

# Multi-Core DSP Based Super-Resolution Enhancement

Xia Pu, Linbo Qing, Xiaohong Wu, Yanmei Yu\*

Institute of Image Information, College of Electronics and Information Engineer, Sichuan University, Chengdu Sichuan  
Email: \*yanmei\_yu@163.com

Received: Mar. 24<sup>th</sup>, 2017; accepted: Apr. 17<sup>th</sup>, 2017; published: Apr. 20<sup>th</sup>, 2017

---

## Abstract

To meet the demand of mobile security inspection equipment to rapidly recognize objects, an image super-resolution enhancement system based on TMS320C6678 is designed and realized in this paper. This system first uses bi-cubic interpolation to magnify the image, then uses dark channel algorithm to enhance the image, and adopts OpenMp multi-core acceleration processing to accelerate the Gauss filter processing part of the dark channel algorithm. The results show that the enhanced images are clear to be observed. And the processing time is shortened, which is equivalent to nearly half of the single core.

## Keywords

Multi-Core DSP, OpenMp, Super Resolution Reconstruction

---

# 基于多核DSP的图像增强实现

蒲 夏, 卿粼波, 吴晓红, 余艳梅\*

四川大学电子信息学院, 四川 成都  
Email: \*yanmei\_yu@163.com

收稿日期: 2017年3月24日; 录用日期: 2017年4月17日; 发布日期: 2017年4月20日

---

## 摘 要

针对移动便捷安检设备快速识别物体的需求, 我们设计实现了一种基于TMS320C6678的图像超分辨率增强系统。该系统首先采用双三次插值算法放大原始图像, 然后采用暗通道算法进行图像增强, 并对暗

\*通讯作者。

通道算法中的高斯滤波处理部分进行了OpenMp多核加速处理。实现结果表明,增强后的图片特征清晰,便于观察;且利用多核DSP增强后的时间缩短,相当于单核的0.49倍。

## 关键词

多核DSP, OpenMp, 超分辨率重建

Copyright © 2017 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

在数字图像处理领域,分辨率是图像质量一个十分重要的指标,图像的分辨率高说明它能够呈现出更多的细节和丰富的信息。G20 峰会期间,为进一步提高会场安保级别,相关管理部门需要对进场人员进行更快更有效的安全检查。毫米波安检仪采集的图像分辨率低,噪声大,不利于观察,故需要一种把低分辨率图像重建成高分辨率图像的便于携带且快速高效系统。

随着数字信号处理器 DSP 的快速发展,科研人员利用 DSP 平台开展了不少的图像处理相关领域的研究与工程项目。2012 年 2 月邓建青等利用 Fourier-Mellin 变换法等算法进行运动估计,然后利用基于边缘保持的凸集投影简化方法在 DM642 上实现超分辨率重建,采用的相机分辨率为  $720 \times 576$ ,重建时间耗费 20 s 左右[1]。2014 年 12 月朱才高等在 TMS320C6678 上利用图像分层处理的细节增强基本框架,提出了一种基于引导滤波器的高动态范围红外图像显示与细节增强算法,实现了图像视频流的传输、处理等系列功能[2]。在 2015 年 7 月,叶宗民等为光学目标特性研究提供高质量的图像在 VPM6467DSP 上实现对舰船目标低分辨率红外视频的超分辨率重构[3]。目前,针对毫米波安检图像重建的具体应用,还没有现成的开发应用技术可循,而在已有的一些相关应用中,TMS320C6678 是研究开发人员较多采用的 DSP 之一。

TMS320C6678 是一款基于 KeyStone 架构的八核 DSP,每个核拥有最高可达 1.25 Ghz 的主频,32 K 的一级程序缓存 L1P,32 K 的一级数据缓存 L1D,512 K 的本地二级存储 L2SRAM,可自由配置成 Cache 和普通 SRAM,另外还有 4 M 的共享内存 MSM,也可将其配置成共享二级缓存和共享三级缓存,另外 TMS320C6678 支持 OpenMp 多核模型,还拥有丰富的外设接口、EDMA、SRIO 等,可以与外界迅速的进行数据交换[4]。因此,基于项目的需求及我们开发的难易程度,本文选择了 TMS320C6678 处理器。

