

# 图象光流场计算技术研究进展

陈震<sup>1),2)</sup> 高满屯<sup>1)</sup> 沈允文<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup>(西北工业大学机械系, 西安 710072) <sup>2)</sup>(南昌航空工业学院机械系, 南昌 330034)

**摘要** 时变图象光流场计算技术是计算机视觉中的重要研究内容,也是当今研究的热点问题.为了使人们对该技术有一个较全面的了解,因而对时变图象光流场计算技术的研究和进展做了较系统的论述,首先分别列举了灰度时变图象和彩色时变图象的光流场计算方法,并对这些方法进行了分类,然后总结了出目前图象光流场计算中存在的几个问题,最后对光流场计算技术的研究发展及其应用前景指出了一些可能的方向.

**关键词** 光流场 彩色图象 图象处理 计算机视觉

中图法分类号: TP391.41 文献标识码: A 文章编号: 1006-8961(2002)05-0434-06

## The Current Situation and Trends of Optical Flow Estimation

CHEN Zhen<sup>1),2)</sup>, GAO Man-tun<sup>1)</sup>, SHEN Yun-wen<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup>(Department of Mechanical Engineering, Northwestern Polytechnical University, Xi'an 710072)

<sup>2)</sup>(Department of Mechanical Engineering, Nanchang Institute of Aeronautical Technology, Nanchang 330034)

**Abstract** Optical flow estimation is a low-level phase of motion recovery problem. Its output is a 2D projection of the velocity field on the image plane, which is analyzed further to get high-level motion descriptions. A number of approaches have been developed for the optical flow estimation. The gradient-based approach for the optical flow estimation is one of the importance kinds, it assumes brightness conservation under motion. This provides one constraint for the two unknown local components of the velocity vector. It is ill-determined system of equation. A color image has some significant advantages over black-and-white image: it can give more optical information. Therefore, the colors images may be improve the solution of the optical flow estimation problem. The paper makes an introductory review on the optical flow estimation including the last achievement in this field. First, give the general concepts and fundamental principles of optical flow. Then, some methods for optical flow estimation are listed, black-and-white image and color image. Finally, make a discussion on some open problems and point out possible directions for further research.

**Keywords** Optical flow field, Color image, Image processing, Computer vision

## 0 引言

当人的眼睛观察运动物体时,物体的景象在人的视网膜上形成一系列连续变化的图象,这一系列连续变化的信息不断“流过”视网膜(即图象平面),好像一种光的“流”,故称之为光流<sup>[1]</sup>.光流表达了图象的变化,由于它包含了目标运动的信息,因此可被观察者用来确定目标的运动情况.从光流的定

义可以看出,由于光流有如下3个要素:一是运动(速度场),这是光流形成的必要条件;二是带光学特性的部位(例如有灰度的象素点),它能携带信息;三是成像投影(从场景到图象平面),因而能被观察到.

光流在视觉运动的研究中有非常重要的作用.视觉运动分析就是研究如何从变化着场景的一系列不同时刻的图象中,提取出有关场景中物体的结构、位置和运动信息.视觉运动分析可分为基于特征的方法和基于光流场的方法<sup>[2]</sup>两类.

时变图象光流场计算技术的研究大致有以下几个方向: ①研究解决光流场计算不适定问题的方法; ②研究光流场计算基本公式的不连续性; ③研究直线和曲线的光流场计算技术; ④由光流场重建物体三维运动和结构的研究。

光流场计算在工业和军事应用领域具有重要的现实意义<sup>[3]</sup>, 诸如在完成各种工业或军事任务的机器人视觉系统, 基于运动分析的空间卫星跟踪系统, 地对空导弹火控系统, 自动飞行器着陆与精确导航系统, 进行资源勘探、天气预报、军事侦察的航空或卫星照片的自动分析系统, 战场的动态分析系统, 医学上器官异常的分析与诊断系统等中均有广泛应用。

## 1 灰度时变图象光流场的计算

光流场的计算最初是由美国学者 Horn 和 Schunck 提出的<sup>[4]</sup>. 1981年, Horn 等人在相邻图象之间的间隔时间很小 ( $< n \times 10\text{ms}$ ), 且其图象中灰度变化也很小的前提下, 推导出灰度图象光流场计算的基本等式。

