

## 智能家居中物理实体搜索系统<sup>\*</sup>

耿会东<sup>+</sup>, 於志文, 张欣欣, 夏云云, 王海鹏

(西北工业大学 计算机学院, 陕西 西安 710072)

### Physical Object Searching System in Smart Home

GENG Hui-Dong<sup>+</sup>, YU Zhi-Wen, ZHANG Xin-Xin, XIA Yun-Yun, WANG Hai-Peng

(School of Computer Science, Northwestern Polytechnical University, Xi'an 710072, China)

+ Corresponding author: E-mail: genghuidong@163.com

**Geng HD, Yu ZW, Zhang XX, Xia YY, Wang HP. Physical object searching system in smart home. *Journal of Software*, 2011, 22(Suppl. (2)): 96-104. <http://www.jos.org.cn/1000-9825/11030.htm>**

**Abstract:** As people grow older, their memory will continue to decline. They often can not find some items in their daily lives. This paper presents an object searching system in smart home. Similar to the Web search engines, it can return some relevant information about the searched object for the user. The system uses UWB devices for indoor object localization. It obtains the user's current context information by using various sensors in smart home. Thus, with the user's original search input, the system can infer the user's real search intention, and then offer intelligent search services.

**Key words:** smart home; object searching; UWB; context information; search intention

**摘要:** 随着老年人年龄的不断增长,其记忆力也会不断地下降,找不到物品的现象时而发生.提出一个用于智能家居中搜索物品的系统,类似于 Web 搜索引擎,能够为用户返回所搜索物品的相关信息.系统采用 UWB 设备进行物品定位,利用智能家居中的各种感知设备获取用户当前情境信息,结合用户的搜索输入,获取用户的搜索意图,进而为其提供智能搜索服务.

**关键词:** 智能家居;物品搜索;UWB;情境信息;搜索意图

Google、Yahoo、Baidu 等 Web 搜索引擎的出现,使得从互联网海量信息中快速搜索并获取满足用户个性需求的信息成为现实.然而,目前通过 Web 搜索引擎只能搜索虚拟信息空间的信息,而不能有效搜索物理世界并获取所需信息.在现实生活中,人们常常会遇到需要某件物品,却到处都找不到的情况,特别是对于老年人.由于老年人记忆力衰退,更容易忘记物品摆放的位置,因此有必要为用户设计一个面向物理实体的搜索系统.

近年来,嵌入式计算、无线传感网络、移动计算等快速发展,集成感知、计算和通信等能力的系统被广泛部署,感知、存储、计算和通信能力浸入到人类的生活环境,物理世界逐渐进化为一个智能空间<sup>[1]</sup>,使得面向物理世界的实物搜索成为可能.

虽然现在 Web 搜索引擎已经发展得较为成熟,但是,由于面向物理实体搜索的支撑技术,如嵌入式设备和无线通信,与传统 Web 信息搜索不同;物理实体相关的信息与 Web 网页不同,表现在元数据、信息动态性等方面;

\* 基金项目: 国家自然科学基金(60803044, 60903125, 61103063); 国家重点基础研究发展计划(973)(2012CB316400); 新世纪优秀人才支持计划(NCET-09-0079); 陕西省科学技术研究发展计划(2011KJXX38); 陕西省自然科学基金研究计划(2010JM8033)

收稿时间: 2011-07-20; 定稿时间: 2011-12-01

用户与物理实体的交互和其与 Web 信息空间的交互行为也存在着很大的不同,因此目前针对 Web 信息空间的搜索算法并不适合物理实体的搜索.如何实现面向物理实体的搜索这一理念还面临着许多挑战,首要的问题是如何从物理世界中存在的海量、复杂、动态、异构信息源中搜索并获得与目标物理实体相关的实时信息.

本文第 1 节介绍目前面向物理世界的实物搜索的研究与进展.第 2 节给出系统的架构,并介绍了用户使用本系统进行一次搜索的整个流程.第 3~第 5 节介绍了系统的几个模块——情境感知、请求分发与转发及搜索结果呈现.第 6 节给出原型系统的设计和实现.第 7 节进行总结,并指出系统的不足及进一步的工作.