OpenMp 是由 OpenMP Architecture Review Board 牵头提出的,用于共享内存并行系统的多线程程序设计的一套指导性的编译处理方案(Compiler Directive)。OpenMP 支持的编程语言包括 C 语言、C++和 Fortran; OpenMp 提供了对并行算法的高层抽象描述,程序员通过在源代码中加入专用的 pragma 来指明自己的意图,由此编译器可以自动将程序进行并行化。当选择忽略这些 pragma,或者编译器不支持 OpenMp 时,程序又可退化为通常的程序,代码仍然可以正常运作,只是不能利用多线程来加速程序的运行。

关于超分辨率的重建的研究也很多,并且不少算法都取得了不错的效果,但这些方法基本上都是基于 PC 的算法,算法复杂度较高,要在嵌入式系统上实现还存在实际困难,比如系统资源等问题。因此,针对安检图像分辨率低的问题,本文基于 TMS320C6678 系统,首先选取双三次(Bicubic)插值算法,将原始图像放大 4 倍。由于放大后的图像细节模糊,不便于观察,通过实验对比发现,暗通道算法在处理此

类图像上具有良好效果。故继而采用暗通道算法，通过暗通道去雾算法进行图像增强，使放大后的模糊细节得以恢复[7]。实验结果表明，进行超分辨率重建后的图像局部比未重建之前的局部细节更加清晰，具有更好的表现性；而且本文在算法的实现过程中还采用了 OpenMp 模型，对超分辨率算法进行多核加速[8]，对一幅  $48 \times 128$  分辨率的图片重建到  $192 \times 512$  的实验，在 1Ghz 单核下耗时 363 ms，在八核下耗时 180 ms。

## 2. 算法描述

### 2.1. 插值算法

双三次插值，作为一种较复杂的插值方法，双三次插值算法采用了待采样点四周 16 个点的灰度值作三次插值，并考虑了 4 个直接邻点的灰度值与各邻点之间的灰度变换率影响。三次运算可以得到分辨率更高的图像，但也带来了更大的运算。

其数学表达式如下：

$$S(w) = \begin{cases} 1 - 2|w|^2 + |w|^3, & |w| < 1 \\ 4 - 8|w| + 5|w|^2 - |w|^3, & 1 \leq |w| < 2 \\ 0, & |w| \geq 2 \end{cases} \quad (1)$$

双三次插值公式如下：

$$f(i+u, j+v) = ABC. \quad (2)$$

其中，A、B、C 均为矩阵，形式如下：

$$A = [S(1+u) \ S(u) \ S(1-u) \ S(2-u)], \quad (3)$$

$$B = \begin{bmatrix} f(i-1, j-2) & f(i, j-2) & f(i+1, j-2) & f(i+2, j-2) \\ f(i-1, j-1) & f(i, j-1) & f(i+1, j-1) & f(i+2, j-1) \\ f(i-1, j) & f(i, j) & f(i+1, j) & f(i+2, j) \\ f(i-1, j+1) & f(i, j+1) & f(i+1, j+1) & f(i+2, j+1) \end{bmatrix}, \quad (4)$$

$$C = [S(1+v) \ S(v) \ S(1-v) \ S(2-v)]^T. \quad (5)$$

其中， $f(i, j)$  表示源图像  $(i, j)$  像素点的灰度值。

### 2.2. 暗通道增强算法

有一个有雾图片的表达式在计算机视觉领域中运用广泛，该式如式(6)：

$$I(x) = J(x)t(x) + A(1-t(x)). \quad (6)$$

其中， $I(x)$  代表待处理有雾图像， $J(x)$  代表想要得到的无雾图片， $t(x)$  是透射率， $A$  则是全局大气光值(global atmospheric light)；

