
北京航空航天大学

第二十三届“冯如杯”

学生学术科技作品竞赛论文

2013 年 4 月

让触摸无处不在——触摸指环

摘要

触摸操作已经深入我们生活的方方面面，但无论是手机还是平板电脑，所有的触摸操作都是基于触摸屏而实现的，这限制了触摸操作的推广。本文设想了一种穿戴在指尖上的微小设备——触摸指环，它改变了传统的依赖于触摸屏的触摸操作，将手指变成了触摸的主体，让触摸操作不需要触摸屏也能实现。触摸指环安装了多种光学传感器并且运用了手势识别、纹理识别、光学字符识别等技术，扩展了触摸操作的范围，将触摸操作应用在周围任何物品上，同时实现了物联网的强大功能。操作者可以在任何平面上体验触摸操作的便捷，将任何平面都变成触摸屏。

关键字：非屏幕触摸操作 物联网 近场通讯技术 识别技术

Abstract

Touch operation is almost everywhere in our daily lives. But whether mobile or tablet PCs, all touch operations are based on the touch screen. This brings a huge limit to the touch operation. This paper assumed a small device worn in the finger-tip---Touch Ring, which has changed the traditional touch operation which is dependence on touch screen. With this device, we only need to instruct the finger rather than the touch screen. With a variety of optical sensor on it and gesture recognition, texture recognition, optical character recognition, touch ring extends the range of the touch operation. It also realized powerful functions of the Internet of Things. Using touch ring the operator can experience a touch operation anywhere conveniently and enable any surface to act as a touch screen.

Keywords : Non-screen touch operation, Internet of Things, Near-field communication technology, Recognition technology

目录

摘要.....	3
关键字.....	3
Abstract.....	3
Keywords.....	3
1.引言.....	5
1.1 创意来源及国内外研究现状.....	5
1.2 功能概述.....	5
1.3 系统组成.....	6
2.实现方案.....	7
2.1 光电传感器.....	7
2.2 距离传感器.....	8
2.3 微型高分辨率摄像头.....	9
2.4 NFC 芯片.....	9
2.5 软件算法介绍.....	11
2.5.1 纹理识别.....	11
2.5.2 光学字符识别.....	12
2.5.3 手势识别.....	13
2.5.4 数据库.....	14
3.发展前景及难点分析.....	14
3.1 发展前景.....	14
3.2 难点分析.....	14
4. 结束语.....	15
参考文献.....	15

1.引言

1.1 创意来源及国内外研究现状

近年来，触摸设备以惊人的速度进入了我们的生活，智能手机、平板电脑、自动售票机、ATM 机等等已经成为了我们生活必不可少的一部分。但是他们都有一个共同的局限性-----手指必须依赖触摸屏来进行触摸操作。但是触摸操作能否脱离触摸屏而实现呢？触摸操作能否扩展得更广呢？它能否融合现在的物联网技术从而和生活联系得更紧密呢？触摸指环便是根据这种思想创造的。它脱离了触摸屏，而将触摸设备安装到了手指上，甚至可以说带上它后，所有平面都是触摸屏。

目前的触摸屏可分为五个基本种类：矢量压力传感技术触摸屏、电阻技术触摸屏、电容技术触摸屏、红外线技术触摸屏、表面声波技术触摸屏。其中矢量压力传感技术触摸屏已退出历史舞台；红外线技术触摸屏价格低廉，但其外框易碎，容易产生光干扰，曲面情况下失真；电容技术触摸屏设计构思合理，但其图像失真问题很难得到根本解决；电阻技术触摸屏的定位准确，但其价格颇高，且怕刮易损；表面声波触摸屏虽然解决了以往触摸屏的一些缺陷，但是屏幕表面如果有水滴和尘土就会使触摸屏变的迟钝，甚至不工作。

正是因为目前触摸屏拥有种种缺陷，而且大型的触摸屏成本十分之高并且操作不便，制造这样一款指尖型的触摸控制器便显得十分必要。

此外物联网是新一代信息技术的主要部分，它能把任何物品都通过因特网连接起来。作为新一代的穿戴式操作工具，理应融合物联网的相关功能。

国内外并未发现类似将触摸功能转移到手指上的产品。如果能将本品与 Google 公司正在开发的高科技眼镜计算机（无触摸屏，主要靠语音识别操作）结合，将会给操作带来极大的便利和革新。因此开发触摸指环设备具有极大的使用价值和商业价值。

