

基于 Hadoop 的公安视频大数据的处理方法

刘云恒 刘耀宗

(南京森林警察学院信息系 南京 210023)

摘要 公安视频监控技术已经从联网整合阶段发展到视频实战深度应用阶段,面对源源不断的公安视频大数据,需要研究新型的大数据处理方法。根据公安视频大数据应用需求,采用基于 Hadoop 技术的视频大数据处理平台,并采用以 Map-Reduce 算法为基础的人脸检索与识别算法,来实现公安视频大数据的智能信息处理,达到公安大数据实战应用的目的。

关键词 公安视频大数据,视频智能分析,人脸识别,Hadoop,Map-Reduce

中图分类号 TP393 文献标识码 A

Hadoop-based Public Security Video Big Data Processing Method

LIU Yun-heng LIU Yao-zong

(Department of Information, Nanjing Forest Police College, Nanjing 210023, China)

Abstract Public security video surveillance technology has been developed from the integration phase of the network to the depth of the video application. Facing the continuous flow of public security video data, to study new big data processing means is necessary. According to the demand of public security video data, this paper adopted Hadoop technology based video data processing platform, and used face retrieval and recognition algorithm based on Map-Reduce, to realize the intelligent information processing of the public security video data to achieve the purpose of the application of the public security big data.

Keywords Public security video big data, Video intelligence analysis, Face recognition, Hadoop, Map-Reduce

1 引言

行业大数据应用实践一向被产业界所关注。与金融、医疗、电信、零售等行业大数据技术热点相比,公安系统大数据的应用相对比较陌生。而公安系统拥有庞大的数据积累和独特的安全需求,迫切需要利用特别技术进行大数据处理^[1]。

智能视频监控产生的视频大数据是公安大数据的重要组成部分^[2]。智能视频分析通过视频分析算法对视频大数据进行分析,智能视频技术借助大数据的处理方法对视频大数据中的海量数据进行分析。通过提取视频数据中的关键图像信息,对其进行标记或者相关处理,通过公安信息系统的平台,形成相应复杂事件处理方式,公安人员可以通过公安大数据平台快速检索出所需信息。

面向公安大数据中涌现的海量视频的分析一直是公安系统亟需解决的重要问题,尤其是对于一些重要案件的办案人员来说,检索与分析非常巨大的视频监控信息是一项极其繁重而又重要的工作。如 2012 年非常重大的南京“1.6”抢劫案件,为了侦破此案,南京警方从全市各地共 1 万多个摄像监控位置一共提取了近 2PB 的视频大数据,为了处理这些视频大数据,南京警方抽调了 1500 多名公安干警采用人工方式查阅视频,花费了大量警力,耗时一个多月效率不高。公安机关面对如此多的监控视频数据,要寻找到犯罪证据和线索,无异

于大海捞针,如果有视频大数据的智能分析,则可以大大提高办案效率。对于重大刑事案件而言,智能分析技术可以协助警方尽快破案,节省公安干警的办案时间,提高破案效率。

另外,利用视频大数据的分析技术还可以进行事前预警防范,比如人脸(像)识别比对系统。公安机关通过建立面向视频的人脸(像)识别系统,建立防范人员的人脸(像)数据库,在公安边防检查等业务过程中采用人脸搜索、黑名单布防、陌生人识别等多项视频智能分析技术,可以大大提高视频监控的防范功效。目前面向视频的人脸识别技术一般是针对高清视频,而现在各大城市的大多数监控点的探头还只能得到标清视频,再加上天气等因素干扰,使得这些视频数据中的图像出现失真或模糊不清。此外,由于大量监控点的部署会带来海量视频,甚至达到大数据级别(PB),需要合理利用现有大数据处理技术,以有效地辅助侦办人员。

目前各地公安系统在视频专网和公安内网建设了视频云中心,基于云计算模式进行视频大数据的智能分析^[2]。对于公安系统的工作性质而言,不论是从安全性角度还是经济角度考虑,已有的利用云计算平台的大数据处理方式对于某些特定需求的公安部门而言,都无法满足其特殊性质计算需求。而某些应用,如检索出某个时间段内在特定地区内所有监控视频是否有犯罪嫌疑人的人像,属于离线海量视频的计算任务,无须采用云计算模式。目前的计算需求和业界现状迫切

