

# 灾后道路可用性监测系统设计

孙旭光<sup>a</sup>, 李 玥<sup>b</sup>, 孙晓玲<sup>a</sup>, 杨秋格<sup>a</sup>

(防灾科技学院 a. 灾害信息工程系; b. 图书馆, 河北 三河 065201)

**摘 要:** 地震灾后道路随时可能因余震再次塌方堵塞, 需要实时监测其可用性。为此, 提出一种灾后道路可用性监测系统。利用传感器覆盖半径、系统覆盖期望和冗余度对节点进行布置, 并根据其传输特点设计路由的建立、转发和维护算法, 给出多传感器信息综合的事件判断算法和图像采集方式。实验结果表明, 当事件发生时, 该系统能及时收到警报和图像信息。

**关键词:** 无线传感器网络; 道路监测; 节点布置; 路由算法

## Design of Post-disaster Road Available Monitoring System

SUN Xu-guang<sup>a</sup>, LI Yue<sup>b</sup>, SUN Xiao-ling<sup>a</sup>, YANG Qiu-ge<sup>a</sup>

(a. Department of Disaster Information Engineering; b. Library, Institute of Disaster Prevention, Sanhe 065201, China)

**【Abstract】** After the earthquake, roads are subject to be blocked by landslides caused by aftershocks. To solve the problem of real-time monitoring of transport lifeline systems, the post-disaster road available monitoring system solution is put forward. Sensors selection and node configurations, node arrangement method, routing algorithm, multi-sensor information integrated algorithm, and image collection mode are discussed. Node arrangement is calculated by sensor coverage radius, expectations of the system coverage and system redundancy. In routing setup, the forwarding and maintenance algorithms are designed according to node arrangement and transmission characteristics. Experimental results show that the system can receive an alert and the image information in time when the event occurs.

**【Key words】** Wireless Sensor Network(WSN); road monitoring; node arrangement; routing algorithm

DOI: 10.3969/j.issn.1000-3428.2012.04.095

### 1 概述

地震灾后道路毁损, 交通和通信中断, 导致救援人力物资不能在第一时间抵达灾区实施救援。为获得道路损坏的程度, 需要一个能实时监测获取道路情况的系统。汶川地震后, 为探明道路的可用性, 救援部门派出徒步小分队和摩托化小分队分几路开进灾区, 探索道路的可用性<sup>[1]</sup>。遥感技术可以帮助快速获取灾区信息<sup>[2-3]</sup>, 但卫星遥感由于受云层遮挡等影响, 只能在宏观上反映灾情, 分辨率不高, 不能精确地反映地面情况。航空遥感的分辨率较高, 并且能大范围获取影像, 可以人为控制进行有针对性的航拍。但在汶川地震中, 气候条件非常恶劣, 飞机起降困难, 很难完成航拍任务。最主要的问题是, 无论采用人力现场考察还是航空遥感技术, 都只能获得考察时刻的一组数据, 无法获取实时的动态数据。而地震之后余震不断, 沿山公路随时都有泥沙石块滚落, 道路也随时都有再次塌方和堵塞的可能。因此, 有必要对道路进行监测, 实时报告指挥中心该道路是否可用, 如果有新山体滑坡导致的路障, 方便指挥中心安排清理路障的工程机械去作业, 以帮助救援工作的顺利开展。为此, 本文研究无线传感器网络(Wireless Sensor Network, WSN), 提出一种灾后道路可用性监测系统的设计方案。

### 2 系统解决方案

本文提出的系统解决方案考虑了以下方面: 传感器的选型及节点的配置, 节点的布置方法, 路由算法, 多传感器信息综合的事件判断算法, 图像的采集方式。

#### 2.1 传感器选型及节点配置

灾后道路可用性监测系统主要监测地震、山体滑坡是否导致道路不可用, 而地震、山体滑坡会从地震动、声音、图

像等方面扰动周围环境, 因此, 系统将地震动传感器、声音传感器、图像传感器 3 种传感器组成探测模块嵌入节点中, 以监测道路周围环境变化。系统判断道路是否产生路障是通过对地震动传感器和声音传感器的信息综合来判断, 一旦系统判断有事件发生, 向相关节点发送传输图像请求, 并向指挥中心发送警告信息。

系统中节点分为 2 类: (1)普通节点, 每个普通节点带有一个由 3 种传感器组成的探测模块; (2)网关节点, 网关节点的计算能力和能量都较高, 但不携带探测模块, 主要负责数据处理和转发<sup>[4-5]</sup>。网关节点收集普通节点发送来的信息, 综合判断是否有事件发生, 如果有事件发生, 向普通节点发送图像传送请求; 系统中所有的网关节点组成骨干网, 将普通节点采集的数据转发给基站。

