

基于多层次灰关联分析的图象分割性能评估

狄宇春

邓雁萍

(宁波大学科技学院计算机系, 宁波 315211) (上海交通大学图象处理与模式识别研究所, 上海 200030)

摘要 图象分割是自动目标识别系统(ATRS)的关键部分,它是一种基本的图象分析技术,作为图象分析的重要步骤在许多图象应用分析中都是必不可少的,其结果直接影响到其后的信息处理过程.分割算法性能的评估是ATRS离线评估的重要组成部分.根据信息融合与系统工程思想,提出了基于多层次灰色关联度分析的图象分割性能评估模型,该方法综合信息融合、灰色系统和层次分析法等新兴学科精华而成,该方法既可以从整体上进行评估,又可以从某个侧面进行评估.文中给出了该方法同以往方法的实验对比,应用实例显示,它在现有文献的基础上提高了数据的离散性,便于区分不同分割算法的性能,克服了以往方法的奇异性和不灵敏性,它在分割算法的性能评估方面比其他方法更为有效、合理,从而使评判更易进行.

关键词 计算机图象处理(520·6040) 灰色关联度 层次分析法 信息融合 自动目标识别 分割 性能评估
中图分类号: TP391.41 文献标识码: A 文章编号: 1006-8961(2003)10-1153-06

The Performance Evaluation Based on the Grey Multi-hierarchical Appraise Model of Image Segmentation

DI Yu-chun

(Department of Computer Science & Engineering, College of Science & Technology, Ningbo University, Ningbo 315211)

DENG Yan-ping

(Institute of Image Processing and Pattern Recognition, Shanghai Jiaotong University, Shanghai 200030)

Abstract Image segmentation is the key component in the automatic target recognition system (ATRS). It's an important step of image analysis. Its results have critical implications for the information processing stages that follow; The evaluation of a segmentation algorithm makes an important part of the estimation of performance for are as an off-line ATRS; Based on the knowledge of data fusion and systems engineering, a new model of gray multi-hierarchical appraise by combining gray appraise method with the Analytic Hierarchy Process (AHP) and data fusion is proposed in this paper. It is used to evaluate the performance of image segmentation. The performance evaluation can be performed from both global and local aspects. The paper also discussed evaluation models and their experimental comparative results to prove its feasibility and to confirm the advantages of the new model. The application shows that the new model is more efficient and reasonable than other methods.

Keywords Computer image processing, Grey relational grade, Analytic hierarchy process, Data fusion, Automatic target recognition, Segmentation, Performance evaluation

0 引言

目标图象的自动分割是自动目标识别系统(ATRS)的关键部分,而ATRS技术是成像制导的关键环节,其结果直接影响到其后的信息处理过程,分割算法性能的评估是ATRS离线评估的重要组成部分

之一.分割算法性能的评估可以在实验和理论两个方面为改进算法的设计提供定性和定量的依据.

在图象分割及自动目标识别任务中,用于识别的特征的选择是随具体的识别任务而定的,各特征在识别任务中所起的作用也是不完全等同的.那么在对图象分割及自动目标识别系统(ATRS)的性能进行评估时必须根据其识别任务的特点来确定性能

基金项目:国家自然科学基金项目(69502003)

