

视频挖掘研究进展

代科学¹ 李 强¹ 李国辉²

(空军雷达学院预警监视情报系 武汉 430019)¹

(国防科技大学信息系统与管理学院系统工程系 长沙 410073)²

摘 要 视频挖掘技术近年来受到了国内外研究者的逐渐关注,但研究还处于初步阶段,实际的应用系统很少,有关概念、系统结构和技术方法仍需深入研究。在回顾国内外研究动态的基础上,对视频挖掘的研究现状进行了归纳、评述;探讨了视频挖掘的概念,清理了视频挖掘与相关技术的联系与区别;展望了视频挖掘研究中的重点问题和解决思路。

关键词 多媒体数据挖掘,视频挖掘,数据挖掘

中图分类号 TP391 **文献标识码** A

Prospects and Current Studies on Video Mining

DAI Ke-xue¹ LI Qiang¹ LI Guo-hui²

(Department of Early Warning Surveillance Intelligence, Air Force Radar Academy, Wuhan 430019, China)¹

(School of Information System and Management, National University of Defense Technology, Changsha 410073, China)²

Abstract In recent years, more and more researchers over the world show great interests in video mining gradually. However, the research is just on the start. Practical applications are even few. The concepts, the system structures, and the approaches of video mining need farther studies. The study progress overseas and the inland dynamics of video mining technology were reviewed for summing up the states of the art. Then the concepts and the meanings of video mining were discussed. And the relations and differences between video mining technology and other correlative technologies were distinguished. Finally, the major problems and the solvable way in the studying of video mining were prospected.

Keywords Multimedia data mining, Video mining, Data mining

近年来,基于关系数据库的数据挖掘,在理论研究和实际应用方面都取得了长足发展,有力促进了视频等非结构化的多媒体数据的挖掘研究。自 2000 年首届“多媒体数据挖掘”大会召开以来^[1],每年的知识发现和数据挖掘国际学术会议(ACM SIGKDD)都有多媒体挖掘主题。2002 年 11 月,DI-MACS¹⁾小组举办了首次以“视频挖掘”为主题的国际会议^[2]。较有影响的国际会议 DEXA 从 2007 年开始举办“多媒体数据挖掘和管理”国际专题研讨会,国际会议 ICDM²⁾也从 2008 年开始举办“视频挖掘”国际专题研讨会。可以说,视频挖掘在国外科研单位已受到较广泛的重视,如日本三菱电子研究所(MERL)³⁾^[3]、Temple 大学的计算机与信息科学系⁴⁾^[4]、Co-

lumbia 大学的数字视频与多媒体实验室(DVMMlab)⁵⁾^[5]、Texas 大学的多媒体信息组(MIG)⁶⁾^[6]等。国外还有一个以 VideoMining 做品牌的公司⁷⁾。

本文首先分类介绍国外的视频挖掘研究现状,然后介绍国内的情况,并在评述研究现状基础上,总结和探讨视频挖掘的概念,清理其与其他技术的联系,最后指出视频挖掘研究面临的挑战。

1 视频挖掘的国外研究进展

目前的视频挖掘研究,主要是将数据挖掘的思想和方法应用于视频数据的高级内容分析中。根据视频类型分为电影

到稿日期:2009-11-12 返修日期:2010-01-25 本文受国家教育部博士点基金(20069998022),国家自然科学基金(60273066)资助。

代科学(1976—),男,博士,讲师,主要研究领域为视频图像处理、视频挖掘和计算机视觉,E-mail:scidai@163.com;李 强(1969—),男,教授,博士生导师,主要研究领域为多媒体技术、并行处理和嵌入式系统;李国辉(1963—),男,教授,博士生导师,主要研究领域为多媒体信息系统、信息系统工程。

