

Bandelet 变换原理及应用研究

杨思燕

(陕西广播电视大学 计算机与信息管理学系, 陕西 西安 710119)

摘要:近年来,多尺度几何分析在统计分析、模式识别、信号处理、数字图像处理等领域中应用广泛。作为自适应多尺度几何分析的一种新方法,Bandelet 变换侧重于图像边缘的表示和处理,对于图像中的几何正则方向具有较强的自适应跟踪能力,由于 Bandelet 变换能提供对图像的最稀疏表示,能够用比别的基函数更少的非零系数来达到同样的逼近效果,特别是对几何特征明显的图像更具优势。文中详细介绍了 Bandelet 变换的提出、基本原理和方法等技术实现细节,探讨和和分析了 Bandelet 变换在数字图像的压缩、融合、去噪和分割等诸多方面的应用,并探讨了 Bandelet 变换技术的应用发展趋势。

关键词:多尺度几何分析;小波变换;Bandelet 变换;去噪;压缩

中图分类号:TP39

文献标识码:A

文章编号:1673-629X(2013)07-0233-05

doi:10.3969/j.issn.1673-629X.2013.07.060

Research on Principle and Application of Bandelet

YANG Si-yan

(Department of Computer and Information Management, Shaanxi Radio & TV University, Xi'an 710119, China)

Abstract:In recent years, multi-scale geometric analysis (MGA) has been widely used for research and applications in statistical analysis, pattern recognition, signal processing and digital image processing, etc. As an adaptive MGA method, Bandelet transform can track geometrical regularity of image structure adaptively and represent sharp image transition. Being able to provide the sparsest representation, Bandelet could use less nonzero coefficients to reach the same identification effect as other basic functions, especially more superior in image with significant geometric features. Introduced the development and principles of Bandelet transform in detail, and further researched the application in image smoothing, compression, segmentation and fusion. Finally trend in development were also pointed out.

Key words:MGA; wavelet transform; Bandelet transform; denoising; compression

0 引言

多尺度集合分析(Multiscale Geometric Analysis, MGA)近年来在信号处理、数学分析、计算机视觉和模式识别等学科和领域应用广泛,发展迅速。高维空间中数据和信号的表示、检测、处理,是多尺度几何分析技术研究的主要目的。实际上,高维空间数据的主要特征,基本是集中在它们的低维子集中。例如,在二维数字图像中,它的基本特征信息一般由边缘所刻画和描述;但是在三维图像数据中,基本的特征信息一般体现为大量的丝状物、管状物等。由于小波变换在高维信号处理时,不能充分利用数据所具有的一些几何特征,不是一种最优的稀疏表示方法,因此学者们逐渐提出了各种各样的多尺度几何分析的新方法,例如单尺

度脊波变换、曲波变换、脊波变换、轮廓波变换、Surfacelet 变换和 Bandelet 变换等。

在数字图像处理中,图像的几何正则性是非常重要的特性,若能够提前预测并充分利用,就能够大幅提高数字图像变换的逼近性能,因此, E. Pennec 和 Stephane Mallat 提出了第一代 Bandelet 变换^[1],该变换具有极强的图像边缘表示能力,对于图像中的几何正则方向具有较强的自适应跟踪能力。2005年, Peyre 和 Mallat 提出了第二代 Bandelet 变换的思想和几何图像压缩的实现方案^[2]。

文中详细介绍了 Bandelet 变换的基本原理,研究总结了 Bandelet 的应用领域,探讨了 Bandelet 变换存在的问题和发展趋势。

收稿日期:2012-08-24

修回日期:2012-12-30

网络出版时间:2013-04-08

基金项目:国家自然科学基金资助项目(61072109, 61272280);中央高校基本科研业务费(K5051203001);西安市科技局计划(CXY1133(1), CXY1119(6))

作者简介:杨思燕(1976-),女,讲师,主要研究领域为智能图像处理与模式识别、嵌入式软件设计。

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/61.1450.TP.20130408.1631.045.html>