收稿日期:2002-09-18; 改回日期:2003-08-11

的评估指标(准则),实际工作对评估方法的实用性(如通用性和特殊性)提出了要求(譬如从整体性能上的综合评估,或从某个侧面、或从某个特性如实时性上来进行评估,指标的多层次性要求).这就要求建立相应的评估模型来适应实际应用的要求.目前对该问题的研究已有一些成果^[1~6],如 ERIM (Environmental Research Institute of Michigan)、TI(Texas Instruments)以及 Honeywell 采用集合运算中的“交”、“并”算子分别提出了一种性能评估指标^[1],文献[2]在此基础上进一步提出了在进行评估分割算法性能时,不仅要考虑分割结果(ST)在图象中的面积因素,同时还需要考虑目标的形状因素(该方法命名为MF).现已提出的许多评估方法^[1~6]大多是从某一个或少数几个方面进行的,存在指标值奇异性和对分割性能不灵敏的问题.为此,根据信息融合和系统工程思想,采用多层次灰色关联度分析和层次分析法,提出了一个基于多层次灰色关联度分析的图象分割性能评估模型(MGAHP),并通过一些试验对其进行分析.应用实例显示,该模型评判的结果与算法的性能一致、评估结果数据离散度高、克服了以往方法不灵敏的不足,同时也避免了奇异性,比现有结果更为有效;该方法计算量小、对样本的数量没有要求、也不需要典型的分布规律.需要指出的是由于分割评估缺少绝对正确的分割参照结果(RT),因而这是一个病态的问题.不过,本文仅局限于分割算法的性能评估,而不涉及如何取得分割的 RT 过程,所有图象的 RT 将作为已知项来处理.

1 多层次灰关联综合评估模型

基于单层次灰色关联度分析综合评判建模过程可简单地用图1来描述.图中的 X 表示经归一化处理后的属性矩阵,通过关联度分析,得到其关于优向量和次向量的关联度,经相关计算、排序得到评估结果^[7].

在实际问题中,譬如 ATRS 的性能评估,由于需

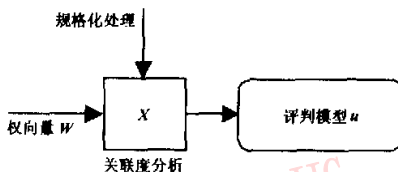


图1 基于单层次系统的灰关联评估框图

要考虑的因素往往很多,而且不同因素间还存在不同的层次,所以需要考虑多层次的综合评判问题.在视觉计算中,信息融合(也被称为数据融合)已开始受到广泛的重视.融合是指将从多个感知源得到的信息特征融合到一起,成为一致的表达形式的处理过程.融合技术的特点是利用多种或多个传感器在时空上的互补性及信息上的相关性,以期得到对被感知对象的更精确的描述或判断的综合处理过程,并在此基础上为用户提供需求信息,诸如决策、任务或航迹等.这里所说的传感器是广义上的,甚至进行数据处理的算法过程也可以认为是一种传感器^[8].融合可以在不同的层次上进行,融合算法取决于融合的目的.根据信息融合的思想,多层次综合评判是建立在单层次综合评判的基础上进行的.多层次的数据融合综合评判模型(以2级为例)如图2所示.

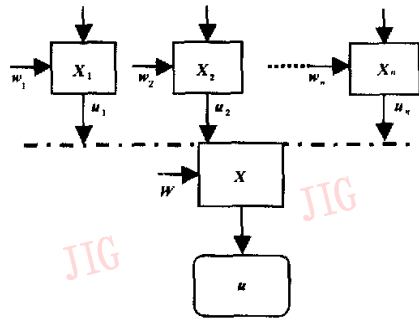


图2 基于多层次系统的灰关联综合评估框图

图2中的 $X_1, w_1, X_2, w_2, \dots, X_n, w_n$ 分别表示在一级评估并经归一化处理后的各子系统的属性矩阵和权向量; u_1, u_2, \dots, u_n 分别表示在一级评估中各子系统的评估结果向量(它们以及 u 的维数等于参与评估的分割算法的个数); X 表示在2级评估中的属性矩阵(它以 u_1, u_2, \dots, u_n 为行向量),即 $X = (u_1, u_2, \dots, u_n)^T$; W 表示在二级评估中用于关联度分析的权重向量, u 表示二级评估的最终评估结果向量.

2 指标设计及计算

出于对多层次灰色关联度分析的图象分割性能评估模型效果的检验^[7],由试验分析性能指标拟选用面积因子、形状因子、重心距离、汉明距离、相似度如下:

(1) 面积因子

$$m_A = T_C/T \tag{1}$$

T 为分割参照结果区域 RT 的面积; T_c 为对目标分割正确的区域 $ST \cap RT$ 的面积.