1.2 功能概述

触摸指环主要能实现三大功能。

它最基本的功能是，通过其上安装的光学传感器来识别手指的位置变化，并且通过蓝牙模块传输到设备上来实现基本的触摸操作。这可以将电视机、笔记本电脑等无触摸屏的设备变成触摸设备。甚至于使用滑动、捏合这样的手势都不用真正触摸到屏幕，而是可以在任何平面甚至空中实现这样的操作。这样不仅节约了制造大型触摸屏的成本，并且扩展了现有设备的功能。

它更强大的功能在于通过在指环上安装一个微型的高分辨率相机，并且借助纹理识别和文字识别技术识别出你正在触摸的表面（比如杂志、皮包）并且将获取的信息传输给便携设备，设备上便会弹出相应的操作界面和信息。这正是当今方兴未艾的物联网技术。

比如说你戴上触摸指环触摸在一本书上,便携设备识别出了它,弹出相应的事先设定好的程序,例如这本书的作者信息、价格、其他读者的评价、相关书籍推荐、作者的最新动态等等信息。又如你触摸自己的衣服上的 LOGO,它又识别出衣服的有关信息,在设备上便又能显示出各种商店的售价、洗涤说明、尺码、购买了相同衣服的消费者的评价、受欢迎程度、其他相关的衣服图片等等关于这件衣服的各种信息。

更酷的是当你把手机放在皮包里时,你可以在皮包表面进行相关操作来控制手机。比如开会或者手机响了,你只需点一下皮包表面便可挂断;想听歌了,只需在皮包表面进行设定好的操作(例如双击),它便开始播放音乐。通过软件的完善,类似的功能可以在很多平面上实现。它可以打破虚拟和现实之间的界限,实现优秀的物联网功能。当然作为一个安装了高分辨率相机的设备,他还可以拥有二维码识别、高清拍照摄像等功能。

触摸指环上还安装了 NFC 芯片,它可以识别生活中越来越多的 NFC 标签,来实现门禁、支付、快速文件传输、浏览海报广告、公共信息交流等功能。通过 NFC 芯片可以实现强大的便利的电子生活功能。

总之触摸指环脱离了小小的触摸屏的束缚,打破了虚拟和现实间的界限,带来全新的操作感受。

1.3 系统组成

触摸指环主要由四部分构成:感应系统、通信系统和软件。

感应系统作为触摸指环的中心系统,主要由一个光电传感器、一个距离传感器、一个微型高清摄像头和 NFC 芯片组成。光电传感器类似于光电鼠标里安装的传感器,用于感受手指在平面上的位置变化;距离传感器用于感受与平面间的距离,它用于检测高度方向的手势和检测微小纹理的高度差距;微型高清摄像头用于获取图像,然后交给蓝牙模块传输给主机,用于纹理识别和文字识别;NFC 芯片用于实现物联网和信息传递功能。

通信系统主要由蓝牙模块负责,用于与主机(例如手机、平板、笔记本等)间配对并进行通讯。指环内电池采用微型可充电的纽扣电池,实际应用中应在不影响便携性的情况下选择大容量电池。

软件模块用于驱动设备接受图像信息并且进行处理。主要需要使用纹理识别、文字识别、手势识别等技术,所使用的具体方法在下文有详细叙述。信息识别完成后,软件还将在数据库里比对以调取相关程序和信息。