1)http://dimacs.rutgers.edu/Workshops/Video/

2)http://icdm08.isti.cnr.it/

3)http://www.merl.com/projects/VideoMining/

4)http://www.cis.temple.edu/~latecki/

5)http://www.ee.columbia.edu/dvmm/newHome.htm

6)http://migwebservice.uta.edu/

7)http://www.videominning.com

视频挖掘、医学视频挖掘、新闻视频挖掘、体育视频挖掘、监控视频挖掘等。对于不同类型的视频,通过挖掘能够发现的、有意义的视频信息和模式知识不尽相同。

1.1 电影视频挖掘

影视视频挖掘可以发现特定语义事件、视频结构模式、剪辑规则、预告片摘要等。

George Mason 大学的 Duminda 探讨了传统数据挖掘方法应用于电影视频所带来的问题,设计了一个电影挖掘系统^[7]。通过综合视音频处理技术,挖掘出视频的分层结构、感兴趣事件、电影和元数据的关联,从而进行电影分类。

Matsuo 等人试图挖掘电影视频编辑的关联规则^[8]。基于镜头大小(远景、中景和特写)、相机运动(固定、摇动、推拉)和镜头的持续时间,采用时间窗挖掘视频中频繁发生的模式,得出编辑规则,从而发现不同导演、不同视频类型、不同场景内容的编辑偏好。

德国曼海姆大学开发的电影摘要系统^[9],抽取电影片段中最有代表意义的场景来自动生成电影预告片。通过寻找具有最大对比度的帧来探测包含重要对象或人物的场景,选取具有最大帧差的帧来提取高潮场景,与电影平均颜色类似的场景也被用于摘要。最后将选出的所有场景(结局场景除外)以时间顺序组织,得到电影的预告片。

1.2 医学视频挖掘

美国 Purden 大学对医学视频挖掘进行了深入研究,基于一个视频数据库管理框架开发了一个医学视频结构挖掘工具 ClassMiner^[10],实现了视频内容结构挖掘和医学事件挖掘。

挖掘工具 ClassMiner 首先将视频流分割成镜头单元,并选择出代表帧。接着利用聚类方法,将镜头聚类成镜头组,将镜头组聚类成场景,最后对场景也进行聚类,以构造出场景的组织层级结构。然后从被检测场景中挖掘诸如对话、陈述和临床手术等事件信息,生成视频摘要。最后整合获得的视频内容结构和事件,构建一个可伸缩的视频筛选工具,实现视频层级化摘要和浏览。

他们还结合相似度分析技术和传统的关联挖掘方法,提出了利用挖掘出的镜头关联规则生成视频摘要的方法^[11]。

1.3 新闻视频挖掘

新闻视频挖掘主要用于发现新闻事件内容的关联关系、新闻节目的组织结构、新闻编排规则^[12]等,也可以实现面向主题的新闻摘要,为用户提供决策支持。

Pan 提出的 VideoGraph^[13]挖掘方法以镜头分组为基础,发现广告节目中 VideoGraph 图的结点较为孤立,而新闻节目则存在重复的镜头交叉,这些知识可用于区分新闻和广告。

基于地理信息系统,通过探测和识别新闻视频中的字幕, Pan 还提出 GeoPlot 方法^[14]来挖掘不同新闻事件发生地之间的潜在联系,例如地震、龙卷风或洪水与飓风的关系。

Kim 提出了一种综合视频、音频分析技术和领域知识来分析新闻视频的方法,以发现新闻节目的叙事结构^[15]。方法首先将新闻视频分割成包含独立内容的节目片段,然后利用更高层的方法分析每个节目的结构,最后将得出的结构信息用于新闻视频的摘要和浏览。

目前,卡内基梅隆大学正在开展可扩展新闻视频信息开

采的研究,该项目是美国国家高级研究计划署(ARDA)支持的视频分析与内容开采(VACE)二期项目。其目标是开发一些自动从国外新闻视频中提取感兴趣人运动目标、发掘其运动模式和行为趋势的系统。之前的一期项目主要集中在视频信息摘要方面。

