

像素采集电路、光流传感器和光流及图像信息采集系统

技术领域

本发明涉及图像采集技术领域，尤其涉及像素采集电路、光流传感器和光流及图像信息采集系统。

背景技术

随着信息技术的不断发展，计算机视觉及图像信息处理变得越来越重要。其中，光流法可以基于图像信息而确定目标对象的运动情况。光流法可以应用在军事航天、交通监管、信息科学、气象和医学等多个领域中。

光流的概念最初由 Gibson 于 1950 年首先提出。现实中的物体可以透过摄像头的感光元件成像，且所成图像中的点与物体上的点一一对应。将三维空间中的目标对象和场景对应于二维图像平面运动时，目标对象在二维图像平面的投影就形成了运动，这种运动以图像平面亮度模式表现出来的流动称为光流。

目前，光流算法通常复杂且计算量巨大。为了进行光流计算，前端图像采集设备需以高帧率进行图像采集，然后由后续的图像处理设备进行高计算量的光流分析。

现有的光流传感器通过集成有源像素传感器和独立的图像信息处理器实现光流计算。传统的光流计算方法大多通过对时域中的多帧图像进行计算以得到运动物体的运动信息。为获得对高速运动物体的实时光流分析，有源像素传感器需要以非常高的帧率运行，这就增大了光流计算量并提高了对后端信息处理器的硬件要求。

因此，本发明提出了一种新的光流及图像信息的采集方案。

发明内容

本发明提供一种新的光流采集的技术方案，有效地解决了上述中至少一个问题。

根据本发明的一个方面，提供了一种像素采集电路，包括：光电探测单元，适于实时输出表征照射在其上的光信号的强度的第一电信号；光流信息计时触发单元，其第一输入端与光电探测单元的输出端耦接，其第二输入端与光流信息复位线耦接，适于在来自光流信息复位线的复位信号撤销后且检测到第一电信号满足预定触发条件时，输出光流信息计时触发信号；光流信息计时控制单元，其第一输入端与光流信息计时触发单元耦接，其第二输入端与光流信息复位线耦接，适于在来自光流信息复位线的复位信号撤销后且接收到光流信息计时触发信号时输出计时启动信号；光流信息计时单元，其第一输入端与光流信息计时控制单元耦接，其第二输入端与光流信息复位线耦接，适于在来自光流信息复位线的复位信号撤销后且接收到计时启动信号时开始计时，生成计时信号；以及行选输出单元，其第一输入端与光流信息计时单元耦接，其第二输入端与光流输出行选择线耦接，适于接收来自光流输出行选择线的光流行选择信号，并在所述光流行选择信号有效时，缓存并输出本次接收时刻的计时信号。

可选地，在根据本发明的像素采集电路中，还包括图像信息采集单元，其第一输入端与光电探测单元的输出端耦接，其第二输入端与图像信息采集线耦接，适于接收来自图像信息采集线的图像信息采集信号，并采样和缓存本次接收时刻的第一电信号；行选输出单元的第三输入端与图像信息采集单元耦接，其第四输入端与图像输出行选择线耦接，以便接收来自图像输出行选择线的图像行选择信号，并在图像行选择信号有效时，缓存并输出本次接收时刻的第一电信号。

根据本发明的又一个方面，提供了一种光流传感器，包括：像素采集电路阵列，包括多个如上所述的像素采集电路；光流信息读出单元，适于读取像素采集电路阵列中至少一部分像素采集电路所输出的计时信号；全局控制单元，适于生成复位信号，并通过光流信息复位线输出至像素采集电路阵列中的每个像素采集电路。

可选地，在根据本发明的光流传感器中，还包括图像信息读出单元，适于读取像素采集电路阵列中至少一部分像素采集电路所输出的第一电信号；以及全局控制单元还适于生成图像信息采集信号，并通过图像信息采集线输出至像素采集电路阵列中的每个像素采集电路。

根据本发明的又一个方面，提供了一种光流及图像信息采集系统，包括：如上所述的光流传感器；光流预处理器，与光流传感器中的光流信息读出单元耦接，适于获取计时信号并生成光流触发像素点的时间映射图像；以及图像预处理器，与光流传感器中的图像信息读出单元耦接，适于获取第一电信号并生成全像素点的灰度图像。

综上,根据本发明的光流传感器提供了一种有效提取运动光流信息的方案,该方案对各种速度的运动物体均可实现有效的光流信息提取;同时,又可以采集图像信息,以获取清晰无滞后的全幅灰度图像为提取的光流信息提供背景信息。根据一种实现方式,光流传感器并行且相互独立地输出光流帧和图像帧信息。这样,根据本发明的光流及图像信息采集系统就可以完全并行地获取光流和图像信息而不会相互干扰,且光流信息和图像信息地获取和读出速度可以根据不同的需求进行调节。

附图说明

为了实现上述以及相关目的,本文结合下面的描述和附图来描述某些说明性方面,这些方面指示了可以实践本文所公开的原理的各种方式,并且所有方面及其等效方面旨在落入所要求保护的主题的范围内。通过结合附图阅读下面的详细描述,本公开的上述以及其它目的、特征和优势将变得更加明显。遍及本公开,相同的附图标记通常指代相同的部件或元素。

图1示出了根据本发明一些实施例的光流及图像信息采集系统100的示意图;

图2A、2B、2C和2D分别示出了根据本发明的一些实施例的光流传感器110的工作方式示意图;

图3A-3F示出了本发明实施例的光流传感器110的光流信息提取的示意图;

图4示出了根据本发明一些实施例的像素采集电路400的示意图;

图5A、5B、5C和5D分别示出了根据本发明实施例的光电探测单元410的示意图;

图6A、6B、6C和6D分别示出了根据本发明实施例的滤波放大模块的示意图;

图7A、7B、7C和7D分别示出了根据本发明一个实施例的阈值比较模块的示意图;

图8A和8B分别示出了根据本发明一个实施例的光流信息计时单元的示意图;

图9示出了根据本发明一个实施例的像素采集电路900的示意图;以及

图10示出了根据本发明一些实施例的光流传感器110的示意图。

具体实施方式

下面将参照附图更详细地描述本公开的示例性实施例。虽然附图中显示了本公开的示例性实施例,然而应当理解,可以以各种形式实现本公开而不应被这里阐述的实施例所限制。相反,提供这些实施例是为了能够更透彻地理解本公开,并且能够将本公开的范围完整的传达给本领域的技术人员。

图1示出了根据本发明一些实施例的光流及图像信息采集系统100的示意图。如图1所示,光流及图像信息采集系统100包括光流传感器110、图像预处理器120和光流预处理器130。光流传感器110包括由多个像素采集电路(即,像素单元)组成的像素采集电路阵列111、图像信息读出单元112、光流信息读出单元113和全局控制单元114。阵列111中每个像素采集电路通过总线与图像信息读出单元112、光流信息读出单元113和全局控制单元114耦接。像素采集电路阵列111通常包括多行像素采集电路,每行又包括一个或多个像素采集电路,如图1中示出了3*2共6个像素采集电路,但不限于此。其中,全局控制单元114包括图像获取单元1142和光流获取单元1144,并通过他们分别生成全局的图像信息采集信号和复位信号,来控制整个像素采集电路阵列111。具体地,阵列111中的像素采集电路在全局控制单元114给出的全局控制信号的作用下可以同时采集图像信息和光流信息。其中,图像信息反映视场中阵列111所感知的光照强度大小,光流信息反映视场中运动的时空信息,这两种信息在相互独立的图像信息读出单元112和光流信息读出单元113的控制下分别发送至图像预处理器120和光流预处理器130。

根据一种实现方式,对于光流信息的采集,真实世界的运动反映为传感器视场中感知的光强变化,阵列111可以同步实时监测视场内光强的变化(例如照度变化量和变化速率等)。具体而言,阵列111中每个像素采集电路实时监测其上照射的光强信息。一个像素采集电路在确定光强信息的变化满足预定条件(例如,照度变化量和变化速率都超过各自的阈值)时进入光流触发状态;未满足条件的则维持原状态不变。进入光流触发状态的像素采集电路立刻启动内部的光流信息计时单元,该单元在像素采集电路内部实现计时器的功能,该计时器在像素采集电路光流触发后被启动并生成一个随时间单调变化的计时信号来表征时间信息;随后,光流预处理器130通过光流信息读出单元113读取像素阵列111中所有像素采集电路的计时信号(在被读出时刻的)瞬态幅值可得到

二维的时间映射图像（光流帧），每个像素点的计时信号告知了在该读出时刻该像素采集电路是否已光流触发（通过检测该信号是否为有效的计时信号）以及触发了多久（通过检测该有效计时信号的幅值大小）。当光流帧获取到足量的光流触发像素单元输出的光流计时信息时，该光流帧在像素阵列平面的映射表现为一个二维的时间坡平面，通过
5 对该时间坡平面的进一步分析可以提取出视场中运动的方向和速度的信息，从而实现光流的计算。可选地，光流信息计时单元是一个斜坡信号发生器，它在一次光流信息检测过程中仅启动一次并在本地生成一个随时间线性变化的斜坡信号。

根据一种实现方式，对于图像信息的采集，全局控制单元 114 给出（全局）图像信息采集信号，该信号控制阵列 111 中的所有像素采集电路的图像信息采集单元同时采集
10 并缓存该时刻与光强相关的第一电信号。在随后的读出过程中，通过获取每个像素采集电路缓存的第一电信号即可得到整幅图像的光强信息（图像帧）。

