

# 视觉群智感知应用综述

翟书颖<sup>1</sup> 李茹<sup>1</sup> 李波<sup>1</sup> 郝少阳<sup>2</sup>

(西北工业大学明德学院 西安 710124)<sup>1</sup> (西北工业大学计算机学院 西安 710129)<sup>2</sup>

**摘要** 近年来,通过图片、视频等进行感知的视觉群智感知已经成为移动群智感知的主要方式,是当前的研究热点之一。视觉群智感知要求用户以图片或者视频的形式获取真实世界中感知对象的细节信息,在各个领域都有较为广泛的应用。但是国内目前还没有文章对视觉群智感知的发展与现状进行总结。鉴于这种情况,文中综述了视觉群智感知的最新应用,包括平面图生成、室内场景重建、室外场景重建、事件重构、室内定位、室内导航、灾难救援和城市感知等;并对视觉群智感知目前面临的一些独特问题进行了总结。

**关键词** 视觉群智感知,移动群智感知,事件重构,室内定位,室内导航

**中图分类号** TP391 **文献标识码** A

## Survey on Applications of Visual Crowdsensing

ZHAI Shu-ying<sup>1</sup> LI Ru<sup>1</sup> LI Bo<sup>1</sup> HAO Shao-yang<sup>2</sup>

(Mingde College, Northwestern Polytechnical University, Xi'an 710124, China)<sup>1</sup>

(School of Computer Science, Northwestern Polytechnical University, Xi'an 710129, China)<sup>2</sup>

**Abstract** In recent years, Visual Crowdsensing(VCS) that sensed through images and video, has become a predominant sensing paradigm of Mobile Crowdsensing(MCS), which is one of the current research hotspots. VCS requires people to capture the details of sensing objects in the real world in the form of pictures or video, which is widely used in various fields. However, there is no article summarizing the development and current situation of VCS in China. To this end, this paper summarized the latest applications of VCS, including floor plan generation, indoor scene reconstruction, outdoor scene reconstruction, event reconstruction, indoor localization, indoor navigation and disaster relief, and summarized some unique problems of VCS at present.

**Keywords** Visual crowdsensing, Mobile crowdsensing, Event reconstruction, Indoor localization, Indoor navigation

## 1 引言

随着计算机技术的发展与信息世界的扩张,摄像头、麦克风等多种传感器被嵌入到我们平日随身携带的移动设备(智能手机、可穿戴式设备)中,移动群智感知<sup>[1]</sup>作为一种新型的感知方式越来越被人们所熟知。移动群智感知网络利用已有的移动设备完成感知任务,依托于蜂窝数据、Wi-Fi、蓝牙等进行数据传输,无须进行特意部署与维护,能够非常方便地完成大规模和细粒度的感知。通过移动群智感计算,可以使移动终端的用户进行有意识或无意识的协作,完成个体很难实现的大规模、高复杂度的社会感知任务,在城市管理、环境监测、交通状况等方面具有广泛的应用前景。

移动群智感知可以通过多种方式来完成感知任务,例如数值(空气质量等)、音频、图片/视频等。在这些感知方式中,使用移动设备内置的摄像头进行感知的方式<sup>[2]</sup>近年来越发受到学术界与工业界的重视。以此为背景,郭斌教授提出了视觉群智感知<sup>[3]</sup>的概念,并对视觉群智感知的任务模型、特点以

及关键技术等进行了较为全面的综述。视觉群智感知要求用户以图片或者视频的形式获取真实世界中感知对象的细节信息,图片和视频由于携带了更丰富的信息,因而受到了广泛的关注。在之前的研究中,如 SISE<sup>[4]</sup>, Firework<sup>[5]</sup>, IONavi<sup>[6]</sup> 和 BEES<sup>[7]</sup> 等都证明了视觉群智感知的有效性。在大多数情况下,视觉群智感知要优于依赖固定摄像机进行监测的传统的视觉感知方式。