## 1 相关研究及进展

普适计算<sup>[2]</sup>已经成为学术界和产业界的研究热点,针对物理世界的信息查找在过去几年间也受到广泛关注,但是迄今还缺乏深入的研究.

MAX<sup>[3,4]</sup>系统提出面向物理世界且以人为中心的搜索理念,强调的目标是:以人为中心、隐私保护、被标识物理实体的有效搜索.此系统是利用无源 RFID 来对物品进行识别的,由于无源 RFID 标签的识别距离十分有限,因此为了读取 RFID 标签需要部署大量的分站,分站将读取到的 RFID 信息再传输到主站,大量分站的部署将会大大提高成本,另外分站部署位置的不当还会导致无法读取标签信息的后果.OCH<sup>[5]</sup>系统是通过手机来监测和定位日常用品的一个系统.使用此系统能够搜寻那些找不到了的物品,为了实现这一功能,需要在物品上贴上带有自身信息的蓝牙模块标签,使用具有蓝牙功能的手机就能够发现这些物品并显示其位置信息.由于蓝牙的识别距离也是有一定的限制的,与 MAX 系统类似,在日常生活环境中也需要部署多个蓝牙传感器.

从上述系统可以看出,目前主要通过物理实体上嵌入传感器、RFID 标签等设备,并在物理空间部署相应的采集节点,构成无线网络,来实现物理实体信息的获取.然而,无论是传感器或是 RFID 标签只有内置电源方可正常工作,所以隔一定时间便需更换电源,这对于物理世界中的海量实体是不实际的;虽然有被动式 RFID 标签不需内置电源,但是工作距离却非常有限,大范围应用时需要部署大量采集节点,造成部署困难的同时成本也大大增加.所以,研发低成本、低功耗、远距离的信息感知设备以实现物理实体信息的有效获取是实现面向物理实体的智能搜索的重要基础.另外,物理世界中实体的高度动态性致使其相关情境信息容易失效,造成搜索结果可靠性下降,特别是对于高度时间敏感的信息和服务需求.为此,研究易变情境信息的实时获取机制是保障搜索结果可靠性的必然需求.

目前针对物理实体的搜索系统,除了上述 MAX、OCH 外,还有 USF<sup>[6]</sup>、Snoogle<sup>[7,8]</sup>等,但它们大多数是追求搜索的效率,很少结合当前的情境及搜索日志<sup>[9]</sup>来获取用户真实的搜索意图.本文设计了一个情境感知的实物搜索系统,此系统利用 UWB(Ultra Wideband,超宽带)设备及其它传感器获取当前的情境信息,通过搜索请求的分发与转发来提高搜索的效率.另外,系统根据当前的情境信息、用户的搜索日志及用户的输入,能够获取用户的真实搜索意图,进而为其提供更满意的搜索服务.

## 2 系统架构

系统架构如图 1 所示,分为 3 层:人机交互层、服务节点层和汇聚节点层.人机交互层主要获取用户的搜索请求及为其呈现搜索结果,本系统的人机交互是以网页的形式展示的,因此用户可以通过任何智能终端设备(智能手机、PDA、电脑等)进行物品的搜索.服务节点层包括情境感知、请求分发及结果排序 3 个模块,情境感知是通过部署在家庭中的各种传感器获取当前的情境信息,通过情境分析来决定搜索请求的分发方向.汇聚节点层主要进行查询的匹配及请求的转发,在每个汇聚节点中都存有一个数据库,用来记录物品信息及用户的搜索日志,感知节点在这里指那些用来感知位置的传感器,当物品的位置发生变化时就会用新的位置信息来更新数据库,汇聚节点通过数据库的查询匹配来获知其范围内是否存在所要查询的物品,若不存在则将请求转发给其它的汇聚节点.