本文受中央高校基本科研业务费专项资金项目(LGYB201506),基于 Hadoop 平台公安视频大数据的处理技术资助。
刘云恒(1975—),女,硕士,主要研究方向为公安大数据应用;刘耀宗(1975—),男,博士,主要研究方向为数据流挖掘。

需要自主开发出安全可靠的基于本地分布式网络的公安视频大数据处理平台。

2 问题描述与系统框架

2.1 问题的定义描述

公安系统的数据中心建设受到高度重视,2006年全国各重要城市就已拥有成熟的数据中心。而公安几乎和所有行业在数据层面都有密切交互。所以,作为特殊的专网,公安大数据类型比较复杂。其中视频类大数据是主要来源,而最重要的公安视频大数据应用是公安人像识别。近年来,全国各地公安机关大力开展视频监控系统建设,据不完全统计,全国每年需要存储的数据量高达3.3EB,符合大数据的特点(超过EB级),结合视频监控和人脸识别,实现犯罪嫌疑人的快速识别和实时布控,是提高视频监控效率的一条重要途径。由于人脸识别的非刚性特征,在视频监控环境下,人脸识别面临光线、角度、姿态、遮挡等一系列因素的影响,导致人脸的类内差距增大、类间差距缩小,给视频监控的人脸识别带来了巨大挑战。

定义₁(公安视频大数据) 在公共安全领域,治安系统、智能交通视频数据呈井喷式增长,已显现出行业大数据的典型特征。公安数据状况分为:治安类相关业务系统,刑事类相关业务系统,经侦类相关业务系统,交通类相关业务系统,指挥类相关业务系统,视频业务系统。其中监控视频大数据为公安大数据的主要来源,称为公安视频大数据。

定义₂(公安人脸(像)识别) 公安人脸(像)识别系统利用视频图像分析、数据挖掘等技术,对公安关注的各类目标进行识别、定位、监控、追踪,提高了社会面动态管控能力。刑事侦破、社会治安、户籍管理、监所管理等公安用户都可在现有数据的基础上通过人像检测、人像匹配、身份识别、人员关联搜索等技术,在身份核实、治安防范、人口管理、犯罪侦察、诉贪追逃、案底挖掘等各个层面提高业务管理水平,真正实现“智慧警务”。

公安视频大数据应用背景给人脸(像)识别应用带来了机遇,同时也对人脸识别技术提出了更高的要求。虽然人脸识别技术的性能已有较大提高,但它仍是模式识别和计算机视觉等领域最困难的问题之一。如何利用人脸识别技术将这些海量公安视频大数据利用起来,提升视频大数据人脸识别的水平,是目前重要的工作。

目前,人脸(像)识别系统已经针对城市里重点场所的视频监控系统的人像重建、还原及比对需求建立了各类人像特征数据库,实现了部分非结构化数据的结构化处理,并与相关的业务数据进行关联、碰撞。未来几年,人像系统将进一步结合物联网、云计算等技术,将非结构化数据转换为结构化数据,具备社会面感知能力的控制流与公安工作数据信息流进行碰撞融合,以此推动视频大数据信息的深度挖掘,拓展人像识别系统在城市视频监控系统中的应用。

2.2 系统的总体框架

公安视频大数据的处理体系框架主要分为Hadoop集群系统、视频流的解码以及人脸检索与识别₃个层次,其中人脸(像)检索与识别采用的是公安系统的基于低质量图像的重建技术,以适应视频数据的人脸识别要求。系统框架如图1所示。

