

基于 CMOS 的双目视觉定位系统的设计<sup>X</sup>

郑志强, 季秀才, 刘 斐

(国防科技大学机电工程与自动化学院, 湖南 长沙 410073)

**摘要:**介绍了一种基于 CMOS 视觉芯片的双目视觉相对定位信息提取系统。重点描述了该系统的硬件系统的组成: 成像采集设备、控制器、存储器、专用 DSP 和外部接口电路, 以及各部分的芯片选择和相应的接口设计, 并提供了设计方案实例。系统具有体积小、重量轻、功耗小、集成度高、接口灵活、定位精度高等特点, 可以方便地安装在各种设备, 尤其是嵌入式系统上, 因此可以广泛地应用到很多领域。

**关键词:** CMOS 视觉芯片; 双目视觉定位; 硬件系统; 软件设计

**中图分类号:** TP391 **文献标识码:** A

Design of a Binocular Visual Positioning System  
Based on CMOS Chips

ZHENG Zhizhiang, JI Xiutcai, LIU Fei

(College of Mechatronics Engineering and Automation, National Univ. of Defense Technology, Changsha 410073, China)

**Abstract:** A binocular visual relative positioning system based on CMOS vision camera chips is presented. The hardware structure of the system, selection of components and design of corresponding interface circuits are described. The hardware system includes: image collecting equipments, memories, a controller, a DSP and external interface circuits. An example is given. Being compact and highly integrated, the system has flexible interfaces, consumes low power and is of high precision. It can be easily installed in equipments, especially in embedded systems. So it have applications in many fields.

**Key words:** CMOS vision camera chips; binocular visual positioning; hardware system; design of software

随着科学技术的进步, 计算机视觉技术取得了长足的发展。在诸多领域中, 利用双目视觉信息对目标进行定位、测距的技术已经有了成功的应用。目前, 利用 CCD 摄像机实现双目视觉的系统普遍存在着价格高、系统复杂、标定精度低、功耗大、集成度低等问题, 从而限制了这一技术更广泛的应用。

本文设计了一套基于 CMOS (Complementary MetalOxideSemiconductor) 视觉芯片的双目视觉相对定位信息提取系统。该系统具有体积小、重量轻、集成度高、功耗低等特点, 克服了基于 CCD 摄像机的双目视觉系统的诸多缺点, 可广泛应用于机器人视觉、目标搜索、工件定位等领域; 还可以用于嵌入式系统, 作为某些系统的视觉子系统。

## 1 双目视觉定位的基本原理

如图 1 所示, 双目视觉定位的基本原理是利用空间同一点在两摄像机画面上的视差来计算空间点的三维坐标。现有的双目传感器多为正直摆放姿态, 即两光轴相互平行。还有一些是采用交向摆放姿态的, 即两光轴不平行, 且允许两像面之间存在旋转。

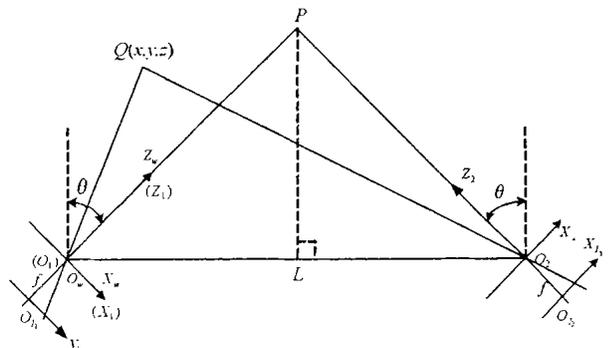


图 1 双目视觉定位原理图

Fig. 1 The principle of binocular visual positioning

X 收稿日期: 2003- 05- 19

基金项目: 国家 863 高技术资助项目 (2001AA422270)

作者简介: 郑志强(1965), 男, 教授, 博士。

对于正直摆放方式的双目视觉传感器,因为情况过于特殊,不具有普遍意义。因此,这里将介绍采用一般摆放姿态的双目传感器的模型。

假设两个摄像机对称放置。设两摄像机坐标系分别为  $O_1X_1 Y_1 Z_1$ 、 $O_2X_2 Y_2 Z_2$ , 轴  $Z_1$  与轴  $Z_2$  相交于  $P$ , 两坐标系原点间距离为  $L$ 。相应像面坐标系为  $O_1 X_1 Y_1 Z_1$ 、 $O_2 X_2 Y_2 Z_2$ 。世界坐标系  $O_wX_w Y_w Z_w$  与  $O_1 X_1 Y_1 Z_1$  重合。轴  $Z_1$ 、轴  $Z_2$  与对称轴偏角为  $H$ 。假设两摄像机的焦距相等,为  $f = \overline{O_1 O_1} = \overline{O_2 O_2}$ 。空间上任意点  $Q(x, y, z)$  在  $O_2 X_2 Y_2 Z_2$  中的坐标为  $Q(x_2, y_2, z_2)$ , 对应像点坐标分别为  $(X_1, Y_1)$ 、 $(X_2, Y_2)$ 。