1 Bandedet 变换的发展及其原理

首先, Bandedet 变换定义了一种几何矢量线, 用于表征图像的局部正则方向, 采用二进剖分的方法对图像的支撑区间 S 逐步细化剖分, $S = \cup \Omega_i$; 当足够细地剖分时, 每一个小的剖分区间 Q 中最多仅仅包含了图像中的某一条轮廓线。但是, 不包含任何轮廓线的区域 Q 中的灰度变化是一致正则的, 对这些局部区域内, 不需要定义任何几何矢量线; 包含一条轮廓线的局部区域 Q 内, 其几何正则的方向就是该轮廓线的切线方向, 把包含了该轮廓线的子区域, 标记为水平和垂直区域。在全局最优的约束下, 根据得到的局部几何正则方向, 可计算出局部区域 Ω_i 上的矢量场 $\tau(x_1, x_2)$ 上的局部矢量流。然后, 可以用区间小波沿矢量流对 Bandedet 块进行 Bandedet 化处理, 生成所需要的 Bandedet 基。通过这种处理, 可以充分利用图像自身的局部几何正则特性, 而全部剖分区域上的 Bandedet 基的集合构成了 $L^2(S)$ 上的一组标准正交基。

1.1 几何方向的规则性

在几何方向上, 假设图像方程是规则的, 则对于这种几何正则图像, 图像沿平行于边缘线方向的变化是正则的, 而沿垂直于边缘线方向则变化剧烈。图像中的几何流, 一般是指定义在图像的支撑区域上的向量场 $\tau(x_1, x_2)$, 用于描述每一点正则变化的方向。对平行于边缘线方向, 可以用几何流来刻画。

Bandedet 变换的首要目的就是要充分利用图像的沿几何流的正则性。边缘线附近, 几何流一般平行于边缘线的切线方向, 而对于几何正则图像, 局部范围内几何流一般是平行的。图 1 是平行于边缘线方向上的几何流示意图, 图中的箭头代表该点的几何流方向。

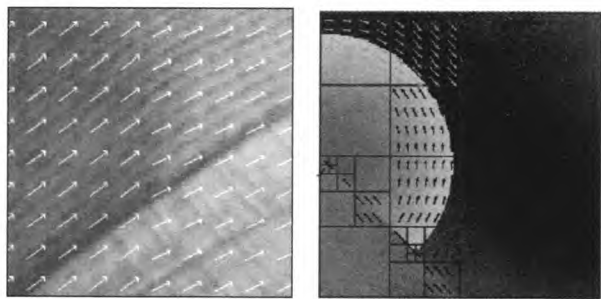


图 1 平行于边缘线方向上的几何流示意图

1.2 四叉树结构的构建

Bandedet 基是 Bandedet 变换的核心, 为了构建 Bandedet 基, 首先建立四叉树结构, 以便于寻找图像的几何方向。

1.2.1 对四叉树结构的预先分割处理

可以先对原图像进行二维双正交离散小波变换, 然后再对变换后的多尺度分解系数图, 进行进一步的处理。假定原图像为 $f(x, y)$, 那么 $f(x, y)$ 的二维小

波变换为:

$$\langle f, \psi_{j,m}^s \rangle = f * \psi_{j,m}^s(m_1 2^j, m_2 2^j) (j \in z, m_1 m_2 \in z^2, s \in \{H, V, D\})$$

$$\begin{cases} \varphi_{j,m}(x) = \varphi_{j,m_1}(x_1) \varphi_{j,m_2}(x_2) \\ \psi_{j,m}^V(x) = \psi_{j,m_1}(x_1) \varphi_{j,m_2}(x_2) \\ \psi_{j,m}^D(x) = \psi_{j,m_1}(x_1) \psi_{j,m_2}(x_2) \\ \psi_{j,m}^H(x) = \varphi_{j,m_1}(x_1) \psi_{j,m_2}(x_2) \end{cases} \quad (1)$$

其中 $\varphi_{j,m}(x)$ 表示粗略逼近 $\psi_{j,m}^H(x), \psi_{j,m}^V(x), \psi_{j,m}^D(x)$, 它们分别是水平、垂直和对角方向子带的高频信息, 而尺度函数 $\psi(t)$ 和小波函数 $\varphi(t)$ 的伸缩和平移分别为:

$$\begin{aligned} \psi_{j,m}(t) &= 2^{-j/2} \psi(2^{-j}t - k) \\ \varphi_{j,m}(t) &= 2^{-j/2} \varphi(2^{-j}t - k) \end{aligned} \quad (2)$$