需要说明的是，光流传感器 110 对光流和图像两种信息的获取是完全独立的，因而可以并行地输出这两种信息。首先，阵列 111 中的像素采集电路通过独立的图像信息采集单元和光流信息计时单元可以同时采集光流和图像信息；此外，这两种信息在各自的
15 读出单元控制下通过独立的数据总线被读出到各自的预处理器。这样，光流传感器 110 可以完全并行地输出光流和图像信息而不会相互干扰，而光流信息和图像信息地获取和读出速度可以根据不同的需求进行调节。

根据以上描述，光流传感器 110 可以并行地输出光流信息和图像信息。光流信息读出单元 113 按照一定的频率扫描整个像素采集电路阵列 111 的光流信息计时单元的计时
20 信号以获取连续的光流帧。每个光流帧包含有已触发的像素采集电路触发时刻的时间信息，通过分析该时间信息在像素阵列 111 二维空间映射形成的时间坡的坡向和坡度信息以得到运动的光流信息。另一方面，图像信息读出单元 112 按照一定的频率扫描整个像素阵列的图像信息采集单元采集的第一电信号以获取连续的图像帧。每个图像帧包含一幅全像素点的与光强相关的灰度图像。图像帧获取的全像素点的灰度图像作为供光流信息
25 标记的背景图像，而光流帧获取的时间坡平面则可以方便地提取光流信息。

下面结合图 2A、2B、2C 和 2D，对光流传感器 110 的典型的工作方式进行示例性说明。在图 2A、2B、2C 和 2D 中，用斜线填充的方块代表光流帧，用无填充的方块代表图像帧。光流传感器 110 并行独立地输出光流帧和图像帧，二者的帧率也可以根据不同的应用场景进行单独的设置，如图 2A 所示；也可以设置为相同帧率，如图 2B 所示；
30 在某些应用中，可能只需要连续地光流帧输出来实现运动的检测、或者仅需要连续的图像帧输出，如图 2C 和 2D 所示。

应注意的是，本发明的光流传感器 110 的工作方式还可以被配置为上述示例之外的其他等同替换方式，这里不再赘述。

下面将分别对光流帧和图像帧做进一步的说明。

在一次光流信息检测过程中，当运动对象经过光流传感器 110 的视场时，可以引起阵列 111 中部分像素采集电路的光照发生变化。像素采集电路在光照变化超出阈值时启动内部的一个计时单元，即光流信息采集单元，最简单地，通过在本地生成一个随
35 时间线性变化的斜坡信号来实现；未检测到光强变化或光强变化不足的像素采集电路则维持其未触发状态，内部光流信息计时单元未启动。与此同时，光流信息读出单元 113 读取阵列 111 中每个像素采集电路的光流信息计时单元的计时信号并发送至后端的光流预处理器 130，后者据此得到光流触发像素点的时间映射图像。例如，它可以按行扫描整个阵列 111，并将每个光流信息采集单元中的斜坡信号的幅值送至外部的光流预处理器 130。每个像素点的计时信号（斜坡幅值信号）告知了在该读出时刻该像素点是否已
40 触发（通过检测该信号是否为有效的计时信号）以及已经触发了多久（通过检测该有效计时信号的幅值）。

光流预处理器 130 进一步对该幅值信号进行放大、模数转化处理以及编码操作，以便从斜坡信号幅值获取相应的时间信息。在一次光流信息检测过程中，阵列 111 中的像素采集电路仅在首次检测到超过阈值的光强变化时被触发且启动一次光流信息计时单元，扫描所有像素阵列 111 的光流信息计时单元就可以获取到一个光流帧，它包含了
50 截至该扫描时刻所有已触发的像素单元的空间和触发时刻的时间信息。由于第一个光流帧输出位于一次光流信息检测的初始时刻，因此第一个光流帧获取的有用像素单元的数目较少（稀疏的有效像素单元不足以在光流帧中形成有效的的时间坡平面，因此不能够实现运动光流的分析）。由于光流信息的读出并不影响像素采集电路的正常工作，随着光流帧地不断读出，越来越多的像素采集电路因检测到视场运动所引起的光强变化而进入

光流触发状态并启动内部光流信息计时单元。通过不断地输出光流帧可以获取所有累积的截至当前帧读出时刻所有已启动的光流信息计时单元的时间信息。通过不断地累积这些时间信息(光流帧连续扫描),它们在像素阵列 111 二维空间上的投影便会逐渐形成一个坡平面(时间坡),通过分析该时间坡的坡度和坡向信息可以提取出有效的光流信息,从而实现运动方向和速度大小的检测。至此,一次完整的光流信息检测过程结束,下一次光流信息检测可以开始。

根据一种实现方式,针对被检测运动的快慢,一次光流信息检测过程所需的时间也不同。由于快速运动在相对较短的时间内便可积累出足够多的触发像素单元来形成有效的时间坡,因而光流信息检测过程相对较短,即需要较少的光流帧完成一次运动检测。对于慢速运动,它需要足够长的时间才可以形成可被检测的有效运动轨迹,因而需要较长时间完成一次运动检测,即需要多幅光流帧。如上所述,由于光流帧的读出不影响像素单元的正常工作的,已触发的像素单元的时间信息会一直有效(直至超出其计时范围),因此只要检测的时间足够长就可以形成有效的的时间坡来进行光流分析。

对于图像帧的采集,全局控制单元 114 提供一个全局图像信息采集信号,控制阵列 111 中的所有像素采集电路的图像采集单元采样与光强相关的第一电信号。图像预处理器 120 通过图像信息读出单元 112 读取所有像素采集电路在图像信息采集信号有效时刻的与光强相关的第一电信号并可以被配置为对该信号进行放大处理和模数转化处理,其输出的数据可以用于建立一张可供在其上标记已提取的光流信息的完整背景灰度图像。由于像素采集阵列 111 同步采样与光强相关的第一电信号,这种类似于全局快门的控制机制可以获取清晰且无滞后的背景图像。

为更形象地说明本发明的光流传感器 110 如何提取光流信息,以下将结合图 3A-3F 对利用光流传感器 110 的光流帧输出来提取光流信息的过程做进一步的解释说明。

为了叙述的方便,选取一个简单的场景进行阐述,如图 3A 所示,一个形状规则质地均匀的立方体 A 沿 X 方向以一定速度运动进入光流传感器 110 的视场范围。如图 3A 所示,以斜线填充物体 A 来表示物体 A 的亮度低于背景的亮度。应当指出的是,该场景的选取只是为了说明的方便,本发明所涉及的光流传感器对质地形状复杂的物体沿着复杂的运动轨迹以不同的速度运动的场景均可做出有效的检测。另外,为简便,光流传感器 110 的阵列 111 仅包含 8×8 个像素采集电路,其中 $P(x,y)$ 用来表示第 x 行第 y 列的像素。在不同时刻,场景中看到的图像如图 3B 所示。在初始时刻($t=0$),像素 $P(3,1)$ 到 $P(6,2)$ 的视场区域被物体 A 占据而表示为灰色,其余像素只检测到亮度较高的背景而表示为白色。随着物体 A 的运动,那些视场区域被物体 A 运动轨迹所覆盖的像素单元将会进入光流触发状态,因为这些像素单元将会检测到由初始的高亮度背景到低亮度物体的光强变化(其他像素单元因检测的光强未发生变化而未触发)。如上所述,一旦被触发,像素单元内的光流信息计时单元将报告距光流帧读出时刻的相对时间信息。随着运动的演进以及光流帧的不断输出,后续光流帧会因为检测到更多的触发像素单元而形成更加完整的时间映射图像。在该场景中,为了定量描述的方便,假设物体成像的运动速度为每毫秒一个像素,并认为像素单元被物体成像覆盖一半时进入光流触发状态。那么在 $t=1\text{ms}$ 时,物体 A 的成像将会向右推进一列(因为沿 X 方向运动且速度为每毫秒一个像素);在 $t=2\text{ms}$ 时,物体 A 的成像将会向右推进二列,随着时间的推移,视场中的成像如图 3B 所示。

下面首先说明光流帧读出操作如何通过像素单元内的光流信息计时单元的计时信号获取光流触发像素单元的触发时间信息。

图 3C 给出了像素单元内的光流信息计时单元生成的计时信号,需要说明的是,该计时信号仅仅是为了叙述的方便而选取的一种表示方式,实际上还可使用其他形式来实现同样的目的。该计时信号是一个单斜坡信号,它在像素单元触发时刻被启动,随后慢慢衰减,其幅值随时间变化的斜率是已知并可调的。光流信息读出单元不断地扫描整个像素阵列的光流信息计时单元以获取连续的光流帧输出,在单个光流帧内,通过检测该计时信号的幅值可以得到该像素单元触发时刻距离本次光流帧输出的相对时间信息。例如,如果整个斜坡信号的幅值为 10 个单位,其随时间变化的斜率为 1 单位/毫秒,那么在某个光流帧内,如果读取到的计时信号的幅值为 7(如图 3C 中 A 点所示),那么可以得出像素单元至该光流帧读出时刻已触发了 3 毫秒;如果读取到的计时信号的幅值为 2(如图 3C 中 B 点所示),那么可以得出像素单元至该光流帧读出时刻已触发了 8 毫秒。因此每个光流帧读取到的像素单元的计时信息实际上表征了每个像素单元至该光流帧读出时已经触发了多长时间,该时间信息是光流预处理器通过获取到的每个像素单元输

