

# 基于社会视频监控信息源的地震影响范围快速勾画\*

李东平, 陈海鹏, 张 凯, 刘倩倩

(浙江省地震局, 浙江 杭州 310013)

**摘要:** 广泛分布于城乡各地的社会视频监控是震后获取地震灾情的重要数据源。基于地震视频灾情判读系统, 对基于视频运动估计方法的主要技术原理和分析处理过程进行改进, 并将其应用于2017年浙江临安4.2级地震影响场快速评估中。结果表明: 利用该改进方法在震后4 h内得到了基于社会监控的烈度分布, 计算得到的最高烈度与现场实际调查相同, 等震线优势方向与现场工作结果一致, V度面积和现场工作结果接近。

**关键词:** 地震影响场; 视频监控; 地震应急; 场景深度估算

**中图分类号:** P315.941

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1000-0666(2019)02-0187-09

## 0 引言

破坏性地震发生后如何快速准确地了解灾情范围, 准确绘制地震影响范围分布图, 并在此基础上做出快速灾情评估, 从而及时组织震后救灾工作, 是当前防震减灾工作中一个亟待解决的科学问题。地震科技工作者一直努力研究地震烈度快速评估相关技术, 当前主要方法包括: 基于强震动观测台网获得仪器烈度分布图, 利用无人机、遥感技术进行烈度图的快速勾画或采用历史经验公式生成地震影响场(周洋等, 2017)。以上技术近年来取得了一定进展, 但在实际地震应急中效果不尽理想, 最直接的灾情获取手段仍有欠缺(李东平等, 2017)。

近年来, 随着信息和大数据等各类高新技术的飞速发展, 对信息采集传感器的需求不断增加, 作为典型的信息采集终端, 视频监控得以大量布设, 遍及城乡各处。海量的社会视频源可以真实记录地震发生时的状况, 通过技术处理还可以提取灾害空间分布情况。2015年9月, 国家发布了《促进大数据发展行动纲要》, 提出要“大力推动政府部门数据共享”; 2016年12月, 发布了《“十三五”国家信息化规划》, 将“推动信息跨部门跨层级共享共用”列入重点任务分工清单(刘艳, 2017)。此后各级政府多次发文推进和落实部门间

数据共享工作, 这些都为数字政府的实施和推广提供了强大推力, 政府数据共享作为改革的重要内容, 备受关注。由政府专业部门掌握的公共安全视频监控联网也是数据共享的重要内容之一。省级地震部门作为公益性政府部门, 也开始获取包括公共安全视频监控联网在内的大量社会视频源数据。

目前在青海、浙江、四川等省都有通过社会视频监控信息获取震后灾情分布的案例, 许多学者开展了基于视频监控的地震灾情获取和损失评估研究, 取得了一定的成果。夏旻等(2008)使用监控录像资料进行强地面运动参数估计, 并在汶川地震中初步应用; 田国伟等(2015)采用视频图像处理技术进行振动台试验、动态位移测量; 日本千叶商业大学通过研究震后人们在社交媒体上讨论的各种话题, 基于视频共享网站中的用户评论数据, 分析地震造成的破坏情况(Takako, Tesuji, 2013), 为地震灾情获取开拓了新思路。笔者在前人研究的基础上, 探索了基于规范建设的视频监控信息源, 利用模型算法提取震时的监控视频运动估计值, 以推断地震影响范围的方法。

## 1 基于场景深度估算地面强震动

### 1.1 前期的研究成果

笔者自2013年以来开展了基于社会视频源的

\* 收稿日期: 2019-03-14.

基金项目: 浙江省科技计划项目重点研发计划(2018C03045)。

地震影响场勾画方法研究,基于多次震例探索了震后在海量的社会视频监控信息源支持下,利用定性分析烈度经验矩阵,建立监控视频与地震烈度的相对关系,在视频监控中通过模型提取震害和烈度信息,建立了基于视频运动估计的地面强震动定量分析方法,目前利用该方法可计算出监控点的近似地震动峰值加速度值。基于该原理开发了地震视频灾情判读系统(图1),并应用于2014年浙江文成一泰顺4.2级地震、2017年浙江磐安3.5级地震

等应急处置工作(李东平等,2017)。

ASP是微软公司开发的代替CGI脚本程序的一种应用,它可以与数据库和其它程序进行交互,是一种简单、方便的编程工具。ASP是一种服务器端脚本编写环境,可以用来创建和运行动态网页或web应用程序,它包含HTML标记、普通文本、脚本命令以及COM组件等(胡秀源,2011),ASP的以上特点比较适合应急指挥中心的工作环境。地震视频灾情判读系统就是基于ASP开发的。