记时刻  $t$  时, 图象上一点  $(x, y)$  处的灰度值为  $E(x, y, t)$ . 在时刻  $t + \Delta t$  时, 这一点运动到新位置, 其在图象上的位置变为  $(x + \Delta x, y + \Delta y)$ , 灰度值记为  $E(x + \Delta x, y + \Delta y, t + \Delta t)$ , 假定它与  $E(x, y, t)$  相等, 即

$$E(x, y, t) = E(x + \Delta x, y + \Delta y, t + \Delta t) \quad (1)$$

将右边用泰勒公式展开, 那么经化简和略去两次以上的项, 得

$$\frac{\partial E}{\partial x} u + \frac{\partial E}{\partial y} v + \frac{\partial E}{\partial t} = 0 \quad (2)$$

这就是光流场计算的基本公式. 其写成梯度形式为

$$(\nabla E)^T \mathbf{U} + E_t = 0 \quad (3)$$

由于光流场  $\mathbf{U} = \begin{bmatrix} u \\ v \end{bmatrix}$  有两个变量, 而基本等式只有一个方程, 因此只能求出光流场沿梯度方向上的值, 而不能同时求出光流场的两个速度分量  $u$  和  $v$ . 这就是说, 从基本等式求解光流场是一个不适定问题。

### 1.1 研究解决光流场计算不适定问题的方法

各国的研究者均在探索求解该不适定问题的方法, 其间出现了许多克服不适定问题的算法, 例如, Horn 等人依据同一运动物体引起的光流场应该是连续的、平滑的, 即同一物体上相邻点的速度是相似

的, 那么其投影到图象上的光流变化也应该是平滑的这一特点, 提出了一种利用加在光流场上的附加约束, 即整体平滑约束来将光流场的计算问题转化为一个变分问题. Nagel 考虑到基本等式本身, 由于在该点灰度场的梯度方向上, 已对光流场有了约束, 因而提出附加的光滑性约束应使光流场在沿着其梯度的垂直方向上的变化率最小, 据此导出了一种新的迭代算法<sup>[5]</sup>; Tretiak 和 Nagel 认为光流场计算属于一类微分问题, 由于它涉及到图象灰度的时空导数的计算, 因而提出一个基于二阶微分算子的附加约束<sup>[6,7]</sup>; Wohu 等人用多重局部约束和非线性平滑条件来计算时变图象的光流场<sup>[8]</sup>; Terzopoulos 和 Hildreth 分别提出了更好的有向平滑度约束条件<sup>[9]</sup>; Haralick 等人将物体表面分割为多个小平面, 并假设每个小平面对近似的运动, 且在短时间内为常量, 进而依据此思想得到了附加约束. Nagel 曾全面地对灰度场附加约束进行了研究. 国内复旦大学吴立德教授领导的课题组曾对灰度时变图象的光流场计算理论和方法进行过研究, 并提出了多通道方法<sup>[10]</sup>. 此外, 尚有基于块(区域)的光流场计算方法<sup>[11]</sup>, 基于象素递归的光流场计算方法, 基于随机平滑度约束条件的贝叶斯光流场分析法<sup>[12]</sup>, 以及傅立叶自适应平滑约束方法<sup>[13]</sup>和几何约束方法<sup>[14]</sup>等等。

### 1.2 研究光流场计算基本公式的不连续性

由于在光流场计算基本公式的导出过程中, 应用了泰勒级数展开, 因此这实际隐含着认为灰度变化以及速度场的变化都是连续的. 但在实际情况中, 图象中的灰度变化以及速度场都可能出现不连续, 例如, 景物中各个独立的表面就使光流的速度场成为非连续的. 光流场计算基本公式在出现这种不连续时, 是否仍然成立是一个值得讨论的问题<sup>[15]</sup>.