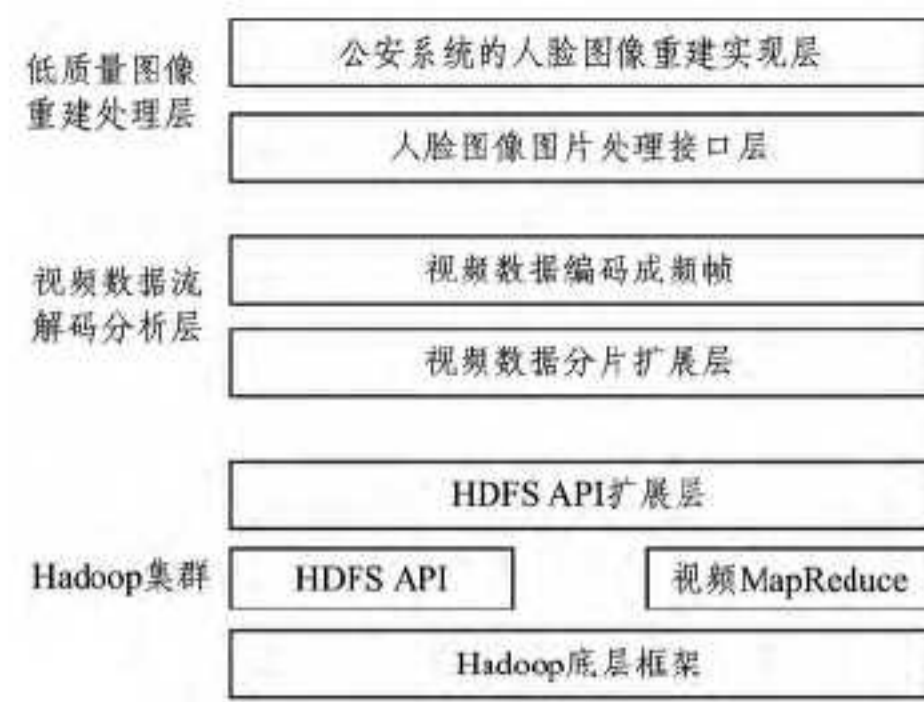


图1 系统总体框架

图1中3个最重要的名词、Hadoop、HDFS、MapReduce分别解释如下。

Hadoop:是目前最流行的开源大数据处理框架,主要包括HDFS分布式文件系统和MapReduce分布式计算模型两个部分。HDFS:具有高容错特性的分布式文件系统,提供集群支撑技术,由数据节点、名字节点等核心组件构成。为适合公安视频大数据,可以采用HDFS Streaming方式,即以数据流形式源源不断地读取视频数据。MapReduce:一个分布式数据处理框架,在计算时先是把一个任务分解为多个子任务,将这些子任务分别处理后的结果再汇总在一块就是最后的分析结果。

本文基于上述架构实现了视频大数据中的人脸识别应用。首先从公安视频大数据中抽取出海量视频并存储,提取所有检测到的人脸,并将解码后的图片上传至HDFS;人脸识别与人脸检测类似,根据已有照片训练得到一组特征集,并将这组特征集作为输入,当检测到人脸帧时,提取该帧的特征与特征集进行比对,筛选出符合条件的图片,并将图片上传至HDFS。从HDFS上读取视频数据,并利用MapReduce框架在集群中对视频数据进行分布式人脸识别处理,同时采用FFmpeg^[3]进行视频编解码,并通过OpenCV^[4]中的人脸检测算法模型对解码后的视频帧进行检测处理。

3 基于Hadoop的公安视频大数据人脸识别技术

3.1 面向视频数据的人脸识别技术

目前国内外人脸(像)识别的研究主要是针对静止图像,基于视频的人脸(像)识别研究情况还处于发展阶段,期望能够更好地指导公安系统的日常管理工作。随着视频监控和人脸识别技术的发展,基于视频的人脸识别已成为人脸识别领域最为活跃的研究方向之一。国内外众多的大学和研究机构已经积极开展视频人脸识别研究,如美国的MIT^[5]、CMU^[6,7]、UIUC^[8,9]、Maryland^[10-12]、英国的剑桥大学^[13-15]、日本的Toshiba公司^[16-18]和国内的中国科学院自动化所^[19-21]等,这些研究大多数是针对高清视频监控的人脸识别。

公安案件侦查业务中经常遇到的照片或视频监控场景中目标人物的面部图像像素较低、模糊不清、肉眼无法辨认等问题,常常让办案民警陷入困境。通过微/模糊人脸重建技术,将上述差、小、模糊面部图像进行还原,重建成可比对的图像,在人脸特征库中进行比对,协助民警缩小排查范围并最终确认目标人身份。该技术属于独创算法,是公安部门侦查破案的利器,多年来协助公安部门破获了多起重大案件。公安大

数据背景下的人脸识别图像来源广泛,质量差异较大,尤其是在刑侦破案领域,由于受成像设备、环境、犯罪人员距离较远等诸多因素影响,从犯罪现场调取的犯罪嫌疑人图像/视频通常质量非常差(主要表现为图像模糊、分辨率低)。对这种低质量的图像/视频直接应用人脸识别比对,识别率非常低。为满足公安实战业务及大数据发展需要,山西省太原市公安局研制了我国公安系统首个面向公安实际应用的人脸识别系统,其结合人脸图像重建技术,实现了低质量图像人脸识别,2012年建设完成后投入全警实战应用,取得了良好的效果^[22]。

