

国家九五重点图书

电视墙显示 及控制技术



吴援明 成建波 编著

多媒体信息
显示应用技术
丛书



电子科技大学出版社

电视墙显示及控制技术

吴援明 成建波 编著

电子科技大学出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

电视墙显示及控制技术/吴援明主编. —成都: 电子科技大学出版社, 2000.6
ISBN 7—81065—452—7

I. 电... II. 吴... III. 大屏幕电视-电视接收机
IV. TN949.16

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2000) 第 30695 号

内 容 提 要

本书以视频信号分析、数字插值滤波技术和显示技术为基础, 以提高电视墙的图像显示质量为目的, 系统、详细地论述了电视墙的各个组成部分和工作原理, 以及关键部分的设计方法。

全书分为九章, 第一章介绍电视墙的组成和工作原理, 着重论述视频分割的基本原理。第二章详细阐述几种电视墙显示单元的工作原理和主要技术性能。第三章简单介绍几种视频信号源。第四章在时域、空间域和频域对视频信号进行分析, 为电视墙视频信号的处理提供理论指导。第五章至第八章主要阐述电视墙控制器的设计原理, 分别讨论了 A/D 转换器及解码器、插值原理和方案、D/A 转换器及编码器、帧存储体的设计和地址的产生方法, 提出了相应的硬件设计方案。第九章介绍音响技术。

本书系统性和实践性强, 可作为图像显示和处理专业工程技术人员的参考书。

电视墙显示及控制技术

吴援明 成建波 编著

出 版: 电子科技大学出版社(成都建设北路二段四号 邮编: 610054)

责任编辑: 黄礼玲

发 行: 新华书店

印 刷: 四川建筑印刷厂

开 本: 787×1092 1/16 印张 21 字数 508 千字

版 次: 2000 年 6 月第一版

印 次: 2000 年 6 月第一次印刷

书 号: ISBN 7—81065—452—7/TM · 23

印 数: 1—4000 册

定 价: 26.50 元

前 言

随着显示器件、超大规模集成电路、数字信息处理技术的飞速发展,大型显示技术得到了长足的进步。电视墙就是大型显示技术发展的结晶,它是近十几年发展起来并不断得到完善的一种大屏幕彩色视频显示设备。国际上对电视墙的研究兴起于20世纪80年代初,到20世纪90年代进入了商品化阶段。目前,我国也已开发出各种规格的电视墙。电视墙因其能显示大型、逼真、变幻多姿的视频画面,被广泛用于电视台演播室、会议厅、机场、火车站、大型商场、作战指挥室等场所。

本书共分九章,对电视墙系统的工作原理和设计方法进行了详尽的分析。各章内容如下:

第一章介绍了电视墙的基本组成和工作原理,包括墙体、视频分割原理、图像存储和放大原理、插值原理及电视墙特技显示实现方法和效果等内容。

第二章对组成电视墙墙体的显示单元的结构和工作原理进行了介绍,主要包括电视机和投影机。其中投影机用作电视墙的显示单元,因其显示面积大,已经成为电视墙系统发展趋势,所以本章重点介绍了投影机的构成和工作原理。

第三章介绍了目前流行的视频节目源,包括录像机、LD、VCD、DVD、电视接收机等。

第四章详细分析了视频信号的时域特性和频域特性,它是电视墙控制器设计的基础。

第五章介绍了模/数转换器和解码器的工作原理,模拟视频信号必须经过模/数转换器和解码器后才能进行视频分割和数字插值等处理。

第六章详细讨论了电视墙控制器的关键技术。包括插值的基本原理、常用的实时插值算法、数字滤波器的硬件实现技术、地址产生技术和特技显示控制技术等。另外,还介绍了几种电视墙控制器。

第七章详细讨论了电视墙存储体设计技术,包括两场存储体方案、一帧存储体方案、三场存储体方案和两帧存储体方案及其对图像显示质量的影响。

第八章介绍了数/模转换器和编码器的工作原理。经过处理后的数字信号必须经过数/模转换器和编码器后才能送给显示单元进行显示。

第九章介绍了电视墙的音响系统。包括电视伴音、音视频功率放大、音箱的设计和摆位等技术。

本书内容充实,针对性强,注重理论联系实际。但因作者水平有限,书中可能存在这样那样的缺点或错误,敬请广大读者批评指正。

作 者

2000年1月1日

目 录

第一章 电视墙的组成和工作原理.....	1
1.1 组 成	1
1.1.1 墙体	1
1.1.2 视频节目源.....	2
1.1.3 控制器	2
1.1.4 音响系统	2
1.2 工 作 原 理	2
1.2.1 视频分割原理.....	3
1.2.2 插值	6
1.2.3 帧存储体的类型及性能分析.....	10
1.2.4 电视墙的特技.....	15
1.2.5 时序控制	17
第二章 电视墙显示单元	18
2.1 彩色电视机	18
2.1.1 显像管的结构原理.....	19
2.1.2 彩色电视机方框图.....	21
2.1.3 彩色电视机电路结构及信号流程.....	22
2.1.4 集成化彩色电视机结构.....	24
2.2 投影电视机	28
2.2.1 投影电视机的分类.....	28
2.2.2 三管式投影机的结构原理.....	30
2.2.3 液晶式投影机的结构原理.....	39
2.3 等离子显像器	48
2.4 投 影 屏 幕	48
2.5 投影机的技术指标及发展趋势.....	49
2.5.1 投影机的技术指标.....	49
2.5.2 投影机的发展趋势.....	63
2.6 显 示 特 性	64
2.6.1 视觉特性	64
2.6.2 显示特性	65