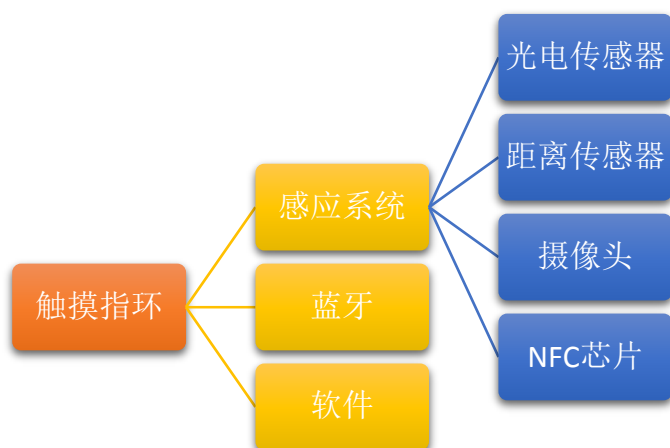


图1 触摸指环系统结构

2.实现方案

2.1 光电传感器

触摸指环内安装了类似于光电鼠标中的光电传感器以用于检测位置变化，原理也和光电鼠标类似。为了达到好的识别效果，光电传感器的 CPI(成像清晰度)和 fps (Frames Per Second, 每秒传输帧数)必须足够高。

光电传感器的内部有一个发光二极管，通过它发出的光线，可以照亮指环底部。此后，指环经底部表面反射回的一部分光线，通过一组光学透镜后，传输到一个光感应器件(微成像器)内成像。这样，当触摸指环移动时，其移动轨迹便会被记录为一组高速拍摄的连贯图像，被触摸指环内部的一块专用图像分析芯片(DSP, 即数字微处理器)分析处理。该芯片通过对这些图像上特征点位置的变化进行分析，来判断指环的移动方向和移动距离，从而完成光标的定位。

经过查询后光电传感器可以使用 Arduino，它的程序接收的(X,Y)坐标分辨率为 400 cpi 和 15fps。此传感器主要由四部分的核心组件构成，分别是发光二极管、透镜组件、光学引擎(Optical Engine)以及控制芯片组成。触摸指环通过底部的 LED 灯，灯光以 30 度角射向桌面，照射出粗糙的表面所产生的阴影，然后再通过平面的折射透过另外一块透镜反馈到传感器上。当指环移动的时候，成像传感器录得连续的图案，然后通过“数字信号处理器”对每张图片的前后对比分析处理，以判断指环移动的方向以及位移，从而得出指环 x, y 方向的移动数值。再通过 SPI 传给指环的微型控制单元(Micro Controller Unit)。指环的处理器对这些数值处理之后，再传给计算机。

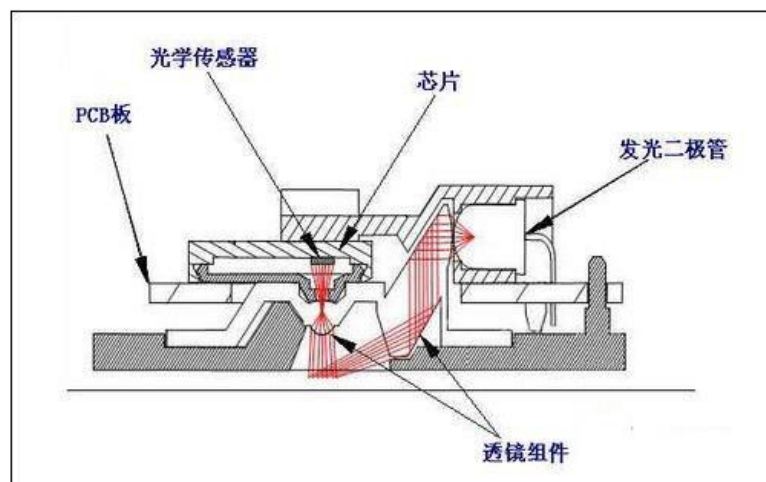


图2 光学跟踪引擎部分横界面示意图

2.2 距离传感器

触摸指环上安装的距离传感器有两个功能，检测高度方向的手指位置变化和检测微小纹理的高度差距。它类似于现在安装在智能手机上用于防止脸触摸误操作的距离传感器，但对精度的要求要更高。

整个指环上安装了三个传感器，一个在指环上方（图三 a），用于用来检测与手指上方物品的距离；一个在指尖（图三 b），用于检测物品与手指前方的距离；还有一个在指尖下方（图三 c），用于检测与手指下方平面位置和检测微小纹理。通过这三个距离传感器并且配合光电传感器可以准确地在空间确定手指的位置。