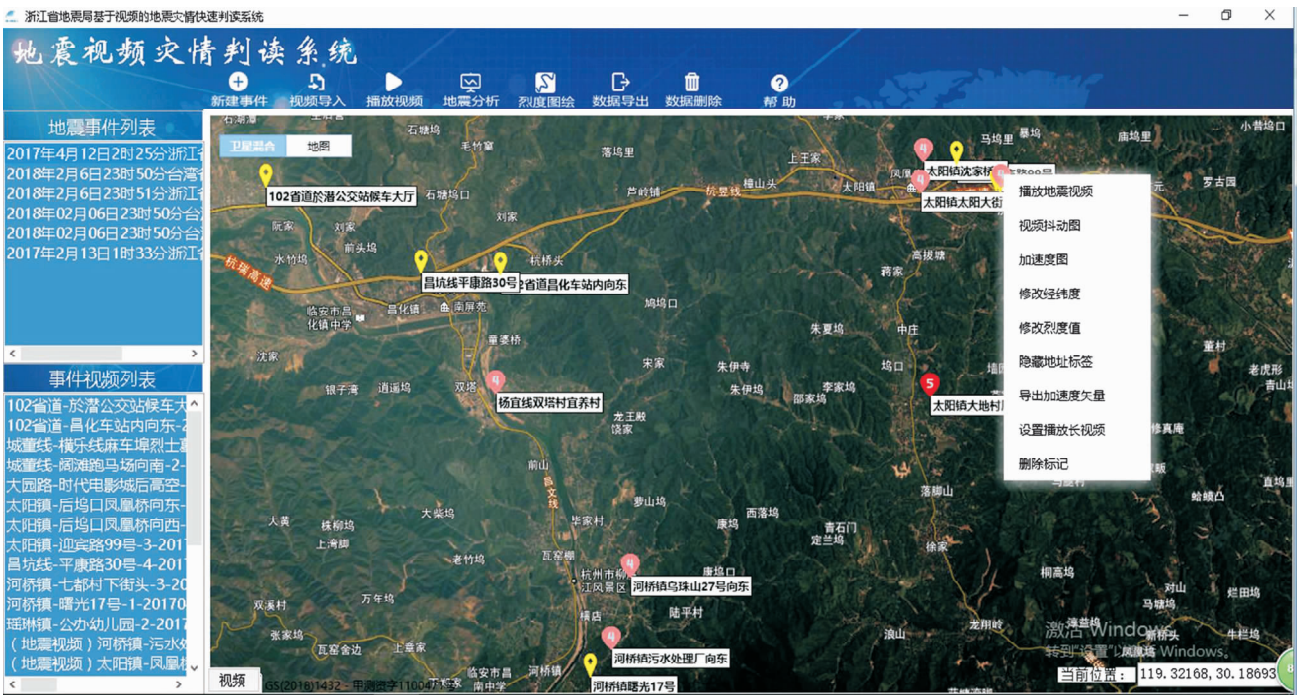


图1 地震视频灾情判读系统界面

Fig. 1 Interface of earthquake video disaster assessment system

## 1.2 基于视频运动估计方法的改进

在近年来的几次地震应急中,笔者及团队不断改进视频分析方法,总结了在不同烈度下的探头晃动和人员反应表现形式,并推导出地震烈度经验矩阵,进一步进行以视频运动估计的精确定量计算。但该方法只对高烈度区、图像抖动明显的监控点识别较好,而低烈度区监控点的计算值与实际差距较大。在对算法进行了部分优化,引入场景深度估计方法后,图像帧之间像素的运动距离和速度值计算准确性均有明显提高。

地震视频分析的步骤如下:①对地震视频逐帧进行分析,利用宏块分析法计算出相邻帧之间发生位移的宏块。②对帧间图像发生位移的宏块

进行统计,近而可以计算出地震视频中每一帧图像发生震动的像素个数。例如:导入的视频分辨率为 $320 \times 384$ 像素,每一帧图像共有 $20 \times 24$ 个 $16 \times 16$ 宏块。通过对地震发生时振动视频某帧图像进行运动计算分析,得出该帧图像的振动宏块为 $M$ 块,该帧图像发生震动的像素为 $M \times 16 \times 16$ 个。③计算地震视频片段所有图像帧中上述运动像素的运动矢量均值,并将其作为该视频地震烈度的参考值(常安琪,2015)

由于不同的地震视频具有不同的地震加速度和速度值,为此需要构建地震视频数据库。在该数据库中,每个地震视频样本均以预先通过地震设备得到的Ground Truth地震数据(烈度、速度和

加速度等)作为人工标注值。将具有相似烈度(比如某一范围内的烈度)的地震视频归为同一类,并通过支持向量机(Support Vector Machine,简称SVM)对不同烈度的地震视频样本进行学习,而输入的特征值即为该视频的运动矢量均值。利用训练好的SVM模型,对不同特征值输入的地震视频样本输出其烈度的预测。笔者及团队自2013年开始至今,已完成了1 000余个地震视频的建库工作。

通过地震视频计算地震的速度和加速度,需

要知道地震视频中不同像素点之间代表的真实距离值。由于不同监控摄像机架设的高度和俯仰角都不同,因此像素之间的真实距离难以准确获取,主要是因为:不同监控场景中任意2个像素点的距离所对应的真实世界中的距离都是不同的,并且随着距离监控相机光心的距离变化而变化,无法通过参考图像中的某些物体尺寸做等价距离推算。一种近似的解决方案是通过机器学习技术估计场景深度信息,而这可通过单幅图像深度估计算法获得。