低质量图像重建人脸识别包含两个步骤:首先采用低分辨率、模糊图像重建算法对低质量图像进行重建,获取较清晰图像;其次使用重建图像进行人脸识别,获取犯罪嫌疑人身份。如何充分利用视频中人脸的时间和空间信息克服视频中人脸分辨率低、尺度变化范围大、光照和姿态变化剧烈以及时常发生遮挡等困难是面向公安视频大数据的人脸(像)识别的重点。

公安视频大数据的背景给人脸识别技术带来了新的机遇与挑战。公安部第一研究所举办的千万级人脸识别测试^[22]表明,人脸识别可以达到公安系统的实战要求,但它仍是人工智能与模式识别最困难的问题之一,如何利用视频大数据背景提升人脸识别的效率与正确率是重中之重。针对上述要求,设计实现了基于 Hadoop 的视频人脸识别应用,分布式视频转码与摘要以及分布式人脸检索(视频预处理阶段)。视频转码与预处理是一种计算密集型和数据密集型的工作,需要消耗大量的计算机资源,实现 Hadoop 集群视频转码应用可以显著提高视频处理效率。通过对视频大数据的管理和传递,共同完成任务处理,如人脸识别、目标跟踪等。

3.2 基于 Map-Reduce 的分布式人脸识别并行计算

近年来,出现了专门为公安大数据量身打造的基于云计算的高效人脸识别技术^[22]。系统基于云架构设计,充分利用云计算平台的超强计算能力,部署多种算法,实现多算法的混合,同时吸纳各种算法的优点,提高大数据容量下人脸图像的识别和比对性能,宽幅适应年龄、胖瘦、疾病、角度、表情、光照等变化的图像。如图 1 所示,系统采用典型的“映射-规约”(Map-Reduce)框架,将人脸特征散布到数十、数百甚至数千台电脑上并行计算,获取超强的计算能力。

在比对过程中,比对平台接收到比对请求后,首先对图像进行特征提取,获取人脸特征,通过映射(Map)过程,将待识别的人脸特征分布到各计算节点进行比对,输出相似程度及对应的人员身份信息;随后通过规约(Reduce)过程,将识别结果按照相似程度排序,并进一步过滤,输出最终的比对结果。与传统的人脸识别算法相比,云计算的识别过程将大量人脸数据库中的数据分布到多个计算节点进行比对处理,使得原来需要顺序进行的人脸比对变成了并行处理,大大加快了识别的过程,并且云平台的线性扩展性保证了系统的数据扩展性数据增长后,还可以通过增加计算节点的方式提高处理能力,保证了系统的实时性。

Hadoop 大数据处理平台采用 MapReduce 分布式计算模型它由主节点执行任务调度服务(JobTracker)以及从节点执行主节点分配任务(TaskTracker)组成。JobTracker 从客户端获取任务并将它分解成较小的子任务 InputSplit, MapRe-

duce 任务将输入文件切分成不同的 InputSplit; TaskTracker 连续执行 Map 函数处理 InputSplit 中的每个数据项。映射(Map)阶段与归约(Reduce)阶段的视频数据处理过程如图 2 所示。