在移动群智感知中,与其他类型的感知方式相比,视觉群智感知的图片和视频能够包含更加丰富的信息,其与环境(例如景深、拍摄角度等)的关联也更加密切,数据项的体积更加庞大,数据处理上也更加的复杂。同时,视觉群智感知也面临着一些独特的问题,例如多维度的覆盖需求、数据冗余的识别和消除等。到目前为止,视觉群智感知在各个领域都已经有了较为广泛的应用,但目前国内几乎没有文献对视觉群智感知的研究现状进行综述。本文在文献<sup>[3]</sup>的基础上对群智感知的应用进行了分类,对最新的视觉群智感知研究进行了综述,对视觉群智感知的应用以及面临的挑战进行了较为全面

本文受陕西省教育厅专项科研项目(18JK1169),西北工业大学明德学院科研基金(2017XY02L01)资助。

翟书颖(1981-),女,硕士,讲师,主要研究方向为物联网、群智感知等,E-mail:zhaisy@npumd.edu.cn(通信作者);李茹(1987-),女,硕士生,主要研究方向为自适应信号处理;李波(1974-),男,博士,副教授,主要研究方向为无线通信和信号处理等;郝少阳(1995-),男,硕士生,主要研究方向为群智感知。

的总结,为视觉群智感知进一步的发展提供借鉴和参考。

## 2 视觉群智感知的应用

现有的视觉群智感知的应用大致可以分为以下几类:平面图生成、室内场景重建、室外场景重建、事件重构、室内定位、室内导航、灾难救援和城市感知。

### 2.1 平面图生成

建筑平面图是建筑设计中的重要组成部分,反映了建筑物的功能需要、平面布局及其平面的构成关系,展示了房间和空间的物理特征之间的联系,对于诸如室内定位和室内导航等应用来说非常重要。以往的室内平面图重建系统严重依赖惯性传感器,而室内场景的边缘部分通常会被家具等物体遮挡,大部分用户也无法访问受限的室内区域,使得系统无法生成较为精确的结果。而图片、视频等能够提供更加丰富的环境信息(几何信息、景深、颜色等)。CrowdMap<sup>[8]</sup>通过将众包视频每个连续帧之间的时空关系与惯性传感器相结合,来生成一个较为精确的室内平面图。文献[9]提出的 Jigsaw 通过视觉群智感知获取图像中标志性物体的位置、大小和方向信息,通过惯性传感器获得相邻标志性物体之间的空间关系,计算出物体的坐标和方位,再将用户的移动轨迹与坐标相结合,进而生成一个完整的室内平面图。

### 2.2 室内场景重建

相比于只表达建筑物结构的平面图,场景重建包含更多的信息,在诸如火灾救援、增强现实和室内导航等方面有着至关重要的作用。传统的室外场景重建技术大多依赖于专门的数据采集设备,并且具有复杂且耗时的离线处理机制,很难直接应用于室内场景重建,而通过视觉群智感知可以方便、高效地完成这一过程。文献[10]开发了一款智能手机应用程序,将手机捕捉到的视频、图像数据与加速度计、陀螺仪等相结合来可视化和重建家庭、办公室等室内场景,不需要任何专门的设备或培训,而且还能生成一个准确的楼层平面图。针对现有的室内语义平面图不会随环境自动更新的问题,文献[4]提出了一种移动众包系统 SISE。文中提出了用来描述室内实体的数据模型 enGraph,将室内平面图中的实体与众包图像中的实体相对应,提出了一种用于检测和定位被改变的实体的算法。最后在 SISE 中利用用户提交的包含地理位置的照片和惯性数据对室内的实体及其语义、enGraph 进行新的抽象,从而自动更新室内语义平面图。

