

面向公安部门的人脸识别系统的设计和实现^{*}

孙 沛 陈世福

(南京大学计算机系软件新技术国家重点实验室 南京210093)

摘 要 本文描述了一个面向公安部门的人脸识别系统的设计方法、体系结构和实现技术,主要讨论了这个系统的设计方法和一些关键模块的实现,包括识别算法模块、数据库管理模块、个人信息资源模块和配置管理模块。

关键词 人脸识别,设计模式

Design and Realization of a Police-Oriented Face Recognition System

SUN Pei CHEN Shi-Fu

(The State Key Lab. for Software Novel Technology, Nanjing University, Nanjing 210093)

Abstract This paper describes the design method, architecture and implementation technique of a police-oriented face recognition system, mainly focuses on the system design policy and the realization of some key modules, including recognition algorithm module, database management module, person information source module and configuration management module.

Keywords Face recognition, Design pattern

1 引言

近年来,生物识别技术以其特有的稳定性、唯一性、方便性,被广泛地应用在安全认证等身份鉴别领域,正日益成为人们日常生活和工作中的重要且普遍的安全验证方式。

人脸识别技术属于生物特征识别技术中的一种,它利用不同人的面像有各自的特点这一事实,通过比较待识别者与库中候选对象的面像信息,以确认其身份归属。在公安部门的刑侦工作中,人脸识别技术有着广泛的运用,存在多种多样的应用形式,包括网上追逃、卡口追逃、监狱管理、重点对象监控等等。从广义上说,公安系统中所有包含人脸信息的数据库,如常驻人口库,均可被用于基于人脸特征的智能检索。随着公安部门对人脸识别系统的熟悉和深入使用,随时有可能发现或产生新的应用方式,对系统功能提出更高的要求。这决定了本系统应当具有极强的可扩展性与适应性,以满足公安部门不断增加和变化的应用需求。本文介绍的我们研制的人脸识别系统是针对公安部门的需求而设计的,并同时可适用于银行、海关等领域。文中将主要描述本系统的总体设计思想,系统结构和主要实现技术,而系统的图像预处理技术和具体的人脸识别算法,因文章篇幅所限,这里不再赘述。

2 系统总体结构设计

2.1 人脸识别的流程

自动人脸识别研究已有三十多年的历史,出现了诸如PCA、SVM、Bayesian等一系列行之有效的人脸识别方法^[1~5]。从总体流程上看,人脸识别包括:人脸检测、人脸特征抽取、特征比对识别三个重要的环节,算法的整个工作流程如图1所示。

对于输入的人脸图像,我们首先通过人脸检测算法定为图像中相应的人脸区域;在此基础上,我们使用特征抽取算法

提取出人脸区域的特征信息;最后,通过将所提取的人脸特征与原先库存的特征相匹配,以发现待识别者的身份。

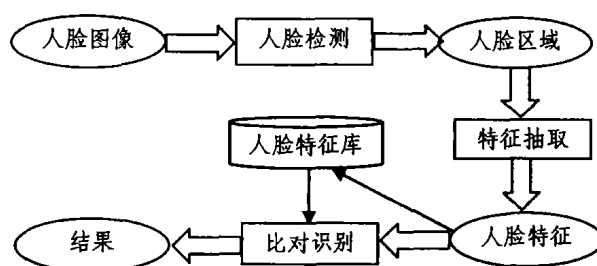


图1 人脸识别工作

2.2 系统设计复杂性分析

人脸识别技术是一种较为成熟的技术,然而,要使用这一技术架构起一个强大的身份识别系统,依然存在着许多影响设计复杂性的不确定因素。这些因素主要包括:

·数据库差异:人脸识别系统需要对底层个人信息数据库进行管理维护,这要求系统对底层数据库有明确的了解和控制。然而,公安部门目前使用的各类数据库并没有统一的设计规范,库与库之间的结构定义,信息存储均存在着较大的差异。我们需要限制这种差异带来的影响,以统一的方式为不同的应用提供一致的操作界面。

·信息获取方式差异:在实际应用中,我们可以通过多种途径来获得人脸信息,包括简单的静态照片文件,摄像头捕获的动态视频,甚至采用人脸重构系统产生人像结果。获取方式的多样性也增加了系统设计的复杂度。

·识别算法差异:人脸识别领域中存在着大量的识别算法,针对不同的应用环境使用不同的算法或多种算法的组合往往能够带来更好的识别效果。因此,如何包容并综合应用多种人脸识别算法也是本系统设计需要考虑的要点。

