

基于非下采样 Contourlet 变换的 彩色图像拼接算法

欧书琴, 李新华, 孔 颖, 陈 军

(安徽大学 计算智能与信号处理教育部重点实验室, 安徽 合肥 230039)

摘 要:文中分析研究了非下采样 contourlet 图像表示方法及在图像变换中的优点,提出了一种基于非下采样 contourlet 变换的图像拼接方法。利用 SIFT 算法和最近邻算法求得待拼接图像的匹配点和匹配区域,将待拼接图像分解成不同尺度、多方向的频带,对得到的频带对应地进行拼接,最后利用重构算法将拼接的各频带进行逆非下采样 contourlet 变换得到拼接图像。针对光照和数码相机的白平衡导致的拼接图像明暗差异,提出了一种基于二维直方图的 B 样条曲面拟合的的颜色校正方法。实验表明,文中方法优于传统的非下采样小波域中的拼接效果,过渡更平滑,拼接后的图更加自然,细节更清晰。

关键词:图像拼接;非下采样 contourlet 变换;二维直方图;B 样条曲面拟合;非下采样小波变换

中图分类号: TN911.73

文献标识码: A

文章编号: 1673-629X(2010)11-0037-05

Color Image Mosaicing Algorithm Based on Nonsubsampled Contourlet Transform

OU Shu-qin, LI Xin-hua, KONG Jie, CHEN Jun

(Education Ministry Key Laboratory of IC & SP, Anhui University, Hefei 230039, China)

Abstract: Analyses the characteristics of Nonsubsampled Contourlet Transform (NSCT) and advantages in image transformation. Proposes an image mosaicing method based on NSCT. Firstly, SIFT algorithm and nearest-neighbor algorithm are used to obtain the matching points and matching area of source images, then each source image is decomposed in highpass subbands and lowpass subbands by NSCT. Corresponding to the received frequency band to carry out splicing, finally the mosaicing image is reconstructed by using reconstruction algorithm to take inverse transform of NSCT. The illumination and the automatic white balance settings of digital camera can cause the differences of light and shade in mosaicing image, in view of the problem, proposes a new color correction method which uses B spline surface fitting based on two-dimensional histogram. The experimental results show that the performance of the novel algorithm is better than the traditional mosaicing algorithm based on wavelet transformation, the transition is smoother, the mosaicing image is more natural, the details are more clear.

Key words: image mosaicing; nonsubsampled contourlet transform; two-dimensional histogram; B spline surface fitting; nonsubsampled wavelet transform

0 引 言

人们在日常生活和工作中经常需要一些宽视角、高分辨率的全景图像,但是由于能得到全景图像的硬件设备,如全景相机、广角镜等都比较昂贵,并且需要三角架,使用条件苛刻,不适合普遍使用,所以人们想到了利用计算机进行图像拼接以便得到全景图。目前图像拼接技术已经应用到很多领域,如数字视频、运动

分析、遥感图像处理等。

图像拼接技术原理是根据图像重叠部分将多张衔接的图像拼合成一张高分辨率的全景图。图像拼接技术^[1]可以分为基于特征和基于区域两种方法。基于特征的图像拼接方法是先找到图像的明显特征,再计算图像之间的变换,而不是利用图像全部的信息。常用的算法有基于轮廓特征的算法、角点检测算法、SIFT 尺度不变特征转换算法等。基于区域的拼接方法,是用图像在两个有重叠部分的待拼接图像上平移,然后比较两张图像重叠区域各个像素的匹配程度,最后选择最匹配的一种情况。但是该算法计算量很大,且不

收稿日期:2010-02-21;修回日期:2010-05-29

基金项目:安徽省教育科研计划项目(KJ2007B069)