根据小孔成像原理及坐标变换理论可推得:

$$\begin{cases} x = z \# X_1 / f \\ y = z \# X_2 / f \\ z = L \frac{\cos H - \sin H \# X_2 / f}{\cos 2H \# (X_1 - X_2) / f + \sin 2H \# (1 + X_1 X_2 / f^2)} \end{cases} \quad (1)$$

正直摆放方式的双目视觉传感器只是上述情况的特例,只要令  $H$  为 0 即可得到该情况下的定位公式。

## 2 CMOS 视觉芯片

CMOS 即互补金属氧化物半导体,是利用/硅0和/锗0这两种元素做成的半导体,通过 CMOS 上带负电和带正电的晶体管实现其基本的功能。这两个互补效应所产生的电流即可被用来处理芯片记录和解读成影像(如图 2 所示)。

CMOS 光电传感器经光电转换后直接产生电流(或电压)信号,采集光信号的同时就可以取出电信号,避免了传统模拟视频信号的转换和采集工作,帧速率可以达到很高。CCD 电荷耦合器大多需要三组电源供电,耗电量较大;CMOS 光电传感器只需使用一个电源,耗电量非常小,仅为 CCD 电荷耦合器的 1/10 到 1/8。同时,CMOS 器件体积小,可将 CMOS 光电传感器、图像信号放大器、信号读取电路、模数转换器、图像信号处理器及控制器等,集成到一块芯片上,还具有附加 DRAM 的优点。一个芯片就可以实现数码相机的基本功能。它可以直接提供所采集图像的全数字信号,而且还可以通过初始化编程设置芯片输出的图像信息的格式,如 RGB、YCbCr、ZV Port 或者 CCIR601/CCIR605 等格式。因此 CMOS 视觉芯片具有体积小、重量轻、功耗低、接口灵活、便于集成等优点,比传统的 CCD 摄像设备有更广泛的应用领域。

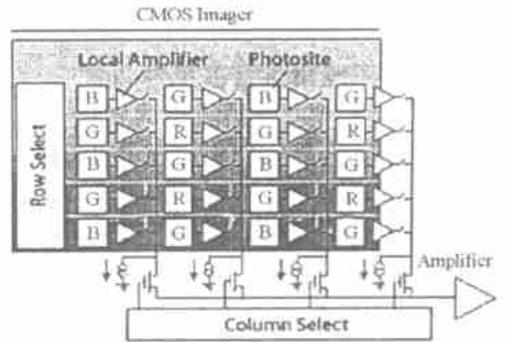


图 2 CMOS 图像传感器工作原理图  
Fig. 2 The principle of CMOS image sensors

## 3 系统的设计

### 3.1 系统组成

我们设计的基于 CMOS 的双目视觉定位系统由成像采集设备、控制器、存储器、专用 DSP 处理器以及外部接口电路组成。其原理框图如图 3 所示。

CMOS 摄像头是图像的采集设备,根据使用环境,以及具体需求的不同,可以在分辨率、色彩等方面做出选择,与之配套的还有专用的镜头,也需要根据实际情况来选择。控制器完成对 CMOS 视觉芯片的初始化,对 CMOS 视觉芯片与存储器之间、DSP 与存储器之间的数据传输进行协调控制。另外,它还要与外部接口电路通讯,接收来自外部的控制命令,以实现系统的启动、初始化以及关闭等操作(实现两片 CMOS 成像芯片图像采样、数据传输等的同步性)。存储器用来存储所采集的图像信息,同时也为检测算法提供数据交换的空间。DSP 是整个系统的核心部件,它利用集成好的算法对采集到的图像进行

处理, 以得到感兴趣物体的位置、距离等信息, 并将结果通过外部接口电路送出。外部的接口电路可以采取不同的方式, 根据需要不同, 可以采用 RS232、USB、104 总线等。通过这样一个系统, 就可以对感兴趣的目标摄像并进行处理, 最后得到相应的相对位置信息, 将此信息传送出去。

### 3.2 器件选择及接口设计

基于 CMOS 视觉芯片的双目视觉定位处理系统在硬件选择方面, 主要考虑以下几个方面的要求:

(1) CMOS 视觉芯片的选取。目前, CMOS 视觉芯片在分辨率方面最高已经达到了 1680 万像素, 帧速率方面, Dalsa 公司发布的超高速 CMOS 图像传感器速率达到 20 000 帧/s, 有黑白与彩色之分, 所以可供选择的种类很多, 可以根据实际使用要求及算法选择合适的 CMOS 视觉芯片。在双目视觉定位系统中, 必须保证 CMOS 视觉芯片采集的图像完全同步, 因此在系统设计中控制器必须给出 CMOS 视觉芯片的同步工作信号, 使两片 CMOS 视觉芯片同步采集图像。也可选用具有主从级联功能 CMOS 视觉芯片<sup>[6]</sup>, 通过一片主视觉芯片发同步信号给从片(如图 3 所示), 可以很方便地实现图像采集的同步。另外, CMOS 图像采集芯片需要初始化, 大部分该类芯片的初始化控制字都是通过 I<sup>2</sup>C 总线写入的<sup>[6]</sup>。如果用到的控制器没有提供直接的 I<sup>2</sup>C 总线接口, 可以通过编程, 使用两个输出脚模拟 I<sup>2</sup>C 总线; 也可用专用的 I<sup>2</sup>C 总线接口芯片, 比如 Philips 公司的 PCF8584。

(2) 控制器的选择。系统中起到控制作用的器件在与 CMOS、存储器及 DSP 通讯时, 涉及到各种总线通讯方式, 逻辑上比较复杂。这种控制功能可以通过 DSP 或者多个专用控制器来实现。我们选择使用 FPGA, 通过对其编程配置其逻辑, 实现控制功能, 以减少 DSP 的负担, 提高实时性。这样通过单片 FPGA 就可以完成整个系统的协调控制, 控制外围接口简单, 便于集成以及系统的调试。

(3) 存储器选择。存储器主要是存储 CMOS 所采集的图像数据以及 DSP 的中间处理结果。存储器容量的大小要根据 CMOS 视觉芯片所采集到的图像数据的大小以及具体的图像处理算法来选择。例如存储 640@480 的彩色图像, 使用普通的大约 4MB 的存储器就可以满足要求了。存储器既要与 CMOS 视觉芯片进行通讯, 又要与 DSP 交换数据, 地址译码及同步握手逻辑都比较复杂, 容易引起访问冲突。可以对存储器进行分块, 通过控制器协调, 使得在同一时刻 CMOS 视觉芯片和 DSP 与不同的存储器块进行数据交换, 这样就保证了不引起访问冲突。

(4) DSP 的选择。DSP 在系统中实现图像的处理操作, 所以 DSP 的选择受到具体的图像处理算法的限制, 目前通用的 DSP 的型号有很多, 如 TI 公司的 TMS320 系列 DSP, 处理速度也比较快。通过选择合适的 DSP, 再结合成熟的算法, 可以得到满意的检测定位效果。

因为 CMOS 视觉芯片及配套镜头体积都很小, 系统的其他模块也都是由大规模集成电路组成, 因此这种基于 CMOS 视觉芯片的双目视觉定位系统完全可以集成到一块很小的电路板上, 而且还可以根据应用的需要设计与外部设备的接口, 这样可以方便地将这一系统安装在各种设备, 尤其是嵌入式系统上, 因此可以广泛地应用到很多领域。图 4 给出的是已经成熟的使用 CMOS 成像芯片的板载摄像头。

### 3.3 软件设计

系统的软件设计包括: 图像的预处理、定位算法以及 FPGA 的程序设计。图像的预处理提取感兴趣的图像信息, 为定位算法提供数据, 它依赖于具体的视觉芯片的类型以及定位算法, 但是算法都很成熟, 只是要根据需要具体选择。