第三章 视频节目源	73
3.1 录像机	73
3.2 激光影碟机	74
3.3 VCD 小激光影碟机	76
3.4 DVD 数码影碟机	81
第四章 视频信号分析	87
4.1 视频信号的时空采样	87
4.1.1 模拟视频和数字视频的采样结构	87
4.1.2 二维矩形采样	89
4.1.3 二维周期采样	92
4.1.4 三维采样	94
4.1.5 采样的重构	97
4.2 采样结构转换	99
4.2.1 一维采样速率转换	100
4.2.2 采样栅格转换	103
4.3 视频信号的频谱分析	106
4.3.1 空间频率	107
4.3.2 视频信号的一维频谱	108
4.3.3 视频信号的一维采样	112
4.3.4 视频信号的二维频谱	116
4.3.5 PAL 信号的二维空间频谱	121
4.3.6 视频信号的三维频谱	123
第五章 模/数转换器及解码器	125
5.1 取样/保持电路	125
5.1.1 取样定理	125
5.1.2 取样/保持电路	126
5.2 量化和编码	128
5.3 A/D 转换器	129
5.3.1 并行 A/D 转换器	130
5.3.2 并/串型 A/D 转换器	131
5.3.3 逐次比较型 A/D 转换器	132
5.3.4 双积分型 A/D 转换器	134
5.4 复合电视信号的解码	135
5.4.1 模拟电视信号的亮、色分离	136
5.4.2 数字式亮、色分离	136
5.4.3 复合电视信号的解码	137

5.4.4 Philips 全数字解码器	137
5.4.5 Brooktree 全数字解码器 Bt812	142
第六章 电视墙视频信号处理	145
6.1 数字插值滤波器	145
6.1.1 插值原理	145
6.1.2 插值计算方法	149
6.1.3 插值滤波器的结构形式	150
6.1.4 保持插值器和线性插值器	159
6.1.5 设计举例	164
6.1.6 DAC 均衡器	169
6.1.7 后滤波器的设计与均衡器	172
6.2 三种常用实时插值方法	175
6.2.1 重复插值法和线性插值法	175
6.2.2 像素填充插值法	176
6.3 数字滤波器的硬件实现	180
6.3.1 基本运算单元的硬件实现	180
6.3.2 数字滤波器的硬件实现	184
6.3.3 由通用单片机构成的数字滤波器	190
6.3.4 由 DSP 芯片构成的数字滤波器	193
6.4 读地址信号的产生	203
6.4.1 读地址信号的产生	203
6.4.2 读地址发生器设计举例	210
6.5 电视墙特技显示技术	211
6.5.1 控制地址的产生频率	212
6.5.2 控制数据速率	213
6.5.3 控制地址计数的方向	214
6.5.4 控制数据量化位数	215
6.5.5 插入附加数据	215
6.5.6 分别控制水平、垂直地址计数的频率实现非 4:3 显示	216
6.5.7 控制图像在屏幕上显示的位置	216
6.5.8 控制图像显示的时间	217
6.6 多屏显示技术	217
6.7 电视墙控制器简介	221
6.7.1 砖墙处理器	221
6.7.2 大图形电视墙图像处理器	222
6.7.3 专业电视墙图像处理器	224
6.7.4 三种电视墙处理器的价格 (1999 年 5 月)	225
6.7.5 其他电视墙处理器简介	226