对变换所得多尺度图像 f_j^s , 除了低频部分外, 每个尺度下有三个方向的变换稀疏, 进一步用二进四叉树剖分的方法对每个方向的变换系数进行处理。二进分割时, 先将子带等分成四个小子带, 然后, 对每一个小子带, 在下一层的分割中, 再次分割成四个更小的子带, 直到达到预设的最小尺度 J_{\min} 就停止分解, 最终分割结果, 就是所要的四叉树结构^[3]。

1.2.2 计算每个子带的最佳几何流

最佳几何流是从最小尺度子带开始自下而上进行计算和处理, 基本流程如图 2 所示。

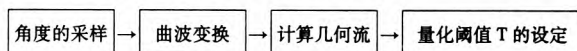


图 2 最佳几何流计算流程

(1) 对角度进行采样。角度采样是计算几何流的第一步, 设所要处理的子带大小是 $L * L$, 则将圆周角 $[0, \pi)$ 等角度离散化为 $L^2 - 1$ 个, 可能的取值为:

$$\theta = \frac{k\pi}{L^2 - 1}, k = 0, 1, \dots, L^2 - 2 \quad (3)$$

对于无几何流的情形, 标记为 Inf, 则总共获取了 L^2 个采样角度即: (θ, Inf) 。

(2) 曲波变换。设子带大小为 $L * L$, 则可以构造一个 $L * L$ 大小的网格, 利用式(4)计算在采样角度上逐个网格点的正交投影误差:

$$t = -\sin(\theta) * x(i) + \cos(\theta) * y(j) \quad (4)$$

式(4)中, $x(i), y(j)$ 分别是所构造的网格点的坐标; θ 是式(3)所得的采样角度。网格点根据误差值大小, 对网格点进行从小到大排列, 构造成一个一维数组, 根据网格点的位置, 找出对应位置的子带系数, 对子带系数再进行一次一维 Wavelet 变换, 即实现了曲波变换。

(3) 用最小化 Lagrangian 系数计算几何流。设用 R_b 表示进行量化后, Bandedet 系数编码所需的比特数。

量化公式 $Q(x)$ 为:

$$Q(x) = \begin{cases} 0, & |x| \leq T \\ \text{sgn}(x)(q + 1/2)T, & qT \leq |x| < (q + 1)T \end{cases} \quad (5)$$

其中, T 是设定的量化阈值, 一般是根据经验事先设定; R_g 代表几何流编码的比特数。Lagrangian 系数如式(6)所示。

$$L(f_\theta, R) = ||f_\theta - \hat{f}_\theta|| + \lambda T^2 (R_g + R_b) \quad (6)$$

可以使用最小化 Lagrangian 系数计算几何流, 式(6)中, λ 是 Lagrange 乘子(文中取 $\lambda = 3/28$), \hat{f}_θ 表示重构出的一维信号, 是第(2)步中所得的一维小波系数, 采用量化公式(5)量化后的结果。

1.2.3 对所构建的四叉树进行处理和优化

Bandedet 变换计算复杂度较高, 为了减少数据开销、简化算法, 通过自底向上的优化算法对预分割中相似几何流特征的相邻小子带进行合并处理, 经过优化处理后的四叉树, 基本代表了图像处理的结果。设最底层的小方块的宽度为 4 像素, 即尺寸为 4×4 。算法流程如图 3 所示。

