

文章编号 1004-924X(2002)06-0614-05

无线微型机器人肠道内窥镜系统中图像采集与无线传输子系统的设计

付国强,梅涛,孔德义,张彦

(中国科学院合肥智能机械研究所 传感技术国家重点实验室,安徽 合肥 230031)

摘要:采用微型 CMOS 图像传感器和 ISM 频段超高频微型射频收发器设计一种短距离微型图像采集和无线传输系统,具有集成度高、体积小和功耗低的特点;在此基础上分析了它适用于无线微型机器人肠道内窥镜系统图像传输的可行性,最后对设计出的图像采集和无线传输系统进行了实验,获得了较为清晰的图像。

关键词:微型机器人;内窥镜;图像采集;无线图像传输
中图分类号:TP242 **文献标识码:**A

1 引言

为了克服传统肠胃内窥镜检查的缺点,国内外竞相开展胃肠道内窥机器人的研究,国外如加州理工学院的 A. Brett Slatkin^[1],意大利 Mitech 实验室的 P. Dario^[2]等;国内有上海交通大学^[3]和上海大学^[4],不过它们都是用引线来供应能量和传输信号,拖曳的引线既限制了机器人的运动灵活性又不安全。无线微型机器人内窥镜系统可以进入人体胃肠道中,并对里面的情况进行窥视,然后把图像传输出来供医生诊断疾病用,其原理如图 1 所示。实现图像信号的无线传输可以克服引线的不足,使病人感觉到由于引线存在而产生的痛苦减轻,同时微机器人的运动灵活性也增加。普通的有线医用电子内窥镜图像采集和传输系统^[5]的图像信号可以用引线传输到体外,多几根和少几根很细的引线对内窥头的尺寸几乎没有影响,而无线微型机器人内窥镜系统的图像采集和发射系统相对于体外的接收和处理系统是分离的,那么就要求它在体内的内窥部分不能包括过多的器件,尺寸不能超过肠胃道的最小直径,所以把满足装置的尺寸作为无线系统方案选择时的首要标准。

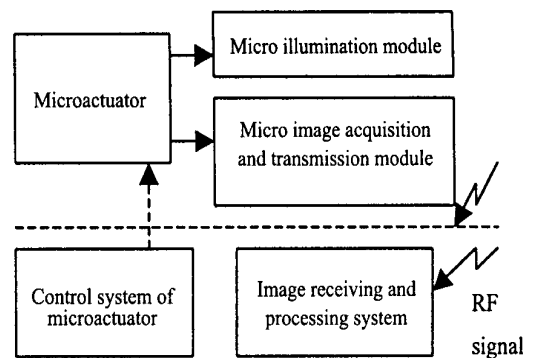


图 1 无线微型机器人内窥镜系统原理框图

Fig. 1 Schematic chart of the wireless micro robotic endoscope system.

2 短距离微型图像采集和无线传输系统的设计

无线微型机器人内窥镜系统中的图像无线传输只要要求能实现几米的短距离传输即可,摄像头和无线图像发射模块的超微型化使它的研制成功成为可能,其中微型摄像头和微型图像发射模块分别实现成像和传像功能。

2.1 图像无线射频传输的方式

图像信号的短距离无线射频传输可以用模拟

收稿日期:2002-09-13;修订日期:2002-10-31

基金项目:国家 863 计划项目“无线肠胃镜检查机器人”的资助

RF 和数字 RF 两种方式来实现,这可以根据摄像头的输出是模拟信号还是数字信号来确定,它们各有优缺点。

模拟 RF 传输方式的优点是没有数据率要求,不过一般情况下它的图像质量没有数字 RF 传输高。模拟图像无线传输系统是将摄像头输出的 NTSC 或 PAL 混合模拟信号连接到模拟输入射频发射模块,通过使用相同频率的接收机将射频信号恢复为模拟视频信号,这样再把它输入到监视器就可以显示图像。

数字图像与模拟图像相比它的优点是更加准确和更便于用计算机进行处理;它的缺点是一帧不经压缩的图像的数据量很大,使得图像传输速度有可能很慢。数字图像无线传输系统的结构原理与模拟图像无线传输系统基本一样,不同的地方在于它是把图像传感器的数字输出信号连接到数据输入的射频发射模块。