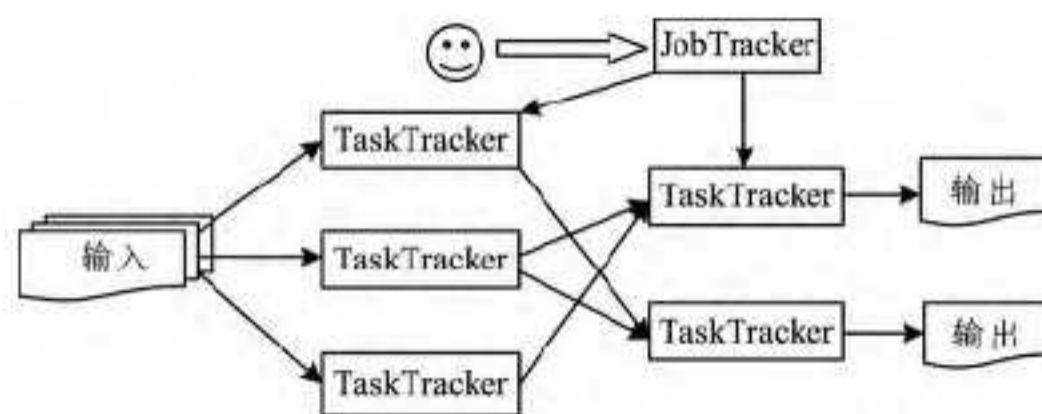


图 2 MapReduce 结构

MapReduce 屏蔽了分布式计算的细节,降低了分布式计算开发成本,用户只需要定义两个关键函数:Map 函数和 Reduce 函数,即映射和规约两个主要过程。提高人脸识别速度的关键在于多节点并行化处理。为海量人脸数据建立倒排索引库,主要包括:

(1) MapReduce 的输入数据格式为(人脸元数据信息,人脸图像信息)。

(2) 主节点将海量人脸识别的任务分成若干个子任务,并交由计算节点处理,计算节点调用本地人像进行 Map 处理,即提取人像特征,生成倒排索引输出。

(3) Reduce 合并 Map 的输出结果并保存到 HDFS 中。

系统采用“映射-规约”(Map-Reduce)框架,将人脸特征散布到集群中进行分布式并行计算,提高大数据处理效率。在人脸识别应用过程中,人脸检索与识别平台首先对人像进行特征抽取,采用的是公安系统专门的面向视频的人像优化技术,获取人脸特征后,通过映射(Map)过程,将待识别的人脸特征分布到各计算节点进行比对,输出相似性高的人员身份信息;再通过(Reduce)过程,将人脸识别结果按相似度进行排序,采用模糊综合对比手段,输出最终的对比结果。与传统的人脸识别方法相比,该方法将原有的按顺序进行对比变为并行处理,提高了计算效率。

3.3 基于 Hadoop 平台的公安视频大数据处理平台

(1) Hadoop 平台的搭建与运行过程

硬件环境:南京市公安局 IBM 高性能服务平台集群系统内存 1TB,存储能力 2PB,共 324 个节点,1 个管理节点,10 个 IO 节点,323 个计算节点。每个节点配置 2 颗 4 核 Intel CPU i7,主频 2.00GHz,配有千兆管理网络、40GB 高速计算网络和千兆存储网络。

软件环境:操作系统 Red Hat Enterprise Linux Server release 5.4 (Tikanga) x86-64; Hadoop 平台为 Hadoop-0.20.2; JDK 为 jdk 1.6。Hadoop 参数设置如表 1 所列。

表 1 Hadoop 参数设置

参数	参数值	参数描述
dfs.block.size	128	HDFS 的默认分块为 64MB,128MB,256MB。
dfs.replication	12	块复制数量,默认是 3,当节点数较多时可以设置得大一些,提高性能。
io.sort.mb	500	Map 时的内存缓冲,默认大小为 100M。
io.sort.factor	400	在 Hadoop 集群中适当增大能够提高并行度。
io.file.buffer.size	131072	MapReduce 中 I/O 操作的缓冲区大小。

(2) 性能测试与结果分析

实验数据来自于南京仙林大学城安装的监控视频,每月

的监控视频超过 1PB, 达到了大数据级别。为了减轻测试负担, 选取了其中约一天的视频数据, 共约 30T。任务是检测出其中特定的人脸(像)。

视频预处理是人脸识别的重要步骤, 根据视频更新情况定期对视频进行预处理, 更新数据库中的视频元数据信息。

视频处理过程中由于同等大小视频的复杂度不同, 往往导致处理时间产生较大不同。将一天连续 24 小时的监控视频按每 2 小时分成 12 份, 分别进行单机(单个节点)离线视频人脸识别, 计算视频数据处理时间, 得到的对比结果如表 2 所列。

表 2 Hadoop 与单机处理视频处理时间(分钟)的对比

	视频转码		视频摘要		人脸(像)识别	
	单机处理	Hadoop 处理	单机处理	Hadoop 处理	单机处理	Hadoop 处理
1	15.2	4.3	132	23	223.9	80.5
2	14.6	4.1	154	26	234.2	89.6
3	13.2	4.1	125	24	211.3	78.6
4	16.3	4.8	156	29	245.3	82.3
5	25.4	6.5	187	35	287.4	88.6
6	26.4	6.8	198	37	298.6	89.5
7	33.2	8.3	236	43	323.5	97.6
8	43.5	11.3	252	43	378.9	109.6
9	35.2	8.9	254	41	333.6	92.3
10	25.6	6.3	192	35	293.6	88.6
11	15.7	4.7	138	24	233.4	82.5
12	15.6	4.7	127	23	253.9	81.8

