流矩阵中,顶点优选地由称为弧线的箭头连接,所述弧线被分配数值,并且弧线优选地按照它们的长度对应于所述多个被单独驱动的矩阵(例如 S, M2, M3, M4)的元,所述多个被单独驱动的矩阵是由矩阵显示器按照如上所述分解而成的。因此矩阵分解被完全转化成流量优化。流量优化的结果,即弧线数值就正好是单线和多线矩阵 S, M2, M3, M4 等等的对应矩阵元素。

[0032] 对于流量优化,具体在无源矩阵显示器的驱动的情况下,优选的是将容量或容量值赋予所包含的矩阵(S, M2, M3, M4)的每行。容量值对应于相应行的最大像素值。那么所有容量的总和应该被最小化。

[0033] 在已知的 MaxFlow 或 MinCut 方法的情况下,容量保持不变并且流量被最大化,在本发明的方法中流量来源于源矩阵(矩阵显示器 D)并且因此被预定义。优化的目的在于最小化所有容量的总和。因此,根据本发明容量被设计为可变的。容量根据以下所述的策略被增大直到所有的流量被量化或平衡。则实现了弧线的有效分配并且完成了矩阵分解。可以认为容量值的总和是最小的或非常小。理论最小值和容量值的总和之间的比值称为优化的质量。为了降低在增大容量值中需要的迭代数目,弧线的分配可以生成为初始化中的起始值。

[0034] 根据本发明,随着每次迭代容量被选定并增大,这构成了阻碍有效解决的瓶颈。这种弧线的集合,也叫做最小割(MinCut),可以用作被增大的容量的选择标准。

[0035] 另外,先于 MinCut 的信息根据本发明也可以用作选择标准,其中最后迭代的 MinCut 可以被加权。这实现了快速并高效的解决方法。

[0036] 为了加速迭代,容量值被增加的步长可以被动态地调整。因此可以实现相对于最小的步长“1”,进行较少的迭代,而不损失更多的优化质量。

[0037] 为了提高计算速度并且降低所需的存储器大小,矩阵显示器可以被分解成多个较小的子矩阵并且子矩阵可以被单独地分解成流子矩阵。这类优化被认为是局部的优化,而在单个优化中的矩阵分解被认为是全局优化。由于当优化相对小的矩阵时需要更少的迭代,因此也可以将 S, M2, M3, M4 等的结果逐行地直接发至用于输出驱动器的寄存器,而无需用于这些矩阵的缓存。因此用于存储的费用更低。

[0038] 而且,根据本发明可以进行局部和全局混合优化,其中多线矩阵(M2, M3, M4)和/或剩余的单线矩阵(S)的一行或几行可以从流子矩阵中得到。这实现了局部和全局优化之间的好折衷,即一方面是速度和存储器大小需求,另一方面是优化质量。结果被逐行或逐子矩阵地输出从而不需要存储器大小存储完整的矩阵。

[0039] 本方法的优选的应用是自发光显示器的驱动,例如 OLED 显示器,或非自发光显示器,例如 LCD。本方法的另一个发明应用,不涉及驱动矩阵显示器,而是一般性地涉及矩阵的读出,例如 CCD 照相机中的传感器矩阵的读出。

附图说明

[0040] 在以下示意性实施例的描述和附图中,可以看出本发明的其他优点、特征和应用。所描述的和 / 或附图所示的所有特征构成本发明的主题,而不论这些特征在权利要求或其参考说明中如何概况。

[0041] 在附图中:

[0042] 图 1 示意性地示出了根据本发明的驱动矩阵显示器的各种实施例,从而以图形的方式解释了单线和多线寻址;

[0043] 图 2 示意性地示出了用于驱动图 1 所示矩阵显示器的列的像素的工作电流(或相关电压)的时间图;

[0044] 图 3 示出了包含三列和五行的矩阵显示器 D 以及用来驱动列所需的电流;

[0045] 图 4 示出了具有 m 列 (C_m) 和 n 行 (R_n) 的矩阵显示器的等效电路;

[0046] 图 5 示出了单线和多线矩阵的定义;

[0047] 图 6 示出了的矩阵显示器 D 根据本发明被分解成一个两线矩阵和一个单线矩阵;

[0048] 图 7 示出了图 6 所示的矩阵显示器 D 根据本发明被分解成一个三线矩阵、一个两线矩阵和一个单线矩阵;

[0049] 图 8 示出了根据图 6 的矩阵的选定线的电压和电流波形;

[0050] 图 9 示出了矩阵 D 分解成流矩阵 d' ;

[0051] 图 10 示出了根据图 9 的流矩阵 d' 的流图;

[0052] 图 11 示出了根据图 6 的矩阵 D 转换成流矩阵 d' 的具体示例;

[0053] 图 12 示出了根据图 11 的流矩阵 d' 在第一优化步骤中的流图;

[0054] 图 13 示出了根据图 11 的流矩阵 d' 在优化步骤之后的流图;

[0055] 图 14 示出了用于创建流矩阵 d' 和优选流量图的数学流程图;

[0056] 图 15 示出了根据本发明的用于产生工作电流的实施例;

[0057] 图 16 示出了通过脉宽调制的亮度控制;

[0058] 图 17 示出了通过幅值和脉宽组合调制的亮度控制;

[0059] 图 18 示出了用于实现根据图 17 的亮度控制的算法。

具体实施方式

[0060] 图 1 示意性地示出了由四行 i 和四列 j 组成的矩阵显示器 D。矩阵显示器 D 相应地具有总计十六个亮度为 D_{ij} 的像素 ij。每个像素 ij 由一个方格表示,数字的亮度值 D_{ij} 以数字输入到所述方格中。亮度值“0”代表暗像素 ij,亮度值“1”代表微暗发光的像素 ij,亮度值“2”代表明亮发光的像素 ij。

[0061] 因此图 1a 示出了矩阵显示器 D,在其上可以看见一个十字,其中在像素 $ij = 23$ 处为微暗的中心并且在其边缘处为四个明亮的像素。在传统的单线寻址 (SLA) 中,矩阵显示器 D 被驱动的方式为:在每种情况下,一至四行被连续地激活固定的行寻址时间 t_L ,该行寻址时间 t_L 由任意单位的值“1”给定。当第一行正被激活时,工作电流 I 作用于第三列,这一电流在像素 $ij = 13$ 处积聚了对应于期望亮度“2”的电荷。在行寻址时间 $t_L = 1$ 之后,这一过程切换至第二行。在该第二行中,第二和四列被提供对应于亮度“2”的工作电流 I,同时第三列被提供对应于亮度“1”的工作电流 I。对于通过施加电压驱动各个列的非自身

发光的显示器,采取类似的做法。一种典型的应用是 LCD(液晶显示器)。

[0062] 在另一个行寻址时间 $t_L = 1$ 之后,第三行类似于第一行被驱动。最后,第四行被激活另一个行寻址时间 $t_L = 1$,但这一行是全暗的,即,在第四行被选定期间(第四行的寻址时间内),没有工作电流施加于一至四列中的像素 ij 。

[0063] 在总计时间 $T_{\text{Frame}} = 4 \cdot t_L$ 之后,图像矩阵 D 的所有像素 ij 已经被驱动一次。人眼将连续发光的像素 ij 整合成完整的图像。

[0064] 这种借助于单线寻址用于驱动矩阵显示器 D 的传统方法根据本发明以如下的方式加以修改,即如图 1b 所示,每行 i 的行寻址时间 t_i 被定义为在所有列 j 和行 i 交点处的所有像素的最大亮度 D_{max}^i 的函数。这种方法在下文也称为“改进的单线寻址”(ISLA)。在这种情况下,行寻址时间 t_i 以如下的方式定长度,即包括所有四行的行寻址时间 t_i 的总和 T_{Sum} 对应于总计时间 $T_{\text{Frame}} = 4 \cdot t_L$ 。

[0065] 当确定行寻址时间 t_i 的长度时,步骤如下。对于前三行来说,所有列的最大亮度 D_{max}^i 每种情况下为“2”,从而所述前三行的行寻址时间 t_i 在每种情况下必须是相等的。在第四行中,最大亮度是“0”,从而这行根本不用被驱动并且可以选择 $t_i = 0$ 。因此总计时间 $T_{\text{Frame}} = 4 \cdot t_L$ 可以分成三个行寻址时间 t_i ,从而一至三行的 t_i 可以选定为比固定的行寻址时间 t_L 长三分之一,即

$$[0066] \quad t_i = \frac{4}{3} \cdot t_L$$

[0067] 因此在每种情况下前三行可以比图 1a 所示的驱动被激活长三分之一的时间。由于 OLED 显示器中的光强度取决于加在 OLED 显示器中并且由施加的工作电流和行寻址时间的乘积给定的电荷,因此工作电流可以降低四分之一从而达到相同的集成亮度值 D_{ij} ,即

$$[0068] \quad I_1 = \frac{3}{4} \cdot I_0$$

[0069] t_L 和 I_0 的乘积等于 t_i 和 I_1 的乘积。这也可以通过比较图 2a 和图 2b 看出。图 2 的示意图示出了施加于图 1 的第三列的所有一至四行的工作电流和与之成比例的工作电压。在行寻址时间期间,所施加的电流(或相应地所施加的电压)被图示。如图 2a 所示,所示的一个方块的宽度直接对应于在上述示例中作为标准变量使用的固定行寻址时间 t_L 。一个方块对应于一行的激活时间。包含四个方块的总宽度对应于总计时间 T_{Frame} ,在所述总计时间内,矩阵显示器的一幅图像可以被完整地建立。

[0070] 在图 2a 中,描述了已知的单线寻址的电流波形。在第一条线中,电流是最大的,对应于期望亮度“2”。为了清楚起见,用于在第三列和第一行交叉点处像素的相关驱动脉冲(电流 $\times$ 时间)被表示为阴影。这在所有情况下也适用于图 2b 和图 2c 的其他示意图中。在具有亮度值“1”的第二行中,电流被减半。在第三行中,电流再次为最大从而达到亮度值“2”。对于像素被关闭的最后一行,电流被关断。这种驱动类型相当于幅值调制。

