

基于特征点精度提纯的图像配准改进算法

刘珊珊, 李 凡

(西安交通大学 电子与信息工程学院, 陕西 西安 710049)

摘 要: 由于飞机抖动、噪声等不期望因素的存在, 图像配准不能准确将背景一致化. 针对上述问题, 提出了特征点精度提纯的图像配准方法. 在角点提取部分, 通过控制特征点的数量和准确度降低角点冗余度; 在角点匹配部分, 通过去除匹配误差较大的点去除错误匹配点对; 并结合分辨率的高斯金字塔降低算法复杂度. 实验结果证明基于特征点精度提纯的图像配准改进算法比未进行特征点提纯的配准方法有更好的效果, 且计算量降低到原来的 28% 左右.

关键词: 图像配准; 角点提取和匹配; 角点提纯; 高斯金字塔

中图分类号: TP391

文献标识码: A

文章编号: 1000—7180(2016)05—0022—06

The Improved Algorithm of Image Registration Based on Feature Point Accuracy Purification

LIU Shan-shan, LI Fan

(School of Electronic and Information Engineering, Xi'an Jiaotong University, Xi'an, 710049, China)

Abstract: Due to aircraft vibrating, noise and other undesirable factors, image registration can't make the background consistent precisely. To solve this problem, this paper presents a method with feature point accuracy purification for image registration. In the corner extraction part, it lowers corner redundancy by controlling the amount and accuracy of the feature point; and in the corner matching part, it remove false matching points by removing the points with larger matching error. Furthermore, establish the Gaussian pyramid about resolution for the sake of reducing algorithm complexity. Experimental results show that the improved algorithm of image registration based on the feature point accuracy purification has better results than that without purification of the feature point, and the calculated amount is reduced to about 28% of the original.

Key words: image registration; corner extraction and matching; corner purification; gaussian pyramid

1 引言

无人机在几百米高空飞行, 在拍摄过程中由于摄像机存在不一致的运动, 产生由一系列包含噪声的模糊图像组成的抖动视频序列. 飞机的抖动、旋转, 光线的变化以及多余噪声的干扰, 改变了图像背景, 使得拍摄的视频很难将前景顺利检测出来, 这种情况给动目标检测、前景分割、跟踪和其他相关工作带来了巨大挑战. 因此, 视频稳定成为了动目标检测系统的关键环节.

图像配准的方法主要分为基于特征点、基于区

域灰度信息以及基于两种方法混合的配准方法. 基于特征的配准方法^[1]是提取图像的特征进行操作的, 它们需要具有突出、易检且稳定存在于两幅图像的特点. 基于灰度的方法是根据整幅图像像素点得灰度值进行配准, 把重点放在了特征点匹配的环节, 最后利用互相关、互信息等方法进行匹配. 第三种方法是结合前两种方法的配准, 如 Hellier 和 Barillot^[2]提出的配准方法, 在一些应用中也有很好的效果. 本文是针对航拍视频的图像配准改进算法, 所以采用基于特征的配准方法. 根据动目标检测的需求, 结合拍摄所得到的视频序列中较多为城市景观, 有较多

有用且易于提取的特征点,但图像配准仍面临以下难点。(1)视频经常会受到各种各样突发的噪声干扰,例如飞机的抖动、大气灰尘的干扰以及白噪声等均为图像配准带来了很大的困难;(2)由无人机摄像设备获得的视频涵盖区域广泛,检测的角点很多具有较强的冗余性,直接影响算法的时间复杂度。用不具代表性的众多角点进行图像配准必定会导致配准精度下降;(3)由于光流法是根据运动目标在各帧图像亮度上的变化来确定的矢量场,从而检测出参考图像中的角点在当前帧的位置,这使得该方法检测出的角点对于亮度、灰度的变化不具有鲁棒性。

针对上述问题,本文提出了特征点精度提纯的图像配准方法,在角点提取和匹配部分加以改进。

2 算法的系统框架

本文建立系统的框图如图1所示。从视频中选取两幅图像,第一幅图像作为参考帧,第二幅图像作为目标帧。首先,对每一帧图像进行重采样,建立分辨率的高斯金字塔,从分辨率最低的图像帧开始处理。在金字塔内检测 Harris 特征点,先去除随高斯标准差变化的噪声角点,再控制角点之间的距离筛选出具有独立性的角点,至此得到的角点具有稳定性、分布广泛性。再对角点进行亚像素精度的坐标约束,进行初始光流匹配^[3],通过局部约束寻求最佳匹配点对,去除初匹配后偏差较大的角点。然后重新求仿射矩阵,计算差图的均方误差和。最后改变分辨率重复上述过程,两次均方误差和的差满足阈值时输出配准图像。过程中如果当分辨率大小与原图像一致的条件,则输出上一次配准图像。