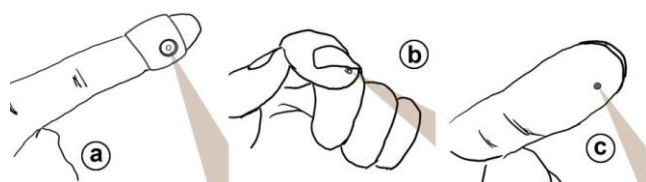


图3 距离感应器示意图

距离传感器的原理是将光源发出的光通过透镜进行聚光，并照射到物体上。物体发出的反射光通过受光透镜集中到一维的位置检测元件 PSD 上。如果物体的位置（距离测定器的距离）发生变化，PSD 上成像位置将不同；如果 PSD 的两个输出平衡发生变化，PSD 上的成像位置将不同，PSD 的两个输出平衡会再次发生变化。

如果将这两个输出作为 A、B，计算 $\frac{A}{A+B}$ ，并加上适当的拉线系数 k' 和残留误差‘C’，可求得公式如下：

$$\text{偏移量} = \frac{A}{A+B} + k + C$$

测得的值不是照度（亮度），而是 A、B 两个输出的位移量，因此即使与测

定对象物之间的距离发生变化，受光光量发生变化也不会受影响，可以得到距离的差、位置的偏移成比例的线性输出。

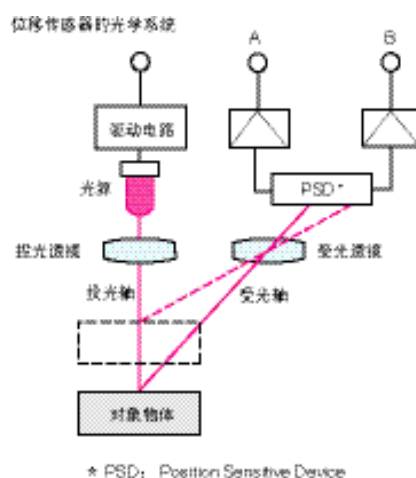


图 4 距离传感器原理示意图

2.3 微型高分辨率摄像头

通过在指环上安装一个微型的彩色高分辨率摄像头来获取图像信息。它的分辨率需要足够高，除了用于完成平常的照片拍摄功能外，还需要获取含有文字和纹理的高清图片。通过在计算机中转化为黑白图像，可以使计算机更好的识别不同的纹理，纹理识别的算法在 2.5.1 中详细说明。

另外为了让触摸指环在黑暗的环境下也能很好的工作，还需要在指环上安装一个 LED 灯作为光源。

2.4 NFC 芯片

NFC 英文全称 Near Field Communication，近距离无线通信。是由飞利浦公司发起，由诺基亚、索尼等著名厂商联合主推的一项无线技术。只要将带有 NFC 芯片的设备靠近，二者就能实现数据交换。

通过 NFC 可以实现接触支付（钱包优惠券会员卡）、接触通过（门禁、车票、门票）、接触连接（设备传输文件）、接触浏览（靠近带有 NFC 芯片的广告、海报来获取信息）等等电子生活功能。

触摸指环通过融入微小的 NFC 芯片来实现极为便利的 NFC 相关功能。

NFC 的原理是使用一种近场耦合天线，由于 13.56Mhz 波长很长，且读写距离很短，合适的耦合方式是磁场耦合，线圈是合适的耦合方式。

支持 NFC 的设备可以在主动或被动模式下交换数据。在被动模式下，启动 NFC 通信的设备，也称为 NFC 发起设备(主设备)，在整个通信过程中提供射频场(RF-field)，如图 5 所示。它可以选择 106kbps、212kbps 或 424kbps 其中一种传输速度，将数据发送到另一台设备。另一台设备称为 NFC 目标设备(从设

备), 不必产生射频场, 而使用负载调制(load modulation)技术, 即可以相同的速度将数据传回发起设备。此通信机制与基于 ISO14443A、MIFARE 和 FeliCa 的非接触式智能卡兼容, 因此, NFC 发起设备在被动模式下, 可以用相同的连接和初始化过程检测非接触式智能卡或 NFC 目标设备, 并与之建立联系。

在主动模式下, 每台设备要向另一台设备发送数据时, 都必须产生自己的射频场。如图 5 所示, 发起设备和目标设备都要产生自己的射频场, 以便进行通信。这是对等网络通信的标准模式, 可以获得非常快速的连接设置。