[0071] 图 2b 示出了根据本发明的用于改进的单线寻址的电流波形。如所述的,行寻址时间 t_i 已经被延长了三分之一。这由虚线表示。第四行根本没被激活。像素 ij 的亮度与所加电荷数量成比例,所述电荷数量由所有时间内集成的电流(工作电流)决定。从图 2b 中可以看出,尽管电流(以及相应地所施加的电压)在每种情况下被降低四分之一,但是图 2b 中电流曲线以下的面积等于图 2a 中电流曲线以下的面积。这有利于 OLED 的寿命。

[0072] 本发明的另一个实施例参照图 1c 描述。在该驱动方法中,多行被同时驱动(多线寻址)。在这个示例中,所述多行是一和三行,其中具有亮度“2”的像素在所有情况下必须在第三列中产生(参考图 1a)。由于两行已经被合并,所以行寻址时间可加倍。工作电流(以及各自相应的电压)对于每像素相应减半(参见图 2c 的一个像素)。

[0073] 如图 1d 所示,特别优选的是将如图 1c 所描述的多线寻址方法与对应于图 1b 的改进的单线寻址相结合。因为所有的激活行在多线寻址中被一致地驱动,因此可以在多线寻址中生成任意图像。而其余的差别和/或剩余的行可以通过改进的单线寻址予以均衡(MISLA)。

[0074] 在图 1d 中,根据图 1a 的第二行则通过第二矩阵的单独驱动生成。这相当于矩阵显示器 D 被分解成多个被单独驱动的矩阵,并一起生成矩阵显示器 D 的期望图像。驱动以如此快速的时间周期发生,以至于人眼不能分离出各个被驱动的行和/或矩阵的序列图例,并将它们组合而形成完整的图像。因此当多个矩阵用于驱动时,对于完整地建立一幅图像所必须的总计时间 T_{Frame} 也不应该被延长。优选的步骤是,保持用于激活所有矩阵中的所有被驱动行的总计时间 T_{Frame} 不变,并且相应地调整各自的行寻址时间 t_i 。在这种情况下,一行的行寻址时间 t_i 可能是非常不同于另一行的行寻址时间,这取决于各个行中多列的最大亮度。然而在现在所描述的示例中,这种情况不会发生。

[0075] 以下方法是针对根据图 1c 和图 1d 的矩阵的合并得出的。在每种情况下,每个矩阵确实需要一个行寻址时间用于驱动。在每种情况下,所达到的最大亮度 D_{ij} 是相等的。这意味着需要两个相等的行寻址时间 $t_i = 2 \cdot t_L$,从而达到总计时间 $T_{Frame} = 4 \cdot t_L$ 。与相对于根据图 1a 的单线寻址的行寻址时间的二倍对应,各个像素 ij 的工作电流或电压可以被减半,其中在双线寻址的情况下必须考虑的是,多行的逐列驱动的电路设计对应于并联电路,因此所施加的工作电流被相等地分配至所有已激活行的像素。在矩阵中双线寻址的情况下,所施加的工作电流因此被加倍,从而每个像素得到相同的工作电流。

[0076] 将图 1c 和 1d 的驱动方法结合的电流分配如图 2c 所示,并且表示了最大工作电流的进一步降低而在矩阵显示器 D 中没有亮度损失。

[0077] 利用图 1 和 2 所描述的驱动方法针对实际应用代表了一种高度简化的设置并可用于解释以下想法。根据本发明,这种方法也可以优选地与传统或已知方法的元素相结合,例如与预充电和放电技术等等类似的技术相结合。

[0078] 下面描述一个更复杂的驱动矩阵显示器的实施例,其中所描述的所有特征构成本发明的主题并且是本发明的一部分。

[0079] 说明书的出发点由图 3 所示的矩阵显示器 D 的性质组成。矩阵显示器的亮度 D_{ij} 可以由数字值给定,其中数值“0”表示关断的像素。矩阵中的最大亮度是 D_{max} (例如具有 8 位的值“255”)。相应的工作电流是 I_0 。 I_0 的级别根据应用被预定或调整。该级别代表显示器的期望亮度。

[0080] 根据前述的对应于现有技术的 SLA(单线寻址)方法,在帧周期(总计时间 T_{Frame})内每行被分配相等的、固定的或恒定的行寻址时间 t_L ,其中可以生成最大亮度 D_{max} 。精确地说,对于一位的亮度,对应的时间周期 t_0 为:

$$[0081] \quad t_0 = \frac{t_L}{D_{max}} = \frac{T_{Frame}}{n \cdot D_{max}}$$

[0082] 在亮度控制过程中,具体的亮度通过脉宽调制 (PWM) 被转换成多个时间周期 t_0 。对于最大亮度,工作电流 I_0 流通 $t_i = D_{\max} \cdot t_0$ 的行寻址时间。

[0083] 在本发明中,行的必选时长,即为该行选定的行寻址时间 t_i 由所选行 i 中所有像素 ij 的最大亮度 D_{ij} 决定。如果这行中的最大亮度小于 $D_{\max}$,那么下一行可以被较早激活,即所选的行寻址时间 t_i 可以小于 t_L 。因此用于建立图像所需的总计时间是:

[0084] $T_{\text{Sum}} = D_{\text{Sm}} \cdot t_0 \leq T_{\text{Frame}}$, 其中

[0085] $D_{\text{Sum}} = \sum_{i=1}^n \max(D_{i1}, D_{i2}, \dots, D_{im}) \leq n \cdot D_{\max}$

[0086] 是全部所有行的各行最大亮度 $D_{\max}^i$ 的总和。因此 $D_{\max}^i$ 是行 i 中所有列的最大亮度。

[0087] 该时间 T_{Sum} 小于或等于总计时间 T_{Frame} , 并可以被延长至 T_{Frame} , 从而将工作电流 I_0 降低至工作电流 I_1 。适合于期望亮度的工作电流 I_1 由如下公式给定:

[0088] $I_1 = \frac{T_{\text{Sum}}}{T_{\text{Frame}}} \cdot I_0 = \frac{D_{\text{Sum}}}{n \cdot D_{\max}} \cdot I_0$

[0089] 由于行的激活或选定时段 (行寻址时间 t_i) 不依赖于 t_L , 因此可以实现降低的工作电流 I_1 。相反, 每行 i 只是保持与这行亮度为 $D_{\max}^i$ 的最亮像素 ij 所需时间一样长的激活时间。当最亮像素的所需时间达到时, 该过程立即转向下一行。

[0090] 通过这种时间优化的控制方法, 根据本发明用于行寻址时间 t_i 的工作电流 I_1 和时间周期是可变的。工作电流被降低至 I_1 , 并且正好用于一位亮度 (LSB 最低有效位) 的时间周期从 t_0 增至 t_1 :

[0091] $t_1 = \frac{T_{\text{Frame}}}{D_{\text{Sum}}}$

[0092] 这个简单的实施例如图 3 所示。对应于图 1 的矩阵 D 来描述图 3a 中矩阵显示器的图像, 其中矩阵 D 在各个像素位置 ij 具有亮度值 D_{ij} 。

[0093] 矩阵 D 表示了所有情况下具有中暗条的三个亮条, 其中为了简单起见, 灰度级达到 3 位, 即假定最大亮度 $D_{\max} = 7$ 。因此矩阵显示器 D 一共包含五行和三列。

[0094] 在图 3b 和图 3c 中, 示出了加在第二列的 (工作) 电流的瞬时波形。图 3b 示出了在传统单线寻址 (SLA) 中的电流波形, 在图 3c 中根据本发明的改进的单线寻址的瞬时波形与之对照。

[0095] 鉴于在单线寻址的情况下 (图 3b), 电流幅值例如固定在 $70 \mu\text{A}$ 并且每行被激活 2.8ms 的固定行寻址时间 t_L , 在改进的单线寻址的情况下 (图 3c) 电流幅值是 $40 \mu\text{A}$ 。第一、第三和第五行在每种情况下被激活 4.2ms 的时间 (行寻址时间 t_i), 并且第二和第四行被激活 0.7ms 的时间 (行寻址时间 t_i)。

[0096] 以相同的方式, 用于驱动整个矩阵 D 的工作电流和正好针对一位亮度的时间周期 t_1 现在取决于在每种情况下所表示的图像。由于在无源矩阵 OLED 的情况下, 基于多路模式的二极管电流是非常高的, 所以每单位电流的量子效率或光强度是相对低的。量子效率随着工作电流的降低而增加, 从而导致工作电流的进一步降低:

[0097] $I_1 = \frac{D_{\text{Sum}}}{n \cdot D_{\max}} \cdot I_0 \frac{\eta(I_0)}{\eta(I_1)}$

[0098] $\eta(I)$ 是以 Cd/A 为单位的具有电流 I 的量子效率。量子效率表存储在伽马表 (gamma table) 中, 并且借助于根据本发明的驱动电子装置可以用于上述计算, 从而实现了所述方法。

[0099] 因为与已知的驱动相比, 工作电流 I_1 被降低, 所以 OLED 二极管的导通电压也降低。因为所消耗的能量等于整个帧周期内的电流和电压的乘积的总和, 因此单位为 lm/W 的效率也增加。所获得的较高的效率也意味着显示器的较低的自热, 这导致了显示器寿命的增加。

[0100] 因为用于显示器的工作电流 I_1 只须一次设定并且时间周期 t_1 易于实现, 因此实施费用是低的。

[0101] 在如上所述的驱动变量中, 各行最大亮度 $D_{\max}^i$ 的总和 D_{sum} 是预定的、不变的量。如果在矩阵中多行被合并并且被同时驱动, 则存在使 D_{sum} 最小化或进一步降低的可能。在行寻址时间 t_i 过程中, 于是多行被同时选定, 从而用于驱动整个图像矩阵所需的时间总体上可以被降低。因此工作电流也可以进一步降低。

[0102] 图 4 示出了两行 R_i 和 R_{i+1} 如何被同时寻址的电路图。所施加的列电流现在是 $2 \cdot I_1$ 并且被相等地分配至各自行 R_i 和 R_{i+1} 的两个二极管。其余行上的二极管是无源的并且只是以寄生电容 C_p 示出。在被同时寻址的行中的一列的各个二极管中光强度是相等的, 因为相同的电流施加于它们中的每个之上。与单线寻址相比, 因此对于两行只需要一个行寻址时间 t_i , 从而在所驱动的像素中生成相同的亮度。