这方面研究具有代表性的研究是由日本学者 Mukawa 提出的方法<sup>[16]</sup>. Mukawa 考虑到光流场计算基本等式应用了泰勒级数展开, 但由于实际上是不连续的, 故引入一个修正因子  $q$ , 使得  $q = E(x + \Delta x, y + \Delta y, t + \Delta t) - E(x, y, t)$ , 这样光流场计算基本等式就修正成

$$q + E_x u + E_y v + E_t = 0 \quad (4)$$

该修正因子  $q$  可以由物体的运动和投影模型求出, 这样就可以较好地解决光流场计算基本等式的不连续问题。

通常情况下, 由于灰度变化以及速度场的变化

都是不连续的,因而应用光流场计算基本等式,理论上只能求解灰度变化小于1个象素的连续两帧图象.为了求得大位移情况下的光流场,Alvarez等人对光流场计算基本等式作了如下3方面的改进<sup>[17]</sup>:  
 ①避免由不同图象中灰度和亮度条件引起的矛盾;  
 ②用一个逐步精确的线性刻度,以避免其收敛于不相关的局部最小值;  
 ③建立一个能量函数,并使其成为线性亮度变化下的不变量.经过改进,使得Alvarez等人提出的方法可以计算超过10个象素的位移,且效果极佳,准确率几乎达到100%.

### 1.3 研究直线和曲线的光流场计算技术

光流场计算作为计算机视觉的重要组成部分,其主要的功能是作为中间介质用于重建三维物体的运动和结构.为了重建三维物体的运动和结构,把光流场用单个象素点进行显然不合适.一般来说,抽象层次的提高(例如将点级别提高到线级别),将更有利于进行图象处理和分析<sup>[18]</sup>,对于光流场计算也是如此.如Allmen用时空表面流和时空流曲线来计算光流场<sup>[19]</sup>.计算时,Allmen把时空表面流定义成时空表面上光流的自然延伸,并认为当轮廓线运动时,它们在投影平面上的投影也随之运动.由于这些投影扫过时空表面,因此这些表面就是物体运动的直接表示;Park用轮廓线的曲率信息来估算轮廓线的运动<sup>[20]</sup>;Williams主要从计算的复杂性和准确性上,对以前的算法作了修正<sup>[21]</sup>;Kumar提出了一种新的计算光流场曲线的方法<sup>[22]</sup>,该方法可以完好地保留边界信息,其所用的数值计算方法计算出的结果与理论分析吻合很好.Fleet则又提出直线光流场的计算方法<sup>[23]</sup>.

### 1.4 由光流场重建物体三维运动和结构的研究

三维场景中一个刚体上的6个运动参数是相同的.如果能得到来自刚体不同部分的光流信息,就可以利用这些光流信息去同时估算出运动的6个参数<sup>[24]</sup>.

其中,最具代表性的研究是Adiv提出的全局光流技术<sup>[25]</sup>.Adiv把整个分析过程分为如下两大步:首先将得到的光流场分成若干区域,每个区域对应空间一个平面的运动;其后,将分割出的彼此连接部分进一步编组,使其对应单个的刚体目标,并进而通过假设,估算出三维运动的参数与结构,其所提供的运动参数是旋转参数,平移运动的方向以及空间表面的相对深度.Srinivasan把三维物体结构恢复的研究大大推进了,他用一种称之为“快速误差搜索技

术”的方法<sup>[26]</sup>来建立一个包含旋转和深度信息等未知的线性方程组,但首先不去求解该方程组的解,而去求得方程组的最小二乘误差;然后用求得的误差来构造一个误差平面,从而得到三维物体的结构.Srinivasan不仅从理论上证明了该方法的正确性,而且通过一系列实验证明了该方法的有效性和计算的高效性.文献[27]、[28]也提供了重建物体三维运动和结构的方法.

## 2 彩色时变图象光流场的计算

在现实生活中,人们常常得到的是物体和场景的彩色图象,随着人们对彩色图象形成机理研究的进一步深入<sup>[29~31]</sup>,就提出了彩色时变图象光流场的计算问题.最初引入彩色时变图象的目的是为了解决光流场计算基本等式的不适定问题.

