

CCD 及摄像机技术在工业中的应用*

林家明

(北京理工大学光电工程系 北京 100081)

杨隆荣

(敏通企业股份有限公司 台北)

摘要 文章系统地介绍了国内外 CCD 技术的发展和未来 CCD 市场的需求,并给出了统计参考数据,讨论了科学 CCD 传感器及摄像机技术性能指标,介绍了通用工业级 CCD 传感器需要改进的几个方面(如超高动态、数字信号处理、逐行扫描、帧累积等的性能)。

关键词 CCD 传感器, CCD 摄像机, 逐行扫描, 高动态范围

APPLICATION OF CCD AND CAMERA TECHNIQUE IN INDUSTRY

LIN Jia-Ming

(Beijing Institute of Technology, Beijing 100081)

YANG Long-Rong(Micky YANG)

(Mintron Enterprise Co., Ltd., Taipei, China)

Abstract Development and future market's needs of CCD technique at home and abroad are systematically introduced and its reference census is given in this paper. Technical specifications of scientific imaging CCD sensor and CCD camera are discussed. The some technique improvement of CCD sensor and the optimizing index of technical performance for the CCD cameras are discussed. The many applications of the CCD cameras and its extend tendency are described in detail. The new improvement of the CCD camera, such as Hyper-D, DSP, PS, Frame-Accumulation and so on, are also presented.

Key words CCD sensor, CCD camera, progressive scan, high dynamic range

伴随 CCD(charge couple device)器件的发明而展开的 CCD 技术研究及应用领域的发展至今已有近三十年的历史。它的出现使得人类扑捉信息达 85% 的眼睛这个重要器官得到了极大扩展与延伸。随着中国光电产业的腾飞, CCD 技术已被广泛地应用于工业、农业、交通、金融、教育、航天、航空等诸多领域,这里主要分析与展示 CCD 技术应用现状、发展、创新以及 CCD 未来的应用前景。

1 科学 CCD 传感器及摄像机的特点

科学 CCD 一般是指在高科技尖端科研领域中所必需的(首先特别是军事目的需求) CCD 传感器及 CCD 摄像机。这种 CCD 摄像机主要追求的是能在各种环境条件下获得高品质图像。由科学 CCD 所应用的项目不同,各国的生产厂商研制的产品分别有自己的特点。这里仅限于目前所了解的一些商品

化的科学 CCD 作一简单介绍。CCD 及摄像机的进展是多方面的,这里仅从两个大方面来讨论:

1.1 CCD 光谱探测范围的外延

CCD 摄像机的光谱探测范围已从可见光波段向长波和短波两方向外延,目前已有近红外 CCD 摄像机,中、远红外(焦平面阵列)摄像及图像采集系统。波长可从 $0.4-0.76\mu\text{m}$ 外延为 $3-5\mu\text{m}$, $8-14\mu\text{m}$,如铂硅(PtSi)制冷型红外摄像机被广泛地应用于航天、航空、国防及科研等领域。近期有些公司正在进行 CCD 向短波即紫外波段外延的研究,从 CCD 的机理和制作工艺的改进,使其在 $0.2-0.4\mu\text{m}$ 范围内可望有几个波长的相对光谱响应的增加,可提高原来相对光谱响应的 3—5 倍。紫外波段 CCD 可应用于军事保密通信、生物工程 DNA 编码分析等。

* 1999 - 11 - 29 收到初稿, 2000 - 08 - 29 修回

1.2 CCD及摄像机技术性能方面的进展

CCD及摄像机技术性能涉及很多参数,本文仅就科学 CCD 摄像机应用于图像采集、高速图像处理等科研方面经常要考虑的指标作简要介绍。

(1) 高清晰度:一般可达到 800—1000 电视线以上的电视分辨率,数字输出的 CCD 摄像机可达到几千线对/mm 的空间频率;

(2) 特大靶面:当前有可达到高于 4096×4096 个像素的产品,并达到几乎无瑕疵点的 0 级或 1 级的传感器,更高像素的 CCD 传感器也已研制成功;

(3) 制冷 CCD 传感器:CCD 传感器被制冷到 $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时 CCD 传感器的暗电流噪声减到很小,灵敏度极高;

(4) 超高动态范围:一般的动态范围是 2500:1,超高动态范围可达到 90dB;

(5) 12bit 高速面阵 CCD:可达到高帧速率 (fr/s) 1000000, 20000, 5000, 1000;