[0103] 当多于两行被同时寻址时, 这种方法也适用。越多的行被合并, 时间就节省得越多。这就是多线寻址。

[0104] 然而多行的合并并不是易于做到的, 因为现在在多行中的一列的多个像素被同样地驱动。因此, 这些像素之间在亮度上不再有任何差异, 以致于差异信息丢失或者分辨率降低。

[0105] 这一问题得以解决在于通过将期望的矩阵显示器 D 分解成多个矩阵, 从而将多线寻址 (MLA) 与上述优化的改进单线寻址 (ISLA) 结合。即, 在不同矩阵 S, M 中的行被单独并且与其它的行一起被寻址。各个列的不同行、但是在多线寻址中被一起驱动的像素之间光强度的差异借助于改进的单线寻址通过矩阵 S 实现。多线寻址应该最小化所需的总计时间 T_{sum} 。矩阵显示器 D 转换成单线矩阵 S 和多线矩阵 M 在数学上如下所示:

[0106] $D = S + M2$,

[0107] 其中 $M2$ 是用于双线寻址的矩阵。矩阵 S 也称为剩余的单线矩阵。矩阵的基本结构如图 5 所示。

[0108] 用于矩阵显示器 D 的各个像素亮度 D_{ij} 的源数据被分解成两个矩阵 S 和 $M2$, 所述源数据被组合而形成期望的图像。 S 是通过改进的单线寻址驱动的单线矩阵。 $M2$ 是多线矩阵, 在各种情况下其驱动为两行被合并并且被一起寻址或激活。 $M2$ 以 $n-1$ 个矩阵表示, 其中 n 是矩阵显示器 D 的行的数目, 这些矩阵 M 中的每一个中有两行被合并, 因为这两行中的元是同样的。因为认为图像的连续行具有最大的相似度, 并且实际显示器的连续行中的两个像素的两个工作电流的分配是最相近的, 所以优选对两个连续的行进行两行合并。另外, 符合这种规定的数学分解比两个任意行的合并更简单。那么算法的实现具有低的费用, 并且根据本发明在以下实际予以详细描述。

[0109] 不相邻的行当然也可以被合并,这取决于具体应用。例如,对于通过将被一个中间行彼此隔开的两行而合并的多线寻址来说,制造棋盘式图形就很好。

[0110] 与上述实际情形类似,每对行接收的用于激活的行寻址时间 t_i 取决于这一对行中像素的最大亮度 M_{ij} 。在这里也使用已描述的用于单线寻址的时间优化驱动方法。因此行寻址时间的总和按照如下得出:

$$[0111] \quad T_{Sum} = \sum_{i=1}^n \max(S_{i1}, S_{i2}, \dots, S_{im}) + \sum_{i=1}^{n-1} \max(M2_{i1}, M2_{i2}, \dots, M2_{im}) = D_{Sum},$$

[0112] 其中 $\max(S_{i1}, \dots, S_{im})$ 和 $\max(M2_{i1}, \dots, M2_{im})$ 给出了在各种情况下的行的最大亮度,该亮度与各个行寻址时间 t_i 成比例。

[0113] 分解成多个矩阵的目的在于工作电流 I_1 的进一步降低,即 D_{Sum} 的最小化。通过使单线矩阵中的两个元素(即 S_{ij} 和 $S_{i+1, j}$)从其原始数据 D_{ij} 和 $D_{i+1, j}$ 降低数量 $M2_{ij}$,就可以实现多线矩阵 $M2$ 的每个亮度 $M2_{ij}$ 。因此只有一个行寻址时间 t_i ,即寻址 $M2_{ij}$ 的时间是所需的。这种效果对于多行相应更好。

[0114] 多个多线矩阵中的源数据(矩阵显示器 D) 的转换类似地由以下定义:

$$[0115] \quad D = S + M2 + M3 \dots$$

[0116] 其中 $M3$ 描述了同时驱动三行(参考图 5)。相应地可以进行更多行的同时寻址。

[0117] 也可以省略一些多线矩阵,例如根据定义

$$[0118] \quad D = S + M2 + M4,$$

[0119] 其中矩阵 $M3$ 设为零。单线寻址也可以以这种方式理解,即多线矩阵 Mx 的所有元素设为零。

[0120] 将图像或图像矩阵 D 分成易于驱动的多图像或图像矩阵 S, M 的想法可以用于所有包括 LCD 和等离子显示器的矩阵显示器类型。多线矩阵是简单并有效驱动的良好范例。

[0121] 包括单线寻址的完整的多线寻址在下面通过具体的示例予以描述。所进行转换的目的在于 D_{Sum} 的最小化。结果是工作电流不再是 I_0 而可以被大大降低(取决于图像):

$$[0122] \quad I_1 = \frac{D_{Sum}}{n \cdot D_{max}} \cdot I_0$$

[0123] 在图 6 所示的示例中, 4×9 的矩阵 D 被分解成两个矩阵 $M2$ 和 S 。该矩阵 D 中行的数目是 $n = 9$ 。 D_{max} 具有亮度值“15”(4 位)。

[0124] 图 6 中的第一个矩阵给出了矩阵显示器 D 的期望亮度 D_{ij} 。第二个矩阵是双线矩阵 $M2$, 第三个矩阵是剩余的单线矩阵 S 。 $M2$ 又被单独示出, 其中从加法的图示中可以看出在同时寻址中亮度是如何在各种情况下分配至两个相邻的行。 D_{Sum} , 即同时激活的行的最大亮度的总和, 在使用双线矩阵时是 $D_{Sum} = 72$ 。如果只使用改进的单线寻址, 则 $D_{Sum} = 107$ 。与 $n \cdot D_{max} = 9 \cdot 15 = 135$ 相比, 通过使用双线矩阵, 所需的工作电流因此被降低至传统驱动方法的 53%。

[0125] 如果使用根据图 7 的三线矩阵寻址 $M3$, 则 D_{Sum} 可以进一步地降低。根据图 7 的第一个矩阵与图 6 中的源矩阵相同并且再现了矩阵显示器 D 的期望亮度 D_{ij} 。第二个矩阵是三线矩阵 $M3$, 第三个矩阵是双线矩阵 $M2$, 第四个矩阵是剩余的单线矩阵 S 。在这种情况下, D_{Sum} 进一步地降低至 58。与 $n \cdot D_{max} = 135$ 相比, 因此可以实现工作电流幅值降低 57%。

[0126] 图 8 示出了根据图 6 的双线寻址的第八行的电压波形, 第二列的电流和电压波形

以及二极管 (D_{82}) 的电压。

[0127] 在所示的示例中,用于传统的单线寻址的工作电流 I_0 是 $100\ \mu\text{A}$ 。对应于降低至 53%,因此在一行的驱动期间工作电流为 $I_1 = 53\ \mu\text{A}$ 。OLED 在 $53\ \mu\text{A}$ 时的导通电压是 6V。OLED 的阈值电压是 3V。帧周期,即总计时间 T_{Frame} 是 13.5ms。在传统的单线寻址中,固定的行寻址时间是 $t_0 = 0.1\text{ms}$ 。在根据图 6 的多线寻址中, $t_1 = 0.1875\text{ms}$ 。现在一帧包括 72 个 $(D_{\text{sum}})t_1$ 周期。

[0128] S 矩阵和 M2 矩阵被交替地激活。首先, S 矩阵的第一行被寻址,然后是 M2 矩阵的第一对行 (即它的 1 和 2 行),接着是 S 矩阵的第二行,然后是 M2 矩阵的第二对行 (即它的 2 和 3 行),等等。

[0129] 图 8a 示出了第八行的电压波形。当这一行被寻址时,则相应的行开关 (参见图 4) 闭合,从而电流可以流过。则电压是零。否则行开关打开。因为列电压总是流通的,所以至少 6V 的列电压是常见的。在 OLED 的情况下,3V 的行电压由 6V 的列电压减去例如 3V 的阈值电压予以给定。

[0130] 第八行被寻址 2.625ms (9.375ms ~ 12ms)。

[0131] 图 8b 示出了第二列中的工作电流。在电流波形中可以看出三个等级,即,当没有任何的像素二极管激活时为零,当只有一个像素二极管激活时为 $53\ \mu\text{A}$,当两个像素二极管 (在双线寻址的情况下) 激活时为 $106\ \mu\text{A}$ 。在双线寻址的情况下,每个二极管的电流幅值也是 $53\ \mu\text{A}$,因为总电流被相等地分配至两个同时被驱动的二极管。

[0132] 第八行被激活的时间段 (行寻址时间 t_i) 包括三个阶段。在前四个周期过程中 (9.375ms ~ 10.125ms), 7 行和 8 行被一起寻址。因此电流也是 $2 \times 53\ \mu\text{A}$ 。这对应于 $M2_{72}$ 的行寻址。

[0133] 在接下来的五个周期内, S_{82} 的 8 行被寻址。行寻址时间 t_i 的五个周期的总和来自值为 5 的矩阵 S 第八行的亮度 S_{ij} 最大值 (见第一列,第八行)。 $53\ \mu\text{A}$ 的电流流通 0.1875ms (一个周期) 的时间。因为 S 矩阵 (S_{81}) 的第八行的最大值是 5 并且亮度控制通过脉宽调制进行,然后电流在另外四个周期为零。

[0134] 最后的阶段持续 5 个周期,在这段时间内矩阵 M2 的第八和第九行被寻址。电流仍是 $106\ \mu\text{A}$ 。但是因为 $M2_{82}$ 为 4,电流只流通 4 个周期。电流降回零为一个周期。因为在第三列中的最大亮度是 $M2_{83} = 5$,也是在这个最后周期 (没有示出) 电流在第三列内仍然流通。工作电流施加于像素 $ij = 82$ 的总共的持续时间 (激活时间) 是 9 个周期,对应于 D_{82} 。

[0135] 图 8c 中示出了第二列中电压的瞬时波形。当工作电流流过时,电压为 6V,并且该电压与工作电流为 $53\ \mu\text{A}$ 或 $106\ \mu\text{A}$ 无关,因为在 $106\ \mu\text{A}$ 处,工作电流被两个二极管分配。如果没有电流流过,电压降至 3V。这对应于阈值电压,在该阈值电压以下没有二极管电流可以通过。