在图象处理过程中,常首先把一幅彩色图象分解成三基色的3幅图象,以便于分析图象中的某些特征;然后彩色时变图象光流场的计算问题便可以充分利用这些特征,现列举以下几种研究方法:

### 2.1 色彩灰度一致性方法

1990年,Ohta提出一种基于色彩灰度不变的计算模型<sup>[32]</sup>.在该计算模型中,把彩色图象看作是R、G、B 3个独立图象的混合,由于它们在图象处理中的地位是相等的,并且认为图象中某点处的R、G、B的量在运动过程中保持不变,因此可以分别用R、G、B来计算图象中每一点处的光流场.把3个彩色分量分别代入光流场计算的基本公式(2),即有

$$\begin{cases} \frac{\partial R}{\partial x}u + \frac{\partial R}{\partial y}v + \frac{\partial R}{\partial t} = 0 \\ \frac{\partial G}{\partial x}u + \frac{\partial G}{\partial y}v + \frac{\partial G}{\partial t} = 0 \\ \frac{\partial B}{\partial x}u + \frac{\partial B}{\partial y}v + \frac{\partial B}{\partial t} = 0 \end{cases} \quad (5)$$

在式(5)中,有3个等式,由于只需求解两个未知量,且是一个超定方程组,因此可以用广义逆法求解.令

$$A = \begin{bmatrix} R_x & R_y \\ G_x & G_y \\ B_x & B_y \end{bmatrix}, \quad b = \begin{bmatrix} -R_t \\ -G_t \\ -B_t \end{bmatrix}$$

则由

$$(A^T A)U = A^T b \quad (6)$$

可以解出

$$U = (A^T A)^{-1} A^T b$$

利用上述方法可以计算出图象上每一点的光流场, 而且后来有人用实验验证了该方法, 实验结果表明, 该方法对于图象噪声的抗干扰能力很强, 且在处理平行于投影平面的移动时, 能得到较精确结果, 但是如果在处理转动场景或垂直于投影平面的移动场景等复杂运动时, 则计算误差很大。

Lai 所提出的方法<sup>[33]</sup>与 Ohta 的方法在原理上一样, 只不过 Lai 把该方法运用于非刚性物体运动的求解. 不仅如此, Lai 还对非刚性物体的运动恢复作了研究。

### 2.2 色彩自身一致性方法

1997 年以色列学者 Golland 又提出了一种基于色彩自身不变的新分析方法<sup>[34]</sup>. 该方法也是把彩色图象看作是 R、G、B 3 个独立图象的混合, 而从物体光照模型的角度还可得出

$$\begin{cases} R = \int_{\Omega} S(\lambda) D_r(\lambda) d\lambda \\ G = \int_{\Omega} S(\lambda) D_g(\lambda) d\lambda \\ B = \int_{\Omega} S(\lambda) D_b(\lambda) d\lambda \end{cases} \quad (7)$$

其中,  $S(\lambda)$  为输入频谱, 它与场景光照、物体表面反射率和反射表面的几何性质有关, 还随着物体运动而变化, 且场景变化越快, 由其引入基本等式的误差也就越大.  $D_i(\lambda)$  为光传感器的灵敏度函数。

物体在某一点  $\tau$  处, 反射光的能量分布  $\hat{I}(\lambda, \tau)$  与入射光的能量分布  $I(\lambda, \tau)$  存在着比例关系, 即

$$\hat{I}(\lambda, \tau) = R(\lambda, \varphi, \theta, \gamma, \tau) I(\lambda, \tau) \quad (8)$$

其中,  $R(\lambda, \varphi, \theta, \gamma, \tau)$  为比例因子. 这里的角度  $\varphi, \theta, \gamma$  分别表示  $\tau$  点处光线的入射角、反射角以及物体表面  $\tau$  点处法线的方向. 实验证明, 由于比例因子  $R(\lambda, \varphi, \theta, \gamma, \tau)$  可以分解成频谱分量因子  $\rho(\lambda)$  和几何分量因子  $c(\varphi, \theta, \gamma)$  等两个独立的因子, 因此反射光的能量分布  $\hat{I}(\lambda, \tau)$  就可以写成

$$\hat{I}(\lambda, \tau) = \rho(\lambda, \tau) c(\varphi, \theta, \gamma, \tau) I(\lambda, \tau) \quad (9)$$