1.4 体育视频挖掘

日本三菱电子公司(MERL)对体育视频精彩镜头挖掘做了大量研究,通过分析体育视频中的异常事件模式,自动探测出其中的精彩场景,从而给用户提供更浓缩的体育视频^[3,16]。“异常事件”挖掘算法思想是:利用声音类型的 MFCC 特征值和 MPEG-7 运动行为描述组成直方图,这两种音/视频标签的分布状态作为统计值,通过将一小段时间视频的局部统计值与全局统计值做比较,将比正常事件发生频率小的事件看作异常事件。MERL 通过对主角、体育精彩镜头、视频重要部分位置的检测,发现结合有监督的音频分类和无监督的异常事件挖掘能精确检测出预定的事件。

文献[17,18]提出了一种自动标记足球视频语义的方法,在检测出事件镜头之后对镜头片段进行聚类,从而利用 Apriori 挖掘算法发现类似视频镜头与相应语义事件的关系,并利用这些规则实现足球视频的语义级检索、概览或自动提取感兴趣视频片段。文献[19]通过挖掘视音频特征的频繁模式,来检测网球比赛视频中的各种事件。

1.5 监控视频挖掘

对于监控视频,通过对运动目标的行为和场景事件进行挖掘,得出正常的和异常的模式,用以对异常事件发出警报。Chen 等提出了一个能够发现车辆目标时空关系的交通监控视频挖掘框架^[20],以发现诸如十字路口的车辆排队检测、车辆类型、交通流量、车辆目标时空关系以及交通事故检测等有用信息,从而可以回答诸如“请估计一下某十字路口早上八点到八点半的交通流量”等时空查询,为交通规划者提供一些先不为知的重要知识。

根据运动目标的形状遮挡和运动方向,Guha 对交通监控视频提出了一个递增转换序列学习的无监督挖掘方法^[21],以发现多运动目标的交互活动,实现小车启动、停止和乘客上车等复杂活动行为的挖掘。还有将 Apriori 算法思想用于发现监控视频中出现的频繁组合事件的研究^[22]。也有利用 HMM 算法对轨迹进行聚类挖掘,利用发现的车辆运动模式来检测异常轨迹行为的研究^[23]。

NTA 公司¹⁾开展的视频运动挖掘项目,其目标就是检测、报告并记录监控视频中的有意义的、重要的(违背安全规则或可疑行为)事件,并基于这些事件实现对大规模视频的实时查询,以辅助军事指挥和安防检查。

由于监控视频持续时间长,数据量大,代表有用信息的概要也是监控视频挖掘的一个重要方面,文献[24]即提出了一种基于蚂蚁树的监控视频概要方法。

2 视频挖掘的国内研究进展

国内有关视频挖掘的研究还较初步,多数集中在概念框架研究和原型系统设计上。武汉大学提出的多媒体数据挖掘原型系统 MDMP^[25],以多媒体数据库为平台,通过一种在线

1)www.rossettex.com or www.nta.org

分析机制挖掘隐含规则,并通过图形化界面向用户解释获取的知识;国防科技大学对视频挖掘的概念框架及技术方法进行了探索性研究^[26-28],认为视频挖掘是通过综合分析视频数据视听特性、时间结构、事件关系和语义信息,发现隐含的、有价值的、可理解的视频模式,得出视频事件的趋向和关联,改善视频管理的智能程度^[29];天津大学从广义上将视频挖掘分为描述性和预测性两类,描述性视频挖掘从视频数据或数据集中自动提取视频的分类、结构、语义等对人类显而易见的知识,以弥补“语义鸿沟”,包括视频分类、结构挖掘、事件探测等技术,而在此基础上进行预测性视频挖掘,即是狭义的视频挖掘,目标是发现语义内容间的关联、趋势、异常等隐含模式^[30];清华大学将可视媒体语义挖掘概括为基本语义挖掘、视觉模式挖掘和高层语义模式挖掘 3 个层次^[31]。

具体的视频挖掘应用研究工作有:以数据挖掘方法实现视频分类^[32]、基于视频结构信息挖掘镜头变换频度和叙事结构模式^[33]、监控视频事件信息挖掘^[34]、用于异常运动行为检测的监控视频频繁轨迹模式挖掘^[35]、新闻视频事件内容的关联关系挖掘^[36]、辅助决策的新闻主题媒体重视频度挖掘^[37]、基于多特征相关的新闻视频语义挖掘^[38]等。