出的瞬态计时信号的幅值计算得到的。像素单元触发的时刻越早,被读取的幅值就越低;触发时刻越晚,被读取的幅值就越高,未触发的和触发很久的像素单元被读取的计时信号的幅值均很低,这点可以从图 3D 看出。该图给出了 P(3,3)到 P(3,8)六个像素单元生成的计时信号,按照上文描述的场景,P(3,3)到 P(3,8)这几个像素单元将依次触发并启动相应的光流信息计时单元,其各自生成的计时信号在时间轴上表现为平移。对于 1st 时刻的光流帧输出,由于截至该时刻仅有 P(3,3)触发,因此它能获取 P(3,3)像素单元的触发时间信息为 0.5ms;对于 6th 的光流帧输出,由于这些像素单元均触发,它能获取这些像素单元的触发时刻信息,由于 P(3,3)触发最早,P(3,8)触发最晚,其相应计时信号被读取的幅值由低到高,根据计时信号随时间变化的斜率和该读出时刻各个计时信号的瞬态幅值,可以得到 P(3,3)在该读出时刻已触发了 5.5ms,P(3,8)在该读出时刻已触发了 0.5ms。

下面接着说明利用这些提取的时间信息获取二维时间坡平面以及利用该时间坡平面提取出有用的光流信息。

像素单元 P(3,3)到 P(6,3)在第 0.5ms 被触发(因为此时,这些像素单元对应的视场区域有一半被运动物体覆盖),并在该时刻启动各自内部的光流信息采集计时单元。同理,随着物体的继续运动,像素单元 P(3,4)到 P(6,4)将在 1.5ms 时刻触发并启动内部的光流信息采集计时单元。此时,由于 P(3,3)到 P(6,3)的像素单元已经触发了 1ms,因此它们的计时单元已经计时了 1ms。按此分析,后面的第 5 至 8 列的像素单元(第 3 至 6 行)将分别第 2.5 至 5.5ms 进入光流触发状态并启动各自的光流信息采集计时单元。另一方面,光流传感器的光流信息读出单元也在不断的扫描像素阵列读取像素单元内部光流信息采集计时单元的计时信号并生成二维的时间信息映射图像。为便于分析,假设光流传感器 110 每隔 1ms 输出一个光流帧,那么各个光流帧形成的时间映射图像如图 3E 所示,图中 A 至 F 分别表示第 1 至 6ms 读出的光流帧的时间映射图像。对于第 1ms 输出的光流帧,由于此时仅有 P(3,3)到 P(6,3)的像素单元触发,因此该帧仅能获取这些像素单元的计时信号为 0.5ms,其形成的时间信息映射图像如图 3E 中 A 所示。对于第 2ms 的光流帧,由于又有 P(3,4)到 P(6,4)的像素单元在 1.5ms 触发,因此该光流帧能够检测到 P(3,3)到 P(6,3)和 P(3,4)到 P(6,4)这些触发像素单元。对于该光流帧,其检测到的 P(3,3)到 P(6,3)像素单元的计时信号为 1.5ms,P(3,4)到 P(6,4)像素单元的计时信号为 0.5ms,其形成的时间信息映射图像为图 3E 中 B 所示。依此,第 3 至 6ms 输出的光流帧所形成的时间映射图像如图 3E 中 C 至 F 所示。从该图 3E 可以看出,后续光流帧能比前面的光流帧检测到更多的激发像素单元,因而在时间映射图像上可以形成更加有效的时间坡平面。对于快速的运动,由于运动轨迹延伸的速度快,因而在相对较短的时间内可累积到足量的像素单元,以形成有效的时间坡平面,也就是说,需要较少的光流帧即可实现运动光流信息的检测;对于慢速的运动,由于运动轨迹延伸的速度慢,因而需要在相对较长的时间以便累积到足量的像素单元,以形成有效的时间坡平面,也就是说,需要较多的光流帧方可完成运动光流信息的检测。因此,只要有足够时间积累起有效的时间坡平面,光流传感器 110 对于速度不同的运动均可实现有效的检测。此外,由于光流信息检测和图像信息输出完全独立,在光流信息检测的同时,光流传感器 110 依然可以输出高速无滞后的清晰图像。

根据一种实现方式,利用光流信息读出单元 113 生成的光流帧所映射的时间坡信息可以方便地进行光流分析。该时间坡的陡峭程度以及坡向表征物体的运动速度大小和运动方向信息。图 3F 中 (1) 给出了该物体沿 X 轴反方向以不同运动速度经过视场时形成的时间坡。由于运动方向相同,三个时间坡的坡向是一致的,但是速度的不同导致时间坡的陡峭程度不同。坡度由高到低的三个时间坡分别对应运动速度为每毫秒 0.5 个像素、1 个像素以及 2 个像素。由此可见,运动速度越慢的物体形成的时间坡越陡峭;反之,运动速度越快的物体形成的时间坡越平缓。另外,图 3F 中 (2)、(3) 分别给出了物体沿着 Y 轴反方向以及 X 轴逆时针 45° 方向运动的时间坡。由图 3F 中指示的时间坡坡向在 XY 平面的投影可以方便的获得物体的运动方向。

下面结合图 4 对像素采集电路阵列 111 中的像素采集电路进一步说明。图 4 示出了根据本发明一些实施例的像素采集电路 400 的示意图。

如图 4 所示,像素采集电路 400 至少包括光电探测单元 410、光流信息计时触发单元 420、光流信息计时控制单元 430、光流信息计时单元 440 和行选输出单元 450。根据一种实现方式,像素采集电路还包括图像信息采集单元 460。图 4 所示的光流信息复位线、图像信息采集线由全局控制单元 114 的光流获取单元 1144 和图像获取单元 1142 给出;图像输出行选择线由图像信息读出单元 112 中输出;光流输出行选择线由光流信

息读出单元 113 输出；数据输出总线再分别送至图像信息读出单元 112 和光流信息读出单元 113。

光电探测单元 410 实时输出表征照射在其上的光信号的强度的第一电信号。这里，光电探测单元 410 例如是多种对数式光电探测器，但不限于此。图 5A、5B、5C 和 5D 分别示出了根据本发明实施例的光电探测单元 410 的示意图。

在图 5A 所示的实施例中，光电探测单元 410 包括阳极接地的光电二极管 PD_1 和第一晶体管 T_1 。其中，第一晶体管 T_1 的源极与光电二极管 PD_1 阴极连接，其漏极与栅极连接到电源 VDD。在一个应用场景中，光电二极管 PD_1 接收到光照信号后产生电流 I 。在此基础上， T_1 的源极和栅极之间产生的电压变化与 $\ln I$ 线性相关。换言之，本实施例中光电探测单元 410 的第一电信号与照射光信号强度成对数关系。

在图 5B 所示的实施例中，光电探测单元 410 包括阳极接地的光电二极管 PD_1 、第一晶体管 T_1 和第一放大器 A_1 。其中，第一晶体管 T_1 的源极与光电二极管 PD_1 阴极连接，其漏极与电源 VDD 连接；第一放大器 A_1 连接在光电二极管 PD_1 的阴极与第一晶体管 T_1 的栅极之间。这里，第一放大器 A_1 可以提高 T_1 的源极和栅极之间产生电压变化的响应速度。换言之，第一放大器 A_1 提高像素采集电路检测光强变化的速度。

在图 5C 所示的实施例中，光电探测单元包括阳极接地的光电二极管 PD_1 、串联的 N 个晶体管，其中， $N \geq 2$ （图 5C 中 N 为 2，但不限于此），第 1 个晶体管的源极与光电二极管 PD_1 阴极连接，第 N 个晶体管的漏极连接到电源 VDD，每个晶体管的栅极与漏极连接，第 2 至第 N 个晶体管中每个晶体管的源极连接到前 1 个晶体管的漏极。这里，串联的 N 个晶体管可以提高光电探测器的电流（电压）增益。

图 5D 示出的光电探测单元 410 是在图 5C 示出实施例的基础上，进一步配置有第一放大器 A_1 。第一放大器 A_1 连接在光电二极管 PD_1 的阴极与第 1 个晶体管的栅极之间。除了上述多个光电探测单元 410 的实施例之外，本发明还可以采用多种公知的高实时性的光电探测单元，这里不再赘述。

需要说明的是，传统的光电探测技术通常需要进行电容充电，然后进行持续曝光（电容持续放电），然后根据电容的剩余电量来确定累积的光照强度。根据本发明的光电探测单元 410 在生成代表光信号强度的第一电信号时，并不需要额外的曝光时间。因此，光电探测单元 410 可以无延迟的输出第一电信号。

像素单元内光流信息的采集由光流信息计时触发单元 420、光流信息计时控制单元 430 和光流信息计时单元 440 共同完成。这三个模块均受到全局的来自光流获取单元 1144 输出的复位信号的控制、且当该信号有效时，这三个与光流信息检测相关的单元均复位。一次光流信息的检测在复位信号撤销后开始，光流信息读出单元 113 不断地扫描所有像素单元的光流信息计时单元 440 直至在光流帧中积累到足够多的可供光流分析的有效像素单元。下面给出这三个单元具体的功能和实现。