用户进行物品搜索的流程是:首先通过终端设备打开网页并输入要查找的物品,通过 HTTP 协议将用户输入的请求传到服务节点上,然后服务节点通过情境感知将请求分发到合适的汇聚节点上,汇聚节点在其作用范

围内进行搜索,若找到合适的物品则将搜索结果返回给服务节点,否则根据一定的转发策略将请求转发到其它的汇聚节点进行搜索,最后服务节点根据返回的物品信息按照一定的排序算法对物品进行排序,并呈现给用户.

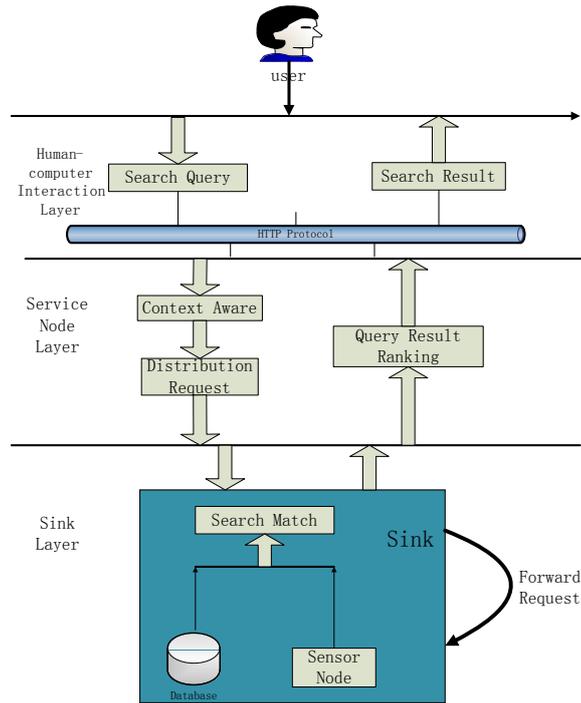


Fig.1 System architecture

图 1 系统架构

### 3 情境感知

用户每次进行搜索都是有一定的“原因”的,即在某个特定的上下文环境中产生的,因此其搜索意图与当前情境有很大的关系.比如用户打开了电视,然后发出遥控器的搜索请求,这时用户要寻找的很可能就是电视遥控器,而非空调等的遥控器.

情境感知搜索首先要做的就是进行场景的识别,因为每个场景下都有其特定的一些属性,比如在看电视的场景下,由于用户不想错过剧情,因此就会查找那些距离自己最近的那些物品.另外就是针对每种场景,都会有其相关的一些物品,比如现在的场景是做饭,那么相关的物品可能就是做饭的食材或者食谱之类的,而不大可能是伞、钱包和篮球之类的物品.

#### 3.1 场景识别

本系统是在智能家庭内部进行的物品搜索,并且场景只是完成搜索的一个辅助手段,因此我们只针对一般家庭中常见的几种场景进行识别讨论.

我们要识别的场景有:做饭、吃饭、睡觉、看电视、读书、洗澡等.为了识别场景,我们为每个场景都预先设置了一些规则,见表 1.其中,人的位置通过 **UWB** 定位得到,实验室所用的各种电器均为智能设备,其运行状态均容易获取,另外利用压力传感器可判断人在床上躺着或是在椅子上坐着.

Table 1 Activity rules

表 1 活动规则

Activity	Rules
Cooking	The man is in the kitchen & dinner time & the electric cooker is on
Dining	The man sits at the dinning table & dinner time
Sleeping	The man lies in bed & sleep time
Watching TV	The man sits on the couch in the living room & the TV is on
Reading	The man sits in the chair beside the secretaire in the study room
Bathing	The man is in the bathroom & the shower is on

### 3.2 场景对应的一些特征

不同的场景有着不同的相关物品,而每种物品通常情况下会在特定的位置范围内,针对上述几种常见的场景,下面给出各种场景对应的相关物品及这些物品通常情况下所处的汇聚节点,如图 2 所示.