从表中不难发现, 该方法对 12 段同等大小的视频的处理时间有较大差异。这是由于一天各个时间段的监控内容有很大差异, 通过分析各个时间段, 也可以融入公安大情报进行综合处理。

从表 2 中可以看出单机的视频处理时间是线性增长的, 而采用 Hadoop 平台处理小数据量并不占优势, 在数据量急剧增加时, 处理效率也随之增加, 随着数据量的不断增加, 处理时间并未呈现相应的线性增长。这说明 Hadoop 适合处理大数据, 同时我们发现进行 Hadoop 视频处理任务时, 由于任务在 MapReduce 框架中被并发执行, 需要优化目前的任务调度策略。

结束语 本文在分析公安视频大数据处理特点的基础上提出并实现了一种基于 Hadoop 框架的分布式海量视频处理方法, 通过设计整体框架与技术实现细节, 可以像处理文件那样处理视频数据, 解决了不能直接处理视频大数据的问题。在此基础上, 针对监控视频人像模糊不清的特点, 采用了公安系统专门的低质量人像重采样技术, 结合了视频数据中人脸(像)识别算法。测试结果表明, 利用本系统完成海量视频数据处理的人脸(像)识别所需时间开销大大减少, 通过对视频数据流的调度进行优化, 进一步提高了公安视频数据的处理效率, 对公安视频大数据分析与实战综合利用意义深远。

参 考 文 献

[1] 吕益民, 宫夏屹, 聂春华. 公安大数据处理平台的探索[J]. 广东公安科技, 2014, 22:13-18

[2] 孟祥广. 大数据时代和智能视频分析技术[J]. 中国安防, 2013, 12:44-47

[3] 杨帆, 沈奇威. 分布式系统 Hadoop 平台的视频转码[J]. 计算机系统应用, 2011, 20(11):80-85

[4] 文卫蔚. 利用 MapReduce 模型训练支持向量机的人脸识别方法[D]. 武汉: 中南民族大学, 2013

[5] Sakhnarovich G, Fisher J W, Darrell T. Face recognition from long-term observations[C]//Proceedings of the European Conference on Computer Vision. Bari, 2002:851-868

[6] Liu X M, Chen T, Thornton S M. Eigen space updating for non-

stationary process and its application to face recognition[J]. Pattern Recognition, 2003, 36(9):1945-1959

[7] Liu X M, Chen T. Video-based face recognition using adaptive hidden Markov models[C]//Proceedings of the IEEE International Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. Madison, 2003:340-345

[8] Lee K C, Ho J, Yang M H, et al. Video-based face recognition using probabilistic appearance manifolds[C]//Proceedings of the International IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. Madison, 2003:313-320

[9] Lee K C, Ho J, Yang M H, et al. Visual tracking and recognition using probabilistic appearance manifolds[J]. Computer Vision and Image Understanding, 2005, 99(3):303-331

[10] Zhou S, Krueger V, Chellappa R. Probabilistic recognition of human faces from video[J]. Computer Vision and Image Understanding, 2003, 91(1):214-245

[11] Zhou S, Chellappa R, Moghaddam B. Visual tracking and recognition using appearance-adaptive models in particle filters[J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2004, 13(11):1434-1456

[12] Aggarwal G, Chowdhury A K R, Chellappa R. A system identification approach for video-based face recognition[C]//Proceedings of the IEEE International Conference on Pattern Recognition. Cambridge, 2004:23-26

[13] Arandjelović O, Cipolla R. Face recognition from face motion manifolds using robust kernel resistor average distance[C]//Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. Washington DC, 2004:88-93

[14] Arandjelović O, Sakhnarovich G, Fisher G, et al. Face recognition with image sets using manifold density divergence[C]//Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. San Diego, 2005:581-588

[15] Arandjelović O, Cipolla R. A pose-wise linear illumination manifold model for face recognition using video[J]. Computer Vision and Image Understanding, 2009, 113(1):113-125

(下转第 475 页)

