

主轴方法和矩方法相融合的三维物体 归一化和识别¹⁾

刘成君 戴汝为

(中国科学院自动化研究所人工智能实验室 北京 100080)

摘 要

针对主轴方法和矩方法各自的特点,¹⁾提出将这两种方法相融合的物体归一化和识别的新思想。首先推导出主轴唯一性判别准则,有效地解决了物体取向的归一化问题。然后推导出了对物体平移、取向和比例变化归一化的 3-D 不变矩。最后提出由二阶、三阶 3-D 不变矩组成的判别向量和识别判据。对 12 个三维物体进行归一化和识别的实验结果验证了本文方法的有效性。

关键词: 主轴方法,矩方法,归一化,3-D 不变矩。

1 引言

三维物体的归一化和识别是计算机视觉、计算机图形学和机器人学研究领域中的重要内容。主轴方法和矩方法作为归一化和识别三维物体的两种实用方法已被广泛引用^[1-7]。物体的主轴是物体本身固有的几何特性,它不随观察点的变化而改变,因此,用主轴方法^[1-4,9]归一化物体取向比较容易。但是,用它不能归一化物体的比例变化。此外,用主轴方法归一化物体取向时,一个尚未解决的问题就是主轴的多义性问题^[1-4,9]: 三维物体的主轴是特征矩阵的三个特征向量,数学上计算出的主轴既没有规定顺序,也没有规定方向,因此,主轴的选择有 $P_3^3 \cdot C_2^1 \cdot C_2^1 \cdot C_2^1 = 48$ 种之多。解决这一问题十分关键,因为只有确定唯一的主轴,才能得到归一化的物体取向,进而为完成识别任务奠定基础。基于代数不变性理论的矩方法^[5-7]用于归一化物体的比例变化比较简单,但归一化物体的取向却十分繁琐。并且,当用矩方法归一化物体的取向时,推导出的不变矩个数有限^[5-7],不变矩表达式中含有的 3-D 矩数目较少,使得一些对物体识别很有效的低阶 3-D 矩不能加入判别过程,导致识别效果下降。另外,不变矩表达式中常含有高阶 3-D 矩,而高阶矩对噪声干扰敏感,计算量也增大。为此,本文将主轴方法和矩方法相融合,结合用前者归一化物体的取向容易、用后者归一化物体的比例变化简单的特点,推导出对物体平移、取向和比例变化归一化的 3-D 不变矩,作为识别的基础。

1) 本项工作得到国家攀登计划及自然科学基金的资助。
本文于 1995 年 5 月 9 日收到

2 主轴的唯一性判别方法

物体的形心和主轴是物体本身固有的几何特性, 它们不随观察点的变化而改变, 因此, 可以用来归一化物体的位置和取向. 设三维物体的密度函数为 $f(x, y, z)$, 物体的 $p + q + r$ 阶矩定义如下^[5]:

$$m_{pqr} = \iiint x^p y^q z^r f(x, y, z) dx dy dz, \quad (1)$$

其中 $p, q, r = 0, 1, 2, \dots$. 令 (x_c, y_c, z_c) 表示物体的形心, 根据形心的定义有

$$x_c = \frac{m_{100}}{m_{000}}, \quad y_c = \frac{m_{010}}{m_{000}}, \quad z_c = \frac{m_{001}}{m_{000}}. \quad (2)$$

物体的 $p + q + r$ 阶中心矩定义为

$$\mu_{pqr} = \iiint (x - x_c)^p (y - y_c)^q (z - z_c)^r f(x, y, z) dx dy dz, \quad (3)$$

其中 $p, q, r = 0, 1, 2, \dots$. 为了讨论问题方便起见, 不失一般性, 将物体平移到以形心为坐标原点的坐标系中, 这时, 物体的表示是关于位置的归一化表示. 在新的坐标系下, 中心矩(3)式简化为

$$\mu_{pqr} = \iiint x^p y^q z^r f(x, y, z) dx dy dz. \quad (4)$$

令 I 表示物体的惯量矩阵, 按照工程力学的观点^[6], 主轴是惯量矩阵的特征向量

$$I \cdot \xi = \lambda \cdot \xi. \quad (5)$$

由于惯量矩阵 I 是实对称矩阵, 故由特征值方程(5)可以解出实数特征值 $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$ 和正交的特征向量 ξ_1, ξ_2, ξ_3 . 用主轴方法归一化三维物体取向时, 要以 ξ_1, ξ_2, ξ_3 为坐标轴, 但是, ξ_1, ξ_2, ξ_3 只定义了三维空间中的三个垂直方向, 无法明确推知与 x, y, z 轴的对应顺序. Galvez 和 Canton^[4] 提出利用特征值排序来确定主轴的顺序, 从而解决了主轴顺序多义性问题.

