Vol 21 No. 7

Control

and Decision

文章编号: 1001-0920(2006)07-0755-04

一种混杂的图像配准方法

柴玉华^{1,2},王 蓉¹,高立群¹,田 磊³,王 坤¹

(1. 东北大学 信息科学与工程学院, 沈阳 110004; 2 东北农业大学 工程学院,哈尔滨 150030; 3 中芯国际北京集成电路制造有限公司, 北京 100176)

摘 要:提出一种基于特征和亮度的混杂图像配准方法 首先对源图像进行小波分解,在小波金字塔最顶层的低频 近似子图像上进行角点检测,通过仿射变换模型得到初始配准参数;然后将这一参数逐层进行迭代精炼,直至达到金 字塔最底层,得到最终精确的配准参数 将这些不同配准方法结合起来,可以克服单独使用任一方法存在的不足 理 论分析和实验结果表明,这种混杂图像配准算法精度较高

关键词:图像融合;图像配准;角点检测;多尺度 中图分类号:TP391 文献标识码:A

A Hybrid Image Registration Algorithm

CHA I Yu-hua^{1,2}, WAN G R ong¹, GAO L i-qun¹, T IAN L ei³, WAN G K un¹

(1. College of Information Science and Engineering, Northeastern University, Shenyang 110004, China; 2. College of Engineering, Northeastern Agricultural University, Harbin 150030, China; 3. Sem iconductor Manufacturing International Corporation, Beijing 100176, China Correspondent: CHAIYu-hua, E-mail: yhchai@163.com)

Abstract A hybrid image registration algorithm based on character and intensity is proposed Source images with wavelet are decomposed, and corner information can be detected in the two approximate sub-images on the wavelet coarsest level The initial registration parameters are achieved through affine transform model The optical flow is iteratively refined to get the coarse registration parameters. The process will continue until the final and accurate matching parameters are obtained. The combination of these different methods tends to compensate for any deficiencies in the individual methods. Theory analysis and experimental results show that the performance of this method is good.

Key words: In age fusion; In age registration; Corner detection; Multi-scale

1 引 言

图像配准技术在医学图像、目标识别、机器人视 觉、遥感图像处理、图像融合等领域有着广泛的应 用近 20年来,学者们提出了多种用于各种图像配 准方法较早的配准技术有基于相关的方法,这种方 法不足之处是计算复杂^[1,2].后来,又有学者提出了 基于特征的配准方法^[3]和基于区域的配准方法^[4] 等目前,常用的图像配准算法有以下3种:基于像 素灰度信息的图像配准算法,如基于互信息的配准 算法^[4,5];基于频率域的图像配准算法,如基于傅立 叶变换的配准方法^[6,7];基于特征的图像配准算法, 如基于轮廓的配准算法^[8,9].

基于灰度信息的配准方法是在一幅图像中亮度 变化较强的区域选取一些窗口,在另一幅图像中定 位相关的窗口,用窗口的几何中心或质心作为控制 点对求出配准参数 基于互信息的图像配准算法中 涉及到大量的浮点运算,时间复杂度大,而且在配准 参数优化过程中很有可能收敛到局部极值 基于特 征的图像配准算法首先从输入图像中提取一些显著 特征(如轮廓),然后对这些显著特征进行匹配,最后

基金项目:公安部重点科研项目(20029322301);黑龙江省自然科学基金项目(F0318).