国家自然科学基金委分别在 2002 年、2004 年和 2005 年资助了“基于内容的视频结构发现与挖掘方法研究”“视频监控中的事件挖掘与分析研究”和“面向视频结构分析和事件检测的非监督模式挖掘技术”等视频挖掘相关项目。

英特尔中国研究中心对视频挖掘的研究重点集中在制定一个统一的框架,以便对未来各种精彩视频片断进行有效采集、摘要和管理。目前正在尝试通过可拓展性分析,设计多核芯片来提高挖掘算法的速度。清华大学多媒体与网络实验室也正与英特尔公司合作开展“视频信息挖掘系统中性能评测与提升”项目,基于足球比赛视频对视频分析与挖掘的技术方法做深入研究。

3 视频挖掘相关研究工作评述

虽然有许多文献用到了视频挖掘或视频数据挖掘这个名词,介绍了一些系统原型或挖掘框架,但全面研究视频挖掘的概念、体系结构和技术方法的文献还不多,实际的视频挖掘应用系统也较少。

3.1 关于视频挖掘概念和方法的观点较多

大部分研究沿用传统数据挖掘思想去理解和看待视频挖掘,但部分工作仍是低级内容处理及语义信息提取,没有上升到视频内容模式挖掘这个层次。

MERL 认为视频挖掘是在尽可能不需要先验知识的情形下,对视/音频内容特征进行自适应无监督处理或弱监督处理,从而发现各种让人“感兴趣”的模式^[3];DVMMlab 认为视频存在特征级、事件级等多个层次的模式,可通过层级化 HMM 模型或聚类、统计等方法无监督地挖掘出来^[5]; Temple 大学认为视频挖掘就是采用一些图像和视频处理技术从视频中提取信息,比如特定事件的检测、相似视频查找^[4];MIG 认为视频挖掘就是从大规模视频数据库中找出先不为知的关联关系和模式的过程^[6,39]。

3.2 以数据挖掘思想分析视频语义内容是个值得研究的领域

将视频内容处理技术和数据挖掘技术相结合,从而从视

频中发现有用的信息线索和模式知识。这个研究思路实际上在上世纪 90 年代末期就有学者提出,只是没使用视频挖掘这个概念。比如,通过建立目标位置和速度的统计模型学习目标的行为模式^[40];采用层次自组织神经网络方法对运动目标轨迹的分布模式进行学习,利用学习得到的轨迹分布模式检测可能的局部异常现象,判断整个运动轨迹所表示的事件是否为异常以及对目标行为进行预测^[41]。

国内诸如国防科技大学、清华大学、浙江大学、上海交通大学、英特尔中国研究中心等单位的研究尝试,以及国家自然科学基金近年来的支持,说明视频挖掘在国内也已得到一定重视,相关概念和方法值得探索。

3.3 传统挖掘方法是视频挖掘的主要方法,但不是直接应用

由于原始视频数据的非结构化性和视频语义的复杂性,因此传统的数据挖掘方法不能直接应用于视频数据,大多数研究是从视频数据中提取视频对象的特征数据,然后再用传统的数据挖掘方法或其他的挖掘方法进行挖掘。

例如,视频统计挖掘就是通过统计视频对象特征或语义属性值,得出某些有用信息^[3,20];视频分类挖掘则把一组视频对象按照类别的概念描述分成若干类,通过类的概念描述或类的特征发现隐含在视频数据中的信息和模式^[13];视频聚类挖掘将具有相同特性的视频对象聚集成簇,根据类内或类间特性得出视频对象间的分布模式^[33,34,39];视频关联挖掘就是找出视频对象之间出现频率高的关联模式,从而开展基于关联的视频摘要或实现特殊模式探测^[11,22]。