光流信息计时触发单元 420 的第一输入端与光电探测单元 410 的输出端耦接，第二输入端与光流信息复位线耦接。根据本发明的一个实施例，光流信息计时触发单元 420 包括滤波放大模块 422 和阈值比较模块 424。光流信息计时触发单元 420 在一次光流信息检测的初始阶段复位，随后负责在光流信息检测过程中，当光电探测单元 410 输出的第一电信号（代表光强）变化满足预定触发条件时，生成光流信息计时触发信号并送至后端的光流信息计时控制单元 430。

为有效提取光流信息，预定触发条件设为：第一电信号变化速度够快且变化持续时间够长。由于第一电信号实时响应照射到光电探测单元 410 的光强信号，因而如上所述的对第一电信号的要求也就是对光强信号的要求。速度够快且强度够高的光强变化可以被认为是由物体有效运动所引起的。相反，速度变化缓慢或者强度较低的光强变化则可能是由于背景光强的漂移或抖动而没有分析的价值。为实现上述要求，光流信息计时触发单元 420 包括滤波放大模块 422 和阈值比较模块 424。其中，滤波放大模块 422 对第一电信号进行预处理操作以生成第二电信号，其中预处理操作包括放大操作和滤波操作中的至少一个；阈值比较模块 424 判断第二电信号是否大于第一阈值和/或是否小于第二阈值，并在第二电信号大于第一阈值或小于第二阈值时生成光流信息计时触发信号。根据本发明的一种实现方式，预处理操作中，放大操作是为了增加像素采集电路对光强检测的灵敏度，但这不是必须的。滤波操作一般是高通滤波，即只对高频也就是速度足够快的光强变化响应，从而过滤掉那些速度缓慢的光强变化。

滤波放大模块 422 可以采用多种公知的滤波和放大技术，但不限于此。本发明的图

6A、6B、6C、6D 分别示出了根据本发明一些实施例的滤波放大模块 422 的示意图。

如图 6A 所示, 滤波放大模块 422 包括第二放大器 A_2 和高通滤波器, 第二放大器 A_2 输入正极连接光电探测单元 410 的输出端, 输入负极连接有下拉的第一电阻 R_1 , 且其输出端与输入负极之间连接有第二电阻 R_2 , 第二放大器 A_2 以及第一电阻 R_1 、第二电阻 R_2 提供放大功能, 增益与电阻 R_2 与 R_1 的比值有关。与第二放大器 A_2 连接的高通滤波器用来滤除经过放大的第一电信号中低于频率阈值的信号成分, 以输出第二电信号。

在图 6B 示出的实施例中, 滤波放大模块 422 包括: 第一电容 C_1 、第二放大器 A_2 、第二电容 C_2 、第三电阻 R_3 和第一开关 K_1 。其中, 第一电容 C_1 的第一端与光电探测单元 410 的输出端连接; 第二放大器 A_2 的输入正极连接到固定电位, 其输入负极与第一电容 C_1 的第二端连接; 第二电容 C_2 、第三电阻 R_3 和第一开关 K_1 均并联在第二放大器 A_2 的输入负极和输出端之间, 其中, 当复位信号有效时, 第一开关 K_1 闭合, 当复位信号撤销后, 第一开关 K_1 断开。在图 6B 所示的实施例中, 第一电容 C_1 可以隔离第一电信号中的直流成分。第一电容 C_1 和第二电容 C_2 比值与滤波放大模块 422 的增益成正比。另外, 第二电容 C_2 和第三电阻 R_3 组成了滤波器, R_3 为可调电阻。该滤波器可以滤除第一电信号的交流成分中低于频率阈值的信号成分。这里, 频率阈值取决于 R_3 的阻值。 R_3 例如可以由系统 100 通过全局控制单元 114 所发送的指示信号来调节阻值, 该指示信号可以根据用户输入来确定的, 但不限于此。

在图 6C 示出的实施例中, 滤波放大模块 422 包括: 第二放大器 A_2 、第一电容 C_1 、第一开关 K_1 和高通滤波器。其中, 第二放大器 A_2 的输入正极与光电探测单元 410 的输出端连接; 第一电容 C_1 的第一端与第二放大器 A_2 的输入负极连接, 其第二端连接到固定电位 (通常该固定电位为地电位, 但不限于此); 第一开关 K_1 连接在第一电容 C_1 的第一端与光电探测单元 410 的输出端之间; 高通滤波器, 与该第二放大器 A_2 相连, 用于滤除经过放大的第一电信号中低于预定频率阈值的信号成分, 生成第二电信号。且当复位信号有效时, 第一开关 K_1 闭合, 当复位信号撤销后, 第一开关 K_1 断开。光流输出模式开始时, 第一开关 K_1 控制第一电容 C_1 存储光电探测单元 410 输出的第一电信号作为参考电平, 随后, 第二放大器 A_2 检测并放大实时的第一电信号与该参考电平的差值。

图 6A、6B、6C 所示的实施例是对第一电信号的相对变化量进行放大与滤波操作。此外, 滤波放大模块 422 还可以通过直接检测第一电信号的变化速率来实现光强变化检测, 如图 6D 所示。滤波放大模块 422 包括: 第一电容 C_1 、电流复制器 P_1 、第二放大器 A_2 、第二电容 C_2 、第一开关 K_1 和第三电阻 R_3 。其中, 第一电容 C_1 的第一端与光电探测单元 410 的输出端连接; 电流复制器 P_1 的第一端与第一电容 C_1 的第二端连接; 第二放大器 A_2 的输入正极连接到固定电位, 其输入负极与电流复制器 P_1 的第二端连接; 第二电容 C_2 、第一开关 K_1 和第三电阻 R_3 均并联在第二放大器 A_2 的输入负极和输出端之间, 其中, 当复位信号有效时, 第一开关 K_1 闭合, 当复位信号撤销后, 第一开关 K_1 断开。电流复制器 P_1 的第一端和第二端分别连接第一电流源 I_1 和第二电流源 I_2 , 电流复制器 P_1 将其第一端钳位于一个固定电平, 并将第一电容 C_1 的电流经第一电流源 I_1 复制给第二电流源 I_2 。电流复制器 P_1 可以根据多种公知的技术实现, 在此不在赘述。第一电容 C_1 一端连接光电探测单元 410 输出的第一电信号, 另一端连接固定电平。根据电容两端的电压电流关系, 第一电容 C_1 的电流与第一电信号的变化率成正比, 该电流经电流源 I_1 复制到电流源 I_2 并对第二电容 C_2 进行充放电以生成第二电信号。如此, 第二电信号的幅值则由第一电信号变化的速度 (充放电电流 I_2 的大小) 和变化持续时间 (充放电电流 I_2 的持续时间) 决定。只有持续时间较长且变化速度较快的第一电信号 (光强) 才可以生成较大的第二电信号。另外, 第三电阻 R_3 可调且作为泄漏电阻, 可以抵消当第二电流源 I_2 非常小时对第二电容 C_2 的充电效果, 从而滤除第一电信号的交流成分中低于频率阈值的信号成分, 实现高通滤波的功能。

阈值比较模块 424 的输入端与滤波放大模块 422 的输出端耦接。如前所述, 阈值比较模块 424 用于判断第二电信号是否大于第一阈值和/或是否小于第二阈值, 并在大于第一阈值或小于第二阈值时产生光流信息采集触发信号。取决于期望的配置, 阈值比较模块 424 可以只判断第二电信号是否大于第一阈值; 也可以只判断第二电信号是否小于第二阈值; 或者, 既判断第二电信号是否大于第一阈值、又判断第二电信号是否小于第二阈值, 且第二阈值小于第一阈值。这样, 根据本发明的阈值比较模块 424 可以检测像素采集电路 400 上光照强度的变化量是否较大 (光照强度可以变大或变小)。如图 7A、7B、7C 和 7D, 分别示出了根据本发明一些实施例的阈值比较模块 424 的示意图, 应当说明的是, 以下对阈值比较模块 424 的说明仅是示例性的, 本发明对此均不作限制。

在图 7A 所示的实施例中, 阈值比较模块 424 包括第一电压比较器 VC_1 , 其反相输入端与提供第一阈值的信号线连接, 其同相输入端连接滤波放大模块 422 的输出端。这样, 本实施例的阈值比较模块 424 就可以判断第二电信号是否大于第一阈值。

在图 7B 示出的实施例中, 阈值比较模块 424 包括第二电压比较器 VC_2 , 其同相输入端与提供第二阈值的信号线连接, 其反相输入端连接滤波放大模块 422 的输出端。这样, 本实施例的阈值比较模块 424 就可以判断第二电信号是否小于第二阈值。

在图 7C 所示的实施例中, 阈值比较模块 424 包括: 第一电压比较器 VC_1 、第二电压比较器 VC_2 和或门。第一电压比较器 VC_1 的反相输入端与提供第一阈值的信号线连接, 其同相输入端连接滤波放大模块 422 的输出端; 第二电压比较器 VC_2 的同相输入端与提供第二阈值的信号线连接, 其反相输入端连接滤波放大模块 422 的输出端; 或门的第一输入端与第一电压比较器的输出端耦接, 第二输入端与第二电压比较器的输出端耦接, 对第一电压比较器的输出和第二电压比较器的输出进行或逻辑操作。