由特征值方程(5)可以得出

$$I \cdot (-\xi_i) = \lambda_i \cdot (-\xi_i), \quad (6)$$

即 $-\xi_1, -\xi_2, -\xi_3$ 也是惯量矩阵 I 的特征向量. 由此可知, 垂直正交的主轴有 8 种选择: $\{\pm \xi_1, \pm \xi_2, \pm \xi_3\}$. 这就是主轴取向的多义性问题. 如果任意选取一组主轴作为坐标轴归一化物体的取向, 则会得到 8 种不同的归一化结果. 显然, 这不符合物体取向归一化唯一性的要求. 现在面临的问题是如何从主轴的 8 种选择 $\{\pm \xi_1, \pm \xi_2, \pm \xi_3\}$ 中确定唯一的一组主轴 e_1, e_2, e_3 , 并用它来归一化物体的空间取向, 得到一致的归一化结果. 为此, 任意选取一组向量 ξ_1, ξ_2, ξ_3 , 设三维物体任意一点 $p(x, y, z)$ 在 ξ_1, ξ_2, ξ_3 下的坐标为 (x_1, y_1, z_1) , 由坐标变换公式可得

$$[\xi_1, \xi_2, \xi_3](x_1, y_1, z_1)' = [p_1, p_2, p_3](x, y, z)', \quad (7)$$

其中 p_1, p_2, p_3 是物体所在的原始坐标系, 因此, $[p_1, p_2, p_3]$ 是单位阵, 故有

$$[p_1, p_2, p_3](x, y, z)' = (x, y, z)'$$

令 $k_1, k_2, k_3 \neq 0$, 作如下的线性变换

$$(x', y', z')^t = (k_1 x_1, k_2 y_1, k_3 z_1)^t. \quad (8)$$

由(7),(8)式整理可得

$$[k_1^{-1} \xi_1, k_2^{-1} \xi_2, k_3^{-1} \xi_3](x', y', z')^t = (x, y, z)^t. \quad (9)$$

(9)式表明, (x', y', z') 是点 $p(x, y, z)$ 在坐标系 $k_1^{-1} \xi_1, k_2^{-1} \xi_2, k_3^{-1} \xi_3$ 下的坐标.

由中心矩的定义(4), 可以分别计算出坐标系 ξ_1, ξ_2, ξ_3 和 $k_1^{-1} \xi_1, k_2^{-1} \xi_2, k_3^{-1} \xi_3$ 下的 3-D 矩

$$\mu_{pqr}^{(1)} = \iiint x_1^p y_1^q z_1^r f^{(1)}(x_1, y_1, z_1) dx_1 dy_1 dz_1, \quad (10)$$

$$\mu_{pqr}^{(2)} = \iiint (x')^p (y')^q (z')^r f^{(2)}(x', y', z') dx' dy' dz', \quad (11)$$

其中 $f^{(1)}(x_1, y_1, z_1)$, $f^{(2)}(x', y', z')$ 分别是坐标系 ξ_1, ξ_2, ξ_3 和 $k_1^{-1} \xi_1, k_2^{-1} \xi_2, k_3^{-1} \xi_3$ 下的密度函数. 根据变换的意义, 有

$$f^{(2)}(x', y', z') = f^{(1)}(x_1, y_1, z_1) = f(x, y, z), \quad (12)$$

其中 (x', y', z') 与 (x_1, y_1, z_1) 以及 (x_1, y_1, z_1) 与 (x, y, z) 的关系分别由(8)和(7)式给出.