近年来, 国内外对双目视觉技术已经做了大量的研究工作<sup>[1~5]</sup>, 算法比较成熟, 实际使用效果也比

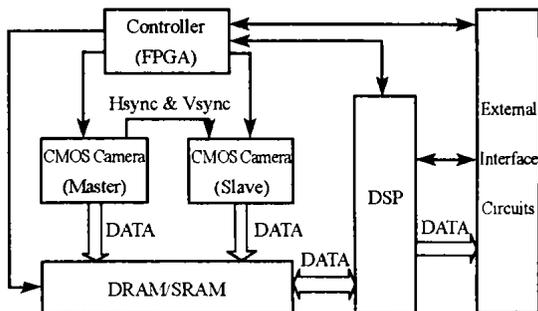


图 3 硬件系统原理框图

Fig. 3 The principle of the hardware system



图 4 OmniVision 板载 CMOS 摄像头

Fig. 4 OmniVision's onboard CMOS camera

较好,可以满足基于 CMOS 视觉芯片的双目定位处理系统的需要。由(1)式可知其主要技术包括两个方面,一是确定左、右视图之间的空间几何关系,称为标定;二是在左、右两幅图上寻找同名像素点的问题,称为匹配。标定,即确定 CMOS 摄像头的内、外参数。对于针孔模型,内参数包括焦距、摄像头光轴与图像平面的交点坐标、每个像素在  $x, y$  轴的物理尺寸  $dx, dy$  等,外参数即摄像头坐标系与世界坐标系之间的相对位置矩阵,包括旋转矩阵  $R$  与平移矩阵  $T$ 。因为两片 CMOS 视觉芯片完全装在同一电路板上,所以外部参数可以精确地测量。又因为系统的体积小、重量轻,所以运动惯性小,不易变形,因此相对于基于 CCD 摄像头的双目视觉定位系统,基于 CMOS 视觉芯片的系统的标定精度将大为提高。

FPGA 的程序设计也是软件设计的难点之一。比较流行的程序设计工具 VHDL 语言,对于常用的接口都有现成的子程序调用,关键是要协调系统的各部分控制信号的时序。一般应先仿真,仿真通过了以后再继续进行硬件调试,这样可以大大缩短开发时间。

系统的软件调试通过后,完全可以固化到芯片当中,这样有利于系统的集成,提高稳定性、保密性和商业化,这也是系统的优点之一。

### 3.4 设计方案实例

通过对基于 CMOS 的双目视觉定位系统各部分功能和要求的分析,我们初步选择了 OmniVision 公司的 OV7620 CMOS 成像芯片<sup>[6]</sup>(图 5)。相对于其他型号的芯片,它的特点在于成像质量高、功耗低,得到的图像可以通过 USB 接口直接以数字形式输出,在分辨率为  $320 \times 240$  时可以达到每秒 30 帧的输出速度,在拍摄时的功耗为  $120\text{mW}$ ,待机时只有  $10\text{mW}$ 。它最主要的一个特点就是可以设置多片级联,这样就可以将两片 OV7620 分别设置为主片和从片,以实现在采样和数据读取上的同步,这对于双目视觉的实现是非常重要的。

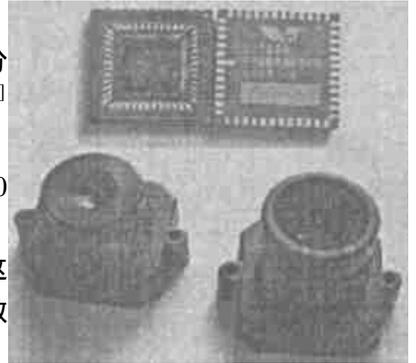


图 5 OV7620 和镜头

Fig. 5 OV7620 and its suitable lens

对于基于 CMOS 的双目视觉定位系统,两片 CMOS 视觉芯片安装在一块电路板上,其间的几何位置是固定的,可以精确测量,为系统标定提供准确的相对位置信息。FPGA 完成对视觉芯片的控制工作,它根据 DSP 所发的指令,执行事先设计好的控制命令。存储器用于对所拍摄图像的存储,以及为图像处理过程中的数据交换提供存储空间。DSP 是图像信息处理核心部件,它从存储器中读取数据,完成特征提取、匹配定位等处理工作。同时,根据它的工作情况,还需要对 FPGA 发指令,使图像采集与处理协调进行。DSP、存储器和 FPGA 的选择,受到成像芯片分辨率、图像输出格式、定位算法以及信号输出方式等多种因素的影响,需要根据不同的要求综合考虑,以达到最佳的效果。

使用 CMOS 成像芯片,帧速率主要由芯片的性能决定。高速率的图像采集,必然对数据存储、传输以及处理能力提出了更高的要求。由于高速大容量存储器价格昂贵,可以使用高速低容量的存储器,通过对每次采集的图像分块处理,来减少对存储容量的要求,相应地带来了 DSP 处理能力以及定位算法的要求的提高。