在图 7D 所示的实施例中, 阈值比较模块 424 包括: 压差比较器 VD_1 , 其第一输入端连接有下拉的第三电容 C_3 , 第二输入端连接有下拉的第四电容 C_4 , 用于输出第一输入端和第二输入端的差值信号; 第二开关 K_2 , 设置在第三电容 C_3 与滤波放大模块 422 的输出端之间; 依次串联在第三电容 C_3 和第四电容 C_4 之间的第一缓存器 B_1 和第三开关 K_3 ; 第一电压比较器 VC_1 , 其反相输入端与提供第一阈值的信号线连接, 其同相输入端连接压差比较器的输出端; 第二电压比较器 VC_2 , 其同相输入端与提供第二阈值的信号线连接, 其反相输入端连接压差比较器的输出端; 或门, 其第一输入端与第一电压比较器的输出端耦接, 其第二输入端与第二电压比较器的输出端耦接, 其输出端与第三开关 K_3 耦接, 其中, 在压差比较器输出的差值信号大于第一阈值或者小于第二阈值时, 该阈值比较模块 424 输出光流信息计时触发信号, 并且按照时间顺序依次断开第二开关 K_2 、闭合第三开关 K_3 、断开第三开关 K_3 和闭合第二开关 K_2 。这样, 阈值比较模块 424 可以将第二输入端保持的信号更新为当前第一输入端的第二电信号。

光流信息计时控制单元 430 接收来自前端光流信息计时触发单元 420 生成的光流信息计时触发信号, 并生成后端光流信息计时单元 440 的计时启动信号, 它主要由两部分组成: 锁存器和脉冲整形器。根据一种实现方式, 锁存器在复位信号有效时被复位、并在首次接收到光流信息计时触发信号时被置位, 随后一直保持置位状态直至下一次复位信号有效 (下一次光流信息检测开始)。脉冲整形器接收锁存器输出的锁存信号, 并在锁存器置位时生成一个窄脉冲信号作为后端光流信息计时单元 440 的计时启动信号。在根据本发明的一些实施例中, 脉冲整形器不是必须的, 它也可以被后置到光流信息计时单元 440 中。

光流信息计时控制单元 430 采用这种结构可以确保在一次光流信息检测过程中, 像素单元的光流信息计时单元 440 仅在该像素单元首次检测到光强变化满足阈值要求 (光流信息计时触发单元 420 输出计时触发信号) 时被启动一次, 而不会被反复启动。这是因为光流信息计时控制单元 430 中的锁存器在首次置位后不会被主动复位 (直至下一次复位信号有效时才会被强制复位)。该特性对于在一次光流信息检测过程中, 通过光流帧的不断更新来获取足够多的、不断累积的有效像素单元的时间信息来进行光流分析是必要的。

光流信息计时单元 440 是像素单元内部的一个计时单元, 其在一次光流信息检测的初始阶段被复位, 在像素单元光流计时触发时刻被启动并开始计时。当像素单元被光流信息读出单元读出时, 通过该光流计时单元 440 当前的计时信息就可以得到该像素激活时刻的时间信息。

图 8A 给出了光流信息计时单元 440 的一个实施例, 如图 8A 所示, 光流信息计时单元 440 包括: 第四开关 K_4 、第五开关 K_5 、第五电容 C_5 和第三晶体管 T_3 , 其中, 第五开关 K_5 、第五电容 C_5 和第三晶体管 T_3 均并联在第四开关 K_4 和固定电位 (图中标示为地电位但不限于此) 之间; 第四开关 K_4 的第一端与并联的第五开关 K_5 、第五电容 C_5 和第三晶体管 T_3 相连, 其第二端连接到另一固定电位 (图中标示为电源但不限于此)。第三晶体管 T_3 的栅极电压是一个由外部输入的偏置电压, 因而 T_3 可以等效为一个电流源, 而且电流大小可以根据应用场景的不同进行调节。当复位信号有效时, 第五开关 (K_5) 闭合, 第五电容 C_5 的上极板放电到地电位; 当接收到前端光流信息计时控制单元 430 输出的计时启动脉冲时, 第四开关 K_4 闭合一小段时间然后断开, 第五电容 C_5 的上极板被迅速拉升至电源电压 (K_4 闭合), 然后通过第三晶体管 T_3 缓慢放电 (K_4 断开), 由此形成一个由高至低的斜坡信号, 如图 3C 所示, 该斜坡信号实际上是一个计时信号,

通过读取该信号不同的幅值信息可以得知像素单元触发时刻的时间信息。该信号的幅值越高，表明像素单元触发越晚（对应的运动发生越晚），该信号的幅值越低，表明像素单元触发越早（对应的运动发生越早）。由于最低电位只能是地电位（降低到地电位后无法继续下降），因此光流信息计时单元 440 所能给出的有效时间信息的范围是有限的，

5 超出该范围的时间信息只能以固定值表示。由上分析可知，斜坡信号的斜率决定了光流信息计时单元 440 的计时范围，其斜率由第三晶体管 T_3 的放电电流和第五电容 C_5 的大小决定，放电电流越小，第五电容 C_5 越大，该斜坡信号的斜率越小、衰减越慢、有效计时范围越长；反之，斜率越大、放电越快、有效计时范围越短。缓慢变化的斜坡信号对于检测慢速运动是有效的，因为在这种情况下，通常需要等待足够长的时间才能累积

10 到足够的可供光流分析的与运动轨迹相对应的触发像素单元，由于有效计时范围长，早期触发的像素单元在经过足够长时间后仍能给出有效的计时信息，因此可以获取理想的时间坡信息。对于快速运动的检测，由于较短时间内便可积累足够的像素触发单元，因此可以采用斜率较大的斜坡信号。

根据电流源实现的方式不同，光流信息计时单元 440 也可以通过图 8B 所示的实施

15 例来实现，在光流信息计时单元 440 中，第五开关 K_5 、第五电容 C_5 和第四电阻 R_4 均并联在第四开关 K_4 和固定电位之间；第四开关 K_4 的第一端与并联的第五开关 K_5 、第五电容 C_5 和第四电阻 R_4 相连，其第二端连接到另一固定电位，当复位信号有效时，第五开关（ K_5 ）闭合。这样，第五电容 C_5 上存储的电荷通过第四电阻 R_4 进行放电。光流信息计时单元 440 启动后，该计时信号是一个呈指数衰减的电压信号，衰减的速度由第四电

20 阻 R_4 和第五电容 C_5 的大小决定。一般而言，第四电阻 R_4 需要的阻值很大，它可以通过处于关断状态的晶体或者反向偏置的二极管来实现。

行选输出单元 450 的第一输入端与光流信息计时单元 440 耦接，其第二输入端与光流输出行选择线耦接，对来自光流信息计时单元 440 的计时信号进行缓存并在光流行选择信号有效时将其送至光流数据输出总线，其中，光流行选择信号来自光流信息读出单

25 元 113，光流数据输出总线送至光流信息读出单元 113。光流信息读出单元 113 对光流输出总线的数据进行处理并发送至外部的光流预处理器 130。

另外，像素采集电路 400 中还包括用于采集图像信息的图像信息采集单元 460，其第一输入端与光电探测单元 410 的输出端耦接，其第二输入端与图像信息采集线耦接，接收来自图像信息采集线的图像信息采集信号，并采样和缓存本次接收时刻的第一电信号。由于图像信息采集信号为全局信号，因此所有像素采集电路的图像信息采集单元 460

30 同步地采样本地光电探测单元 410 输出的第一电信号，这样当所有图像信息采集单元 460 被读出至图像预处理器 120 后，就可得到一幅完整的灰度图像。

可选地，图像信息采集单元 460 一般由简单的采样保持电路组成，包括一个控制开关和一个采样电容。其中控制开关的第一输入端连接光电探测单元输出的第一电信号，

35 第二端连接采样电容的第一端，采样电容的第二端连接一固定电平。控制开关的控制信号是全局的图像信息采集信号，当该信号有效时，控制开关闭合，所有像素单元的采样电容采样本像素单元中光电探测单元 410 输出的第一电信号；当图像信息采集信号变为无效后，控制开关断开，采样电容保持已采样的第一电信号并在随后被图像信息读出单元 110 读出至图像预处理器 120 以形成图像帧。

根据本发明的又一实施方式，行选输出单元 450 的第三输入端与图像信息采集单元 460 耦接，其第四输入端与图像输出行选择线耦接，以便对来自图像信息采集单元 460 的输入信号（即，第一电信号）进行缓存、并在图像行选择信号有效时将其送至图像数据输出总线，图像行选择信号来自于图像信息读出单元 112 的行选择单元，图像数据输出总线送至图像信息读出单元 112。图像信息读出单元 112 对图像输出总线的数据进行

40 处理并发送至外部的图像预处理器 120。

综上所述，根据本发明的像素采集电路 400 可以同时输出图像和光流信息，而且由于两路信息通过独立的读出通道发送至上外部的预处理器，因此光流传感器 110 的图像帧和光流帧的采集是并行且相互独立的。

总的来说，光流信息的采集需要全局的复位信号以及光流信息读出单元的控制。需要说明的是，一次光流信息的检测可能需要多个光流帧。在一次光流信息检测的开始，复位信号有效，此时像素单元中所有与光流信息检测相关的单元（如光流信息计时触发单元、光流信息计时控制单元和光流信息计时单元）均被复位。随后，复位信号撤销，光流信息检测开始，光流信息读出单元扫描整个像素阵列的光流信息计时单元的计时信息从而形成光流帧。而图像帧的采集由全局控制单元给出的图像信息采集信号以及图像