将(7),(12),(10)式代入(11)式, 得

$$\begin{aligned} \mu_{pqr}^{(2)} &= \iiint (k_1 x_1)^p (k_2 y_1)^q (k_3 z_1)^r f^{(1)}(x_1, y_1, z_1) |k_1 k_2 k_3| dx_1 dy_1 dz_1 \\ &= (k_1^p k_2^q k_3^r |k_1 k_2 k_3|) \cdot \mu_{pqr}^{(1)}. \end{aligned} \quad (13)$$

当 $k_1, k_2, k_3 \in \{1, -1\}$ 时, 由(9)式可以求出 8 组候选主轴对应的坐标, 由(13)式便可以计算出相应的 3-D 矩 $\mu_{pqr}^{(2)}$.

由(13)式可得主轴唯一性判别准则. 令 $k_1 = -1, k_2 = k_3 = 1$, 则有

$$\mu_{pqr}^{(2)} = (-1)^p \mu_{pqr}^{(1)}.$$

(10)和(11)式表明 $\mu_{pqr}^{(1)}, \mu_{pqr}^{(2)}$ 分别对应坐标系 ξ_1, ξ_2, ξ_3 和 $-\xi_1, \xi_2, \xi_3$. 当 p 取奇数值时, 以上两组主轴坐标系下计算出的 3-D 矩异号. 因此, 通过计算 3-D 矩的值便可以确定唯一的主轴 e_1 . 同理, 也可确定唯一的主轴 e_2, e_3 .

3 主轴方法和矩方法相融合的三维物体归一化和识别

令三维物体任意一点 $p(x, y, z)$ 在主轴坐标系 e_1, e_2, e_3 下的坐标为 (x^*, y^*, z^*) , 则有

$$[e_1, e_2, e_3](x^*, y^*, z^*)^t = (x, y, z)^t. \quad (14)$$

由于直角坐标系是以形心为坐标原点, 因此, 在主轴坐标系下物体的表示是关于位置、取向的归一化表示.

由(4)式有

$$\mu_{pqr}^* = \iiint (x^*)^p (y^*)^q (z^*)^r f^*(x^*, y^*, z^*) dx^* dy^* dz^*, \quad (15)$$

其中 $f^*(x^*, y^*, z^*)$ 是主轴坐标系 e_1, e_2, e_3 下的密度函数. 根据变换的意义有

$$f^*(x^*, y^*, z^*) = f(x, y, z), \quad (16)$$

(x^*, y^*, z^*) 与 (x, y, z) 的关系由 (14) 式给出.

令比例变换为

$$(x^\#, y^\#, z^\#)^t = k(x^*, y^*, z^*)^t. \quad (17)$$

由 (4) 式计算 3-D 矩

$$\mu_{pqr}^\# = \iiint (x^\#)^p (y^\#)^q (z^\#)^r f^\#(x^\#, y^\#, z^\#) dx^\# dy^\# dz^\#, \quad (18)$$

其中 $f^\#(x^\#, y^\#, z^\#)$ 是比例变换后的密度函数. 根据变换的意义有

$$f^\#(x^\#, y^\#, z^\#) = f^*(x^*, y^*, z^*), \quad (19)$$

$(x^\#, y^\#, z^\#)$ 与 (x^*, y^*, z^*) 的关系由 (17) 式确定.

将 (17), (19), (15) 式代入 (18) 式, 并整理得

$$\mu_{pqr}^\# = k^{p+q+r} |k^3| \mu_{pqr}^*. \quad (20)$$

令 $p = q = r = 0$, 由 (20) 式有

$$\mu_{000}^\# = |k^3| \mu_{000}^*. \quad (21)$$

由 (20), (21) 式可得

$$\frac{\mu_{pqr}^\#}{(\mu_{000}^\#)^{(p+q+r+3)/3}} = \frac{\mu_{pqr}^*}{(\mu_{000}^*)^{(p+q+r+3)/3}}. \quad (22)$$

由 (22) 式, 即可得到关于物体位置、取向、比例变化的不变矩

$$\mu_{pqr}^{(i)} = \frac{\mu_{pqr}^*}{(\mu_{000}^*)^{(p+q+r+3)/3}}. \quad (23)$$

至此, 计算出了主轴方法和矩方法相融合的物体归一化结果——3-D 不变矩 $\mu_{pqr}^{(i)}$. 下面讨论如何应用 $\mu_{pqr}^{(i)}$ 完成物体识别.