当然,也有不利用传统数据挖掘方法的,例如提取体育视频精彩镜头的无监督自动判别方法^[3]、通过特征距离聚类相似代表帧从而发现视频中相似实体对象的方法^[42],以及实现新闻视频分类检索的基于支持向量机的多模态融合方法^[38],都符合传统意义上的挖掘概念。

3.4 现有的视频挖掘研究工作还比较初步

虽然现有的视频挖掘不仅仅像基于内容的视频信息检索那样,能在某种程度上自动提取视频信息,甚至发现蕴含的有价值的知识,但真正可参考的理论指引和工程实践不多,也没有针对某类视频的通用挖掘工具。

视频挖掘的难点体现在如何提取视频内容的语义,特别是宏观及总体上的语义信息和模式知识,以达到使计算机从人的角度去理解、总结视频的目的。从一些文献给出的效果来看,现有方法离这个目的还有些远,其准确度也不高,有的挖掘结果显而易见,有的缺乏新颖性。

另外,绝大多数视频挖掘方法都涉及复杂的步骤,运行开销较大,其中的视频内容处理技术也在一定程度上影响整个挖掘方法的效果,相关基础工作需进一步研究。

4 对视频挖掘概念的理解

通过文献查证和研究,本文理解视频挖掘为:

视频挖掘(Video Mining, VM) 就是在对视频数据及其内容尽可能不做前提要求的情况下,从大量视频数据中自动提取视频对象、视频对象的物理特征、结构特征和运动特征,发现这些特征在空时上的变化情况和关联关系,从而得出其语义信息、内容结构模式运动行为模式以及其他事实和规律知识。

视频挖掘可抽象地用多维特征空间的一种映射 ξ 来表

示:

$$P \leftarrow \xi(M|C) \quad (1)$$

也就是基于视频数据的内容特性 C 以及这些特性的相关语义,从大量视频数据集 M 中(不一定是视频数据库),发现和提取出隐含的、有效的、有价值的、可理解的视频语义信息或模式知识 P 。

4.1 视频挖掘的概念内涵

上述概念的具体内涵有以下几方面:

(1)视频挖掘涉及3个层次的工作:视频数据预处理;视频特征数据和语义信息提取;视频模式发现、表示和解释。

(2)视频挖掘必须先对视频数据进行预处理,得到高质量的视频对象:像素块、视频帧、视频段(镜头)、视频段组(场景)、运动目标、视频描述文本等。

(3)视频挖掘的数据实际上是视频对象的特征及其语义信息:从预处理视频对象中提取的物理特征、运动特征、特征之间的关系特征以及某些特征值的语义描述。

(4)视频模式知识就是视频对象的特征值及语义描述在时间或空间维上的分布信息,即它们的变化关系、关联关系或总体含义,据此挖掘出视频的组织结构模式,识别出场景中的活动和事件,或者得出其他事实信息或可重用信息。这里所说的模式知识在特定前提和约束条件下可理解和有用,不是放之四海皆准的真理,也不是崭新的自然科学定理。

(5)挖掘算法应尽可能无监督地自适应处理,并利用元知识和领域已知的限制条件来提高挖掘效率和质量。

(6)视频挖掘可分两个层次。一是直接基于特征的视频语义信息挖掘,这种挖掘符合数据挖掘的思想,但并不采用传统数据挖掘的方法,因此称之为低层次挖掘;二是把低层次的视频内容及其语义信息挖掘作为整个模式挖掘的中间结果,或者直接基于视频内容特征开展高级模式知识挖掘。

4.2 视频挖掘与相关领域的区别和联系

视频挖掘是视频内容处理和分析的进一步深化,强调通过对视频做自适应、无监督的内容分析,发现视频内容及其高层语义隐含的模式知识。它需要低级视频分析工作做基础,但它不是一般的视频分析或视频检索技术。目前,视频分析主要指视频低级特征分析,如镜头、对象分割,关键帧提取以及运动目标检测、跟踪、分类等。视频检索则通过相似性匹配,从大规模视频数据集中提取出与某内容特征相符或相似的视频。