第七章 电视墙存储体的设计.....	235
7.1 半导体存储器	235
7.1.1 随机存取存储器(RAM).....	235
7.1.2 只读存储器(ROM).....	242
7.2 电视墙中几种常见的存储体方案.....	244
7.2.1 两场存储体方案.....	244
7.2.2 一帧存储体方案.....	245
7.2.3 三场存储体方案.....	245
7.2.4 两帧存储体方案.....	246
7.2.5 行正逆程分时读写的一帧存储体方案.....	246
7.3 存储体方案与图像显示质量.....	247
7.3.1 静止图像	247
7.3.2 运动图像	249
7.3.3 内插图像	251
7.3.4 帧差现象	252
7.4 行正逆程分时读写的一帧存储体方案设计.....	254
7.4.1 行缓存器	254
7.4.2 帧存储体	255
7.4.3 像素重复法图像放大的硬件实现方法.....	256
第八章 数/模转换器及编码器	258
8.1 几类常用的 D/A 转换器.....	258
8.1.1 二进制权电阻 D/A 转换器.....	258
8.1.2 T 型电阻 D/A 转换器	260
8.1.3 倒 T 型电阻 D/A 转换器	262
8.2 电子模拟开关	263
8.3 模拟 RGB→模拟 NTSC/PAL 编码器 AD725	264
8.3.1 AD725 的特点.....	264
8.3.2 AD725 原理框图及引脚说明.....	265
8.3.3 AD725 工作原理.....	266
8.3.4 AD725 使用中应注意的问题.....	268
8.3.5 亮度陷波原理.....	270
8.3.6 时钟电路	271
8.3.7 同步和异步.....	272
8.3.8 AD725 的应用实例——在 TV 上显示计算机 VGA 图像.....	273
第九章 电视墙的音响系统.....	275
9.1 环绕立体声	275
9.1.1 环绕立体声原理.....	275

9.1.2 环绕声处理电路.....	276
9.2 超重低音技术	278
9.2.1 高音质扬声器.....	278
9.2.2 新型超低音 (XBS) 电路简介	281
9.3 NICAM-728 伴音系统	283
9.3.1 电视多伴音、立体声系统.....	283
9.3.2 NICAM-728	284
9.4 高保真立体声和杜比技术.....	293
9.4.1 高保真立体声 (Hi-Fi 立体声)	293
9.4.2 杜比技术	293
9.5 THX 概 念	297
9.6 三维立体声与 SRS 技术	297
9.7 音频、视频放大器.....	299
9.7.1 音频、视频 (AV) 放大器的组成	299
9.7.2 AV 放大器的主要功能	302
9.7.3 AV 放大器的技术指标	304
9.7.4 几种 AV 放大器的性能介绍	306
9.8 音 箱	308
9.8.1 扬声器的分类.....	308
9.8.2 扬声器的主要特性参数.....	310
9.8.3 音箱	312
参考文献	324

第一章 电视墙的组成和工作原理

1.1 组 成

电视墙 (Video Wall) 是近十几年发展起来的一种大屏幕彩色电视显示设备, 是数字技术在电视显示领域的应用。国际上对它的研究兴起于 80 年代, 到 90 年代进入了商品化阶段, 在我国也已开发出不同类型的电视墙系统。电视墙能够显示大型、逼真、变幻多姿的图像, 获得了广泛的应用。

图 1.1 示出了电视墙的基本组成方框图。它由墙体、视频节目源、控制器和音响系统四部分构成。图中虚线框内为控制器部分, 它实际上是一个数字处理系统, 并且是电视墙的核心部分。

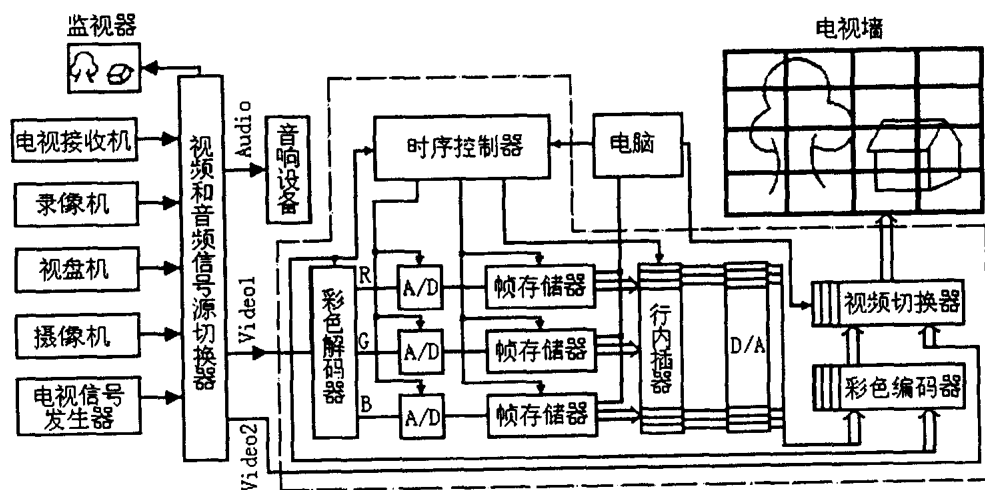


图 1.1 电视墙的基本组成方框图

1.1.1 墙体

墙体一般是由多个普通的带视频输入接口的彩色电视接收机、投影电视接收机按矩阵排列并紧密拼接而成的。每一个接收机就是一个显示单元, 它的屏幕就是一个分屏幕, 各

个分屏幕组合成一个大型的墙式显示屏，共同显示一整幅放大的图像。目前，显示单元的数目已达到 20×20 以上，但通常采用的有 2×2 、 3×3 、 4×4 、 6×6 、 8×8 等几种规格。