[0136] 图 8d 示出了像素 $ij = 82$ 中二极管处电压的瞬时波形。当 $53\ \mu\text{A}$ 的工作电流流过这一二极管时电压为 6V。在第八行的寻址时间内,四个周期没有电流流过。在这一时间内像素处电压为 3V (阈值电压)。当没有电流在第二列中流通时,在行开关和列开关处的电压为 3V。当电流流过第二列时,列电压为 6V 并且这个未寻址行 8 的电位降为 3V (6V 减去阈值电压)。

[0137] 根据本发明的用于驱动矩阵显示器的方法的技术方案与传统的单线寻址方法一

样简便。在每行上有一个开关,并且每列设有电流源,该电流源在双线寻址的情况下具有三个电流等级(例如0,1,2),而在传统的单线寻址方法的情况下只有两个等级(例如0和1)。这是因为当多行被同时寻址时,必须备有相应增加的电流。通常情况是,当 n 行被同时寻址时需要有 $n+1$ 级的梯级。然而这将以低成本实现。下面详细描述用幅值和脉宽混合调制控制亮度的具体电路。

[0138] 在上述的示例中,使用的是工作电流的脉宽调制。 S 和 $M2$ 矩阵当然也可以通过工作电流的幅值调制来生成。在幅值调制中,每行和每多行被寻址直到它对应于在该行或多行上的最大值。这与脉宽调制是相同的。区别只在于在行寻址时间 t_i 内工作电流不断地流过并且其幅值等级是可调的。

[0139] 源矩阵(矩阵显示器 D)优化并高效地转化成多线矩阵 M 和单线矩阵 S 对于最小化工作电流是决定性的。优化意味着最大亮度总和 D_{sum} 的最小化,高效意味着可以快速进行转换并且硬件上的费用较低。

[0140] 原则上,矩阵 M 和 S 可以通过已知的方法,例如通过线性编程以及标准软件获得或确定。但是,由于必须使用如乘法和除法的复杂算法操作,因此这种方法很慢并且计算量很大。而且,复杂度随图像矩阵的大小高于二次地增加。

[0141] 因此根据本发明提出了一种组合的方法,该方法基于已知的“MaxFlow/MinCut”原理。因为优化的质量主要取决于两个连续行怎样不同,通过在两个连续等式之间形成区别而不改变解空间地将边条件(side condition) $D = S + M2 + M3 + \dots$ 重排列。矩阵 d' , S' 和 $M2'$, $M3'$ 如图9所示生成。矩阵 S' 类似于矩阵 d' 地形成。矩阵每列的和为零。

[0142] 被重新排列的边条件可以通过图10所示的图形形象化。

[0143] 这里,示为圆圈的每个顶点(从设为 V 的顶点)代表被重新排列的矩阵 d' 中的元。圆圈中的 d_{ij}' 表示图9所示的矩阵 d' 的对应元素。因此该顶点的值等于矩阵元素 d_{ij}' 的值。矩阵元素 d_{ij}' 之间的弧线是从一个顶点或圆圈指向另一个顶点或圆圈的箭头。这些弧线的每一个具有由箭头所示的方向并分配了数值。弧线(从设为 A 的弧线)的这种分配(数值)反映了在源数据矩阵显示器中对应变量具有的值。从一行延伸到下一行的弧线属于矩阵 S 。跳过一行即长度为“2”的弧线分配给矩阵 $M2$ 。长度为三的弧线相应地分配给矩阵 $M3$ 并且对于矩阵 $M4$, $M5$ 等等实行类似的分配。弧线的下标标识为 ij ,其中“ i ”是起始顶点(圆圈)行的数目,“ j ”是列的数目。

[0144] 这在以下通过已在图6和7中所涉及的示例解释。来自图6的 4×9 矩 D 被转换成图11中给出的 4×10 流矩阵(flow matrix) d' 。该流矩阵 d' 在图12中被示为待平衡的流量。

[0145] d' 矩阵的每个元素对应于相应位置的顶点。因为这是矩阵分解的起点,弧线仍然分配为零。当每个顶点的外出弧线(箭头从圆圈向外)的分配(数值)的总和减去进入弧线(箭头到达圆圈)的分配(数值)的总和等于顶点的对应值(需求)时,就可以获得有效的分解。所有的弧线数值都不是负的。

[0146] 图13示出了已平衡流量的结果。矩阵 $M3$, $M2$ 和 S 的所有元素可以从弧线的数值中获得。

[0147] 下面更详细地描述生成图13所示的已平衡流量的数学方法。

[0148] 如果两弧线的起始和终止顶点在各种情况下在同一行,则图13中的两个弧线(箭

头)应该是相同类型。目的在于找到有效的弧线数值,从而弧线类型的最大弧线的总和和被最小化。这在数学上可以如下所述。给定定向图 $G = (V, A)$, 其中根据类型的弧线集合 A 的被划分为 $A = A_1 \cup A_2 \cup \dots \cup A_p$ 。 p 是多线矩阵 M 和剩余的单线矩阵 S 的行的数目。而且, 存在函数 $b: V \rightarrow Z$, 该函数给每个顶点分配其需求。 Z 是整数 (整数)。函数 $f: A \rightarrow Z_{\geq 0}$ (要求), 从而对于每个顶点 $v \in V$ 等式

[0149]

$$\sum_{\substack{a \in A \\ v \text{ 是来自于 } a \text{ 的起始顶点}}} f(a) - \sum_{\substack{a \in A \\ v \text{ 是来自于 } a \text{ 的终止顶点}}} f(a) = b(v)$$

[0150] 成立, 并且

$$D_{Sum} = \sum_{k=1}^p \max \{f(a) : a \in A_k\}$$

[0152] 是最小的。上面的等式也称作“流量守恒”并且对应于基尔霍夫电流定律。 $b(v)$ 是该顶点的需求并且可以被认为是电流从地流入该顶点 (其中, 如果是负需求的话, 电流从顶点流向地)。 D_{Sum} 将被最小化。

[0153] 上述提到的内容等同于将非负数 (称之为容量) 分配至每个弧线类型 A_k , $k = 1, \dots, p$ 的问题, 从而这些容量的总和是最小的并且弧线的有效数值存在, 这不会超出容量的界限。

[0154] 这种新方法的特点在于容量对于行的有限长度的所有弧线是有效的。到达这些弧线的每个的流量小于或等于该容量。容量自身是可变的并且以某种方式表示了用于优化的成本或费用。所有容量的总和必须被最小化。与按给定容量使流量最大化的已知 MaxFlow/MinCut 方法相反, 在这种情况下按给定流量使容量最小化。

[0155] 容量是函数 $u: \{1, \dots, p\} \rightarrow Z_{\geq 0}$, 从而对于所有的 $k \in \{1, \dots, p\}$ 和 $a \in A_k$, 以下不等式 $f(a) \leq u(k)$ 成立。

[0156] 上述的最小化原则上也可以以线性程序建模和解决, 但如上所述, 这样的计算量很大。如以下所示, 根据本发明的上述方法在数学上可以以低的费用被实现, 如下所述。

[0157] 为此, 容量连续地增加, 即逐步地从零向上直至可以有效地分解。这也确保了容量大于或等于零。在每次迭代中, 弧线的集合被确定为其数值等于容量, 并且因此形成了阻碍有效解决的瓶颈。这种弧线的集合, 也称为最小割, 从具有负需求的那些顶点中分离具有正需求的顶点。则弧线的容量从最小割被增加。但优选地这只是出现在允许大多数弧线脱离瓶颈的容量。数值现在增加, 直到已经发现有效解, 或者发生新的瓶颈时, 由此重复上述的步骤。

[0158] 方法序列的数学公式如图 14 所示。程序模块“MaxFlow”和“MinCut”是文献中已知的标准方法。程序模块“Initialise”定义了 u 的起始值, 例如, $u(k) = 0$ 适用于所有的 $k \in \{1, \dots, p\}$ 。然而优选使用下边界, 所述下边界已经通过预处理数据产生。集合 H 描述了已计算的 MinCut 历史。当前 MinCut 的外出弧线称为 $C \subset A$, 并且迭代 i 的 MinCut 的外出弧线称为 $C_i \subset A$ 。参数 Δu 决定了各个容量增加的步长。优选地每次迭代只增加几个容量 (例如只是对于 k , 对于 $|A_k \cap C|$ 或加权和 $\sum_i w_i \cdot |A_k \cap C_i|$ 是最大的), 其中较早的步骤权重较小。 w 描述了历史的加权。步长的选择获得了方法的质量 (小 Δu , 例如 $\Delta u = 1$)

和运行时间 (大 Δu) 之间的折衷并且也可以动态适应。

[0159] 本发明的方法当然也可以用于图像矩阵的部分区域。以这种方式图像可以被分成多个段并且每个被单独地优化,这对应于局部的优化。

[0160] 同样地也可以通过逐行地或多行地置换限定大小的段进行全局和局部的混合优化。子矩阵由限定数目的行形成。子矩阵首先由源矩阵的上面的行形成。随着每次优化,可以得到首行或前几行的矩阵元 (S, M_2, M_3 等等)。因此后续的子矩阵被一行或多行地向下载换。先前所得到的多线矩阵行对这个新的子矩阵的作用必须被减去。然后,一或多行再次从 S, M_2, M_3 等中得出。子矩阵一直进行到源矩阵的末尾,然后被完全分解。以这种方式可以得出 S, M_2, M_3 等的所有元。

[0161] 相对小的矩阵的分解需要很小的存储器大小和很少的迭代。在矩阵通常较大的全局优化中,矩阵分解的结果必须被存储在缓存中,例如存储在 SRAM 或类似的装置中。对于输出驱动,直到在直接的激活之前信息才被逐行地读入寄存器。根据分段 / 局部或混合优化,首先通过子矩阵分解并因此也分别通过它们的和、 t_1 和 I_1 可以得出容量。由于快速分解,则行的结果又被连续地算出并且直接发至用于输出驱动的寄存器,从而大的缓存可以被省去。硬件费用可以通过分段 / 局部或混合优化被降低,而在这种情况下优化的质量也会有些降低。