作者简介: 柴玉华(1965—), 女, 哈尔滨人, 教授, 博士生, 从事模式识别, 人工智能的研究; 高立群(1949—), 男, 沈阳人, 教授, 博士生导师, 从事复杂系统, 模式识别等研究

收稿日期: 2005-08-01; 修回日期: 2006-02-28

估计配准参数,算法鲁棒性较高 但在实际配准中, 有时很难从输入图像中提取足够的闭合轮廓,而匹 配的闭合轮廓对的数量会影响配准参数估计的精 度

鉴于上述情况,本文提出一种基于特征和亮度 的混杂配准方法,并将光流评估的思想与由粗到精 的多分辨率及基于特征的方法结合起来,这种方法 克服了基于亮度法和基于特征法的一些局限性 从 实验结果看,该算法具有较理想的配准效果

2 图像配准算法

对源图像进行小波多尺度分解,在最高层的低频近似子图像中进行角点检测,选出的角点对作为主要图像特征用于初始配准,得到初始配准参数 经过几次光流评估迭代精炼后,得到本级的最优配准参数,将此参数作为下一级配准的初始参数,重复上述迭代精炼过程,直至到达金字塔最底层为止,得到最终准确的配准参数

2 1 基于梯度的光流检测

光流场可看成带有灰度的像素点在平面上运动 而产生的瞬时速度场 令L(x, y, t) 表示时刻 t 图像 点(x, y) 的亮度, 用 $\theta(x, y)$ 和 $\theta(x, y)$ 分别表示光 流在该点的水平和垂直速度分量 在 t + dt 时刻, 图 像点(x, y) 移动到点(x + dx, y + dy), 其中 dx = $\theta_i dt$, $dy = \theta_i dt$ 可认为 t + dt 时刻图像点(x + dx, y + dy) 的亮度与 t 时刻图像点(x, y) 的亮度相同 (对应同一个目标点), 即

L(x, y, t) = L(x + dx, y + dy, t + dt), (1)则基于梯度的约束为

$$L_s^{\mathrm{T}} \boldsymbol{\theta}(x, y) + L_t = 0 \qquad (2)$$

其中: $\theta(x, y) = (\theta, \theta)^T, L_s = (L_x, L_y), L_x, L_y 和 L_r$ 分别为图像亮度空间和时间的偏微分:

22 基于模型的配准

有学者指出,当场景与相机的距离较远时,可用 一个仿射变换来近似场景的偏移^[10].对于同一场景 的两幅由不同位置或不同拍摄姿势得到的图像,仿 射变换模型能取得理想的配准效果本文的仿射光 流场为

其中

a =
$$(a_1, a_2, a_3, a_4, a_5, a_6)^{-1}$$
,

$$M(x, y) = \begin{bmatrix} 1 & x & y & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & x & y \end{bmatrix}.$$

 $\theta(x, y) = M(x, y)a.$

由式(2) 和(3) 可得

$$L_{s}^{J}Ma + L_{t} = 0$$
 (4)
希望评估出一组对整个图像都有效的仿射变

换参数 a. 为此, 通过求整个图像的误差平方和最

小,可以得到

$$a = R^{-1}S.$$
 (5)

其中

$$R = M^{T}L L_{s}^{T}M, S = -M^{T}L L_{s}$$

设点(x1, y1)为第1幅图像中的一点,点(x2, y2)为第2幅图像中相应的点,则图像的二维仿射变 换模型为

$$\begin{bmatrix} x & 2 \\ y & 2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} p & 11 & p & 12 \\ p & 21 & p & 22 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x & 1 \\ y & 1 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} T & x \\ T & y \end{bmatrix}.$$
 (6)

考虑模型(2) 和(3), 令 dt = 1, 可得

$$\begin{bmatrix} x_2 \\ y_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 + a_2 & a_3 \\ a_5 & 1 + a_6 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ y_1 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} a_1 \\ a_4 \end{bmatrix}.$$
 (7)

比较式(6)和(7),可以看出二维仿射变换参数完全可由仿射光流矢量 a 决定

2 3 迭代与多尺度估计

多级评估技术能获得较好的效果和较强的鲁棒 性,因此采用一种简单有效的粗 精多级方法 首 先在粗尺度级上进行光流估计,用本次估计的偏移 量对图像作粗配准,然后在较精细级作残余偏移量 估计.