视频挖掘与传统的数据挖掘有很大的区别,因为视频数据是非结构化的,描述视频的数据本身不具有传统的结构化数据的确定意义和组织形式,视频对象的特征数据也通常是多维的和固定的,所以传统的数据挖掘算法不能直接应用到视频数据的挖掘中。

视频挖掘与模式识别的关联是:模式识别在于识别出已知的特定目标,给这些对象赋予特定的类别标记,即“模式分类”;而视频挖掘更强调在没有先验条件的情况下,从视频数据中发现视频内容可能表达出的一些有意义的模式知识,它是“模式发现”^[43],发现的模式知识可用于模式识别。

视频挖掘与计算机视觉的联系是:计算机视觉主要是求解三维物体的几何特征、光照、纹理、颜色、摄像机参数等问题,以获得物体的空间视觉信息;而视频挖掘的重点是如何从大量视频数据集中发现隐含的视频信息和模式知识。目前,

也有学者将视频场景中的活动和事件的动态识别等视频理解任务归为计算机视觉的终极目标,从这个角度讲,两者的研究范畴是重叠和互补的。

综上所述,视频挖掘不是数据挖掘在多媒体领域的简单扩展,也不是视频检索在概念上的简单提升,而是一门新的技术,它建立在数据挖掘、多媒体信息检索、计算机视觉等多个技术的基础之上,与它们既有联系又有区别。

4.3 视频挖掘技术的作用

视频挖掘技术可能在以下方面发挥重要作用:

(1)发现视频内容结构的组织模式,比如对话、新闻、叙事的构造模式。

(2)运动目标的特征提取、运动目标行为趋向和异常事件告警的检测。

(3)重要视频段的检索、突出事件的自动发现。

(4)视频关联事件的自动发现、视频分类。

(5)实现视频摘要和层级化浏览。

5 问题和展望

目前,视频挖掘还没有形成如传统数据挖掘那样较完整的理论体系。如何将传统数据挖掘方法有效地应用于视频数据,还需进一步探索。构建实用的视频挖掘应用系统还存在许多困难,未来的研究重点有:

(1)视频挖掘的概念和方法框架

虽然沿用传统数据挖掘思想去理解视频挖掘的概念比较清晰,但从视频数据中挖什么、怎么挖,还没有一个理论上统一认识和可参考的模型。只有丰富其基础理论,理清其问题和挑战,新的科学技术才会得到长远发展。

(2)视频特征提取与挖掘的有效方法

视频挖掘必须基于有效的特征数据,才能得到有用的信息和模式。但是视频具有时间、空间、视觉、对象、运动等特征,特征种类多、数量大且非结构化,其语义内容具有不确定性和语义复杂性,因此必须把数据挖掘的基本理论与视频内容特征结合起来开展视频挖掘研究。

(3)挖掘结果的时空和交互式知识表达

视频数据既具有图像的可视性,又具有空间和时间特性,因此用传统数据挖掘的知识表达方法,很难恰当表达挖掘结果,并会影响用户的认可和使用。因此需要一些可视化表现形式和反馈式挖掘接口,以便提高挖掘的有效性和针对性。

(4)视频挖掘系统的实际应用问题

视频挖掘系统必须考虑具体的应用领域和应用目标。对于不同类型、不同条件和不同时间长度的视频应该如何自适应挖掘?可以利用具体领域哪些上下文信息和元知识使得挖掘结果更有意义,并易于解释和使用?以什么样的模型才能完全表示可能得出的模式知识?这些问题都需要理论指导。

(5)视频挖掘系统性能的评价方法

未来的研究工作还应该包括对挖掘结果质量和挖掘系统性能的评价,而不仅仅把重点放在任务可否完成上。必须从实时性、内存占用量、可靠性等角度考虑系统的实际效率和性能,否则算法和系统就不能走出实验室。