作者简介:欧书琴(1985-),女,安徽宣城人,硕士,研究领域为数字图像处理;李新华,副教授,硕士生导师,研究领域为数字图像处理。

能解决图像旋转和尺度缩放的问题。文献[2]提出选取第一幅图像中的重叠部分的一块矩形区域作为模板,在第二幅图像中搜索相似的对应部分,然后计算其相关系数,得出的最佳匹配位置是相关系数最大的位置,这种算法相比上一种计算量减少了很多,但仍然很大。为了进一步减少计算量,文献[3]提出了基于列像素的方法,在第一幅图像中选取一定相隔的两列,用该两列像素的比值作为模板,在第二幅图像中搜索最佳的匹配,从而确定重叠部分的位置,但是仍然不能解决旋转和缩放问题。

针对带有相关性噪声和频域噪声的图像而言,可以采用基于频域的算法,并且运算速度也得到提高,针对这些优点,文献[4]提出了基于小波的图像拼接方法。算法基本思想是先对待拼接的图像进行小波变换,得到图像的低频、水平、垂直三个子带分量,然后对这三个分量对应地进行基于区域的拼接,分别得到三个分量的拼接结果,最后进行小波重构即可获得完整的图像。但是对于二维图像,小波只能以“点”奇异来逼近“线”奇异,这样就不能稀疏地表示原来信号的特征。另外小波变换只能检测三个方向上(水平方向、垂直方向、对角方向)的边缘信息,有限的方向信息使得小波不能充分地表现图像本身的特性,变换后图像的信息缺失较大,拼接后的图像过渡不自然并且细节信息不清晰。

针对小波变换的缺点,很多新的图像表示方法陆续出现,如 Ridgelet、Curvelet、Contourlet 等。由于 Ridgelet 和 Curvelet 变换具有高冗余度,所以 Contourlet 变换方法应运而生,其突出的优点是只要使用少量稀疏系数就能有效地表示图像的平滑轮廓。Contourlet^[5,6]变换分为两个部分:采用拉普拉斯塔形滤波器组对图像进行多尺度分解和采用方向滤波器组对得到的多尺度分解后的图像进行方向分解,但是由于上、下均采样了,所以不满足平移不变性。

针对这一缺点,出现了非下采样 Contourlet (Non-subsampled Contourlet Transform, NSCT) 变换方法,能够弥补 Contourlet 变换因下采样而不满足平移不变性这一缺点,并且能更好地表示图像的细节信息。针对 NSCT 的这些优点,文中将这一方法应用在图像拼接中,并将这种方法与非下采样小波变换方法进行对比。实验证明,NSCT 方法用于图像拼接中,得到的拼接图像过渡更加平滑,细节信息更加清晰。

1 非下采样 Contourlet 变换(NSCT)

1.1 非下采样小波变换

小波变换现今已经被广泛应用于图像处理中,利

用小波变换可以将图像分解为一个低频子图像和三个方向(水平方向、垂直方向、对角方向)的子图像。传统的 Mallat 算法在图像分解和重构过程中具有下采样过程,所以不具有平移不变性。非下采样小波变换^[7]可以将图像分解成与原图像尺寸大小相同的一个低频子带图像和各层高频子带图像,分解公式如下:

$$f(x, y) = f_M(x, y) + \sum_{i=1}^M w_n(x, y) \quad (1)$$

其中, $f_M(x, y)$ 为尺度 M 下的低频子带图像, $w_n(x, y)$ 为尺度 M 下的高频子带图像, $w_n(x, y) = f_n(x, y) - f_{n-1}(x, y)$ 。非下采样小波变换方法用于图像拼接,由于方向有限,得出的拼接图细节信息不清晰。为了使得拼接图效果更好,文中采用方向信息丰富的非下采样 Contourlet 变换。