50

信息读出单元控制。在一个图像帧采集的开始, 图像信息采集信号在一小段时间内有效, 像素阵列中的图像信息采集单元采样并保持光电探测单元输出的第一电信号, 随后图像信息读出单元逐个扫描整个像素阵列中图像信息采集单元所存储的与光强相关的第一电信号, 从而得到一个完整的图像帧。

- 5 结合关于图 4-图 8B 的描述, 通过不同的组合方式, 像素采集电路可以被设置为多种形式, 此处不再一一列举。图 9 以其中一种为例, 示出了像素采集电路 900 的一个示例性示意图。

10 如图 9 所示, 像素采集电路 900 包括光电探测单元 910、图像信息采集单元 920、滤波放大模块 931、阈值比较模块 932、光流信息计时控制单元 940、光流信息计时单元 950、以及行选输出单元 960。其中滤波放大模块 931 和阈值比较模块 932 构成光流信息计时触发单元 930 (图中未示出)。图 9 中示出的光电探测单元 910 设置为如图 5B 所示的光电探测单元, 当然, 光电探测单元 910 还可以设置为图 5A、5C 和 5D 中任一种, 或者其他任何能实现本发明目的的光电探测单元, 这里不再赘述。同样地, 图 9 中示出的滤波放大模块 931 被设置为图 6B 所示的滤波放大模块, 应当指出, 滤波放大模块 931 也可以布置为图 6A、6C、6D 中任意一种。图 9 中示出的阈值比较模块 932 被配置为图 7C 所示的阈值比较模块, 应当指出, 阈值比较模块 932 也可以被配置为图 7A、7B 和 7D 中任一种, 这里不再赘述。图 9 中示出的光流信息计时单元 950 被配置为如图 8A 中所述的光流信息计时单元, 应当指出, 光流信息计时单元 950 还可以被配置为如图 8B 中所示, 这里不再赘述。

20 在一次光流信息检测开始时, 复位信号有效, 滤波放大模块 931 的第一开关 K_1 闭合, 将其输出的第二电信号固定于一个参考电位, 该电位与滤波放大模块 931 的第二放大器 A_2 的输入正极连接的参考电位一致, 一般位于后端阈值比较模块 932 的第一阈值和第二阈值的中间。这样光流信息计时触发单元 930 不会给出光流信息计时触发信号。复位信号撤销后, 第一开关 K_1 断开, 第一电容 C_1 采样该时刻的光电探测单元 910 输出的第一电信号作为后续检测的初始参考电平。第二电信号响应实时的第一电信号与初始参考电平的差值, 并在第二电信号超出阈值比较模块 932 的阈值检测范围时, 给出光流信息计时触发信号。在这里, 滤波放大模块 931 中的第二电容 C_2 和可调电阻 R_3 组成了高通滤波器, 使得第一电信号中的变化缓慢的低频成分被屏蔽。也就是说, 虽然第二电信号响应的是实时的第一电信号与初始参考电平的差值, 但初始参考电平并非完全由第一开关 K_1 断开时的第一电信号决定。如果第一电信号在开关 K_1 断开后有缓慢的 (低频) 变化, 那么初始参考电平也会随之实时地缓慢变化, 从而确保了对第一电信号低频成分的有效过滤。阈值比较模块 932 中的或逻辑单元 (即, 或门) 将前面两个比较单元的输出进行或操作后送至光流信息计时控制单元 940, 这确保了对不同方向的光强变化 (由强到弱以及由弱到强) 的检测。

35 光流信息计时控制单元 940 接收来自前端光流信息计时触发单元 930 生成的计时触发信号, 并生成后端光流信息计时单元 950 的计时启动信号。如前文所述, 光流信息计时控制单元 940 主要由两部分组成: 锁存器和脉冲整形器。前端的锁存器用于表征在一次光流信息检测过程中, 该像素单元是否已被触发, 它的复位信号是来自全局的复位信号, 置位信号来自本地的光流信息计时触发信号。因此, 在一次光流信息检测开始时, 阵列中像素单元的该锁存器都被强制复位。在随后的光流信息检测过程中, 检测到有效光强变化 (由运动造成) 的像素单元通过光流信息触发信号置位该锁存器。由于无法自动复位, 该置位状态一直保持至下一次复位信号有效 (下一次光流信息检测开始)。由此, 锁存器被置位时刻即代表本像素单元在一次光流检测过程中首次检测到有效运动的时刻, 虽然随后光流信息触发单元仍然响应光强变化并可以再次给出计时触发信号, 但由于锁存器已经被置位, 因此后期的计时触发信号被屏蔽。脉冲整形器检测锁存器输出的锁存信号, 并在锁存器置位时生成一个脉冲信号作为后端光流信息计时单元 950 的计时启动信号。这确保了在一次光流信息检测过程中, 像素采集电路只响应于第一次满足条件的光强变化、并启动一次具有单调增益特性的光流信息计时单元 950。阵列中已触发像素单元的空间和光流信息计时单元的时间信息与运动演进的空间和时间信息具有确切的映射关系, 从而得到有效的光流模式下的时间映射图像。如光流信息计时单元 950 所示, 该时间信号在复位信号有效时 (K_5 闭合) 被复位至地电位, 在启动时 (K_4 闭合) 被迅速拉至电源电压, 随后以固定的斜率下降至地电位。通过在不同时刻读取该斜坡信号的幅值信息就可获取该像素单元触发时刻的时间信息。

行选输出单元 960 被配置成两路带选择开关的缓冲器。两路缓冲器是独立的, 分别

用于输出图像信息采集单元 920 给出的第一电信号和光流信息计时单元 950 给出的时间信号。当图像输出行选择线有效时，与第一电信号线相连的选择开关闭合，图像信息采集单元 920 给出的第一电信号经缓存后送至第一电信号线。当光流输出行选择线有效时，与时间信号线相连的选择开关闭合，光流信息计时单元 950 给出的计时信号经过缓存后送至时间信号线。

图 10 示出了根据本发明一些实施例的光流传感器 110 的示意图。如图 10 所示，光流传感器 110 至少包括像素采集电路阵列 111、光流信息读出单元 113 和全局控制单元 114。当然，为便于光流传感器 110 对图像信息的采集，光流传感器 110 还可以包括图像信息读出单元 112。

根据一些实现方式，像素采集电路阵列 111 中包含多个像素采集电路 400，关于像素采集电路 400 的介绍可参见前文所述，此处不再赘述。光流信息读出单元 113 读取像素采集电路阵列 111 中至少一部分像素采集电路所输出的计时信号，全局控制单元 114 生成复位信号，并通过光流信息复位线输出至像素采集电路阵列 111 中的每个像素采集电路。同样，图像信息读出单元 112 读取像素采集电路阵列 111 中至少一部分像素采集电路所输出的第一电信号，全局控制单元 114 生成图像信息采集信号，并通过图像信息采集线输出至像素采集电路阵列 111 中的每个像素采集电路。

更具体地，全局控制单元 114 包括：图像获取模块 1142 和光流获取模块 1144。图像获取模块 1142 通过图像信息采集线与像素采集电路阵列 111 中的每个像素采集电路耦接，用于在一个图像帧采集初始阶段控制像素阵列的图像信息采集单元获取当前时刻与光强相关的第一电信号。光流获取模块 1144 通过光流信息复位线与像素采集电路阵列 111 中的每个像素采集电路耦接，用于生成复位信号，在一次光流信息检测的初始阶段复位所有与光流信息检测相关的单元/模块。

光流信息读出单元 113 包括光流输出行扫描器 1132（即，行选择单元）、时间信号扫描器 1134（即，列选择单元）和光流读出控制器 1136。其中，光流输出行扫描器 1132 通过一条光流输出行选择线与像素采集电路阵列中的一行像素采集电路耦接，光流读出控制器 1136 指示光流输出行扫描器 1132 逐行将像素采集电路阵列中的光流输出行选择线置为有效，并指示时间信号扫描器 1134 依次读取该行像素采集电路所输出的计时信号。

图像信息读出单元 112 包括图像输出行扫描器 1122（即，行选择单元）、第一电信号扫描器 1124（即，列选择单元）和图像读出控制器 1126。其中，图像输出行扫描器 1122 通过一条图像输出行选择线与像素采集电路阵列中的一行像素采集电路耦接；图像读出控制器 1126 指示图像输出行扫描器 1122 逐行将像素采集电路阵列中的图像输出行选择线置为有效，并指示第一电信号扫描器 1124 依次读取该行像素采集电路所输出的第一电信号。

图 10 中示出了阵列 111 的部分像素采集电路。这部分像素采集电路按行可以分为第 $i-1$ 、 i 和 $i+1$ 行（对应图像/光流输出行选择线），按列可以分为第 $j-1$ 、 j 和 $j+1$ 列（对应数据输出总线：第一电信号线和时间信号线），但不限于此。像素采集电路阵列 111 中每一行（例如图 9 中第 i 行）通过一条图像输出行选择线与图像输出行扫描器 1122 耦接，此外还通过一条光流输出行选择线与光流输出行扫描器 1132 耦接。像素采集电路阵列 111 中每一列通过一条传输第一电信号的数据线和一条传输时间信号的数据线分别与第一电信号扫描器 1124 和时间信号扫描器 1134 耦接。图像输出行扫描器 1122 和第一电信号扫描器 1124 在图像读出控制器 1126 的控制下扫描整个像素采集电路阵列 111 输出的第一电信号以获取图像帧信息。光流输出行扫描器 1132 和时间信号扫描器 1134 在光流读出控制器 1136 的控制下扫描整个像素采集电路阵列 111 输出的时间信号以获取光流帧信息。