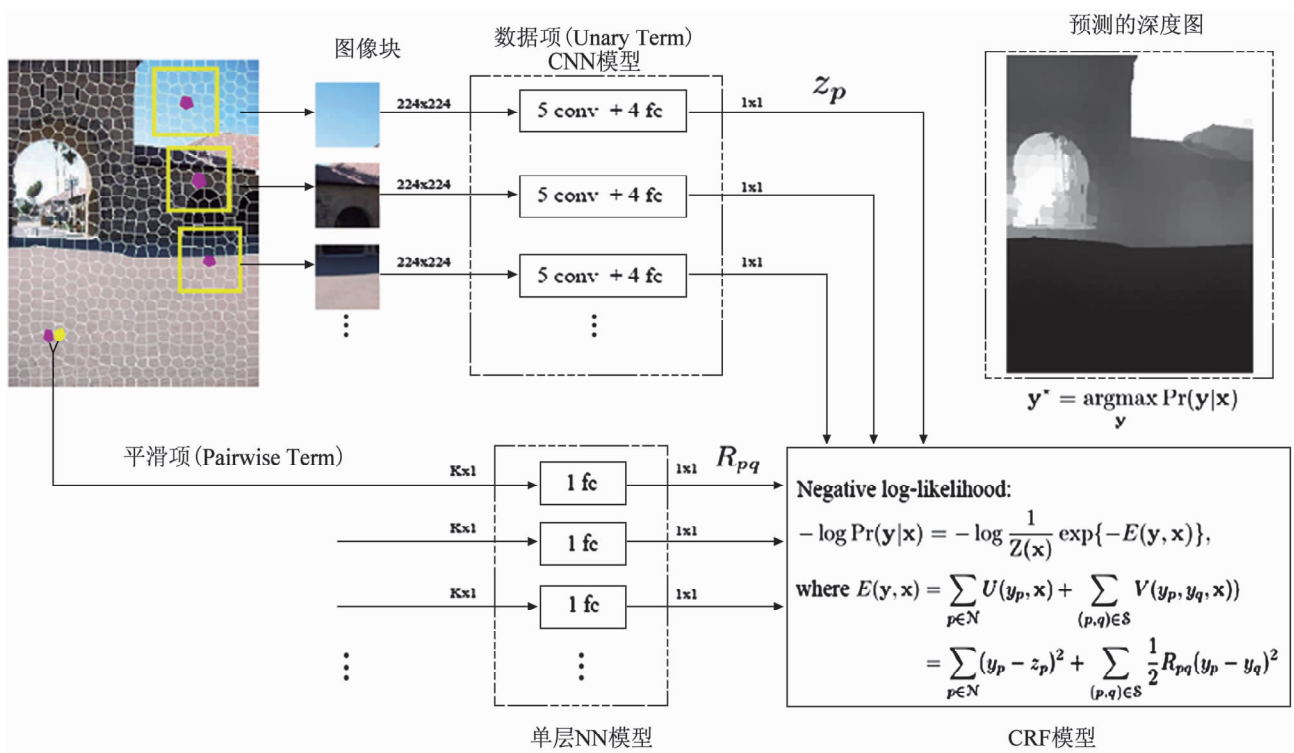


图2 场景深度估计算法

Fig. 2 Algorithm for the depth of evaluation scenarios

场景深度估计算法步骤如图2所示。首先,对地震视频中的每幅图像进行无监督分割操作以生成超像素(Superpixel)区域。再以每个超像素为中心,尺寸为 $224 \times 224$ 像素的矩形图像块作为输入,训练一个具有5个卷积层和4个全连接层(5conv+4fc)的卷积神经网络(Convolutional Neural Network,简称CNN),如图3所示。在5个卷积层中分别使用了 $11 \times 11$ 、 $5 \times 5$ 和 $3 \times 3$ 的卷积模板,并采用修正线性单元(Rectified Linear Units,简称ReLU)作为激活函数以及 $2 \times 2$ 的池化操作;在前2个全连接层中使用ReLU作为激活函数,第

3个全连接层使用 $f(x) = (1 + e^{-x})^{-1}$ 作为激活函数,而最后一个全连接层则没有使用。最终的神经网络输出为对应每个超像素的一维深度值(杨宇翔等,2015)。

对该CNN模型进行训练时,样本采用的是NYU v2 Kinect数据集和Make3D数据集,上述数据集不仅具有不同场景类别的图像样本,而且每个图像样本均有对应的采集自Kinect深度相机和激光雷达的真实距离数据。通过上述2个数据集训练得到的CNN模型,可输出每个超像素所对应的深度预测值 $Z_p$ 。

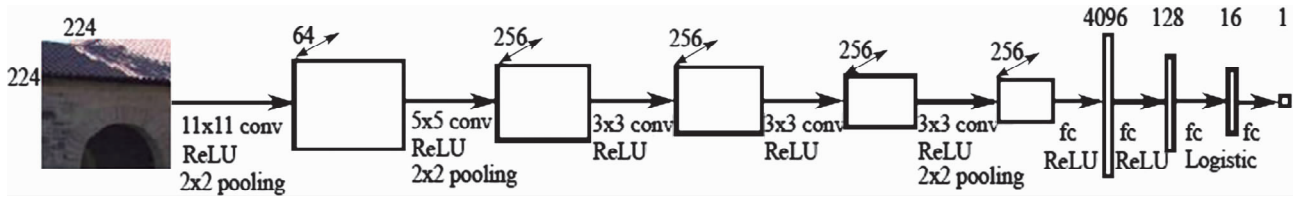


图3 CNN 模型结构

Fig. 3 CNN model framework

然而, 仅通过 CNN 模型推理得到的深度图通常存在相邻超像素的深度跳跃的情况。为了获取更为平滑而准确的深度图, 笔者采用了条件随机场 (Conditional Random Field, 简称 CRF) 模型, 通过最大后验概率 (Maximum A Posteriori, 简称 MAP) 估计最小化条件概率分布  $\Pr(y|x)$ :