(2) 形状因子

$$m_t(T_c/T)^{1/3} \left[1 - 2\sqrt{\pi} \left| \frac{\sqrt{T}}{l_{RT}} - \frac{\sqrt{T_{ST}}}{l_{ST}} \right| \right] \quad (2)$$

即 m_t 应与正确分割的面积有关(这里 l_{RT} 和 l_{ST} 分别为 RT 和 ST 的周长).

两幅图象重心间的距离,重心坐标按下式计算

$$\bar{x} = m_{10}/m_{11} \quad \bar{y} = m_{01}/m_{11}$$

对于数字图象 $f(x, y)$, 矩可以表示为

$$M_{pq} = \sum_x \sum_y i^p j^q f(x, y) \quad p, q = 0, 1, 2, \dots$$

(3) 重心距离

$$d(a, b) = |a_x - b_x| + |a_y - b_y| \quad (3)$$

(4) 两幅图象 f_1, f_2 的汉明距离 $HIMDIST$ 由下式给出

$$HIMDIST = \sum_y \sum_x |f_1(x, y) - f_2(x, y)| \quad (4)$$

$HIMDIST$ 越小, 表示两幅图象越相似, $HIMDIST$ 越大, 表示两幅图象越不相似. $HIMDIST$ 等于 0 时, 则两幅图象完全一致.

(5) 两幅图象 f_1, f_2 的相似度 S 由下式求出

$$S = \frac{\sum_y \sum_x f_1(x, y) f_2(x, y)}{\sqrt{\sum_y \sum_x f_1^2(x, y)} \sqrt{\sum_y \sum_x f_2^2(x, y)}} \quad (5)$$

相似度 S 越大, 表示图象越相似, $S=1$ 时, 两幅图象完全一致.

3 (单层次)灰色关联度分析评估

灰色关联度分析是一种以灰色关联度为测度来衡量因素间关联程度大小的量化方法, 是对系统统计数据列几何关系的一种比较. 它对试验样本数量没有要求, 不需样本具备典型的分布规律, 计算量小.

设系统的 n 个待评估对象在 m 个评价因素下的评价指标属性值构成属性矩阵: $Y = (y_{ij})_{m \times n}$, 其中 y_{ij} 代表第 j 评估对象在第 i 个评价因素下的指标属性值. 由于评估指标相互之间通常具有不同的量纲和数量级, 不能直接进行比较, 因此需要对原始指标值进行规格化处理(或称归一化处理). 同时, 当数据的极差小于 1 时, 归一化处理还可以增大数据的离散度. 根据对象的属性指标, 一般有 3 种归一化方法: 越大越优型(如前面定义的面积因子、形状因子、

相似度等); 越小越优型(如两幅图象的 $HIMMING$ 距离、重心距离、虚警率等); 适当型, 即“越接近于某一标准值 r , 越优”(如亮度等^[7]). 对它们进行如下规格化处理

$$x_{ij} = \begin{cases} \frac{y_{ij} - \min_i y_{ij}}{\max_j y_{ij} - \min_j y_{ij}}, & \text{越大越优型} \\ \frac{\max_j y_{ij} - y_{ij}}{\max_j y_{ij} - \min_j y_{ij}}, & \text{越小越优型} \\ 1 - \frac{|y_{ij} - r_i|}{\max_i |y_{ij} - r_i|}, & \text{适当型} \end{cases} \quad (6)$$

于是, 得归一化矩阵 $X = (x_{ij})_{m \times n}$. 显然, $0 \leq x_{ij} \leq 1$, x_{ij} 越大, 表明第 j 个分割算法的第 i 个因素评价越优; x_{ij} 越小, 表明第 j 个分割算法的第 i 个因素评价越次.