[0162] 如果具有相应亮度的各个像素的矩阵 M, S 是不变的,则二极管必须被相应地驱动。各个行寻址时间 t_1 从行到行可以变化并且在各种情况下遵从这些行的最大亮度值。亮度可以通过电流的脉宽调制或幅值调制来控制。

[0163] 在脉宽调制中,只有具有最大亮度的像素 ij 在整个的行寻址时间过程中被接通,即工作电流流过它们。其余的像素 ij 只是暂时地点亮,各自的点亮时间与相应的亮度值 S_{ij}, M_{ij} 相关。

[0164] 可选择地,幅值调制也可以用于控制亮度,从而所有的像素 ij 在激活时段内,即在各自的行寻址时间 t_1 内被接通 100% 的时间并且具有较低亮度的像素 ij 中的工作电流被相应地减小。因此就硬件来说,幅值调制更难于实现。特别是在高的色彩深度或大量的灰度级的情况下如此,因此脉宽调制可以相对简便和精确地实现而没有使用硬件所需的高费用。

[0165] 特别优选的是将脉宽调制和幅值调制相结合从而降低具有较低亮度的像素 ij 中的工作电流。下面参考图 15 至 18 解释这种根据本发明的幅值和脉宽混合或组合调制。

[0166] 对于上述的根据本发明的多线寻址,工作电流必须被量化,即被分成多个不同的等级,从而将用于单线、双线和多线寻址的电流输入至列并且相应地调节电流的等级。例如,对于多线寻址 M_4 中的四个同时驱动的行,必须施加四倍的工作电流 ($4 \cdot I_1$)。

[0167] 为此,电流源可以用三个晶体管实现,如图 15 所示,包括两个单晶体管元件和一个双晶体管元件。这三个晶体管在栅极接收相同的控制电压,这时工作电流 $I = 4 \cdot I_1$ 对于四行是需要的。当需要工作电流 $I = 3 \cdot I_1$ 时,一个单晶体管元件没有控制电压施加,而将控制电压施加在双晶体管元件和另一个单晶体管元件的各自栅极上。对于 $I = 2 \cdot I_1$ 的工作电流的情况,或者双晶体管元件是有源的并且两个单晶体管元件是无源的,或者反过来。对于 $I = I_1$ 的工作电流的情况,只有一个单晶体管是有源的。

[0168] 量化的工作电流也可以用于再次降低由矩阵元给定的工作电流,所述矩阵元的亮

度值 M_{ij} , S_{ij} 不是最大值。为此,可以使用如图 18 中所示的用于亮度值 M_{ij} 的算法。结果符合用于控制亮度的脉宽和幅值组合调制。

[0169] 与用于控制亮度的单独的脉宽调制(图 16)相比较,这种组合的亮度控制的结果在图 17 中被示出。在纯粹的脉宽调制中,电流幅值例如是固定的 $100\ \mu\text{A}$ 。第一脉冲的脉宽是十分之六个单元 ($6/10$),其中这行的激活持续时间是 10 个单位(10 个单位的行寻址时间)。由于 6 个单位大于 10 个单位的一半并且小于 10 个单位的 $3/4$,所以在幅值/脉宽混合调制中第一脉冲的脉宽延长至初始值的 $4/3$ 。同时,幅值降至初始幅值的 $3/4$ (在示例中为 $75\ \mu\text{A}$)。这也可以通过图 17 和图 16 的比较而看出。第二脉冲的脉宽被加倍,而幅值又类似地被减半。第三和第五脉冲不可以被延长,因为它们的脉宽接近于相应行的激活持续时间(行寻址时间)。相反第四脉冲的宽度可以乘四。

[0170] 在图 17 中可以清楚地看出,工作电流的平均幅值在用于控制亮度的幅值和脉宽混合或组合调制中被降低。

[0171] 当然,可以只使用如图 18 所示的算法的部分。这些算法也适用于单线矩阵。在具有不同行数的多线寻址中,算法以相应的方式公式化。算法遵循电流源的量化。

[0172] 根据用于驱动矩阵显示器的本发明的方法以及实现所述方法而建立的显示器控制系统,本发明也涉及这种控制系统,因此可以实现优化的矩阵显示器的驱动。这可以被用于改善性能,例如增加的帧速率,和/或降低驱动各个像素所需的工作电流。主要特征在于每行的行寻址时间取决于这行中的像素必须达到的最大亮度,和/或在于矩阵显示器被分成多个独立的矩阵,所述矩阵中的一些表示多线驱动。

[0173] 本发明还涉及一种用于实现上述方法的控制系统。为此,所述的方法可以在专用 IC(ASIC) 中实现,例如显示器控制器和显示器驱动器被集成在一个芯片中。 t_1 和 I_1 在所述驱动器中生成。矩阵分解通过简便且快速的组合逻辑实现。

[0174] 由于图像以及由此导出的矩阵通常是数据量很大,所以也需要存储器。随着现代半导体工艺或者如上所述的局部或混合优化,可以减少这种需求。本发明的方法当然也可以分解到多个芯片中。

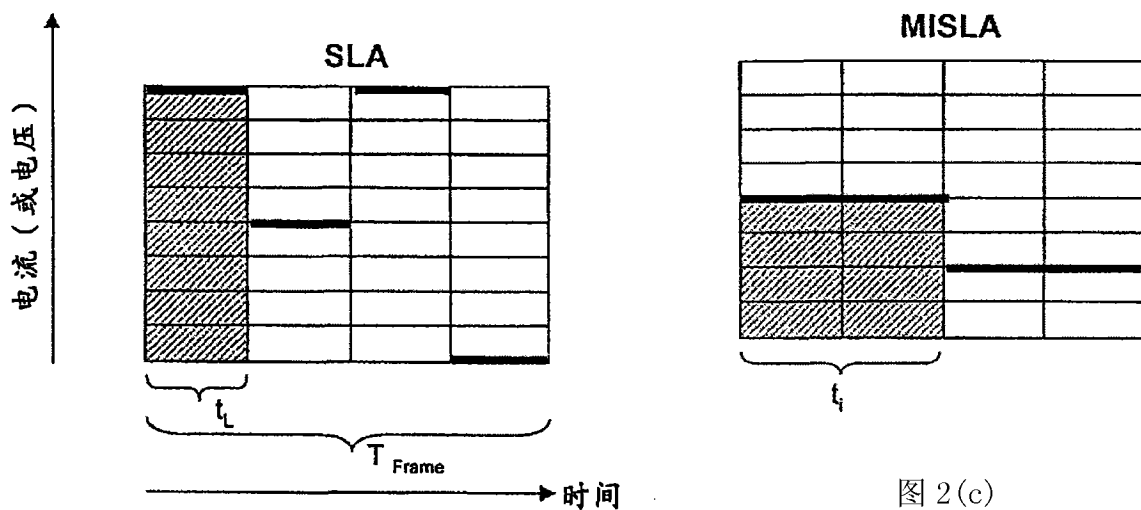
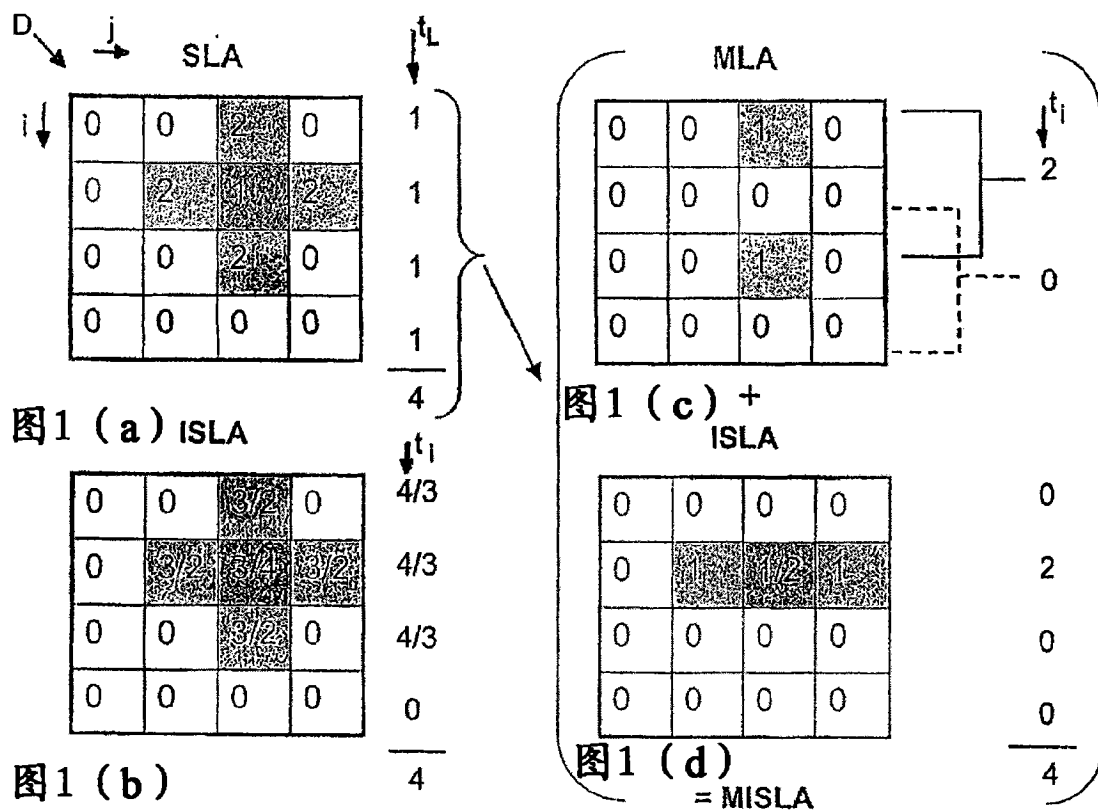
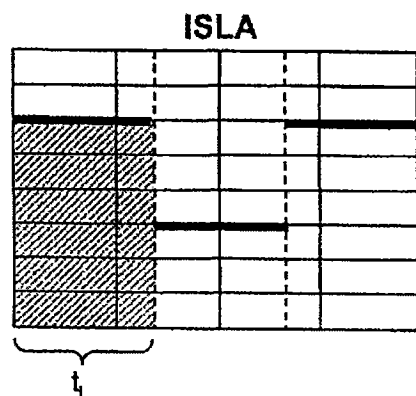