由 (23) 式可以计算出

$$\mu_{100}^{(i)} = \mu_{010}^{(i)} = \mu_{001}^{(i)} = \mu_{110}^{(i)} = \mu_{101}^{(i)} = \mu_{011}^{(i)} = 0. \quad (24)$$

定义向量

$$\boldsymbol{\nu} = (\mu_{200}^{(i)}, \mu_{020}^{(i)}, \mu_{002}^{(i)}, \mu_{300}^{(i)}, \mu_{030}^{(i)}, \mu_{003}^{(i)}, \mu_{201}^{(i)}, \mu_{210}^{(i)}, \mu_{021}^{(i)}, \mu_{120}^{(i)}, \mu_{012}^{(i)}, \mu_{102}^{(i)}, \mu_{111}^{(i)}), \quad (25)$$

称 $\boldsymbol{\nu}$ 为判别向量.

令 $\boldsymbol{\nu}_1, \boldsymbol{\nu}_2$ 分别为两个物体的判别向量, 定义如下的识别判据

$$J_d = \sqrt{\sum_{i=1}^{13} (\nu_1(i) - \nu_2(i))^2}, \quad (26)$$

识别判据 J_d 越小, 表示两个物体越相似.

判别向量 $\boldsymbol{\nu}$ 由全部二阶、三阶 3-D 不变矩组成 (不包括恒为零的二阶矩). 该判别向量能够充分利用低阶不变矩的判别能力. 由于它不含高阶矩, 因此不容易受噪声干扰, 使基于判别向量的识别判据具有较好的稳定性.

4 实验结果

基于多视图利用体积求交技术计算出物体的三维表示, 如图 1 所示. 对图 1 的物体进行位置、取向和比例变化, 利用本文的方法进行归一化和识别均得到正确的结果. 图 2

表1 12个三维物体以及3个待识物体判别向量的分量

三维物体 \ 判别向量的分量	$\mu_{200}^{(i)}$	$\mu_{020}^{(i)}$	$\mu_{002}^{(i)}$	$\mu_{300}^{(i)}$	$\mu_{030}^{(i)}$	$\mu_{003}^{(i)}$	$\mu_{210}^{(i)}$
(a)	3.944978e-01	8.078732e-02	2.013577e-02	1.609862e-02	1.694864e-09	8.327261e-04	4.112980e-08
(b)	4.237058e-01	9.499104e-02	1.588982e-02	3.906373e-02	4.076326e-11	5.899679e-04	3.219442e-08
(c)	3.419853e-01	9.919135e-02	1.884441e-02	1.926748e-02	5.997484e-10	4.904876e-04	-1.862431e-09
(d)	4.045744e-01	1.140539e-01	1.436023e-02	3.352033e-02	2.265984e-10	5.641346e-04	-9.426326e-09
(e)	3.449813e-01	9.304683e-02	1.888564e-02	3.668611e-02	1.162888e-09	1.259037e-04	-2.413417e-08
(f)	2.209390e-01	1.170117e-01	2.580108e-02	3.513729e-02	5.337914e-11	2.838968e-04	1.035788e-08
(g)	2.077277e-01	7.852603e-02	4.206703e-02	2.211111e-03	1.304401e-09	2.535747e-03	7.450214e-09
(h)	1.673190e-01	7.054451e-02	5.357824e-02	1.587912e-02	3.446575e-09	7.023051e-04	2.508604e-09
(i)	2.538817e-01	5.098505e-02	4.943782e-02	2.501862e-02	1.186481e-07	1.196754e-04	2.484022e-07
(j)	2.188350e-01	8.401518e-02	3.256604e-02	1.706379e-02	4.152589e-10	2.455231e-04	8.582241e-10
(k)	2.423435e-01	8.712738e-02	3.159163e-02	2.364220e-02	3.382810e-09	3.706628e-04	2.832781e-08
(l)	3.871612e-01	6.933109e-02	3.291883e-02	8.975387e-02	4.284955e-10	1.155273e-03	-1.057821e-08
(a')	3.926097e-01	8.026720e-02	2.030066e-02	1.585477e-02	2.912580e-10	8.261747e-04	-1.199328e-08
(b')	4.222690e-01	9.477628e-02	1.605133e-02	3.878222e-02	8.372449e-11	5.779419e-04	-9.784934e-09
(c')	3.410666e-01	9.857854e-02	1.901603e-02	1.925668e-02	4.624429e-10	4.860378e-04	-2.372265e-08

