

自动目标识别与跟踪技术研究综述

余 静, 游志胜

(四川大学 图形图像研究所, 四川 成都 610064)

摘 要: 对复杂背景下扩展目标进行有效的识别和跟踪是一个具有挑战性的难题。对当前的目标自动识别系统(ATR)所采用的算法进行了归类 and 叙述, 对目标识别问题中具有旋转、尺度、平移不变性的特征及目标跟踪算法进行了讨论, 最后对自动目标识别和跟踪进一步的研究方向进行了展望。

关键词: 自动目标识别; 目标跟踪; 扩展目标; 特征提取

中图法分类号: TP391.41 文献标识码: A 文章编号: 1001-3695(2005)01-0012-04

Survey of Automatic Target Recognition and Tracking Method

YU Jing, YOU Zhi-sheng

(Institute of Image & Graphics, Sichuan University, Chengdu Sichuan 610064, China)

Abstract: The effective recognition and tracking for extended target in the complex background is a challenged problem. This paper classifies the algorithm of current Automatic Target Recognition (ART). Those features, which have RST invariance and tracking method of moving target, are also discussed. At last, some issues that should be solved in the future are proposed.

Key words: Automatic Target Recognition; Target Tracking; Extended Target; Feature Extraction

可以肯定, 信息战将成为未来高技术战争的一种重要作战模式, 对战争的结局起着关键性的作用。目前世界许多国家都在积极发展军用高技术及其武器装备, 红外热成像、微光夜视、电视摄像、微波和激光雷达等高新技术得到迅猛发展, 大大促进了信息获取的实时性及其深度和广度, 使现代军队具有昼夜、全天候、大范围监视和捕获目标的能力, 因此, 对目标进行准确、有效的识别和跟踪便成为一项重要的任务^[1]。自动目标识别(Automatic Target Recognition, ATR)技术和稳定的跟踪方法是取得战场控制信息权的关键因素之一。它在民用领域也得到大量的应用, 例如用于身份确认的指纹识别、人脸识别、虹膜识别以及在智能交通管理、机动车检测、停车场管理等场合的车牌识别等。由于目标所处场景的复杂性, 以及目标本身可能发生的姿态变换、缺损、模糊和遮挡, 使得 ATR 技术是一个复杂的过程。总的说来, 一个 ATR 系统应该具有在复杂背景以及各种天气情况下检测、分类、识别目标的能力^[2~4], 这样才能有针对性地对目标进行持续的跟踪。

1 ATR 技术的发展状况

由于 ATR 技术的重要性, 它已成为国内外信息处理技术发展的重点。近十年来, ATR 已由理论探索、实验室仿真逐渐走向实际应用。目前 ATR 技术方法主要有以下五种:

(1) 经典的统计模式识别方法。该方法主要是利用目标特性的统计分布, 依靠目标识别系统的大量训练和基于模式空间距离度量的特征匹配分类技术, 可在较窄的场景定义域内获得较有效的识别。该方法是早期使用的方法, 仅在很窄的场景定义域内, 且在目标图像和周围背景变化不大的情况下才比较

有效, 难以解决姿态变化、目标污损变模糊、目标部分被遮蔽等问题。

(2) 基于知识的自动目标识别方法。20 世纪 70 年代末, 人工智能专家系统开始应用到 ATR 的研究, 形成了基于知识的 ATR, 即知识基(Knowledge Based, KB)系统。基于知识的 ATR 算法在一定程度上克服了经典统计模式识别法的局限性和缺陷, 该方法目前存在的主要问题是可供利用的知识源的辩识和知识的验证很困难, 同时难以在适应新场景中有效地组织知识。

(3) 基于模型的自动目标识别方法。模型基(Model Based, MB)的方法首先是将复杂的目标识别的样本空间模型化, 这些模型提供了一种描述样本空间各种重要变化特性的简便途径。典型的 MB 系统抽取一定的目标特性, 并利用这些特性和一些辅助知识来标记目标的模型参数, 从而选择一些初始假设, 实现目标特性的预测。一个 MB 系统的最终目标是匹配实际的特性和预测后面的特性, 若标记准确, 匹配过程则会成功和有效。MB 方法目前尚限于实验室研究阶段。

