

基于小波和维纳图像复原的像移补偿方法

Image motion compensation using image restoration based on wavelet and Wiener filtering

(1.中国科学院长春光学精密机械与物理研究所;2.中国科学院研究生院) 刘广建^{1,2} 贾平¹
LIU Guang-jian JIA Ping

摘要: 提出一种基于小波变换和维纳滤波相结合的图像复原方法,有效地消除了航空成像系统的像移模糊。该算法先在小波变换的基础上对各个子频段的小波系数进行维纳滤波,以达到更好的消除模糊的目的。然后对维纳滤波后的图像进行小波逆变换,得到复原图像。经实验验证该算法对因前向像移造成的图像模糊有比较好的复原效果。

关键词: 图像复原; 像移模糊; 小波变换; 维纳滤波; 小波逆变换

中图分类号: TP391.4

文献标识码: A

Abstract: An image restoration algorithm based on wavelet and Wiener filtering is proposed, which effectively removed image blur for aerial image. Firstly the Wiener filtering was utilized in the wavelet coefficient after wavelet transform to remove image blur effectively. Then inverse wavelet transform was used to get restoration image. The simulation results show that this algorithm is effective in removing the image blur caused by the forward image motion.

Key words: image restoration; motion-blurred; wavelet transform; Wiener filtering; inverse wavelet transform

1 引言

航空 CCD 相机在对目标成像时,由于飞行器的运动、振动和相机摆动等原因,在曝光时间内感光介质与被照物影像间存在相对运动而带来的成像模糊即为像移。像移按产生的原因不同可以分为前向像移、随机像移、振动像移、摆扫像移等。像移的存在极大的影响了成像质量,导致图像边缘模糊、灰度失真,对比度和分辨率均下降。为了获得更高精度、更加清晰的图像,必须要进行像移补偿。而经实验数据证明在影响航空成像的各种像移中,前向像移起了主导作用。所以如何消除由前向像移导致的图像模糊将是像移补偿方法研究的重点内容,而目前消除图像模糊最有效的方法是进行图像复原。本文首先对图像复原的相关知识做了简单介绍,然后对图像模糊过程进行了小波表示,在此基础上提出了一种基于小波变换和维纳滤波相结合的图像复原方法。实验结果表明该方法对模糊图像能有很好的复原效果,从而对航空前向像移进行了有效补偿。

2 图像复原概述

图像复原就是利用退化现象的某种先验知识(即退化模型)把已经退化了了的图像加以重建和复原,其目的是尽可能的减小或去除在获取数字图像过程中发生的图像质量下降以恢复退化图像的本来面目,因而图像复原技术就是建立退化的数学模型,然后采用相反的过程进行处理,以便复原出来原始图像。图像复原有别于图像增强,且两者之间在实现上存在着一定的矛盾,文献中给出了产生矛盾的本质原因。

由于图像退化原因的多样性,根据不同的退化模型和质量评价标准,将会导出多种复原方法。当退化仅仅是加性噪声时,空间处理即时域处理就可以了,而当是图像模糊一类的退化则较多的应用频域滤波方法来复原。

图像复原的方法按不同的分类方法种类很多,其中针对运动模糊图像的复原方法包括多帧融合处理图像复原、逆滤波和维纳滤波图像复原以及差分法复原运动模糊图像,其中维纳滤波的复原效果最好。

3 图像模糊过程的小波表示

有关小波理论的详细介绍可参阅文献。先介绍图像的小波表示法,具体推导过程可参考文献,最终表示结果为:

$$\begin{aligned} f(t) &\approx A_m f(t) \\ &= \sum_n \hat{f}_{m-1,n} \varphi_{m-1,n}(t) + \sum_n \hat{f}_{m-1,n} \psi_{m-1,n}(t) \\ &= A_{m-1} f(t) + B_{m-1} f(t) \end{aligned} \quad (1)$$

此处 B_{m-1} 是对应于 w_{m-1} 的逼近操作, $\hat{f}_{m-1,n}$ 是 $f(t)$ 和 $\psi_{m-1,n}$ 的内积。因为 $\varphi_{m-1,n}(t)$ 是一个低通滤波器, $\psi_{m-1,n}(t)$ 是一个高通滤波器,所以 $A_{m-1} f(t)$ 和 $B_{m-1} f(t)$ 分别为 $A_m f(t)$ 的低频和低频分量。

图像的退化过程可描述为 $V = TU + W$, 这里 U 是原始图像, V 是模糊图像, W 代表加性噪声, T 是任意的一个线性算子(退化过程),一般为时不变的。仅考虑能量有限的情况,