根据本发明的实现方式，图像帧输出和光流帧输出的控制原理是相同的，下面以图像帧输出为例进行详细说明。图像读出控制器 1126 首先指示图像输出行扫描器 1122 选中第一行像素采集电路，图像输出行扫描器 1122 随即将第一行的图像输出行选择线置为有效（其余行选择线均无效）。第一行像素采集电路通过行选输出单元将自身采集到的第一电信号发送至第一电信号扫描器 1124。然后图像读出控制器 1126 控制第一电信号扫描器 1124 按顺序逐个扫描该行所有的像素采集电路输出的第一电信号。当首行最后一个像素采集电路信息输出完毕时，图像读出控制器 1126 向图像输出行扫描器 1122 发出换行信号指示后者跳转至第二行、并控制第一电信号扫描器 1124 逐个扫描输出所有第二行像素采集电路的第一电信号信息。依此类推，直至整个阵列 111 中的所有像素

采集电路的第一电信号信息读取完毕。光流信息输出模式的操作与此相同，只是通过光流读出控制器 1136、光流输出行扫描器 1132 和时间信号扫描器 1134 来完成。

5 综上，本光流传感器 110 提供了一种有效提取运动光流信息的方案，该方案对各种速度的运动物体均可实现有效的光流信息提取；同时，又可以采集图像信息，以获取清晰无滞后的全幅灰度图像为提取的光流信息提供背景信息。根据一种实现方式，光流传感器 110 并行地输出光流帧和图像帧信息。其中，每个光流帧包含有已触发的像素采集电路的空间以及触发时刻的时间信息，被标记时空信息的像素单元直接关联三维空间中物体的运动，通过分析该时间信息在像素阵列二维空间映射形成的时间坡平面的坡向和坡度信息可以有效地提取运动的光流信息。而每个图像帧的获取不需要曝光时间，类似于全局快门的控制机制，使得即便在高速运动时也可以获得清晰且无滞后的灰度图像，该图像既可以为从光流帧中提取的光流信息提供背景信息，也可以兼容现有的基于灰度图像的处理算法。

10 同时，布置在像素采集电路中的光流信息计时单元提供像素单元触发时刻的时间信息、且不受光流信息读出操作的干扰，这种非破坏性读出机制确保了光流帧输出的连续性，即后续光流帧可以获取之前所有已触发像素单元的时间和空间信息。这种特性确保了光流传感器既可以对快速运动的物体进行检测，也可以对实际应用中更加常见的中低速运动的物体进行检测。更具体地说，因为慢速运动需要较长的时间形成运动轨迹延伸，对应视场中的像素单元触发时间间隔较长，非破坏性读出机制确保了连续输出的光流帧中总可以获取完整的可供光流分析的（与视场运动轨迹相对应的）触发像素单元的时空信息。

20 此外，光流传感器 110 对光流和图像两种信息的获取是完全独立的，光流传感器可以完全并行地输出光流和图像信息而不会相互干扰，且光流信息和图像信息地获取和读出速度可以根据不同的需求进行调节。

25 在此处所提供的说明书中，说明了大量具体细节。然而，能够理解，本发明的实施例可以在没有这些具体细节的情况下被实践。在一些实例中，并未详细示出公知的方法、结构和技术，以便不模糊对本说明书的理解。

30 类似地，应当理解，为了精简本公开并帮助理解各个发明方面中的一个或多个，在上面对本发明的示例性实施例的描述中，本发明的各个特征有时被一起分组到单个实施例、图、或者对其的描述中。然而，并不应将该公开的方法解释成反映如下意图：即所要求保护的本发明要求比在每个权利要求中所明确记载的特征更多特征。更确切地说，如下面的权利要求书所反映的那样，发明方面在于少于前面公开的单个实施例的所有特征。因此，遵循具体实施方式的权利要求书由此明确地并入该具体实施方式，其中每个权利要求本身都作为本发明的单独实施例。

35 本领域那些技术人员应当理解在本文所公开的示例中的设备的模块或单元或组件可以布置在如该实施例中所描述的设备中，或者可替换地可以定位在与该示例中的设备不同的一个或多个设备中。前述示例中的模块可以组合为一个模块或者此外可以分成多个子模块。

40 本领域那些技术人员可以理解，可以对实施例中的设备中的模块进行自适应性地改变并且把它们设置在与该实施例不同的一个或多个设备中。可以把实施例中的模块或单元或组件组合成一个模块或单元或组件，以及此外可以把它分成多个子模块或子单元或子组件。除了这样的特征和/或过程或者单元中的至少一些是相互排斥之外，可以采用任何组合对本说明书（包括伴随的权利要求、摘要和附图）中公开的所有特征以及如此公开的任何方法或者设备的所有过程或单元进行组合。除非另外明确陈述，本说明书（包括伴随的权利要求、摘要和附图）中公开的每个特征可以由提供相同、等同或相似目的

45 的替代特征来代替。

本发明一并公开了：

50 A8、如 A1 所述的像素采集电路，其中，所述光电探测单元包括：阳极接地的光电二极管（PD₁）；串联的 N 个晶体管，其中，N≥2，第 1 个晶体管的源极与光电二极管（PD₁）阴极连接，第 N 个晶体管的漏极连接到电源（VDD），每个晶体管的栅极与漏极连接，第 2 至第 N 个晶体管中每个晶体管的源极连接到前 1 个晶体管的漏极。A9、如 A1 所述的像素采集电路，其中，所述光电探测单元包括：阳极接地的光电二极管（PD₁）；串联的 N 个晶体管，其中，N≥2，第 1 个晶体管的源极与光电二极管（PD₁）阴极连接，第 N 个晶体管的漏极连接到电源（VDD），第 2 个至第 N 个晶体管中每个

晶体管的源极连接到前1个晶体管的漏极,第2个至第N个晶体管中每个的栅极与漏极连接;第一放大器(A₁),连接在光电二极管(PD₁)的阴极与第1个晶体管的栅极之间。A10、如A4所述的像素采集电路,其中,所述滤波放大模块包括:第二放大器(A₂),其输入正极连接所述光电探测单元的输出端,其输入负极连接有下拉的第一电阻(R₁),其输出端与输入负极之间连接有第二电阻(R₂),适于对所述光电探测单元输出的第一电信号进行放大处理;连接该第二放大器(A₂)的高通滤波器,适于滤除经过放大的第一电信号中低于频率阈值的信号成分,以输出所述第二电信号。A11、如A4所述的像素采集电路,其中,所述滤波放大模块包括:第一电容(C₁),其第一端与所述光电探测单元的输出端连接;第二放大器(A₂),其输入正极连接到固定电位,其输入负极与第一电容(C₁)的第二端连接;第二电容(C₂)、第三电阻(R₃)和第一开关(K₁),均并联在第二放大器(A₂)的输入负极和输出端之间,其中,当复位信号有效时,第一开关(K₁)闭合,当复位信号撤销后,第一开关(K₁)断开。A12、如A11所述的像素采集电路,其中,所述第三电阻为可调电阻。A13、如A4所述的像素采集电路,其中,所述滤波放大模块包括:第二放大器(A₂),其输入正极与所述光电探测单元的输出端连接;第一电容(C₁),其第一端与第二放大器(A₂)的输入负极连接,其第二端连接到固定电位;第一开关(K₁),其连接在第一电容(C₁)的第一端与所述光电探测单元的输出端之间;高通滤波器,与该第二放大器(A₂)相连,适于滤除经过放大的第一电信号中低于预定频率阈值的信号成分,生成所述第二电信号,其中,当复位信号有效时,第一开关(K₁)闭合,当复位信号撤销后,第一开关(K₁)断开。A14、如A4所述的像素采集电路,其中,所述滤波放大模块包括:第一电容(C₁),其第一端与所述光电探测单元的输出端连接;电流复制器(P₁),其第一端与第一电容(C₁)的第二端连接;第二放大器(A₂),其输入正极连接到固定电位,其输入负极与电流复制器(P₁)的第二端连接;第二电容(C₂)、第一开关(K₁)和第三电阻(R₃)均并联在第二放大器(A₂)的输入负极和输出端之间,其中,当复位信号有效时,第一开关(K₁)闭合,当复位信号撤销后,第一开关(K₁)断开。A15、如A4所述的像素采集电路,其中,所述阈值比较模块包括:第一电压比较器(VC₁),其反相输入端与提供所述第一阈值的信号线连接,其同相输入端连接所述滤波放大模块的输出端。A16、如A4所述的像素采集电路,其中,所述阈值比较模块包括:第二电压比较器(VC₂),其同相输入端与提供所述第二阈值的信号线连接,其反相输入端连接所述滤波放大模块的输出端。A17、如A4所述的像素采集电路,其中,所述阈值比较模块包括:第一电压比较器(VC₁),其反相输入端与提供所述第一阈值的信号线连接,其同相输入端连接所述滤波放大模块的输出端;第二电压比较器(VC₂),其同相输入端与提供所述第二阈值的信号线连接,其反相输入端连接所述滤波放大模块的输出端;或门,其第一输入端与第一电压比较器的输出端耦接,其第二输入端与第二电压比较器的输出端耦接,适于对所述第一电压比较器的输出和所述第二电压比较器的输出进行或逻辑操作。A18、如A4所述的像素采集电路,其中,所述阈值比较模块包括:压差比较器(VD₁),其第一输入端连接有下拉的第二电容(C₃),第二输入端连接有下拉的第四电容(C₄),适于输出第一输入端和第二输入端的差值信号;第二开关(K₂),设置在第三电容(C₃)与所述滤波放大模块的输出端之间;依次串联在第三电容(C₃)和第四电容(C₄)之间的第一缓存器(B₁)和第三开关(K₃);第一电压比较器(VC₁),其反相输入端与提供所述第一阈值的信号线连接,其同相输入端连接压差比较器的输出端;第二电压比较器(VC₂),其同相输入端与提供所述第二阈值的信号线连接,其反相输入端连接压差比较器的输出端;或门,其第一输入端与第一电压比较器的输出端耦接,其第二输入端与第二电压比较器的输出端耦接,其输出端与所述第三开关(K₃)耦接,其中,在所述压差比较器输出的差值信号大于第一阈值或者小于第二阈值时,该阈值比较模块输出所述光流信息计时触发信号,并且按照时间顺序依次断开第二开关(K₂)、闭合第三开关(K₃)、断开第三开关(K₃)和闭合第二开关(K₂)。A19、如A1所述的像素采集电路,其中,所述光流信息计时单元包括:第五开关(K₅)、第五电容(C₅)和第三晶体管(T₃),均并联在第四开关(K₄)和固定电位之间;第四开关(K₄),其第一端与并联的第五开关(K₅)、第五电容(C₅)和第三晶体管(T₃)相连,其第二端连接到另一固定电位,其中,当复位信号有效时,第五开关(K₅)闭合。A20、如A1所述的像素采集电路,其中,所述光流信息计时单元包括:第五开关(K₅)、第五电容(C₅)和第四电阻(R₄),均并联在第四开关(K₄)和固定电位之间;第四开关(K₄),其第一端与并联的第五开关(K₅)、第五电容(C₅)和第四电阻(R₄)相连,其第二端连接到另一固定电位,其中,当复位信号有效时,第五开关(K₅)闭合。