1.1.2 视频节目源

所有能够输出彩色全电视信号的设备都可以作为电视墙的视频节目源，例如电视接收机、录像机、摄像机、电视信号发生器以及计算机输出的视频信号。由视频节目源切换器从各种信号源中选通一路视频信号送到数字处理系统，处理后在电视墙上显示出图像；同时由音频节目源切换器选通一路伴音信号送到音响设备。

1.1.3 控制器

控制器的基本任务是进行视频分割，将一幅来自视频节目源的完整图像分割成若干个小画面，经过适当的处理后，将每个小画面放大地显示在电视墙相应的分屏幕上，各个分屏幕共同形成一幅完整的大图像。控制器除了能够实现这种最基本的图像放大显示外，在电脑的控制下还能实现多种视频特技。例如一个 4×4 的电视墙，既能显示一个 4×4 的大画面，又能显示四个 2×2 的中画面，还可以显示 16 个小画面。此外，还可以冻结和镜像显示图像。电脑除了作特技显示控制外，还可以作为文字、图形发生器和图像处理器，将文字、图形信息通过 DMA 接口直接写入控制器的帧存储体中，在电视墙上放大地显示出来。

电视墙的显示效果，除了与每个显示单元自身的性能有关外，控制器的设计也起着至关重要的作用。

1.1.4 音响系统

电视墙的音响系统主要是根据使用的场地和要求达到的效果进行配置，主要起着增强临场感和烘托气氛的作用。

1.2 工作原理

视频信号进入控制器后，首先被彩色解码器解调为 R、G、B 分量信号（也可以为色差信号 Y、Y-R、Y-B），这三个分量信号经滤波、箝位、增益调整后，在时序电路控制下进行 A/D 转换，并按照时序控制电路提供的地址，分别存储于三个帧存储体中。采用多模块分布型结构的帧存储体，将每一帧分量图像分割成与显示单元数目一样多的分量子图像。这些分量子图像在时序电路的控制下，同时从帧存储体中读出，读出后进行行内插处理，再经过 D/A 转换器、低通抗镜像滤波器转换为模拟信号。每一组 R、G、B 分量子图像信

号在各自的彩色编码器中与同步信号、彩色副载波一起，被彩色编码器编码成彩色全电视信号。各个子图像的彩色全电视信号显示在对应的分屏幕上，形成一幅放大的完整画面。

电视墙作为一种电视新技术，从理论和实践上都还在继续发展。采用高质量信号源以提高源图像清晰度，采用更好的插值处理方案以提高放大后图像的显示质量，减小直至消除分屏幕之间的接缝，增加分屏幕尺寸和显示功能，降低成本等，都是今后要进一步研究的课题。

1.2.1 视频分割原理

视频分割是控制器所要完成的基本任务。如果直接对全电视信号进行视频分割，由于子图像的放大会改变彩色副载波的频率并破坏其连续性，因此一般是对分量信号进行分割。分量信号可以是亮度信号和色度信号，也可以是 R、G、B 三基色信号。对亮度和色度进行分割的优点是所需的存储容量较小，因为两个色差信号的采样率只需为亮度信号的一半，总的帧存储容量为三基色处理的帧存储容量的三分之二；对三基色进行分割的优点是可以采用相同的电路对每个基色信号进行处理。下面以对 R、G、B 三基色分量信号进行分割为例，分析其中一路信号的处理过程。