$$\Pr(y|x) = \frac{1}{z(x)} \exp[-E(y, x)] \quad (1)$$

式中:  $z(x)$  是  $z$  以观察序列  $x$  为条件的概率归一化因子。将 CNN 模型输出的每个超像素的深度预测值  $Z_p$  作为数据项  $U(y_p, x)$  ( $x$  为超像素特征, 即超像素的深度值) 的核心部分。在构建平滑项  $U(y_p, y_q, x)$  时, 则通过一个具有全连接层

的单层神经网络模型训练多种不同类型的超像素相似度  $R_{pq}$ , 比如: 相邻超像素  $p$  和  $q$  颜色均值之差, 颜色直方图之差以及纹理特征值之差等。最后的能量函数  $E(y, x)$  定义为:

$$\begin{aligned} E(y, x) &= \sum_{p \in N} U(y_p, x) + \sum_{(p, q) \in \delta} V(y_p, y_q, x) \\ &= \sum_{p \in N} (y_p - z_p)^2 + \sum_{(p, q) \in \delta} R_{pq} (y_p - y_q)^2 \quad (2) \end{aligned}$$

最终经过 CRF 优化得到的场景深度估计结果如图 4 所示。在图 4a 和 4c 所对应的场景深度图 4b 和 4d 中, 像素对比度越弱的代表距离相机越近, 像素对比度越强则代表距离越远。

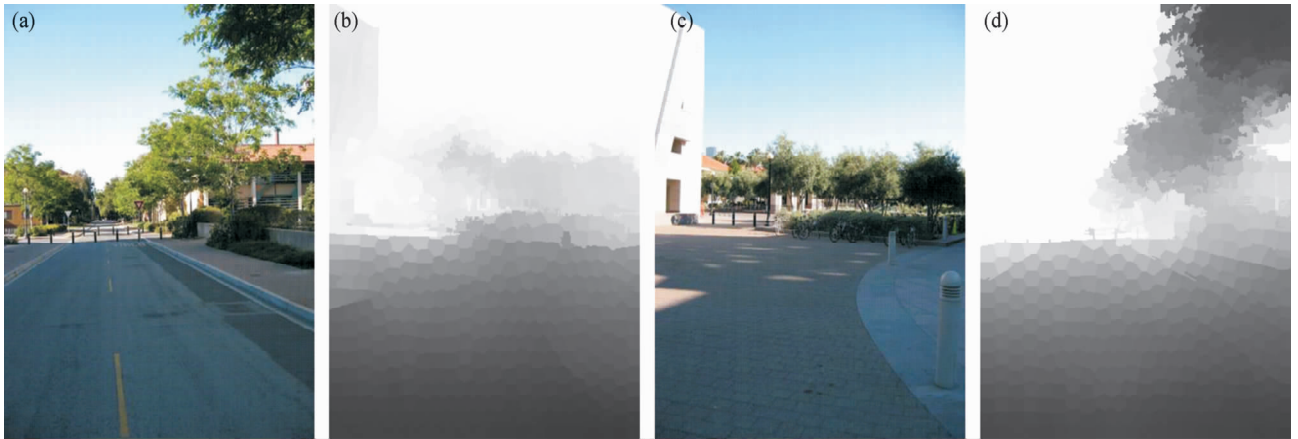


图4 基于 CNN 和 CRF 优化的场景深度估计

Fig. 4 The depth of evaluation scenarios based on CNN and CRF optimized

在得到场景深度图之后, 便可以估计所得到图像中像素之间所代表的大致真实距离。地震视频片段中每幅图像的地震速度和加速度均可由其运动矢量对应的真实运动距离分别计算得到。在地震视频片段中, 第  $N$  帧图像中每个运动像素的速度  $V^N$  可由其运动矢量  $MV$  所对应的真实距离  $D^N$  (即运动矢量起点像素和终点像素所对应的深度值

之差) 除以时间  $T$  (即  $1/F$ , 其中  $F$  为当前图像帧率) 计算得到:

$$V^N = D_i^N / T \quad (3)$$

地震视频的加速度  $a^N$  则是由相邻图像帧  $N$  和  $N+1$  之间的速度差除以时间  $T$  计算求得:

$$a^N = (V^N - V^{N+1}) / T \quad (4)$$

由于该模块需要逐帧计算场景深度,因而运算速度较为缓慢。针对基于运动矢量统计截取的地震视频中可能存在一些误检,比如夜间车辆的灯光以及白天的车辆移动等场景时常会因为存在较大的像素运动而被误检为地震。为此,我们加入一些处理方法将上述可能的误检场景剔除。