如图 6 所示, 移动设备主要以被动模式操作, 可以大幅降低功耗, 并延长电池寿命。在一个应用会话过程中, NFC 设备可以在发起设备和目标设备之间切换自己的角色。利用这项功能, 电池电量较低的设备可以要求以被动模式充当目标设备, 而不是发起设备。

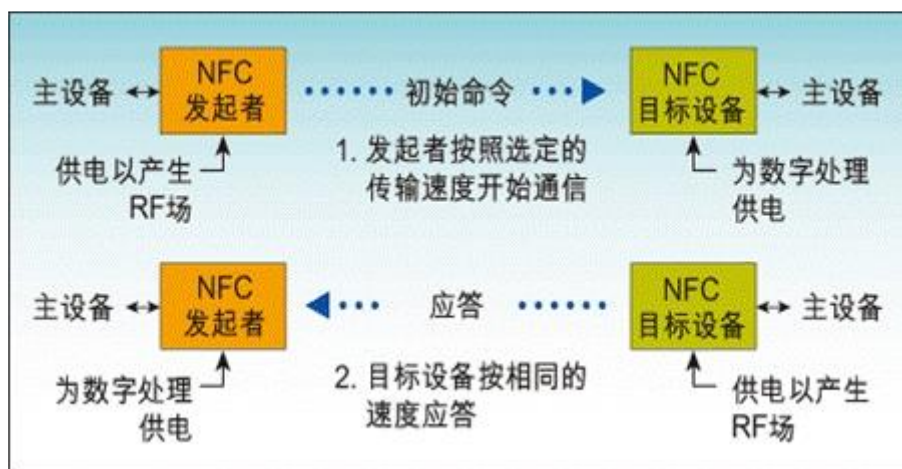


图 5 NFC 主动通信模式

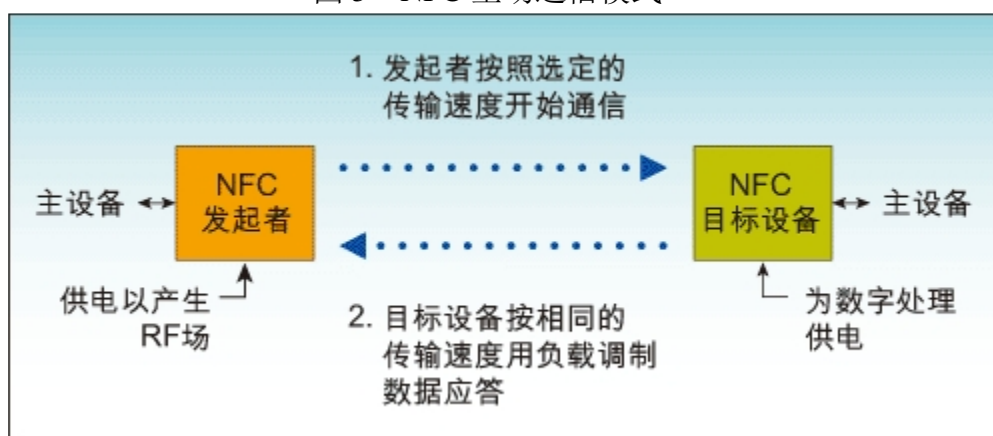


图 6 NFC 被动通信模式。

NFC 有三种模式可以切换。

卡模式 (Card emulation): 这个模式其实就是相当于一张采用 RFID 技术的 IC 卡。可以替代现在大量的 IC 卡 (包括信用卡) 场合商场刷卡、公交卡、门禁管制, 车票, 门票等等。此种方式下, 有一个极大的优点, 那就是卡片通过非接触读卡器的 RF 域来供电, 即便是触摸指环没电也可以工作。

点对点模式 (P2P mode): 这个模式和红外线差不多, 可用于数据交换, 只是传输距离较短, 传输创建速度较快, 传输速度也快些, 功耗低。将两个具备 NFC 功能的设备链接, 能实现数据点对点传输, 如下载音乐、交换图片或者同步设备