一、图像的取样窗口

图 1.2 示出了一个 4×4 电视墙的取样窗口。

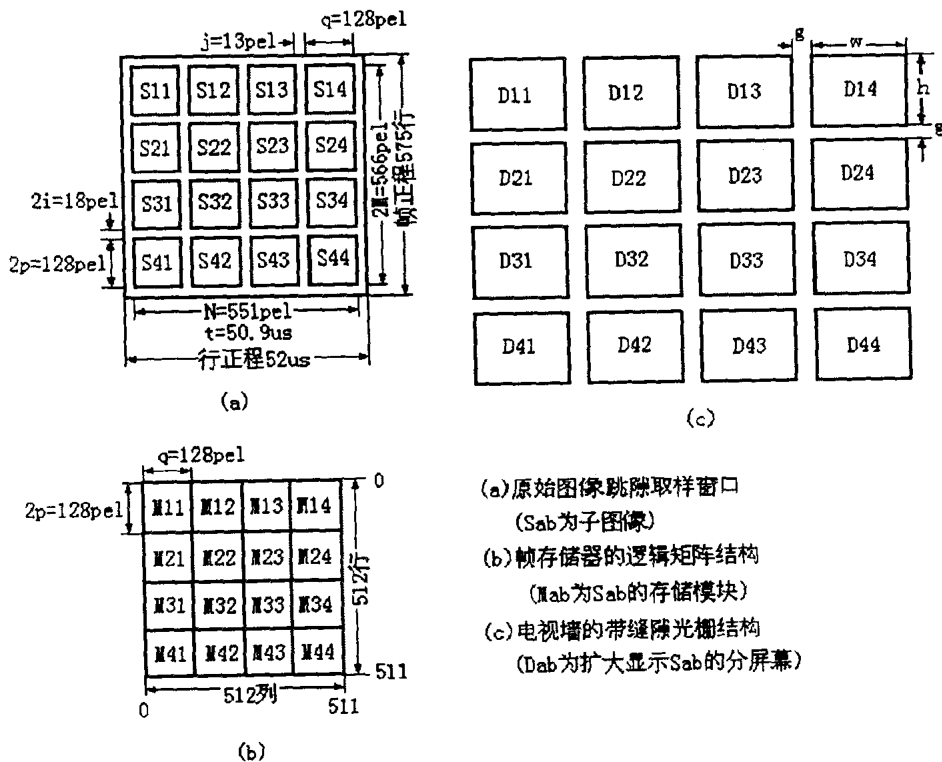


图 1.2 视频分割取样窗口 (4×4 电视墙)

由图 1.2(c)可见,在电视墙的各个相邻分屏幕之间存在一定宽度的不能显示图像的缝隙,整个电视墙的图像应是原始图像的相似放大变换。如图 1.2(a)所示,对应于电视墙的缝隙,各个子图像取样窗口之间也保持一定的距离。位于相邻两个取样窗口之间的图像信息,由于不能显示,所以也不必取样和存储。把电视墙特有的这种取样方式称为“跳隙取样”。跳隙宽度,即子图像间不被取样的像素数,由电视墙光栅的结构参数所决定。设分屏幕光栅的宽度为 w , 高度为 h , 光栅之间的距离为 g (假设左右、上下的间隙相同), 子图像的水平方向的样点数为 q , 一场中垂直方向样点数为 p (一帧中为 $2p$), 水平跳隙宽度为 j , 一场中垂直跳隙宽度为 i (一帧中为 $2i$), 则由相似变换得出跳隙宽度为

$$i = pg/h \quad [\text{pel}] \quad (1.1)$$

$$j = qg/w \quad [\text{pel}] \quad (1.2)$$

图 1.2(c)中,设分屏幕采用 22inch 的显像管,光栅参数为 $w=448\text{mm}$, $h=324\text{mm}$, $g=45.5\text{mm}$; 并设子图像一帧的取样点数 $2p \times q = 128 \times 128$, 则由式(1.1)和(1.2)计算出来的水平跳隙宽度 $j=13$, 场跳隙宽度 $i=9$ 。

对于 $n \times n$ 的电视墙,其水平和垂直方向上各有 $n-1$ 个缝隙。包括跳隙宽度在内,设原始图像整个取样窗口一场的像素数为 $M \times N$ (一帧为 $2M \times N$), 则

$$M = (n-1)i + np \quad [\text{pel}] \quad (1.3)$$

$$N = (n-1)j + nq \quad [\text{pel}] \quad (1.4)$$

对于图 1.2 所示的电视墙, $M=27+256=283$, $N=39+512=551$ 。电视图像的场正程包括 287.5 行, 其水平方向每行的取样时间跨度 t 应为:

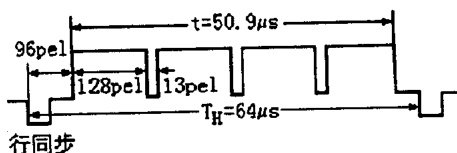
$$t = (52/287.5)M \approx 0.18M \quad [\mu\text{s}] \quad (1.5)$$

由此可进一步确定出图像的取样频率为

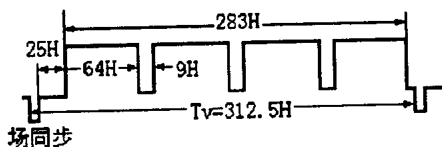
$$f_s = N/t \approx 5.53N/M \quad [\text{MHz}] \quad (1.6)$$