1.2 非下采样 Contourlet 变换

非下采样 Contourlet 变换(NSCT)^[8~11]包括两个部分:满足多尺度性质的非下采样塔形滤波器组(Nonsubsampled Pyramid Filter Bank, NSPFB)和满足多方向分解性质的非下采样方向滤波器组(Nonsubsampled Directional Filter Bank, NSDFB)。先通过非下采样塔形滤波器组对图像进行多尺度分解,然后通过非下采样方向滤波器组对得到的多尺度子带图像进行多方向分解,最后得到多尺度、多方向的子带图像。这两部分只对滤波器组进行上采样,满足平移不变性。

1.2.1 非下采样塔形分解

传统的 Contourlet 变换中的拉普拉斯塔形分解需要对经过滤波器 $H_i (i = 0, 1)$ 滤波后的图像进行上、下采样,再与上一级图像相减得到高频部分。而非下采样塔形分解只将滤波器进行上 2 采样后作为下一级滤波器。并且需要多次采用 NSPFB 对图像进行分解从而实现图像的多尺度分解,图 1 为双通道滤波器组的分解和重构结构图。所谓多尺度分解,就是在下一级分解之前,先对滤波器 H 进行上 2 采样,再对上一级分解得到低频分量以同样的方式分解。其 3 级塔式分解和频域分解结构如图 2 所示, n 次非下采样塔式分解后可以得到 $n + 1$ 个与源图像大小尺寸相同的子带图像。

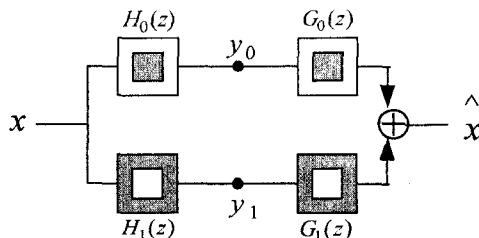


图 1 非下采样塔形分解与重构的结构图

如果想要保证信号能完全重建,对于双通道滤波器组来说,则必须满足以下条件:

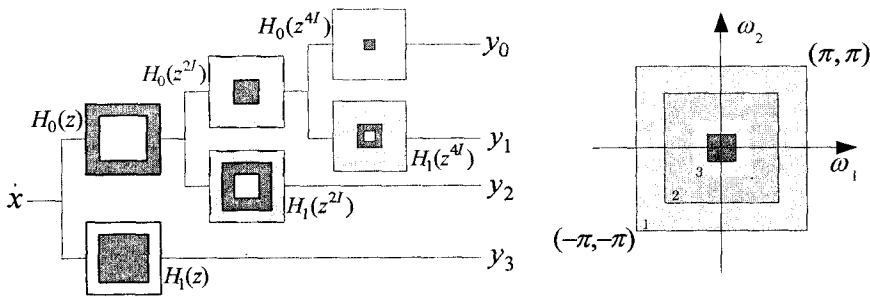


图 2 图像的三级双通道塔形分解和频域分解示意图

$$H_0(z)G_0(z) + H_1(z)G_1(z) = 1 \quad (2)$$

其中, $H_0(z)$ 和 $H_1(z)$ 是分解滤波器, 并且满足 $H_1(z) = 1 - H_0(z)$, $G_0(z)$ 和 $G_1(z)$ 是重建滤波器。

1.2.2 非下采样方向滤波器组

NSCT 中采用的 NSDFB 是一组频响特性为扇形形状的二通道非下采样滤波器组, 与传统的方向滤波器不同的是它将下采样因子去掉, 只对每个滤波器进行上采样, 即为非下采样方向滤波器。NSDFB 是由 U_0 、 U_1 线性变换得到的, 并且是一组由非下采样扇形滤波器组成的二通道非下采样滤波器组。设对扇形滤波器采用不同的采样矩阵 Q 进行上采样, 则可以利用采样矩阵对扇形滤波器 $U_0(z)$ 、 $U_1(z)$ 分别进行上采样, 得到滤波器 $U_0(z^Q)$ 和 $U_1(z^Q)$, 然后再对上一级二通道方向分解后得到的子带图像滤波, 其双通道结构图如图 3 所示 (其中黑色部分表示允许频率通过的部分)。

