(19)中华人民共和国国家知识产权局

(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 101009802 B
(45)授权公告日 2011.01.26

(21)申请号 200610172492.8

(22)申请日 2006.12.29

(30)优先权数据
06290155.8 2006.01.26 EP

(73)专利权人 汤姆森许可贸易公司
地址 法国布洛涅

(72)发明人 帕斯卡尔·布尔登 洛朗·布隆德 蒂埃里·博雷尔

(74)专利代理机构 中科专利商标代理有限责任公司 11021
代理人 罗松梅

(51)Int.Cl.
H04N 5/913(2006.01)
H04N 5/232(2006.01)
H04N 5/14(2006.01)

(56)对比文件
US 2003/0169281 A1,2003.09.11, 全文.
WO 00/74366 A2,2000.12.07, 全文.
EP 1237369 A2,2002.09.04, 说明书摘要、[0065]-[0067]、[0077]-[0085]、[0092]-[0111]、[0124]-[0129]和附图 11-14、22、25-28.
CN 1691768 A,2005.11.02, 全文.
CN 1691767 A,2005.11.02, 全文.
CN 1685727 A,2005.10.19, 全文.
WO 01/56279 A2,2001.08.02, 全文.
CN 1608376 A,2005.04.20, 全文.
US 2004/0033060 A1,2004.02.19, 全文.

审查员 陈茜茜

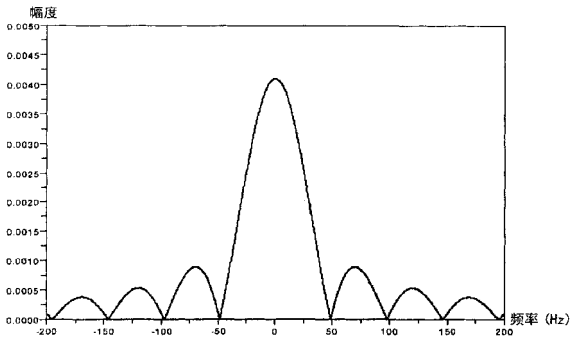
权利要求书 1 页 说明书 9 页 附图 5 页

(54)发明名称

处理视频图像序列的方法和设备

(57)摘要

本发明公开了防止影院中的非法拷贝的新调制方案。现有调制方案中没有一种对摄像机设备的建模作出正确的假设。在这样的典型方案中，总是不考虑快门速度的影响，将摄像机认为是采样设备。典型地，将摄像机的快门比作低通滤波器。结果，可以简单地通过将快门速度设置为低值(低截止频率)，来去除调制效应。快门效应的正确数学建模显示，在频域中，摄像机的行为接近于具有主瓣和旁瓣的基本正弦函数。因此，根据本发明，提出了选择这样的调制频率，使得不仅一旦在无快门条件下由摄像机记录，便生成视觉的假像，而且尽管通过经快门频谱的旁瓣得到低快门速度设置，也可以生成假像。



CN 101009802 B

1. 一种用于处理由视频信号表示的视频图像序列的方法，所述方法包括：

调制步骤，在调制频率（f_m）处将所述序列每个图像的一组像素的亮度幅度在时间上调制到所述图像要显示的亮度值周围，其中，将所述调制选择为对于人眼不可见，同时在由数字视频捕获设备捕获所述视频图像时，产生由于混叠导致的假像，

其特征在于，在以函数 sinc（πfτ）的局部极值为中心的有限的频率范围内选择所述调制频率（f_m），其中，所述函数 sinc 是基本正弦函数，τ 是数字视频捕获设备的快门积分时间，以及 f 是频率，以及其中，如果所述局部极值与频率 F 相对应，则以所述频率 F 为中心的有限的频率范围从 F-Δ 延伸至 F+Δ，所述 Δ 包含于 5 至 15Hz 之间。

2. 如权利要求 1 所述的方法，其中，选择所述快门积分时间 τ 等于所述数字视频捕获设备的采样频率 f_s 的倒数。

3. 如权利要求 1 或 2 所述的方法，其中，在所述数字视频捕获设备的快门积分时间的倒数等于 50Hz 时，在以频率 71.5Hz 或 122.9Hz 为中心的有限的频率范围内选择所述调制频率。

4. 如权利要求 1 或 2 所述的方法，其中，在所述数字视频捕获设备的快门积分时间的倒数等于 60Hz 时，在以频率 85.8Hz 或 147.5Hz 为中心的有限的频率范围内选择所述调制频率。

5. 用于处理由视频信号表示的视频图像序列的设备，所述设备包括：调制器（10），用于在调制频率（f_m）处将所述序列每个图像的一组像素的亮度幅度在时间上调制到所述图像要显示的亮度值周围，其中，将所述调制选择为对于人眼不可见，同时在由数字视频捕获设备捕获所述视频图像时，产生由于混叠导致的假像，

其特征在于，在以函数 sinc（πfτ）的局部极值为中心的有限的频率范围内选择用于幅度调制的频率（f_m），其中，所述函数 sinc 是基本正弦函数，τ 是数字视频捕获设备的快门积分时间，以及 f 是频率，以及其中，如果所述局部极值与频率 F 相对应，则以所述频率 F 为中心的有限的频率范围从 F-Δ 延伸至 F+Δ，所述 Δ 包含于 5 至 15Hz 之间。

6. 如权利要求 5 所述的设备，其中，选择所述快门积分时间 τ 等于所述数字视频捕获设备的采样频率 f_s 的倒数。

7. 如权利要求 5 或 6 所述的设备，其中，在所述数字视频捕获设备的快门积分时间的倒数等于 50Hz 时，在以频率 71.5Hz 或 122.9Hz 为中心的有限的频率范围内选择所述调制频率。

8. 如权利要求 5 或 6 所述的设备，其中，在所述数字视频捕获设备的快门积分时间的倒数等于 60Hz 时，在以频率 85.8Hz 或 147.5Hz 为中心的有限的频率范围内选择所述调制频率。