对本例 4×4 电视墙的计算结果是 $t=50.9 \mu\text{s}$, $f_s=10.8\text{MHz}$ 。

图 1.3 示出了对于本例 4×4 的电视墙一行期间跳隙采样的时序。



(a)一行期间跳隙取样时序



(b)一场期间跳隙取样时序

图 1.3 跳隙取样时序图

二、图像的存储与放大显示

视频分割是借助于多模块分布型的帧存储体实现的,对于 $n \times n$ 的电视墙,需要由 $L=n^2$

个存储模块组成一帧存储体，如图 1.4 所示。

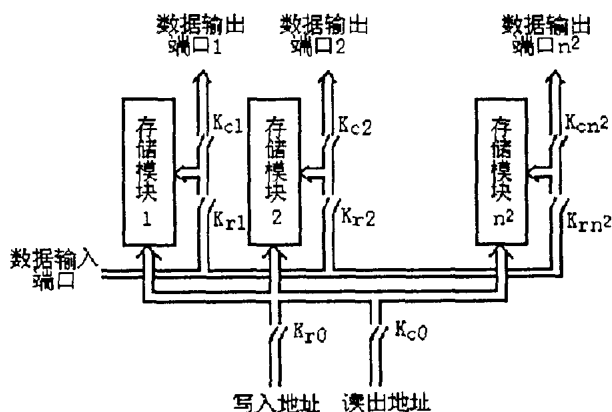


图 1.4 多模块分布型帧存储体示意图

当原始图像的跳隙取样数据写入帧存储体的时候， $K_{r0} \sim K_{rL}$ 接通， $K_{c0} \sim K_{cL}$ 断开，此时所有模块作为一个整体看待，它们具有一个共同的数据输入端口和不同的写入地址，每个模块负责存储一个子图像；在帧存储体的读出操作中， $K_{r0} \sim K_{rL}$ 断开， $K_{c0} \sim K_{cL}$ 接通，此时各个模块作为彼此独立的存储体看待，它们分别具有各自的数据输出接口，但共用一组读出地址。这种存储结构，使各个子图像在物理上彼此区分开来，便于同时并行地在各自的分屏幕上进行显示。

对于本例 4×4 的电视墙，其一帧存储体由 16 个容量为 128×128 像素的存储模块组成。可以将这些模块在逻辑上排列为一个 4×4 的矩阵，模块 M_{ab} ($1 \leq a \leq 4, 1 \leq b \leq 4$) 在二维空间的逻辑位置与相应的分屏幕 D_{ij} 及子图像 S_{ij} 的逻辑位置相一致，如图 1.2(b) 所示。原始图像一帧共有 512×512 个取样点，可将这些取样点在垂直方向上编号为 0~511 行，在水平方向上编号为 0~511 列，将每个取样点所对应的行号和列号分别作为其写入帧存储体时的行地址和列地址。这样，为使各个子图像分别写入到相应的存储模块中，分配给模块 M_{ab} 的行写入地址 WV_{ab} 和列写入地址 WH_{ab} 应分别为

$$WV_{ab} = k + 128(a-1) \quad 0 \leq k \leq 127 \quad (1.7)$$

$$WH_{ab} = m + 128(b-1) \quad 0 \leq m \leq 127 \quad (1.8)$$

帧存储体的写入地址由行写入地址和列写入地址共同组成。行写入地址作为其高位部分，列作为其低位部分。列写入地址由对取样脉冲的计数产生，计数范围为 0~511；行写入地址由对来自列写入地址计数器的进位脉冲的计数来产生。由于有的电视信号为隔行扫描，因此每个进位脉冲应使行地址加 2，且奇场计数值为 0, 2, 4, ..., 510，偶场计数值为 1, 3, 5, ..., 511。这样，在经过两场时间之后，一帧图像的取样点就按其空间顺序存储在存储器中，并由存储模块将其分解成 16 个彼此独立的子图像。

在帧存储体的读出操作中，各个存储模块取消了不同的块间地址，只保留了相同的块内地址，即只保留了式(1.7)和式(1.8)中的第一项。因此，各个子图像可以用同一组地址并行读出。在读出子图像时应同时进行图像放大，使它恰好覆盖分屏幕的可见光栅。实现图像放大的方法不同，子图像读出的方法就不同。现仅以最简单的像素重复显示法为例加以

说明。在这种方法中,水平方向上图像的放大是靠延长每个采样点的显示时间实现的。若子图像在水平方向上的样点数为 q , 要使这些样点放大后覆盖 $52\mu\text{s}$ 的行扫描正程, 则每个样点的显示时间为

$$T=52/q \quad [\mu\text{s}] \quad (1.9)$$

由此可以确定数据的读出频率为

$$f_d=1/T=q/52 \quad [\text{MHz}] \quad (1.10)$$

对于 4×4 的电视墙, 由 $q=128$, 可得 $T\approx 0.41\mu\text{s}$, $f_d=1.46\text{MHz}$ 。 f_d 略小于 $f_s/4$ ($f_s/4=1.7\text{MHz}$)。这是由于原始图像的取样窗口不能大于行正程, 而在子图像之间又存在跳隙所致。若希望 f_d 为 f_s 的 4 分频以便共用同一时钟, 则放大的子图像在一行中只占 $47.4\mu\text{s}$, 不能完全覆盖可见光栅。这个问题可通过适当增大大屏幕扫描的水平幅度加以解决。另一方面, 对于 $n\times n$ 的电视墙用像素重复法进行垂直方向上的图像放大, 是靠 n 个相邻的扫描行重复显示子图像中同一行的内容来实现的, 而这 n 个重复的扫描行要有奇场和偶场各 $n/2$ 个重复扫描行的隔行交错扫描来形成。例如 4×4 电视墙, 一帧子图像有 128 行, 奇、偶两场以同样的方式将其每行扫描两次, 分别显示在 256 个奇数扫描行和 256 个偶数扫描行上, 从而在一帧中每一行重复为四个扫描行, 实现了子图像的垂直放大。然而放大后的子图像在一场中仅占据 256 个扫描行, 不能在垂直方向上完全覆盖可见光栅, 其原因与水平方向类似, 通过适当增大大屏幕扫描的垂直幅度即可解决。