2.2 微型摄像模块

微型摄像模块的核心是图像传感器,CMOS

图像传感器比 CCD 图像传感器具有更小的体积和更高的集成度^[7],因为 CMOS 图像器可以集成很多与 CMOS 工艺兼容的功能模块,而 CCD 图像传感器必须用专门的工艺加工,它的制造工艺与 CMOS 集成电路不兼容,其它的功能模块如时序控制、自动增益控制、信号处理、彩色编码等必须片外另配,对于有线医用电子内窥镜这些模块可以放在体外,通过引线与体内的 CCD 相连,但是这种方法不能应用于无线系统,如果把它们也集成到体内,无疑会使系统的尺寸变得很大。同时 CMOS 图像传感器的功耗也比 CCD 图像传感器要小的多,很适合应用在用电池供能的场合。目前 CMOS 图像传感器的图像清晰度虽然不如 CCD 图像传感器,但对于一般的应用场合是足够的,尤其是近年来主动像素传感器 (APS) 技术的应用使得 CMOS 图像传感器的信噪比 (SNR) 和灵敏度得到很大的改善。由此可见在该系统中优先采用 CMOS 图像传感器。

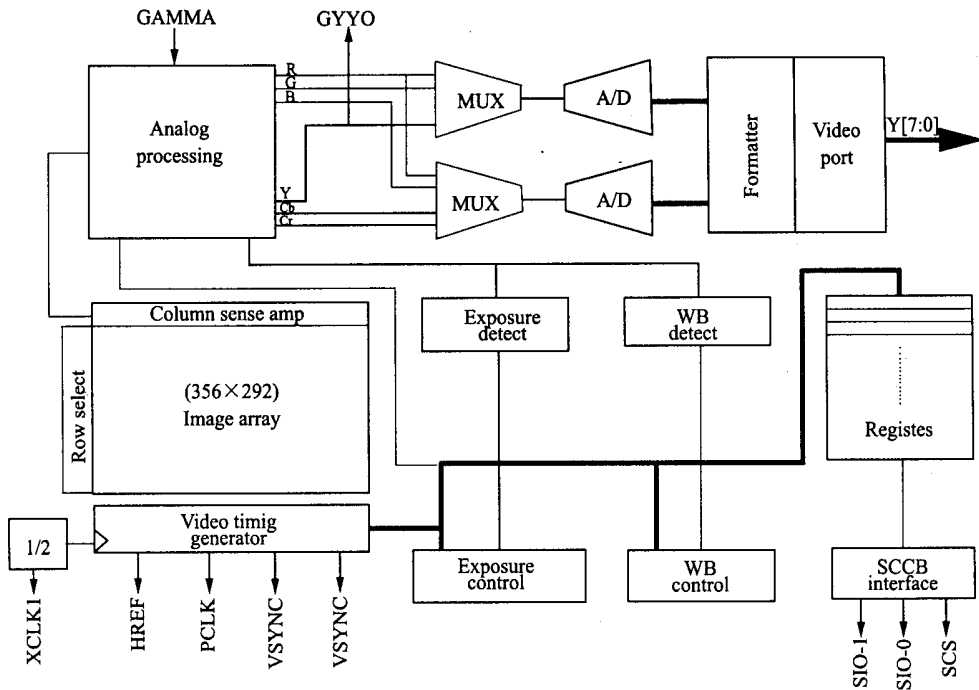


图 2 CMOS 图像传感器的内部功能模块框图

Fig. 2 CMOS image sensor block diagram.

一个典型的 CMOS 图像传感器的内部功能模块框图^[6]如图 2 所示,主要由感光图像阵列、灵

敏放大器、模拟处理电路,控制电路、时序电路,双 A/D 变换器和数字输出接口等组成,做到了把图

像传感部分和控制电路高度集成在一块芯片上,构成一个单片摄像元件(Camera on a Chip)。图像或物像通过具有一定像素的图像阵列捕获并按规定路线传送到模拟信号处理电路,并履行色分离和校正、自动增益控制(AGC)、灰度校正、色平衡和黑电平标定、“弯曲处”(knee)平滑、孔径校正、画面照度和色度控制、色调控制和抗混淆(anti-alias)滤波等。每个像素的等效颜色成份为 R(红)、G(绿)和 B(蓝),模拟视频信号建立在下面的结构配比基础之上。

$$\begin{cases} Y = 0.59G + 0.31R + 0.11B \\ U = R - Y \\ V = B - Y \end{cases}$$

同时支持 YCrCb 格式,以下面的配置为基础:

$$\begin{cases} Y = 0.59G + 0.31R + 0.11B \\ Cr = 0.713(R - Y) \\ Cb = 0.564(B - Y) \end{cases}$$