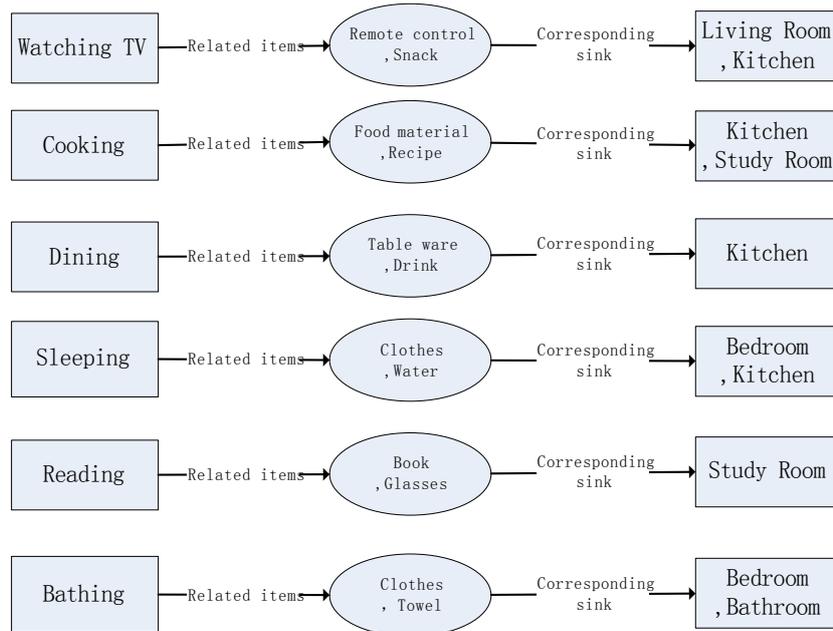


Fig.2 The relations between scenarios and sinks

图 2 场景与汇聚节点之间的联系

在用户输入查找之前,系统已经能够根据当前的活动猜测出用户要输入物品的大致范围,因此,当用户使用系统发出搜索请求时,系统根据分析出的物品范围将请求分发给一定的汇聚节点分别进行查找,以此提高物品搜索的效率及精度.

### 4 请求分发与转发

由于智能家居中的物品可能会很多,另外考虑到系统的扩展问题,所以在查找物品时不可能每次都对每个传感器进行一个遍历,因此搜索请求的分发与转发就显得非常重要了.

在一个智能家居中,每一个房间作为一个汇聚节点,管理着房间内的所有物体.服务节点接收用户的搜索请求,然后通过一定的分发策略将请求分发给相应的汇聚节点,汇聚节点在其范围内进行查询,查询到则将结果返回,用于向用户显示,否则进行搜索请求的转发,通过对历史记录等信息的分析,得到物品的一个可能的去向,并将请求转发给对应的汇聚节点,然后在这些汇聚节点内进行下一轮的搜索.

当然,上述办法存在着找不到物品的可能.如果出现了这种情况,系统将在剩余的汇聚节点中进行一次新的搜索,同时考虑不能让用户等待太长时间,系统预先设置了一个时间  $t$ ,当超过了时间  $t$  还没有找到所需要的物品

时,系统就会提示用户“该物品可能在某个不常去的隐蔽的角落或者家里暂时不存在这个物品”。

请求分发是要将请求分发给那些最有可能包含目标物品的汇聚节点,因此要制定一些分发策略.本系统使用的分发策略主要有以下几种:

(1) 根据当前所处的场景来判断所要查找的物品最有可能位于哪个汇聚节点内.

(2) 如果根据预先定义的规则无法推测出当前所处的场景,那么策略(1)将无法使用,此时通过分析历史搜索记录,计算出那些最常使用的汇聚节点作为分发的目标节点.

如果获得请求分发的汇聚节点内没有找到相关物品,就必须将搜索请求进行转发.本系统主要采用了以下转发机制:

(1) 首先在获得请求分发的那些汇聚节点的数据库中查询其历史中是否出现过所要搜索的物品,如果出现过,那么历史记录中一定保存着该物品的去向,因此将该物品前往的那个汇聚节点加入转发节点列表中.如果未出现过,则将采用机制(2).

(2) 将用户最近待的时间最长及最近最常去的几个地方作为转发的汇聚节点.