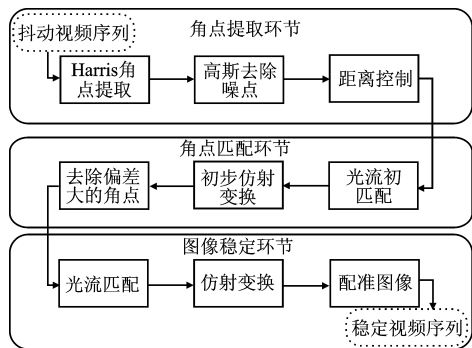


图1 图像配准改进算法系统框图

3 基于特征点精度提纯的图像配准改进算法

本文采用基于特征的图像配准方法,其基本步骤是特征提取、特征匹配、选取变换模型、求解变换参数、重采样、插值。针对基本步骤中的几个部分进

行改进处理。设计分辨率高斯金字塔,第一次将分辨率设置到最低,此后不满足一定阈值条件则将分辨率加倍,如果当分辨率大小与原图像一致时,则输出上一次配准图像。在角点提取部分,首先,为了解决噪声的问题,对参考图像进行不同标准差的高斯滤波处理^[4];其次,在角点的选择算法上,使用应用较为广泛的 Harris 角点检测法,由于 Harris 角点检测法需要对每一个像素点都进行计算,运算量过大且检测出的角点得到的坐标都是离散的,所以对参考和目标图像,同时使用高斯金字塔模型,通过将分辨率依次提高的方法降低计算量,控制角点之间的距离,将这些坐标精确到亚像素精度,增强角点检测的准确性。基于以上两种方法的改进,计算量一般可减小至 $1/4 \sim 1/16$ 左右,且并未影响角点检测的精确度。在角点匹配部分,本文使用光流法来进行匹配,这样通过改进的 Harris 角点检测法和光流法联合使用,同时解决了两者存在的问题,即计算量大和对于亮度变化敏感的特性。由于金字塔模型的使用容易对图像的角点有误检,因此加入了一个新的循环,设定差值图像均方和阈值,这在某种程度上确保了角点检测的准确性。

3.1 基于高斯标准差的变化去除噪声角点

由于包含特征点的局部区域在两幅图中存在相互模糊的现象^[5],为保证在微小的聚焦差异下相同的特征点能够被检测出,而这些点才是有效、稳定的特征点^[6],所以人为地将图像进行模糊处理,从而只选择在这种模糊的情况下保持稳定(即不移动)的特征点。为了找到图像 $I(x, y)$ 中的特征点,图像先用高斯平滑滤波器来处理, σ 为高斯分布的标准差,

平滑后的图像用 $\bar{I}(x, y)$ 来表示。通过角点相对于用于检测它们的高斯平滑滤波器标准偏差的变化来确定其位置的稳定性。确定好高斯平滑滤波器的标准差从 σ 进行平滑处理后,再分别将滤波器的标准差变为 $\sigma_1 = \sigma - \delta\sigma$ 和 $\sigma_2 = \sigma + \delta\sigma$, 其中 $\delta\sigma$ 是 σ 的微小变化。如果当 σ 改变 $\delta\sigma$ 后,在 (x, y) 处检测出的角点不移动,则此角点是稳定的。即,如果点 (x, y) , 点 (x_2, y_2) 和点 (x_2, y_2) 是在标准差分别为 σ, σ_1 和 σ_2 时检测出的角点,有

$$\| (x, y) - (x_1, y_1) \| \leq 2\delta\sigma \quad (1)$$

$$\| (x, y) - (x_2, y_2) \| \leq 2\delta\sigma \quad (2)$$

则点 (x, y) 就是稳定的特征点,否则将被遗弃。

3.2 基于角点距离筛选角点及亚像素坐标约束

本文选取八参数仿射变换配准图像,只需两帧

图像中的四组匹配点,所以没有必要找出大量的匹配点,相反,少量而精确的匹配点对便足以进行各帧图像间的配准,并由于相对外点即错误数据很少,从而更能保证精度. 所以将检测到的角点按其特征值的大小降序排列,形成一个序列,然后从序列顶端开始,也就是从最强的角点开始,计算周围所有的角点与它的距离,如果某角点与其距离小于一定的阈值则被删去. 这里的阈值一般设定为一帧图像尺寸的函数,比如将阈值距离设定成图像直径的 1/100,这样将除去那些与强角点很近的弱角点,同时保留强角点,最终得到稳定的分布很均匀的特征点.