来自模拟处理单元电路的 YCrCb/RGB 数据信号被馈送到电路中的两个 A/D 转换器(一个为 Y/G 通道,一个通过 CrCbRb 通道被均分)。经转换的数据流在数字格式中被进一步调整,处理后的信号递交到用户选择的 16 位、8 位或 10 位的一个数字视频端口和输出脚。可见它的输出可以是经过编码处理后得到的模拟混合信号 GYYO,也可以是经过 A/D 转换及合成后的数字信号 Y[7:0],该数字信号的格式可以在 YCrCb 和 RGB 之间选择,符合视频数据流的国际标准 CCIR601。

对于无线微型机器人内窥镜系统中的图像传输系统,由于它的尺寸要求很小,所以应以最少的元器件就能把图像信号引到体外,并尽可能在体外对图像信号进行压缩和处理,因为这时已没有空间的限制。无线微型机器人内窥镜系统在人体肠胃道中工作时,为了获得较大的视野,摄像模块的微型镜头采用广角透镜。

2.3 微型图像发射模块

短距离的无线图像传输可以用红外(IR)和射频(RF)来实现,红外传输的方向性强,但不能穿越障碍物;而射频传输的穿透性很好,尤其是在超高频段(UHF)。ASIC 射频发射芯片几乎可以在一块很小的芯片上集成整个射频发射功能单元,其内部功能模块主要包括频率锁相环(PLL)、低通滤波器(LPF)、频率合成器(FS)、压控振荡器

(VCO)和功率放大器(PA)等,只要接上极少的外围元件就可以工作,使得模块的尺寸可以做的很小,很适合于人体医疗领域。射频发射芯片的输入可以是数据也可以是电压信号,经过内部电路处理后,以 FSK、PSK、ASK、OOK、FM^[8]等方式发射出来。应用于人体的微型图像发射模块工作在 ISM(工业,科学,医学)频段,如 2.4 GHz,这个频段的使用是开放的,不需要申请许可证;同时因为是短距离传输,所需发射功率很小,所以对人体的不良影响很小。

2.4 硬件系统集成与实验

数字输出的 CMOS 图像传感器除了输出并行的数字信号 Y[7:0],还有水平参考信号(HREF),垂直同步信号(VSYNC)和像素时钟输出信号 PCLK,要获得一帧完整的图像就必须把这些信号全部引出,在与数字输入的射频发射模块集成时,它们之间需要先进行并行数据流的串行编码,这需要通过增加数字视频串行编码器(Digital video serializer)来实现。不经压缩的数字图像的数据量非常大,如一帧 QCIF(176 × 144)分辨率的图像,若每个像素由 8 位构成,则它的大小为 198kbit;考虑到实时视频图像传输要求的帧率(电视信号是 25f/s),数据传输率将达到 4.83Mbps,而目前的射频发射芯片的数据传输率最大也就是 1Mbps 左右;如果要先对数字图像进行压缩然后再发射出去,需要在 CMOS 图像传感器的输出数据后使用专用图像压缩芯片,但这样做会使系统的体积变的很庞大,不适合应用在人体肠道内。随着芯片制造技术的发展,不久将会出现把压缩编码器集成在内的 CMOS 图像传感器,如以色列 TransChip 公司即将推出的 TC5600 芯片就带有 MPEG-4 编码器,到时对它的使用就会变得十分方便。

模拟输出的 CMOS 微型摄像模块和模拟输入的微型射频发射模块之间的硬件集成比较简单,为了方便集成要求它们的工作电压一致,同时要求微型射频发射模块的最大输入电压不小于微型摄像模块的最大输出电压。为了获得图像还需要配套使用图像接收模块,从接收模块出来的信号可以输入监视器中显示;如果要利用计算机进行进一步的处理,则需要使用图像采集卡将视频信号转换为数字图像信号^[9]。一个完整的微型模拟图像无线发射接收和处理系统如图 3 所示,

集成后只要给系统提供电源就可以开始工作。

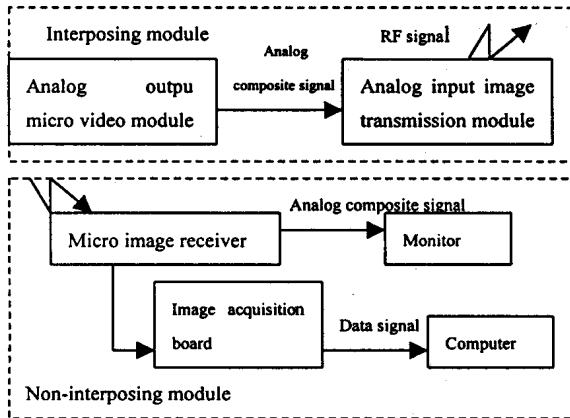


图 3 微型模拟图像无线发射接收和处理系统

Fig. 3 Micro analog image wireless transceiving and processing system.