#### 2.2 节点布置

由于道路为线性, 因此监测道路情况的节点也呈线性布置。节点预先编号, 布置时普通节点的节点号按照靠近网关节点的距离由低到高布置, 节点号低的节点靠近网关节点, 否则远离网关节点。根据节点的编号可以确定节点的位置, 这样大大降低了节点定位的复杂性; 更重要的是节点的有序排列也为路由算法提供了便利。

节点的布置间距与系统对覆盖漏洞和可靠性的期望有

**基金项目:** 中国地震局教师科研基金资助项目(20100116); 防灾减灾青年科技基金资助项目(200910)

**作者简介:** 孙旭光(1978—), 女, 副教授、博士研究生, 主研方向: 无线传感器网络, 移动对象数据库技术; 李 玥、孙晓玲、杨秋格, 助教、硕士

**收稿日期:** 2011-08-16 **E-mail:** sd\_xgsun@163.com

关, 研究从传感器的覆盖范围和节点布置的冗余度 2 个方面来共同确定节点的布置间距。

2.2.1 覆盖

传感器的覆盖包括对目标区域的感知覆盖和连通覆盖。

(1)感知覆盖

假设地震动传感器感知半径为  $R_s$ , 声音传感器感知半径为  $R_w$ , 那么节点的感知半径  $R_p = \min(R_s, R_w)$ 。传感器的感知覆盖模型为圆盘模型<sup>[6-7]</sup>。假设被监测的道路宽度为  $L_R$ , 如果传感器的感知半径  $R_p$  大于道路宽度  $L_R$ , 如图 1 所示, 则传感器节点只需要沿道路的一侧布置。如果传感器的感知半径  $R_p$  小于道路宽度  $L_R$ , 则需要在该道路的两侧布置传感器节点, 每一侧的传感器感知覆盖  $L_R/2$  宽度的道路。总之, 保证传感器节点感知半径大于它所监测的道路宽度。

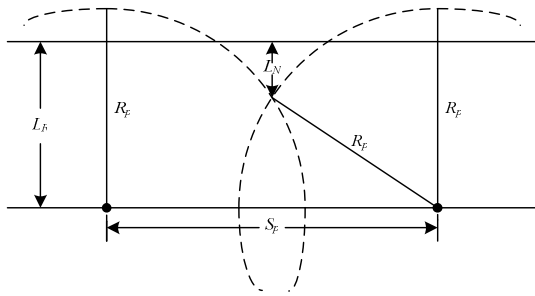


图 1 传感器节点感知覆盖示意图

传感器节点在监测道路时如果有节点未覆盖到的区域, 称为覆盖漏洞。在灾后道路可用性监测系统中, 如果允许的覆盖漏洞最大宽度为  $L_N$ , 如图 1 所示, 则为达到系统所要求的感知覆盖, 节点布置时 2 个节点间的最大距离  $S_p$  必须不得超过以下数值:

$$S_p = 2\sqrt{R_p^2 - (L_R - L_N)^2} \quad (1)$$

(2)连通覆盖

假设节点间的通信半径为  $R_c$ , 那么完成监测目标的连通覆盖节点间的最大距离  $S_c$  为:

$$S_c = R_c \quad (2)$$

综合考虑感知覆盖和连通覆盖, 要完成监测目标的覆盖, 节点间的最大距离  $S_{max} = \min(S_p, S_c)$ 。假设被监测道路长度为  $D_R$ , 那么完成监测目标的覆盖需要布置的传感器节点数目最少为  $N_{min} = D_R/S_{max}$ 。

2.2.2 冗余

考虑到传感器节点布置到环境后可能因不可控的原因失效, 如果节点布置时使用最少数目的传感器节点来完成目标覆盖, 其中一个传感器节点失效, 被监测道路将会出现超过允许范围的覆盖漏洞。因此, 在布设传感器节点时, 考虑采用冗余布设。本项目综合考虑成本和性能等因素, 采用两倍冗余布设, 即完成目标覆盖需使用的最少传感器节点数目为  $N_{min}$ , 则两倍冗余布设使用  $2N_{min}$  个节点, 这样 2 个传感器节点间的距离  $S = S_{max}/2$ 。

在使用最少数目传感器节点完成布设时, 系统中只要一个节点失效, 将出现覆盖漏洞; 而在 2 倍冗余布设时, 只有当相邻的 2 个节点同时失效, 系统才能出现覆盖漏洞, 因此系统出现覆盖漏洞的概率大大降低。