离,再将距离最近的两类合并,这样每次减少一类,直至所有的样品都成一类为止。根据类与类之间的距离定义方式的不同产生了不同的系统聚类方法,其中广泛使用的方法是类平均法和离差平方和法(有时也称 Ward 法)。类平均法就是将两类之间的距离平方定义为这两类元素两两之间的平均平方距离,而离差平方和法的思想来自于方差分析,如果类分得正确,同类样品的离差平方和应当较小,类与类之间的离差平方和应当较大。研究需求聚类的目的是使功能语义相似的需求语句聚合在一起,所以选用 Ward 法,使用 SPSS 工具对表 5 中的数据执行聚类分析,得到的结果如图 2 所示。

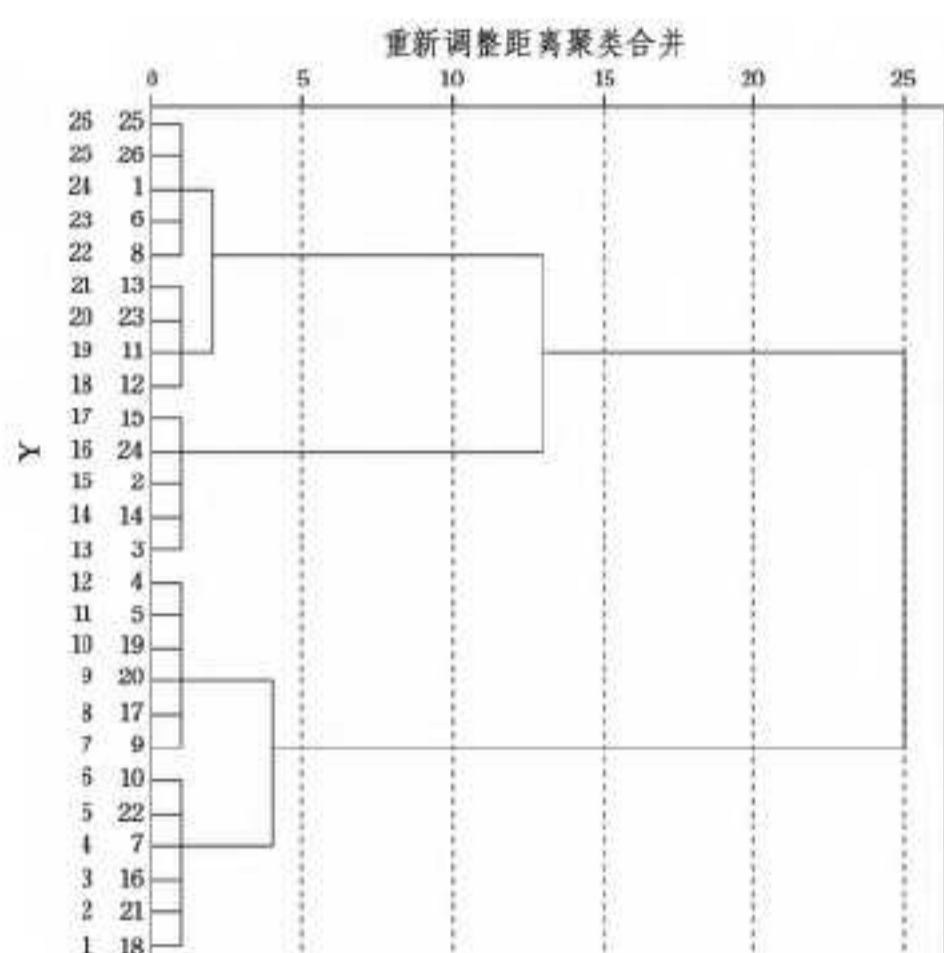


图 2 聚类分析结构树状图

得到聚类树状图后,还需要确定究竟分成多少类比较合理。从图 2 来看,可供分类的方案有 5 类、4 类、3 类、2 类。一般情况下,在聚类过程中希望每个类别包含的对象数基本相等,因此找出尽可能“等分”的分类就是通常确定类别数目的原则之一^[8,9]。结合图 2,可以统计出 26 个功能性需求语句在分为 2~5 类时各个类别的需求数,如表 6 所列。从表中可以发现,分为 5 类相对比较合适,这时最大类别数为 6,占全部功能性需求语句数的 23.1%,最小的类别数为 4,占全部功能性需求语句数的 15.4%,分类情况相对均匀。