^{*})本文得到江苏省十五科技攻关项目(BE2001028)的资助。

·技术应用方式差异:不同的场景需要不同的技术运用方式,比如采用静态比对还是实时动态比对,采用本地数据库还是网络中央数据库均需视具体的场景而定。

公安部门的实际应用的多样性与不确定性,决定了本系统的实现要兼具效率与可扩充性。根据上述的分析和公安系统的要求,我们设计了该系统的系统结构。

2.3 系统总体结构

本系统的核心部分由比对识别、识别算法、个人信息源、数据库管理四大部分组成。如图2所示,系统软件模块的设计划分遵循单一职责原则(SOP)和开放封闭原则(OCF)^[6],各个模块均面对单一的变化风险并独立扩展演化。在此基础上,我们提供了一组 facade 支持界面对系统核心的访问。其中识别过程管理和数据库管理均为建立在高度抽象之上的稳定应用逻辑,而系统配置管理则负责实际管理系统底层组件,并根据需要动态地装配各个不同的底层组件完成系统功能,以满足用户灵活多变的应用需求。

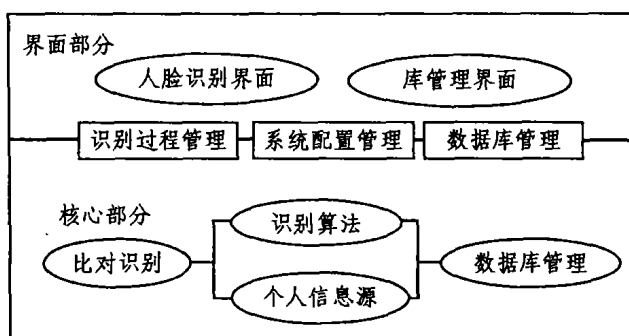


图2 人脸识别算法工作流程

在系统的设计过程中,我们合理运用了 Configuration, Factory Method, Template Method, Reactor, Singleton, Strategy 等设计模式^[7-9],这些设计模式的应用使得本系统分离了功能,隔离了变化,能够有效适应多变的应用环境。大体而言,本系统具有以下几项优点:

- 支持多种个人信息输入方式,用户可通过摄像头、数码相机、人脸重构系统等途径获取人脸图片并建立个人信息条目。
- 支持多种人脸识别算法,系统可支持包括 PCA、SVM、神经网络方法在内的多种人脸识别算法的使用及综合评分。
- 支持多种比对模式,包括单一\批量比对,静态\视频比对等等,并可根据需要,方便地添加新的比对模式。
- 支持一致的个人信息库的管理,为不同结构,位于不同位置的个人信息库提供统一的管理界面和操作方式。

下面我们将依次介绍系统核心模块和软件结构的实现技术,并讨论其对系统整体设计目标的支持。

3 系统主要实现技术

3.1 比对识别模块

一次比对识别过程,抽象看来即针对一组待识别身份的对象,使用一种人脸识别算法,根据一种工作策略,在特定的候选对象群体中进行比对识别操作,并将最终的比对结果报告给用户。通过采用识别算法模块隔离人脸识别算法的具体实现差异,个人信息源模块隔离待识别对象和候选对象群体的信息的获取方式,我们对比对识别过程的表述可以构建在更高层次的抽象上。图3展示了比对识别模块的层次结构。

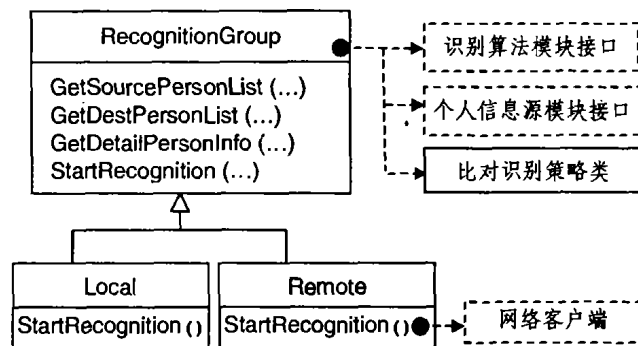


图3 比对识别模块层次图

我们在模块的基类 RecognitionGroup 中实现了所有与比对识别具体流程无关的控制接口,包括比对过程采用的个人信息源和识别算法的设置,以及识别结果的获取;而对于识别过程的精确控制,则延缓到子类对 StartRecognition 方法的具体实现。子类可以通过识别算法和个人信息源模块的接口控制具体的比对流程,并使用内嵌的策略类对一些灵活的控制策略进行调节。通过这种方式,在目前的系统实现中,用户已经可以控制:

- 确认可疑对象的阈值大小;
- 最多返回可疑对象的数目;
- 是否使用已知个人身份信息来辅助比对识别。

并且保证:无论是在单机环境还是在复杂的网络环境下,这一过程均能高效运行。

3.2 识别算法模块

针对具体的应用场景、图像质量、精度/效率要求,不同的人脸识别算法具有各自的优势;并且,有些情况下,采用一定的策略将多种算法综合使用,会收到更好的效果。因此,本系统应具有与多种人脸识别算法协同工作的能力。考虑到各个算法工作流程的相似性,我们采用了 Strategy 模式^[7]对算法进行抽象封装。

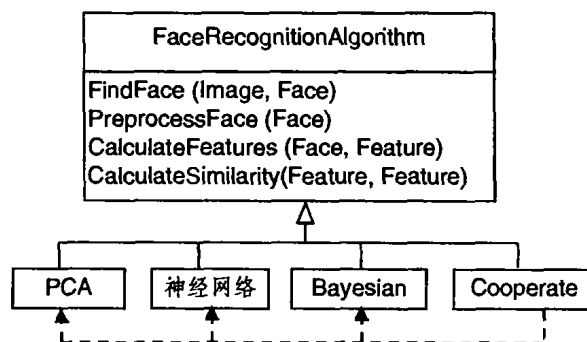


图4 识别算法模块类

如图4所示,FaceRecognitionAlgorithm 定义了人脸识别算法的抽象接口,其子类分别针对 PCA^[5]、神经网络^[3]、Bayesian^[4]算法给出了具体实现;CooperateAlgo 实现采用了 Composite 模式,可以根据策略使用多种人脸识别算法,并给出综合评分。

3.3 数据库管理模块

考虑到本系统对个人信息数据库的所有访问均以个人信息为基本单位,我们采用了 Facade 模式对底层的数据库访问进行了封装,并对上层提供一个对象访问接口。针对不同的具体数据库,我们分别通过子类化该接口来提供支持。特别地,我们采用 Proxy 模式^[7]实现了对网络数据库访问的透明封

装。

此外,针对每一个具体库,我们还提供了对应的辅助类 DBUtil。通过 DBUtil,客户程序可以感知库中个人信息条目的具体显示方式,并可进行合法性验证,为实现统一的数据库管理界面提供了有利的支持。

在系统开发后期的应用中,我们发现公安系统在使用的单机版网上抓逃系统中,采用了索引文件+数据文件的方式来进行数据存储。系统通过提供定制的子类和辅助类,可以快捷地支持这一存储方式。

3.4 个人信息源模块

个人信息源模块使用 Facade 模式^[7],隐藏了不同人脸获取途径之间的差异。通过把每一种个人信息源抽象为遵循同一标准的容器,客户程序可以初始化容器,设立过滤条件筛选容器的内容,并最终通过其接口迭代地获取容器中包含的所有个人信息,而不用考虑确切的信息来源。

特别地,我们使用了 Adapter 模式^[7]包装数据库管理模块的接口,实现了个人信息数据库容器,系统可不必再针对具体数据库实现相应的个人信息源。

3.5 系统配置管理

通过拼接已有的底层组件或者开发专用的底层组件,本系统可以灵活地应对变化;更进一步地,我们采用了 Configurator 模式^[9]来管理这些底层组件,其可扩充性良好,系统可以在运行时方便地装配这些组件,完成用户特定的应用需求。

所有的系统底层组件,包括具体的识别算法、数据库和个人信息源,均在独立的 DLL 中实现,并对外导出一组生命周期管理函数;系统中的配置管理类将根据配置文件的描述,适时地加载相关组件的动态连接库并从中获取组件实例,拼装系统功能。所有的组装操作将由配置管理类根据配置文件的描述自动独立完成,未被使用到的底层模块将确保不会被加载,这保证了系统运行时的时间和空间效率。