## 2 地震实例

### 2.1 地震概况

2017年4月12日2时25分,浙江省杭州市临安区发生4.2级地震,微观震中位于临安区河桥镇与潜川镇交界处的九龙坑(30.08°N, 119.34°E),震源深度15 km。震中附近区域震感强烈,部分房屋出现墙体裂缝、掉瓦等震害现象。地震发生后,浙江省地震局立即启动Ⅲ级应急响应。现场震害评估与科学考察组通过对25个调查点资料的综合分析,参考震源机制解和震中附近地震构造等资料,确定了此次地震的最高烈度为Ⅴ度,等震线呈椭圆形,长轴方向呈NE向,为7.4 km,短轴为3.8 km,Ⅴ度区总面积约22.6 km<sup>2</sup>,主要涉及到临安市潜川镇和於潜镇。

### 2.2 视频监控资料的选取及分析流程

地震发生后,浙江省地震应急指挥中心通过视频监控共享系统,在震后2 h内获取了震中附近发震时刻77个视频点位图像数据,通过对比摄像数据中人员反应、镜头晃动等情况,对烈度做了初步判定,并利用地震视频灾情判读系统对视频点的地面强震动进行了定量分析。震后4 h内得到了基于社会视频监控的烈度分布,计算得到的最高烈度与现场实际调查相同,等震线优势方向与现场工作结果一致,Ⅴ度区面积和现场工作结果接近。

工作流程如下:首先,浙江省地震应急指挥中心启动了快速评估系统,绘制了基于经验模型的地震影响场分布图(图5),在模型计算得出的Ⅳ度区及其以上区域进一步选取了监控探头。浙江区域的烈度衰减模型采用经过修正的经典模型(李东平,2011):

$$I_a = 3.701 + 1.019 \cdot M - 0.93 \cdot \ln(5 + D) \quad (5)$$

$$I_b = 3.469 + 0.968 \cdot M - 0.846 \cdot \ln(3 + D)$$

式中:  $D$  为震中距,  $M$  为震级。

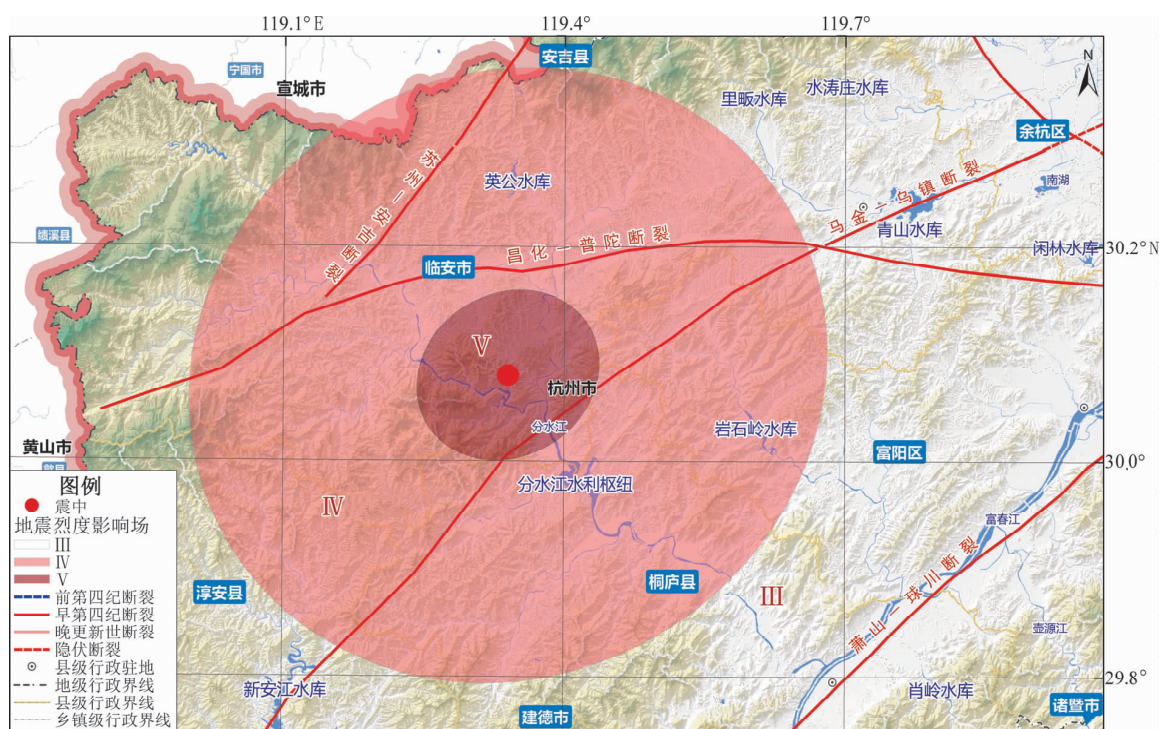


图5 基于经验模型绘制的地震影响场分布图

Fig. 5 Seismic influence field map based on empirical model

通过初步筛选,剔除了部分非高清视频和受干扰视频,选取了 49 个点位进行数据分析。个别摄像头处理结果和现场科考调查队得出的数据有一定差距,这是因为对比 2013 年以来的视频资源发现,每年的高清监控比例在不断增加,大量的高清探头替代了非高清探头(图 6),获取的数据质量也大幅度提高。从第一时间获取的视

