

基于DTN的地震应急通信路由协议的研究

薛莉思, 张 杰, 杜 江

(成都信息工程大学 通信工程学院, 四川 成都 610225)

摘 要:四川省作为中国地震多发省之一,拥有多山地、丘陵、高原的复杂地势特点。大地震发生后,地震灾区的电力、通信设施以及交通环境都将遭受到巨大的损害,这时的地震应急通信网络呈现出DTN网络的特性。如何针对四川特殊的地势情况选择适宜的路由协议以保证地震后应急通信的质量,将对灾后的指挥、救援起到至关重要的作用。对地震应急通信系统的通信需求进行了分类,以雅安大地震为例,针对四川特殊的地形,建立不同的地震应急通信环境模型并结合模型用ONE等相关软件对多副本路由协议进行仿真。筛选出最适宜四川地形的路由协议,并通过分析不同情况下路由协议对通信传输质量的影响,得出地震后的救援部署策略的相关参考。

关键词:延迟容忍网络;应急通信;路由协议;路由算法

中图分类号:TP393

文献标识码:A

文章编号:1673-629X(2017)02-0182-05

doi:10.3969/j.issn.1673-629X.2017.02.042

Research on DTN-based Routing Protocol of Earthquake Emergency Communication

XUE Li-si, ZHANG Jie, DU Jiang

(Dept. of Communication Engineering, Chengdu University of Information Technology,
Chengdu 610225, China)

Abstract: Sichuan is one of Chinese earthquake-prone provinces, which has the complex topography including lots of mountains, hills and highlands. After the earthquake, the electric power, communications facilities and traffic environment of earthquake-stricken areas have suffered great damage where the earthquake emergency communication exhibit the characters alike DTN. And it's important for commanding and relief work after the disaster to choose the appropriate kind of routing protocol, aiming at the special landform of Sichuan Province, to guarantee the quality of earthquake emergency communication. The communication needs of earthquake emergency communication system are classified and different communication environment models of earthquake emergency communication, applying to Ya'an as an example, are built. Then the routing protocols which is optimum for Sichuan Province's special terrain are simulated and selected by the tools such as ONE. Besides, the DTN's routing protocols' influence is analyzed on the communication qualities in different circumstances based on the different communication environment models, making contributions to the references of relief deployment strategies.

Key words: delay tolerant network; emergency communication; routing protocol; routing algorithm

0 引 言

地震是人类无法避免的自然灾害,而地震后如何有效快速地减轻地震造成的人员伤害、经济损失及相关恶劣影响成为了相关科学工作者们学习研究的重点内容。中国作为多条地震带经过的国家,大陆地震几乎占了全世界大陆地震总量的三分之一,由地震灾害带来的人员伤亡几乎是其他国家地震伤亡的总合。

四川位于中国的西南部,位于中国南北地震带中段,是中国地震多发省区之一。根据对全国 $M \geq 6$ 级地震次数的统计,四川的地震活动居全国第五。相关资料显示,仅在1900年-1990年间,四川境内就发生里氏5级以上有破坏的地震174次,平均每年发生5级地震2次,每10年发生7级地震1次^[1]。而四川省的地形十分多样化,包含了山地、丘陵、高原、平原等多种地形,

收稿日期:2015-06-15

修回日期:2015-11-16

网络出版时间:2017-01-10

基金项目:四川省科技创新研发专项-科技支撑计划(2014RZ0017)

作者简介:薛莉思(1989-),女,硕士研究生,研究方向为通信与信息系统;张 杰,副教授,硕士研究生导师,研究方向为嵌入式系统应用和图像多媒体通信;杜 江,副教授,博士后,硕士研究生导师,研究方向为无线通信技术与应用。

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/61.1450.TP.20170110.1010.030.html>

且平原面积不足 1/10, 这样的地形特点为地震的应急救援带来了诸多挑战。

如何在地形复杂的四川地域可靠快速地获得地震现场的灾后情况, 成为救援的先决条件以及重中之重。例如雅安大地震发生后, 现有的通信基础设施、当地的电力系统等等都受到了不同程度的破坏, 甚至造成通信系统的大瘫痪, 此时现场救援人员所能快速搭建起的自组织网络很多情况都呈现 DTN 网络^[2]的特性。而路由协议作为 DTN 网络的研究重点, 它的有效性和可靠性很大程度上影响了地震应急救援的实时性和有效性。所以针对四川多山地多丘陵的地形特点, 以雅安地震为例, 基于 DTN 网络建立地震应急通信模型, 研究不同因素对路由协议作用于地震应急通信网络的通信质量的影响, 筛选出最适用的通信协议并给相关的救援策略提供参考。

1 地震应急通信系统

1.1 组织结构

地震应急通信系统主要包含地震现场指挥所、地震现场救援队以及地震后方应急指挥中心之间的有关通信。

其中, 地震现场指挥所负责完成对现场第一手信息的接收、分析, 以及作为通信中继将这些灾区信息传递给后方应急指挥中心。地震现场救援队负责深入地震灾区现场, 对灾民进行解救、援助, 并收集灾区的人员伤亡情况、灾后房屋道路的损毁情况等信息回送给现场指挥所。地震后方应急指挥负责整合各种灾后信息, 分析并迅速制作救援方案并下放到地震现场, 同时也负责与当地政府和武警等相关部门进行联络, 做到同步管理、救援, 以快速高效地减小灾后损失和人员伤亡。