(6) 极短曝光时间 CCD 摄像机:最短曝光时间 $1\text{ }\mu\text{s}$ 帧速率(fr/s) 1 M/s;

(7) 超高灵敏度:高速时间延迟积分(TDI) CCD 相机可探测到 10^{-5}lx 或更低照度的运动目标图像;

(8) 像增强器型 ICCD 摄像机:可在微弱星光下探测目标,给出清晰的图像;

(9) PS 逐行扫描面阵 CCD 摄像机:探测运动目标的图像,并同时具有较高的水平和垂直分辨率;

(10) 数字化 CCD 摄像机:可实时数字化处理 DSP 或全数字输出 CCD 摄像机。

以上这些特点是科学 CCD 所追求的性能主要指标,根据特殊需要来选择各项指标。

2 通用工业级 CCD 传感器技术发展趋势

2.1 CCD 传感器的像面尺寸向集成化和轻量化方向发展

如图 1 所示,由于制造 CCD 传感器的硅片生产和加工成本很高,很希望在一片 6.5 英寸的硅片上光刻更多个 CCD 传感器芯片;另外由于光刻机采用更短的光波长作光刻刀,以及光刻机的不断进步,所以在仍保持具有的很高灵敏度特性下,CCD 传感器的尺寸向 1/2 英寸、1/3 英寸、1/4 英寸、1/5 英寸方向发展。

2.2 CCD 传感器向高像素数和多光学格式发展

从图 1 可见,各种 CCD 传感器像面尺寸减少,但其像素数在增加,已由早期的 512(水平方向) ×

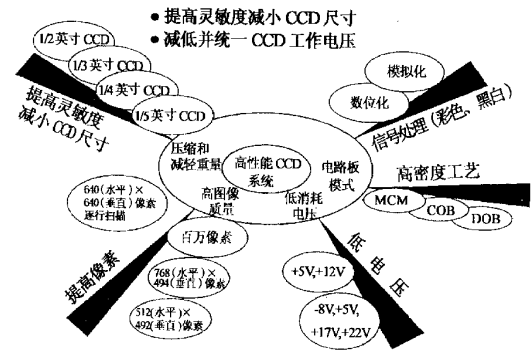


图 1 CCD 传感器及摄像机系统发展计划

492(垂直方向)像素数向 795(水平方向) × 596(垂直方向)像素数发展,现已生产超过几百万像素的 CCD 传感器,甚至已制造出 1600 万像素的 CCD 传感器。为提高水平和垂直分辨能力,已从通常的隔行扫描向逐行扫描格式发展。

2.3 降低 CCD 传感器的工作电压,减少功耗

初期研制的 CCD 摄像机有 +24V、+22V、+17V 和 +5V 等,目前通用的为 +12V。为配合 PC 摄像机和网络图像传输的应用,逐步以 +12V 和 +5V 两种工作电压为主,规范电源。

2.4 提高 CCD 摄像机制造效率

为了降低 CCD 摄像机的制造成本,实现高速自动化生产,制造厂家追求紧密性结构,致力于 CCD 摄像机的小型化,即由过锡板工艺改进为贴片工艺。到目前为止,已实现多层板的贴片工艺。

2.5 CCD 摄像机的数字化

在制造 CCD 摄像机时,对以往的 Analog 模拟系统逐步实现 DSP 数字化处理,可以借助电子计算机和专门软件系统实现对 CCD 摄像机,特别是彩色 CCD 摄像机的各种参数进行计算机量化调整,可以确保 CCD 摄像机性能指标的优化一致性以及在特殊使用条件下的参数量化修改。

3 CCD 摄像机应用领域的发展趋势

近年来 CCD 摄像机的用量以每年 20% 的速度递增。同时,若 CCD 摄像机能达到 140 万像素,它的像质可达到 35mm 摄影机的照片水平。

3.1 CCD 摄像机的应用领域

CCD 摄像机应用已经深入到各行各业许多领域。随着 Internet 信息网络全球化,信息网上的图像采集、图像数字传输使 CCD 的用途也越来越重要,CCD 摄像机应用领域在不断地扩展,应用技术的深

化又促进 CCD 摄像机的多样化产品的生产. CCD 摄像机在应用总体上有汽车领域、公共设施、家用设施三个大方面,其中包括:

- (1) 摄录一体化 CCD 摄像机.
- (2) 可视电话.据资料介绍,有些移动电话公司正在研究开发可带视频图像摄入和显示的手机,这个应用领域将会随无线通信需求同步扩展.
- (3) 电脑摄像机.在 21 世纪初叶,随着电脑网络系统的发展,电脑摄像机作为电脑前端和图像输入系统,CCD 摄像机将以不可阻挡的发展势头深入到电脑应用的方方面面,也会很快进入家庭.借助电脑网络,实现音、视频同步远程通信.

