

学校编码: 10384

分类号_____密级_____

学号: 200330025

UDC _____

厦 门 大 学

硕 士 学 位 论 文

去隔行算法研究及其 FPGA 实现

Research of Image De-interlacing and
Its Implementation on FPGA

黄敏敏

指导教师姓名: 徐中佑 教授

专 业 名 称: 通信与信息系统

论文提交日期: 2006 年 5 月

论文答辩时间: 2006 年 5 月

学位授予日期:

答辩委员会主席: _____

评 阅 人: _____

2006 年 5 月

厦门大学学位论文原创性声明

兹提交的学位论文，是本人在导师指导下独立完成的研究成果。本人在论文写作中参考的其他个人或集体的研究成果，均在文中以明确方式标明。本人依法享有和承担由此论文产生的权利和责任。

声明人（签名）：

年 月 日

厦门大学学位论文著作权使用声明

本人完全了解厦门大学有关保留、使用学位论文的规定。厦门大学有权保留并向国家主管部门或其指定机构送交论文的纸质版和电子版，有权将学位论文用于非赢利目的的少量复制并允许论文进入学校图书馆被查阅，有权将学位论文的内容编入有关数据库进行检索，有权将学位论文的标题和摘要汇编出版。保密的学位论文在解密后适用本规定。

本学位论文属于

1、保密（ ），在 年解密后适用本授权书。

2、不保密（ ）

（请在以上相应括号内打“√”）

作者签名： 日期： 年 月 日

导师签名： 日期： 年 月 日

摘 要

随着高端电视的快速发展与数字电视技术的研究和应用,传统模拟电视的隔行扫描方式引起的彩色爬行、画面闪烁和图像快速运动时产生的边沿模糊及锯齿等现象越来越突出。然而,由于经济发展的原因,模拟电视在一定时期内仍将在市场上占有一席之地。因此,模拟电视的隔行扫描到逐行扫描的转换,即去隔行技术,是当前视频后处理等电视产品的重要组成部分。

本文首先介绍了现有的去隔行算法,包括非运动补偿去隔行算法和基于运动补偿去隔行算法两类。在分析和研究现有去隔行算法的基础上,本文提出了一种新的运动自适应去隔行算法,并给出了算法的 FPGA 硬件实现方案。

新的运动自适应去隔行算法在运动检测算法和场内插值算法两个方面做了改进和创新。运动检测算法将四场水平运动检测算法与 BPP 运动检测算法相结合,同时引入了形态学处理的方法,提高了运动检测的精度和算法的抗干扰能力;场内插值采用了一种基于边沿方向的插值算法,为了正确地估计插值方向,先对运动区域的像素点进行边沿检测,然后根据边沿检测的结果采取不同的插值方法。对算法进行仿真后的结果说明,本文提出的算法能够得到更高质量的去隔行图像。

关键词: 去隔行; 运动自适应; 运动检测; 基于边沿方向的插值; FPGA;

Abstract

With the high-speed development of high-end television and the research and application of digital television technique, the flaws caused by interlaced scan in traditional analog television, such as color-crawling, flicker and fast-moved object's boundary blur and zigzag, are more and more obvious. However, because of the economic development, analog television will still take its place in the TV market during a long period. Therefore the conversion of interlaced scan to progressing scan, which is de-interlacing, is an important part of current television production, such as digital video post-processing.

Firstly, the paper focused on the research of today's de-interlacing algorithm, which including non-MC (Motion Compensation) method and MC method. Then, based on the results of the research, a new motion adaptive de-interlacing algorithm and its' FPGA implementation are presented in this paper.

The proposed algorithm improved on both motion detection algorithm and intra-field interpolation algorithm. The new motion detection algorithm is accurate in detecting motion information and is efficient in eliminating noise by combining the 4-field based horizontal motion detection algorithm with BPP motion detection algorithm and by post-processing motion information with the mathematic morphological ways. An edge orientation based interpolation algorithm is applied during intra-field interpolation. To estimate the correct interpolation orientation, edge detection is performed on the moving region pixels. The moving region is further classified into four areas that are subjected to different appropriate interpolation methods. Experimental results show that the proposed algorithm can produce high quality. In the last section, FPGA implementation of the new algorithm is also presented.