并且假设具有有限的分辨率,实际中大多数图像均满足这些条件。为了表示上的方便,先考虑一维的情况,并忽略噪声项,这时退化模型为

$$V(x) = TU(x) \quad (2)$$

$$U(x) \text{ 可分解为: } U(x) = \sum_n \langle U(x), \Phi_n(x) \rangle \Phi_n(x) \quad (3)$$

若记 $u_m = \langle U(x), \Phi_m(x) \rangle$, 则有 $U(x) = \sum_n u_n \Phi_n(x)$ 。由于 T 为一线性运算,故有:

$$V(x) = TU(x) = \sum_n u_n T\Phi_n(x) \quad (4)$$

变换得:

$$V(x) = \sum_n u_n \sum_i \langle T\Phi_n(x), \Phi_i(x) \rangle \Phi_i(x) = \sum_i \left[\sum_n \langle T\Phi_n(x), \Phi_i(x) \rangle u_n \right] \Phi_i(x) \quad (5)$$

如果设该过程的点扩散函数(PSF)为 $t(x)$, 由于假设 T 为一线性时不变过程,则有:

$$T\Phi_m(x) = t(x) * \Phi_m(x) = \int t(x-x') \Phi_m(x') dx' \quad (6)$$

其中 * 表示卷积。所以:

$$T_{k,m} = \left\langle \int t(x-x')\Phi_m(x')dx', \Phi_k(x) \right\rangle = \iiint t(x-x')\Phi_m(x')\Phi_k(x)dx'dx' \quad (7)$$

记

$$M_T = \begin{bmatrix} \hat{T}_{A_0, A_0} & \hat{T}_{A_0, B_0} & \cdots & \hat{T}_{A_0, B_{j-1}} \\ \hat{T}_{B_0, A_0} & \hat{T}_{B_0, B_0} & \cdots & \hat{T}_{B_0, B_{j-1}} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ \hat{T}_{B_{j-1}, A_0} & \hat{T}_{B_{j-1}, B_0} & \cdots & \hat{T}_{B_{j-1}, B_{j-1}} \end{bmatrix} \quad (8)$$

此处“—”表示低频,“^”表示高频。则有: $V = M_T U$, 若考虑噪声项为: $V = M_T U + W$, 其中 V 和 U 均是向量, 它们分别为 $V(x)$ 和 $U(x)$ 的小波系数, W 是噪声 $W(x)$ 的小波系数。

4 基于小波和维纳滤波相结合的图像复原方法

本文提出了一种新的图像复原算法——基于小波和维纳滤波的图像复原方法。算法机理阐述如下:

小波可以看成是一种用于多层次分解函数的数学工具, 图像信号经过小波变换后可以用小波系数来描述, 小波系数体现原图像信息性质, 图像信息的局部特征可以通过处理系数而改变。小波变换在图像处理上的应用主要是采用将空间或时间域上的信号变换到小波域上, 成为多层次的小波系数, 根据小波基的特征, 分析小波系数特点, 针对不同需求, 结合常规的图像处理方法或更符合小波特点的方法来处理小波系数, 再对处理后的的小波系数进行逆变换, 得到所需的目标图像。

维纳滤波的公式:

$$\hat{F}(u, v) = \frac{H^*(u, v)}{H(u, v) \cdot H^*(u, v) + \lambda} G(u, v) \quad (9)$$

其中, $G(u, v)$ 是运动模糊图像的灰度值的频谱变换, $\hat{F}(u, v)$ 是复原图像灰度值的频谱变换, 对应于原始图像 $F(u, v)$ 。 $H(u, v)$ 是导致图像模糊的点扩散函数的频谱变换, $H^*(u, v)$ 是其共轭函数。 λ 是信噪比的倒数, 是一个常数, 它的值通常在百分之一到万分之一之间, 加上它主要是为了去除噪声, 同时也为了防止逆滤波的病态现象。

维纳滤波复原方法在满足平稳随机过程的模型和退化系统是线性的两个条件下能取得较好的复原效果, 并且它还是一种在有噪声的情况下复原模糊图像的较好的方法, 在大多数实际情况下都可以得到较满意的效果。

基于这两种复原方法的特点, 可以考虑将这两种算法结合起来进行图像复原:



图1 小波变换子频段分布示意图

如图1所示, 经小波变换后, 退化图像被分解为低频子频段 LL, 以及三个高频子频段: 水平方向高频垂直方向低频子频段 HL, 垂直方向高频水平方向低频子频段 LH 和对角方向高频子频段 HH。图像的主要能量分布在 LL 带, 它的水平、交叉和垂直方向的高频能量分别分布在 HL、LH、和 HH 带中。算法的思路是分别对四个子频段的图像进行维纳滤波, 再经小波逆变换得到复原图像, 算法具体过程可由 matlab 代码实现。算法大致流程如图2所示:



图2 算法流程图

该算法充分结合了小波变换和维纳滤波的优点, 能对因前向像移造成的图像模糊进行有效的复原, 从而能达到比较好的像移补偿效果。

5 实验结果及分析

对该算法进行了实验验证, 实验图片为水平 5 像素像移模糊图片, 结果如图3所示:



图3 实验结果图

对模糊图像及复原图像进行像质评价如表1所示, 数据对比显示复原图像像质有了较大提高:

表1 像质评价参数表

图像	PSNR	MSE
模糊	25.1	200.16
恢复	38.31	9.586

6 结论

本文描述了一个基于小波变换和维纳滤波相结合的图像复原方法来补偿航空前向像移。在这个方法中, 对小波变换后的图片的各个子频段的小波系数进行维纳滤波是关键。实验结果表明, 该算法能有效地解决航空成像系统由于运动造成的图像模糊问题, 对前向像移进行了较好的补偿。

本文作者创新点: 将小波变换和维纳滤波结合起来提出了一种新的图像复原方法, 并用这种方法对航空前向像移进行了有效的补偿。

参考文献

- [1]刘明. 基于图像复原的航空摄影前向像移检测及补偿技术研究[D]. 长春: 中国科学院长春光学精密机械与物理研究所, 2005.
 - [2]王鹏, 于锦海. 图像处理中卷积理论的数学基础[J]. 微计算机信息, 2006, 8-1: 209-210.
 - [3]Mallat S.A theory for multiresolution signal decomposition: The wavelet representation, IEEE Trans, PAMI, 1989; 11: 675-693.
 - [4]刘贵忠, 邸双亮: “小波分析及其应用”西安: 西安电子科技大学出版社, 1992.
 - [5]赵忠明, 朱重光, 赵荣椿. 一种基于小波变换的图像复原方法. 中国电视学与图像分析, 1996 1(1,2): 10-15.
 - [6]程正兴. 小波分析算法与应用. 西安: 西安交通大学出版社, 1998, 5, 1.
 - [7]贾平, 张葆, 孙辉. 航空成像像移模糊恢复技术[J]. 光学精密工程, 2006, 14(4): 697-703.
- 作者简介: 刘广建(1983-), 男, 河南南阳人, 中国科学院长春光学精密机械与物理研究所硕士研究生, 主要研究方向为航空成像像移补偿技术; 贾平(1964-), 男, 吉林延吉人, 中国科学院长春光学精密机械与物理研究所研究员, 博士生导师, 主要研究方向为航空成像与测量仪器技术。

Biography: LIU Guang-jian, (1983-), Male, from Henan Province, Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics, Chinese Academy of Sciences, Master's degree, majored in image motion compensation of aerial imaging. (下转第42页)

ShareableAppletInterfaceObject 请求访问其他 Applet 提供的共享访问接口时,ATMM 度量流程如图 3.3 所示。

JCRE 启动解释器执行 Select 方法时的度量事件包含以下步骤:

(1)启动 ATMM,获取待选择 Applet 所在包的方法组件物理地址;

(2)通过该包的方法组件获取与该包相关的度量方案;

(3)从度量方案中获取本次度量的度量点个数(一个度量点对应于该包导入的一个外包,基础类库除外);

(4)按顺序对第一个度量点进行度量;

(5)对度量值进行迭代操作;

(6)重复(4)(5)两步,对度量方案中给定的度量点一一进行度量;

(7)完成所有度量点的度量操作后与可信期望值进行对比;

(8)如果匹配,则执行被选择 Applet 的相应代码,否则写入异常信息,并向 JCRE 抛出异常。

JCRM 获悉用户的 JCSysengetShareableAppletInterfaceObject 请求时的度量事件包含以下步骤:

(1)启动 ATMM,获取要访问的服务器 Applet 所在的包号;

(2)按照上面介绍的方法对服务器 Applet 所在包的方法组件进行度量;

(3)获取要访问服务器 Applet 所在包中度量方案内的外包度量值;

(4)查找与客户端 Applet 相对应的度量项,如果不存在,记录该度量事件的信任度;

(5)如果有与之匹配的度量方案,则按照该度量方案对客户端 Applet 度量;