(4) 随着住宅商品化,各种现代化住宅楼象雨后春笋拔地而起.民用住宅的安全技术防范已提到日程上来,许多住宅可在室内及时地看到来访客人的实时图像和室外局部区域的情况,为防范入室作案起到有效的监控作用.另外门禁系统如指纹识别、视网膜锁均需大量 CCD 摄像机.

(5) 扫描仪.为了提高各种资料、文字的输入速度,可采用各种扫描仪,读取经过文字识别的资料,可将读入的文字资料转换成文件存入计算机进行编辑,以便在网络上交流.

(6) 条形码记录器在各种商业流通领域如商场、仓储连锁店等普遍采用.条形码物品记录识别系统与总计算机相联网随时取得各种数据.

(7) 医用显微内窥镜利用超小型的 CCD 摄像机或光纤图像传输内窥镜系统,可以实现人体显微手术,减小手术刀口的尺寸,减小伤口感染的可能性,减轻病人的痛苦.可进行实时远程会诊和现场教学.

(8) 各种车辆加装 CCD 摄像机,可以使驾驶员借助车内 CCD 摄像机和车后的后视镜系统和驾驶员面前的显示器,不仅可随时看到车内的情况,而且可在倒车时观察后边道路情况,在向前行进过程中也能随时看到后方车辆所保持的距离等情况,提高行车安全.

(9) 闭路监控电视系统(close circuit Television, CCTV).它是近几年被大家广泛关注的电视监视系统,目前,已发展为一种新的行业.以 CCD 摄像机为主要前端传感器,带动了一系列各种配套的主机和配套设备以及传输设备的研制和生产的企业的.

(10) 广播电视正是由于研制成功新的高质量、高分辨率的 CCD 摄像器件,才有可能制造出适合广播电视用的 CCD 摄像机,促进了电视事业的

飞速发展.目前已发展成数字电视系统,在一些发达国家已开始实施数字电视广播.

(11) 个人数据秘书系统是一种体积小于笔记本电脑,但功能齐全的计算机系统,可以完成多种数据管理功能,并可借助移动电话上 Internet 网,也可远程传送资料、发传真等.

(12) 数码照相机是近两三年投放市场的一种新型照相机.由 CCD 传感器采集的图像信号经过数字处理后,可被记录在磁卡上,由计算机读取磁卡上的图像数据再现出图像,并可借助各种图像处理软件进行图像编辑和图像处理.

3.2 CCD 摄像机应用前景的变化趋势

从图 2 的统计数据来看,1994 年 CCD 摄像机总的产量为 1100 万台,1998 年总的产量为 3500 万台.1994 年用于 Camcorder 的量占 71%,用于电视监控、可视对讲、汽车等方面的量占 27%,用于多媒体 PC 摄像机的量占 2%.而到了 1998 年,应用的比例有明显的变化.由于总的产量增加 3 倍以上,所以每一项的应用数量有很大的增加.但对多媒体、可视电话和 PC 摄像机来说,增加到了总产量的 39%,电视监控用量从 1994 年的 27%增加到了 1998 年的 29%,而 Camcorder 摄录一体化所占的比例从 1994 年总量的 71%下降到了 1998 年总量的 32%.

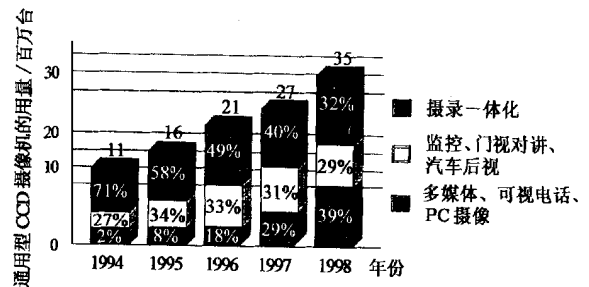


图 2 CCD 摄像机应用发展趋势

4 通用工业级 CCD 摄像机的技术性能、特点及新进展

4.1 超高动态范围 CCD 摄像机

CCD 摄像机是一种用来模拟人眼的光电探测器.但是人眼在观察目标时,可以看清目标的最低照度为 1lx.在夏天的中午,当目标照度达到 3×10^5 lx 时,人眼虽然不能直接迎着太阳看,但仍可以看到被照的目标.而普通 CCD 摄像机目前仅达到 1:500 的动态范围,通过采用两倍频图像采集和处理技术,可逐步实现 1:10000 的动态范围,称之为 Hyper-

D CCD摄像机.