9. 如权利要求 5 或 6 所述的设备，其中，以等于或高于调制频率（f_m）的两倍的帧速率（f_r'）来输出由所述调制器计算的图像。

10. 如权利要求 9 所述的设备，其中，以帧速率（f_r'）来输出由所述调制器计算的所述图像，所述帧速率（f_r'）等于将所述图像输入所述调制解调器的帧速率（f_r）的倍数。

处理视频图像序列的方法和设备

技术领域

[0001] 本发明涉及处理由视频信号表示的视频图像序列的方法，包括调制步骤，所述调制步骤用于将该序列每个图像的一组像素的亮度幅度在时间上调制所述图像要显示的亮度值周围，该调制对于人眼不可见。

背景技术

[0002] 视觉内容（固定或移动的图像）通常是受益于与创建者的权利相关联的排它保证的创建。通常，仅在严格限定的允许酬谢创建者及其受益者的框架内允许这些视觉内容的再现。

[0003] 为了确保正确地遵守这些法律规定，已经开发了许多系统，用于防止非法拷贝或用于使拷贝质量下降到使它们不可用。

[0004] 在该环境下，专利申请 EP 1 237 369 致力于抵制在显示图像时通过相机来拷贝图像，例如，在影院中使用摄像机。在该文献中，提出了将代表反盗版消息的所选像素的亮度幅度在时间上调制在要以高速率显示的值周围，使得该消息对于人眼不可见，但是在由摄像机录制时，在序列中生成假像。这样的解决方案需要以高于闪烁融合频率的速率进行调制（大约 50Hz），因而仅应用于具有高图像刷新速率的系统（至少大约 100Hz）。当应用于具有较低显示速率（例如，50Hz 或 60Hz）的系统时，调制可以对于人眼可见，以及将会可见地使所显示图像的重现降级。

[0005] 该方法的主要缺点在于，可以容易地通过将摄像机设置为低快门速度设置，来去除该反盗版消息。

发明内容

[0006] 本发明的目的是详细阐述一种方法，既能够在数字电影的摄像机拷贝上生成混叠假像，又防止了低快门速度设置。

[0007] 在本发明中，快门效应的数学建模显示，在频域中摄像机的行为接近于具有主瓣和旁瓣的基本正弦函数（cardinal sine function）。因此，根据本发明，提出了选择这样的调制频率，使得不仅一旦在无快门（shutter-free）条件下由摄像机记录，便生成视觉的假像，而且尽管通过经快门频谱的旁瓣得到低快门速度设置，也可以生成假像。

[0008] 因此，本发明的目的通过用于处理由视频信号表示的视频图像序列的方法来解决，该方法包括以下步骤：将该序列每个图像的一组像素的亮度幅度在时间上调制在所述图像要显示的亮度值周围，其中，将所述调制选择为对于人眼不可见，同时在由数字视频捕获设备捕获所述视频图像时，由于混叠生成假像。根据本发明，在以函数 $\mathrm{sinc}(\pi f \tau)$ 的局部极值为中心的有限的频率范围内选择调制频率，其中，函数 sinc 是基本正弦函数，以及 τ 是数字视频捕获设备的快门积分时间。

[0009] 在标准情况下，将快门积分时间 τ 调整为数字视频捕获设备（例如，PAL 摄像机或 NTSC 摄像机）的采样频率 f_s 的倒数。

[0010] 根据本发明，在标准情况下，为了应对 PAL 摄像机（采样频谱等于 50Hz），因而在以频率 71.5Hz 或 122.9Hz 为中心的有限的频率范围内选择调制频率。而对于 NTSC 摄像机（采样频率等于 60Hz），在以频率 85.8Hz 或 147.5Hz 为中心的有限的频率范围内选择调制频率。

[0011] 本发明还涉及用于处理由视频信号表示的视频图像序列的设备，该设备包括：调制器，用于将该序列每个图像的一组像素的亮度幅度在时间上调制所述图像要显示的亮度值周围，其中，将所述调制选择为对于人眼不可见，同时在由数字视频捕获设备捕获所述视频图像时，由于混叠生成假像。根据本发明，将调制频率选择在以函数 sinc（πfτ）的局部极值为中心的有限的频率范围内，其中，函数 sinc 是基本正弦函数，以及 τ 是数字视频捕获设备的快门积分时间。

[0012] 如上所述，当将快门积分时间 τ 调整为数字视频捕获设备的采样频率 f_s 的倒数时，在以频率 71.5Hz 或 122.9Hz 为中心的有限的频率范围内选择调制器使用的调制频率，以应对 PAL 摄像机，以及在以频率 85.8Hz 或 147.5Hz 为中心的有限的频率范围内选择调制频率，以应对 NTSC 摄像机。

[0013] 此外，以等于或高于调制频率两倍的帧速率来输出由调制器计算的图像。优选地，该帧速率等于将图像输入调制器的帧速率的倍数。

附图说明

[0014] 在附图中示出了本发明的示例性实施例，并在以下描述中，更加详细地解释了本发明的示例性实施例。其中：

[0015] 图 1 是示出了人眼闪烁灵敏度的图；

[0016] 图 2 是示出了函数 x(t) 的均匀采样的一对图；

[0017] 图 3 是示出了时域和频域中的采样过程的一对图；

[0018] 图 4 是示出了具有低采样频率的采样操作的一对图；

[0019] 图 5 是示出了基带信号和幅度调制信号的频率带宽的一对图；

[0020] 图 6 示出了频带 0-50Hz 的函数 sinc（πfT）的幅度；

[0021] 图 7 示出了完整频谱的函数 sinc（πfT）的幅度；

[0022] 图 8 表示示出了本发明方法的四个图；

[0023] 图 9 示出了警告消息的示例；以及

[0024] 图 10 示出了本发明的电路实施方式。

具体实施方式

[0025] 本发明阐述了在影院中防止非法拷贝的新调制系统。尽管已经提出了其它调制方案来应对摄像机，但是那些方案中没有一个对于摄像机设备的建模作出了正确的假设。在这样的典型方案中，总是将摄像机仅认为是采样设备，而好的模型应当考虑快门速度的影响。典型地，将摄像机的快门比作位于功能性方案的采样过程之前的可变截止频率低通滤波器。结果，可以简单地通过将快门速度设置为低值（低截止频率），来去除调制效应。在本发明中，快门效应的数学建模显示，在频域中，摄像机的行为接近于具有主瓣和旁瓣的基本正弦函数。因此，根据本发明，提出了选择这样的调制频率，使得不仅一旦在无快门条件