4 系统应用实例

在基于上述的系统核心模型之上,我们进一步完成了整个人脸识别系统。图5至图8显示了本系统的部分运行实例。

图5所示为系统主界面。主界面主要进行各种组件配置,以及任务管理的工作,任务列表中列出所有已输入的任务,可以方便地进行比对、添加、删除和重置等功能。

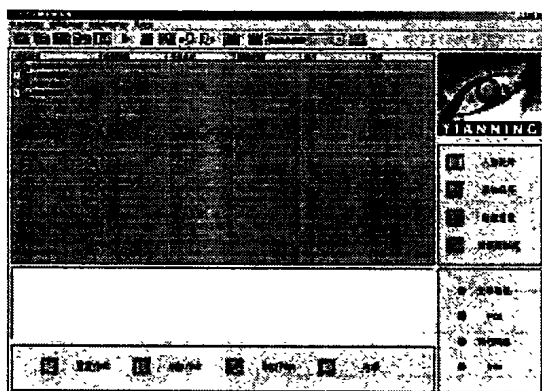


图5 程序主界面

图6、图7分别展示了系统的静态比对结果界面和视频比对结果界面。图中左边大一些的人像为待识别的人脸图像,右边是选定的人脸信息库中与待识别人像比对的结果。界面中列出所有与待识别人脸图像相似的人脸图像及其相关信息,

即可以比对出与待识别的人像相似的1~50个人像,按相似度程度的大小依次给出,并可以将你认为最相似的人像放大或打印输出。在比对进行时,还可以进行综合比对。例如要识别的人是男性,估计年龄是青年人,即可以进行综合比对,即使用人脸+年龄(例如20~40)+男性等条件进行综合比对,可以提高比对的速度和准确率。



图6 静态比对界面



图7 视频比对界面

图8所示为人脸信息库浏览界面,利用该界面,用户可以方便地对各类人脸数据库进行浏览,查询以及增加、删除等操作。在对人脸数据库进行浏览和查询时,可以进行综合查询。例如综合查询条件如:姓名+年龄+性别等条件。

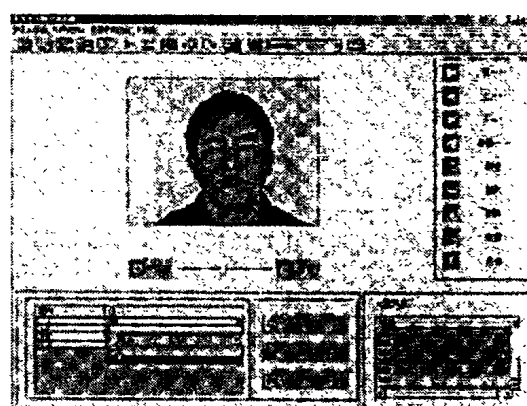


图8 人脸信息库管理界面

结束语 本系统在 Windows2000 环境下,采用 Visual C++6.0 编程实现。多种设计模式的使用大大降低了模块间的耦合程度,使得本系统更加稳定、健壮,并且具备了良好的自适应能力。目前,该系统已在江苏省公安厅刑警总队和南京火

(下转第200页)

检测条件由下式给定:

$$NC(w, \tilde{w}) = \frac{\sum_m \sum_n w(m, n) \tilde{w}(m, n)}{\sum_m \sum_n [w(m, n)]^2} \geq NC_0 \quad (7)$$

其中 NC_0 是一个事先给定的阈值。

6 测试结果

我们采用一幅灰度图像(图4b)作为水印,载体图像采用 512×512 的彩色 Lena 图像,如图4a。小波采用“Daubechies-10”小波基,水印嵌入到载体图像的蓝色分量中,并与 Zhong^[8] 的方法做对比,获得测试结果如图4和表1所示。图4中用我们的方法的测试结果用实线表示,Zhong 的用虚线表示。

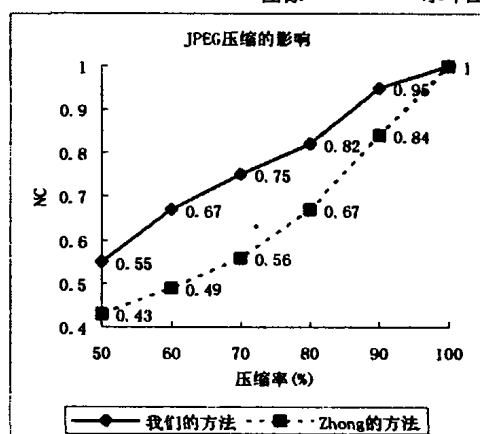


图4 JPEG 压缩实验结果

表1 高斯噪声、均值滤波测试结果

攻击类型		我们的方法 (NC)	Zhong 的方法 (NC)
添加高斯噪声	SNA=25db	0.51	0.40
	SNA=30db	0.66	0.59
均值滤波	3×3滤波	0.43	0.32
	5×5滤波	0.28	0.16