分别定义系统优向量 G 和次向量 B 如下

$$\begin{cases} G = (g_1, g_2, \dots, g_m) \\ = (x_{11} \vee x_{12} \vee \dots \vee x_{1n}, x_{21} \vee x_{22} \vee \dots \vee x_{2n}, \dots, \\ \quad x_{m1} \vee x_{m2} \vee \dots \vee x_{mn}) \\ B = (b_1, b_2, \dots, b_m) \\ = (x_{11} \wedge x_{12} \wedge \dots \wedge x_{1n}, x_{21} \wedge x_{22} \wedge \dots \wedge x_{2n}, \dots, \\ \quad x_{m1} \wedge x_{m2} \wedge \dots \wedge x_{mn}) \end{cases}$$

其中 \vee, \wedge 分别为取大、取小运算符, 又对第 j 个分割算法, 记

$$X_j = (x_{1j}, x_{2j}, \dots, x_{mj}) \quad j = 1, 2, \dots, n$$

灰关联分析: 各个评价因素对待评系统的影响程度是不同的, 通常要采用权重来表征各因素对待评系统的影响程度. 至于权重则通过层次分析(AHP)法来确定. 记评价因素的权向量为

$$W = (w_1, w_2, \dots, w_m) \quad \sum_{i=1}^m w_i = 1$$

对归一化矩阵 $(x_{ij})_{m \times n}$, 第 j 个算法向量 X_j 与优向量 G 和次向量 B 的关联系数为

$$\begin{cases} \xi_i(X_j, G) = \frac{\min_j \min_i |x_{ij} - g_i| + \rho \max_j \max_i |x_{ij} - g_i|}{|x_{ij} - g_i| + \rho \max_j \max_i |x_{ij} - g_i|} \\ \xi_i(X_j, B) = \frac{\min_j \min_i |x_{ij} - b_i| + \rho \max_j \max_i |x_{ij} - b_i|}{|x_{ij} - b_i| + \rho \max_j \max_i |x_{ij} - b_i|} \end{cases}$$

其中, ρ 为分辨系数, $\rho \in [0, 1]$, 一般取 $\rho = 0.5$, 第 j 个算法向量 X_j 与优向量 G 和次向量 B 的(加权)关联度分别^[9]为

$$\gamma(X_j, G) = \sum_{i=1}^m w_i \xi_i(X_j, G) \quad \text{和} \quad \gamma(X_j, B) = \sum_{i=1}^m w_i \xi_i(X_j, B)$$

假设第 j 个算法向量 X , 以 u_j 从属于优向量 G , 那么 X_j 即以 $(1-u_j)$ 从属于次向量 B . 根据经典最小二乘法, 提出目标函数如下

$$F(u) = \sum_{j=1}^n \{ [(1-u_j)[\gamma(X_j, G)]^2 + [u_j[\gamma(X_j, B)]^2] \}$$

为了求解系统的最优解向量: $u = (u_1, u_2, \dots, u_n)$, (这时 X_j 以 u_j 从属于优向量 G 的关联程度最大),

由 $\frac{\partial F(u)}{\partial u_j}$ 得

$$u_j = \{1 + [\gamma(X_j, B)/\gamma(X_j, G)]^4\}^{-1} \quad (7)$$

其中, $j=1, 2, \dots, n$.

对模型的一些分析:

(1) 利用该模型得到了第 j 个备择算法向量 X_j 从属于优向量的程度, 即反映了该算法的优次程度, 从而能根据 u_j 的大小对各个备择算法进行优次排序, 达到评判的目的.

(2) 该模型考虑了两个具有优次标准的参数, 即 $\gamma(X_j, G), \gamma(X_j, B)$, 更利于排序决策, 一定程度上克服了仅考虑 $\gamma(X_j, G)$, 当二备择算法在此参数下相差很小时的束手无策、难于决策的局面. 该模型的结果由于是非线性处理, 因而更具有可信度及精度.