地址簿。因此通过 NFC，多个设备如数位相机、PDA、计算机和手机之间都可以交换资料或者服务。

读写模式(Reader/writer mode): 作为非接触读写器使用，比如从海报或者展览信息电子标签上读取相关信息。

在 NFC 热点的支持下，NFC 芯片完全可以取代我们目前的银行卡、公交卡、会员卡、校园一卡通、火车票、机票甚至身份证、充电器和钥匙。目前 NFC 技术正在飞速的发展，诸多智能手机如 Lumia 920，Google nexus 4 等等都配备了 NFC 芯片。NFC 热点也在快速地增加。到那时只需轻轻用触摸指环靠近热点，便可以完成现在需要大量卡片才能完成的事，这将大大方便我们的生活，解放我们臃肿的钱包，提高生活工作的效率。

2.5 软件算法介绍

触摸指环的软件部分安装在与触摸指环配对的设备上，用于对接收到的图像进行识别和调取相关程序或信息



图 7 软件实现流程

2.5.1 纹理识别

完成图像采集后由软件进行纹理识别。

我设想用一个类似于 C 语言中的结构体数据类型来作为一种纹理的“特征向量”。要识别一种材质，可以通过它的数十种微观特征，包括边缘、线条、斑点、周期性、排列方式、轴对称性、中心对称性、粗糙程度、最高处与最低处之差、阴影块面积等。但不包括纹理方向，因为需要保证手指不论从哪个方向触摸都能获取材质的相关信息。也就是说这些特征必须要有“取向不变性”或者“各向同性”。这些特征也不能包括详细的颜色特征，不仅因为某些材质随着使用会逐渐褪色，而且在不同的灯光条件或者用不同的光圈、快门和 ISO 感光度获得的颜色会有较大差异。不如干脆将获得的纹理图像转为黑白，这样不仅有利于提高识别率而且有利于压缩图像。

特征量及其存放的数据类型如下表。

特征量	数据类型	含义
斑点	布尔型	值为是为含斑点纹理、值为非为不含斑点纹理
线条	布尔型	值为是为含线条纹理、值为非为不含线条纹理
周期性	布尔型	值为是为有周期纹理、值为非为无周期纹理
轴对称性	布尔型	值为是为能找到一条的对称轴纹理、值为非为不能找到一条对称轴纹理

接上表		
中心对称性	布尔型	值为是为能找到一个的对称中心纹理、值为非为不能找到一个对称中心纹理
边缘平滑度	浮点型	直线的边缘平滑度为 100%，其他纹理通过微积分计算其边缘弧长后，将对应直线长度和曲线弧长之比作为边缘平滑度
最高处与最低处之差	浮点型	通过高灵敏度距离传感器测量的凹凸平面最高点和最低点距离之差
阴影部分面积率	浮点型	在正投影并且打开 LED 灯（保证亮度相同）情况下阴影部分面积占总扫描材料面积比
线条距离差	浮点型	以该正方形图像左下角为原点建立平面直角坐标系，将边长设为单位长度 1。将线条 $f(x)$ 、 $g(x)$ 做 Fourier 展开,计算 $\int_0^1 [f(x) - g(x)]dx$ 得到此浮点型数据。

表 1 特征量及其存放的数据类型和含义

注意其中的阴影部分面积率仅在测量其他特征量还无法确认材料类型时才做出提醒让用户获得正投影。通过计算获得唯一的数组之后与数据库中资料进行对比来实现材质识别。

这种识别方式和二维码的识别方式有异曲同工之妙，但二维码有三个用于定位的点和固定的矩阵位置形状并且不识别高度方向的数据，可以说这种识别方式是二维码识别方式的功能加强版。该算法经过加强并且增加特征量后理论上能够识别一切纹理。

使用这种识别方式还应该将视野限制成矩形（为了方便定位和计算面积），并且理论上视野面积越大识别越精确，但是离表面太远又会影响图像的分辨率。应该根据识别时的实际情况提示用户的操作。

此法对于天然材质和大部分人工材质十分有效，但目前对于部分十分光滑的无纹理的人工材质如玻璃和塑料效果可能并不如人意。解决的方法是制造分辨率更高的相机和更灵敏的距离感应器来识别光滑材质上的微观纹理。