代入式(7), 即有

$$\begin{cases} R = \int_{\Omega} c(\varphi, \theta, \gamma) \rho(\lambda) I(\lambda) D_r(\lambda) d\lambda \\ G = \int_{\Omega} c(\varphi, \theta, \gamma) \rho(\lambda) I(\lambda) D_g(\lambda) d\lambda \\ B = \int_{\Omega} c(\varphi, \theta, \gamma) \rho(\lambda) I(\lambda) D_b(\lambda) d\lambda \end{cases} \quad (10)$$

因为几何分量因子与入射光波长无关, 所以可以移至积分号外, 有

$$\begin{cases} R = c(\varphi, \theta, \gamma) \int_{\Omega} \rho(\lambda) I(\lambda) D_r(\lambda) d\lambda \\ G = c(\varphi, \theta, \gamma) \int_{\Omega} \rho(\lambda) I(\lambda) D_g(\lambda) d\lambda \\ B = c(\varphi, \theta, \gamma) \int_{\Omega} \rho(\lambda) I(\lambda) D_b(\lambda) d\lambda \end{cases} \quad (11)$$

定义一个物体色彩特征不变量  $C_i$ ,  $C_i$  的公式如下

$$C_i = \int_{\Omega} \rho(\lambda) I(\lambda) D_i(\lambda) d\lambda \quad i \in \{r, g, b\}$$

其中, 发射函数的频谱分量因子  $\rho(\lambda)$  表示物体的颜色属性, 其和场景的几何形状以及光照属性无关, 而仅表示物体的颜色属性, 且在物体运动时保持不变. 另外, 光传感器的灵敏度函数  $D_i(\lambda)$  也不随场景变化. 由于入射光的能量分布  $I(\lambda)$  变化很慢, 以至于可以假设其在很小的时间区域内保持不变, 因此  $C_i$  在物体运动或照相机运动时也均保持不变. 因为物体的颜色在运动过程中保持不变, 且表示颜色的量在某一特定光照下也不变, 所以可以用作光流场计算。

虽然不能直接从  $R, G$  和  $B$  的值中提取  $C_i$ , 但是由于任何两个  $R, G, B$  值的线性组合的变化率等于相应  $C_i$  值的变化率, 因此为避免任何两个  $R, G, B$  值的梯度线性相关, 可以用  $R, G, B$  的法向权  $r, g, b$  来计算, 其中,  $r = \frac{R}{R+G+B}, g = \frac{G}{R+G+B}, b = \frac{B}{R+G+B}$ .

令  $F_1 = r, F_2 = g$ , 则有

$$\begin{cases} \frac{\partial F_1}{\partial x} u + \frac{\partial F_1}{\partial y} v + \frac{\partial F_1}{\partial t} = 0 \\ \frac{\partial F_2}{\partial x} u + \frac{\partial F_2}{\partial y} v + \frac{\partial F_2}{\partial t} = 0 \end{cases} \quad (12)$$

Golland 用两种颜色模型(RGB 和 HSV) 分别对各种复杂相对运动进行计算测试, 结果表明, 该方法适用于各种复杂相对运动。

类似于所有基于梯度的方法, 该方法是在假设函数梯度存在的前提下提出的. 如果图象梯度的量级与图象噪声相比很小, 则该方法失效. 该方法另一个可能的失效原因是由于等式(12)线性相关, 即所有颜色函数的梯度变化相同, 这可能发生在合成图象中, 在真实图象中这种情况几乎不可能发生。

### 3 研究展望

综上所述, 图象光流场计算技术虽已取得一些进展, 并已得到了许多很好的算法, 但在下列方面还

有待于进一步研究:

(1) 是否可以根据彩色图象成像过程和原理的理论分析以及实验分析,例如是否可依据不同颜色的光具有不同波长等特征来分析彩色时变图象的不变特征和不变量,以便对光流场计算基本公式进行修正.

(2) 是否可以借鉴灰度时变图象光流场计算的研究成果和实验方法,以便利用彩色时变图象中更丰富的信息来从彩色时变图象中获取二次光流场(即加速度场)信息.

(3) 现有的光流场计算技术大多是基于点进行计算的,而对图象中特征最为明显的直线和曲线的光流计算技术则研究较少.是否可以通过给出直线和曲线的光流概念和光流运动方程组来建立用于直线和曲线光流场计算的数学模型,以便可以更方便地获取物体三维结构和运动.