(3) 该模型具有明显直观的数学物理意义

① 当 $\gamma(X_j, G) < \gamma(X_j, B)$ 时, X_j 从属于 G 的程度 $u_j > 0.5$, 即知 X_j 从属于优向量 G 的程度较 X_j 从属于次向量 B 的程度大;

② 当 $\gamma(X_j, G) > \gamma(X_j, B)$ 时, 其数学物理意义与①相反;

③ 当 $\gamma(X_j, G) = \gamma(X_j, B)$ 时, X_j 从属于优向量 G 的程度等于 X_j 从属于次向量 B 的程度, 即该备择算法折中, $u_j = 0.5$;

④ 当 $\gamma(X_j, B) = 0$ 时, X_j 与次向量 B 的关联度最小, 处于极端, 该备择算法 X_j 只能为优向量 G . X_j 从属于 G 的程度当然为 $1, u_j = 1$;

⑤ 当 $\gamma(X_j, G) = 0$ 时, X_j 与优向量 G 的关联度最小, 也处于极端, 该备择算法 X_j 最不令人满意, 它只能为次向量 B , 从属于 G 的程度当然为 $0, u_j = 0$;

4 应用实例与分析

为了与其他评价方法做比较, 对分割算法匹配精度的性能评估按文献[1]的测试图象集进行(图3), 其中空格区域指 RT 域, 而阴影区域则表示某分割算法输出区域.

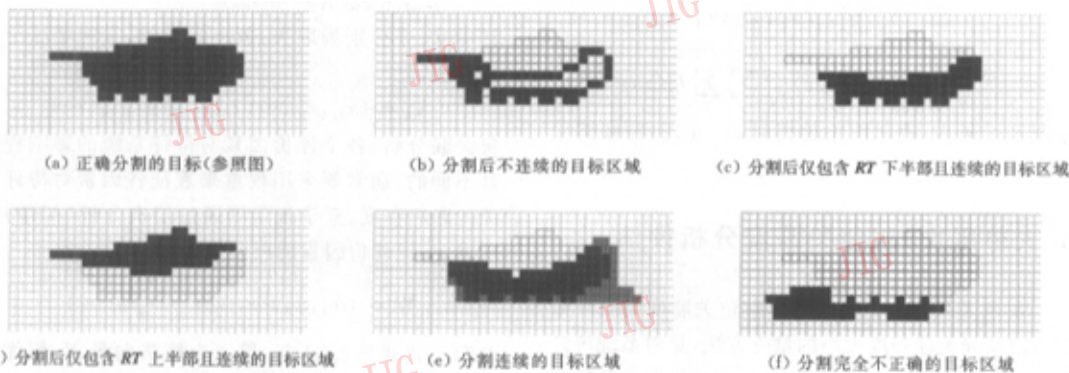


图 3 图象分割测试集

多层次灰关联融合分析评估的第 1 步为确定系统层次结构、指标体系, 可用图 4 表示, 其中, 面积因子、形状因子、相似度属于“越大越优型”的指标; HIMMING 距离、重心距离属于“越小越优型”的指标. 按式(6)进行规格化处理.

指标权重的确定用层次分析法或专家咨询结合起来进行, 步骤如下:

(1) 建立递阶层次结构的图象分割性能评估指标体系如图 4 所示;

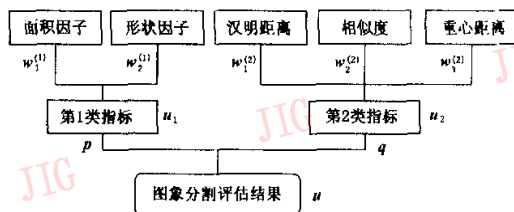


图 4 图象分割性能评估指标体系图

- (2) 确定各层次中因素的优劣次序;
- (3) 计算权向量.