三维物体 \ 判别向量的分量	$\mu_{201}^{(i)}$	$\mu_{021}^{(i)}$	$\mu_{120}^{(i)}$	$\mu_{012}^{(i)}$	$\mu_{102}^{(i)}$	$\mu_{111}^{(i)}$
(a)	$-1.435619e-02$	$-1.551360e-03$	$-6.226678e-05$	$-2.037266e-09$	$-7.791990e-04$	$3.377734e-09$
(b)	$-1.463926e-02$	$-1.538947e-03$	$-5.954429e-04$	$-1.567370e-09$	$-1.152015e-03$	$-1.050201e-09$
(c)	$-1.402430e-02$	$-1.254465e-03$	$5.005805e-06$	$-1.421284e-09$	$-5.598338e-04$	$4.061647e-10$
(d)	$-1.537202e-02$	$-1.057502e-03$	$2.515688e-04$	$-9.659267e-10$	$-1.110938e-03$	$2.015307e-10$
(e)	$-8.010869e-03$	$-1.207385e-03$	$-3.588955e-04$	$-8.361445e-10$	$-2.034806e-03$	$1.049034e-09$
(f)	$-5.228857e-03$	$-1.748732e-03$	$-3.165666e-04$	$-4.035029e-09$	$-3.356500e-03$	$-1.946473e-09$
(g)	$-9.666817e-03$	$-9.645896e-04$	$-1.858965e-04$	$-4.354091e-09$	$-1.568182e-03$	$4.387800e-09$
(h)	$-4.581111e-03$	$-7.211042e-04$	$-1.350361e-04$	$-6.348956e-09$	$-3.783079e-03$	$4.298024e-09$
(i)	$5.579309e-03$	$7.893302e-04$	$1.219448e-04$	$-6.169198e-08$	$-4.897811e-03$	$-2.091476e-07$
(j)	$-4.958843e-03$	$-9.436544e-04$	$2.290977e-04$	$3.083953e-09$	$-2.821979e-03$	$2.150919e-09$
(k)	$6.198810e-06$	$1.131055e-03$	$6.535968e-04$	$-2.069287e-09$	$-3.633117e-03$	$-6.156749e-10$
(l)	$8.429789e-03$	$-7.207526e-04$	$2.993031e-04$	$-1.689549e-09$	$-8.963205e-03$	$2.865276e-09$
(a')	$-1.412957e-02$	$-1.497748e-03$	$-7.846511e-05$	$-1.318346e-09$	$-7.708898e-04$	$1.767894e-09$
(b')	$-1.451598e-02$	$-1.572206e-03$	$-5.383929e-04$	$1.278860e-10$	$-1.139454e-03$	$-1.544645e-10$
(c')	$-1.397327e-02$	$-1.208825e-03$	$-8.420121e-06$	$-5.619545e-10$	$-5.630663e-04$	$-8.514369e-10$