### 2.3 室外场景的重建

室外场景重建在全景地图(如谷歌街景)、增强现实、城市监控和城市规划方面有着重要的应用。文献[11]提出了一种自动存储系统 CrowdGIS。当前的地图服务中存储的信息常常是过时甚至缺失的,CrowdGIS 使用街景和众包数据,通过神经网络分析估计位置与实际位置之间的潜在关系,确定用户的拍摄位置,从而更新服务器中的地图数据。文献[12]提出了一款在线游戏 PhotoCity,它通过一些激励机制使玩家拍摄特定角度(与数据库中已有的残缺 3D 模型进行对比,要求其产生重叠或匹配)的照片,再通过计算机视觉技术实现 2D 图像的 3D 构建。文献[13]提出了一个能够生成 360°全景图像的智能手机应用程序 CROWD-PAN-360,该系统能够感

知环境信息,智能地将用户的位置信息与多种传感器(加速度传感器等)信息相关联,减少定位误差,能够有效识别用户环境,在用户进入陌生环境时生成全景图像。文献[14]提出了一套关键帧选择算法,通过使用有地理标记的众包移动视频,能够非常迅速地生成大规模的室外全景图。

### 2.4 事件重构

随着智能手机和移动互联网的普及,人们越来越习惯于以图片或视频的形式来记录自己的生活,并通过社交网络进行分享。对这些图片与视频的分析有助于我们在事件发生之后对其进行回顾。文献[15]提出了一种基于智能手机的点播系统 MoVi,其可以通过智能手机协同感知周围的环境,等待事件触发点将其唤醒(例如笑声),事件结束之后 MoVi 可将不同手机上的录音与图片拼接成一个视频片段,其效果可与专业工作者编辑出的整个事件的视频剪辑相媲美。文献[16]提出了一种利用社交网络上的图像信息(如 Instagram),在时间和空间上对城市中发生的事件进行定位的算法。其使用户不用参加城市活动也可以以目击者的镜头远程体验这些事件。

每一个智能手机只能在有限的视角和距离下抓取视频和图像,这样生成的视频较为单一且包含的事件信息不够丰富。然而在同样的事件中,不同的参与者则可以从不同的角度和距离捕捉到多个视频片段。文献[17]提出了一个框架,通过分析声音匹配用户生成视频,捕捉相同的时空事件,并估计它们的相对时间偏移,最终对未经编辑的多个摄像头得到的用户生成视频进行分组和对齐,对该事件进行重建。人们可以通过事件参与者上传的视频以不同的视角来回观已发生的事件,但并不是每个用户都能够以自己满意的视角来体验该事件,在上传的大量视频中找到称心的视角可能会花费大量的时间。文献[18]开发了一个查询系统来解决此类问题,该系统会生成一个轻量级的 3D 场景结构,用户可在任意相关的视频中选择一个 2D 区域作为查询条件进行查询(图 1 为 2018 年俄罗斯世界杯),系统会向用户返回与该区域相关的视频。

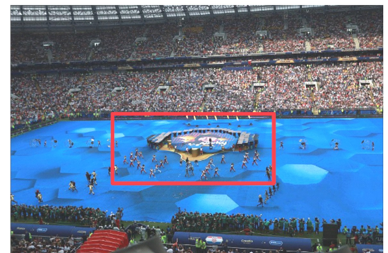


图 1 在 3D 场景中选择 2D 区域进行查询

传统的以云为中心的实时视频分析需要预先将所有的视频资源加载到集中式的集群上,响应延迟大,数据的传输成本高。文献[5]提出了一个通用的计算框架 Firework,通过可视化数据视图与服务组合使得 IoE 应用的分布式数据处理更加便捷。与传统的以云为中心的解决方案相比,Firework 极大地减少了延迟和带宽成本。文献[19]提出了一个基于 Android 的混合的边缘云架构,并通过一个案例进行展示。在葡萄牙排球联赛的真实场景中,用户录制的实时视频被置入边

缘云中,通过树莓派进行同步和缓存,使得附近用户无需使用任何其他网络基础设施便可共享视频,有效地降低了用户延迟和网络基础设施的带宽占用。文献[20]提出了一个用于收集和整合视频的框架,用于生成包含参与者视角的视频剪辑。该框架的创新点在于:其支持对数百名用户在超密集的王IFI环境中录制的视频进行实时传输、处理和显示。