2.5.2 光学字符识别

当摄像头采集到图像信息之后，软件会使用 OCR 技术来识别图像里的文字。OCR（Optical Character Recognition，光学字符识别）是指电子设备（例如扫描仪或数码相机）检查纸上打印的字符，通过检测暗、亮的模式确定其形状，然后用字符识别方法将形状翻译成计算机文字的过程；即对文本资料进行扫描，然后对图像文件进行分析处理，获取文字及版面信息的过程。

一个 OCR 识别系统，其目的很简单，只是要把影像作一个转换，使影像内的图形继续保存、有表格则表格内资料及影像内的文字，一律变成计算机文字，识别出的文字可再使用及分析。

从影像到结果输出，须经过影像输入、影像前处理、文字特征抽取、比对识

别、输出等阶段。

影像输入：经过触摸指环上摄像头获取的图像信息输入到计算机中。

影像前处理：影像前处理是 OCR 系统中，须解决问题最多的一个模块，从得到一个不是黑就是白的二值化影像，或灰阶、彩色的影像，到独立出一个个的文字影像的过程，都属于影像前处理。包含了影像正规化、去除噪声、影像矫正等的影像处理，及图文分析、文字行与字分离的文件前处理。在影像处理方面，在学理及技术方面都已达成成熟阶段，因此在市面上或网站上有不少可用的链接库；影像须先将图片、表格及文字区域分离出来，甚至可将文章的编排方向、文章的提纲及内容主体区分开，而文字的大小及文字的字体亦可如原始文件一样的判断出来。

文字特征抽取：单以识别率而言，特征抽取可说是 OCR 的核心，用什么特征、怎么抽取，直接影响识别的好坏，也所以在 OCR 研究初期，特征抽取的研究报告特别的多。而特征可说是识别的筹码，简易的区分可分为两类：一为统计的特征，如文字区域内的黑/白点数比，当文字区分成好几个区域时，这一个个区域黑/白点数比之联合，就成了空间的一个数值向量，在比对时，基本的数学理论就足以应付了。而另一类特征为结构的特征，如文字影像细线化后，取得字的笔划端点、交叉点之数量及位置，或以笔划段为特征，配合特殊的比对方法，进行比对，市面上的线上手写输入软件的识别方法多以此种结构的方法为主。

对比数据库：当输入文字算完特征后，不管是用统计或结构的特征，都须有一比对数据库或特征数据库来进行比对，数据库的内容应包含所有欲识别的字集文字，根据与输入文字一样的特征抽取方法所得的特征群组。

对比识别：这是可充分发挥数学运算理论的一个模块，根据不同的特征特性，选用不同的数学距离函数，较有名的比对方法有，欧式空间的比对方法、松弛比对法（Relaxation）、动态程序比对法（Dynamic Programming, DP），以及类神经网络的数据库建立及比对、HMM（Hidden Markov Model）等著名的方法，为了使识别的结果更稳定，也有所谓的专家系统（Experts System）被提出，利用各种特征比对方法的相异互补性，使识别出的结果，其信心度特别的高。

字词后处理：由于 OCR 的识别率并无法达到百分之百，或想加强比对的正确性及信心值，一些除错或甚至帮忙更正的功能，也成为 OCR 系统中必要的一个模块。字词后处理就是一例，利用比对后的识别文字与其可能的相似候选字群中，根据前后的识别文字找出最合乎逻辑的词，做更正的功能。

字词数据库：为字词后处理所建立的词库。

结果输出：经过 OCR 识别出的字符，将输出给该触摸指环软件用于下一步在数据库里比对以调取相关程序和信息。

2.5.3 手势识别

手势识别是为了通过检测戴上触摸指环在不同表面上的手势来实现例如演示幻灯片，控制音乐播放器，接听电话的功能。

手势识别的算法并不复杂，因为已经有光电传感器检测手指在 X、Y 方向的移动和距离传感器检测手指在 X、Y、Z 轴方向的坐标。通过传感器测量的值在

数字坐标系中计算手指的位置变化,就能知道用户手指的运动轨迹。接下来只需定义不同手势所引发的不同动作,比如旋转两下手指播放歌曲、拇指和食指贴合就关闭音乐等等大量类似的功能。