下由摄像机记录，便生成视觉的假像，而且尽管通过经快门频谱的旁瓣得到低快门速度设置，也可以生成假像。

[0026] 在详细解释本发明之前，给出关于人类视觉系统、傅立叶变换、采样过程和幅度调制的一些信息。

[0027] 根据多个心理学研究，人类视觉系统或 HVS 选择性地对于不同范围的空间和时间频率敏感。这些研究通常在于分析人类观察者对于空域和 / 或时域中亮度的周期（正弦）变化的反应。术语“空间频率”指每度视角的周期数，而术语“时间频率”指每秒的周期数。在本申请中，术语“频率”将指时间频率。

[0028] 图 1 示出了根据频率的 HSV 的亮度闪烁敏感度。亮度闪烁无法感知等于或大于 50Hz 的频率。

[0029] 傅立叶变换是在频率（或“频谱”）域内分析时间变化函数的公知工具。令 x(t) 为连续函数。x(t) 相应的傅立叶变换可以写作：

[0030] $$F[x(t)] = X(f) = \int_{-\infty}^{+\infty} x(t)e^{-j2\pi ft}dt \qquad (1)$$

[0031] 相应的傅立叶反变换是：

[0032] $$F^{-1}[X(f)] = x(t) = \int_{-\infty}^{+\infty} X(f)e^{j2\pi ft}df \qquad (2)$$

[0033] 尽管幅度是关注的唯一感兴趣的数据，但是由幅度和相位角来定义傅立叶变换。在以下的表 1 中给出了公知的函数和操作符的从时域到频域转换的示例：

[0034]

$x(t) = F^{-1}[X(f)]$	$X(f) = F[x(t)]$
1	$\delta(f)$
$e^{-j2\pi f_0 t}$	$\delta(f + f_0)$
$a.x(t) + b.y(t)$	$a.X(f) + b.Y(f)$
$x(t).y(t)$	$X(f) * Y(f)$
$x(t) * y(t)$	$X(f).Y(f)$
$e^{-j2\pi f_0 t}.x(t)$	$\delta(f + f_0) * X(f) = X(f + f_0)$
$\cos(2\pi f_0 t) = \frac{e^{-j2\pi f_0 t} + e^{j2\pi f_0 t}}{2}$	$\frac{1}{2}(\delta(f + f_0) + \delta(f - f_0))$
$\delta(t - t_0)$	$e^{-j2\pi f t_0}$
$\sum_{n=-\infty}^{n=+\infty} \delta(t - nT_s)$	$\sum_{n=-\infty}^{n=+\infty} \frac{1}{T_s}\delta(f - \frac{n}{T_s})$

[0035] 当用于分析模数和数模转换方案 (ADC/DAC) 时，傅立叶变换非常有用。从模拟到数字的任何函数的转换总是以时间采样过程开始，时间采样过程在于从连续至离散表示空

间的切换。该离散化过程可以通过该函数与由 T_s（T_s 为采样周期，以及 $f_s = \frac{1}{T_s}$ 是采样频率）间隔的狄拉克得尔塔函数的无限序列之间的乘积进行数学建模：

[0036] $$\{x_n\} = \sum_{n=-\infty}^{n=+\infty} x(nT_s) = x(t).\sum_{n=-\infty}^{n=+\infty} \delta(t - nT_s) \qquad (3)$$

[0037] 图 2 示出了函数 x(t) 的采样过程。使用表 1 中表示的变换，离散函数 $\{x_n\}$ 的傅立叶变换可以写为：

[0038] $$F[\{x_n\}] = F\left[x(t).\sum_{n=-\infty}^{n=+\infty}\delta(t - nT_s)\right]$$

[0039] $$= F[x(t)] * F\left[\sum_{n=-\infty}^{n=+\infty}\delta(t - nT_s)\right]$$

[0040] $$= X(f) * \sum_{n=-\infty}^{n=+\infty}\frac{1}{T_s}\delta(f - \frac{n}{T_s})$$

[0041] $$= f_s\sum_{n=-\infty}^{n=+\infty}X(f - nf_s)$$

[0042] 换言之，对空 / 时域中的函数的采样引入了图 3 示出的频域中的时段划分。在该图中，函数 x(t) 的频谱在频带 [0-F] 上展开。如图所示，由于可以从对于 $F[\{x_n\}]$ 的低通滤波操作中恢复 F[x(t)]，所以可以从 $\{x_n\}$ 中完全恢复 x(t)。然而，为了执行无损的模数 / 数模转换，必须对于所选的采样时间 / 频率采取特别关注。如果采样频率 f_s 低于 2F，则 F[x(t)] 的时段倾向于重叠，因而导致了图 4 所示的频谱 $F[\{x_n\}]$。这个新频谱不允许恢复原始的频谱 F[x(t)]。如果符合公知的奈奎斯特 - 香农采样定理，则可以防止重叠现象（称为混叠）。该定理阐述了当对信号（例如，从模拟信号转换为数字信号）进行采样时，采样频率必须大于输入信号带宽的两倍（$f_s > 2F$），以能够从采样版本中优选地重构原始版本。

[0043] 因此，作为任何采样设备，摄像机可以生成混叠假像。在反盗版或反摄像机系统的情况下，使摄像机生成这样的混叠假像是有用的。由于不可能作用于摄像机的采样频率 f_s（对于交织域，50Hz PAL/60HzNTSC），本发明的原理是：通过使用特定调制频率（不经摄像机滤波）的幅度调制，来增加视频信号的带宽 F。