(上接第185页)

车站公安派出所等单位成功试用;此外,我们还将这一架构的核心部分应用到基于人脸识别的登陆系统和单位考勤系统中,获得了良好的效果。本文结合公安部门的具体需求分析了我们的人脸识别系统的设计和实现,希望对其它类似系统的设计实现能够起到一定的借鉴作用。

参考文献

- 李耀东,崔霞,肖柏华,戴汝为. 自动人脸识别技术综述. 计算机科学, 2002, 29(12): 1~11
- Moghaddam B, Pentland A. Probabilistic visual learning for object representation. IEEE Transactions on pattern analysis and machine intelligence, 19(7), 1997: 696~710
- Rowley H-A, Baluja S, Kanade T. Neural network-based face detection, IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine In-

teligence, 1998, 20(1): 23~38

小结 本文基于小波变换,提出了一种新的灰度图像水印技术。首先将彩色图像映射为灰度图像,对这幅灰度图像进行 L 级离散小波分解,并按密钥将每级的小波系数等分成四个系数集合,根据水印图像 W 同时对小波系数进行重新量化,然后进行 L 级小波重构,获得含有水印的灰度图像,再根据该灰度图像改变原彩色图像的各分量值,从而得到含有水印的彩色图像。提取水印时,将待测彩色图像映射为灰度图像,对这幅灰度图像进行 L 级离散小波分解,并按密钥将每级的小波系数等分成四个系数集合,对水印的每个点,从 Δ 值最大的系数集合中提取该点的水印值。由于水印不是直接添加到彩色图像的某个分量中,而是添加到与红、绿、蓝三个分量都有关的灰度图像中,并分四次添加,提取时选 Δ 值最大的系数集合,故增加了水印的鲁棒性。测试结果表明该技术具有良好的性能,可用于图像的版权保护。

参考文献

- Hsu C J, Wu J L. Hidden Signatures in Images[P]. IC IP-1996. 223~226
- Bors A G, Pitas I. Embedding Parametric Digital Signatures in Images[A]. EUSIPCO'96, Trieste, Italy, Sep. 1996. 1701~1704
- Cox J. Secure Spread Spectrum Watermarking for Multimedia[J]. IEEE Trans on Image Processing, 1997, 6(2): 673~1687
- Wang H-J M, Kuo C-C J. An integrated progressive image coding and watermark system[J]. IEEE Speech and Signal Processing, Seattle, Washington, May, 1998. 12~15
- Xia X, Boncellet C G, Arce G R. A Multiresolution Watermark for Digital Images[J]. In: Proc. of IEEE ICIP, Santa Barbara, CA, USA, Oct. 1997. 548~551
- Dugad R, Ratakonda K, Ahuja N. A new wavelet-based scheme for watermarking images[J]. IEEE Image Processing, ICIP '98, Chicago, IL, USA, Oct. 1998. 4~7
- Kundur D, Hatzinakos D. Digital watermark using Multiresolution Wavelet Decomposition[A]. In: Proc. IEEE Int. Conf. On Acoustics, Speech and Signal Processing, Seattle, Washington, May 1998. 5: 2969~2972
- 钟桦, 焦李成. 自适应灰度级数字水印技术. 计算机学报, 2002, 25(12): 1364~1370
- telligence, 1998, 20(1): 23~38
- Turk M, Pentland A. Eigenfaces for recognition, Journal of cognitive neuroscience, 1991, 3(1): 71~86
- Moghaddam B, Jebara T, Pentland A. Bayesian Face Recognition. Pattern Recognition, 2000, 33(11): 1771~1782
- Martin R C. Agile Software Development, Principles, Patterns, and Practices, Reading, MA: Person Education, 2003
- Gamma E, Helm R, Johnson R, Vlissides J. Design Patterns: Elements of Reusable Object-Oriented Software. Reading, MA: Addison-Wesley, 1995
- Schmidt D C. Reactor: An Object Behavioral Pattern for Concurrent Event Demultiplexing and Event Handler Dispatching. in Pattern Languages of Program Design (J. O. Coplien and D. C. Schmidt, eds.), Reading, M. A: Addison-Wesley, 1995. 529~545
- Jain P, Schmidt D C. Service Configurator: A Pattern for Dynamic Configuration of Services. In: Proc. of the 3rd Conference on Object Oriented Technologies and Systems, USENIX, June 1997