图 2(a)

图 2(c)

(图1中的像素(i, j = 1,3)或像素(i, j = 3,3)的脉冲)



$$D = \begin{pmatrix} 5 & 6 & 5 \\ 1 & 1 & 1 \\ 6 & 5 & 6 \\ 1 & 0 & 1 \\ 5 & 6 & 5 \end{pmatrix} \begin{matrix} \text{亮} \\ \text{暗} \\ \text{亮} \\ \text{暗} \\ \text{亮} \end{matrix}$$

图 3(a)

图 2(b)

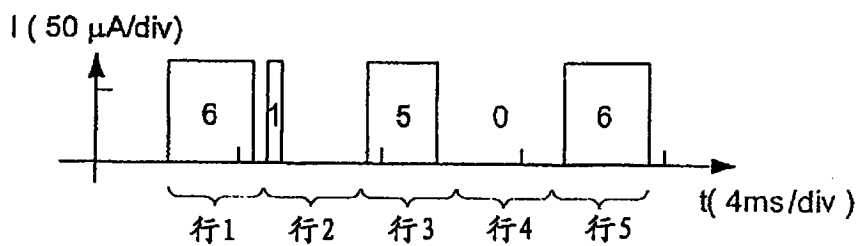


图 3(b)

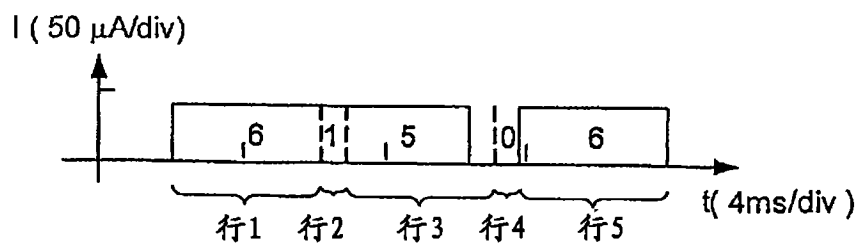


图 3(c)

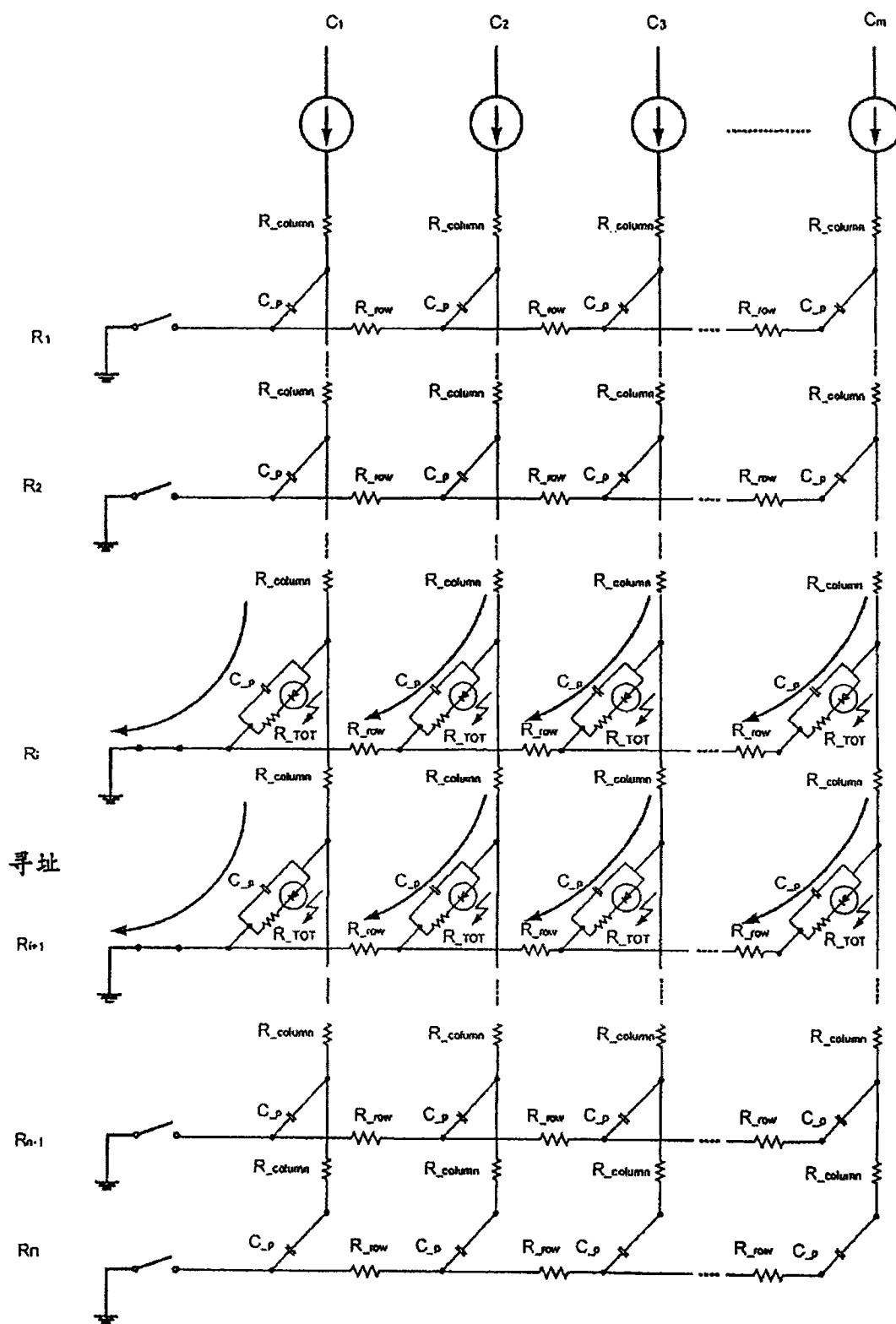


图 4

$$\begin{aligned}
S &= \begin{pmatrix} S_{11} & S_{12} & \dots & S_{1m} \\ S_{21} & S_{22} & \dots & S_{2m} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ S_{n1} & S_{n2} & \dots & S_{nm} \end{pmatrix} \\
M2 &= \begin{pmatrix} M2_{11} & M2_{12} & \dots & M2_{1m} \\ M2_{21} & M2_{22} & \dots & M2_{2m} \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ M2_{21} & M2_{22} & \dots & M2_{2m} \\ M2_{21} & M2_{22} & \dots & M2_{2m} \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} + \dots + \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ M2_{n-1,1} & M2_{n-1,2} & \dots & M2_{n-1,m} \\ M2_{n-1,1} & M2_{n-1,2} & \dots & M2_{n-1,m} \end{pmatrix} \\
&= \begin{pmatrix} M2_{11} & M2_{12} & \dots & M2_{1m} \\ M2_{11} + M2_{21} & M2_{12} + M2_{22} & \dots & M2_{1m} + M2_{2m} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ M2_{n-2,1} + M2_{n-1,1} & M2_{n-2,2} + M2_{n-1,2} & \dots & M2_{n-2,m} + M2_{n-1,m} \\ M2_{n-1,1} & M2_{n-1,2} & \dots & M2_{n-1,m} \end{pmatrix} \\
M3 &= \begin{pmatrix} M3_{11} & M3_{12} & \dots & M3_{1m} \\ M3_{11} & M3_{12} & \dots & M3_{1m} \\ M3_{11} & M3_{12} & \dots & M3_{1m} \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ M3_{21} & M3_{22} & \dots & M3_{2m} \\ M3_{21} & M3_{22} & \dots & M3_{2m} \\ M3_{21} & M3_{22} & \dots & M3_{2m} \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} + \dots + \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ M3_{n-2,1} & M3_{n-2,2} & \dots & M3_{n-2,m} \\ M3_{n-2,1} & M3_{n-2,2} & \dots & M3_{n-2,m} \\ M3_{n-2,1} & M3_{n-2,2} & \dots & M3_{n-2,m} \end{pmatrix}
\end{aligned}$$

图 5

$$D = M2 + S$$

$$D = \begin{pmatrix} 7 & 13 & 5 & 9 \\ 11 & 11 & 9 & 6 \\ 7 & 5 & 13 & 5 \\ 3 & 0 & 11 & 2 \\ 3 & 3 & 9 & 3 \\ 5 & 7 & 15 & 4 \\ 9 & 11 & 11 & 7 \\ 11 & 9 & 7 & 8 \\ 2 & 7 & 6 & 13 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 7 & 8 & 5 & 5 \\ 11 & 11 & 9 & 6 \\ 6 & 3 & 10 & 2 \\ 3 & 0 & 11 & 2 \\ 1 & 0 & 9 & 1 \\ 5 & 6 & 14 & 3 \\ 9 & 10 & 10 & 6 \\ 6 & 8 & 5 & 8 \\ 2 & 4 & 5 & 5 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 0 & 5 & 0 & 4 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 2 & 3 & 3 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 2 & 3 & 0 & 2 \\ 0 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 1 & 1 \\ 5 & 1 & 2 & 0 \\ 0 & 3 & 1 & 8 \end{pmatrix}$$

$$M2 = \begin{pmatrix} 7 & 8 & 5 & 5 \\ 11 & 11 & 9 & 6 \\ 6 & 3 & 10 & 2 \\ 3 & 0 & 11 & 2 \\ 1 & 0 & 9 & 1 \\ 5 & 6 & 14 & 3 \\ 9 & 10 & 10 & 6 \\ 6 & 8 & 5 & 8 \\ 2 & 4 & 5 & 5 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 7 & 8 & 5 & 5 \\ 7+4 & 8+3 & 5+4 & 5+1 \\ 4+2 & 3+0 & 4+6 & 1+1 \\ 2+1 & 0+0 & 6+5 & 1+1 \\ 1+0 & 0+0 & 5+4 & 1+0 \\ 0+5 & 0+6 & 4+10 & 0+3 \\ 5+4 & 6+4 & 10+0 & 3+3 \\ 4+2 & 4+4 & 0+5 & 3+5 \\ 2 & 4 & 5 & 5 \end{pmatrix}$$