根据系统原理图 3 设计微型模拟图像采集和无线发射系统的结构部局如图 4 所示,电源采用微型纽扣电池。实验中无线发射和接收的频率为 2.4 GHz,摄像头像素为 352 × 288,输出格式 NTSC,图像通过无线影音接收机输入到电视机 AV 端口并在屏幕上显示;无线传输的距离在 4m 以上。得到的拍摄图像的清晰度基本上取决于摄像头的分辨率,模拟射频发射方式对图像清晰度的影响不大,由此可见它适合应用于人体胃肠道内窥。

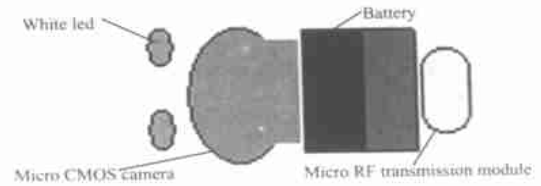


图 4 系统结构布局

Fig. 4 layout of the system.

3 结 论

无线微型机器人内窥镜系统工作在人体的胃肠道中,由于空间位置狭小,它的图像传输系统尽可能由最少的元件构成,从上面的分析可以看出实现数字射频发射所需要的元件数比模拟射频发射要多,同时实验也证明模拟射频发射的图像效果不错,所以在目前现有的技术条件下,采用模拟射频传输系统来获取体内图像是一种实际而又可行的设计方案。随着各项技术的发展,器件的尺寸会越来越小,适用于肠道检查的微型图像采集和无线传输系统也将向全数字化的方向发展。如果要真正做到主动式的无线胃肠道检查,还需要对体内微型机器人的无线驱动方式^[10]做更多的探索和研究。

参考文献:

- [1] Slatkin A B, Burdick J, Grundfest W. The development of robotic endoscope[A]. *Proc. IEEE Int Conf. On Robotic and Automation* [C]. Nagoya, Aichi, Japan, 1995, 162-171.
- [2] Dario P. A micro robotic system for colonoscopy[A]. *Proceedings of the 1997 IEEE International Conference on Robotics and Automation* [C]. Albuquerque, New Mexico, 1997, 1567-1572.
- [3] 迟冬祥,颜国正. 基于蚯蚓运动原理的微小机器人构件的运动特性[J]. *光学 精密工程*, 2002, 10(2): 160-164.
- [4] 米智楠,钱晋武. 内窥检查机器人化的传感与主动介入技术[J]. *仪器仪表学报*, 2001, 22(6): 606-609.
- [5] 江洁,郁道根. 医用电子内窥镜图像采集与视频显示系统的设计与实现[J]. *中国生物医学工程学报*, 2001, 20(3): 281-285.
- [6] OmniVison Technologies, Inc. OV6640 single-chip CMOS CIF color digital camera, Version 1.0[Z], 2000.
- [7] 尤政,李涛. CMOS 图像传感器在空间技术中的应用[J]. *光学技术*, 2002, 28(1): 31-35.
- [8] 吴资玉. 数字通信原理[M]. 北京:中国物资出版社,1999.
- [9] 蔡文贵. CCD 技术及应用[M]. 北京:电子工业出版社,1992.
- [10] 梅涛,陈永. 铁磁橡胶执行器与微型游泳机器人的尺度效应[J]. *光学 精密工程*, 2001, 9(6): 523-526.

Design of the image acquisition and wireless transmission branch system of wireless micro robotic endoscope system

FU Guo-qiang , MEI Tao , KONG De-yi , ZHANG Yan

(*National Key Lab of Transducer Technology , Institute of Intelligent Machines ,
Chinese Academy of Sciences , Hefei 230031 , China*)

Abstract : A new type of short distance micro image acquisition and wireless transmission system was designed. It consists of a micro CMOS image sensor and a UHF micro RF transceiver working in the ISM band. It shows such features as high integration , small size and low power consumption. The paper discusses the feasibility of its application in wireless micro robotic endoscope system , and describes the experiment on the system. The results show that the image is very clear on the monitor.

Key words : micro robot ; endoscopes ; image acquisition ; wireless image transmission

作者简介 : 付国强 (1977 -) 男 ,江西临川人 ,1999 年毕业于西南交通大学机电工程专业 ,并获工学学士学位 ,现为中国科学院合肥智能机械研究所硕士研究生 ,主要从事微型机器人的研究。E-mail : gqfu@mail.iim.ac.cn