要寻找物品,首先要能够准确的对物品进行定位.本系统是采用 UWB 设备进行定位的,UWB 技术是一种无线载波通信技术,利用 UWB 技术所开发的传感器具有体积小、安装和携带方便的特点.实验室所采用的 UWB 标签在静止时并不向外部发送数据,标签只能以主动模式工作,即 UWB 标签位置变化后会主动告诉 UWB 传感器,然后将变化后的位置存到数据库中.因此汇聚节点在搜索物品时只需要在对应的数据库中查找即可.

## 5 搜索结果呈现

在为用户呈现搜索结果之前我们需要做的就是将结果按用户的满意度进行排序.就像 Internet 的搜索引擎一样,搜索返回的结果往往不是唯一的,通常会有很长的结果列表,用户不可能逐一地去查看,因此排序在前面的几个结果就相当关键了.

要为搜索得到的物品进行排序,就要获得物品在本次搜索中占的权值.用户要搜索的物品与当前场景有很大的关联,而在历史搜索记录中也很有可能存在相同的场景并且搜索相同的物品,即使不存在这样的情况,我们也可以通过分析搜索记录来发现用户对物品的偏爱,以此来设置物品的权值.另外,通过分析用户的搜索日志我们也可以发现物品与物品之间的联系,比如某些物品经常在一起协同使用等.因此,需要对用户的搜索日志进行分析.

### 5.1 用户的搜索日志分析

(1) 结合历史场景分析物品的相关度

通过分发与转发,在获取搜索请求的汇聚节点中进行物品搜索的工作,通过搜索能够发现许多匹配请求的物品,由于在数据库中存放着过去在各种场景下物品使用的次数,结合当前场景,就可以得到每个物品的相关度了.

具体来讲,首先根据请求信息在汇聚节点内进行搜索匹配,然后在数据库中查找获得匹配的物品在各个场景中的使用次数,最后计算此物品在当前场景使用次数占总次数比重,这就是物品的相关度了.例如,当前场景是用餐场景,用户输入的是“杯子”,在汇聚节点内得到的匹配物品中包括“酒杯”这一物品,这时查找数据库中“酒杯”对应的场景信息,发现在过去的搜索记录中,用餐场景使用了 18 次,其它场景用了 2 次,因此“酒杯”的相关度就为  $\frac{18}{18+2} \times 100\%$ , 即 90%.

(2) 获取用户对物品的偏好信息

结合“历史场景”与“历史用户的搜索意图”固然较好,然而,根据本系统定义的那几种简单的场景可能会出现无法获取当前所处的场景的情况,这时就无法利用历史场景来获取物品的相关度了.针对这种情况,我们提出了一种根据用户对物品的偏好度来表征用户搜索意图的方法.

通过用户的搜索记录及物品的使用记录可以发现用户的兴趣,即对物品的偏好.用户是否对某个物品具有

偏好一般来说可以通过两个方面表现出来:使用频率及当前距离.很明显,某物品的使用频率越高,物品距离用户越远,就表明用户越偏爱它.因此我们给出计算物品的偏爱度的公式:

$$\frac{n}{t} \times l \quad (1)$$

其中, $n$ 表示 $t$ 时间内物品使用的次数, $t$ 表示一段时间, $l$ 表示历史搜索记录中物品与用户的距离的平均值.

但是,用户不可避免地会经常购买一些新的物品,考虑到新买的物品用户往往都是比较喜欢的.因此,当购买新物品之后,以前的老物品的偏爱度会受到很大的影响,这时如果按照固定的 $t$ 这么长时间来计算将得不到合适的物品偏爱度,故我们必须改变 $t$ 所代表的值,本系统使用的 $t$ 表示:此类型的新物品从购买到现在所经历的一段时间与此物品上次使用到现在经历时间的最大值.

### (3) 物品之间的联系

物品与物品之间是有一定的联系的,比如吃饭用的“刀”与“叉”是要协同使用的,因此当用户输入“刀”进行搜索时,往往还会需要查找“叉”,故系统不但为用户呈现“刀”的信息,同时还在页面的下方给出其相关搜索,此时,“叉”就会出现在相关搜索中,用户可以通过点击“叉”直接获取“叉”的信息.