帧存储体的读出地址也是由行读出地址和列读出地址两部分组成的。根据上述的像素重复显示法, 列读出地址由对频率为 f_d 的显示时钟计数产生。对 4×4 的电视墙, 计数范围为 $0\sim 127$; 行读出地址由对来自列读出地址计数器的进位脉冲的计数产生, 但每经 $n/2$ 个进位脉冲, 行地址才加 1。对 4×4 的电视墙, 每经两个进位脉冲, 行地址加 1, 计数范围为 $0\sim 127$ 。奇、偶两场的行地址产生方法相同。

1.2.2 插值

按上述的方法实现图像放大显示时, 每一个取样像素被放大成一个小的矩形面积元, 呈现出马赛克(方块)效应。为避免出现马赛克效应, 应采用合适的行内插值和行间插值方法。

对原始图像某一行的信号取样所得的 PAM(脉冲幅度调制)信号及其频谱示于图 1.5(a)和 1.5(b)中。当这些取样数据以频率 f_d 从帧存储体中读出并经 D/A 转换以后, 就成了降频的零阶保持 PAM 信号。对于 4×4

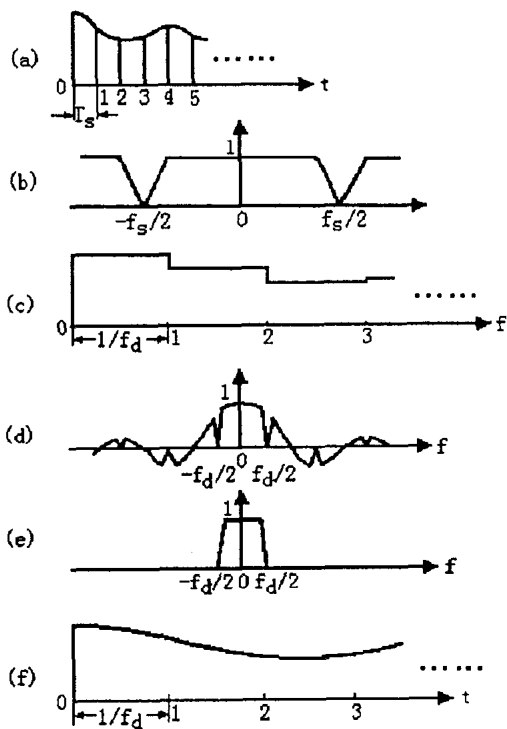


图 1.5 图像放大显示的行内滤波 (4×4 电视墙)

的电视墙，设 $f_d = f_s/4$ ，此时的降频 PAM 信号及其频谱示于图 1.5(c)和 1.5(d)中。从图 1.5(d)可见，由于零阶保持的作用，降频 PAM 信号的频谱并不只是原 PAM 信号频谱在频率轴上的尺度缩小 4 倍，而且还要乘以一个 $\text{sinc}(\pi f/f_d)$ 函数（图中的包络）。由于 sinc 函数不能有效地抑制镜像频率，导致图像在水平方向上出现马赛克效应。为此，可先使降频的零阶保持 PAM 信号通过一个截止频率为 $f_d/2$ 的模拟低通滤波器，再进行 sinc 校正，也就是让信号通过一个频率特性为 $1/\text{sinc}(\pi f/f_d)$ 的高频提升网络，这样便可恢复出原始图像的降频频谱和降频信号，如图 1.5(e)和 1.5(f)所示。这样就消除了水平方向上的马赛克效应。

在图像的垂直方向上，需用行间插值的方法减小马赛克效应。图 1.6 示出了对于 4×4 电视墙行间插值的频谱分析。其中，图(a)是一幅原始图像在垂直方向上逐行取样所得信号的频谱。当图像在垂直方向上放大 4 倍后，其带宽将相应缩小到原来的 $1/4$ ，这时若仍采用逐行取样，则其频谱将如图(e)所示，它是无马赛克效应的理想频谱。但实际上图像并非是先放大后取样，而是先取样后放大的，垂直取样频率随图像的放大而缩小到原来的 $1/4$ ，即每 4 行取样一行，其频谱如图(b)所示。要进行行间插值，需先将放大的图像中未取样的行用零替代。例如 4×4 的电视墙，在每两个相继的取样行之间补上 3 个全零行，经补零处理后图像信号的频谱如图(c)所示。从空间域来看，插值应不改变所有取样行的数据，而在各个补零行上应能利用取样行数据内插出被放大后的图像数据；从频域来看，低通滤波应能充分抑制图(c)中位于基频和 $1/H$ 各次谐波之间的频谱成分。显然，图(d)所示的理想低通滤波器能够满足这个要求。