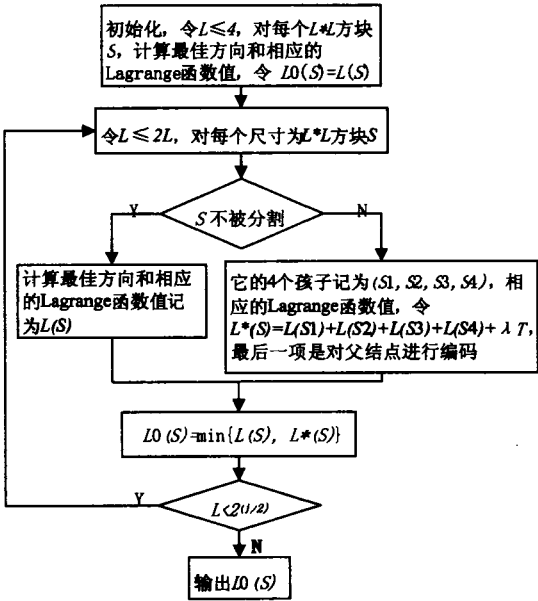


图 3 四叉树优化流程

四叉树的每一个叶子节点, 对应于一个小子带(小方块), 这就是 Bandedet 化的最小子区域, 称为 Bandedet 块, 也是编码的基本单元。经过图 3 的优化流程后的最终优化四叉树如图 4 所示。

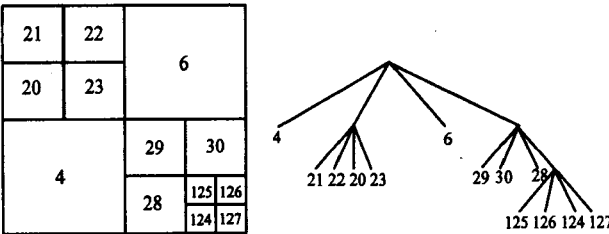


图 4 图像二进制分割示意图

1.3 Bandedet 化

Bandedet 化的过程, 就是对 Bandedet 块内存储的二维小波系数, 沿着最佳几何流方向 θ 进行重采样, 生成一维数据, 再用一维 Wavelet 变换对这些一维数据进行变换处理。通过沿最优几何流方向进行一维小波变换, 寻找到不连续的方向, 然后, 再沿着这些方向作小波变换。此外, 还可以采用沿着最优几何方向将二维信息投影为一维信息的方法, 将二维的线奇异转换为点奇异。

1.4 Bandedet 变换的基本算法流程

Bandedet 变换的算法原理的基本流程有:

- 1) 输入需要处理的图像;
- 2) 根据经验, 设定量化阈值 T ;
- 3) 用双正交小波变换方法对输入图像进行小波变换处理;
- 4) 针对小波变换处理后的各个子带, 分别进行四叉树分割, 并计算各分割区域中的最佳几何流方向;
- 5) 针对得到的各个 Bandedet 块, 也就是 Bandedet 子带, 分别进行 Bandedet 化处理, 并存储各自的 Bandedet 系数;
- 6) 将所得到的 Bandedet 系数按 Bandedet 变换的基本原则和方式排列成相应矩阵的形式;
- 7) 所得四叉树结构、最佳几何流方向和各 Bandedet 系数就是处理的最终结果。

2 Bandedet 变换的应用研究

虽然提出的时间不长, 但由于 Bandedet 变换能提供对图像的最稀疏表示, 能够用比别的基函数更少的非零系数来达到同样的逼近效果, 特别是对几何特征明显的图像更具优势, 因此引起国内外学者广泛的研究兴趣。目前国内外已经有一些学者对 Bandedet 的应用做了研究, 说明 Bandedet 变换具有广泛的适用性。

2.1 图像去噪

基于第一代 Bandedet 的阈值去噪方法是 Pennec 于 2000 年提出的, 2005 年他们又在 SIAM 上发表论文, 提出了利用 Bandedet 变换自适应地寻找图像的最优逼近, 并且结合图像去噪和压缩的实验结果, 给出快速离散算法。2008 年, G. Peyré 和 S. Mallat 提出几何图像逼近的正交 Bandedets 基^[3], 直至今在国外对 Bandedet 变换的研究人员中, E. Le Pennec、S. Mallat、G. Peyré、和 Ch. Dossal 是 Bandedet 应用推广的先驱, 他们的大部分文献都对 Bandedet 变换原理做详细介绍, 而只做阈值去噪和简易压缩来实验, 并与小波变换进行对比。

杨晓慧等人在《电子学报》上提出了基于 Bandedet 变换的图像去噪算法。文献[4]中提出一种基于第二

代 Bandelet 并结合多层阈值和自适应 Wiener 滤波的图像去噪方法。朱志诚等人于 2006 年提出了一种具有平移不变性的阈值去噪算法,即结合平稳小波与 Bandelet 变换做图像去噪。龙奕等人提出了一种能克服噪声影响、准确寻找基方向的自适应基的构造方法,旨在构造具有抗噪性能的自适应 Bandelet 基。