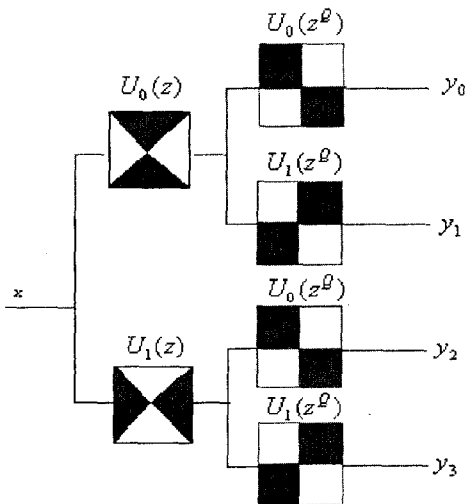


图 3 双通道非抽样扇形滤波器组结构图

2 基于 NSCT 的图像拼接算法

Contourlet 变换相比于小波变换, 具有更好的方向特性, 能够更好地显示图像的几何特征, 所以能为图像拼接提供更多的信息。非下采样 Contourlet 变换在 Contourlet 变换所具有的优点的基础上由于在分解和

重构的过程中取消了下采样环节, 所以能够得到与源图像尺寸大小相同的各级子带图像, 并且具有平移不变性, 因此在拼接过程中能有效地解决平移的问题, 鉴于以上优点, 文中提出了一种基于 NSCT 的图像拼接算法, 具体算法步骤为:

(1) 利用 SIFT 算法找到待拼接的图像的特征点, 再利用最近邻

算法求得匹配点和匹配区域。

(2) 对待拼接的两幅图像进行 NSCT 变换, 得到不同尺度不同方向上的变换系数。

(3) 对上述得到的变换系数对应地进行拼接, 得到多个分量的拼接结果。

(4) 最后利用重构算法将拼接的各频带进行逆 NSCT 变换得到拼接图像。

(5) 针对光照或者数码相机白平衡问题导致的拼接图像明暗差异, 利用二维直方图 B 样条曲面拟合法对得到的拼接图进行后处理。

2.1 匹配点的寻找

图像匹配技术已经被广泛用于各种领域, 这里首先利用变比不变特征点 (Scale Invariance Feature Transform - SIFT) 提取方法提取特征点, SIFT 算法^[12]的提取过程可以由 4 个步骤组成: 求取缩放空间中的极值点作为候选特征点、稳定特征点的确定、特征点方向确定、特征点描述符的确定。经过以上 4 个步骤后, 一幅图像的稳定的特征点就可以被提取出。

提取出稳定的特征点后, 采用最近邻算法进行匹配, 基本思想是采用样本特征点的最近邻特征点距离与次近邻特征点距离的比值来对特征点进行匹配。其中, 最近邻特征点指与样本特征点的欧几里德距离最短的特征点, 次近邻特征点指欧几里德距离比最近邻距离稍微长的特征点。找到匹配点后, 匹配区域即可得出。

2.2 基于 NSCT 的图像拼接

利用 NSPFB 和 NSDFB 对待拼接的两幅图像进行多尺度、多方向的分解, 分解成为与源图像尺寸大小相同的低频和多个高频子带图像。对两幅图像各对应的子带图像进行拼接, 最后进行重构。

设两幅待拼接的图像为 A 和 B , 对两幅图像进行 I 级 NSCT 变换, 可以得到低频和高频子带图像。其中低频对应图像的平滑部分, 高频对应图像的边缘部分。高低频系数分别为: $\{c_{A,I}, d_{A,i,n}^I\}$ 和 $\{c_{B,I}, d_{B,i,n}^I\}$, 其中, $c_{X,I}$ 为图像 X 分解 I 层的低频系数, $d_{X,i,n}^I$ 为图像 X 第 n 方向的高频系数, I_i 为第 i 层分解的方向数 ($X =$