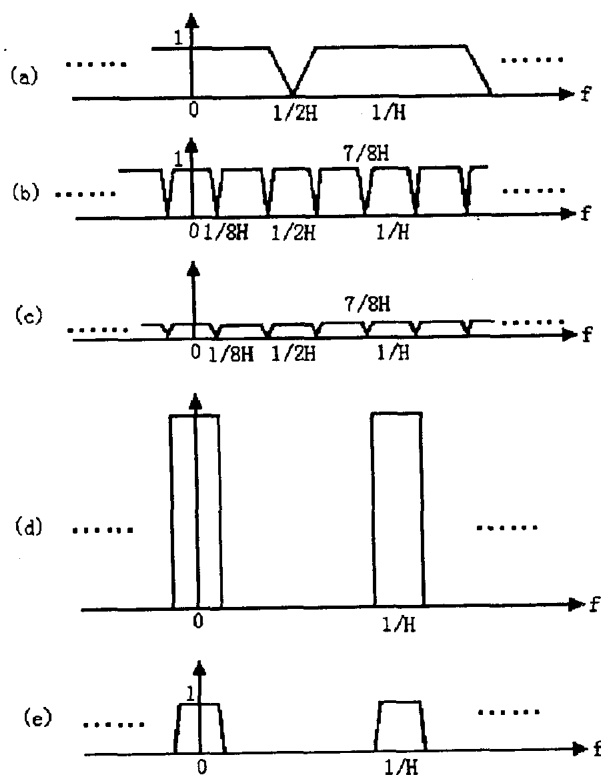


图 1.6 图像放大显示行间内插的频谱分析 (4×4 电视墙)

上述的插值方法实际上是一种最简单的内插低通滤波方法，其“内插”只用了一个取样行的信息。这种滤波器的单位脉冲响应为（对于 4×4 的电视墙）

$$h(n)=1, \quad n=0,1,2,3 \quad (1.11)$$

其幅频响应为

$$|H_1[\exp(j\omega)]|=4|\cos \omega \cos(\omega/2)| \quad (1.12)$$

若用 A 和 B 表示原始图像的两个相继取样行，在这两行间加上 3 个补零行后示于图 1.7(a)。用 $h_1(n)$ 对它进行垂直方向上的低通滤波，得到如图 1.7(b) 所示的内插结果。显然这就是简单的扫描行的重复。幅频响应 $|H_1[\exp(j\omega)]|$ 如图 1.7(e) 中的点划线所示。由图中可见， $|H_1[\exp(j\omega)]|$ 不能充分抑制 $1/8H \sim 7/8H$ 之间的频谱成分，因此出现较明显的马赛克效应。

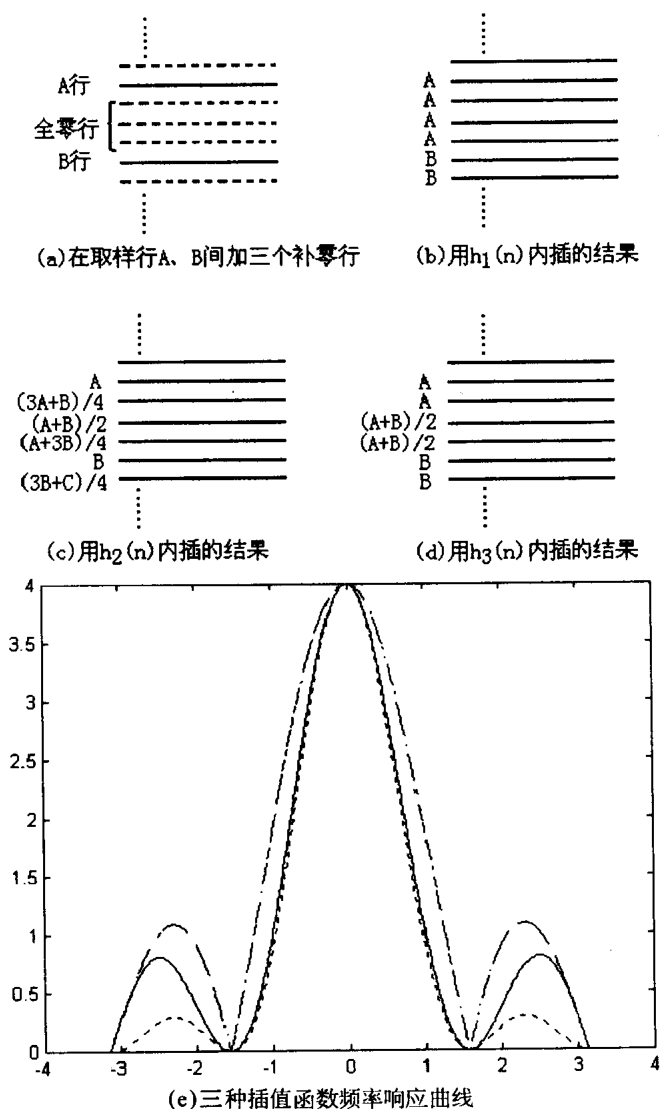


图 1.7 三种行间内插滤波器的幅频响应及其内插结果 (4×4 的电视墙)