(4) 将基于特征的方法和基于光流场的方法结合起来,以开展恢复三维物体结构和运动的研究较少.是否可以将基于特征的方法和基于光流场的方法结合起来,以恢复三维物体的结构和运动.

(5) 与光流计算理论方面的工作相比,实验方面的工作做得相对少一些,特别是尚没有一个客观地评价各种算法可实现性的实际标准.

## 参 考 文 献

- 1 章毓晋. 图象工程(下册). 图象理解与计算机视觉[M]. 北京: 清华大学出版社, 2000.
- 2 吴立德. 计算机视觉[M]. 上海: 复旦大学出版社, 1993.
- 3 马颂德, 张正友. 计算机视觉——计算理论与算法基础[M]. 北京: 科学出版社, 1998.
- 4 Horn B, Schunch B. Determining optical flow [J]. *Artificial Intelligence*, 1981, 17: 185~ 203.
- 5 Nagel H H. Constrains for the estimation of displacement vector fields from image sequences[A]. In: *Proceeding IJCAI-83* [C], Karlsruhe, Germany, 1983: 945~ 951.
- 6 Tretiak O, Pastor L. Velocity estimation from image sequences with second order differential operators [A]. In: *Proceedings Internation Conference on Pattern Recognition* [C]. Montreal, Canada, 1984: 16~ 19.
- 7 Otte M, Nagel H H. Estimation of optical flow based on higher-order spatiotemporal derivatives in interlaced and non-interlaced image sequences [J]. *Artificial Intelligence*, 1995, 78 (1/2): 5~ 43.
- 8 Wohn K, Divis L S, Thrift P. Motion estimation based on multiple local constraints and nonlinear smoothing [J]. *Pattern Recognition*, 1983, 16(6): 563~ 570.

- 9 Terzopoulos D. Regularization of inverse visual problems involving discontinuities [J]. *IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence*. 1986. 8(4): 413~ 424.
- 10 傅洁, 吴立德. 计算机视觉中运动分析的连续处理方法综述 [J]. *模式识别与人工智能*, 1991, 4(1): 91~ 100.
- 11 Seferidis V. General approach to block-matching motion estimation [J]. *Optical Engineering*, 1993, 32(1): 79~ 91.
- 12 Tekalp A M. *Digital video processing* [M]. New Jersey: Prentice-Hall inc, 1996.
- 13 Marzani E, Legrand L, Dusserre L. Fourier adaptive smoothness constraint for computing optical flow on sequences of angiographic images [A]. In: *Proceedings of the IEEE Symposium on Computer-Based Medical Systems* [C]. Los Alamitos: 1996: 53~ 58.
- 14 Convertino G, Stella E, Branca A *et al.* Optic flow estimation by a Hopfield neural network using geometrical constraints [J]. *Pattern Recognition*, 1997, 10(3): 114~ 122.
- 15 郑南宁. *计算机视觉与模式识别* [M]. 北京: 国防工业出版社, 1998.
- 16 Mukawa N. Optical-Model-Based analysis of consecutive images [J]. *Computer Vision and Image Understanding*, 1997, 66(1): 25~ 32.
- 17 Alvarez L, Weickert J, Sanchez J. Reliable estimation of dense optical flow field with large displacement [J]. *International Journal of Computer Vision*, 2000, 39(1): 41~ 56.
- 18 林通, 石青云. 一种基于边缘生长的灰度和彩色图象分割方法 [J]. *中国图象图形学报*, 2000, 5A(11): 911~ 915.
- 19 Allmen M C. Image sequence description using spatiotemporal flow curves: Toward motion-based recognition [D]. Ph. D. Thesis, University of Wisconsin-Madison, 1991.
- 20 Park J S, Han J H. Comtour motion estimation from image sequences using curvature information [J]. *Pattern Recognition*, 1998, 31(1): 31~ 39.
- 21 Williams D J, Shah M. A fast algorithm for active contours and curvature estimation [J]. *Image Understanding*, 1992, 55(1): 14~ 26.
- 22 Kumar A, Tannenbaum A R, Balas G J. Optical flow: A curve evolution approach [J]. *IEEE Transactions on Image Processing*, 1996, 5(4): 598~ 610.
- 23 Fleet D J, Black M J, Yacoob Y *et al.* Design and use of linear models for image motion analysis [J]. *International Journal of Computer Vision*, 2000, 36(3): 171~ 193.
- 24 王润生. *图象理解* [M]. 长沙: 国防科技大学出版社, 1994.
- 25 Adiv G. Determining three-dimensional motion and structure from optical flow generated by several moving objects [J]. *IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 1985, 7(3): 384~ 401.
- 26 Srinivasan S. Extracting structure from optical flow using the fast error search technique [J]. *International Journal of Computer Vision*, 2000, 37(3): 203~ 230.
- 27 Ohta N, Kanatani K. Optimal structure from motion algorithm