[0044] 幅度调制 (AM) 是一种调制形式，其中，载波信号的幅度依据调制信号的幅度而改变。基本的 AM 操作在于，将调制信号（例如，x(t)）与频率为 f_m 的载波信号 c(t) 相乘。将载波信号 c(t) 定义为：

[0045] $c(t) = \beta\cos(2\pi f_m t)$

[0046] 幅度调制信号 $x_{AM}(t)$ 是：

[0047] $x_{AM}(t) = x(t).(1+c(t)) = x(t)+x(t).\beta\cos(2\pi f_m t)$

[0048] 信号 $x_{AM}(t)$ 的傅立叶变换是：

[0049] $$X_{AM}(f) = X(f) + X(f) * \frac{1}{2}(\delta(f - f_m) + \delta(f + f_m))$$

[0050] $$= X(f) + \frac{1}{2}(X(f - f_m) + X(f + f_m))$$

[0051] 图 5 给出了该傅立叶变换的图形表示。示出了调制信号的幅度频谱 X(f) 和幅度调制信号的完整幅度频谱 $X_{AM}(f)$。

[0052] 参照图 5，可以容易地理解，这种幅度调制对于在所记录的视频序列上生成混叠假像是多么有用。如果调制频率 f_m 高到足以在界限 $f_s/2$ 上增加视频信号的带宽、以及高到足以使附加的频谱内容对于人类视觉系统不可见，则该附加内容将会在摄像机获取期间重叠，创建人类观察者能够感知的假像。为了创建警告信息，将会把调制应用于代表在 EP 1 237 369 中公开的警告信息的所选的一组像素。

[0053] 直到现在，基于调制的反摄像机方法仅将摄像机认为是采样设备，正如将在之后看到的，这是一种错误的假设。在摄像机技术中，视觉信号的记录 / 采样过程首先需要视觉信号向 CCD/CMOS 传感器曝光特定时间量。尽管用于大多数视频摄像机的快门不是机械的，以及尽管是时间段而不是速度，但是，通常将曝光表示为“快门速度”。晶片 (chip) 相机“快门”速度简单地标识在重复周期之前允许在晶片内电子构建感光电荷的时间的倒数。在频域内，通常将快门比作低通滤波器，具有直接与滤波器的截止频率相关的曝光时间。

[0054] 对于每秒记录 25 帧的 PAL 摄像机设备，由于使用了交织帧，所以实际采样频率 f_s 为 50Hz。基于奈奎斯特 - 香农采样定理，为了生成混叠假像，应当将调制频率 f_m 设置为高于 $f_s/2$ 的任何值，使得条件为：

[0055] $f_m > 25Hz$

[0056] 但是，为了确保合法观众将不会感知到调制效应，调制频率 f_m 不应当位于人类观察者可以感知到闪烁 (见图 1) 的频带内，因而第二条件为：

[0057] $f_m > 50Hz$

[0058] 这个新的条件更具限制性。公知地，影院标准将刷新速率设置为每秒 24 个图像。在尝试盗版电影的情况下，由于电影不会超过 12Hz，所以将摄像机的快门速度设置为 1/50(对于 PAL 摄像机值，这是标准) 不会修改电影。此外，如果 1/50 的快门速度等于具有 50Hz 的截止频率的低通滤波器，以及由于在摄像机中的采样过程之前出现滤波过程，所以将不可能生成经过条件 $f_m > 50Hz$ 下的快门过程的调制效应。则不可能生成混叠假像。

[0059] 但是以下给出了快门行为的数学建模，示出了快门不只是低通滤波器，以及适当的幅度调制可以生成混叠。

[0060] 曝光时间是快门将 CCD/CMOS 传感器曝露于入射光的时间间隔，而将积分时间定义为将摄像机的时钟设置为限制和保留电荷 (charg) 的时间间隔。对于 CCD，积分时间开始于将 CCD 清零时。从清零的结尾开始计数，直至 CCD 开始读数。尽管由摄像机读数器件的行为对积分时间进行限定，但是可以认为积分时间等于曝光时间。所以可以由以下等式来对快门效应进行建模：

[0061] $$x_{shut}(t) = \int_{t-T}^{t} x(\tau)d\tau \qquad (3)$$

[0062] 其中，T 是快门速度，

[0063] x(t) 是输入信号，以及

[0064] $x_{shut}(t)$ 是输出信号。

[0065] 一旦进行了积分，输入信号 x(t) 进入摄像机的采样过程。然后，所记录的序列 $x_{rec}(t)$ 的实际模型可以写作：

[0066] $$x_{rec}(t)=\sum_{n=-\infty}^{+\infty}\left[\int_{t-T}^{t}x(\tau)d\tau\right].\sum_{n=-\infty}^{n=+\infty}\delta(t-nT_s) \quad (4)$$

[0067] 使用等式 (3) 的变量的两种变化，可以将 $x_{shut}(t)$ 写作：

[0068] $$x_{shut}(t)=\int_{t-T}^{t}x(\tau)d\tau$$

[0069] $$=\int_{-T}^{0}x(\varphi+t)d\varphi \text{ 其中 } \varphi=\tau-t$$

[0070] $$=\int_{-\infty}^{+\infty}x(\varphi+t).\mathrm{rect}_T(\varphi+\frac{T}{2})d\varphi \quad (5)$$

[0071] $$=\int_{-\infty}^{+\infty}x(\chi).\mathrm{rect}_T(\chi-t+\frac{T}{2})d\chi \text{ 其中 } \chi=\varphi+t$$

[0072] $$=\int_{-\infty}^{+\infty}x(\chi).\mathrm{rect}_T(-\chi+t-\frac{T}{2})d\chi \quad (\mathrm{rect}_T(.)\text{ 是偶函数})$$