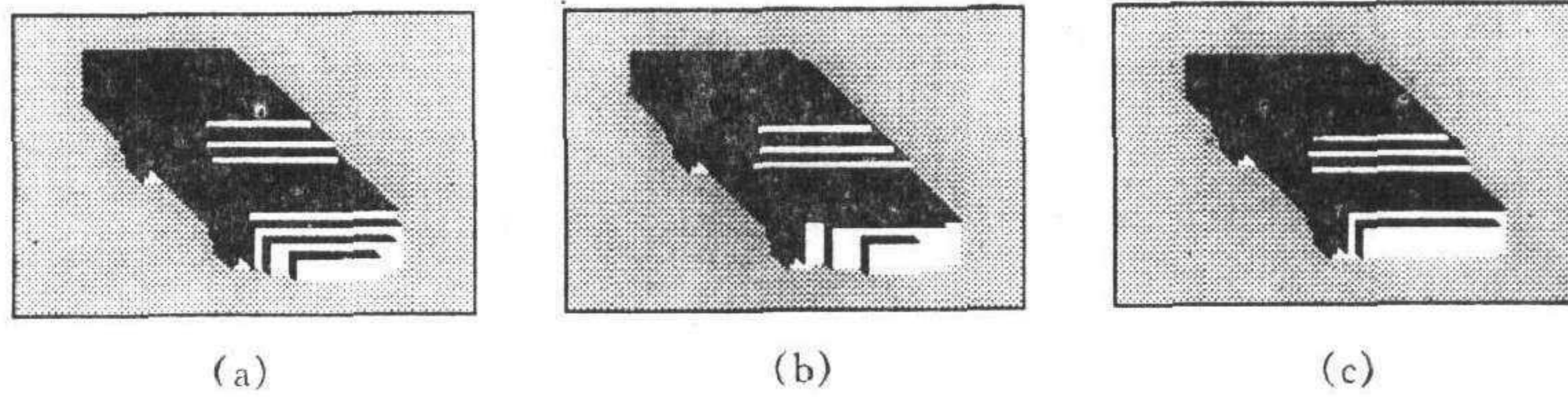


图 1 物体的三维表示(由于篇幅的限制,这里只给出 12 个物体中前 3 个物体的三维表示)

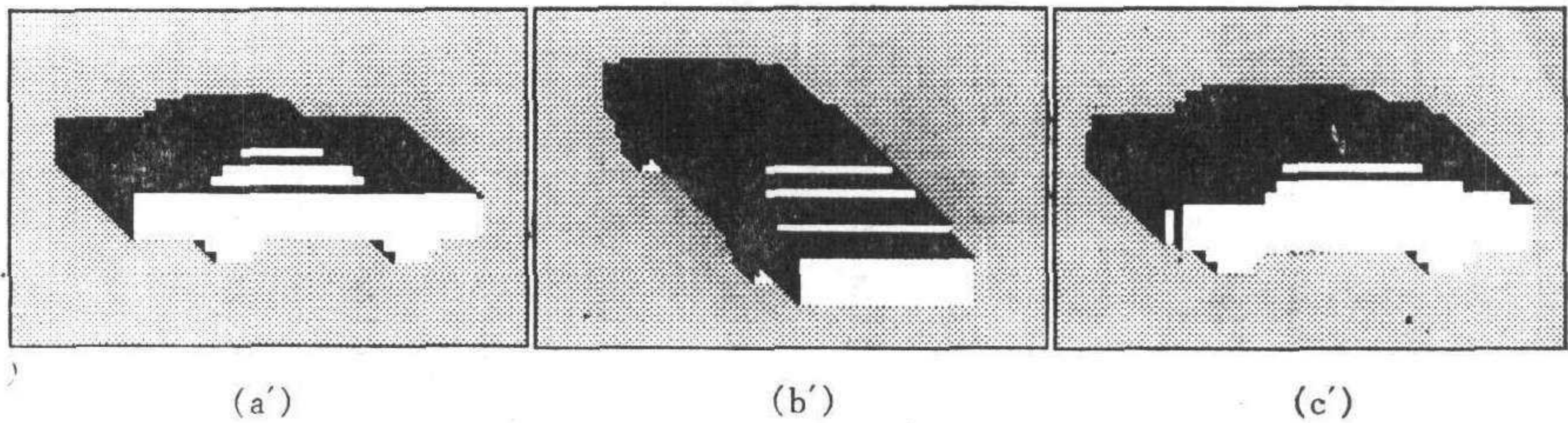


图 2 待识物体(图 1 物体 (a), (b), (c) 经过位置、取向和比例变化后的三维表示)