## 2.5 室内定位

由于主流的定位技术过于依赖无线信号,在极复杂的情况下可能会出现两个不同的位置具有相同的 RSS 指纹,从而导致定位错误。针对这种情况,文献[21]提出了一个基于移动终端的图像辅助定位系统 Argus。Argus 从众包的图像数据中提取几何约束,通过这些几何约束映射到 RSS 指纹空间来区分具有相似指纹的位置信息,减少指纹的模糊性。文献[22]提出了 CSP 框架,CSP 通过众包收集与用户位置有关的图像和音频数据,这些数据包含丰富的提示信息(包括文本提示和物理对象),从而使得 CSP 能够进行更高级别的抽象,依据物理位置对于人的意义,例如工作、饮食、锻炼等,将物理位置抽象为逻辑位置并进行分类。

## 2.6 室内导航

随着建筑物的内部结构越发复杂,人们对于室内导航系统的需求也日益紧迫。然而室外导航所依赖的 GPS 信号功率极低,穿透能力差,易受墙体阻隔无法进入室内,并且导航所依赖的室内地图信息也不易获得。在这样的背景下,文献[23]提出了一种基于室内环境三维模型的室内导航系统 iMoon。iMoon 使用众包的 2D 图片,通过 SfM 技术构建室内环境的 3D 模型,生成导航网格,通过智能手机上的惯性传感器收集用户轨迹,并从这些用户轨迹中提取出行人通道,整合到导航网格中;最后通过原位拍摄的照片识别用户的位置和方向,并通过视觉指示对用户进行导航,提醒用户应在何时、何地转向。

微软亚洲研究院开发出了一款基于 Android 平台的室内导航系统 Path Guide<sup>[24]</sup>,可提供不依赖于地图及额外设备的即插即用型室内导航应用服务。用户在室内行走时,Path Guide 会将环境感知数据与用户轨迹相结合,生成参考路线并上传至云端,提供给具有相同起点与终点的用户使用,通过视觉、声音等信息进行实时引导。文献[25-27]也分别提出了与之类似的引导者-追随者形式的室内导航解决方案,图 2 为引导者-追随者导航框架图。

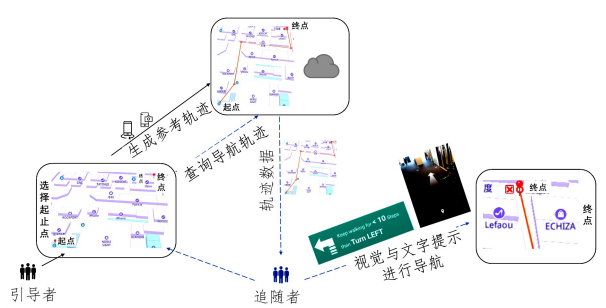


图 2 引导者-追随者导航框架图

引导者沿着一条通往特定目的地的路径前进,过程中记录包括图像与步行事件的路径信息,生成参考轨迹并分享给

追随者,追随者要以同样路径前往同样目的地时,导航系统会持续跟踪用户信息并与参考轨迹对比,在适当的时间和地点给予追随者提示,将追随者导航到目的地。文献[6]提出了一种同样采取引导者-追随者的方式的联合导航解决系统 ION-avi,为地铁运输系统提供了室内-室外的导航方案。