(4) 基于多传感器信息融合的自动目标识别方法。单一传感器的导引头在有光、电干扰的复杂环境中, 目标搜索和知识识别的能力、抗干扰能力及其工作可靠性都将降低。20 世纪 80 年代兴起的基于多传感器信息融合(Multi-sensor Information Fusion Based, MIFB)的 ATR 方法克服了单一传感器系统的缺陷, 每个传感器将数据馈入各自的信号处理机, 先分别进行目标检测, 得出有无目标的判决以及目标的位置信息或运动轨迹, 然后将这些信息送入数据融合单元, 对目标位置或运动轨迹进行关联后再做进一步的判决^[5]。

从输入信息的形式来看, 信息融合可在决策层、特征层或像素层等各个层次进行。像素层融合是最低层次的属性融合,

即将各个图像传感器数据直接融合,而后对融合的数据进行特征提取。这一层次的信息融合能够提供其他层次的融合所不具备的细节信息,采用的融合方法有逻辑滤波器、数学形态学、模拟退火、小波变换等。特征层融合是中间层次的融合,它是先对各个传感器的观测进行特征提取,产生特征矢量,再将这些特征矢量融合,并作出基于联合特征矢量的属性说明。该层次的融合是像素层融合和决策层融合的折中形式,兼有二者的优缺点,具有较大的灵活性,常用的方法有扩展 Kalman 滤波、约束高斯—马尔可夫估计、分片统计等。决策层融合是最高层次的融合,这种方法是在传感器的观测基础上产生特征矢量,对这些特征矢量进行模式识别处理并作出相应的关于目标的属性说明,再将各图像传感器的属性说明数据进行关联和合成,得到该目标的一个联合的属性说明。常用方法有 Bayes 推理、D-S 证据推理、模糊逻辑以及近年来涌现的人工神经网络和支撑向量机等。

(5) 基于人工神经网络和专家系统的自动目标识别方法。专家系统是以逻辑推理为基础,模拟人类思维的人工智能方法。人工神经网络(ANN)是以神经元连接结构为基础,通过模拟人脑结构来模拟人类形象思维的一种非逻辑、非语言的人工智能方法。ANN自底向上的训练和归纳判断特性与专家系统的积累知识的自顶向下的利用特性,可以实现很好的互相补充结合,提供更强的处理信息能力。二者混合使用的结构形式有并接结构、串接结构和嵌入结构三种。并接结构系统可并列使用专家系统和神经网络;在串接结构中,各模块独立工作,实现各自特定的功能串联连接;嵌入结构是在专家系统内嵌入小型神经网络或者在 ANN 内嵌入小型专家系统以改善系统性能。ANN 技术可以提供 ATR 算法固有的直觉学习能力,在目标分类处理中有许多算法都可用 ANN 有效地实现。

神经网络应用到模式识别中能解决许多传统的识别方法所不能克服的困难,文献[6]综合了神经网络、模糊逻辑、模式识别的相关算法对车型进行识别;文献[7]利用图像特征点和神经网络对有遮挡的目标进行识别,也获得了较高的识别准确率。神经网络实现工程应用的瓶颈是实时性欠佳。

2 ATR 技术的关键——特征提取

2.1 特征提取的基本概念

在传统的目标识别算法中通常是提取出目标的轮廓,然后根据轮廓线的特征对目标进行识别。但在实际操作中,很难从实景图像中得到目标的实际轮廓,而且轮廓修复中的误差也会引起目标轮廓的失真而影响目标识别的正确性。因此,在 ATR 系统中,如何使目标特征化是实现实时、准确目标识别的关键。作为关键步骤,特征提取的目的是获取一组“少而精”的分类特征,即获取特征数目少且分类错误概率小的特征向量。特征提取常常分几步进行^[8]:

(1) 特征形成。根据被识别的对象产生一组原始特征,它们可以是传感器的直接测量值,也可以是将传感器的测量值作某些计算后得到的值。

(2) 特征选择。由特征形成过程得到的原始特征可能很多,如果把所有的原始特征都作为分类特征送往分类器,不仅使得分类器复杂,分类计算判别量大,而且分类错误概率也不

一定小,因此需要减少特征维数。特征选择就是从 L 个度量值集合 (x_1, x_2, \dots, x_L) 中,按某一准则(挑出一些最有效的特征)选出供分类用的子集,作为降维(m 维, $m < L$)的分类特征。