经典的 Harris 角点检测方法^[7]检测出的角点得到的坐标都是离散的,稍加改进后将这些坐标精确到亚像素精度,将对后面变换矩阵的求解有较大帮助. 假设用 (x_i, y_i) 表示第 i 个特征点的坐标,同时假设以点 (x_i, y_i) 为中心的小窗口矩阵得到的矩阵 $\mathbf{H}$ 的两个特征值中较小的 λ_i ,使用以 (x_i, y_i) 为中心的 3×3 窗口中的九个像素点灰度值来计算矩阵 $\mathbf{H}$. 首先找出每一个像素点求得的特征值中较小的那个,然后用这些特征值与之前的离散坐标来确定第 i 个角点的亚像素精度的坐标. 用四次方程 $\lambda(x, y) = Ax^2 + By^2 + Cxy + Dx + Ey + F$ 作为近似于以点 (x, y) 为中心的 3×3 窗口的较小特征根的方程,其中的参数 $A-F$ 通过最小二乘法由九个像素点的坐标连同它们的特征值确定. 当参数 $A-F$ 确定后,通过求方程式(3)、(4),得到点 (x, y) 处的亚像素坐标.

$$\frac{\partial \lambda(x, y)}{\partial x} = 2Ax + Cy + D = 0 \quad (3)$$

$$\frac{\partial \lambda(x, y)}{\partial x} = 2Bx + Cy + E = 0 \quad (4)$$

3.3 基于初匹配后的偏差筛选角点

在参考图像和目标图像里,角点是一一对应的,即数量相同,这是配准的前提,而配准的所有操作都是基于角点的坐标值. G 是建立在两幅图像之间的映射^[8],因此只需得出较为精确的仿射矩阵 $\mathbf{H}$,便可以实现配准. 光流匹配法能够找到特征点的对应点,得到目标图像角点 $D_z = \{z_1 z_2 \cdots z_N\}$ 和参考图像角点 $D'_z = \{z'_1 z'_2 \cdots z'_N\}$. 因为光流法对灰度变换敏感,所以以此求得的仿射变换参数必定含有误差. 下一步对得到的角点做进一步处理,目的是去除偏差较大的角点. 这里采用最小二乘法准测求仿射矩阵.

计算 $J_{\text{MSE}} = \frac{1}{N} \|\mathbf{z}'_n - \mathbf{H}\mathbf{z}_n\|$, 使上式有最小值 $\mathbf{H} = (D_z^T D_z)^{-1} D_z^T D'_z$, 通过坐标可以先计算出 $\mathbf{H}$ 的值,

然后带入到 J_{MSE} 的表达式里计算 $\|\mathbf{z}'_n - \mathbf{H}\mathbf{z}_n\|$, 当 $\|\mathbf{z}'_n - \mathbf{H}\mathbf{z}_n\| \leq \theta$ (θ 可设定在 0.8 ~ 1.0 之间), 才进行保留. 这样就得到了新的角点集 $D_s = \{z_1 z_2 \cdots z_s\}$, $D'_s = \{z'_1 z'_2 \cdots z'_s\}$, 再次计算 $\mathbf{H}$ 的值, 作为第二步配准得到的仿射矩阵值.

3.4 基于分辨率的高斯金字塔

由于无人机在高空作业,视频中场景广阔、角点众多,处理计算量大. 为此,设计了分辨率高斯金字塔,用 Gaussian 金字塔法对每一帧图像重采样,从最低分辨率开始,即从角点数少开始处理,由于以上步骤已经建立了参考图像到目标图像的映射 G , 即 $I_{i+1}^k = G_{mk}(I_i^k)$ 的变换,其中 I_i^k, I_{i+1}^k 分别为参考帧和目标帧. 计算差图的均方误差和. 若其满足 $|C_{\text{SSD}}(I^o, I_i^k) - C_{\text{SSD}}(I^o, I_{i+1}^k)| \leq \gamma$ 的条件, 停止迭代,保留 $\mathbf{H}$ 的值;若不满足,则继续提高分辨率,重新选择角点,按以上步骤进行处理,直到满足所设定的阈值(一般可设定为 $\gamma = 10^{-6}$). 此高斯金字塔作为整个算法的外部循环,以此来控制算法的时间.