$A, B; i = 1, 2, \dots, l_i; n = 1, 2, \dots, l_i$)。假设待拼接的图像经过 NSCT 分解成 2 级 4 个方向, 那么将得到 1 个低频子带图像和 8 个高频子带图像。然后对每个对应的分量进行拼接, 得到多个分量的拼接图, 最后利用重构算法得到最终的拼接图。

2.3 基于二维直方图的光斑消除

由于数码相机设置的自动白平衡和拍摄光线的明暗差异等原因会造成最后得到的拼接图像中出现众多光斑, 图像明暗不一致。传统的颜色校正方法大多需要目标图, 但是图像拼接技术一般没有目标图可以利用, 所以这里可以采用二维直方图的 B 样条曲面拟合方法。二维直方图不需要考虑像素的位置, 相比于一维直方图利用到图像的信息也更多。假设图像的大小为 $M \times N$, 该算法基本思想是: 先将彩色图片从 RGB 模式转化为 HSV 模式, 作出源图片的二维直方图, 其中, x, y 轴分别是图像的坐标信息, z 轴是 V (亮度), 再对源图片的二维直方图作 B 样条曲面拟合, B 样条曲面拟合的公式为:

$$P(X, Y) = \sum_{i=0}^m \sum_{j=0}^n D_{i,j} N_{i,k}(X) N_{j,k}(Y) \quad (3)$$

其中, X 和 Y 是两节点矢量, k 为样条次数, 系数 $D_{i,j}$ 可以由最小二乘法求得, 控制点集合为 $(m+1) \times (n+1)$ 。再对源图像的二维直方图作 B 样条曲面拟合后, 得出拟合前后的二维直方图中第三维量 (V) 的变化量 Δ , 变化量 Δ 可以返回到源图片中去, V (亮度) 得到改变, 得出一幅新的图片。

相比于传统的颜色校正方法文中方法有多个优点: 不需要目标图; B 样条曲面具有良好的灵活性; 由于二维直方图所描述的是不同量在整幅图像中所占的比例, 跟空间位置无关, 应用在全景图像拼接时, 此方法更加的简洁。实验表明, 利用 HSV 模式中的 V 通道作为二维直方图的第三维量, 比

H、S 通道和 RGB 模式中三通道中的任一通道效果都好一些。

3 实验结果及分析

如图 4 所示, 选择两幅在室外拍摄的具有重叠区域的图像, 利用 SIFT 算法求得两幅待拼接图像的特征点并进行特征点匹配, 再利用匹配的特征点求出两幅待拼接图像的映射关系, 最后得出重叠区域。利用文中介绍的新算法得到的结果图如图 5 所示, 基于非下采样小波域的方法得出的结果图如图 6 所示, 由两幅对比图可以看出, 非下采样 Contourlet 方法得出的结果图更加自然, 细节更加清晰, 过渡更加光滑。其中, 下面黑色区域部分是由于旋转造成的。

