

学校编码: 10384

分类号 _____ 密级 _____

学号: 200330014

UDC _____

厦 门 大 学

硕 士 学 位 论 文

图 像 缩 放 算 法 研 究 及 其 F P G A 实 现

Research of Image Zoom Algorithm and its
Implementation on FPGA

林 媛

指导教师姓名: 徐 中 佑 教 授

专 业 名 称: 电 路 与 系 统

论文提交日期: 2 0 0 6 年 5 月

论文答辩日期: 2 0 0 6 年 5 月

学位授予日期: 2 0 0 6 年 月

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

厦门大学博硕士学位论文摘要库

摘 要

图像缩放在图像处理领域中，发挥着重要作用。图像的分辨率调整和格式变换，都需要用到图像缩放技术。随着多媒体技术和大规模集成电路的发展，利用硬件实现视频图像无级缩放已成为图像处理研究的一个重要课题。

图像缩放通常由插值算法实现。传统的插值算法由于实现原理的局限性，在缩放时容易引起边缘锯齿或细节模糊现象。针对传统插值算法的这个不足，出现了许多基于边缘改进的算法。但这些算法一般只能完成 2^k 倍数插值，无法真正做到基于边缘的无级缩放。

为了实现基于边缘改进的无级缩放，本文做了如下五个方面的研究工作：

1. 系统回顾了图像缩放技术，包括传统图像缩放技术和多边缘检测插值，分析了这些图像缩放技术的优缺点。
2. 重点研究了新兴的方向多项式插值算法，该算法能够真正完成基于边缘改进的无级缩放。
3. 提出改进的方向多项式插值算法（IOPI 算法），该算法针对硬件实现，做了两个方面改进：提出 EDV 算法，简化边缘方向的确定；提出 Cubic6 逼近插值算法（A-Cubic6 算法），改善平坦区域缩放效果。其中的 EDV 算法通过加减、比较模块，完成边缘方向的确定。相比原算法中的乘除法、直方图计算，大大简化了硬件实现，降低了硬件实现成本。A-Cubic6 算法利用查找表简化了 Cubic6 点插值算法的实现，而且明显改善了非边缘区域的缩放效果。
4. 研究缩放算法与图像质量的评价方法。比较、分析各算法的软件仿真结果，得出结论：本文提出的 IOPI 算法在平坦区域和边缘区域都具有比其它算法更突出的效果。
5. 结合实时视频处理要求，研究了 IOPI 算法的 FPGA 实现。已完成最近邻域插值和 A-Cubic6 算法的 FPGA 实现，可以在硬件平台上稳定工作。

关键词：无级缩放；IOPI；FPGA

厦门大学博硕士学位论文摘要库

Abstract

Image zooming plays an important role in the field of image processing. Both image resolution adjustment and format conversion need the image zooming technique. With the rapid advancement of multimedia and integrated circuit, video zooming in arbitrary expansion has been an important subject in image processing field.

Interpolation techniques are always used to realize image zooming. Because of the limitations in classical interpolation theory, ringing artifacts and edge blurring near edges will be introduced using these classical interpolation techniques. Lots of improved methods are proposed to enhance edge processing, while only 2^k zooming can be carried out. In other words, arbitrary expansion based on edge improvement can't be completed using these methods.

In order to realize arbitrary expansion based on edge improvement, 5 parts of research work have been done in this paper:

1. Image zooming techniques have been reviewed systematically including classical image zooming techniques and multi-edge detection zooming technique. The relative merits of these algorithms have been analyzed in this paper.
2. Oriented polynomial interpolation algorithm has been researched, which can realize arbitrary expansion based on special edge processing.
3. IOPI algorithm (Improved oriented polynomial interpolation algorithm) has been proposed in this paper. For FPGA implementation, two improvements have been made basing on oriented polynomial interpolation algorithm. The first improvement is using EDV method (Edge direction vector, proposed by this paper) to simplify the edge orientation. In order to improve non-oriented

area zoom, approximate Cubic6 interpolation algorithm (proposed by this paper) has been used. Approximate Cubic6 interpolation algorithm takes advantage of LUT (look-up table) to simplify the FPGA implementation.