[0073] $$=\left[x*\mathrm{rect}_T\right](t-\frac{T}{2})$$

[0074] 其中，$\mathrm{rect}_T(.)$ 是矩形函数，定义为：

[0075] $$\mathrm{rect}_T(t)=\begin{cases}1 & \text{如果 } t\in\left[\frac{-T}{2},\frac{T}{2}\right]\\ 0 & \text{其它}\end{cases}$$

[0076] 该结果非常有趣，尤其在看到函数 $x_{shut}(t)$ 相应的傅立叶变换时：

[0077] $$F[x_{shut}(t)]=F\left[\left[x*\mathrm{rect}_T\right](t-\frac{T}{2})\right]$$

[0078] $$=F\left[\left[x*\mathrm{rect}_T\right](t)\right].e^{-j\pi fT}$$

[0079] $$=F[x(t)].F[\mathrm{rect}_T(t)].e^{-j\pi fT} \quad (6)$$

[0080] $$=X(f).T\,\mathrm{sinc}(\pi fT).e^{-j\pi fT}$$

[0081] $$=X_{shut}(f)$$

[0082] 尽管等式 (6) 中的项 $e^{-j\pi fT}$ 仅对 $X_{shut}(f)$ 的相位产生影响，但是该项表明，项 $\mathrm{sinc}(\pi fT)$ 定义了由快门调整引入的低通滤波操作的实际数学模型。图 6 是频带 0-50Hz 的基本正弦函数 $\mathrm{sinc}(\pi fT)$ 的图形表示。如图所示，当设置为 1/50 的速度时，快门作为具有 50Hz 截止频率（或者如果考虑 -3dB 截止频率，则甚至更低）的低通滤波器。由此。生成调制假像 (artifact) 的所有尝试将会对于合法观众可见（见图 1，对于 $25Hz < f_m < 50Hz$）、或者由快门去除（对于 $f_m > 50Hz$）。

[0083] 因而使用研究快门效应的数学模型是有用的。图 7 示出了完整频带上的函数 $\mathrm{sinc}(\pi fT)$ 的图形表达，其结果非常有趣：尽管在 50Hz 处检测到截止，但是函数 sinc(.) 呈现了严重的旁瓣效应。这意味着，将可能使特定的高频率通过快门。已知函数 sinc(.)

表示为 π 的倍数（即，作为 sinc(πfT) 的$\frac{1}{T}$倍数的频率）处的点呈现过零。在本申请中，值得关注的点是表示旁瓣极值位置的点。在函数具有为 0 的导数时，发现局部极值：

[0084] $$\frac{d(\mathrm{sinc}(x))}{dx}=0$$

[0085] $$\frac{x.\cos(x)-\sin(x)}{x^2}=0 \qquad (7)$$

[0086] $x.\cos(x)-\sin(x)=0$

[0087] 并不容易发现等式 7 的解析式。但是 sinc(x) 是多项式：

[0088] $$\mathrm{sinc}(x)=\sum_{n=0}^{+\infty}\frac{(-1)^n}{(2n+1)!}x^{2n} \qquad (8)$$

[0089] 否则，由于上式与正弦函数的密切关系，基本正弦的旁瓣峰值将会最可能位于$\pm\frac{\pi}{2}$的奇数倍周围（除了仅包括主瓣的间隔 $[-\pi,\pi]$）。由于可以为等式 (7) 给出可靠的根近似，所以可以为发现根，使用 Newton-Raphson 迭代方法在数值上得以解决：

[0090] $$x_{n+1}=x_n-\frac{x_n.\cos(x_n)-\sin(x_n)}{d(x_n.\cos(x_n)-\sin(x_n))/dx_n} \qquad (9)$$

[0091] $$=x_n+\frac{x_n.\cos(x_n)-\sin(x_n)}{x_n.\sin(x_n)}$$

[0092] 其中，$n\in[0,n_{max}]$ 是迭代器，以及

[0093] x_0 是函数 sinc(x) 的每个旁瓣的初始化根。

[0094] 等式 (9) 的实施方案给出了 sinc(x) 的以下极值点：

[0095]

旁瓣	峰值位置	以 Hz 为单位的峰值位置	峰值
主瓣	$x=0$	$f=0$	$\lvert\mathrm{sinc}(x)\rvert=1$
1st	$x=\pm4.4934095$	$f=\pm\frac{4.4934095}{\pi T}=71.51$	$\lvert\mathrm{sinc}(x)\rvert=0.2172336$
2nd	$x=\pm7.7252518$	$f=\pm\frac{7.7252518}{\pi T}=122.95$	$\lvert\mathrm{sinc}(x)\rvert=0.1283746$
3rd	$x=\pm10.904122$	$f=\pm\frac{10.904122}{\pi T}=173.54$	$\lvert\mathrm{sinc}(x)\rvert=0.0913252$

[0096] 这些点定义了可以用作调制频率 f_m 的频率，以应对 $f_s=1/T$ 的快门速度配置。如

由图 8 的图示所示，由于快门频谱增益的衰减不够强到在旁瓣周围完全去除调制信号，所以采样调制信号的旁瓣生成混叠。该信号的一部分将能够通过快门，并生成人眼可见的频带的混叠。

[0097] 图 8 示出了频域的四个图示。第一图示示出了表示视频信号的基带信号 X(f) 的频谱。第二图示示出了由摄像机记录的相应信号的频谱。第三图示示出了在频率 f_m 的载波信号上进行幅度调制的信号 X(f) 的频谱。第四图示示出了调制频率靠近前表中给出的峰值位置时的采样调制信号的频谱。

[0098] 因此，根据本发明，为了形成反拷贝图案（例如，警告消息），选择一组像素位置。将幅度调制应用于这些所选像素，从而以实质上等于为前表中的旁瓣给出的频率值之一的速率来对所选像素的亮度幅度进行调制。因此，在不同于零的频率值 f 中选择调制频率，对于该调制频率，函数 sinc（π f τ）的导数为零，其中，τ 是摄像机的快门积分时间。因而所选调制频率是函数 sinc（π f τ）的局部极值。