对于一对给定的图像(参考图像和输入图像), 配准过程实际上是将输入图像变形来与参考图像配 准 给定仿射光流参数初始估计 a⁰ 和改进的估计 a, 有

$$\Delta \theta = M \Delta a = M (a - a^{0}), \quad (8)$$
亦形图像

则有变形图像

$$h(x, y, t) = W [L (x, y, t), \boldsymbol{\theta}] = L (x + \boldsymbol{\theta}_{1}^{d} dt, y + \boldsymbol{\theta}_{2}^{d} dt, dt), \qquad (9)$$

其中W[L, θ]为对图像L的变形操作 将梯度约束 用于变形图像,用 $\Delta θ$ 替代 θ 可得

$$\mathbf{h}_{s}^{\mathrm{T}} \Delta \boldsymbol{\theta} + h_{t} = 0 \qquad (10)$$

使用迭代过程最后一步计算得到的数据 h, 和 h,, 可 求出式(8) 中

$$\Delta a = a^{1} - a^{0} = R_{1}^{-1} S_{1}. \qquad (11)$$

其中

$$R_{1} = M^{T} \mathbf{h}_{s} \mathbf{h}_{s}^{T} M, \mathbf{S}_{1} = -M^{T} \mathbf{h}_{s} h,$$

这样可迭代求出精炼配准参数

$$a^{1} = a^{0} + \Delta a = a^{0} + R_{1}^{-1}S_{1}.$$
 (12)

2.4 初配准

2 3 节讨论的多尺度迭代参数精炼法, 通常能 提供较好的配准估计, 但在本文的图像配准问题中, 两个源图像间的差异可能大于典型的范围, 当两图 像间的旋转或平移超出特定的最大值时, 多尺度方 法就不能解决配准问题 为此, 本文提出一种在图像 最粗尺度级上应用基于特征的配准方法, 得到较精

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

(3)

确的初始配准估计,再将这个估计值作为初始参数 a⁰, 用于 2 3 节中描述的多尺度迭代精炼算法

241 基于角点的特征检测

沿以待检测像素点为中心的圆弧进行扫描,找 出灰度强烈变化的点作为圆弧曲线与角点边缘的交 点,以此交点与中心点的连线方向作为角点的候选 边缘方向 为抑制图像局部细节轻微变化所造成的 干扰,定义一个局部平均函数

$$g(i,j) = \frac{1}{N_{m\Omega(i,j,M_g)}} f(i,j).$$
(13)

其中: $\Omega(i, j, M_s)$ 是以(i, j) 为中心 M_s 为半径的圆 形区域, f(i, j) 为像素点(i, j) 的灰度值, N_m 表示圆 形区域中像素点的个数,具体参见图1(a).



图 1 角点和离散圆弧

图 1(b) 是算法中定义的离散域中的近似圆弧 曲线 设定一个半径 R_n,选取一个起始点,并按顺时 针方向依次编号,便得到一系列像素点集

$$C_{R_n} = \{(i_1, j_1), (i_2, j_2), ..., (i_l, j_l)\}.$$

依次计算下列序列值:

 $f(i_1, j_1) - g(i, j), \dots, f(i_l, j_l)$ $g(i, j), f(i_1, j_1) - g(i, j),$

统计以上差值的符号变化次数 N a, 当符号变化时, 记录变化点位置(假设边缘点灰度值大,则记录变号 前后差值为正的点所对应的位置). 当 $N_{e} = 2$ 时,共 得到两个圆弧曲线与角点边缘的角点, 记为(ia, ja) $\pi(i_b, j_b)$. 判断 $(i_a, j_a), (i, j), (i_b, j_b)$ 3 点的夹角(不 大于 180 》 是否在某一范围内 (如 45 ~ 135 》, 若 是,则将该点作为候选角点,并记录此夹角的大小: 否则,当作干扰点去除 同时顺时针方向取夹角的起 始边,例如图1(a)中的OB边,并将此边的方向作为 该候选角点的边缘方向 对于N。不为2的点不予考 虑