B23、如 B21 或 22 所述的光流传感器，其中，所述光流信息读出单元包括：光流输出行扫描器，通过一条光流输出行选择线与所述像素采集电路阵列中的一行像素采集电路耦接；时间信号扫描器；光流读出控制器，适于指示光流输出行扫描器逐行将像素采集电路阵列中的光流输出行选择线置为有效，并指示时间信号扫描器依次读取该行像素采集电路所输出的计时信号。B24、如 B22 所述的光流传感器，其中，所述图像信息读出单元包括：图像输出行扫描器，通过一条图像输出行选择线与所述像素采集电路阵列中的一行像素采集电路耦接；第一电信号扫描器；像读出控制器，适于指示图像输出行扫描器逐行将像素采集电路阵列中的图像输出行选择线置为有效，并指示第一电信号扫描器依次读取该行像素采集电路所输出的第一电信号。B25、如 B24 所述的光流传感器，其中，所述全局控制单元包括：光流获取模块，通过光流信息复位线与所述的像素采集电路阵列中的每个像素采集电路耦接，适于生成复位信号。B26、如 B24 所述的光流传感器，其中，所述全局控制单元还包括：图像获取模块，通过图像信息采集线与所述的像素采集电路阵列中的每个像素采集电路耦接，适于生成图像信息采集信号。

此外，本领域的技术人员能够理解，尽管在此所述的一些实施例包括其它实施例中所包含的某些特征而不是其它特征，但是不同实施例的特征的组合意味着处于本发明的范围之内并且形成不同的实施例。例如，在下面的权利要求书中，所要求保护的实施例的任意之一都可以以任意的组合方式来使用。

此外，所述实施例中的一些在此被描述成可以由计算机系统的处理器或者由执行所述功能的其它装置实施的方法或方法元素的组合。因此，具有用于实施所述方法或方法元素的必要指令的处理器形成用于实施该方法或方法元素的装置。此外，装置实施例的在此所述的元素是如下装置的例子：该装置用于实施由为了实施该发明的目的的元素所执行的功能。

如在此所使用的那样，除非另行规定，使用序数词“第一”、“第二”、“第三”等等来描述普通对象仅仅表示涉及类似对象的不同实例，并且并不意图暗示这样被描述的对象必须具有时间上、空间上、排序方面或者以任意其它方式的给定顺序。

尽管根据有限数量的实施例描述了本发明，但是受益于上面的描述，本技术领域内的技术人员明白，在由此描述的本发明的范围内，可以设想其它实施例。此外，应当注意，本说明书中使用的语言主要是为了可读性和教导的目的而选择的，而不是为了解释或者限定本发明的主题而选择的。因此，在不偏离所附权利要求书的范围和精神的情况下，对于本技术领域的普通技术人员来说许多修改和变更都是显而易见的。对于本发明的范围，对本发明所做的公开是说明性的，而非限制性的，本发明的范围由所附权利要求书限定。

权 利 要 求 书

1、一种像素采集电路，包括：

光电探测单元，适于实时输出表征照射在其上的光信号的强度的第一电信号；

5 光流信息计时触发单元，其第一输入端与所述光电探测单元的输出端耦接，其第二输入端与光流信息复位线耦接，适于在来自光流信息复位线的复位信号撤销后且检测到第一电信号满足预定触发条件时，输出光流信息计时触发信号；

光流信息计时控制单元，其第一输入端与光流信息计时触发单元耦接，其第二输入端与光流信息复位线耦接，适于在来自光流信息复位线的复位信号撤销后且接收到光流信息计时触发信号时输出计时启动信号；

10 光流信息计时单元，其第一输入端与光流信息计时控制单元耦接，其第二输入端与光流信息复位线耦接，适于在来自光流信息复位线的复位信号撤销后且接收到计时启动信号时开始计时，生成计时信号；以及

行选输出单元，其第一输入端与光流信息计时单元耦接，其第二输入端与光流输出行选择线耦接，适于接收来自光流输出行选择线的光流行选择信号，并在所述光流行选择信号有效时，缓存并输出本次接收时刻的计时信号。

2、如权利要求 1 所述的像素采集电路，还包括：

图像信息采集单元，其第一输入端与所述光电探测单元的输出端耦接，其第二输入端与图像信息采集线耦接，适于接收来自图像信息采集线的图像信息采集信号，并采样和缓存本次接收时刻的第一电信号；

20 所述行选输出单元的第三输入端与图像信息采集单元耦接，其第四输入端与图像输出行选择线耦接，以便接收来自图像输出行选择线的图像行选择信号，并在所述图像行选择信号有效时，缓存并输出本次接收时刻的第一电信号。

3、如权利要求 2 所述的像素采集电路，其中，

25 所述图像信息采集单元适于在接收到的图像信息采集信号有效时，采样本次接收时刻的第一电信号，以及，在接收到的图像信息采集信号无效时，缓存已采样的第一电信号。

4、如权利要求 1-3 中任一项所述的像素采集电路，其中，所述光流信息计时触发单元包括：

30 滤波放大模块，适于对所述第一电信号进行预处理操作以生成第二电信号，其中所述预处理操作包括放大操作和滤波操作中的至少一个；以及

阈值比较模块，适于判断第二电信号是否大于第一阈值和/或是否小于第二阈值，并在第二电信号大于第一阈值或小于第二阈值时生成光流信息计时触发信号。

35 5、如权利要求 1-4 中任一项所述的像素采集电路，其中，所述光流信息计

时控制单元包括：

锁存器，适于在复位信号有效时被复位，并在首次接收到光流信息计时触发信号时被置位；以及

脉冲整形器，适于在锁存器被置位时生成计时启动信号。

5 6、如权利要求 1 所述的像素采集电路，其中，所述光电探测单元包括：

阳极接地的光电二极管（PD₁）；

第一晶体管（T₁），其源极与光电二极管（PD₁）阴极连接，其漏极与栅极连接到电源（VDD）。

7、如权利要求 1 所述的像素采集电路，其中，所述光电探测单元包括：

10 阳极接地的光电二极管（PD₁）；

第一晶体管（T₁），其源极与光电二极管（PD₁）阴极连接，其漏极与电源（VDD）连接；

第一放大器（A₁），连接在光电二极管（PD₁）的阴极与第一晶体管（T₁）的栅极之间。

15 8、一种光流传感器，包括：

像素采集电路阵列，包括多个如权利要求 1-20 中任一项所述的像素采集电路；

光流信息读出单元，适于读取像素采集电路阵列中至少一部分像素采集电路所输出的计时信号；

20 全局控制单元，适于生成复位信号，并通过光流信息复位线输出至像素采集电路阵列中的每个像素采集电路。

9、如权利要求 8 所述的光流传感器，还包括：

图像信息读出单元，适于读取像素采集电路阵列中至少一部分像素采集电路所输出的第一电信号；以及

25 所述全局控制单元还适于生成图像信息采集信号，并通过图像信息采集线输出至像素采集电路阵列中的每个像素采集电路。

10、一种光流及图像信息采集系统，包括：

如权利要求 9 所述的光流传感器；

30 光流预处理器，与所述光流传感器中的光流信息读出单元耦接，适于获取计时信号并生成光流触发像素点的时间映射图像；以及

图像预处理器，与所述光流传感器中的图像信息读出单元耦接，适于获取第一电信号并生成全像素点的灰度图像。