频监控中,列出 20 个典型的摄像头,获取的资料包括标准的经纬度信息和视频分析得出的烈度加速度、现场调查烈度值(表 1)。由于在 V 度区范围内没有强震台,因此笔者采用的对比数据是现场调查数据。从表 1 可以看出视频分析加速度与现场调查烈度值有一定差距,但已经比较接近(图 7)。

表 1 视频分析加速度值与现场调查对比

Tab. 1 The comparison of video analysis acceleration value and actual survey

序号	$\varphi_N/ (^{\circ})$	$\lambda_E/ (^{\circ})$	地点	现场调查烈度	视频分析加速度/ $(\text{cm} \cdot \text{s}^{-2})$	备注
1	30.112 4	119.250 4	临安市河桥镇污水处理厂向东	IV	13.703	高清
2	30.185 0	119.321 2	临安市太阳镇凤凰桥加油站	IV	11.648	高清
3	30.230 0	119.689 1	临安市 205 省道太阳城南门公交站牌	III	6.825	高清
4	30.152 7	119.229 4	临安市杨宜线双塔村宜养村	IV	10.520	高清
5	30.152 3	119.308 2	临安市太阳镇大地村周家村向西	V	24.622	高清
6	30.044 7	119.167 2	临安市湍考线湍口村湍源路	IV	12.904	高清
7	30.047 3	119.386 1	临安市横乐线阔滩村安置小区	IV	16.016	高清
8	29.463 7	119.270 0	临安市大同 21019 省道阳光雅苑路口	III	11.956	标清
9	30.184 1	119.306 6	临安市太阳镇太阳大街 165 号	IV	7.940	高清
10	30.028 2	119.410 5	临安市潜川镇外伍 292 号	IV	11.389	高清
11	30.123 8	119.253 9	临安市河桥镇乌珠山 27 号向东	IV	14.126	高清
12	30.248 6	119.283 5	临安市太阳镇桃树岭村 55 号向南	IV	8.258	高清
13	30.018 8	119.276 4	临安市潜川镇林峰村雪山村向西	III	3.928	高清
14	30.189 0	119.307 1	临安市太阳镇沈家桥洞	IV	13.305	高清
15	29.934 0	119.312 5	桐庐县合村乡乡政府	III	7.127	高清
16	29.365 4	118.755 2	淳安县大墅镇大上线—关源岔路口东	II	1.587	高清
17	29.365 5	118.755 3	桐庐县瑶琳镇公办幼儿园	III	5.135	高清
18	29.858 7	119.128 3	淳安县临歧镇初级中学	III	4.511	高清
19	29.967 2	119.081 7	淳安县佑瑶线瑶山乡政府门口	III	6.254	高清
20	30.251 3	119.074 9	桐庐县合村漂流售票处	III	6.351	标清