(6)如果对客户端 Applet 度量成功,则允许客户端的访问请求;

(7)否则拒绝其访问请求,记录度量失败事件。

4 结论

在原有可信计算平台中引入具有可信度量模块的 Java 智能卡可信计算环境后,解决了信任链传递问题,提高了 Java 智能卡计算环境的安全性,主要表现在以下方面:

(1)增加了 Java 智能卡用户身份验证,将用户与平台分离验证,增强了用户安全性;

(2)在 Java 卡中引入度量机制后,保证了从底层 Boot Loader 到上层 Applet 应用的代码实体完整性,使信任链得以传递,同时也增加针对 Java 语言类型系统攻击的难度;

(3)在增加对字节码的度量后,获取共享接口对象的操作实际上已经不再是以前的单因子认证(仅依靠访问者的 AID 号),而可以被看作双因子认证,即密钥(访问者的 AID)和身份(访问者自身实体完整性信息)。一旦通过度量发现访问者的实体完整性不符合要求,那么访问请求将被拒绝,从而有效地避免了针对 Java 智能卡的 AID 模仿攻击。

本文作者创新点:将可信度量机制引入到 Java 智能卡平台中,增强了计算环境的安全性,有效地解决了在不可信操作系统中确保应用程序可信的难题。

参考文献

[1]Shuanghe Peng, Zhen Han. Trust of User Using U-Key on Trusted Platform[J]. IEEE, 2006.

[2]Trusted Computing Group. TCG Specification Architecture Overview [S].2006.03.29. Specification version 1.2. <https://www.trustedcomputinggroup.org>.

[3]Trusted Computing Group. Trusted Platform Module Main Specification Part1: Design Principles; Part 2: TPM Structures; Part3: Commands [S]. <https://www.trustedcomputinggroup.org>. 2006.3.29. Specification version 1.2.

[4]Trusted Computing Group. TCG Software Stack (TSS)Specification [S]. 2003.08.20.Specification version 1.10. <https://www.trusted-computinggroup.org>.

[5]王克宏. Java 虚拟机规范[M]. 北京:清华大学出版社, 1998: 1~9.

[6]Reiner Sailer, Xiaolan Zhang, Trent Jaeger, Leendert Van Doorn. Design and Implementation of a TCG-Based Integrity Measurement Architecture[J]. Computer Science, January 16, 2004.

[7]周涛,池亚平,方勇,元文华.基于可信度量机制的数字签名模型[J].微计算机信息 2008 6-3 35-37.

作者简介:彭彦(1983-)男,硕士研究生,主要研究方向:网络与信息安全;鞠磊(1970-)男,博士,主要研究方向:信息安全;方勇(1963-)男,硕士生导师,主要研究方向:网络安全;

Biography: PENG Yan (1983-), Male, Master candidate, Research area: Network and Information security;

(710071 西安 西安电子科技大学) 彭彦

(100070 北京 北京电子科技学院) 彭彦 鞠磊 方勇

通讯地址:(710071 西安 西安电子科技大学) 彭彦

(收稿日期:2009.05.13)(修稿日期:2009.06.15)

(上接第 44 页)

[6]HAINES J, LIPPMANN R, FRIED D, et al. 1999 DARPA Intrusion Detection Evaluation: Design and Procedures [R], Lincoln Laboratory, Massachusetts Institute of Technology, USA, 2001

作者简介:胡影(1980-)女,江西九江人,汉族,博士研究生,主要研究方向为安全评估;郑康锋,男,汉族,讲师,博士研究生,主要研究方向为信息与网络安全;杨义先,男,汉族,教授,博士生导师,主要研究方向为密码学、信息与网络安全。

Biography: HU Ying (1980-), Female, Beijing, Police Army Beijing Command Academy, Doctor, Information Security.

(100012 北京 武警北京指挥学院) 胡影

(100876 北京 北京邮电大学 网络与交换技术国家重点实验室信息安全中心) 胡影 郑康锋 杨义先

通讯地址:(100012 北京市朝阳区北苑路武警北京指挥学院科技教研室) 胡影

(收稿日期:2009.05.13)(修稿日期:2009.06.15)

(上接第 297 页)

(130033 吉林长春 中国科学院长春光学精密机械与物理研究所) 刘广建 贾平

(100039 北京 中国科学院 研究生院) 刘广建

通讯地址:(130033 长春市东南湖大路 16 号中科院长春光机所航测部平台组 1212 室) 刘广建

(收稿日期:2009.05.13)(修稿日期:2009.06.15)