[0099] 例如，如果将第一旁瓣（$f \approx \frac{4.4934095}{\pi T}$）的频率用作调制频率，则可以使用以下调制频率：

[0100] $-f_m = 71.51Hz$，用于在 PAL 摄像机中克服 T = 1/50 的快门设置；

[0101] $-f_m = 85.82Hz$，用于在 NTSC 摄像机中克服 T = 1/60 的快门设置；

[0102] - 在将快门速度 1/T 设置为较高值的情况下，$f_m = 50.00Hz$。

[0103] 当然，还可以在以上述调制频率 f_m 为中心的有限的频率范围内选择调制频率，例如，在范围 $[f_m-\Delta, f_m+\Delta]$ 中，其中，Δ 包含于 5 至 15Hz 之间。例如，如果 Δ = 10Hz，则在范围 [61.51Hz,81.51Hz] 中选择 f_m，以在 PAL 摄像机中克服 T = 1/50 的快门设置，或者在范围 [75.82Hz,95.82Hz] 中选择 f_m，以在 NTSC 摄像机中克服 T = 1/60 的快门设置。

[0104] 其它快门配置通常将曝光时间设置为较低值，并将使那两个调制频率中的任何频率通过。

[0105] 当然，第二和第三旁瓣的频率可以用作调制频率。

[0106] 图 10 中给出了反拷贝图案（例如，警告消息）的示例。令 M(x, y, t) 是警告消息的像素的亮度值 (0 或 1)，以及 C1(x, y, t)、C2(x, y, t) 和 C3(x, y, t) 是位于空间坐标 (x, y) 和时间坐标 t 处的像素的三色成分。三元组 {C1, C2, C3} 可以在红 - 绿 - 蓝颜色空间（即，C1 =红、C2 =绿以及 C3 =蓝）中、或者可以在更加 HVS 友好的空间中（如，CIE XYZ 或 Yxy）。使用非 RGB 颜色空间的优点是，在线性理论符合域中工作。

[0107] 对于红 - 绿 - 蓝颜色空间中的调制，调制像素值 {C1′，C2′，C3′ } 将计算如下：

[0108] $$\forall i \in [1,3] \quad C_i'(x,y,t) = \begin{cases} C_i(x,y,t).(1+\beta_i \cos(2\pi f_m t)) & \text{如果} \quad M(x,y,t)=1 \\ C_i(x,y,t) & \text{否则} \end{cases}$$

[0109] 其中，小心选择调制指数 β_i，以确保像素值不会达到饱和（例如，当以 8 比特对亮度值进行编码时为 255）。

[0110] 图 10 是本发明方法的可能电路实现方式的结构框图。更具体地，本方法在调制器 10 中实现。调制器 10 接收要显示的图像的像素值。还向调制器提供信号 P。该信号指示，输入的像素是否属于反盗版图案。

[0111] 令 I 为具有帧速率 f_r（例如，$f_r = 24Hz$）的输入像素的强度（即 R、G、B 或者其组

合），以及令 I_1、I_2、I_3... 为使用调制频率 f_m 调制的反盗版图案的像素的亮度幅度。选择帧速率 f_r'等于或高于调制频率 f_m 的两倍，以及优选地，选择帧速率 f_r' 为 f_r 的倍数（视频投影仪应当满足奈奎斯特－香农采样定理的条件）。例如，如果 $f_r' = 3f_r$，则调制器为像素值 I 生成 3 像素值 I_1，I_2，I_3。将像素值 I_1，I_2，I_3 定义如下：

[0112] $I_n = I(1+\beta\cos(2\pi f_m n/f_r'))$ 对于 $n = 1$ 到 $3\left(=\frac{f_r'}{f_r}\right)$

[0113] 然后由视频投影仪 20 来显示这些调制像素。

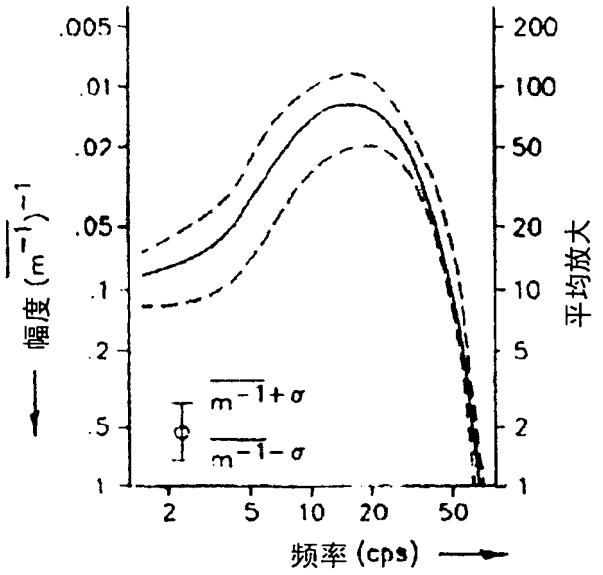

.005
.01
.02
.05
.1
.2
.5
1
200
100
50
20
10
5
2
1
2
5
10
20
50
频率 (cps)
平均放大
幅度 $(\overline{m^{-1}})^{-1}$
$\overline{m^{-1}}+\sigma$
$\overline{m^{-1}}-\sigma$