## 2.7 灾难救援

地震、火灾、海啸等自然灾害严重威胁着人们的生命,带来巨大的经济损失。在灾难救援的过程中,关于灾区详尽、准确的实时信息是人们在分配人力和物资时的重要参考。而在灾难环境中,通信基站容易损坏,导致数据传输效率低、数据转发不稳定,因而所要解决的一个很重要的问题就是数据的有效传输。文献[28]提出了一套上传策略,通过多设备协作,以增加延迟为代价获得更高的带宽,保证数据流的传输。文献[29]提出了视频众包系统 VideoMec,该系统可根据不同的位置信息以及来自于移动设备内置的多种传感器的元数据对视频进行系统地描述。初始时无需上传完整的视频数据,只需上传视频的描述信息即可,只有当描述信息在服务器端被匹配到,确定该视频包含所需的视觉信息,才会要求用户上传对应的视频,节省了移动设备的带宽和能耗。文献[30]提出了一个框架用来解决上传数据流的冗余问题。在用户上传视频时,其会要求用户先上传视频内容的元数据,再将该元数据与服务器中内容相关的元数据进行比较与匹配,判别该视频内容是否冗余。如果视频内容存在冗余则延迟该内容的传输,从而有效地减少负载,及时传递更为关键的信息。为了在灾难中能够高效地进行图像信息共享,文献[7]提出了一个带宽和能效共享系统 BEES,BEES 的特点是利用了近似图形共享(AIS)的概念,AIS 可以提取图像近似的特征进行冗余检测,从而实现基于内容的冗余消除,提高带宽和能源的效率。文献[31-33]判断所要传输的图像信息的价值,在带宽和资源有限的条件下转发价值最高的照片集合,以尽可能降低照片中的冗余信息。

## 2.8 城市感知

城市感知通过分析城市中的传感器、车辆、建筑设施等提供的大量异构数据,来解决诸如环境监测、交通规划和城市资源管理等问题。文献[34]提出了一种基于网络的服务 See-ClickFix,城市居民可以通过该服务向政府部门报告非紧急事件,政府官员在解决该问题后可以重置报告状态,居民会自动获取到他们所提交的报告状态。人们经常会有了解特定区域中的热点事件以及 POI 的需求,然而目前的 Web 服务能够提供的结果并不够精确。文献[35]提出了一种基于聚类 and 增量抽样的方法 C&IS 对用户上传的视频和图片进行分析。C&IS 利用空间元数据表示视觉内容中的场景,通过聚类确定视觉内容密度高的区域,能够有效地从照片和视频中识别出最有效的热点区域以供政府部门参考。文献[36]提出了一个提醒行人行走时危险状况的系统 Safe Walking。该系统基于 Android 开发,通过加速度计和重力传感器采集到的数据计算行人行走姿态,利用灰度图像检测算法来检测人脸和眼球的运动模式,最后通过智能手机的振动器产生振动,提醒行人注意道路状况。除了这些应用以外,还有一些与环境保护有关的应用。文献[37]设计了一款基于 iPhone 的应用程序

Creek watch, 志愿者可以通过该应用上报水道信息, 以帮助进行水资源管理项目。

本节中较新的视觉群智感知应用的总结与比较如表 1 所列。

表 1 视觉群智感知应用总结

应用类型	应用	形式	贡献
平面图生成	CrowdMap <sup>[8]</sup>	视频	平面图生成
	Jigsaw <sup>[9]</sup>	图片	图像匹配
室内场景重建	文献[10]	视频、图像	室内场景生成
	SISE <sup>[4]</sup>	图像	室内实体数据模型 enGraph
	CrowdGIS <sup>[11]</sup>	图像	快速更新地图数据
室外场景重建	PhotoCity <sup>[12]</sup>	图像	三维建模
	CROWD-PAN-360 <sup>[13]</sup>	图像	生成陌生环境全景图像
事件重构	文献[14]	视频	关键帧选择算法
	MoVi <sup>[15]</sup>	视频	视频数据理解与选择
	文献[16]	图像	事件定位算法
	文献[17]	视频	视频分组与生成
	文献[18]	视频	视频流查询
	Firework <sup>[5]</sup>	视频	实时本地数据分析处理
	文献[19]	视频	降低时延与带宽占用
	文献[20]	视频	超密集 WIFI 环境数据传输
	Argus <sup>[21]</sup>	图像	区分类似 RSS 指纹
	CSP 框架 <sup>[22]</sup>	图像	物理位置抽象化
室内定位	iMoon <sup>[23]</sup>	图像	室内 3D 建模
	Path Guide <sup>[24]</sup> , 文献[25-27]	图像	引导者-追随者形式室内导航
	IONavi <sup>[6]</sup>	图像	室内-室外联合导航解决方案的导航方案
灾难救援	文献[28]	图像	提高传输带宽
	VideoMec <sup>[29]</sup>	视频	通过元数据描述视频信息
	BEES <sup>[7]</sup> , 文献[31-33]	图像	降低图像冗余
城市感知	SeeClickFix <sup>[34]</sup>	图像	紧急事件报告
	C&IS <sup>[35]</sup>	视频、图像	城市热点区域识别