2.5.4 数据库

这里的数据库主要包括两部分:纹理数据库和物联网应用数据库。

纹理数据库用于摄像头获取图像之后的比对。此数据库除了事先采集外,可以使用学习算法,当用户第一次侦测到某种表面但无法识别或者识别错误后,用户可以自己输入这种表面的有关信息,并且上传到互联网端的数据库里,久而久之经过这种学习之后的数据库可以变得非常庞大,理论上可以涵盖生活中的一切。

物联网数据库方面可以让其他 APP 完成。除了软件自带、用户设置外主要通过吸引厂商合作,让厂商来开发有关智能指环的功能,来提供更加优质的用户体验。例如淘宝网、京东、当当、凡客等电商;维基百科、百度、谷歌等已经拥有海量数据的公司;我查查、大众点评、时光电影等生活网站。这也体现触摸指环具有巨大的商业潜力。

3.发展前景及难点分析

3.1 发展前景

触摸操作的使用是未来生活的主流方向,在诸多关于对未来生活畅想的文章和视频中都提到了触摸应该无处不在。康宁公司表示如果工作顺利的话,触摸操作最终将会出现在例如衣橱门、餐桌以及其他表面上。而触摸指环改变了传统的必须依赖触摸屏的触摸操作,将触摸的主体转移到了手指上。这不仅降低了触摸屏的制造成本,也带来了新的虚拟触摸操作方式。如果与未来出现的新型电子设备尤其是不配备触摸屏的新型设备如谷歌公司正在研发的眼镜电脑 Google glasses 配合使用,将能得到极为优秀的操作体验。

物联网也正在加速进入我们的生活,思科预计未来 10 年,物联网将带来一个价值 14.4 万亿美元的巨大市场。触摸指环具有良好的物联网性能,除了对已有的二维码和电子支付、门禁等 NFC 功能的支持外,还能识别日常生活中的物品,这将给生活带来极大的方便。因此触摸指环无疑在生活、生产中都有巨大应用潜力和商业价值。

3.2 难点分析

实现本创意的主要难点在于对设备的微型化和算法的识别率两个方面。

虽然触摸指环所含的模块并不多,但是如何将它们完好的整合到一个指环大小的设备上并且还要同时兼顾美观和实用性确实是个问题。因为微型摄像头、距

离传感器、蓝牙、NFC 芯片在智能手机上已经广泛应用，我设想的思路是从智能手机出发逐步地融合、微型化这些模块，逐步地达到实用要求。

对于本文中的软件算法，我在查找资料后发现光学字符识别(OCR)的识别率目前已经较高而且应用也相对广泛，而纹理识别和手势识别尚未发现实用的例子，算法还需要进行实验的论证和逐步优化。但是本文中提供的思路不失为一种解决方案。

4.结束语

我所设想的触摸指环还只是处于一个较为理论的阶段，它的实现也都是建立在很多深入理论的基础上，实现的难度也并不小。但里面运用到的技术和科学思想方法还是有着可行性和发展空间的。

在撰写论文的过程中，让我收获的不仅仅是对相关的前沿科技领域知识的了解，更多的是培养了我通过查阅资料来解决问题的一系列学习技能。这将是使我受益终身的。

限于专业知识的不足，论文或许缺乏说服力，有些设想的实现也许有更好的方法，敬请专家及读者给予指正。

[参考文献]

- [1] 王高升 . USB 光电鼠标的工作原理[J].电子爱好者.2008（2） .
- [2] 胡歌. 距离传感器原理及应用[J]. 电子爱好者.2012（9） .
- [3] Ortiz, C. Enrique. An Introduction to Near-Field Communication and the Contactless Communication API [N]. *Oracle*.2006-06-27.
- [4] 张皓. OCR 文字识别与图文库检索技术初探[J]. 大学图书情报学刊. 2003(8).
- [5] 岳晓峰,焦圣喜,韩立强,李洪洲.模式识别中的光字符识别技术及应用综述[J]. 河北工业科技报.2006（2） .
- [6] 李沌风 . 手机支付的两种方式——NFC 与 RFID[J]. 射频世界. 2010(7).
- [7] 杨杰, Al-Rawi Mohammed,叶晨洲. 一种彩色图像的二维纹理识别方法[N]. 上海交通大学学报.2003-7-28.