图 1

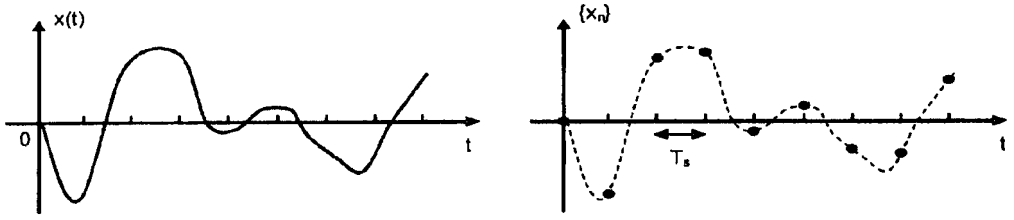

x(t)
0
t
$\{x_n\}$
T_s
t

图 2

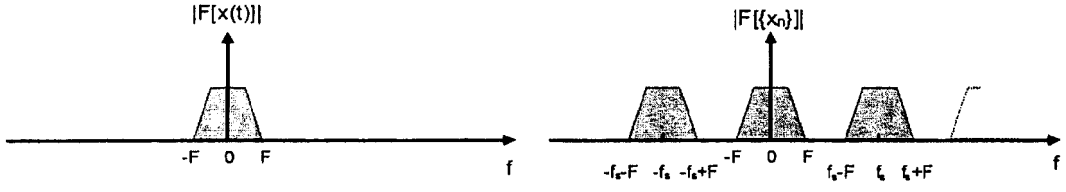

|F[x(t)]|
-F
0
F
f
|F[{xn}]|
-F
0
F
f

图 3

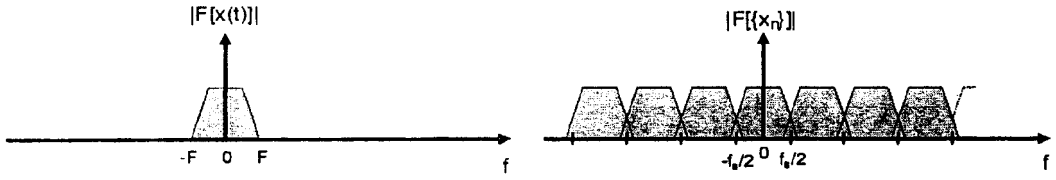

|F[x(t)]|
-F 0 F
f
|F[{x_n}]|
-f_s/2 0 f_s/2
f

图 4

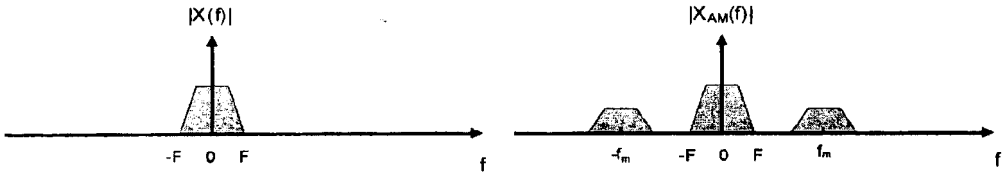

|X(f)|
-F 0 F
f
|X_AM(f)|
-f_m -F 0 F f_m
f

图 5

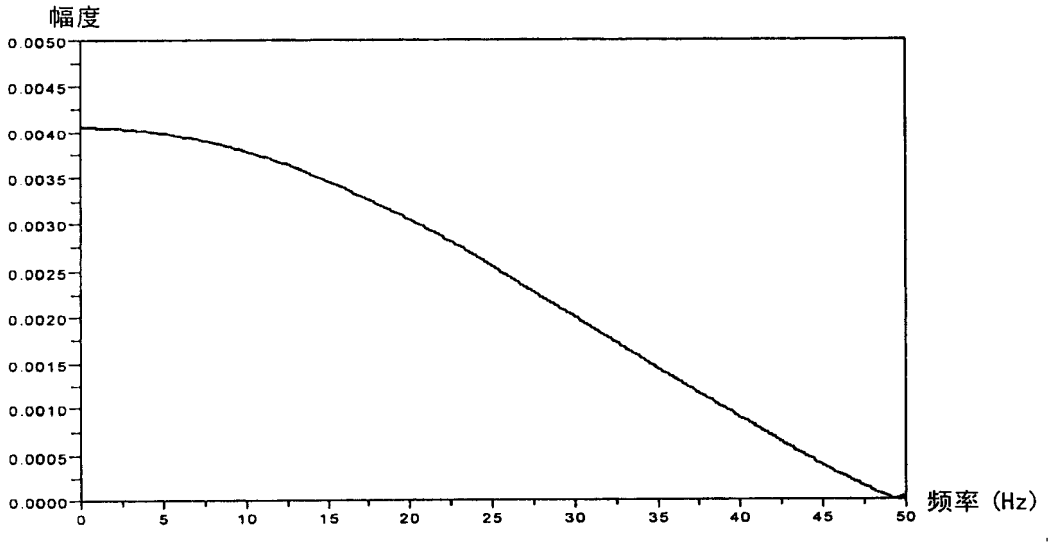

幅度
0.0050
0.0045
0.0040
0.0035
0.0030
0.0025
0.0020
0.0015
0.0010
0.0005
0.0000
0 5 10 15 20 25 30 35 40 45 50
频率 (Hz)

图 6

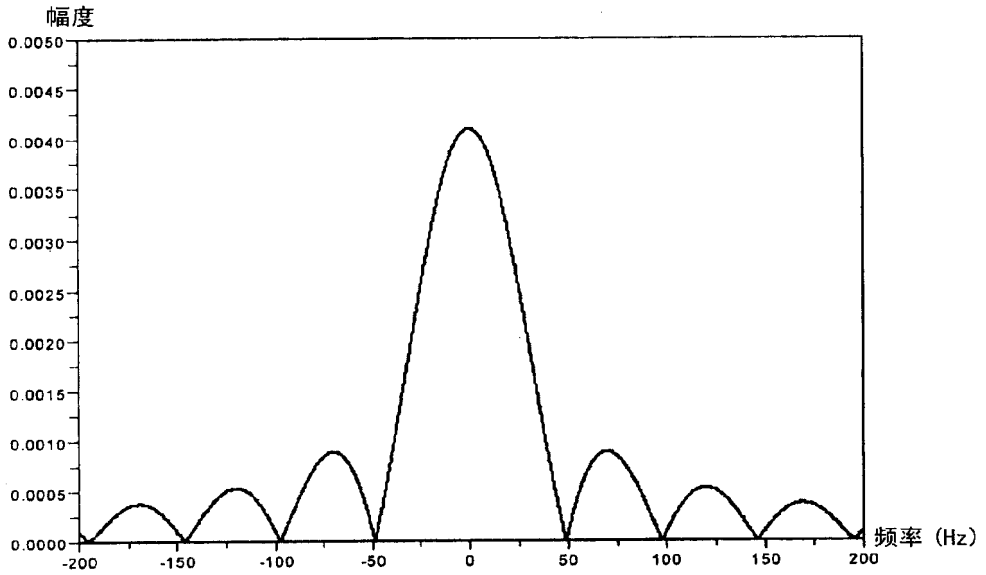

幅度
0.0050
0.0045
0.0040
0.0035
0.0030
0.0025
0.0020
0.0015
0.0010
0.0005
0.0000
-200
-150
-100
-50
0
50
100
150
200
频率（Hz）