图 6

$$D = M3 + M2 + S$$

$$D = \begin{pmatrix} 7 & 13 & 5 & 9 \\ 11 & 11 & 9 & 6 \\ 7 & 5 & 13 & 5 \\ 3 & 0 & 11 & 2 \\ 3 & 3 & 9 & 3 \\ 5 & 7 & 15 & 4 \\ 9 & 11 & 11 & 7 \\ 11 & 9 & 7 & 8 \\ 2 & 7 & 6 & 13 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 4 & 4 & 5 & 5 \\ 6 & 4 & 8 & 5 \\ 6 & 4 & 9 & 5 \\ 2 & 0 & 8 & 2 \\ 0 & 1 & 7 & 3 \\ 5 & 5 & 11 & 3 \\ 7 & 8 & 8 & 6 \\ 7 & 7 & 6 & 5 \\ 2 & 3 & 1 & 5 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 3 & 5 & 0 & 1 \\ 4 & 6 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 3 & 0 \\ 1 & 0 & 3 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 3 & 1 \\ 2 & 3 & 3 & 1 \\ 2 & 2 & 1 & 3 \\ 0 & 0 & 1 & 3 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 0 & 4 & 0 & 3 \\ 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 2 & 2 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 2 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 4 & 4 & 5 \end{pmatrix}$$

图 7

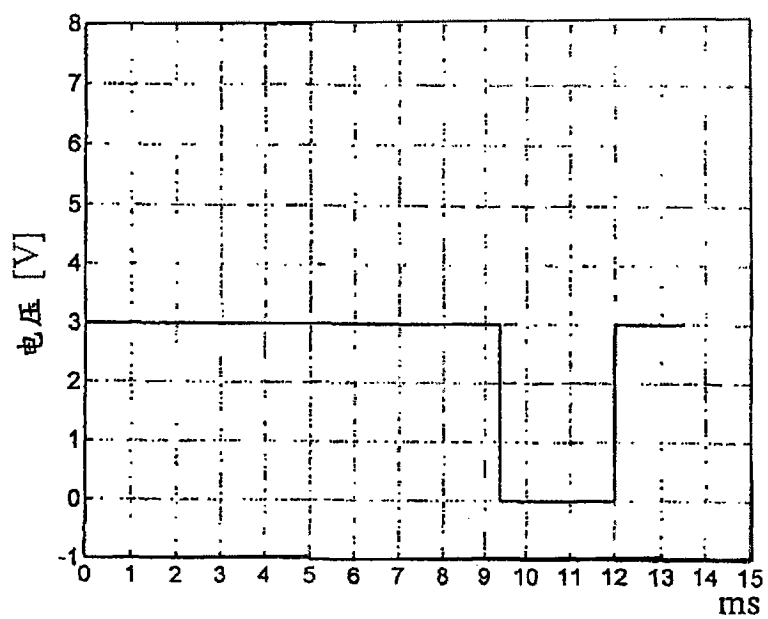


图 8(a)

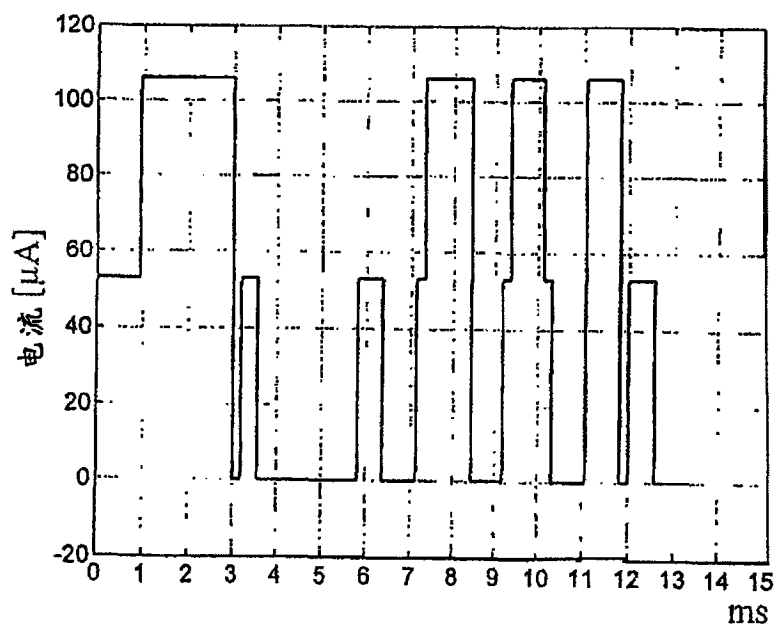


图 8(b)

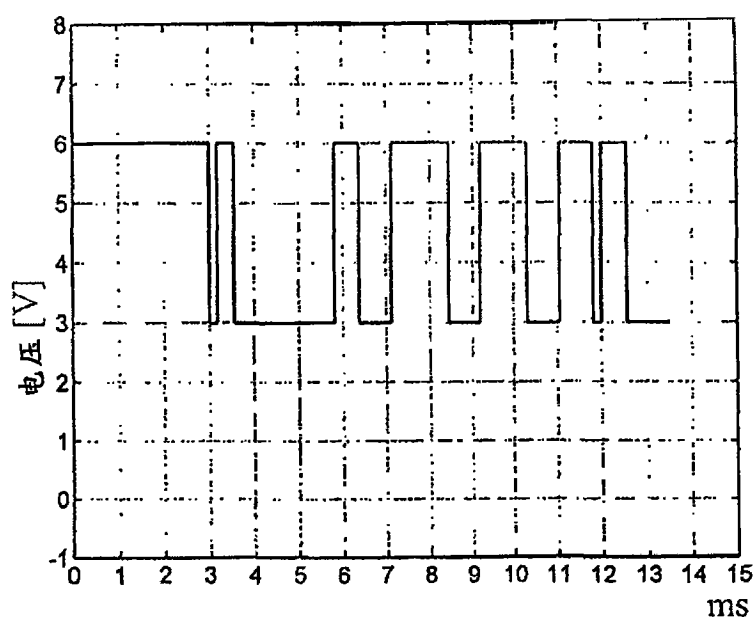


图 8(c)

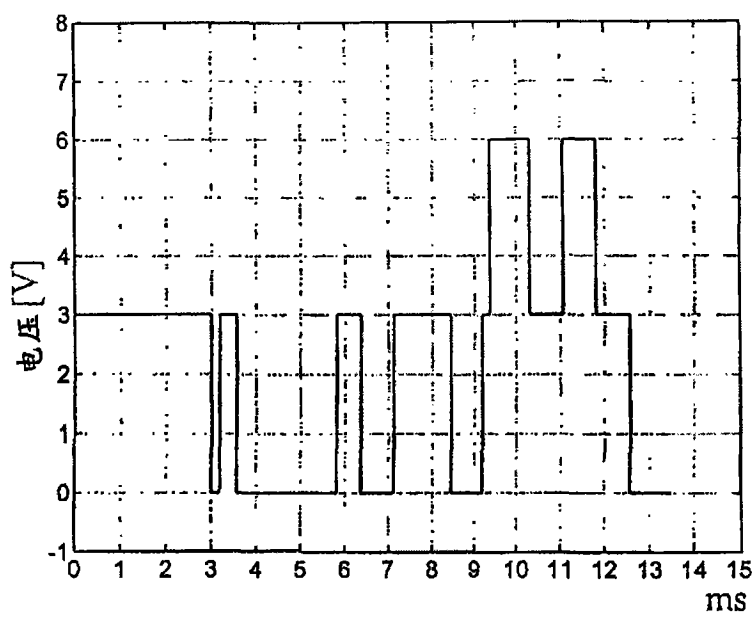


图 8(d)

$$d' = \begin{pmatrix} D_{11} & D_{12} & \dots & D_{1m} \\ D_{21} - D_{11} & D_{22} - D_{12} & \dots & D_{2m} - D_{1m} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ D_{n1} - D_{n-1,1} & D_{n2} - D_{n-1,2} & \dots & D_{nm} - D_{n-1,m} \\ -D_{n1} & -D_{n2} & \dots & -D_{nm} \end{pmatrix}$$

$$M2' = \begin{pmatrix} M2_{11} & M2_{12} & \dots & M2_{1m} \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ -M2_{11} & -M2_{12} & \dots & -M2_{1m} \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

$$+ \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ M2_{21} & M2_{22} & \dots & M2_{2m} \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ -M2_{21} & -M2_{22} & \dots & -M2_{2m} \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

$$+ \dots + \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ M2_{n-1,1} & M2_{n-1,2} & \dots & M2_{n-1,m} \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ -M2_{n-1,1} & -M2_{n-1,2} & \dots & -M2_{n-1,m} \end{pmatrix}$$

$$M3' = \begin{pmatrix} M3_{11} & M3_{12} & \dots & M3_{1m} \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ -M3_{11} & -M3_{12} & \dots & -M3_{1m} \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

$$+ \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ M3_{21} & M3_{22} & \dots & M3_{2m} \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ -M3_{21} & -M3_{22} & \dots & -M3_{2m} \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

$$+ \dots + \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ M3_{n-2,1} & M3_{n-2,2} & \dots & M3_{n-2,m} \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ -M3_{n-2,1} & -M3_{n-2,2} & \dots & -M3_{n-2,m} \end{pmatrix}$$

图 9

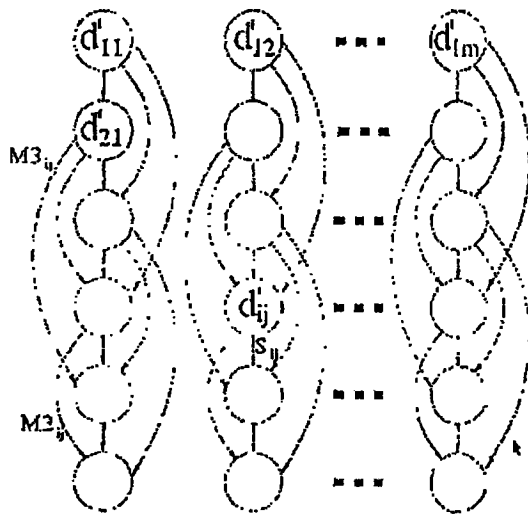


图 10

$$d' = \begin{pmatrix} 7 & 13 & 5 & 9 \\ 4 & -2 & 4 & -3 \\ -4 & -6 & 4 & -1 \\ -4 & -5 & -2 & -3 \\ 0 & 3 & -2 & 1 \\ 0 & 4 & 6 & 1 \\ 4 & 4 & -4 & 3 \\ 2 & -2 & -4 & 1 \\ -9 & -2 & -1 & 5 \\ -2 & -7 & -6 & -13 \end{pmatrix}$$