表 2 图 2 所示待识物体的识别结果

识别判据 J_d \ 三维物体	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)
(a')	$1.994136e-03$	$4.174441e-02$	$5.417528e-02$	$4.042382e-02$	$5.392052e-02$	$1.769446e-01$
(b')	$3.871186e-02$	$1.495171e-03$	$8.279241e-02$	$2.677494e-02$	$7.766788e-02$	$2.030465e-01$
(c')	$5.641879e-02$	$8.512019e-02$	$1.119793e-03$	$6.708357e-02$	$1.968998e-02$	$1.230990e-01$
识别判据 J_d \ 三维物体	(g)	(h)	(i)	(j)	(k)	(l)
(a')	$1.867300e-01$	$2.281638e-01$	$1.464483e-01$	$1.745069e-01$	$1.517590e-01$	$7.966476e-02$
(b')	$2.198507e-01$	$2.600502e-01$	$1.788861e-01$	$2.057691e-01$	$1.820118e-01$	$7.315819e-02$
(c')	$1.379388e-01$	$1.796635e-01$	$1.059730e-01$	$1.242080e-01$	$1.013190e-01$	$9.336223e-02$

的待识物体 (a'), (b'), (c') 分别是物体 (a), (b), (c) 经过位置、取向和比例变化后得到的三维表示。表 1 给出了 12 个三维物体以及 3 个待识物体判别向量的分量。利用表 1 的判别向量, 根据 (26) 式便可以计算出识别判据。表 2 列出了待识物体 (a'), (b'), (c') 与 12 个三维物体之间的识别判据。由表 2 可以看出, 待识物体 (a'), (b'), (c') 分别与三维物体 (a), (b), (c) 之间的识别判据最小, 故 (a'), (b'), (c') 均被正确地识别。

5 结论

针对主轴方法和矩方法各自的特点, 提出将两种方法相融合计算物体不变量的思想。文中提出的主轴唯一性判别准则从理论上解决了主轴多义性问题, 克服了用主轴方法归

一化物体取向存在的困难。在结合用矩方法进一步归一化物体比例变化时,推导出对物体平移、取向、比例变化归一化的 3-D 不变矩,作为识别的基础。本文的方法同主轴方法相比,突破了不能归一化物体取向的限制;同矩方法相比,充分利用该方法归一化物体比例变化的灵活性,避免了矩方法归一化物体取向繁琐、不变矩中含低阶 3-D 矩数量少、对噪声的干扰敏感等缺点。

参 考 文 献

- [1] Chien C H, Aggarwal J K. A normalized quadtree representation. *Computer Vision, Graphics and Image Processing*, 1984, **26**: 331—346.
- [2] Chien C H, Aggarwal J K. Identification of 3-D objects from multiple silhouettes using quadtrees/octrees. *Computer Vision, Graphics and Image Processing*, 1986, **36**: 256—273.
- [3] Faber T L, Stokely E M. Orientation of 3-D structures in medical images. *IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 1988, **10**: 626—633.
- [4] Galvez J M, Canton M. Normalization and shape recognition of three dimensional objects by 3-D moments. *Pattern Recognition*, 1993, **26**(5): 667—681.
- [5] Hu M K. Visual pattern recognition by moment invariants. *IEEE Trans. Information Theory*, 1962, **8**: 179—187.
- [6] Reiss T H. The revised fundamental theorem of moment invariants. *IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 1991, **13**: 830—834.
- [7] Sadjadi F A, Hall E L. Three-dimensional moment invariants. *IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 1980, **2**: 127—136.
- [8] Likins P K. Elements of engineering mechanics. New York: McGraw-Hill, 1973.
- [9] 刘成君,戴汝为. 三维物体空间取向归一化的一种新方法. *计算机学报*, 1996, **19**(4): 308—312.

INTEGRATING PRINCIPAL AXES METHOD AND MOMENT METHOD FOR 3D OBJECTS NORMALIZATION AND RECOGNITION

LIU CHENGJUN DAI RUWEI

(AI Lab., Institute of Automation Academia Sinica Beijing 100080)

ABSTRACT

A new idea is presented in this paper which integrates the principal axes method and moment method to normalize and recognize 3D objects. First, criteria for determining the unique principal axes are established which can perform efficiently to normalize the orientations of 3D objects. Then, 3D moment invariants which are position, orientation and scaling independent are derived. Finally, by using the second and third order moment invariants a discriminating vector and criteria for 3D objects recognition are presented. Experimental results of normalization and recognition of twelve 3D objects show the efficiency of our method.

Key words: Principal axes method, moment method, normalization, 3D moment invariants.