4. The evaluation system of zoom algorithm and processed image is researched. Analyzing the Matlab emulation results of several zoom algorithms, zooming with IOPI algorithm can get the best performance.
5. The design and implementation on XILINX FPGA platform for IOPI zooming algorithm has been discussed. The Nearest Neighborhood Interpolation and approximate Cubic6 interpolation algorithm have been implemented and can be used in real-time video processing.

Key words: Arbitrary expansion; IOPI; FPGA

目 录

第一章 绪论	1
1.1 图像缩放技术概述	1
1.2 数字图像缩放方法分类	2
1.2.1 彩色数字图像缩放.....	2
1.2.2 灰度数字图像缩放.....	3
1.3 当前图像缩放算法中存在的问题	4
1.4 本文研究的主要内容与创新	5
第二章 图像缩放技术	6
2.1 传统的图像缩放技术	6
2.1.1 采样理论.....	7
2.1.2 有限 sinc 函数插值.....	9
2.1.3 最近邻域插值算法.....	11
2.1.4 线性插值算法.....	13
2.1.5 二次逼近法.....	14
2.1.6 三次插值.....	16
2.2 基于边缘的图像缩放技术	18
2.2.1 多边缘检测插值算法.....	19
2.2.2 多边缘检测插值算法小结.....	21
2.3 本章小结	21
第三章 改进的方向多项式插值算法（IOPI 算法）	23
3.1 方向多项式插值	24
3.1.1 方向多项式 2^k 倍数缩放.....	24
3.1.2 方向多项式的任意倍数缩放.....	28
3.2 基于方向多项式的简化与改进	29
3.2.1 边缘方向矢量计算算法（EDV）	30
3.2.2 Cubic6 点逼近插值算法（A-Cubic6 算法）	34
3.2.3 IOPI 算法插值步骤.....	37

3.3 本章小结	37
第四章 缩放算法和图像的质量评价	38
4.1 缩放算法的比较	38
4.1.1 频域分析	38
4.1.2 计算复杂度	39
4.2 缩放图像的质量评价	39
4.2.1 放大图像的质量评价方案	40
4.3 实验结果与分析	41
4.3.1 仿真结果的主观评价	41
4.3.2 仿真结果的客观参数评价	48
4.4 其它缩放图像质量评价参数	54
4.5 本章小结	55
第五章 彩色视频缩放算法的 FPGA 实现	56
5.1 最近邻域插值算法的 FPGA 实现	56
5.2 IOPI 算法 FPGA 实现	58
5.2.1 IOPI 算法 FPGA 实现概述	58
5.2.2 图像边缘区域判断模块	59
5.2.3 A-Cubic6 模块	61
5.2.4 IOPI 算法 FPGA 实现	66
5.3 FPGA 实现结果分析	67
5.4 本章小结	68
总结与展望	70
参考文献	72
致 谢	75

第一章 绪论

据研究表明,人们所获取的全部信息中,有 80%^[1]以上来源于视觉。跟语音或文字信息相比,图像包含的信息量更大、更直观、更确切,具有更高的使用效率和更广泛的适用性。图像处理已经成为众多领域中,研究视觉感知的有效工具。随着时代的发展,图像处理技术已被广泛的应用于工程学、医学、军事、遥感、气象等众多领域。