总而言之,视频挖掘是一个充满希望与挑战的研究领域。其目的是基于大量的视频数据向用户提供简洁高效、图文并茂的信息服务和决策支持。它的深入研究必将提高政府机

关、军情监测、公共安全、企业管理等部门在视频知识获取、智能决策、安全管理等方面的能力。

参 考 文 献

- [1] Simeon J, Simoff, Osmar R Z. Report on MDM/KDD2000[C]//The 1st International Workshop on Multimedia Data Mining, SIGKDD Explorations, 2001, 2(2): 103-105
- [2] Rasheed Z. Video categorization using semantics and semiotics [C]//Video Mining[A]. Boston; Kluwer Academic Publishers, 2003
- [3] Divakaran A. Video mining using combinations of unsupervised and supervised learning techniques [C]//Proc. of Conf. on Storage and Retrieval for Multimedia Databases, San Jose, USA, 2004; 235-243
- [4] Latecki L J, Wildt D. Automatic recognition of unpredictable events in videos [C]//Proc. of ICPR, 2002, 2
- [5] Xie L X, Chang S-F, Center I. Pattern mining in visual concept streams[C]//Proc. of IEEE Conf. on Multimedia and Expo(ICME). 2006; 297-300
- [6] Oh JungHwan, Lee JeongKyu, Hwang Sae. Video data mining: current status and challenges [C]//Encyclopedia of Data Warehousing and Mining[A]. USA; Idea Group Inc. and IRM Press, 2005
- [7] Wijesekera D, Aniel B. Mining cinematic knowledge: an extended abstract [C]//MDM/KDD2000. Boston, MA, USA, 2000
- [8] Matsuo Yuya, Kimiaki Shirahama, Kuniaki Uehara. Video data mining: extracting cinematic rules from movie [C]//Proc. ACM SIGKDD, Washington, DC, USA, 2003; 18-27
- [9] Lienhart R, Pfeiffer S. Video abstracting [J]. Communications of the ACM, 1997, 40(12): 55-62
- [10] Zhu X, Fan J, Aref W G. ClassMiner: Mining medical video content structure and events towards efficient access and scalable skimming [C]//Proc. ACM SIGMOD, Madison, WI, 2002; 9-16
- [11] Zhu Xingquan, Wu Xindong. Sequential association mining for video summarization [C]//Proc. of ICME, 2003, 3; 333-336
- [12] Detyniecki M. Discovering indexing rules for video news [C]//Proc. of the European Symposium on Intelligent Technologies, Hybrid Systems and Their Implementation on Smart Adaptive Systems, Algarve, Portugal, Sep. 2002, 44-46
- [13] Pan Jiayu, Christos F. Video Graph: A novel tool for video mining and classification [C]//Proc. of Int. Conf. on Asian Digital Libraries, Singapore, Dec. 2002; 194-205
- [14] Pan Jiayu. Advanced tools for video and multimedia mining[D]. Carnegie Mellon University, 2006
- [15] Shearer K, Dorai C, Venkatesh S. Incorporating domain knowledge with video and voice data analysis in news broadcasts [C]//MDM/KDD, Boston, MA, USA, 2000
- [16] Goh K-S, Miyahara K, Radhakrishnan R, et al. Audio-visual event detection based on mining of semantic audio-visual labels [C]//Proc. of Conf. on Storage and Retrieval for Multimedia Databases, 2004, 5307; 292-299
- [17] Kolekar M H, Palaniappan K, Sengupta S, et al. Semantic concept mining based on hierarchical event detection for soccer video indexing[J]. Journal of Multimedia, 2009, 4(5): 298-312
- [18] Chen M, Chen S C, Shyu M L, et al. Semantic event detection via temporal analysis and multimodal data mining [J]. IEEE Signal Processing Magazine, 2006, 23(2): 38-46