通过以上步骤找出的点不全是角点 为此,利用 角点的一种自身特性(即通过角点任意方向的直线 在角点处的灰度变化都很大),引进一个角点响应函 数

$$C_{R}(i, j) = \min_{a} [(f(i_{k}, j_{k}) - f(i, j))^{2} +$$

$$(f(i_k, j_k) - f(i, j))^2].$$

其中: C; 是圆弧扫描曲线, k和k 是C; 中关于中心点 (i, j) 对称的点对, 如图 1(b) 所示

适当选取阈值,便可通过角点响应函数滤除错 误的角点

242 选取角点并估计初始变换参数

在找到图像中的角点后,需要确定图像间角点 与角点间的对应关系 本文利用角点边缘方向来找 不同角点间的对应关系

设在两幅图像 f_1 和 f_2 中检测出的角点序列分 别为

$$P = \{p_i = (p_x^i, p_y^i)\}_{i=1, 2, \dots, N_1},$$

$$Q = \{q_j = (q_x^j, q_y^j)\}_{j=1, 2, \dots, N_2},$$

并定义A(p)和J(p)分别为角点p对应的边缘方向 和夹角的大小, 则 p_i 和 q_i 点间的边缘方向差为

 $\mathbf{Q}_{ij} = A (q_j) - A (p_i), \mathbf{Q}_{ij}$ [0, 359]. (15)在此设定两个限制条件:

1) p_i 和 q_i 的夹角差 $J(p_i) - J(q_i)$ 小于阈值(本 文取 15 %.

2) p; 和 q; 互相关度大于阈值(本文取 0.80).

定义一个考虑角度在内的互相关函数

$$C_{f}(p, q, \mathbf{\alpha}) = \frac{1}{\delta_{1}\delta_{2}(2M + 1)^{2}} \times \int_{M}^{M} [f_{1}(p_{x} + x, p_{y} + y) - \mu_{1}] \times (f_{2}(q_{x} + x, q_{y} + y) - \mu_{2}]$$
(16)

其中: μ_i 和 δ_i 分别为 $f_i(x, y)$ 的局部均值和方差, $(2M + 1)^2$ 为匹配窗面积, α 表示 p 点和 q 点的边缘 方向差, $x = x \cos \alpha$ - $y \sin \alpha$, $y = x \sin \alpha + y \cos \alpha$

只有当条件 1) 满足时, 才判断条件 2), 这样 可以减少计算量满足以上两个条件的点对(p_i, q_i) 被认为是候选匹配点对,这样便得到候选匹配点对 集

$$C_{P} = \{ (p_{i}, q_{i}) \}_{i=1, 2, \dots, N_{cp}}.$$
(17)

然后利用图像间的不变信息对候选匹配点对 进行过滤 对于候选匹配点对集 C_P 中的任意两个点 对 (p_i, q_i) 和 (p_j, q_j) ,分别计算 p_i 与 p_j, q_i 与 q_j 两点 间的距离 d_p 和 d_q , 如果 d_p 和 d_q 的差值小于一个预 先设定的阈值,则认为两个点对是一致的

最后对每个点对进行判别,得到最终正确的匹 配点对集

$$M_{P} = \{ (u_{i}, v_{i}) \}_{i=1, 2, ..., N_{MP}}, \qquad (18)$$

其中 $u_i = (u_x^i, u_y^i)$ 和 $v_i = (v_x^i, v_y^i)$ 分别为 f_1 和 f_2 中 的点

在匹配集M , 中选取控制点, 按仿射变化模型

(14)© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net 求出变化参数 a⁰.