图像以数字形式进行处理和传输,具备质量好、成本低、小型化和易于实现等优点,因此数字图像处理技术已经成为图像处理研究的核心部分。

1.1 图像缩放技术概述

图像的放大、缩小(简称缩放)是图像处理的一个基本操作。所谓图像缩放是指图像分辨率的改变,它在图像显示、传输、图像分析以及动画制作、电影合成、甚至医学图像处理中都有着相当广泛的应用。比如要在点距为 0.297mm 的 15 英寸显示器(在 1024×768 分辨率下,显示区域为最大值:304×228mm)上全屏显示 800×600 的数字图像,就必需事先对显示信号进行处理,将其放大为 1024×768 的画面再送显示。传统模拟电视信号要在数字电视上显示,在完成模拟信号到数字信号的转换之后,也需要对图像分辨率进行调整。

数字图像是离散化的点阵数据。要对数字图像进行缩放,就必须利用已知的资料和先验知识对未知采样点进行估计。数字图像的缩放通常借助图像插值来实现。插值算法的好坏将直接关系到图像的失真程度。

用图像插值算法进行图像缩放时,通常存在一对相悖的要素:图像处理速度和图像精度。通常情况下要获得高速甚至实时的图像输出,只能采用相对简单、运算量小的插值算法;而要获得高精度的处理结果,只能牺牲速度,采用复杂度高的算法。目前的图像缩放算法研究趋势是能够实现无级缩放,并且能尽可能准确、清晰的恢复出图像的边缘和细节要素。

1.2 数字图像缩放方法分类

图像按光谱特性可以分为彩色图像和灰度图像。数字图像可以分为灰度数字图像和彩色数字图像。因此数字图像的缩放也可以分为：灰度数字图像的缩放和彩色数字图像的缩放。

1.2.1 彩色数字图像缩放

彩色数字图像的每个像素点都有一个以上的局部特性。目前，彩色电视和彩色摄影所涉及的图像，是重现了三基色红（R）、绿（G）、蓝（B）的图像。每个像素分别具有对应三种基色的三个不同亮度值。而灰度图像的每个像素只有一个亮度值。

常用的彩色数字图像缩放方法有两种。第一种是把三基色 R、G、B 作为三个分量，每一个分量分别采用灰度图像的缩放处理方法进行处理。另一种则是先把 RGB 图像转为 YUV 彩色模型，对 Y、U、V 信号分别进行缩放处理，最后把 YUV 模型转换回 RGB 图像送显示。

第二种方法中的 Y 信号是图像的亮度信号，U、V 信号是图像的色差信号。我们在 MATLAB 平台上做了一组实验：对同一幅彩色原始图像，采用某一种算法对 Y 信号进行缩放，而分别采用 6 种不同的算法对 U、V 信号进行缩放，得到的 6 幅放大倍数相同处理后的图像，从视觉效果来看，几乎不能分辨出 6 幅图像的差别。可见人眼对色度变化的敏感性很低。

因此得到结论：采用第二种方法实现彩色数字图像的缩放时，只需采用优秀的缩放算法对 Y 分量进行处理，U、V 信号则完全可以采用最简单的“最近邻域放大算法”进行复制放大处理。

从彩色数字图像缩放的实现角度考虑，第一种方法对三个分量的处理分别采用灰度数字图像缩放的方法进行处理；第二种方法只需把性能良好的灰度数字图像缩放算法应用于 Y 信号的缩放。虽然在自然界和日常生活中，人们接触的大多是彩色图像，但是对灰度数字图像缩放算法的研究具有十分重大的意义。下文将对灰度数字图像的缩放技术进行研究。

1.2.2 灰度数字图像缩放

灰度数字图像缩放算法按其实现方法的不同可以分为两类:重建方法和非重建方法。目前典型的灰度数字图像缩放方法大多是通过重建实现的。重建方法,即通过各种重建函数将离散数字图像重建为连续数学模型,再对连续模型进行重采样得到插值点。除了通过重建实现缩放的方法以外,还有一些通过非重建实现缩放的方法。非重建方法单纯利用插值点周围的像素信息,直接运算得到插值点。当然还有许多其它的新兴缩放技术,例如:基于小波的图像缩放技术^[2-5]、基于分形的图像缩放技术^[6-7]等等。