还有一些应用结合了多尺度几何分析中不同的工具,如宋蓓蓓等提出一种新型 Contourlet 变换取代第二代 Bandelet 变换中的二维小波变换^[6],获得了一种新的图像变换方法——CBlet 变换。其基本思想是用新型 Contourlet 捕获图像边缘的几何结构,Bandelet 化过程自适应地搜索到最佳的几何结构并去除它们的相关性,以获得更稀疏的图像表示。

文献[6]提出一种基于复 Bandelets 的自适应 SAR 图像相干斑抑制方法,对 SAR 图像统计特性,构建具有良好的平移不变性、方向选择性和自适应近似最优匹配性能的复 Bandelet 基函数,该算法基于全变差构建复 Bandelet 寻优的目标函数;采用广义交叉验证准则,在不需要估计噪声方差的情况下,自适应获取各个分解层的渐进最优阈值。

2.2 图像压缩

第二代 Bandelet 变换是从寻求图像压缩更优方法中逐渐展开。2005 年, Mallat 和 Peyre 给出了基于第二代 Bandelet 变换的图像压缩编码算法^[2],率先给出了一种有效表示图像几何方向的方法,并应用于图像压缩和去噪中,还给出了 Bandelet 变换的快速离散算法。在该算法中,设定 Bandelet 变换的输出结果,主要有构造的四叉树结构、每一个 Bandelet 块的最优化几何流方向和 Bandelet 的系数三个方面。最终编码所需要比特数 R 可表示为:

$$R = R_t + R_g + R_s$$

其中, R_t 是用于编码四叉树:对得到的四叉树的节点进行广度优先搜索,四叉树根节点代表的区域将被分成 4 块,用二进制的符号 1 编码;各个 Bandelet 块在四叉树中用叶节点来表示,用符号 0 编码, R_t 是所有叶子节点的数目; R_g 是用于编码最佳几何流:按(3)式的圆周角离散方式,对尺寸为 L 的小方块的几何流的编码长度大约为 $2\log_2(L)$ 比特,算法中针对不同大小的 Bandelet 块采用不同的码长进行几何流编码,编码效率得到了较大提高; R_s 是用于编码量化后的 Bandelet 系数,使用自适应算术编码进行编码,而对几何流采用等长编码。

Shigao Li 等提出了一种结合 JPEG2000 和 Bandelet 变换的图像压缩方法^[7],通过对图像先进行 Bandelet 变换,然后将 Bandelet 系数再进行 JPEG2000 压缩,达到压缩图像的目的。

最近两年来,国内也对 Bandelet 变换在图像压缩作出了一些研究,并且取得了一些成果。例如孙文方等提出了一种基于 Contourlet 和 Bandelet 变换的图像压缩方案^[8],结合两种变换各自的特点对图像进行压缩处理。张岩等提出了一种将 Bandelets 与 Wavelet 变换相融合,并结合感兴趣区域的图像压缩方法,利用 Bandelet 和小波互补压缩方法,在低比特情况下能够较好地保留图像的边缘信息和纹理细节,从而使图像的整体视觉质量得到提高。而文献[9]也提出了联合二代 Bandelet 和 Wavelet 对图像进行分层压缩的方法。对图像的结构分量和纹理分量分别进行小波变换和 Bandelet 变换,优化压缩结果。

2.3 图像纹理分割

第二代 Bandelet 变换中可以通过二维小波多尺度变换来获得图像的各个频率子带的信息,然后使用最优四叉树分解方法,得到每层上每个方向的所有剖分子块中的一个最优方向。将这个最优方向和小波分解的频率信息作为分类特征,对各个像素点进行分类,得到最终分割结果。

侯彪,焦李成等提出基于第二代 Bandelet 域隐马尔可夫树模型的图像分割^[10],文中采用隐马尔可夫树 (Hidden Markov Tree, HMT) 模型对图像的第二代 Bandelet 系数建模,通过多尺度参数训练和基于上下文的最大后验概率进行图像分割。