### 3 视觉群智感知面临的问题与挑战

视觉群智感知的特征为它带来了优势, 也带来了挑战。目前仍需解决的一些问题如下。

#### 3.1 设备的多样性

与传统的移动群智感知任务相比, 视觉群智感知通常要求从不同角度、不同方向采集感知数据, 需要考虑到任务分配时多维度的情景, 且感知节点可能为智能手机、接入网络的汽车、可穿戴式设备等, 不同的设备的网络接入方式、稳定性、速率, 以及采集和处理视觉信息的能力都有较大差异。在这种情况下, 要求在一定的资源约束中完成特定任务变得更加具有挑战性。

#### 3.2 冗余过滤

视觉群智感知任务会采集到大量的原始的照片集, 但其中有相当一部分在内容或语义上是冗余的(根据任务覆盖定义<sup>[3]</sup>), 在传输照片时应当尽量去除冗余的照片, 选取有代表性的照片子集传输, 或先上传照片的元数据在服务器端进行匹配, 确定其价值后再进行真正传输, 以尽可能在有限的带宽资源下传输价值更高的视觉信息。

#### 3.3 数据的有效传输

视觉群智感知任务的数据项往往比普通的移动群智感知的数据项要大得多, 感知环境中复杂的网络状况以及价格高昂的流量费用都会影响视觉感知数据的收集, 即便容迟网络可以解决部分数据传输的问题, 但是如何及时、高效地传输众包图片仍是视觉群智感知研究的重点问题之一。

#### 3.4 图像质量评估

感知设备的差异以及获取视觉信息的方式不同, 使得采集到的图片、视频的质量有很大差异, 低质量的图片数据例如图片清晰度不够、亮度不满足要求或待分析的目标被部分遮挡等, 会对感知任务的结果造成意想不到的影响, 且占据了大量的带宽, 因此应当评估图像的质量, 尽可能地过滤掉低质量的图片数据。

#### 3.5 图像匹配与处理算法

视觉群智感知任务常常需要处理大量的众包图片, 且根据任务的需求不同, 其需要具有图像匹配、三维建模、图像内容识别和图像标记的能力, 因而轻量级且健壮的计算机视觉算法是必不可少的。图像匹配通常用来检测视觉信息中的冗余信息或对其进行分组; 三维建模可用于生成室内地图或三维地图; 图像内容识别和图像标记则有助于对图像信息分组以及提取出其中的文字或符号等有用的信息。

**结束语** 本文介绍了视觉群智感知, 重点对最新的视觉群智感知的应用进行了总结和比较(见表 1), 包括了平面图生成、室内场景重建、室外场景重建、事件重构、室内定位、室内导航、灾难救援和城市感知等 8 个方面; 并对视觉群智感知目前所面临的一些问题进行了总结, 包括设备的多样性、图片的冗余过滤、数据的有效传输、图像的质量评估以及图像的匹配与处理等问题。

在未来的工作中, 我们会进一步研究视觉数据的通信、处理以及用户隐私的问题, 相信未来几年 VCS 将会被部署在各种类型的应用之中, 自然而然地融入人们的生活, 为人们提供更加智能化、人性化的服务。