(3) 特征提取。特征提取是另一种减少特征维数的方法,它是使 $(x_1, x_2, \dots, x_i, \dots, x_L)$ 通过某种数学变换产生 m 个特征 $(y_1, y_2, \dots, y_i, \dots, y_m)$,即通过映射(或变换)的方法把高维的特征向量变换为低维的特征向量。它们的目的是为了在尽可能保留识别信息的前提下,降低特征空间的维数,以达到有效分类。

2.2 ATR 系统常用特征量

在现有的 ATR 系统中,常用的特征量有如下几类:

(1) 复杂度,也称为周长面积比,主要是指目标的边界像素数与目标总像素数的比值。

(2) 长宽比是指目标最小外接矩形的长度与宽度的比值。

(3) 紧凑度是指目标像素与包围目标的矩形内的像素数之间的比值。

在实际应用中,由于成像距离、方向以及位置等因素的变化,使得图像发生旋转、平移以及尺度(Rotation, Translation and Scale, RTS)变化。因此对于复杂背景下的扩展目标识别问题,可以从角点、矩、纹理这些具有 RTS 不变性的特征入手。

2.2.1 角点

在平面形状分析中,形状轮廓上的角点是形状分析常用的特征。相对于目标识别中的其他特征而言,当目标因为遮挡、缺损而不完整时,仍能从可见的目标局部图像中提取角点,因此角点是目标识别中非常重要的特征。然而到目前为止,角点也没有很好的数学定义,这是因为角点的含义本身就很模糊。近年来涌现出的许多角点检测方法,每种方法都是源自于对角点不同的理解。

角点检测方法可分为两类:基于边界的方法。常见的是基于边缘轮廓链码的角点检测方法,该方法通常有图像预分割、轮廓链码提取和角点检测三个步骤。这里角点被定义为轮廓直线段的交点。基于链码的角点检测方法依赖于可靠的图像分割和边缘提取,而这两种操作本身又具有很大的难度,如果待检测目标局部发生变化(如部分被遮挡),则很可能导致图像分割和边缘提取操作的失败,所以这种方法的适用范围很小。直接从灰度图像中提取角点。虽然该方法不需要预分割作为前提,但由于使用了图像的二阶偏微分,所以对噪声很敏感。灰度图像角点检测算法有两类:直接基于图像亮度对比,即将与邻点亮度对比足够大的点定义为角点^[9],典型的有 SUSAN 算法和 MIC 算法;另一类是基于梯度的角点检测法^[10],该方法通过计算边缘的曲率来判断角点的存在性。角点计算数值的大小不仅与边缘强度有关,而且与边缘方向的变化率有关,该方法比基于模板的角点检测方法对噪声更敏感,因此,角点检测的效果不佳。

近年来的改进算法中多将角点检测分为多个步骤,首先在全局图像中以一个比较低的条件寻找出候选角点,然后在这些候选角点中进行筛选以确定真实角点。例如文献[11]利用角点是各个方向梯度变化最大的点这一性质,避免了对大量位于灰度变化缓慢地区的像素点的处理,提高了处理速度;文献[12,13]建立角点响应函数(Corner Response Function, CRF),

利用边缘点和角点 CRF 值的明显区别,剔除混杂在角点中的边缘点。

角点在目标识别中取得了广泛的应用。可以将形心到相邻两角点的直线所成的夹角作为识别的特征,这组特征对于比例、平移和旋转都是不变的^[14];将角点与线矩的分类结果融合对缺损目标进行识别,可以有效提高识别的精度^[25]。由于角点的检测容易出现漏检和虚假角点,而且有时也会出现角点定位不准或目标发生几何畸变而导致夹角变化等情况,因此在利用角点作为不变量对目标进行识别时,可以考虑与其他特征结合起来进行识别。

2.2.2 矩

Hu 于 1961 年首先提出了矩的概念,他在文献[16]中给出了连续函数矩的定义和关于矩的基本性质。Y. R. Wong 在文献[17]中进一步给出了离散情况下的各阶矩的计算方法。二维矩的平移不变性、伸缩不变性和旋转不变性使之具有良好的识别性能,因而已成功应用于图像处理的许多方面,如飞机识别、船只识别、场景匹配和字符识别等^[18-20]。在自动控制领域,矩技术还可用于运动追踪和方向计算。

对于存储于二维矩阵中的数字图像, $(p+q)$ 阶原始矩由下式给出:

$$m_{pq} = \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N m^p n^q f(m, n) \quad p, q = 0, 1, 2, \dots \quad (1)$$