Key words: De-interlacing, Motion adaptive, Motion detection, Edge orientation based interpolation, FPGA.

厦门大学博硕士学位论文摘要库

目 录

第一章 概 述	1
1.1 隔行扫描的缺点.....	1
1.2 去隔行问题的表述.....	2
1.3 本文内容安排.....	3
1.4 本章小结.....	4
第二章 非运动补偿的去隔行算法	5
2.1 线性技术.....	5
2.1.1 空间滤波算法.....	5
2.1.2 时域滤波算法.....	6
2.1.3 空间-时间滤波算法.....	7
2.2 非线性算法.....	8
2.2.1 基于边沿的插值算法.....	8
2.2.2 中值滤波算法.....	9
2.2.3 混合算法.....	10
2.3 运动自适应算法.....	13
2.3.1 运动检测.....	14
2.3.2 场内插值算法.....	20
2.3.3 场间插值算法.....	25
2.3.4 运动自适应插值.....	25
2.4 本章小结.....	27
第三章 基于运动补偿的去隔行算法	29
3.1 运动估计和运动补偿算法回顾.....	29
3.2 运动估计.....	31
3.2.1 二维运动估计.....	31
3.2.2 基于块匹配的运动估计.....	35
3.2.3 常用的快速块匹配搜索算法.....	40

3.3 运动补偿.....	45
3.3.1 运动补偿的一般概念.....	45
3.2.2 运动补偿方式.....	47
3.3.3 多假设运动补偿.....	48
3.3.4 重叠块运动补偿.....	49
3.4 本章小结.....	51
第四章 运动自适应去隔行算法	52
4.1 运动检测算法.....	52
4.1.1 四场水平运动检测算法.....	53
4.1.2 BPP 运动检测算法	54
4.1.3 本文采用的复合运动检测算法.....	56
4.2 基于边沿方向的场内插值算法.....	58
4.2.1 基于边沿方向的场内插值算法.....	58
4.2.2 本文提出的场内插值算法.....	61
4.2.3 场内插值算法仿真结果.....	65
4.3 场间插值算法.....	68
4.4 运动自适应去隔行.....	68
4.5 仿真结果.....	69
4.6 本章小结.....	74
第五章 算法的 FPGA 实现	75
5.1 DDR 控制器	75
5.2 运动检测模块.....	79
5.3 场内插值模块.....	82
5.4 本章小结.....	87
总 结	88
参考文献	89
致 谢	92

Contents

Chapter 1 Preface	1
Section 1 Disadvantage of Interlaced Scanning.....	1
Section 2 Statements of De-interlacing Procedure	2
Section 3 Paper's Structure and Contents.....	3
Section 4 Sectional Conclusion.....	4
Chapter 2 Non-MC Deinterlacing Methods.....	5
Section 1 Linear Techniques	5
Spatial Filtering	5
Temporal Filtering.....	6
VT Filtering.....	7
Section 2 Nonlinear Techniques	8
Edge-Dependent Interpolation.....	8
Medi-Filtering Methods.....	9
Hybrid Methods	10
Section 3 Motion-Adaptive Algorithms.....	13
Motion Detection	14
Intra-Field Interpolation Algorithms.....	20
Inter-Field Interpolation Algorithms.....	25
Motion-Adaptive Interpolation	25
Section 3 Sectional Conclusion.....	27
Chapter 3 MC Based Deinterlacing Methods	29
Section 1 Reviews of ME and MC Methods	29
Section 2 Motion Estimation	31
2D Motion Estimation.....	31
Motion Estimation Based on Block	35
Fast Block Matching Motion Estimation.....	40
Section 3 Motion Compensation.....	45
Concepts of Motion Compensation	45
Motion Compensation Methods.....	47