文献[11]提出一种基于第二代 bandelet 变换的纹理图像分割方法,将 Bandelet 变换后图像的最优方向和小波分解的子带频率信息共同作为分类特征,分别结合 K 均值和 FCM 两种聚类方法对各个像素点进行分类,实现图像分割。

2.4 其他应用

文献[12]提出了一种基于 Bandelet 变换并无需对图像数据做修改的全频率无损数字水印实现方法。首先对图像实施小波变换,变换后的中高频部分采用 Bandelet 跟踪图像几何流,将纹理和边缘作为图像的特征从而构造出图像高频无损水印参数。对于小波变换的低频部分,通过选取最优的矩阵范数,得到低频系数水印参数生成方案,达到提取图像统计和边缘特征的目的,对图像实现全面保护。

文献[13]针对手背静脉识别问题,采用 Bandelet 变换的方法对静脉图像提取特征点,使用提取出的特征点构造了表征静脉纹理特征的特征向量,通过计算待识别样本特征向量与目标样本特征向量的相关系数得出其相似度。

文献[14]将 Bandelet 变换应用于图像融合,结合变换后图像高稀疏表示的特点,对几何流与 Bandelet 系数分别进行融合运算,再经逆变换得到融合图像,将

Bandedet 变换引入图像融合领域。

3 存在的问题和进一步的研究方向

Bandedet 变换是图像表示的一种新兴工具,它能够稀疏地表示图像的几何结构信息,因此在大多数图像处理中,具有良好的应用前景。目前国内外对 Bandedet 的研究还处于理论研究和应用的初级阶段,因此,有待对 Bandedet 在图像处理方面的应用做进一步深入的研究。Bandedet 能够自适应地跟踪图像的几何方向,它在图像方向分析领域有很好的发展潜力。

3.1 许多理论和技术问题亟待解决

目前,国内外有关 Bandedet 的研究还不够系统和深入,有许多理论和技术问题亟待解决。主要包括三个方面。

(1) 图像模型方面。

Bandedet 变换所采用的是一个自然图像的简化模型,用于表示几何正则图像模型。目前,大多数的 MGA 方法,都采用这样一个模型来作为分析的对象。但是,真实的自然图像,如多纹理的图像、遥感图像等,要比几何正则图像的模型复杂的多。因此,深入研究更好的图像表示模型,对于多尺度几何分析方法的研究极其重要。

(2) 自适应几何多尺度表示方法存在的问题。

Bandedet 变换是一种自适应的 MGA 方法,与其他自适应 MGA 表示方法一样,从本质上是图像的一种表述方法和某种边缘检测方法的结合体。实际上,使用的自然图像中,有一些灰度突变情况,并不总代表着图像中目标的边缘信息。例如,衍射效应使得物体的真实边缘可能并不能真正表现为灰度突变,可能根本看不出来;在有些情况下,图像的灰度变化程度较大,可能是由于图像的纹理信息引起的,而并非是由物体的边缘信息。因此,所有基于边缘的自适应方法需要解决的一个共同问题就是:如何自适应地判定自然图像中灰度变化剧烈的区域应该是图像的纹理信息还是物体的边缘信息,这是一个较为困难的问题。

(3) Bandedet 的计算复杂性问题。

虽然二代 Bandedet 变换比一代计算复杂性降低了很多,但是,与小波变换相比,其计算复杂度仍然高的多。Bandedet 变换是以增加计算复杂度为代价换来对图像压缩质量的提高的,因而无法与 JPEG-2000 媲美。

3.2 未来的研究工作

针对现阶段已经做的工作,可进一步研究的工作和未来可能的发展方向有:

(1) Bandedet 并非对所有图像的处理效果都是最好的。根据 Bandedet 理论和算法,它最适于处理分片

光滑和几何特征明显的图片。而对于纹理信息过于复杂的图像,其效果与小波变换比较并无太大改进,这也是以后需要进一步研究的问题。

(2) Bandedet 变换是一种新提出的 MGA 处理方法,虽然它具有较多优异的特性,但是,它本身也仍然存在一些问题,需要进一步深入研究。因此,可以从 Bandedet 变换的基本原理出发,结合具体的图像处理的应用需求,作一些新的改进和提升,使它在图像处理领域能够有更广泛的推广。