在此为检验本方法在等权值时的抗失效性(不灵敏性)^[7],不妨取

$$w_1 = (0.5 \quad 0.5), w_2 = (1/3 \quad 1/3 \quad 1/3), w = (0.5 \quad 0.5)$$

灰色关联度评估与分析分为如下 3 步:

- (1) 单层次灰色关联度分析评估;
- (2) 多层次灰色关联度数据融合分析评估;
- (3) 评估结果分析.

关于第 1 类因素指标:面积因子、形状因子的评判结果为

$$u^{(1)} = (1.0, 0.7140, 0.7401, 0.7428, 0.8495, 0)$$

关于第 2 类因素指标:汉明距离、相似度、重心距离的评判结果为

$$u^{(2)} = (1.0, 0.7151, 0.7641, 0.8020, 0.6999, 0)$$

分割性能的二级综合评估,评估结果为

$$u = (u_a \quad u_b \quad u_c \quad u_d \quad u_e \quad u_f) \\ = (1.0, 0.8510, 0.8871, 0.9038, 0.9076, 0)$$

从第 1 类指标即面积因子、形状因子上分析, $u_a^{(1)} > u_b^{(1)} > u_c^{(1)} > u_d^{(1)} > u_e^{(1)} > u_f^{(1)}$. 方法 e 的分割性能相对较好.

从第 2 类指标即汉明距离、相似度、重心距离上分析,即从两幅图象上对应点的匹配程度的角度来看,方法 d 的分割效果相对较好.

从两类指标的二级综合评估结果看,方法 e 的分割效果相对较好.可以看出本方法 MGAHP 有较大的适应性——它不仅可以从整体上进行综合评估,又可以根据需要从某个侧面进行特殊性需要的评估.这样就部分程度上兼顾了普遍性与特殊性的要求.

表 1 分割性能评估的效果对比

	a	b	c	d	e	f
ERIM	1.0	0.5	0.5	0.5	0.5	0
TI	1.0	0.75	0.75	0.75	0.77	0.13335
Honeywell	0	0.0003744	0.0004918	0.0005028	0.0005994	0.0014
MF ^[2]	1.0	0.13197	0.14391	0.146089	0.24917	0
MGAHP	1.0	0.85101	0.88713	0.90382	0.90763	0

5 结 语

根据实际工作对评估方法的实用性的要求,提出了一个基于灰色关联度多层次数据融合分析的图象分割性能评估模型(MGAHP),并通过测试对其进行分析.该模型有如下特点:

(1) 该模型 MGAHP 既避免了 TI 与 Honeywell 指标值中可能出现的奇异性,又克服了 ERIM 对分割性能的不灵敏性,大大增强了评判结果数据的离散性、提高了模型的辨析力,与其他方法相比,该方法计算量小、对样本的数量和分布规律没有要求.比其他方法更为合理有效.

(2) 该评估模型在部分程度上对实际评估工作中的通用性与特殊性要求作了初步的尝试(譬如从整体性能上的综合评估,或从某个侧面特性上来进行评估,指标的多层次性要求等),而以往方法尚未做到这一点.

(3) 该多层次灰关联建模思想不仅对整个 ATRS 的性能评估模型的设计有一定程度的启发意义,且有望用于其他信息融合、模式识别的算法设计.

致 谢 本研究曾得到上海交大图象所李介谷教授、杨杰教授的指导.

参 考 文 献

- 1 Bennett I. F. Knowledge-based evaluation of the segmentation component in automatic pattern recognition systems[J]. Optical Engineering, 1991,30(2):154~165.
- 2 邓雁群,李介谷. 图像分割的性能评估[J]. 模式识别与人工智能,1996,9(2):144~148.
- 3 Schneidewind N F. Validating metrics for ensuring space shuttle flight software quality[J]. Computer,1994,39(8):50~57.
- 4 Ng W S, Lee C K. Comment on using the uniformity measure for performance measure in image segmentation [J]. IEEE Transaction on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1996,18(9):933~934.
- 5 候椿贤,毕笃彦,吴成柯. 图象分割质量评价方法研究[J]. 中国图象图形学报,2000,5A(1):39~43.
- 6 Cho K, Meer P, Cabrera J. Performance assessment through bootstrap [J]. IEEE Transaction on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1997,19(11):1185~1198.
- 7 狄宇春. 基于灰色系统分析的图象分割性能评估[D]. 上海:上海交通大学,1999.
- 8 高文,陈熙霖. 计算机视觉——算法与系统原理[M]. 北京:清华大学出版社,1999:203~218.
- 9 赵艳林,韦树英,梅占馨. 灰色关联分析的一种新的理论模型[J]. 系统工程与电子技术,1998,20(10):36~39.