重建方法实现缩放

从早期的插值方法,如最近邻域法(nearest neighbor)、双线性内插法(bilinear interpolation)(实为一阶样条方法)以及三次内插法及卷积方法等应用到图像缩放的插值算法都可以归入利用重建方法进行的缩放技术。后续又有 Durand 等,于 1990 年提出将数字图像网点上的像素值插值成 B-样条,再根据缩放要求重采样新的网点,构筑成新的数字图像输出^[8]。Unser 等人于 1995 年提出将数字图像网点上的像素值插值成 B 样条曲面,由此再从原始和目标两种图像按误差最小的条件构造出新的多项式样条,并给出了最优的样条算法^{[9] [10]}。1997 年, Darwish 提出利用自适应的重采样算法,进行图像的放大处理,算法尤其适用于较大的放大因子^[11]。Albiol 等提出了基于数学形态学的图像放大技术,利用线性插值和梯度计算,该方法对于像素变化缓慢的区域采用线性方法插值,而在边界处进行特殊处理^[12]。1998 年, Lee 等给出了高阶样条缩放方法,利用斜投影算子构造简单快速的图像缩放算法^[13]。1999 年孙庆杰等提出了基于 Bezier 曲面的放大方法^[14]。2000 年, Leu 利用边界分割技术(step edge model)对图像进行放大,得到了比最近邻域法和双线性插值更有效的放大效果^[15]。2001 年, Muhoz 等提出了适用于图像缩小,且计算复杂性不依赖于缩放因子的缩放算法^[16]。同年, Malgouyres 等提出了图像缩放的非线性变分问题数值方法,该算法具有较好的边界保持功能^[17]。Panda 等提出了图像与信号处理的广义 B 样条插值和逼近技术(连续建模)^[18]。Sekiwa 利用多神经网络(multi-neural network),克服了普通神经网络进行图像放大时所产生的失真现象(特别是放大倍数较大时)^[19]。Len 提出

称作斜坡边界模型(ramp edge model)的图像进行放大,同时保持源图像中的连续性与清晰度^[20]。

非重建方法实现缩放

非重建方法实现缩放,是利用插值点附近的原始像素点信息进行处理,获取插值点的方法。最典型的是近年来出现的各种利用梯度、差值等信息进行的基于边缘的缩放算法^[21-23];王兆华等人利用人眼的低通滤波特性提出的邻域交换算法^[24]等。这些算法中大多数能够在边缘区域的处理有所改善,其中的邻域交换算法通过简单的时序控制就可以较好的去除马赛克效应。

还有其它一些新兴的图像缩放算法^[25-26],近年来发展迅速。尽管它们的软件仿真表现良好,但是它们的计算量庞大、实现复杂,不便于硬件实现,本文将不做过多讨论。

1.3 当前图像缩放算法中存在的问题

前面介绍的利用重建实现的缩放算法,许多都因为运算量少,实现简单,都得到了广泛的应用。它们基本上都具有快速生成图像、视觉效果良好,方便进行任意倍数缩放,也就是所谓的“无级缩放”的优点。但由于在插值过程中没有针对图像的边缘和纹理特征进行特殊处理,所以导致处理后的图像难以保持物体边界清晰和轮廓分明。从频域角度看,一些函数表现为低通滤波器,图像经滤波后容易发生高频分量损失,因而出现边缘锯齿现象及高频细节模糊化。如果只是改进插值函数参数,使其更近似于理想插值函数,无法从根本上解决边缘锯齿和细节模糊的问题。