4.2 从模拟分析用 CCD 摄像机向数字信号处理 (DSP) CCD 摄像机方向的发展

采用 DSP 技术可以使 CCD 摄像机在数字检测和数字运算技术上能够有效实现智能化逆光背景补偿;能够自动跟踪“白”平衡,即可以在任何条件下检测和跟踪“白色”,并以数字运算处理功能来再现原始的景物色彩.

4.3 电脑摄像机 (PC camera) 和网络摄像机 (network camera)

由于计算机的进步和发展,可通过计算机主板上的 USB 接口通用串行总线和 IEEE1394 高速串行综合数据传输接口以及 PCMCIA 来输入.USB 接口的传输速率是 12 Mbps,IEEE1394 接口的传输速率是 100 Mbps 到 400 Mbps.随着国际信息高速公路的实施,对于 CCD 摄像机作为系统的前端图像传感器正向着适合网络用户的方向发展.CCD 摄像机需具有高分辨率的图像质量,小巧,使用简便,通用性强,Consumer CCD 摄像机在不久的将来会普及到千家万户.

4.4 逐行扫描 (progressive scan) 方式 CCD 摄像机可提高电视系统的垂直分辨率

逐行扫描方式 CCD 摄像机简称逐行扫描 CCD,是相对通用的隔行扫描 CCD 摄像机而言.CCD 摄像机的垂直分辨率一般仅能达到 350 TV 线,这是由于使用 2 场,每场以 311 条线扫描,以 2:1 隔行扫描,对运动的目标会由于奇场和偶场合为一帧,使两个瞬间状态的信息被平滑了,分辨率会下降.而用 PC 逐行扫描方式摄像机拍摄的运动目标是在同一瞬间将两场图像同时采集成为一帧图像,

达到提高垂直分辨率的目的.

4.5 帧累积 CCD 摄像机

CCD 摄像机可在非制冷条件下,通过设定帧累积模式提高对静态微弱光目标的探测能力,如 MTV-2821 型 CCD 摄像机可达到在 300 TV 线分辨能力时,微弱光目标的照度仅为 10^{-5} lx,这种 CCD 摄像机将给天文观测、生物发光探测等提供简便易行的方法.

5 小结

综上所述,21 世纪世界将进入信息时代,数字化、计算机化、通信、电视融为一体的网络化即将成为现实,让人们去面对、去学习、去研究.从系统讲,CCD 摄像机是核心的元件之一,随着我国经济的高速增长,信息化进程的加快,CCD 摄像机的市场会越来越大,应用的领域将深入到每一个相关的专业领域,将给人们带来新的概念.

参 考 文 献

- [1] 王以铭.电荷耦合器件原理与应用.北京:科学出版社,1987.190—272[WANG Yi Ming. Principle and Application of Charge Couple Device. Beijing: Science Press, 1987. 190—272 (in Chinese)]
- [2] 索尼公司.CCD 摄像机系统数据手册(半导体篇).1999.15—120[SONY. CCD Camera System Data Book: Semiconductor. 1999. 15—120 (in Chinese)]
- [3] 万进松.数位影像基础、数位影像处理.台北:金华科技图书股份有限公司,1999.20—66[WAN Jin Song. Fundamentals of Digital Image and Treatments of Digital Image. Taipei: Jinhua Science and Technology Book Co., Ltd., 1999. 20—66 (in Chinese)]

封 面 说 明

ATP 合酶由处于质膜中的 F_0 部分和处于膜外的三个 α 亚基和三个 β 亚基组成的 F_1 部分通过 γ 亚基连接起来.ATP 的合成及 ATP 水解推动质子跨膜转运的过程都要通过 γ 亚基的转动来实现.实验中将游离的 F_1 部分中的 β 亚基固定在玻璃板上,在 γ 亚基上连接 $2.5\mu\text{m}$ 长的肌动蛋白微丝,并对微丝做荧光标记.由于微丝长度是 F_1 直径的 200 倍左右,当 ATP 存在时,在显微镜下可以观察到微丝的转动,从而说明 γ 亚基的转动.

(河北工业大学文理学院 赵同军)