刘成君 1967年出生,1996年在中国科学院自动化研究所获博士学位。现从事图象处理、模式识别、计算机视觉等方面的研究工作。

戴汝为 照片及简介见本刊第19卷第5期。

First Announcement and Call for Papers

IFAC 5th SYMPOSIUM ON
LOW COST AUTOMATION

SHENYANG, P. R. CHINA

SEPTEMBER 8—10, 1998

Scope

Different applications fields benefit from automation by introducing suitable control strategies and devices without relevant modifications of the whole system or of the productive process. This aim should be achieved by a low cost automation approach.

The objective of this Symposium is to bring together endusers and control systems specialists to evaluate the possibilities of techniques, design procedures, components and instruments to achieve a low cost automation, not only considering all the economic aspects but also the improvements in productivity, reliability, flexibility, and facility of implementation. Special emphasis should be placed on small and medium-sized enterprises.

The former four low cost automation symposia, held in Valencia 1986, Milan 1989, Vienna 1992 and Buenos Aires 1995, showed the wide range of applications and the great interest from an industrial point of view of these techniques.

Submission of Papers

Five copies of an extended abstract (about 1000 words) in English should be received by the following address:

Prof. Wei Wang

Research Center of Automation

Northeastern University

Shenyang, 110006, P. R. China

Tel: (+86)-24-3909157, Fax: (+86)-24-3895647

e-mail: wangw @ mail. neu. edu. cn

The abstract should include:

- 1) The title of the paper
- 2) The name (s) and affiliation (s) of the author (s)
- 3) The contact author: mail address, e-mail address and fax number

(下转第717页)

- [7] 唐万生,李光泉等. 广义系统输出极点配置的代数几何方法. 天津大学学报,1995,28: 163—167.
 [8] 李 乔. 矩阵论八讲. 上海科学技术出版社,1988.

THE POLE ASSIGNMENT OF SINGULAR SYSTEMS WITH ALGEBRAIC GEOMETRY METHOD

TANG WANSHENG LI GUANGQUAN ZHENG PI'E

(*Institute of Systems Engineering, Tianjin University, Tianjin 300072*)

ABSTRACT

In this paper, the problems of pole assignment of singular systems are investigated by algebraic geometric method. The sufficient conditions for assignment of finite poles and other kinds of poles are developed. In addition, equivalence of the existence of a complex state feedback to the real state feedback is proved.

Key words: Singular systems, feedback, poles assignment.

~~~~~  
 (上接第 680 页)

#### Deadlines

Submission of extended abstract: October 30, 1997

Notification of acceptance : January 5, 1998

Camera ready copy : March 5, 1998

#### Post-Symposium Tours

Four guided tours in China will be arranged by China Association for Science and Technology.

\* Suburb of Shenyang, Water Cave or Qian Shan Hill (1 day).

\* Xian, Terra Cotta Soldiers and Horses, Huaqing Pond, Lishan Hill (2 days).

\* Beijing, Great wall, Forbidden City, Ming, Tomb, Temple of Heaven etc. (2 days).

\* Xian add Beijing (4 days).

#### Copyright

The material submitted for presentation at an IFAC symposium must be original, not published or being considered elsewhere. All papers accepted for presentation will appear in the Preprints of the meeting and will be distributed to the participants. Papers duly presented will be archived and offered for sale, in the form of Postprint volumes, by Elsevier Science Ltd, Oxford, UK. The presented papers will be further screened for possible publication in the IFAC Journals Automatica and Control Engineering Practice, or in IFAC affiliated journals. Papers presented will be recorded in Control Engineering Practice.

Copyright of material presented at an IFAC meeting is held by IFAC. Authors will be sent a copyright transfer form. Automatica, Control Engineering Practice and, after these, IFAC affiliated journals have priority access to all contributions presented. However, if the author is not contacted by an editor of these journals within three months after the meeting, the author is free to re-submit the material for publication elsewhere. In this case, the paper must carry a reference to the IFAC meeting where it was originally presented.

*Organized by*

Automation Research Institute of Ministry of Metallurgical Industry  
(ARIM)

Research Center of Automation, Northeastern University

*On behalf of*

Chinese Association of Automation