这些采用非重建方法实现的缩放算法,虽然在边缘、细节等方面可以取得较好的处理效果,却往往不能实现任意倍数缩放,而只能实现整数倍数缩放,甚至 2^k 倍数缩放。

综合考虑以上分析,希望找到能够考虑边缘方向,又真正实现任意倍数缩放的算法。

备注:由于基于小波、分形等进行的图像缩放算法目前还不适合于硬件实现,因此这里暂不列入讨论范围。

1.4 本文研究的主要内容与创新

图像缩放的应用广泛，缩放方法也多种多样，本文的研究将针对数字视频处理领域的图像缩放算法进行。

由于目前的缩放方法大多存在各自的局限性，因此适合于不同的应用领域。本文将针对视频领域的应用，研究结合图像边缘信息的无级缩放算法。

本文的创新之处在于：

1. 研究了方向多项式插值算法^[27]，该算法直接把边缘信息与多项式拟合结合起来，可以真正做到基于边缘改进的无级缩放。但是该算法存在两个不足：边缘方向计算复杂和平坦区域处理效果不够理想。
2. 本文的 IOPI 算法是在方向多项式插值算法的基础上，针对它的不足提出的改进算法。IOPI 算法通过 EDV 算法完成边缘方向计算的简化，并且采用 A-Cubic6 算法^[28]，改善平坦区域的缩放。
3. 探讨缩放算法以及图像的质量评价问题。指出当前常用评价方案的局限性，并对各图像缩放算法的适用范围提出指导性建议。
4. 重点研究 IOPI 算法以及最近邻域插值算法的 FPGA 实现和优化，该实现可以应用到彩色视频缩放。

各章主要内容如下：

第一章介绍图像缩放的含义和应用领域，概述彩色数字图像缩放和灰度数字图像缩放。指出当前图像缩放算法存在的一些问题。

第二章系统回顾传统灰度图像缩放算法，以及一种新兴的基于多边缘检测^[29]的图像缩放算法。

第三章重点研究边缘方向多项式插值算法^[27]，并提出 IOPI 算法。

第四章研究缩放图像的质量评价问题。并通过大量实验，对传统插值算法、多边缘检测插值算法以及本文提出的 IOPI 算法进行分析、比较，对不同待处理图像的处理算法选择给出建议。

第五章研究视频缩放算法的 FPGA 实现和优化。并着重针对 LCD 显示和彩色 FED 显示控制板应用，研究 IOPI 算法和最近邻域插值算法的 FPGA 实现。

第六章对论文工作进行总结，提出今后的研究方向。

最后是参考文献和致谢。

第二章 图像缩放技术

随着各种高端数字电视以及多媒体技术的迅速发展,终端视频显示器的种类也越来越多。要适应不同的显示终端,需要用到图像缩放技术。因此人们对图像缩放技术的研究也随之不断深入。

本章将系统回顾传统的图像缩放技术,并且介绍一种新兴的多边缘检测插值算法。该算法能够弥补传统缩放技术对边缘处理的不足。

2.1 传统的图像缩放技术

图像缩放通常通过插值完成,而插值则通过曲线拟合的方法实现。它利用离散的采样点建立一个连续函数,根据这个重建的连续函数求出任意位置的函数值。因此对于数字图像而言,缩放的过程又称为图像的重采样。图像重采样可以分两个步骤完成:把原始离散图像内插重建为二维(2-D)连续图像信号;对连续信号进行重采样。形式上可以写为,离散图像采样信号与二维重建滤波器的连续脉冲响应 ${}_{2D}h(x, y)$ 的卷积:

$$s(x, y) = \sum_k \sum_l s(k, l) {}_{2D}h(x-k, y-l) \quad (2.1.1)$$

为了降低计算复杂度,通常把插值函数分解为两个对称一维插值函数的乘积:

$${}_{2D}h(x, y) = h(x)h(y) \quad (2.1.2)$$

图 2.1.1 表示在 4×4 邻域中,把二维插值分解为两次一维插值的原理^[30]。首先完成水平方向的插值处理,图中每行的小灰点就是利用各行相邻四个原始像素点信息得到的中间插值变量。然后再利用这四个中间插值变量完成垂直方向的插值处理,得到最终的插值像素值。

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.

厦门大学博硕士论文摘要库