for optical flow [J]. IEICE Trans. Information and System, 1995, E78-D(12): 1559~ 1565.

28 Huang T S. Motion and structure from feature correspondance [M]. New York: Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, 1993.

29 Shafer S. Using color to separate reflection components. Color [J]. Research and Application, 1985, 10(4): 210~ 218.

30 Wandell B A. The synthesis and analysis of color images[J]. IEEE Trans. On Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1987, PAMI-9(1): 2~ 13.

31 Finlayson G, Funt B, Barnard K. Color constancy under varying illumination [A]. In: Proceedings of The 5<sup>th</sup> International Conference on Computer Vision [C]. Cambridge, MA, 1995: 720~ 725.

32 Ohta N. Optical flow detection by color image [J]. NEC Research and Development, 1990, 97: 78~ 84.

33 Lai J, Gauch J, Crisman J D. Computing optical flow in color image sequences[J]. Innovation and Technology in Biology and Medicine, 1994, 15(3): 76~ 87.

34 Golland P, Bruckstein A M. Motion from color[J]. Computer Vision and Image Understanding, 1997, 68(3): 346~ 362.



**陈 震** 1969 年生, 南昌航空工业学院讲师, 现为西北工业大学博士研究生. 主要研究方向为计算机视觉、图形图象处理、人工智能和模式识别. 发表论文 6 篇.



**高满屯** 1962 年生, 硕士, 西北工业大学教授, 西北工业大学学术带头人. 主要研究方向为计算机视觉、图形图象处理、人工智能和模式识别. 发表论文 70 余篇, 出版专著 1 部.



**沈允文** 1936 年生, 西北工业大学教授, 博士生导师, 国家自然科学基金委工程与材料学部评委, 西北工业大学学术委员会委员. 主要研究方向为机械传动、机械动力学、振动、冲击和噪声. 发表论文 140 余篇, 出版学术专著 1 部.

## GIS 用原装耗材是最佳选择

如今 GIS 领域输出的图表, 已可用惠普大幅面打印机轻松打印了. 但鉴于 GIS 领域对输出的图表有相当高的要求, 即要求色彩有高清晰度、高逼真度、线条粗细及颜色饱满不失真, 色彩的层次感高等, 这样才能保证反映信息的准确性. 虽然惠普大幅面打印机具有精确的输出质量, 若不配合使用原装耗材, 仍将得不到满意的输出结果.

实践证明, 若采用兼容耗材, 输出质量很不理想. 不仅如此, 兼容耗材还可使打印机设备(喷头、墨盒)严重损坏, 从而降低打印设备的寿命, 真是得不偿失. 另外, 兼容耗材还常造成环境污染.

鉴于原装耗材能够保证打印质量, 不但所有的墨水, 纸张均是采用独特的配方. 特殊的工艺生产的, 且均经过严格的质量检查, 如惠普生产的原装墨水要经过多达 35 种性能测试, 其中包括光密度、耐水性、耐光性、耐涂抹性和渗色性等. 原装耗材不仅具有复杂的物理及化学特性, 即其表面张力、附着性、渗透性、pH 值、颗粒大小、导电性和吸收性等都有严格的指标, 而且具有防褪色、防沾污、耐水和不渗色等特点. 因此打印出的图纸不会出现偏色, 能保证色彩饱和, 而且色彩层次丰富, 同时, 不存在环境污染问题. 因原装耗材均通过“Blue Angel”环保认证.

由此可见, 采用原装耗材是 GIS 产业的最佳选择.