(a) 太阳镇—桃树岭村 55 号向南



(b) 潜川镇—外伍 292 号



图6 部分摄像头监控截图

Fig. 6 Screenshots of part of social videos surveillance

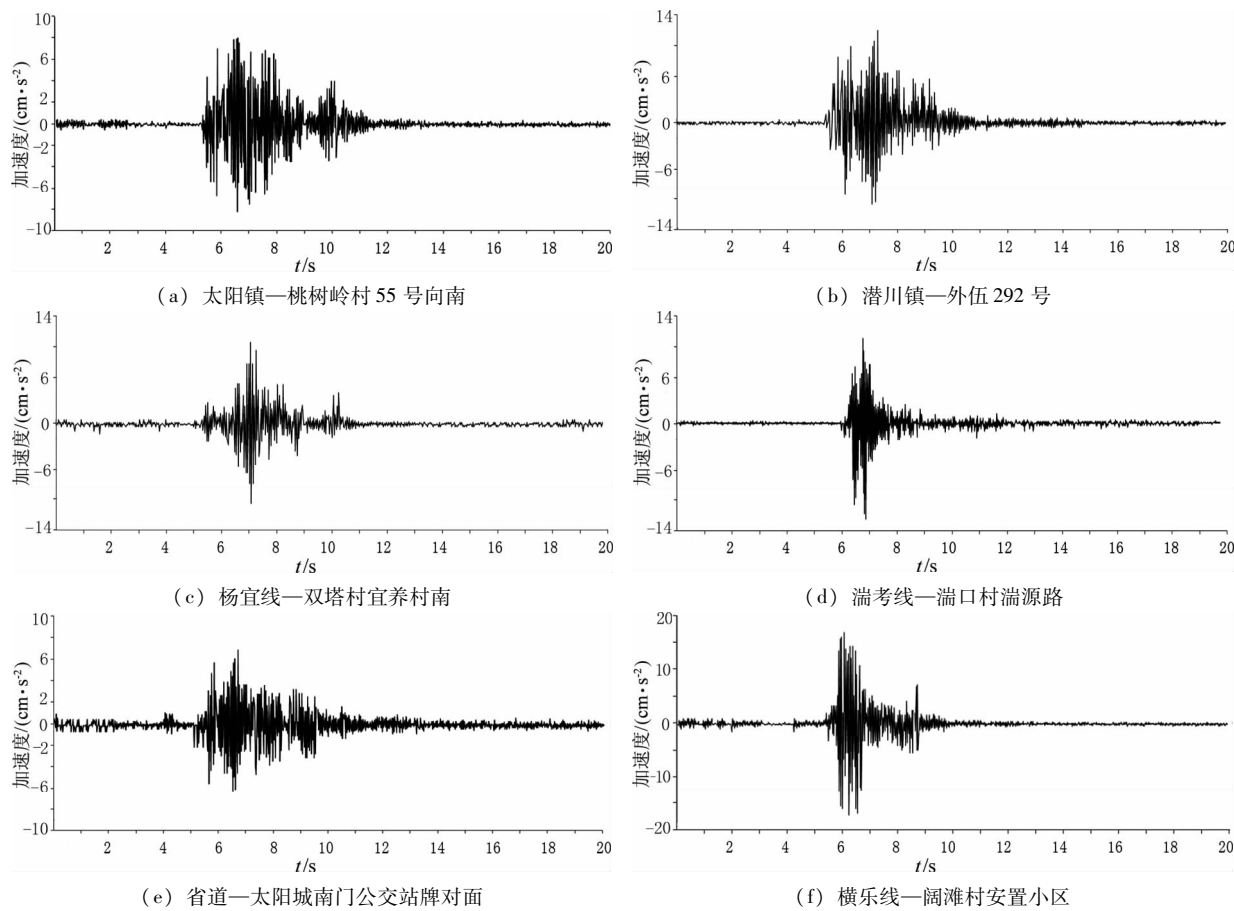


图7 摄像头监控视频处理波形

Fig. 7 Processing waveform of social video surveillance

### 2.3 软件分析结果对比和验证

第一时间获取的视频监控包含大量的非高清探头,丢帧现象普遍,在软件分析过程中,由于场景深度算法无法做到仪器分析精度,而且受场地条件的影响和安装附着物的影响,造成了分析结果与实际结果有一定的差距,分析处理结果仍不完善。在应急过程中,笔者及团队还获取了相当数量的互联网摄像头,但是这些摄像头的地理位置相对模糊,成像质量也不是很好,分析较为困难,所以在第一时间分析时并没有采用这些摄像头,只是在应急期结束后的总结过程中采用了部分这样的摄像头作为补充。

空间分析计算并未打包在软件中,由软件导出的数据在 ArcGIS 平台中完成,采用经验贝叶斯克里金法模拟震害分布。经验贝叶斯克里金法是

一种地学统计插值方法,可自动执行构建有效克里金模型过程中的较复杂的步骤,主要通过估计基础半变异函数来解释所引入的误差。考虑到半变异函数估算的不确定性,该方法相对其他克里金方法所预测的标准误差更小,可准确预测一般程度上不稳定的数据,对于样本点不丰富的情况也更准确(李晓军等,2014)。在插值过程中,为避免由于样本点分布不均匀造成的插值算法失真,更好地反映震害分布,在视频点位相对少的地区人为添加了少量经验点来完善插值图形。插值后 V 度区结果较现场科考结果偏大,但较好地反映出了影响场的优势方向,也与现场科考结果接近。震中以北由于交通条件所限,现场调查选点较少,但视频监控不受交通限制,因此较好地弥补了现场工作缺陷(图 8)。