两件物品同时使用或相继使用可以通过以下方式进行判断:

- ① 两件物品位置发生改变后都与用户同时出现在同一个地方;
- ② 两件物品位置发生改变后在很短的时间 $t$ 内相继与用户出现在同一个地方.

同时使用与相继使用并不一定是绝对的,可能在某些特殊的情况下它们将分开使用,但这种情况发生的概率是非常小的,因此我们可以通过对物品使用历史记录进行统计,计算出那些物品同时或相继出现的概率,当概率超过一定的阈值 $P$ 时,我们就将它们标记为具有协作使用的特征.我们发现物品的协作使用的特征后就可以在为用户呈现搜索结果的同时,为其呈现一些相关的物品来方便用户对物品的查找.

## 5.2 排序算法

通过搜索可能会得到许多相关的物品,我们完全可以根据物品的相关度信息,将所有物品按相关度的大小依次排列输出出来,但考虑到这样做会大大降低搜索的时间效率,并且用户往往只看列表中的前几个物品信息,因此我们采取从中选出最相关的 $k$ 个物品的方法,即采取 top-k<sup>[8]</sup>算法.结合历史场景分析的物品相关度及用户对物品的偏好度均在一定程度上反映了此物品与本次试图搜索的物品的相似程度,并且当计算不出相关度之后才使用偏好度,因此算法中将相关度及偏好度统称为物品的权值,权值越大就说明此物品越接近用户所要搜索的物品.另外假定获得搜索请求的汇聚节点有 $m$ 个.

算法思想描述如下:

输入: $m$ 个汇聚节点( $P_1, P_2, \dots, P_m$ )中各物品的权值;

输出: $k$ 个最相关物品.

- 1.为各汇聚节点( $P_1, P_2, \dots, P_m$ )中的物品按权值大小顺序进行排序;
- 2.将排序后的 $P_i$ 列表中的第一个值取出并删除;
- 3.设置一个结构体数组 $a$ ,  $a[i].p=P_i$ ,  $a[i].weight=weight(object_i)$ ,  $a[i].obj=object_i$ .其中 $P_i$ 表示第 $i$ 个汇聚节点,  $object_i$ 表示步骤2中取出的物品;
- 4.设置一变量 $k\_num$ ,令 $k\_num=0$ ;
- 5.while  $k\_num < k$  do
6. 将数组 $a$ 按权值递减的顺序进行重排,重排后的结果使得 $a[1].weight \geq a[2].weight \geq \dots \geq a[m].weight$ ,
7. if  $a[1].weight == 0$ ,
8. break;
9. end if
10. 此时 $a[1]$ 对应的物体就应该是目前最符合用户搜索意图的物体,将其保存下来;
11. if  $a[1].p$ 列表不为空,

12. 将  $a[1].p$  列表中最上面的那个值取出并删除,用此值替换  $a[1]$ ;
13. **else**
14.  $a[1].weight=0$ ;
15. **end if**
16.  $++k\_num$ ;
17. **end while**
18. 返回步骤 10 中得到的“ $k$ ”个最相关的物品

上述算法最后是要向用户输出与搜索最相关的  $k$  个物品,然而可能存在这样的情况,就是家庭中所有相类似的物品总数都达不到  $k$ ,这种情况在算法的步骤 7 中有所体现,当  $a[1].weight$  值为 0 时,就说明所有相类似的物品均被找出来了,这时即使没有找到  $k$  个,算法也要结束,故在步骤 18 中向用户输出目前找到的不足  $k$  个的相关物品.

## 6 原型系统实现

### 6.1 实验环境

系统建立在一个部署了各种各样的传感器的智能家庭环境中,包括 UWB 设备、压力传感器和智能家电等,图 3 给出了 UWB 及压力传感器的部署方式.其中,UWB 主要是获取人及物体的位置信息,压力传感器用来识别人是否在椅子或床上坐着,而根据家电的状态则可以辅助识别人是否在进行某项活动,比如看电视等.