图 11

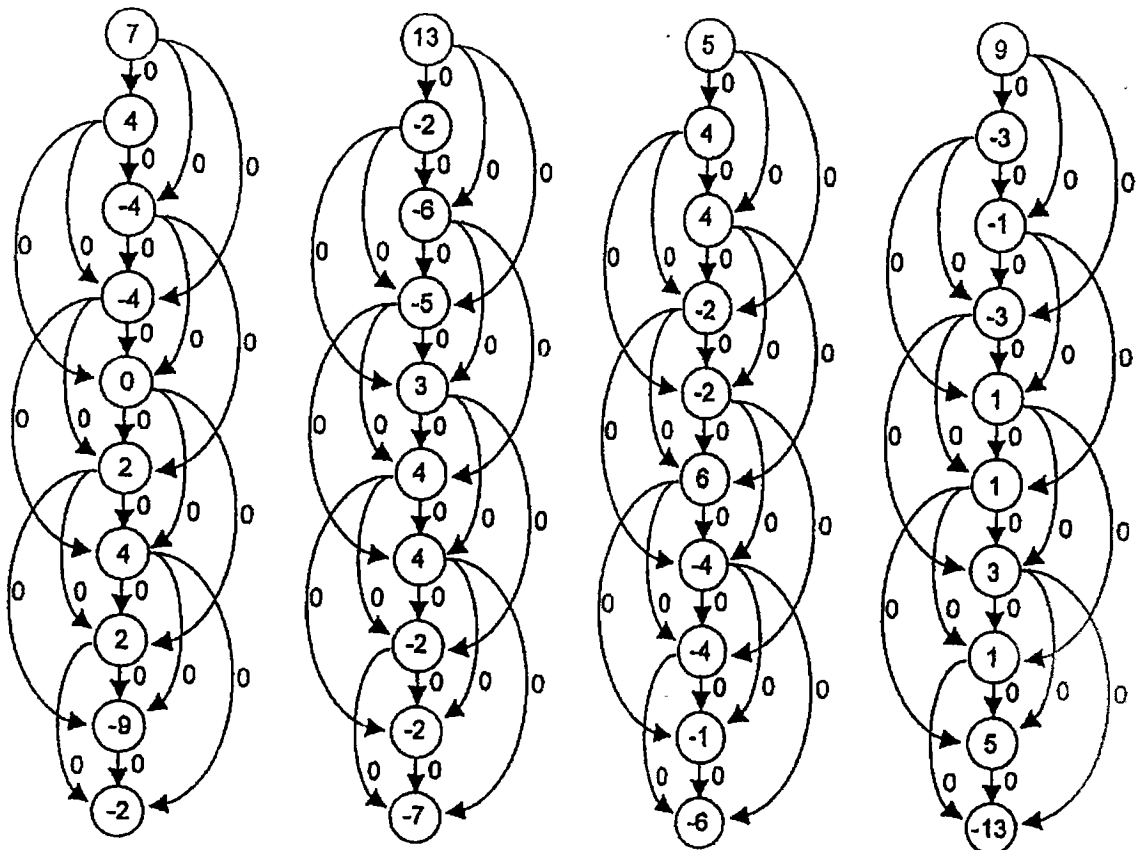


图 12

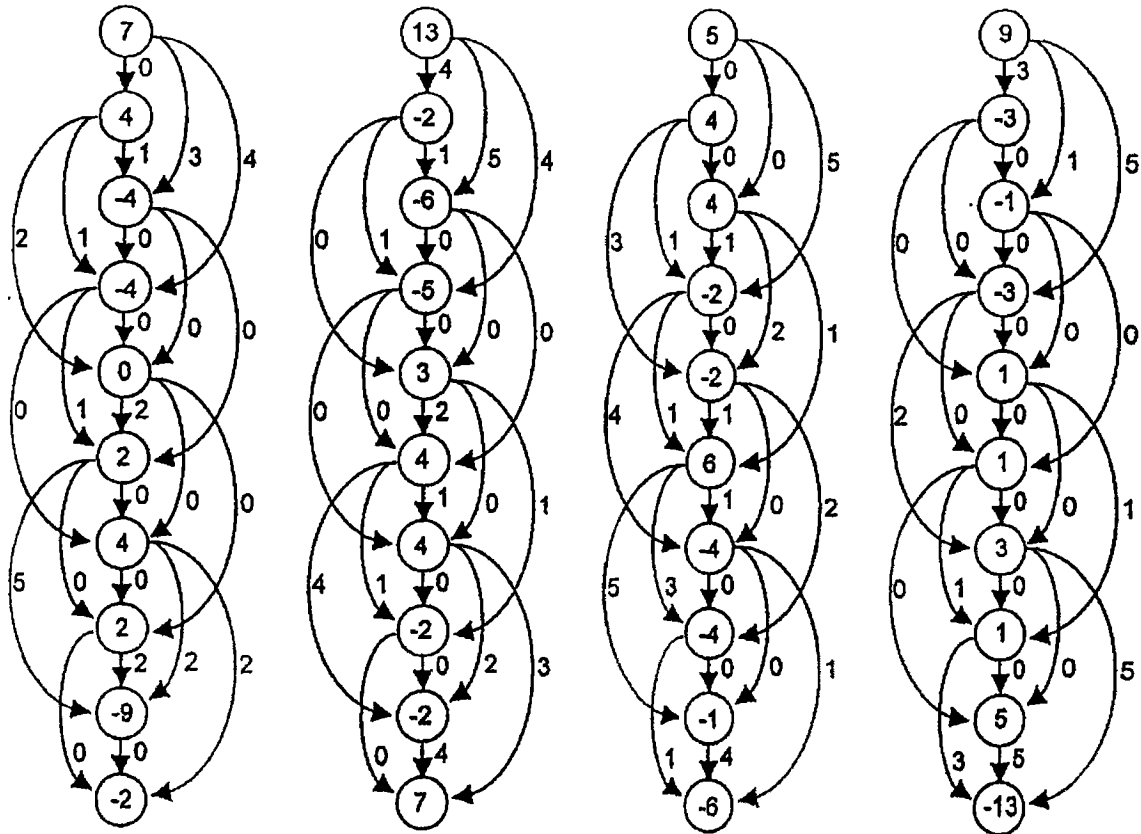


图 13

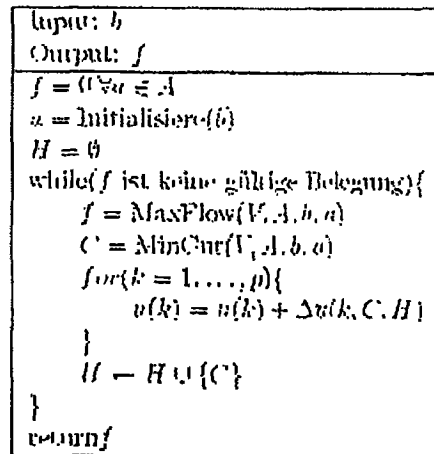


图 14

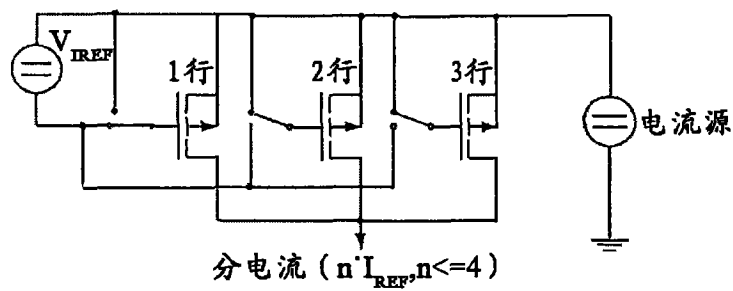


图 15

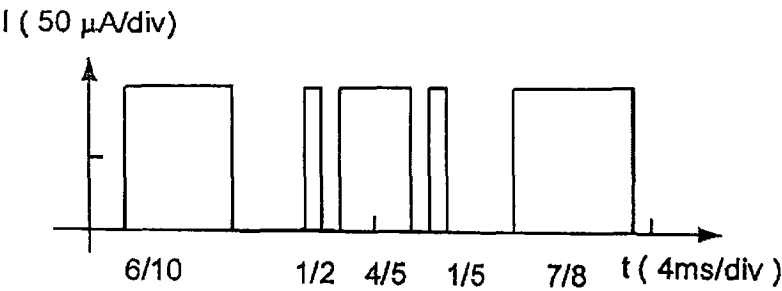


图 16

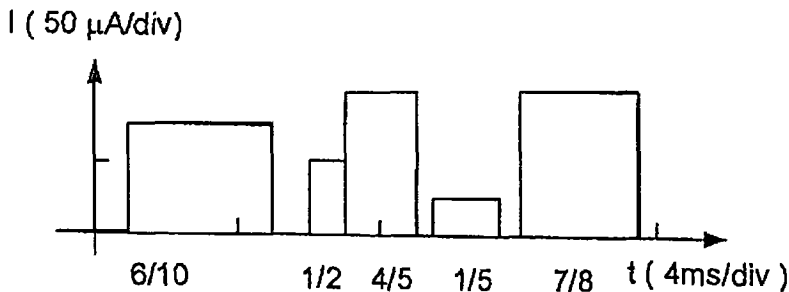


图 17

```
if ( $M_{ij} \leq \frac{1}{4} \times M_{i,max}$ ) then  
   $M_{ij} = 4 \times M_{ij}$   
   $I = I_1$   
elseif ( $M_{ij} \leq \frac{1}{2} \times M_{i,max}$ ) then  
   $M_{ij} = 2 \times M_{ij}$   
   $I = 2 \times I_1$   
else if ( $M_{ij} \leq \frac{3}{4} \times M_{i,max}$ )  
  then  $M_{ij} = \frac{4}{3} \times M_{ij}$   
   $I = 3 \times I_1$   
else  
   $M_{ij} = M_{ij}$   
   $I = 4 \times I_1$   
endif
```

图 18