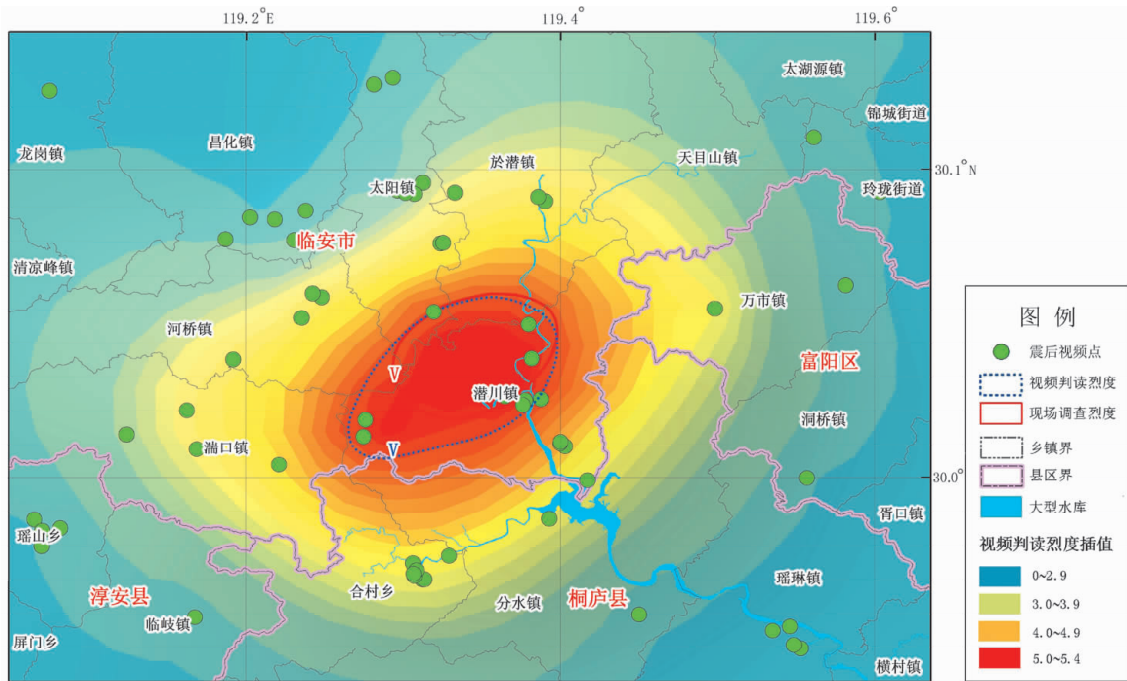


图 8 震后 4 小时视频烈度判读结果

Fig. 8 The result of video intensity interpretation after 4 hours of earthquake

## 3 结论与讨论

本研究基于社会视频监控信息源,初步实现了地震影响范围快速勾画,并以浙江临安 4.2 级地震为例,论述了主要技术原理和分析处理过程。多次地震实例证明利用社会视频监控信息源估算地面强震动并绘制地震影响场是

一种可行的技术方法,但目前仍存在诸多技术难题。首先视频处理过程中丢帧较为普遍,其次震后第一时间获取视频数据中存在相当多的非高清探头,这些非高清探头成像质量不高,对图像分析较困难,视频处理得出的结果和强地面震动台得出的数据有一定差距。未来,随着硬件成本的不断降低,大量的高清探头替代所非高清探头,同时视频处理技术也在飞速发

展,得到的数据也会越来越精确。

近年来,以数字化、网络化、智能化为特征的信息化浪潮蓬勃兴起,数据成为信息化的基础。国务院颁布的《促进大数据发展行动纲要》明确了大数据开放的路线图,指出要形成跨部门的数据资源共享格局,为政府数据开放提供了政策保障。政府部门通过网络通、系统通和数据通,实现政务信息资源的整合共享,推进政务信息系统一体化建设,省级单位已初步形成“一张网、一个中心、一朵云”的信息格局,政务数据共享将成为支撑决策指挥、城市管理、应急联动和运行管理的政务空间和智慧大脑。目前浙江、四川、青海等省的防震减灾部门也通过不同渠道共享到视频监控系统数据,社会视频监控信息源将成为防震减灾部门震后获取灾情的重要手段之一。

目前我们仍在建设地震视频资料库,在获取海量地震视频后,可以对不同场地条件和地震烈度的地震视频进行分类和学习,归纳规律并建成知识库。在实际地震应急时,基于地震视频知识库,通过机器学习和数据挖掘技术可以快速获取地震灾情信息。

## 参考文献:

- 常安琪. 2015. 基于内容的视频摘要生成关键技术研究[D]. 哈尔滨:哈尔滨工程大学.
- 胡秀源. 2011. 基于ASP技术的动态网站设计[J]. 制造业自动化. 33(3):204-206.
- 李东平,刘倩倩,龚俊. 2017. 基于海量视频监控的中小地震烈度快速判断方法尝试[J]. 地震研究,40(2):324-332.
- 李东平. 2011. 中小地震综合震害快速评估方法研究[R]. 杭州:浙江省地震局.
- 李晓军,李培楠,朱合华. 2014. 基于贝叶斯克里金的地下空间多源数据建模[J]. 同济大学学报(自然科学版),42(3):406-412.
- 刘艳. 2017. “十三五”国家信息化规划解读[EB/OL]. (2017-08-12) [2019-03-14]. <https://m.huanqiu.com/r/MV8wXzk5NDE3NTBfNDhMTQ4NDI3MTY5Mw=>.
- 田国伟,韩晓健,徐秀丽. 2011. 基于视频图像处理技术的振动台试验动态位移测量方法[J]. 世界地震工程,27(3):174-179.
- 夏旻,吴忠良,蒋长胜. 2008. 用监控录像资料估计强地面运动参数——汶川地震的两个试验[J]. 防灾减灾工程学报,28(4):536-539.
- 杨宇翔,高明煜,尹克. 2015. 结合同场景立体图对的高质量深度图像重建[J]. 中国图象图形学报,20(1):1-10.
- 周洋,明小娜,杨艳珠,等. 2017. 灾评新技术在云龙5.0级地震烈度调查中的应用[J]. 地震研究,40(1):161-166.
- Takako H, Tesuji K. 2013. Discovering emerging topic about the East Japan Great Earthquake in video sharing website[C]. Xi'an: Tencen IEEE Region 10 Conference.

## Seismic Influence Field Mapping Based on Social Video Surveillance Information Source

LI Dongping, CHEN Haipeng, ZHANG Kai, LIU Qianqian  
(Zhejiang Earthquake Agency, Hangzhou 310013, Zhejiang, China)

### Abstract

Social video surveillance widely distributed in urban and rural areas, is an important data source for post-earthquake disaster acquisition. Based on seismic video disaster interpretation system, we improved the main technical principle and analysis processing process of video motion estimation method, and applied it to the rapid evaluation of seismic influence field of Lin'an M4.2 earthquake in Zhejiang. The results show that the intensity distribution based on social monitoring is obtained within 4 hours after the earthquake by using the improved method. The maximum calculated intensity is the same as that in the field investigation. The dominant direction of isoseismal line is consistent with that of field work, and the area of V degree is close to that of field work.

**Keywords:** seismic influence field; video surveillance; earthquake emergency; scene depth estimation