(3) 二代 Bandedet 变换中,采用穷举串行搜索方法进行最优几何方向的查找,计算复杂度较高,这是一个比较严重的问题。如何与别的工具结合,来进行更广泛地应用,值得深入研究。

(4) 将 Bandedet 更广泛地应用于其他的图像处理应用中,如图像增强、图像融合等,这方面的研究还处于初步阶段,可做进一步的深入研究。

4 结束语

充分利用 Bandedet 变换的优势,Bandedet 变换在图像处理领域必将得到越来越多的应用,这一切,都值得深入研究,充分利用其优势,使其迅速发展。

参考文献:

- [1] Penne E L, Mallat S. Image compression with geometrical wavelets[C]//Proceedings of IEEE Conference on Image Processing (ICIP'00). Vancouver, Canada: [s. n.], 2000: 661-664.
- [2] Penne E L, Mallat S. Bandedet Image Approximation and Compression[J]. SIAM Journal of Multiscale Modeling and Simulation, 2005, 4(3): 992-1036.
- [3] Peyré G, Mallat S. Orthogonal bandlets bases for geometric images approximation[J]. Communications on Pure and Applied Mathematics, 2008, 61(9): 1173-1212.
- [4] 杨晓慧, 焦李成, 李伟. 基于第二代 Bandedets 的图像去噪[J]. 电子学报, 2006, 34(11): 2063-2067.
- [5] 宋蓓蓓, 许录平, 孙文方. 一种新型图像变换方法在图像去噪中的应用[J]. 仪器仪表学报, 2008, 29(7): 1455-1459.
- [6] 杨晓慧, 焦李成, 李登峰. 基于复 Bandedets 的自适应 SAR 图像相干斑抑制[J]. 电子学报, 2009, 37(9): 1880-1884.
- [7] Li Shigao, Yang Ran, Qin Qianqing. Improvement of JPEG 2000 in Retaining Texture via Bandedet[C]//Proc of International Conference on Computer Science and Software Engineering. Wuhan, China: [s. n.], 2008: 952-955.
- [8] 孙文方, 宋蓓蓓, 赵亦工. 联合 contourlet 和 Bandedet 的变换在图像压缩中的应用[J]. 西安电子科技大学学报(自然科学版), 2007, 34(4): 611-615.
- [9] 张军, 廉茜, 黄英君, 等. 联合二代 bandedet 和 wavelet

(下转第 241 页)

的空洞^[13],在一定程度上提高了 RAIM 算法的性能。所以 GPS+BD 式组合导航的故障识别能力要优于单系统导航故障识别能力。同时卫星的屏蔽角的限值设定为 8°和 15°。设置误差告警的限值为 556m。误警率 P_{FA} 设定 0.002/h,漏警率 P_{miss} 设定为 0.001。由表 1 可以看出 GPS+BD 式导航 RAIM 算法可以提高 RAIM 的可用率,达到单系统无法实现的 RAIM 可用率。GPS+BD 式下 RAIM 的可用率完好性可达到 100%。

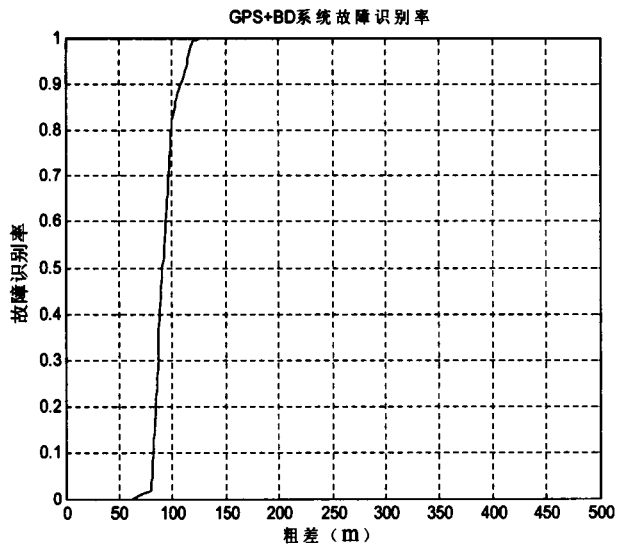


图 4 GPS+北斗组合故障识别率

表 1 完好性可用率表(%)