3 实验结果

将上述算法应用于由数字相机在不同时刻拍 摄的一组小表图像和一组采集的足趾图像,在 MATLAB 6 0环境下进行仿真 对两个源图像进行 小波分解(采用Harr小波,分解级数为3),在小波金 字塔最高层的低频近似子图像上进行角点检测,得 到最初的配准参数 将此参数逐层进行迭代精练,得 到最终的配准参数

实验中将本文算法与文献[11]的配准方法进 行比较 性能评价指标采用均方根误差(RM SE)和 配准图像与参考图像在重叠区域的相关度(R)如 下:

RM SE =

$$\sqrt{\frac{1}{N}}_{x,y} \frac{(I_r(x,y) - I_w(x,y))^2}{\mathbf{R}}, \quad (19)$$

$$R = \frac{\frac{2}{x \cdot y} \frac{\mathbf{R}}{\mathbf{R}}}{(I_r^2(x, y) + I_w^2(x, y))}.$$
 (20)

其中: *I*, 是参考图像, *I*, 是配准图像, **R** 是重叠区 域, *N* 是重叠区域中像素的总数

图 2(a) 和(b) 是两个小表源图像, (c) 和(d) 是 分别用基于轮廓法和本文方法得到的小表图像配准 结果 表 1 是小表图像配准参数和评价指标





(c) 轮廓法		(d)	混杂法	
图 2	小表源图像和配	准结	果	
表1 小表图	图像配准参数和性	能评	价指标	
	轮廓法		混杂法	
RM SE	25. 43		24. 69	
R	0 951 2		0 962 7	
水平和垂直偏移	(74. 2, 4. 3)		(75. 0, 5. 1)	
角度偏移	350		65°	

图 3(a) 和(b) 是两个足迹源图像, (c) 和(d) 是 分别用基于轮廓法和本文方法得到的足迹图像配准 结果 表 2 是足迹图像配准参数和评价指标



(a) 源图像 (b) 源图像 (c) 轮廓法 (d) 混杂法 图 3 足迹源图像和配准结果

表 2 足迹图像配准参数和性能评价指标

	轮廓法	混杂法
RM SE	19.43	15.78
R	0 949 1	0 971 2
水平和垂直偏移	(39. 3, 18. 6)	(39. 5, 19. 5)
角度偏移	9. 872	9. 943

实验结果显示, 混杂配准方法得到的配准精度 比基于轮廓方法高, 这说明将基于亮度与基于特征 结合起来, 能提高配准精度

4 结 论

本文提出一种同时使用基于亮度和基于特征的 混杂配准方法 这种新的混杂配准方法解决了单独 采用基于亮度方法产生的混淆现象问题,同时可对 更大的偏移(比例,旋转,位移)进行处理 由于仅利 用最基本的图像特征,并且最终估计程序是一个递 归的优化过程,这种混杂方法比单纯基于特征的方 法更精确,鲁棒性更好.实验结果表明,本文算法能 提供较好的配准结果

参考文献(References)

- Barnea D I, Silvem an H F. A Class of Algorithm s for Fast Digital Image Registration [J]. *IEEE T rans on* Computer, 1972, 21(2): 179-186
- [2] Pratt W K Correlation Techniques of Image Registration [J] IEEE T rans on A erospace Electronic Systems, 1974, 10(3): 353-358
- [3] M itiche A, Aggarwal J K. Contour Registration by Shape-specific Points for Shape M atching [J]. Computer V ision, Graphics and Image Process, 1983, 22 (3): 396-408

[4] Thevenaz P, Unser M. Optimization of Mutual Information for Multiresoultion Image Registration[J] *IEEE T rans on Image Processing*, 2000, 9(12): 2083-2099.
(下转第 762 页)





图 1 柔化控制律 u 随时间的变化 $Y_2 = \{x \quad \mathbf{R}^2 \mid |x_1| = (2/5)^{1/2}\}.$

由定理3知, 取 $f(x_1) = cx^{q/p} = 10x^3$, 原系统在 切换律 $i = \arg(x - Y_i)$ 及控制律(3) 和(5) 作用下 是稳定的 取式(6) 中 $\epsilon = 5, k = 50, M = 100, x_0 =$ [2 - 5]^T, 仿真结果如图 1~ 图 3 所示 5 结 语