要实现物品的搜索功能,最关键的就是对物品进行定位,在普适空间中定位<sup>[10]</sup>的方法有多种,但其中很少能够实现室内高精度的定位.考虑到 UWB 的定位精度可达 30cm,另外 UWB 标签体积较小,可以很方便的与人及物品进行绑定,因此本系统采用 UWB 定位技术进行定位<sup>[11-13]</sup>.为了更准确的进行定位,我们在房间天花板的 4 个角落安装了 4 个 UWB 传感器,这样房间中的任何配有 UWB 标签的物体均能精确地定位.

图 3(a)为在房间的一个角落上部署的 UWB 传感器,3(b)为佩戴 UWB 标签的物品,UWB 传感器能够检测标签发出的低功率 UWB 脉冲信号,进而计算标签的实际位置.图 3(c)及图 3(d)分别为布置了压力传感器的床和椅子,通过压力传感器的数值变化能够判断人是否躺在床上或坐在椅子上.



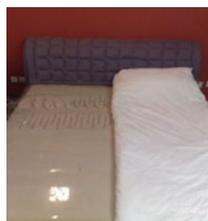
(a) The UWB sensor installed on the wall

(a) 墙壁上布置的 UWB 传感器



(b) The thermos with the UWB tag

(b) 佩戴 UWB 标签的热水壶



(c) The bed with pressure sensor

(c) 布了压力传感器的床



(d) The chair with pressure sensor

(d) 布了压力传感器的椅子

Fig.3 System environment and the sensors

图 3 系统实现环境与传感器

## 6.2 系统实现

要实现系统,关键的是进行场景的识别、请求分发与转发以及搜索结果排序.由于场景对于用户意图的识别起着很重要的作用,另外考虑到以后场景扩展的问题,因此,我们设计了一个场景本体库,并为其建立对应的规则,然后利用 Jena 推理机<sup>[14]</sup>对场景进行推理.在场景识别出来之后,就可以根据设计的分发与转发策略将请求送到对应的汇聚节点以及得出各个获得搜索匹配的物品的相关度了,之后根据 top-k 排序算法得出排序结果.

我们可以利用任何智能终端进行物品的搜索,下面我们使用 iPod 智能终端设备搜索“杯子”,搜索物品的初始界面如图 4 所示.用户可以在输入框中输入要查找的物品,也可以通过下拉列表选择要查找的物品,然后点击搜索按钮即发出搜索请求.另外,我们还添加了最近搜索和常用物品搜索这两个功能.最近搜索列出了用户最近一段时间使用本系统进行的搜索,而常用物品搜索则将用户比较常用的物品以图片的形式展示出来,用户可以直接点击图片进行对应物品的搜索,极大地方便了用户的搜索行为.当搜索请求发出后,系统将会得到如图 5 所示的结果,在本次搜索时,用户坐在沙发上,而电视正处于打开的状态.



Fig.4 The first search page

图 4 搜索初始页面



Fig.5 The results with the input of cup

图 5 输入杯子后的结果

从图 5 可以看出,为用户呈现的第一个杯子是平时喝茶用的杯子,这是因为由传感器获取的数据可以推测出用户正处于看电视的场景,通过历史场景分析,可以发现在此场景下用户使用杯子最常做的事情就是喝茶,因此系统就将喝茶用的杯子排在第一呈现给用户.由常识我们也可以知道,在用户看电视的情况下,很有可能使用杯子去喝茶,因此我们的系统得出的结果在一定程度上反映了用户的真实搜索意图.

## 7 结束语

随着年龄的增长,老年人的各项生理机能都在逐步下降,其中记忆力衰退表现得尤为突出.本文针对老年人比较健忘的情况,为用户设计了一个用于在智能家庭中搜索物品的系统.系统能够根据当前的情境信息及用户的搜索输入来判断用户的真实意图,进而为其提供可靠的查询服务.系统通过搜索请求的分发与转发机制使得用户在极短的时间内获得搜索的结果,结合场景分析及用户的偏好获取,利用 top-k 排序算法将搜索结果按满意度大小顺序呈现给用户.目前我们的系统还不能处理同义词搜索问题,比如用户输入“番茄”,而由于数据库中存储的是“西红柿”,因而将得不到需要的结果,另外就是我们的场景识别还比较简单,我们下一步的工作重点是解决同义词搜索问题以及扩展场景本体库以更真实的获取用户的搜索意图.