### 参考文献

- [1] GUO B, WANG Z, YU Z, et al. Mobile Crowd Sensing and Computing: The Review of an Emerging Human-Powered Sensing Paradigm[J]. *Acm Computing Surveys*, 2015, 48(1): 7.
- [2] WANG L, ZHANG D, WANG Y, et al. Sparse mobile crowdsensing: challenges and opportunities[J]. *IEEE Communications Magazine*, 2016, 54(7): 161-167.
- [3] GUO B, HAN Q, CHEN H, et al. The Emergence of Visual Crowdsensing: Challenges and Opportunities[J]. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 2017, PP(99): 1.
- [4] TENG X, GUO D, GUO Y, et al. SISE: Self-updating of Indoor Semantic Floorplans for General Entities[J]. *IEEE Transactions on Mobile Computing*, 2018, PP(99): 1.
- [5] ZHANG Q, ZHANG Q, SHI W, et al. Firework: Data Processing and Sharing for Hybrid Cloud-Edge Analytics[J]. *IEEE Transactions on Parallel & Distributed Systems*, 2018, PP(99): 1.
- [6] TENG X, GUO D, GUO Y, et al. IONavi: an indoor-outdoor navigation service via mobile crowdsensing[J]. *ACM Transactions on Sensor Networks*, 2017, 13(2): 12.
- [7] ZUO P, HUA Y, LIU X, et al. BEES: Bandwidth- and Energy-Efficient Image Sharing for Real-Time Situation Awareness[C]// *IEEE International Conference on Distributed Computing Systems*. IEEE, 2017: 1510-1520.
- [8] CHEN S, LI M, REN K, et al. Crowd Map: Accurate Reconstruction of Indoor Floor Plans from Crowdsourced Sensor-Rich Videos[C]// *2015 IEEE 35th International Conference on Distributed Computing Systems*. IEEE, 2015: 1-10.