综合考虑上文所述的系统覆盖和冗余度, 节点布置的间距  $S$  的计算公式为:

$$S = S_{max}/2 = \min(S_p, S_c)/2 \quad (3)$$

如果  $S_p < S_c$ , 由式(1)、式(3)知, 节点布置的间距  $S$  为:

$$S = S_p/2 = \sqrt{R_p^2 - (L_R - L_N)^2} \quad (4)$$

如果  $S_p > S_c$ , 由式(2)、式(3)知, 节点布置的间距  $S$  为:

$$S = S_c/2 = R_c/2 \quad (5)$$

因此, 本系统中节点的布置间距  $S$  是根据传感器的感知半径  $R_p$ 、节点的通信半径  $R_c$ 、系统监测的道路宽度  $L_R$ 、系统允许的最大监测漏洞  $L_N$  由式(4)和式(5)计算得出。

2.3 路由算法

在节点通信半径内选择离目标节点最近的节点作为下一跳节点完成数据转发。选择下一跳节点的算法为: 已知节点距离为  $S$ , 节点的通信半径为  $R_c$ , 假设目标节点为网关, 下一跳节点是该节点通向网关节点方向的第  $N_c$  个节点,  $N_c = \text{div}(R_c, S)$ , 即下一跳节点号等于当前节点号减去  $N_c$  的值。

如果普通节点向网关发送数据, 位于网关节点周围半径在  $R_c$  范围内的节点向网关节点发送信息, 收到网关节点回复信息的节点为“一跳直达网关”节点, 标记为  $C$  节点, 其余节点标记为  $M_c$  节点; 反之, 如果网关向普通节点发送数据, 网关节点发送广播信息, 收到该广播信息的节点在网关节点一跳范围内, 该部分节点为“网关直达”节点, 标记为  $D$  节点, 其余节点标记为  $M_d$  节点。

节点的路由表建立算法如下:

RoutingTable\_Generated (节点号,  $N_c$ )

```

{ If C 节点
    目标节点为网关的 next-route=网关节点;
Else
    目标节点为网关的 next-route=节点号- $N_c$ ;
If 网关节点
    目标节点为普通节点的 next-route=Max(id(D 节点));
Else
    目标节点为普通节点的 next-route=节点号+ $N_c$ ;
}
    
```

节点的路由转发算法如下:

Forward\_Routing()

```

{ If 目标节点=网关节点
    { 查找路由表;
        While (next-route <> 节点号)
            { 转发包给 next-route;
                If 收到回复信息
                    { 删掉该数据;
                        return 1; } //跳出循环, 返回成功发送
//数据的标志“1”
                Else
                    next-route++; }
            }
Else //目标节点=普通节点
    { 查找路由表;
        While (next-route <> 节点号)
            { While (next-route > 目标节点节点号)
                next-route--;
                转发包给 next-route;
                If 收到回复信息
                    { 删掉该数据;
                        return 1; } //返回成功发送数据的标志“1”
                Else
                    next-route--; } }
            }
}
    
```

路由维护算法如下:

Routing\_Change ()

```

{ 查看路由表;
    
```

```

While(目标节点为网关的 next-route 节点
      in {失效节点列表})
    && (next-route <> 节点号)
    目标节点为网关的 next-route =next-route+1;
While(目标节点为普通节点的 next-route 节点
      in {失效节点列表})
    && (next-route<>节点号)
    目标节点为普通节点的 next-route=next-route-1;
}

```

#### 2.4 多传感器信息综合的事件判断算法

普通节点采集地震动信息和声音信息,但并不将采集的所有数据都转发给网关节点,普通节点中内置了地震动数据和声音数据的阈值,只有当采集到的地震动数据和声音数据同时达到阈值时才将数据发送给网关节点。

网关节点在很短的时间内接收到连续2个以上节点的数据时,才能判断事件发生,即有余震、山体滑坡或滚石导致路障。网关节点向基站发出警报,同时向地震动数据最大的节点发送图像传输请求。

#### 2.5 图像的采集方式

由于图像传输需要消耗太多能量,因此图像平时不传输,以节约能量。只有在地震动数据和声音数据达到一定阈值,网关节点对信息进行综合判断确认有事件发生时,才向地震动最强的节点发送图像传送请求。节点在接到请求后采集其所在位置的路况图像,发送至网关节点。由于路障未必会发生在摄像头的正前方,因此采集到的图像未必能反应路况全貌,仅作为路况性能指标的一个参考。指挥中心收到基站发送来的警报后,可查看路况的图像信息。如果图像信息与地震动和声音信息不匹配,即地震动和声音信息综合判断有路障产生,而图像信息未反应出路障情况,在天气允许的情况下,指挥中心可以利用遥感技术或者直升飞机察看进一步确定路障有多大,是否需要安排清理路障的工程机械去作业。如果图像信息反应了路障情况,指挥中心可立刻做出适当决策,及时保证救援生命线工程畅通。