本文研究一类单输入线性切换系统的可镇定问题 应用变结构控制的方法,将问题转化为维数较低的单输入切换系统的可镇定问题,根据李雅普诺 夫稳定性理论,以及切换系统稳定性的有关结果,得 出了系统一致可镇定以及存在容许镇定策略的充分 条件,并给出了相应的控制器和容许镇定策略集合. 本文方法为检验线性单输入切换系统是否可镇定, 以及寻求合适的镇定策略提供了一种行之有效的方 法

参考文献(References)

- [1] Decarlo R, Branicky M S, Lennartson B. Perspective and Results on the Stability and Stabilizability of Hybrid Systems [J] Proc of the IEEE, 2000, 88(7): 1069-1082
- [2] Liberzon D, Morse A S Basic Problems in Stability

(上接第758页)

- [5] Likar B, Pemus F. A Hierarchical Approach to Elastic Registration Based on Mutual Information [J]. Im age and V ision Computing, 2001, 19(1-2): 33-44.
- [6] Reddy B S, Chatterji B N. A FFT-based Technique for Translation, Rotation and Scale-invariant Image Registration [J]. IEEE Trans on Pattern Analysis and M achine Intelligence, 1996, 5(8): 1266-1271.
- [7] A verbuch A, Keller Y. FFT Based Image Registration
 [A] IEEE Conf on A coustics, Speech and Signal Processing [C] Florida, 2002, 4: 13-17.
- [8] L i H, Manjunath B S, Mitra S K. A Contour Based Approach to Multi-sensor Image Registration [J] IEEE Trans on Image Processing, 1995, 4 (3): 320-

图 2 状态 x(t) 随时间的变化

图 3 状态 x (t) 的相平面

- and Design of Switched Systems [J]. IEEE Control System s M ag az ine, 1999, 19(1): 59-70
- [3] L iberzon D. Sw itching in Systmes and Control [M]
 Boston: B irkhauser, 2003.
- [4] Branicky M S Multiple Lyapunov Functions and O ther A nalysis Tools for Switched and Hybrid Systems [J] IEEE Trans on A utomatic Control, 1998, 43 (4): 475-482
- [5] Skafidas E, Evans R J, Savkin A V, et al Stability Result for Switched Controller Systems [J] A utom atica, 1999, 35(4): 553-564
- [6] 刘玉忠,张霄力,赵军 一类线性开关系统的渐近稳定 性[J]. 控制与决策, 2002, 17(1): 111-113, 116
 (Liu Y Z, Zhang X L, Zhao J. A symptotic Stability of a Class of Linear Switched Systems [J]. Control and D ecision, 2002, 17(1): 111-113, 116)
- [7] Xie G M, Fu Q, Wang L. Stabilization of Switched Symmetric Systems [A]. Proc of the 2004 American Control Conf [C]. Boston, 2004: 4535-4536
- [8] Murat Dogruel, Umit Ozguner, Sergey Drakunov. Sliding mode Control in Discrete-state and Hybrid Systems [J]. IEEE Trans on A uton atic Control, 1996, 41(3): 414-419.

334

- [9] Dai X L, Khorram S A Feature-based Image Registration Algorithm U sing Improved Chain-code Representation Combined with Invariant Moments [J] IEEE Trans on Geoscience and Remote Sensing, 1999, 37(5): 2351-2362
- [10] Heeger D J, Jepson A D. Subspace Methods for Recovering Rigid Motion: Algorithm and Implementation [J] Int J Computer Vision, 1992, 7 (2): 95-117.
- [11] L i H, M anjunath B, M itra S K A Controur-based Approach to Multisensor Image Registration [J] IEEE T rans on Image Process, 1995, 4(3): 320-334