- [9] GAO R,ZHAO M,YE T,et al. Jigsaw:indoor floor plan reconstruction via mobile crowdsensing[C]// International Conference on Mobile Computing and NETWORKING. ACM,2014:249-260.
- [10] SANKAR A,SEITZ S. Capturing indoor scenes with smartphones[C]// ACM Symposium on User Interface Software and Technology. ACM,2012:403-412.
- [11] PENG Z,GAO S,XIAO B,et al. CrowdGIS:Updating Digital Maps via Mobile Crowdsensing[J]. IEEE Transactions on Automation Science & Engineering,2017,PP(99):1-12.
- [12] TUIE K,SNAVELY N,HSIAO D Y,et al. PhotoCity:training experts at large-scale image acquisition through a competitive game[C]// Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems. ACM,2011:1383-1392.
- [13] RAYCHOUDHURY V,SHRIVASTAV S,SANDHA S S,et al. CROWD-PAN-360:Crowdsourcing Based Context-Aware Panoramic Map Generation for Smartphone Users[J]. IEEE Transactions on Parallel & Distributed Systems,2015,26(8):2208-2219.
- [14] KIM S H,LU Y,SHI J,et al. Key Frame Selection Algorithms for Automatic Generation of Panoramic Images from Crowdsourced Geo-tagged Videos[C]// International Symposium on Web and Wireless Geographical Information Systems. Springer, Berlin, Heidelberg,2014:67-84.
- [15] BAO X,CHOUDHURY R R. MoVi:mobile phone based video highlights via collaborative sensing[C]// International Conference on Mobile Systems, Applications, and Services. ACM,2010:357-370.
- [16] GIRIDHAR P,WANG S,ABDELZAHER T,et al. On localizing urban events with instagram[C]// INFOCOM 2017-IEEE Conference on Computer Communications. IEEE,2017:1-9.
- [17] BANO S,CAVALLARO A. Discovery and organization of multi-camera user-generated videos of the same event[J]. Information Sciences,2015,302:108-121.
- [18] CARLIER A,CALVET L,GURDJOS P,et al. Querying Multiple Simultaneous Video Streams with 3D Interest Maps[M]// Visual Content Indexing and Retrieval with Psycho-Visual Models. Springer,Cham,2017:125-144.
- [19] RODRIGUES J,MARQUES E R B,SILVA J,et al. Video Dissemination in Untethered Edge-Clouds:A Case Study[C]// IFIP International Conference on Distributed Applications and Interoperable Systems. Springer,Cham,2018:137-152.
- [20] BOHEZ S,DANEELS G,VAN HERZEELE L,et al. The crowd as a cameraman:on-stage display of crowdsourced mobile video at large-scale events[J]. Multimedia Tools and Applications,2018,77(1):597-629.
- [21] XU H,YANG Z,ZHOU Z,et al. Enhancing wifi-based localization with visual clues[C]// Proceedings of the 2015 ACM International Joint Conference on Pervasive and Ubiquitous Computing. ACM,2015:963-974.
- [22] CHON Y,LANE N D,LI F,et al. Automatically characterizing places with opportunistic crowdsensing using smartphones[C]// Proceedings of the 2012 ACM Conference on Ubiquitous Computing. ACM,2012:481-490.
- [23] DONG J,XIAO Y,NOREIKIS M,et al. iMoon:Using Smartphones for Image-based Indoor Navigation[C]// ACM Conference on Embedded Networked Sensor Systems. ACM,2015:85-97.
- [24] <https://mspg.azurewebsites.net>.
- [25] ROY Q,PERRAULT S T,DAVIS R C,et al. Follow-My-Lead: Intuitive Indoor Path Creation and Navigation Using Interactive Videos[C]// CHI Conference on Human Factors in Computing Systems. ACM,2017:5703-5715.
- [26] YIN Z,WU C,YANG Z,et al. Peer-to-peer indoor navigation using smartphones[J]. IEEE Journal on Selected Areas in Communications,2017,35(5):1141-1153.
- [27] SHU Y,SHIN K G,HE T,et al. Last-mile navigation using smartphones[C]// Proceedings of the 21st Annual International Conference on Mobile Computing and Networking. ACM,2015:512-524.
- [28] RICHERZHAGEN B,WULFHEIDE J,KOEPL H,et al. Enabling crowdsourced live event coverage with adaptive collaborative upload strategies[C]// World of Wireless, Mobile and Multimedia Networks. IEEE,2016:1-3.
- [29] WU Y,CAO G. VideoMec:a metadata-enhanced crowdsourcing system for mobile videos[C]// ACM/IEEE International Conference on Information Processing in Sensor Networks. IEEE,2017:143-154.
- [30] DAO T,ROYCHOWDHURY A K,MADHYASTHA H V,et al. Managing Redundant Content in Bandwidth Constrained Wireless Networks[J]. IEEE/ACM Transactions on Networking,2017,PP(99):1-16.
- [31] WU Y,WANG Y,HU W,et al. Resource-Aware Photo Crowdsourcing Through Disruption Tolerant Networks[C]// IEEE, International Conference on Distributed Computing Systems. IEEE,2016:374-383.
- [32] WU Y,WANG Y,HU W,et al. Smartphoto:a resource-aware crowdsourcing approach for image sensing with smartphones[J]. IEEE Transactions on Mobile Computing,2016,15(5):1249-1263.
- [33] WEINSBERG U,LI Q,TAFT N,et al. CARE:content aware redundancy elimination for challenged networks[C]// Proceedings of the 11th ACM Workshop on Hot Topics in Networks. ACM,2012:127-132.
- [34] MERGEL I. Distributed Democracy:SeeClickFix.Com for Crowdsourced Issue Reporting[J]. Ssrn Electronic Journal,2012.
- [35] LU Y,COLMENARES J A. Efficient Detection of Points of Interest from Georeferenced Visual Content[C]// Proceedings of the 6th ACM SIGSPATIAL Workshop on Analytics for Big Geospatial Data. ACM,2017:27-36.
- [36] LI Y,XUE F,FAN X,et al. Pedestrian walking safety system based on smartphone built-in sensors[J]. IET Communications,2018,12(6):751-758.
- [37] KIM S,ROBSON C,ZIMMERMAN T,et al. Creek watch:pairing usefulness and usability for successful citizen science[C]// Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems. ACM,2011:2125-2134.