表 6 不同分类情况下各个类别包含的需求数

类别	1	2	3	4	5
Ward Method(5)	5	4	5	6	6
Ward Method(4)	9	5	6	6	
Ward Method(3)	9	5	12		
Ward Method(2)	14	12			

26 个功能性需求的分类情况如表 7 所列。

表 7 功能性需求语句分类情况

类别	类别中的成员	类别特征描述
1	{R25, R26, R1, R6, R8}	该组由对 ATM 初始化、安全保证方面的需求语句组成。
2	{R13, R23, R11, R12}	该组主要由 ATM 处理事务方面的需求语句组成。
3	{R15, R24, R2, R14, R3}	该组主要由与提取现金相关的需求语句构成。
4	{R4, R5, R19, R20, R17, R9}	该组由关于合法性检查方面的需求语句组成。
5	{R10, R22, R7, R16, R21, R18}	该组主要由描述 ATM 与银行计算机交互情况的需求语句构成。

结束语 需求阶段是软件生命周期过程中最为重要的阶段,该阶段所产生的产品——软件需求规格说明是其它各个阶段开展工作的基础,如果基础坏了,那么软件项目就会失败,因此需求分析阶段必须严格管理。对于一个大型的软件项目来说,需求可能会成千上万,如果杂乱无章地堆积在一起,会给开发过程和今后的维护带来困难。本文通过自然处理技术及灰色聚类算法,将需求按照某些标准和原则进行分类,从而实现将功能相近的需求放在一起,这无论是对需求审查,还是今后的软件开发、软件维护,都会有很大的帮助。

参考文献

[1] Martin J. An Information Systems Manifesto[M]. Upper Saddle River, NJ, USA: Prentice Hall PTR, 1986

[2] Hu Wen-sheng, Zhao Ming, Wu Shi-yi, et al. Requires analysis based on software maintainability[C]// 2014 International Conference Reliability, Maintainability and Safety(ICRMS). 2014: 354-357

[3] 徐锋. 软件需求最佳实践——SERU 过程框架原理与应用[M]. 北京: 电子工业出版社, 2011: 2-15

[4] 郭晓君, 刘思锋, 方志耕. 基于合成灰数灰度的区间灰数自忆性预测模型[J]. 系统工程与电子技术, 2014, 36(6): 1124-1129

[5] 刘思峰, 谢乃明, 等. 灰色系统理论及其应用[M]. 北京: 科学出版社, 2008: 52-63

[6] 余金山. 实时 UML Rational Rose RealTime 建模案例剖析[M]. 北京: 电子工业出版社, 2007

[7] 张尧庭, 方开泰. 多元统计分析引论[M]. 武汉: 武汉大学, 2013, 32(6): 1071-1078

[8] 戴晖, 郭均鹏, 高飒, 等. 一般分布区间型符号数据的系统聚类[J]. 数理统计与管理, 2013, 32(6): 1071-1078

(上接第 451 页)

[16] Yamaguchi O, Fukui K, Maeda K. Face recognition using temporal image sequence[C]// Proceedings of the IEEE International Conference on Automatic Face and Gesture Recognition, Nara, 1998: 318-323

[17] Fukui K, Yamaguchi O. Face recognition using multi-viewpoint patterns for robot vision[C]// Proceedings of the International Symposium of Robotics Research, Siena, Italy, 2003: 192-201

[18] Nishiyama M, Yamaguchi O, Fukui K. Face Recognition with the multiple constrained mutual subspace method[C]// Proceedings of the 5th International Conference on Audio and Video-Based Biometric Person Authentication, New York, 2005: 71-80

[19] Li J W, Wang Y H, Tan T N. Video-based face recognition using

a metric of average Euclidean distance[C]// Proceedings of the 5th Chinese Conference on Biometric Recognition, Guangzhou, China, 2004: 224-232

[20] Li J W, Wang Y H, Tan T N. Video-based face recognition using earth mover's distance[C]// Proceedings of the International Conference on Audio and Video-based person Authentication, New York, 2005: 229-239

[21] Fan W, Wang Y H, Tan T N. Video-based face recognition using Bayesian inference model[C]// Proceedings of the International Conference on Audio and Video-based Person Authentication, New York, 2005: 122-130

[22] 宛根训, 田强, 李建勇, 等. 公安大数据背景下的人脸识别技术进展[J]. 警察技术, 2014(5): 16-18