Multihypothesis Motion Compensation.....	48
Overlapped Block Motion Compensation	49
Section 4 Sectional Conclusion.....	51
Chapter 4 Motion-Adaptive Deinterlacing Algorithm.....	52
Section 1 Motion Detection Methods	52
4-Fields Horizontal Motion Detection	53
BPP Motion Detection	54
Compound Motion Detection	56
Section 2 Edge Dependent Interpolation Algorithm.....	58
Edge Orientation Based Interpolation Algorithm	58
Improved Edge Orientation Based Interpolation Algorithm	61
Results of Simulation.....	65
Section 3 Inter-Field Interpolation Algorithm	68
Section 4 Motion-Adaptive Deinterlacing.....	68
Section 5 Results of Simulation.....	69
Section 6 Sectional Conclusion.....	74
Chapter 5 FPGA Implementation	75
Section 1 DDR Controller.....	75
Section 2 Motion Detection Module.....	79
Section 3 Intra-Field Interpolation Module	82
Section 4 Sectional Conclusion.....	87
Summary.....	88
References.....	89
Acknowledgement.....	92

第一章 概述

人的视觉系统对细节的闪烁没有对大面积闪烁那么敏感[1]，基于这一点，广播电视标准采用了隔行扫描系统。然而，隔行扫描使许多图像处理变得复杂了[2]，尤其是对于扫描格式转换来说。随着时代的发展，人们越来越关心图像的质量，以前的隔行电视不再能满足许多观众对图像质量的要求了。去隔行技术就是这样应运而生的，它可以使原先的隔行电视有更好的观看效果。去隔行就是要把隔行扫描的图像转换成逐行扫描的图像，它是视频格式转换技术的关键所在。进行视频去隔行是有很多原因的。首先，去隔行可以消除或者极大地减少隔行扫描的缺点。去隔行后的电视，也就是逐行电视，没有了看得见的扫描行、没有了行间闪烁、没有了锯齿，看起来是非常赏心悦目的。另外，很多应用都是面向逐行扫描的，比如 PC 显示器、投影系统、视频会议系统，进行去隔行后，可以更方便地在这些逐行扫描的设备上进行显示、存储和传输的操作。

1.1 隔行扫描的缺点

- 垂直分辨率低

对于显示类似于电影质量的图像而言，隔行电视的基本分辨率是不够的；现在电视的垂直分辨率是比较低的，比如 NTSC，一帧的有效行只有 480 行，PAL/SECAM 的垂直分辨率也只有 576 行/帧。直到几年前，这个分辨率还是可以接受的，但是随着显示器的发展，人们要求更好的分辨率和更清晰的图像。现在主流的显示器分辨率为 XGA（768 行/帧）。

- 大面积闪烁

大面积闪烁出现在屏幕的大块区域，比较典型的就是在静止的、细节比较少、亮度比较高的时候出现。大面积闪烁不是因为隔行的原因，主要是由于低的帧频。

- 行间闪烁

行间闪烁主要和细节和水平边沿有关。一个水平边沿就是图像里一条沿着水平方向的边，比如说一扇门的顶部。因为隔行电视的特性，一个精细的水平边沿就相当于只能再一场中出现，而在另一场中就消失了。这样，这个精细的水平边

沿就相当于以帧频进行显示，30HZ 或者 25HZ。观众就会觉得这种闪烁是觉察得到和令人讨厌的。如果图像里有小的运动的话，边沿会明显地沿着垂直运动地方向闪烁。类似于百叶窗的图像对隔行电视来说是最头疼的，因为如果有缓慢的摇镜头的话，整个百叶窗都在闪烁。

● 爬行

爬行是一种隔行产生的虚像，它出现在没有运动和较少细节的图像中，这和大面积闪烁有点像，当你离显示器比较近的时候，这种现象更明显。因为每条扫描线每帧只更新一次，人眼有时会盯牢一组扫描线。在下一场，新的扫描线会出现在旧的扫描线之间，看起来好像这一组扫描线向上或向下移动到了一个新的位置上。在下一场，这一组扫描线又出现在原来的位置。整个的效果就是一组扫描线很快地向上或向下移动，引起了爬行。当观众离显示器远些，虚像就会减少，这是因为人眼对扫描线有个平均的作用。

● 锯齿效应

锯齿效应是隔行电视另一个普遍的现象。这种现象是在静止或运动物体的对角线斜边会出现锯齿的形状。对静止或运动较少的图像，较低的垂直分辨率会引起台阶效应。当图像包含运动时，情况就变得更差了。隔行图像的边沿每场只有一半的行数进行更新，这样就导致损失了边沿的细节。进一步，当边沿动起来之后，下一场边沿就会有位移，锯齿状的边沿就这样从一场运动到下一场，锯齿就这样产生了。就是因为这个原因，隔行电视里曲棍球棒看起来会像个拉链。