3.5 算法流程

本文基于特征点提纯的方法进行图像配准,具体步骤如下:

(1) 设计分辨率高斯金字塔,第一次将分辨率设置到最低,以此作为图像的起始分辨率值,在参考图像中提取 Harris 特征点;

(2) 将参考图像通过高斯滤波器滤波,得到一幅除去噪声后的无噪图像,将其作为基础帧,变化平滑尺寸 σ , 去除坐标随标准差变化而变化的角点;

(3) 从角点集合的第一个角点开始,检测周围所有的角点与它的距离,如果某角点与其距离小于一定的阈值则将被删去,并将保留的角点约束为亚像素级坐标;

(4) 将得到的新角点与目标图像进行光流法匹配,在待配准图像中找到参考图像中角点的对应点;

(5) 在匹配之后计算出仿射矩阵 $\mathbf{H}$ 的值,计算变换后角点与原角点的偏差,如果在阈值范围内,则保留该角点;

(6) 根据以上步骤得到的角点,重新求仿射矩阵 $\mathbf{H}$,将配准图像和原参考图像做差值,并计算差值图像的每一点的均方值和;

(7) 将两次的差值图像均方值相减,满足阈值条件时,则完成金字塔遍历并输出最终配准图像,如果不满足则返回起始,将分辨率的值增加一倍,重新计算直到满足阈值条件,如果当分辨率大小与原图像一致的条件,则输出上一次配准图像.

4 实验结果与分析

仿真平台为 visual studio 2010,并且配置好 opencv-2.4.9. 分别选择了三个测试视频进行配准结果的测定. 视频 1:场景中车少;视频 2:场景中车多;视频 3:场景中车少但干扰因素多(路灯,斑马线等).

4.1 角点检测与配准效果图

首先基于视频 1 进行角点检测. 原算法检测角点数为 544 个,匹配效果如图 2 所示. 然后对图像分别加上标准差 $\sigma_1 = \sigma - \delta\sigma = 1$, $\sigma_2 = \sigma + \delta\sigma = 2$ 和 $\sigma = 1.5$ 的高斯滤波,人为对图像进行模糊处理,根据不等式(1)、(2) 选择出稳定的角点有 356 个,然后根据视频实际的分辨率,选择通过特征值除去强角点周围弱角点的距离阈值为 30,经过平滑处理以及特征值大小的筛选后,剩余的稳定的角点数为 258 个. 新角点匹配图如图 3 所示. 通过改进前后的角点匹配图可以看出,角点数量明显减少且均为背景点.



(a)使用原算法的某一帧配准图像



(b)使用改进算法的某一帧配准图像

图 4 配准后图像对比(视频 3)



图 2 原算法角点匹配图(视频 1)



图 3 改进后角点匹配图(视频 1)

本实验选择了含有干扰因素较多的两帧图像进行配准效果对比,如图 4 所示. 观察可以发现改进后的算法可以更准确的将图像配准,并且边缘不会有较大的留白. 实验结果显示,改进的配准算法可以更好的建立两幅图像之间的对应关系.

4.2 图像配准的差影图

差影法^[9]就是将两幅不同时间拍摄的图相减,得到一幅差值图像,根据偏差程度来判断算法的准确性,差异信息越小,配准效果越好,若差值图像的灰度和为零,证明两幅图像完全一样. 改进后两组视频的差影效果图如图 5 所示. 通过差影图可以看出,经过角点筛选和提纯后的图像配准较为准确,大部分为黑色区域,证明背景一致.

4.3 图像配准效果的定量评估

(1)改进前后的差值图像均方和对比

从表 1 可以看出,针对三帧图像,参考图像和配准后图像改进后的差值均方和较原来算法分别降低了 34.3%,12.0%,58.2%,说明角点提纯后的算法使得匹配后的图像稳定效果更佳.