其中, M 和 N 为图像水平和垂直方向的维数; $f(m, n)$ 是图像在点 (m, n) 处的密度(灰度级)。原始矩值中含有大量有用信息,也就是说,由有限的、但足够多的原始矩值可以重建出原图像。图像的中心矩可由下式计算:

$$u_{pq} = \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N (m - \bar{x})^p (n - \bar{y})^q f(m, n) \quad (2)$$

$$\begin{aligned} \bar{x} &= \frac{\sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N m f(m, n)}{\sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N f(m, n)} \\ \bar{y} &= \frac{\sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N n f(m, n)}{\sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N f(m, n)} \end{aligned} \quad (3)$$

是图像质心的坐标。

由中心矩可得到另一套同时具有平移不变性和伸缩不变性的矩值 μ_{pq} , 称为归一化中心矩,其定义由下式给出:

$$\mu_{pq} = u_{pq} / u_{pq}^r \quad r = (p+q) / 2, p+q = 2, 3, \dots \quad (4)$$

直接用普通矩或中心矩进行特征表示,不能使特征同时具有平移、旋转和比例不变性。事实上,如果仅用中心矩表示图像的特征,则特征仅具有平移不变性;如果利用归一化中心矩,则特征不仅具有平移不变性,而且还具有比例不变性。而要同时具有平移、旋转和比例变换不变性,直接使用普通矩或中心矩是不够的,但如果利用它们的某些线性组合,理论上能达到这种预期的目的。矩对于平移、旋转、尺度变化有良好的不变性,但矩不变量需要对目标图像的每一个像素点进行运算,运算量较大,因此不适于实时处理。针对这一现状,相关研究学者提出了各种改进算法,文献[22, 23]提出通过计算边界的矩不变量代替对整幅图像的计算,大大节省了计算量。

2.2.3 纹理特征

纹理是图像的基本特征,它在人类视觉系统中起着重要作用,为图像理解和分析提供重要信息。可以认为纹理是对于图像各像元灰度空间分布的一种描述,是图像局部性质(灰度分布函数)的统计。目前公认的一种重要的纹理分析方法是灰

度共生矩阵,它是建立在估计图像的二阶组合条件概率密度函数基础上的。灰度共生矩阵描述在方向 θ 上,相隔 d 像元距离的一对像元,分别具有灰度层 i 和 j 的出现概率,其元素可记为 $P(i, j | d, \theta)$,它能具体反映纹理图像的纹理特性。在灰度共生矩阵中定义了一系列的特征值,如能量(角度二阶矩)、熵、自相关、局部平稳度、惯性矩、聚类熵、聚类突等。

作为描述纹理的一个有力工具,分形在最近几年得到了广泛的关注。分形维数常用来描述和测量分形的特性。对于图像来说,分形维数是图像物体表面不规则度的度量,即表面纹理粗糙度,分形维数越大,对应的图像表面越粗糙。在 ATR 系统中,要识别的目标都是人造物体,它们的表面是光滑的、紧致的,从而与自然环境中的其他物体在粗糙度上有着很大的区别,因此分形维数可以作为目标识别的重要特征。

运用纹理特征对目标进行识别在许多文献中都有描述^[23-25],这些方法都是将纹理和其他工具如模糊 C 均值聚类、支撑向量机、小波变换等结合使用,使识别结果更为可靠。

3 扩展目标的跟踪技术

运动目标跟踪的目的就是通过对传感器拍摄到的图像序列进行分析,计算出目标在每帧图像上的位置,给出目标速度的估计。可靠性和精度是跟踪过程中的两个重要指标。已有的跟踪算法各有千秋,不同的跟踪算法适用于不同运动状态的目标。对于尺寸较小、机动性不强的目标利用形心跟踪、质心跟踪可以获得良好的效果;对于在视场中占有相当大比例的扩展目标,由于背景的复杂使得精确的分割很难达到,因而仍然采用形心跟踪是不合实际的。目前主要从以下几个方面解决复杂背景下的扩展目标的跟踪问题。