### 3 系统特点

本文提出的用于灾后道路可用性监测的系统具有如下优点:(1)系统中采用了多种传感器,提高了探测的信噪比和性能指标;(2)系统中传感器网络的高冗余的设计原则,增强了系统的容错能力;(3)系统中节点编号有序排列,降低了系统节点定位的复杂性,为系统设计高效路由算法提供了前提和保证;(4)路由算法针对节点的布置和传输特点设计,比通用路由协议更高效;(5)平时普通节点采集地震动信息和声音信息并不传送,只有当地震动数据和声音数据同时超过阈值时才将其传送到网关节点,因此降低了能耗,减少了网络中无效的数据流量,提高了系统对事件的响应速度;(6)图像占用较多的带宽和能量,在本文系统中,图像不是实时传送,只在需要时由系统发出请求后采集传送,因此,能在一定程度上降低了系统能耗,延长了系统生存期。

### 4 实验与结果分析

本文对设计方案在简单实验环境中进行了验证。实验选取24个普通节点、2个网关节点和1个基站。将24个普通节点按解决方案中的节点布置方法布置在实验桌面上,路由

算法事先烧录在节点中,以物体对桌面的冲击模拟路障对路面的冲击。实验环境如图2所示。

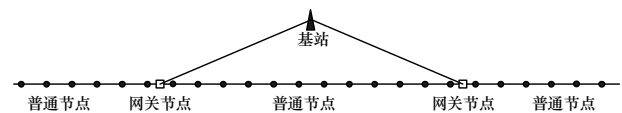


图2 实验环境

实验测试了10次,每次对桌面冲击的位置是随机的,基站收到警报时间和基站收到节点采集的图像信息时间结果如表1所示。基站收到系统发送警报的平均时间是7s,基站收到节点采集的图像信息的平均时间是19s。

表1 基站收到警报和图像所用时间

实验次数	基站收到警报所用时间/s	基站收到图像所用时间/s
1	6.8	19.4
2	9.4	25.6
3	5.1	13.7
4	7.7	19.8
5	12.9	28.5
6	2.6	7.7
7	8.3	22.0
8	10.1	26.5
9	4.8	13.3
10	5.4	16.1

### 5 结束语

本文提出一种灾后道路可用性监测系统。该系统不仅可以用于地震灾后道路可用性监测,也可以布置在沿山公路的泥石流多发地段,用于长期监测公路状况,给交通部门及时提供信息。下一步将在具体的环境中根据传感器的灵敏度和路障对地面冲击力大小通过多次实验来确定传感器的感知半径;同时,因为地震波和声音传感器在其感知半径内的感知能力并不是均匀分布,而是随着距离的增大而降低,所以阈值的设定也必须考虑这个因素,这也是下一步的研究方向。

#### 参考文献

- [1] 地震救援情况关注: 首支救援部队进入汶川县城[EB/OL]. (2008-05-13). <http://news.cnfol.com/080513/1011277414114100.shtml>.
- [2] 陈文凯, 何少林, 张景发, 等. 利用遥感技术提取震害信息方法的研究进展[J]. 西北地震学报, 2008, 30(1): 88-93.
- [3] 朱创鑫. 遥感技术在地质灾害调查中的应用——以民和地区为例[D]. 武汉: 中国地质大学, 2008.
- [4] Xu Kenan, Hassanein H, Takahara G, et al. Relay Node Deployment Strategies in Heterogeneous Wireless Sensor Networks[J]. IEEE Transactions on Mobile Computing, 2010, 9(2): 145-159.
- [5] 齐迎迎, 禹继国, 王楠楠. 无线传感器网络的节能分布式分簇算法[J]. 计算机工程, 2011, 37(3): 83-86.
- [6] Zhang Honghai, Hou Jennifer C. Maintaining Sensing Coverage and Connectivity in Large Sensor Networks[J]. Journal of Ad Hoc and Sensor Wireless Networks, 2005, 1(1/2): 89-124.
- [7] Ye Fan, Gary Z, Jesse C, et al. Peas: A Robust Energy Conserving Protocols for Long-lived Sensor Networks[C]//Proc. of ICDCS'03. Washington D. C., USA: IEEE Computer Society, 2003: 28-37.

编辑 金胡考