表 1 改进前后的差值图像均方和对比

测试组	第 0 帧	第 1 帧	第 2 帧
改进后	44 420 893	85 814 858	134 077 933
原算法	67 626 534	97 563 459	320 876 864

(2)改进前后计算时间对比

从表 2 可以看出,原算法计算 3 帧的总时间均值为 180.1 s,改进后算法需要的总时间均值为 50.4,计算量降低到原来的 28%左右.

表 2 改进前后计算时间对比

测试组	第 1 组	第 2 组	第 3 组	均值
改进后	49.0	44.2	58.1	50.4
原算法	173.7	165.0	201.6	180.1

(3)改进前后 PSNR 对比

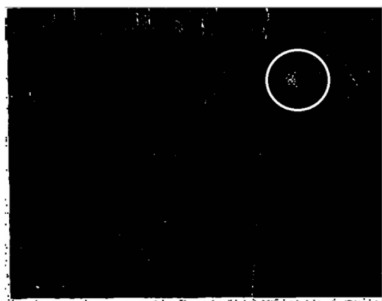
采用 PSNR 即图像信噪比作为评价因子来判断其稳定效果,PNSR 值越高,图像的稳定效果越好,如果 PSNR 值趋于零,则证明两幅图一样. PSNR 的计算按照公式:



(a)原视频1图像



(b)原视频2图像



(c)视频1差影图



(d)视频2的差影图

图 5 两组视频的差影效果图

$$\begin{aligned} \text{PSNR} &= 10 \cdot \lg_{10} \frac{\text{MAX}^2}{\text{MSE}} \\ &= 20 \cdot \lg_{10} \frac{\text{MAX}}{\sqrt{\text{MSE}}} \\ \text{MSE} &= \frac{1}{mn} \sum_{i=0}^{m-1} \sum_{j=0}^{n-1} \| I(i,j) - K(i,j) \|^2. \end{aligned}$$

式中,MSE是均方差。MAX通常是图像的灰度级,一般为255。PSNR越大,图像匹配后失真越小,配准精度也越高。

现在对配准后图像与参考图像两幅图做比较,用 Matlab 画出改进前后算法 PSNR 对比图(PSNR2 代表改进后,PSNR1 代表原算法)。以视频 1 中得到的某一帧配准后图像为例,得到提纯角点前后算法的 PSNR 值分别为28.423和 30.165。同样对视频 2 连续 30 帧进行同样的处理,图 6 和图 7 显示了视频 1 和视频 2 改进前后的峰值信噪比对比效果。

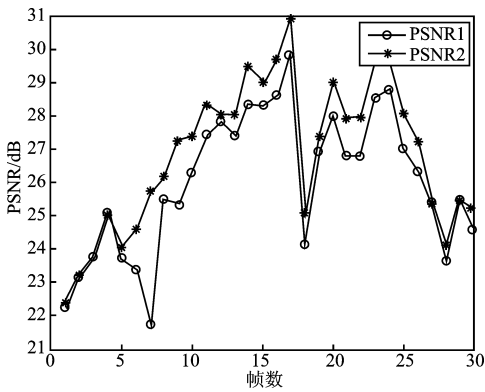


图 6 改进前后 PSNR 值(视频 1)

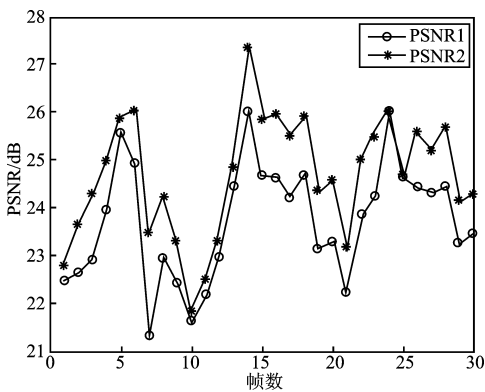


图 7 改进前后 PSNR 值(视频 2)

通过图 6 和图 7 可以看出,视频 1 和视频 2 改进后得到的信噪比均比原来的算法得到的值更大,这与动目标检测得到的差影图的直观结论一致。有些帧的 PSNR 值要高一些,而有一些则较低,发现这些是帧间运动幅度较大的帧。

5 结束语

本文针对无人机航拍视频的动目标检测,在图像配准环节进行了改进。结合了高斯滤波器和分辨率金字塔,初步去除光照与噪声所造成的几何畸变带来的误差;同时,引入了角点距离阈值和偏差阈值去除冗余角点和错误匹配角点,并将检测的角点坐标精确到亚像素级别,使得检测到的角点具有代表

性、分布广泛性、准确性的特点. 在得到精确匹配点后,准确的估算出全局运动模型参数,将抖动视频帧配准成统一背景,计算量降低到原来的28%左右,对于后续的动目标检测打下坚实的基础.