1.2 去隔行问题的表述

图 1.1 描述了去隔行的过程

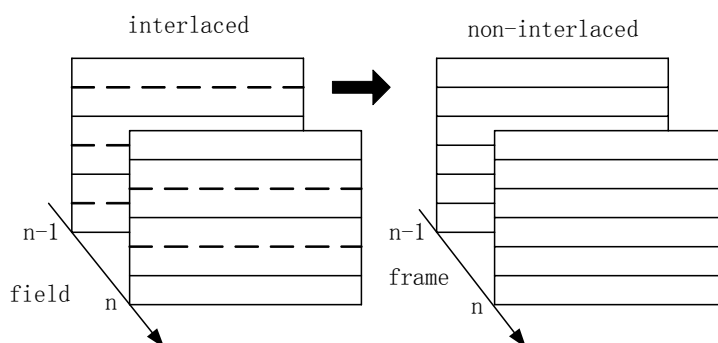


图 1.1 去隔行问题表述

输入场只包括图像的奇数或偶数场，去隔行就是要把“场”转换位“帧”。这些输出“帧”和对应的“场”表示的是同一幅图像，不同的是“帧”包含所有的行。正式地，我们可以表述如下：

$$F_o(\overset{V}{x}, n) = \begin{cases} F(\overset{V}{x}, n) & , y \bmod 2 = n \bmod 2 \\ F_i(\overset{V}{x}, n) & , \quad \textit{otherwise} \end{cases} \quad (1.1)$$

$\overset{V}{x} = (x, y)^T$ 表示像素的空间坐标， n 表示第 n 场， T 代表转置。 $F(\overset{V}{x}, n)$ 表示输入场， $y \bmod 2 = n \bmod 2$ 表示输入场只有奇数行或者只有偶数行； $F_i(\overset{V}{x}, n)$ 表示插值像素。

去隔行增加了垂直方向的采样密度，它是为了去处由隔行采样造成的第一个频谱镜像。它并不是一个简单的线性上采样的问题，这是由于电视信号并不满足采样定理的要求：缺少采样前的预滤波，对超过一半采样频率的频率缺少抑制。造成这种情况是有原因的，电视摄像头里的采集器对情景进行采样，那么这个预滤波器就要在光路上实现，这几乎是不可能的，或至少现在的系统是缺少预滤波的。

1.3 本文内容安排

本文通过研究国内外现有的去隔行算法，分析它们的优缺点，进行改进，提出一种新的运动自适应去隔行算法，在算法与硬件开销中找到平衡点，使其具有实际应用的价值。本文工作主要包括三方面的内容，一是总结和分析现有的相关算法，二是提出自己的去隔行算法，三是在 FPGA 上实现本文提出的自适应去隔行算法。

文章内容安排如下：

第一章概述了隔行图像存在的不足和去隔行的内容。

第二章介绍了非运动补偿去隔行算法，包括线性去隔行算法、非线性去隔行算法和运动自适应去隔行算法三类。

第三章介绍了基于运动补偿的去隔行算法，重点介绍了各种运动估计算法和运动补偿去隔行算法。

第四章介绍了本文提出的运动自适应去隔行算法，给出了算法的详细说明及

其仿真结果。

第五章介绍了算法的 FPGA 实现，重点说明了 DDR 控制器模块、运动检测模块和场内插值模块的设计。

第六章是全文的总结和展望。

1.4 本章小结

本章是概述性内容，第一部分简单地阐述了隔行图像存在的不足；第二部分说明了去隔行的涵义；最后介绍了本篇文章的内容安排。

第二章 非运动补偿的去隔行算法

非运动补偿的去隔行算法可以分为线性去隔行算法 (Linear Deinterlacing Algorithm)、非线性去隔行算法 (Nonlinear Deinterlacing Algorithm) 和运动自适应去隔行算法 (Motion Adaptive Deinterlacing Algorithm) 三种。在这些算法当中, 效果比较好的是运动自适应去隔行算法, 我们将在后面做重点介绍。

2.1 线性技术

线性去隔行技术包含以下三种: 空间去隔行算法, 该算法只利用同一场内 (Intrafield) 的图像信息; 时间去隔行算法, 该算法利用了前后连续几场 (Interfield) 的信息; 空间一时间算法, 该算法结合了前两种算法的优点。