图 7

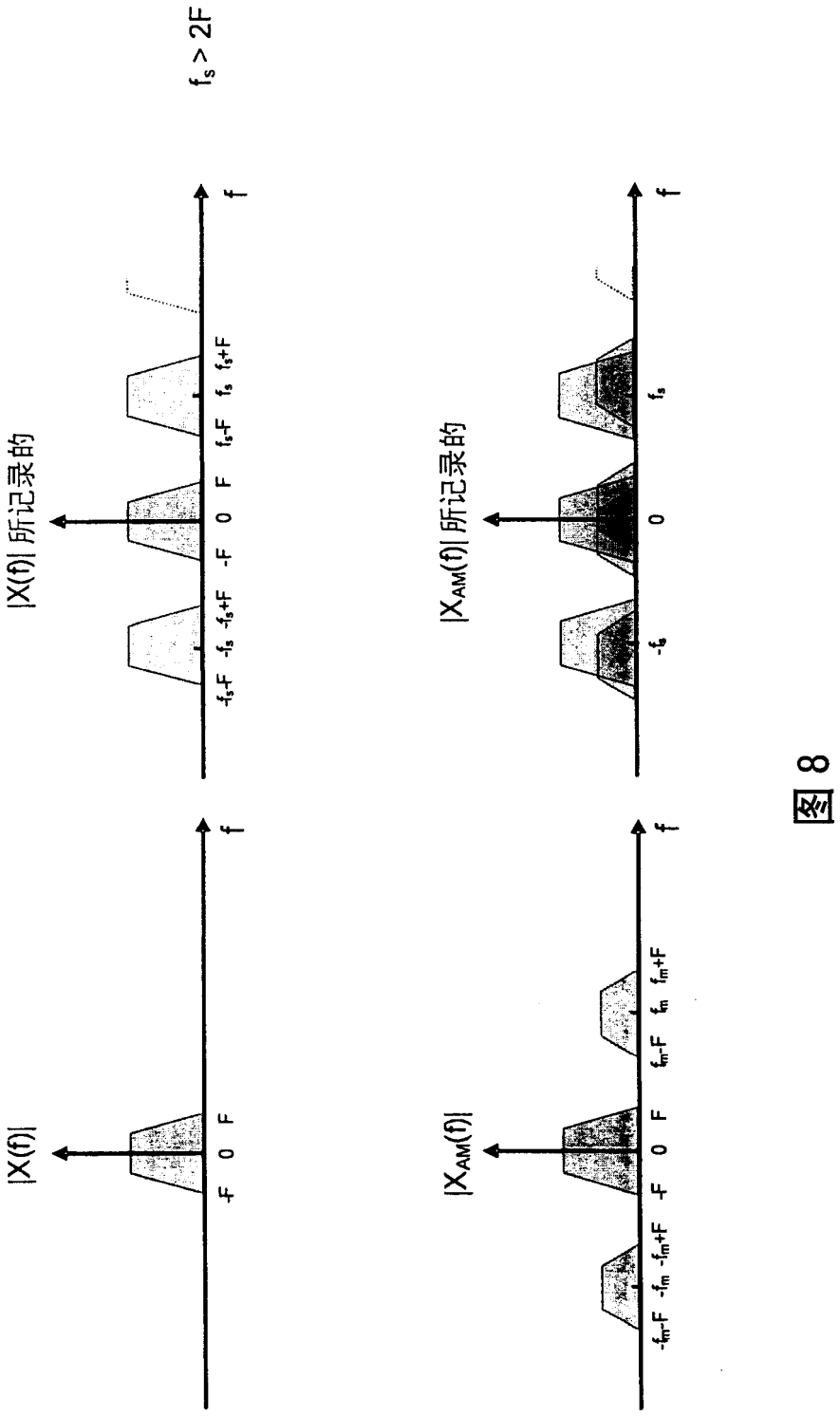

$f_s > 2F$
|X(f)| 所记录的
|X(f)|
$|X_{AM}(f)|$ 所记录的
$|X_{AM}(f)|$
f
-F 0 F
$-f_s$ 0 f_s
$-f_s-F$ $-f_s$ $-f_s+F$ -F 0 F f_s-F f_s f_s+F
$-f_m-F$ $-f_m$ $-f_m+F$ -F 0 F f_m-F f_m f_m+F

图 8


ILLEGAL COPY
THOMSON
PROPERTY OF
THIS MOVIE IS
ILLEGAL COPY

图 9

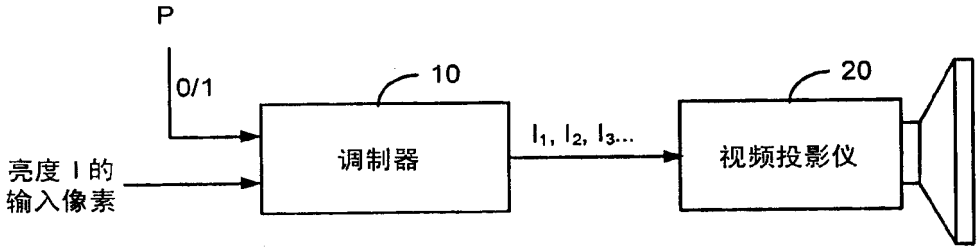

P
0/1
10
20
调制器
$I_1, I_2, I_3...$
视频投影仪
亮度 I 的
输入像素

图 10