3.1 相关跟踪

在众多的成像跟踪算法中,相关跟踪算法具有对场景图像质量要求不高,可在低信噪比条件下稳定工作,能适应较复杂场景结构的目标和背景条件,具有较强的局部抗干扰能力等特点。因此,相关跟踪算法在成像跟踪中有着重要地位,特别适用于地面背景等复杂场景条件下的目标跟踪。针对相关跟踪算法运算量大的不足,出现了许多改进算法,如基于塔型结构的匹配跟踪^[28]、多子模板匹配^[29]、Kalman 滤波器^[30]等。为了提高跟踪的稳定性,不少学者还提出各种模板刷新策略^[26, 27]。相关跟踪可以利用局部图像的灰度分布来进行,也可以利用图像的其他特征,这些特征通常具有不变性,能代表目标的本质特征,如角点、奇异值、不变矩。

3.2 光流跟踪

光流跟踪运用目标的运动信息,避免了灰度变化对目标跟踪的影响,因而具有较好的抗噪能力。光流分析可以分为连续光流法和特征光流法。特征光流法是通过特征匹配求得特征点处的光流,文献[31, 32]通过对前后帧图像中的角点匹配来估计运动目标的位移并进行跟踪。特征流法的主要优点在于:对目标在帧间的运动的限制较小,可以处理大的帧间位移;对噪声的敏感性降低;只处理图像中很少数的特征点,计算量较小。主要缺点是:得到的是稀疏光流场,难以提取运动目标的精确形状;特征匹配问题尚未得到较好的解决。全局光流的计算方法有 Horn-Schunck 算法、Nagel 算法等,得到全局光流场

后通过比较运动目标与背景之间的运动差异对运动目标进行光流分割,从而达到跟踪的目的。运用全局光流场来跟踪运动目标的关键是要得到精确的光流估计,这就依赖于施加合理的平滑约束条件。

4 结论

在复杂环境下对目标进行有效的识别和稳定的跟踪是非常困难的,仅仅依靠一种或少数几种识别手段很难准确地进行目标识别,必须尽可能利用多个和多类传感器所收集到的多种目标属性信息、多种识别方法,综合出准确的目标属性,进行目标综合识别。对扩展目标进行稳健跟踪的关键在于找出在目标姿态变换时具有不变性的特征,或者通过多种不变特征的组合来对目标进行持续稳定的跟踪。同时,在努力提高识别和跟踪算法准确性的同时要兼顾实时性,使识别算法能真正地在工程应用中发挥作用。

参考文献:

- [1] 周立伟,刘玉岩.目标识别与探测[M].北京:北京理工大学出版社,2002.
- [2] M Sameh Yamanu, A Aly Farag, Shin-Yi Hsu. A Fuzzy Hyperspectral Classifier for Automatic Target Recognition(ATR) Systems[J]. Pattern Recognition Letters, 1999, 20: 1431-1438.
- [3] A Kenneth Augustyn. A New Approach to Automatic Target Recognition[J]. IEEE Trans. on Aerospace and Electronic Systems, 1992, 28(1): 105-114.
- [4] A James Ratches, C P Walters, G Rudolf Buser. Aided and Automatic Target Recognition Based upon Sensory Inputs from Image Forming Systems[J]. IEEE Trans. on PAMI, 1997, 19(9): 1004-1019.
- [5] 余小游,卢焕章,常青.多传感器目标识别系统中的数据融合方法与系统结构的研究[J].国防科技参考,1998,19(1): 11-16.
- [6] 刘怡光,游志胜.一种用于图像目标识别的神经网络及其车型识别应用[J].计算机工程,2003,29(3): 30-32.
- [7] 陈振羽,李德华,周焰.利用多种特征和Hopfield神经网络的有遮挡的目标识别[J].中国图像图形学报,2000,5(12): 1034-1038.
- [8] 王璞,董慧颖.车牌字符识别的混合特征提取方法[J].沈阳工业学院学报,2003,22(1): 30-33.
- [9] Smith S M, et al. SUSAN: A New Approach to Low Level Image Processing[J]. Int Journal of Computer Vision, 1997, 23(1): 45-78.
- [10] Mokhtarian F, Suomela R. Curvature Scale Space for Robust Image Corner Detection[A]. Proceedings of 14th International Conference on Pattern Recognition[C]. Brisbane: IEEE Computer Society, 1998. 1819-1821.
- [11] S Alkaabi, F Deravi. Candidate Pruning for Fast Corner Detection [J]. Electronics Letters, 2004, 40(1).
- [12] Miroslav Trajkovic, Mark Hedley. Fast Corner Detection[J]. Image and Vision Computing, 1998, (16): 75-87.
- [13] 周鹏,谭勇,徐守时.基于角点检测图像配准的一种新算法[J].中国科学技术大学学报,2002,32(4): 455-461.
- [14] 卢汉清,彭嘉雄,万发贵.角点在目标识别分类中的应用[J].数据采集与处理,1992,7(3): 182-186.
- [15] 廖原,袁捷,赵恒卓.基于几种不变量融合信息的缺损目标识别[J].武汉大学学报(自然科学版),1998,44(2): 81-84.
- [16] M K Hu. Visual Pattern Recognition by Moment Invariant[J]. IEEE Trans. on Information Theory, 1962, 8(2): 179-187.
- [17] Y R Wong. Scene Matching with Invariant Moments[J]. Computer