在电视应用领域中, 时空滤波器很少被采用。然而, 在 PC 应用领域, 时空滤波器近年来被重新提起, 这就是通常所称的 Bob 滤波器和 Weave 滤波器[3]。这些滤波器很快和时空线性滤波器一起, 被应用于商业电子领域, 也引起了该领域研究人员的注意。所有的线性去隔行算法都可以定义为以下的公式:

$$F_o^{\mathbf{v}}(x, n) = \begin{cases} F^{\mathbf{v}}(x, n), (y \bmod 2 = n \bmod 2) \\ \sum_k F^{\mathbf{v}}(x + ku_y, n + m)h(k, m), (otherwise) \end{cases} \quad (2.1.1)$$

$$(k, m \in \{\dots, -1, 0, 1, 2, \dots\}, (k + m) \bmod 2 = 1)$$

$h(k, m)$ 是 VT 域上滤波器的冲击响应, 它决定了滤波是时间、空间还是时空。

2.1.1 空间滤波算法

空间滤波去隔行算法是利用了同一场内相邻抽样行之间的相关性来进行去隔行的。该算法在时间域内对所有频率的全通特性保证了运动假相 (Motion Artifacts) 的消除, 但是当图像中的物体在垂直方向上有很高频率的运动时, 该算法具有比较差的去隔行效果。空间滤波算法又称为场内插值算法, 该算法最大的优势是它具有极小的硬件实现代价。

最简单的空间滤波算法是最简单的是双倍线性法 (Double line), 场中未知像素点直接复制它垂直相邻点的值, 即式 (2.1.1) 中 $h(-1,0)=1$, 其它所有的 $h(k,m)=0$ 。这种滤波器的频率响应可以由下式给出:

$$H_y(f_y) = |\cos(\pi f_y)| \quad (2.1.2)$$

其中, f_y 代表垂直方向的频率 (该频率对应图象信号的垂直采样频率进行归一化处理), $H_y(f_y)$ 代表了垂直方向上的频率响应。这种频响特性没有非常陡峭的滚降 (roll-off)。结果, 造成了第一频谱的复制点没有被很好地抑制掉, 而基带信号却被部分地抑制掉了, 这造成了在输出信号中存在伪信号 (alias) 和闪烁 (blur)。

另一种稍微复杂一点的为线性平均法, 未知像素点等于垂直相邻的两个像素点的平均值, 即式 (2.1.1) 中 $h(-1,0)=h(1,0)=0.5$, 其它所有的 $h(k,m)=0$ 。它的频率响应为:

$$H_y(f_y) = \frac{1}{2} + \frac{1}{2} |\cos(2\pi f_y)| \quad (2.1.3)$$

这种方法通常多用于 PC 中, 又称为“BOB”, BOB 针对视频源, 会得到较好的效果。空间滤波器在时间频率方向上是全通的, 不会造成视频运动信息上的损失, 但是其频谱在垂直方向上的低通形状, 使得视频信号在垂直方向上的一些高频分量被抑止, 从而降低了图像在垂直方向上的清晰度。

2.1.2 时域滤波算法

时域滤波去隔行算法是利用了时域内相邻“场”之间图象的相关性来进行线性插值的。单纯的时域线性插值, 意味着空间域内的全通滤波, 这样对于静止图象可以毫无失真的进行去隔行插值。

与前一节所讨论的线性行重复 (Line Repetition) 算法相类似, 在时域内存在着线性场重复 (Field Insertion)。该算法中的 $h(0,-1)=1$, 对其他所有的 k 和 m , $h(k,m)=0$ 。由该公式可以看出, 该算法就是把当前场的前一场数据原封不动地复制到当前场来。该算法的频响特性同前一节讨论地线性行复制算法相类

Degree papers are in the "[Xiamen University Electronic Theses and Dissertations Database](#)". Full texts are available in the following ways:

1. If your library is a CALIS member libraries, please log on <http://etd.calis.edu.cn/> and submit requests online, or consult the interlibrary loan department in your library.
2. For users of non-CALIS member libraries, please mail to etd@xmu.edu.cn for delivery details.

厦门大学博硕士学位论文摘要库