参考文献:

- [1] 田伟刚,郭雷,黄雷. 一种应用于图像配准中的点特征匹配算法[J]. 微电子学与计算机, 2008, 25(3): 172-174.
- [2] Hellier P, Barillot C. Coupling dense and landmark-based approaches for non-rigid registration [R]. France, IRISA research report, PI 1368;30, 2000.
- [3] 胡觉晖,李一民,潘晓露. 改进的光流法用于车辆识别与跟踪[J]. 科学技术与工程, 2010, 10(23): 5814-5817.
- [4] Granharov V, Kleijn W B, Georgiev A. Sub-pixel registration of noisy images[C]//2006 IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing, CVonference Location. Toulouse, 2006, (2): 11.
- [5] Kybic J, Unser M. Bias minimizing filter design for gradient-based image registration[J]. Signal Process-

ing: Image Communication, 2005, 20(6): 554-568.

- [6] Chen J, Zou L H, Zhang J, et al. The comparison and application of comer detection algorithms[J]. Journal of Multimedia, 2009, 4(6): 435-441.
- [7] Yijian Pei, Hao Wu, Jiang Yu, et al. Effective image registration based on improved harris corner detection [C]// IEEE Trans. Image Process, 2010 International Conference on Information Networking and Automation (ICINA), Conference Location. China, Kunming, 2010; V1-93-V1-96.
- [8] Hathaway D H, Meyer P J. Video image stabilization and registration [P]. US 6560375B1, 20030506.
- [9] Davis J W, Sharma V. Background-subtraction in thermal imagery using contour saliency [J]. Int. J. Computer Vision, 2007, 21(2): 161-181.

作者简介:

刘珊珊 女, (1991-), 硕士研究生. 研究方向为视频处理, 图像配准. E-mail: xianghan@stu. xjtu. eud. cn.

李凡 男, (1982-), 博士, 副教授. 研究方向为视频处理与通信.

(上接第21页)

- [3] Szyperski C, gruntz D, Murer S. Component software: beyond object-oriented programming [M]. 3nd Ed. Berlin: Addison Wesley, 2012.
- [4] Bachmann F, Bass L, Buhrman C, et al. Technical concepts of component-based software engineering [R]. USA, Pittsburgh CA, Software Engineering Institute of Carregie Mellon University, 2013.
- [5] Latour, Wheeler T, Frakes B. Descriptive and prescriptive aspects of the 3Cs model: SETA1 working group summary[R]. New York, CASE Centre, Syracuse University, 2013.
- [6] Object Management Group. CORBA component model specification, version 3. 0[EB/OL]. [2015-08-10]. <http://www.omg.org>.
- [7] Java TM 2 Platform. Enterprise edition specification, version 1. 7 [EB/OL]. [2015-08-03]. <http://java.sun.com/j2eeldocs.html>.
- [8] 潘爱民. COM原理与应用[M]. 北京: 清华大学出版社, 2002: 23-56.
- [9] Chang C K, Kim S. F: a petri-net based specification method for architectural components [C] // Proceed-

ings of the 23rd Annual International Computer Software and Application Conference USA, Washington, 1999: 396-402.

- [10] 郑志. 动态软件体系结构建模与模型验证方法的研究[D]. 大连: 大连理工大学, 2010.
- [14] 徐春晓. 嵌入式软件构件提取与组装技术研究与应用[D]. 苏州: 苏州大学, 2009.
- [15] 黄会群. 面向程序理解的转换系统研究[D]. 长沙: 长沙理工大学, 2005.
- [16] 魏志广. 基于C语言的逆向工程的分析与实现[D]. 天津: 河北工业大学, 2004.
- [17] 陈昊鹏. 软件逆向工程技术研究[D]. 西安: 西北工业大学, 2001.

作者简介:

刘铁铭 男, (1977-), 博士研究生, 副教授. 研究方向为系统逆向工程、嵌入式系统. E-mail: fxliutm@163. com.

蒋烈辉 男, (1967-), 博士, 教授, 博士生导师. 研究方向为系统逆向工程、计算机体系结构.

张媛媛 女, (1979-), 硕士, 工程师. 研究方向为计算机应用技术.