下面需要从式(6)中得到  $J(x)$ ，但是式(6)里  $t(x)$  和  $A$  都是未知的。

为此，先研究暗通道的数学定义，如下式(7)：

$$J^{dark}(x) = \min_{C \in \{r, g, b\}} \left( \min_{y \in \Omega(x)} (J^c(y)) \right). \quad (7)$$

其中， $J^{dark}(x)$  为暗通道图，而等式右侧： $C$  为 R, G, B 中的某一通道， $x$  是图中某一像素点， $\Omega(x)$  则是点  $x$  周围的一个小区域；

这个公式的意思可以这样理解：取出原图每个像素点中最小的通道值后，得到一幅灰色的图，然后对该图进行最小值滤波，这样就得到了暗通道图。下面来看看究竟是如何从公式(6)推出  $J(x)$  的：

首先对式(6)两边取最小，得：

$$\min_{y \in \Omega(x)} (I^c(y)) = \tilde{t}(x) \min_{y \in \Omega(x)} (J^c(y)) + (1 - \tilde{t}(x)) A^c. \quad (8)$$

再次取最小，得：

$$\min_c \left( \min_{y \in \Omega(x)} \left( \frac{I^c(y)}{A^c} \right) \right) = \tilde{t}(x) \min_c \left( \min_{y \in \Omega(x)} \left( \frac{J^c(y)}{A^c} \right) \right) + (1 - \tilde{t}(x)). \quad (9)$$

由(7)可知：暗通道图是稀疏的，绝大多数元素为零或者趋向于零，可近似得到式(10)：

$$J^{dark}(x) = \min_c \left( \min_{y \in \Omega(x)} (J^c(y)) \right) = 0. \quad (10)$$

进一步对其进行限制，如下式(11)：

$$\tilde{t}(x) = 1 - \omega \min_c \left( \min_{y \in \Omega(x)} \left( \frac{I^c(y)}{A^c} \right) \right). \quad (11)$$

为了保持图像的真实感，取  $\omega = 0.95$ ；

最终得到：

$$J(x) = \frac{I(x) - A}{\max(t(x), t_0)} + A. \quad (12)$$

### 3. 基于多核 DSP 的图像超分辨率重建算法实现

本文为了在多核 DSP 上实现图像超分辨率重建，首先在 PC 端将图片转化为 dat 格式的数据通过 seed-560-v2 仿真器加载到 DSP 内存，然后再从内存中取数据进行一系列处理，处理完后再放回另一段内存，然后再使用 CCS 自带的 Image Analyzer 工具查看处理过后的图片，整个系统框图如图 1 所示：

对于图像增强本文首先采用双三次插值算法对其进行图像放大，考虑到 DSP 所具有的软件流水功能，为了加快进度，对 R、G、B 三通道同时插值；由于放大后图像细节不明显，本文又采用暗通道去雾算法进行增强处理。通过对整个增强算法进行时间统计，发现整个暗通道去雾算法主要耗时在高斯滤波处理上，于是，我们将其高斯滤波部分单独提取出来，利用 DSP 的 OpenMp 进行多核加速处理，本文采用的核数是 8 核，其线程也为 8，采用 OpenMp 部分程序如图 2 所示，private (sum, gindex, windex, ...)表示变量 sum, gindex, windex 在每个线程里都拥有私有拷贝，其它的线程不能访问该线程里的私有备份，而 share (tmpdata)则相反，里面的共享 tmpupdate 数组是线程间共享的，即线程都可以访问。

由于本文在图像输入阶段的原始大小和放大倍数都是已知的，结合 DSP 中内存有限的实际情况，最终统一采用静态分配内存，如图 3 所示。本文原始图片的数据量大，故将原始的图像数据和一些处理的