## 4 结论

本文介绍了一种基于 CMOS 视觉芯片的双目视觉定位系统的设计方案。重点介绍了硬件系统的原理及各功能模块的芯片选择及相应的接口设计及软件设计,并且给出了设计方案实例。该系统具有体积小、重量轻、耗电少、集成度高、定位精度高、算法可固化等优点,克服了使用 CCD 摄像设备所必须进行的视频采集工作需要配备图像采集卡、体积大、运动惯性大、系统集成度低的缺点。近年来,数字 CCD 摄像机也因其可以直接得到数字图像、采样频率高等优点受到大家的关注,但是昂贵的价格阻碍了其广泛的应用。CMOS 视觉芯片由于具有以上所提到的诸多优点,因此可以广泛地应用到工业检测、物体识别、工件定位、机器人自导引等很多领域。

### 3 结论

SiO<sub>2</sub> 溶胶的粘度取决于配制时水与 TEOS 的摩尔比、溶剂的种类与用量、催化剂的类型与用量、反应温度等因素。以 TEOS、去离子水、IPA 为原料采用 HCl/ NH<sub>4</sub>OH 两步法制备的 SiO<sub>2</sub> 溶胶随 IPA 用量的增加和 NH<sub>4</sub>OH 减少, 粘度随时间增加变缓。适于匀胶的 SiO<sub>2</sub> 溶胶的粘度是 9~ 15mPa# s, 匀胶速度为 2000~ 5000rpm。通过调节 IPA 与 NH<sub>4</sub>OH 的用量, 可使 SiO<sub>2</sub> 溶胶的粘度在 9~ 15mPa# s 范围内保持相对较长的时间, 便于匀胶。SiO<sub>2</sub> 溶胶对温度敏感, 低温下反应缓慢, 可在低温下保存 SiO<sub>2</sub> 溶胶。

### 参考文献:

- [1] Lee W W, Ho P S. Low dielectric constant Materials for ULSI Interlayer Dielectric Applications[J]. MRS Bulletin, 1997, 22(10): 19-23.
- [2] Hyun S H, Kim J J, Park H H. Synthesis and Characterization of Low dielectric Aerogel Films[J]. J. Am. Ceram. Soc., 2000, 83(3): 533- 540.
- [3] Jain A, Rogojevic S, Ponoth S, et al. Porous Silica Materials as Low dielectric Dielectrics for Electronic and Optical Interconnects[J]. Thin Solid Films, 2001: 398- 399; 513- 522.
- [4] Hurbesh L W, Poco J F. Thin Aerogel Films for Optical, Thermal, Acoustic and Electronic Applications[J]. J. Non-Cryst. Solids, 1995, 188: 46- 53.
- [5] 阮刚, 肖夏, 朱兆. 低介电常数(low dielectric) 介质在 ULSI 中的应用前景[J]. 电子学报, 2000, 28(11): 84- 87.
- [6] 吴广明, 鲁鸿雁, 王珏, 等. SiO<sub>2</sub> 气凝胶薄膜常压制备与强化研究[J]. 物理学报, 2002, 51(1): 104- 110.
- [7] Jo M H, Park H H, Kim D J, et al. SiO<sub>2</sub> Aerogel Film as a Novel Intermetal Dielectric[J]. J. Appl. Phys., 1997, 82(3): 1299- 1304.
- [8] Fardad M A, Yeatman E M, Dawney E J C, et al. Effect of H<sub>2</sub>O on Structure of Acid-catalysed SiO<sub>2</sub> Sol-gel Films[J]. J. Non-Cryst. Solids, 1995, 183: 260- 267.

(上接第 4 页)

### 参考文献:

- [1] 张健新, 段发阶, 钟明, 叶声华. 用于三维尺寸检测的双目视觉传感器[J]. 计量学报, 1999, 20(2).
- [2] 罗亚波, 陈定方. 采用射影几何方法实现视觉模拟系统[J]. 武汉理工大学学报, 2002, 24(8): 83- 86.
- [3] 张业鹏, 何涛, 文昌俊, 杨音彩, 沈邦兴. 机器视觉在工业测量中的应用与研究[J]. 光学精密工程, 2001, 9(4): 325- 329.
- [4] 文巨峰, 周骥平, 颜景平, 徐钰华. 双目立体视觉的移动机器人试验平台的研究[J]. 制造业自动化, 2001.
- [5] 吕朝辉, 陈晓光, 吴文福, 赵红霞. 基于双目立体视觉的秧苗直立度自动测定系统[J]. 农业机械学报, 2002, 33(1).
- [6] OV7620 Single-chip CMOS VGA Color Digital Camera[R]. <http://www.ovt.com/pdfs/OV7620.pdf>.
- [7] 王念旭. DSP 基础与应用系统设计[M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2001.
- [8] 徐志军, 徐光辉. CPLD/ FPGA 的开发与应用[M]. 北京: 机械工业出版社, 2002.