- [19] Tien M C, Wang Y T, Chou C W. Event detection in tennis matches based on video data mining [C]//Proc. of ICME, 2008; 1477-1480
- [20] Chen Hu-Ching, Shyu Mei-Ling, Zhang Chengcui. Multimedia data mining for traffic video sequences [C]//Proc. of ACM SIGKDD, San Francisco, USA, 2001; 78-86
- [21] Prithwijit G, Amitabha M, Venkatesh K S, et al. Activity discovery from surveillance videos [C]//Proc. of Int. Conf. on Pattern Recognition, Hong Kong, China, 2006
- [22] Toshev A, Bremond F, Thonnat M. An APRIORI-based method for frequent composite event discovery in videos [C]//Proc. of Int. Conf. on Computer Visual and Surveillance, 2006
- [23] Swears E, Hoogs A, Perera A. Learning motion patterns in surveillance video using HMM clustering[C]//Proc. of Visual Motion Computing (Motion) Workshop, Copper Mountain, CO, Jan. 2008
- [24] Piatrik T, Izquierdo E. Hierarchical summarisation of video using ant-tree strategy [C]//Proc. of Int. Workshop on Content-based Multimedia Indexing, 2009; 107-112
- [25] 曹加恒, 舒风笛, 张凯. 基于多媒体数据库的数据挖掘系统原型[J]. 武汉大学学报, 2000, 46(5): 569-570
- [26] 付畅俭, 代科学, 李国辉. 视频结构挖掘的概念及应用[J]. 计算机应用研究, 2007, 24(2)
- [27] 代科学, 武德峰, 付畅俭, 等. 视频挖掘技术综述[J]. 中国图象图形学报, 2006, 11(4): 451-457
- [28] Dai K X, Zhang Jun, Li G H. Video mining: concepts, approaches and applications[C]//Proc. of Int. Multi-Media Modelling Conf. 2006
- [29] 胡军涛, 武德峰, 李国辉. 多媒体数据挖掘的体系结构与方法[J]. 计算机工程, 2003, 29(9): 149-151
- [30] 冀中, 苏育挺, 安欣. 视频数据挖掘框架、方法及趋势[J]. 计算机工程, 2007, 33(18): 81-83
- [31] 杨士强, 孙立峰, 崔鹏, 等. 可视媒体的语义挖掘[J]. 中国计算机学会通讯, 2009, 7(5): 30-36
- [32] 赵丕锡, 王秀坤, 李国辉, 等. 视频摘要的分类及其综合评价方法[J]. 计算机应用研究, 2004, 21(11): 5-7
- [33] 付畅俭, 李国辉, 武德峰. 基于直方图高阶差分聚类的视频结构挖掘[C]//第十三届全国多媒体技术学术会议论文集. 宁波, 2004; 12-15
- [34] 代科学, 李国辉, 武德峰. 聚类挖掘在监控视频中的应用[J]. 测控技术, 2006(10)
- [35] 代科学, 张军, 李国辉, 等. 监控视频运动目标的频繁轨迹模式挖掘[J]. 国防科技大学学报, 2006, 28(6): 108-113
- [36] Xie Y X, Luan X D, Lao S Y, et al. A news video mining method based on statistical analysis and visualization [C]//Proc. of Int. Conf. on Image and Video Retrieval, Dublin, Ireland, 2004; 115-122
- [37] 谢毓湘, 栾悉道, 吴玲达, 等. 辅助决策的新闻视频挖掘[J]. 计算机科学, 2004, 31(8): 136-139
- [38] 刘亚楠, 吴飞, 庄越挺. 基于多模态子空间相关性传递的视频语义挖掘[J]. 计算机研究与发展, 2009, 46(1): 1-8
- [39] Oh Junghwan. Multimedia data mining framework for raw video sequences[C]//Proc. of ACM SIGKDD, Canada, 2002; 1-10
- [40] Stauffer C, Eric W, Grimson L. Learning patterns of activity using real time tracking [J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2000, 22(8): 747-757
- [41] 胡卫明, 谢丹, 谭铁牛, 等. 轨迹分布模式学习的层次自组织神经网络方法[J]. 计算机学报, 2003, 26(4): 417-426
- [42] Anjulana A, Canagarajah N. A novel video mining system [C]//Proc. of IEEE Int. Conf. on Image Processing, 2007; 185-187
- [43] Divakaran A, Peker K A, Chang Shih-Fu, et al. Video mining: pattern discovery vs pattern recognition [C]//Proc. of IEEE Int. Conf. on Image Processing, 2004, 4; 2379-2382