Figure 1. System block diagram

图 1. 系统框图

中间结果数据放在 DDR3 上。

#### 4. 实验结果及数据分析

在实验初期，尝试多种图像增强算法后，发现局部增强效果均不明显，达不到更快更有效的安全检查目的。经过对大量图片反复测试，双三次插值和暗通道去雾组合算法在增强毫米波图像方面具有一定的效果，增强后的图像能够满足基本的观察应用需求。如图 4(a)所示，表示未经处理过的原图，图中可以看出有很多不清晰的地方，如果不进行图像增强，不利于观察；图 4(b)表示经过双三次插值放大后的图，放大后整体效果不太好，整个图片显得模糊，需要对其进行增强；图 4(c)表示增强后的效果图，与原图相比较，大小与清晰度提高很大。

由于 DSP 系统其独特的处理性能，对于浮点数，乘法具有很快的速度，于是将超分辨率算法移植到 TMS320C6678 上运行，在编写该程序时，所使用的 DSP 优化技术：1) OpenMp 优化[9]：即把某些非常耗时的算法部分进行多核加速 2) 32 字节对齐：由于 TMS320C6678 是一款 32 的处理器，它可以一次处理 32 位的数据，于是我们在定义内存时，设置成 32 字节对齐，在经过上述优化后，得到的执行时间如表 1 所示。

#### 5. 结论

本文在多核 DSP 上实现了一个超分辨率重建系统，对多幅原始图片进行重建实验。以其中一幅大小

```
#pragma omp parallel forprivate(sum,gindex,windex,...)shared(tmpdata,...)
for( :: )
  for( :: )
  {
    .....
    sum+=data[windex+i * width]*templates[gindex];
    tmpdata[i * width + j]=sum;
    .....
  }
```

Figure 2. Gauss filter OpenMp accelerated processing program

图 2. 高斯滤波 OpenMp 加速处理程序

```
//定义存储从图片中读取出来的红色分量数组
#pragma DATA_SECTION(red,"ddr3")
unsignedchar red[IMAGE_WIDTH*IMAGE_HEIGTH];
//定义存储从图片中读取出来的绿色分量数组
#pragma DATA_SECTION(green,"ddr3")
unsignedchar green[IMAGE_WIDTH*IMAGE_HEIGTH];
//定义存储从图片中读取出来的蓝色分量数组
#pragma DATA_SECTION(blue,"ddr3")
unsignedchar blue[IMAGE_WIDTH*IMAGE_HEIGTH];
```

Figure 3. Statically allocated memory in DSP

图 3. DSP 中静态分配内存



- 
- [5] 龚卫国, 潘飞宇, 李进明. 用双层重建法实现单幅图像的超分辨率重建[J]. 光学精密工程, 2014, 22(3): 720-729.
- [6] 殷明, 水琚, 栾静, 等. 基于插值与剪切波融合的图像超分辨率重建[J]. 计算机工程, 2015, 41(5): 274-279.
- [7] 刘海波, 杨杰, 吴正平, 等. 基于暗通道先验和 Retinex 理论快速单幅图像去雾方法[J]. 自动化学报, 2015, 41(7): 1264-1273.
- [8] Instrument, T. (2013) DataSheet Tms320c6678 Multicore Fixed and Floating-Point Digital Signal Processor. SPRS691D.
- [9] Instrument, T. (2012) TMS320C6000 Optimizing Compiler v7.4 User's Guide. SPRU187U.

**期刊投稿者将享受如下服务:**

1. 投稿前咨询服务 (QQ、微信、邮箱皆可)
2. 为您匹配最合适的期刊
3. 24 小时以内解答您的所有疑问
4. 友好的在线投稿界面
5. 专业的同行评审
6. 知网检索
7. 全网络覆盖式推广您的研究

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱: [jisp@hanspub.org](mailto:jisp@hanspub.org)