狄宇春 1962年生,讲师,1999年获上海交通大学图象处理与模式识别研究所模式识别与智能控制专业工学硕士学位,研究方向为图象处理与模式识别、数据融合、计算机视觉,发表论文10余篇。

邓雁萍 1962年生,教授,研究生导师,1994年获上海交通大学图象处理与模式识别研究所模式识别与智能控制专业工学博士学位,主要从事图象处理与模式识别、数据融合、计算机视觉等方面的科研教学工作。

浅析惠普入门级工作站

随着图象图形技术的快速发展,工作站在行业应用中越来越广泛。惠普公司针对不同的用户需求提供了不同的工作站产品,并依据产品架构和用户需求将产品线分为三个系列 xw、zx 以及 b/c/j, 其中 HP Workstation xw 系列入门级产品最受中小企业和个人用户的青睐。

专业性能应需而动

由于图形工作站应用领域的特殊性,用户在选购图形工作站时首先考虑的是性能,其次是价格。惠普 Workstation xw 系列工作站是基于 IA-32 架构,其自由配置功能为用户提供了更多选择,并且具有各种可扩展性、可管理性和可靠性等特性,因此在中小企业很受欢迎。

产品的兼容性

工作站的专业性非常明显,其专业性主要体现应用 CAD/CAM 软件上。目前市场上专业软件有几十甚至上百种,这些专业的软件根据应用对象,大体可以分为高中低三个档次。不同档次的软件对工作站档次的要求不同,而且同一档次的不同软件也有其各自的特点,所以对工作站软件和硬件的兼容性要求特别高。HP Workstation xw 入门级秉持惠普开放合作的精神,通过了广泛的 ISV(独立软件厂商)认证,可以发挥广泛的 CAD/CAM 软件性能,将硬件性能与软件特征完美结合,确保了工作站兼容性、可靠性和最佳的性能,有效地保护了用户投资。

精心设计实用为先

不仅性能需求日新月异,对工作站外形的追求也在日益进步。办公环境的缩小、美观的需求以及长时间的工作要求等等,都对工作站外观设计提出了新的要求。比如工作站机箱设计,因为要进行繁重的数据处理工作,工作站的 CPU、内存、硬盘、显示卡等部件长时间满负荷运转会产生严重的散热问题,因此工作站的机箱必须选择良好的金属结构保证优越的通风和散热性能。对某些特殊用户来说,如:视频编辑、信号采集、模拟仿真等,还需要安装扩展卡和固定托架,因此机箱设计也必须考虑到扩展卡及固定托架的安装。

HP Workstation xw 系列入门级工作站充分考虑用户需求,每一款产品都是精心设计的杰作,充分考虑了性能需求和使用者应用需求。在全部采用合理架构的基础上,还进行了一系列的人性化设计。在颜色上采用黑色基调,搭配银灰色侧面板,给人一种轻松、时尚的感觉,同时采用了立卧式可转机箱,为用户提供了多样化的灵活选择,适合不同办公环境的需求。

强劲的专业动力,时尚实用的外观设计,优异的性价比,HP Workstation xw 系列入门级工作站产品一改工作站高不可攀的贵族面容,以“平民形象”出现,在工作站市场刮起了强大的“平民风”,使得更多的专业人士可以拥有自己专业的工作站。