Graphics and Image Processing, 1978, 8(1): 16-24.

- [18] X Liao Simon, Miroslaw Pawlak. On Image Analysis by Moments[J]. IEEE Trans. on PAMI, 1996, 18(3): 254-266.
- [19] Y Li. Applications of Moment Invariants to Neurocomputing for Pattern Recognition[J]. Electronics Letters, 1991, 27(7): 587-588.
- [20] Ivar Balslev, Kasper Doring, Rene Dencker Eriksen. Weighted Central Moments in Pattern Recognition[J]. Pattern Recognition Letters, 2000, 21: 381-384.
- [21] 潘泉,程咏梅,杜亚娟.离散不变矩算法及其在目标识别中的应用[J].电子与信息学报,2001,23(1): 30-36.
- [22] 董武,李树祥.矩特征的一种快速算法[J].中国图像图形学报,1999,4(10): 860-864.
- [23] George Paschos. Fast Color Texture Recognition Using Chromaticity Moments[J]. Pattern Recognition Letters, 2000, 21: 837-841.
- [24] Franci Lahajnar, Stanislav Kovacic. Rotation-Invariant Texture Classification[J]. Pattern Recognition Letters, 2003, 24: 1151-1161.
- [25] Shutal Li, et al. Texture Classification Using the Support Vector Machines[J]. Pattern Recognition, 2003, 36: 2993-2893.
- [28] 吉书鹏,张桂林,丁晓青.地面复杂场景图像相关跟踪算法研究[J].激光与红外,2002,32(6): 428-430.
- [29] 任仙怡,廖云涛,张桂林.一种新的相关跟踪方法研究[J].中国图像图形学报,2002,7(6): 553-557.
- [30] 雍杨,王敬儒,张启衡.基于塔型结构的快速相关跟踪算法[J].光电工程,2003,30(6): 11-14.
- [31] 刘学东,贾玉林,孙昊.相关算法中跟踪稳定性问题的研究[J].红外与激光工程,1998,27(1): 9-13.
- [32] 郑江滨,张艳宁,冯大淦,等.视频监视中运动目标的检测与跟踪算法[J].系统工程与电子技术,2002,24(10): 34-37.
- [33] 杨杨,张田文.一种基于特征光流的运动目标跟踪方法[J].宇航学报,2000,21(2): 8-15.
- [34] 张泽旭,李金宗,李冬冬.一种运动目标多特征点的鲁棒跟踪方法研究[J].数据采集与处理,2003,12(4): 423-428.

作者简介:

余静(1976-),男,博士研究生,主要研究方向为数字图像处理;游志胜(1945-),男,教授,博士生导师,主要研究方向为计算机图形、图像处理、信息融合。

下期要目

移动 Ad hoc 网络安全技术研究进展
软件生产支持结构的研究
装载机远程服务与故障诊断系统研究
面向服务体系结构及其系统构建研究
电子政务网格层次体系结构研究
嵌套事务的正确性及锁协议
电子政务网格层次体系结构研究
制造企业信息集成系统的研究
基于消息中间件的分布式查询系统
信息安全产品测评系统研究与实现
实时数据库缓冲区管理算法的设计和实现
三维虚拟学习环境的研究与应用
基于信息数字化的建筑设计动态表达与传输
需求管理工具在需求工程中的作用
SCTP 负荷分担及其关键算法的研究
基于网络处理器的 IP 路由器的方案设计
基于 Retinex 理论的图像增强算法
SST 图像温锋提取算法研究
图像中射影不变量在目标识别中的应用
基于形态学的视频文本自动检测