遮蔽角	GPS 单系统	北斗单系统	GPS/北斗组合
8°	100	54.64	100
15°	86.37	44.39	100

4 结束语

卫星接收机自主完好性监测技术的关键是故障检测和故障识别。文中通过假设某时刻若有一颗卫星出现故障的情况下,利用 GPS 和 BD 组合接收机使用加权方法进行自主完好性监测。并通过仿真 GPS、BD 单

模式和 GPS+BD 模式下的故障识别率和 RAIM 完好性可用率,进一步证明了 GPS+BD 双模式 RAIM 算法是优于任何一种单系统模式的 RAIM 算法。

参考文献:

[1] 陈小平,滕云龙,徐红兵.接收机时钟辅助 RAIM 算法研究[J].宇航学报,2009,30(1):271-275.

[2] Parkinson B W,Spilker J J. Global position system:theory and applications, volume II [M]. American: American Institute of Aeronautics and Astronautics, Inc. ,1996.

[3] 孙淑光. GPS 接收机自主完整性监视(RAIM)的最小二乘法研究[J].测控技术,2004,23(z1):242-243.

[4] Chey J, Lee J G. Fault Detection and Isolation Using Satellite Geometry in RAIM[C]//Proc of the ION GPS/GNSS. Portland:[s. n.],2003.

[5] Zhang Qiang, Zhang Xiaolin, Chang Xiaoming. Research on RAIM Algorithm under the Assumption of Simultaneous Multiple Satellites Failure[C]//Proc of Eighth ACIS International Conference on Software Engineering, Artificial Intelligence, Networking, and Parallel/Distributed Computing. [s. l.]:[s. n.],2007.

[6] 盛 骤,谢式千,潘承毅. 概率论和数理统计[M]. 北京:高等教育出版社,2010.

[7] 韩曜旭,赵铁成,梁 振,等. GPS 接收机 RAIM 方法比较[J]. 科技创新导报,2011(8):134-134.

[8] 李 飞,段哲民,龚 诚,等. GNSS 接收机自主完好性监测算法研究[J]. 测绘通报,2007(8):14-15.

[9] 解 楠. 高动态卫星定位接收机技术研究[J]. 中国工程物理研究院科技年报,2010(1):115-117.

[10] 徐伯健,符京杨,敬必刚,等. 双模导航接收机时间系统一致性研究[J]. 无线电工程,2010,40(6):51-53.

[11] 高瑞乾. 卫星导航接收机自主完好性监测可用性判断方法研究[J]. 科教前哨,2012(5):38-40.

[12] 任 锴,杨 力. GPS 和 GLONASS 系统下 RAIM 空洞预报[J]. 全球定位系统,2009(4):25-29.

(上接第 237 页)

对图像进行分层压缩[J]. 国防科技大学学报,2007,29(5):54-59.

[10] 侯 彪,徐 谦,刘 凤,等. 基于第二代 Bandelet 域隐马尔可夫树模型的图像分割[J]. 自动化学报,2009,35(5):498-504.


[11] 金 光. 基于第二代 bandelet 变换的纹理图像分割[D]. 成都:西南交通大学,2008.

[12] 杨岳湘,罗 永,叶昭晖,等. 基于 bandelet 与自适应矩阵范数的全频率无损水印方法[J]. 计算机研究与发展,2007,44(12):1996-2003.

[13] 李铁钢,马驷良,张忠波,等. 基于 bandelet 变换的手背静脉识别算法[J]. 吉林大学学报(理学版),2007,45(6):975-978.

[14] Qu Xiaobo, Yan Jingwen, Xie Guofu, et al. A novel image fusion algorithm based on bandelet transform[J]. Chinese Optics Letters,2007,5(10):569-572.

Bandelet变换原理及应用研究

作者: 杨思燕, [YANG Si-yan](#)
作者单位: [陕西广播电视大学计算机与信息管理学系, 陕西西安, 710119](#)
刊名: [计算机技术与发展](#) 
英文刊名: [Computer Technology and Development](#)
年, 卷(期): 2013, 23(7)

本文链接: http://d.wanfangdata.com.cn/Periodical_wjfz201307060.aspx