## References:

- [1] Abowd G, Atkeson C, Essa I. Ubiquitous smart spaces. A white paper submitted to DARPA, 1998.
- [2] Weiser M. The computer for the 21st century. *Scientific American*, 1991,265(3):66-75.
- [3] Yap KK, Srinivasan V, Motani M. MAX: Wide area human-centric search of the physical world. *ACM Trans. on Sensor Networks*, 2008,4(4):1-34. [doi: 10.1145/1387663.1387672]
- [4] Yap KK, Srinivasan V, Motani M. MAX: Human-Centric search of the physical world. In: *Proc. of the SenSys 2005*. New York: ACM Press, 2005. 166-179. [doi: 10.1145/1098918.1098937]

- [5] Frank C, Bolliger P, Mattern F, Kellerer W. The sensor internet at work: Locating everyday items using mobile phones. *Pervasive and Mobile Computing*, 2008,4(3):421-447. [doi: 10.1016/j.pmcj.2007.12.002]
- [6] Wang MM, Cao JN, Sun Y, Li J. Toward ubiquitous searching. In: *Proc. of the 13th Int'l Conf. on Parallel and Distributed Systems*. Washington: IEEE Computer Society, 2007. 1-8. [doi: 10.1109/ICPADS.2007.4447714]
- [7] Tan CC, Sheng B, Wang HD, Li Q. Microsearch: When search engines meet small devices. In: *Proc. of the 6th Int'l Conf. on Pervasive Computing (Pervasive'08)*. Heidelberg: Springer-Verlag, 2008. 93-110. [doi: 10.1007/978-3-540-79576-6\_6]
- [8] Wang HD, Tan CC, Li Q. Snoogle: A search engine for the physical world. In: *Proc. of the INFOCOM'08*. Piscataway: Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc, 2008. 2056-2064. [doi: 10.1109/INFOCOM.2007.196]
- [9] Ding C, Zhou J. Log-Based indexing to improve Web site Search. In: *Proc. of the SAC 2007*. New York: Association for Computing Machinery, 2007. 829-833. [doi: 10.1145/1244002.1244186]
- [10] Hightower J, Borriello G. Location systems for ubiquitous computing. *Computer*, 2001,34(8):57-66. [doi: 10.1109/2.940014]
- [11] Xie YQ, Zhang YR. TOA based UWB location algorithms. *Journal of Nanjing University of Posts and Telecommunications (Natural Science)*, 2007,27(3):71-75 (in Chinese with English abstract).
- [12] Chen XH, Xu S, Yin HR, Wang WD, Wei G. Potentials of IR-UWB technology for ubiquitous computing. *Personal and Ubiquitous Computing*, 2011,15(1):75-84. [doi: 10.1007/s00779-010-0299-3]
- [13] Wang Z, Zhou XS, Yu ZW, He YB, Zhang DQ. Inferring user search intention based on situation analysis of the physical world. In: *Proc. of the UIC 2010*. Heidelberg: Springer-Verlag, 2010. 35-51. [doi: 10.1007/978-3-642-16355-5-6]
- [14] Zhang W, Duan LG, Chen JJ. Reasoning and realization based on ontology model and jena. In: *Proc. of the BICTA 2010*. Piscataway: IEEE Computer Society, 2010. 1057-1060. [doi: 10.1109/BICTA.2010.5645115]

#### 附中文参考文献:

- [11] 谢亚琴,张业荣.基于信号到达时间的 UWB 定位算法.南京邮电大学学报(自然科学版),2007, 27(3):71-75.



耿会东(1987-),男,河南开封人,主要研究领域为普适计算.



夏云云(1989-),女,主要研究领域为普适计算.



於志文(1977-),男,博士,教授,主要研究领域为普适计算,移动互联网,智能信息技术.



王海鹏(1975-),男,博士,副教授,主要研究领域为健康信息学,普适计算.



张欣欣(1988-),女,主要研究领域为普适计算.