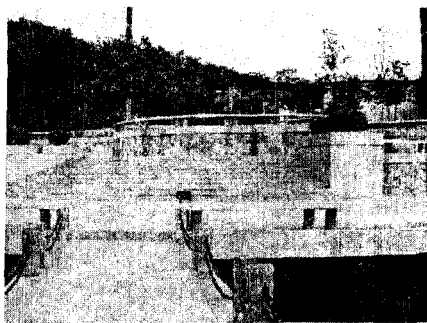


图 4 待拼接的两幅图

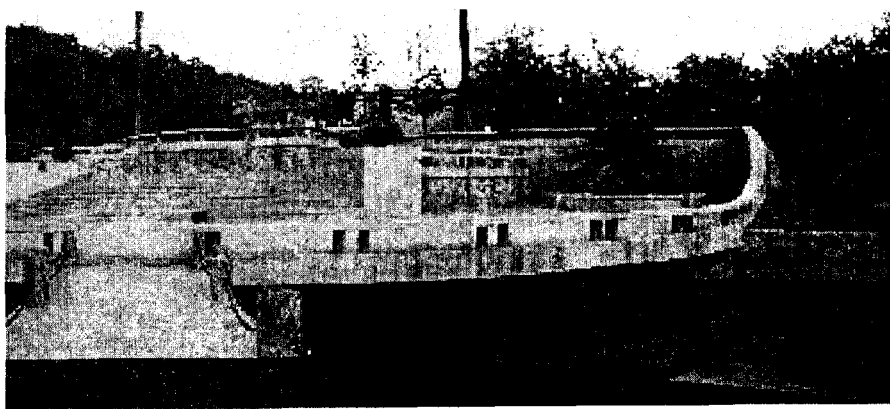


图 5 非下采样 Contourlet 拼接结果

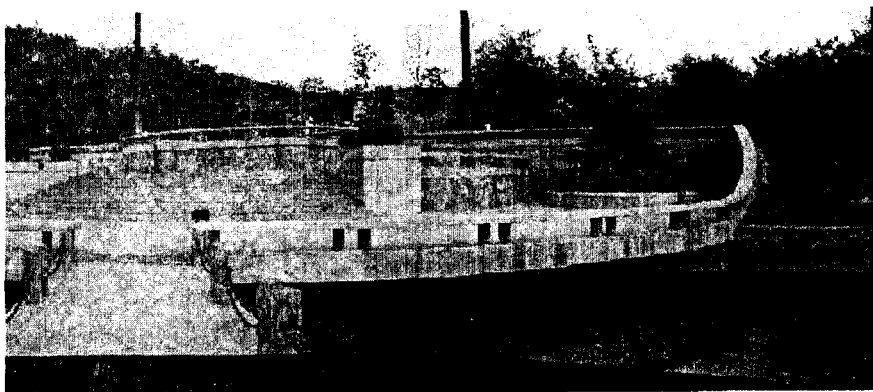


图 6 非下采样小波域拼接结果

4 结束语

Contourlet 变换相比于小波变换,具有更好的方向特性,能够更好地显示图像的几何特征,所以能为图像拼接提供更多的信息。但是由于在分解和重构过程中同时具有上、下采样过程,所以拼接过程不具有平移不变性。针对这一缺点,NSCT 方法应运而生,它利用 NSPFB 和 NSDFB 对图像进行多尺度、多方向分解,只具有上采样过程,具有平移不变性,得出的实验结果相比于非下采样小波方法,得到的结果图更加自然,细节信息更加清晰,过渡更加平滑。采用基于二维直方图的 B 样条曲面拟合的颜色校正方法在处理拼接图像明暗差异效果较好,相比于传统的颜色校正方法具有多个优点:不需要目标图;B 样条曲面具有良好的灵活性;二维直方图所描述的是不同量在整幅图像中所占的比例,跟空间位置无关,应用在全景图像的颜色校正时,此方法更加的简洁。

参考文献:

- [1] 蔡丽欢,廖英豪,郭东辉. 图像拼接方法及其关键技术研究[J]. 计算机技术与发展, 2008, 18(3): 1-4.
 - [2] Lucas B D, Kanade T. An iterative image registration technique with an application in stereo vision[C]//In: Seventh International Joint Conference on Artificial Intelligence (IJCAI-81). Vancouver: [s. n.], 1981: 674-679.
 - [3] 钟 力,胡晓峰. 重叠图像拼接算法[J]. 中国图像图形学报, 1998, 3(5): 367-370.
 - [4] 肖 甫,吴慧中,肖 亮,等. 基于静态小波分解和能量函数优化的图像拼接[J]. 光子学报, 2007, 36(4): 763-767.
 - [5] Burt P J, Adelson E H. The Laplacian pyramid as a compact image code[J]. IEEE Trans. Common, 1983, 4(31): 532-540.
 - [6] 郁 梅,易文娟,蒋刚毅. 基于 Contourlet 变换尺度间相关的图像去噪[J]. 光电工程, 2006, 33(6): 73-77.
 - [7] 李剑峰,高志荣,熊承义. 基于非下采样小波与方向上下文滤波的图像边缘检测[J]. 中南民族大学学报, 2008, 27(1): 68-70.
 - [8] 张 强,郭宝龙. 基于非采样 Contourlet 变换多传感器图像融合算法[J]. 自动化学报, 2008, 34(2): 135-140.
 - [9] 梁 栋,殷 兵,于 梅,等. 基于非抽样 Contourlet 变换的自适应阈值图像增强算法[J]. 电子学报, 2008, 36(3): 527-530.
 - [10] Zhou Jianping, Cunha A L, Do M N. Nonsubsampled contourlet transform: construction and application in enhancement [C]//Proc. of IEEE International Conference on Image Processing. Genoa, Italy: [s. n.], 2005: 469-472.
 - [11] 张 强,郭宝龙. 一种基于非采样 Contourlet 变换红外图像与可见光图像融合算法[J]. 红外与毫米波学报, 2007, 26(6): 476-480.
 - [12] 戚世贵,戚素娟. 一种基于图像特征点的图像匹配算法[J]. 理论与方法, 2008, 27(1): 3-4.
-
- (上接第 32 页)
- [7] 白 刚,王重钢,隆克平,等. 流控制传输协议 SCTP 及其性能分析与应用[J]. 北京邮电大学学报, 2001, 24(4): 63-66.
 - [8] Stewart R R. 流控制传输协议 SCTP 参考指南(影印版)[M]. 北京:清华大学出版社, 2003.
 - [9] 夏 云,孙力娟,叶晓国,等. SCTP 协议分析与仿真研究[J]. 计算机技术与发展, 2009, 19(11): 27-30.
 - [10] 李 健,陶 洋. 基于 SCTP 多归属主机特性的多路径传输算法研究[J]. 重庆邮电学院学报, 2005, 17(4): 1-4.
 - [11] 冉春玉,张广军,屈 力,等. 基于 SCTP 的客户/服务器的设计与实现[J]. 计算机技术与发展, 2007, 17(6): 127-130.
 - [12] NIST NET Emulator[EB/OL]. 2005-07. <http://snad.ncsl.nist.gov/nistnet/>.
-
- (上接第 36 页)
- [5] 王文义,梁青云,王若雨,等. Linux 集群系统并行应用程序监测技术的研究[J]. 郑州大学学报, 2005(2): 98-101.
 - [6] 王若雨. Linux 集群可视化监测技术方法研究[J]. 中原工学院学报, 2006(6): 9-11.
 - [7] 王勇超,张 景,王新卫,等. 基于 MPICH2 的高性能计算集群系统研究[J]. 计算机技术与发展, 2008, 18(9): 101-104.
 - [8] Talia D, Trunflo P. Toward a synergy between P2P and grids [J]. IEEE Internet Computing, 2003, 7(4): 94-95.
 - [9] 潘志华,张 涛. Linux 预取算法分析与研究[J]. 计算机技术与发展, 2009, 19(12): 93-96.
 - [10] 魏 晓,胡金初. 基于 Linux 系统的分布式网络管理系统[J]. 计算机技术与发展, 2007, 17(6): 60-63.
 - [11] 蔡志明,卢传富,李立夏. 精通 Qt4 编程[M]. 北京:电子工业出版社, 2008.
 - [12] Devine, Boman K D, Erik G, et al. New Challenges in Dynamic Load Balancing[J]. Applied Numerical Mathematics, 2005, 52(2): 133-152.
 - [13] Buyya R, Cortes T, Jin Hai. Single System Image[J]. The International Journal of High Performance Computing Applications, 2001, 15(2): 124-135.