1.2 需求分析

地震应急通信包含很多方面, 按照地震的组织结构和相应的通信需求分为三类, 如图 1 所示。

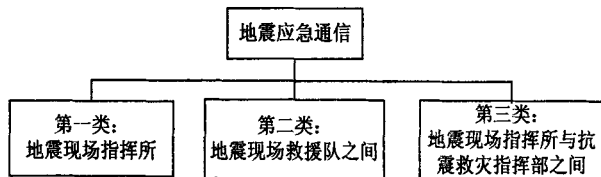


图 1 地震应急通信的组织结构

第一类和第三类的通信环境较为良好、稳定, 而第二类的通信情况较为复杂, 且通信环境、基础较为恶劣。第二类—地震现场救援队之间的通信在震后的黄金救援时间中往往是最为关键的, 保证该类通信间传输的有效和可靠尤为重要。因此文中主要针对第二类的通信状况进行分析。

2 DTN 网络及其路由协议

不同于传统的自组织网络(无线传感网^[3]、AdHoc 网络^[4]、无线 MESH 网络^[5]等), DTN 网络不需要在源节点和目标节点之间存在完整的端对端链路, 而是利用节点移动带来的相遇机会实现通信的时延和间歇连接可容忍的自组织网络^[6-7]。此网络路由具有“存储-携带-转发”^[8]的特点。

在地震无线应急通信网络中不可避免会遇到节点有限的传输半径、稀疏的分布、有限的能源以及频繁的移动等情形, 此时网络呈现 DTN^[9]的特性。

DTN 网络的研究核心就是路由协议, 针对其路由协议, 研究人员已经从多角度进行了各种分类。由于在地震灾区的救援中, 救援人员常会分成几组, 移动的速度较慢, 通信环境较差、较不稳定。而基于副本的路由协议作为最常用的机会路由协议, 能很好地适应这种通信环境, 所以文中主要对基于副本的路由协议进行研究。它的基本思想是在网络中注入一个或者多个消息副本, 依靠节点的移动性由源节点开始, 向目的节点分发报文。

2.1 单副本路由协议

单副本路由协议, 顾名思义在网络中只有一份原始报文在节点之间流动。而 DTN 网络的单副本路由协议主要包括 Direct delivery 和 First contact。由于以上两种路由协议都对网络拓扑结构的变化有很高要求, 所以在地震通信环境恶劣的情况下, 其报文递交率会相当低, 所以单副本路由协议不适于地震应急通信。

2.2 多副本路由协议

多副本路由有很多路由协议, 主要包含基础的 Epidemic 路由算法、SprayAndWait 路由算法以及 Prophet 路由算法。

Epidemic 路由协议的算法从本质上讲是一种洪泛路由算法。Epidemic 算法^[10-11]的基本思想是当两个节点相遇时, 进行数据包的对比检查, 然后与对方交换自己没有的数据包。理论上来说, 经过足够的交换次数后, 每个非孤立的节点将收到所有的数据包, 从而实现数据包在节点中的传输。

在网络中, 每个节点都会维护一个摘要矢量 SV, 用以判断、交换两个节点互相缺失的信息。如节点 X、Y 相遇之后, 发生 SV 矢量的比对。其中节点 Y 收到节点 X 的 SV_x 后, 与自身的 SV_y 进行对比, 计算方式如式(1)。

$$\text{Request}_x = \text{SV}_x \& \sim \text{SV}_y \quad (1)$$

计算后节点 Y 得到 Request_x 控制分组, 并向节点 X 发送, 完成对自身(Y)缺少的数据分组的请求, 达到缺失信息在两节点间交换的目的。

SprayAndWait 路由算法^[12-13]也叫做转发等待路由

算法,包含两个过程。一是转发过程:源节点先将数据报文进行拷贝,将拷贝的多个副本转发到网路中的相邻几个节点中,接收到报文副本的中继节点也在之后继续转发。转发中当源节点或中继节点自己只含有一个报文副本时,停止转发,进入第二个过程-直接传输递交过程,即携带报文的节点自由移动但是不转发报文,直至遇到目的节点才转发报文。

Prophet 路由协议的转发策略就是当两个节点相遇,比较两个节点到达目的节点的递交预期值,选择递交预期值较高的节点作为转发节点。它的特点是概率的更新使用概率的传递性,该方法有效降低了传染转发广播引起的拥塞而导致的性能影响。算法中,假设源节点为 a ,目的节点为 d ,中间节点为 b 。当节点 a 、 b 相遇后,它们间的传输预测概率的运算方法如式(2)。

$$P(a,b) = P(a,b)_{old} + (1 - P(a,b)_{old}) * P_{init} \quad (2)$$

其中, $P(a,b)$ 代表 a 的某个报文成功传输到 b 的概率; P_{init} 是初始化常数。

如果经过一段时间,两个节点一直没有相遇,则随着间断时间变长,它们间的递交预测值会衰减,衰减的递交预测值的计算方法如式(3)所示。

$$P(a,b) = P(a,b)_{old} * \gamma^k \quad (3)$$

其中, $\gamma \in (0,1]$ 为衰减常数, γ 的最优值为 $0.98^{[14]}$; k 为衰减的时间间隔。

3 地震应急通信环境模型的建立

北京时间 2013 年 4 月 20 日 8 时 02 分四川省雅安市芦山县发生 7.0 级地震。其震源深度 13 公里,震中距成都约 100 公里,地震强度大,给通讯、电力、交通等造成了巨大影响。

文中的地震应急通信环境模型基于雅安大地震中距震源较近的雅安市芦山县(北纬 30.3° , 东经 103.0°)附近 $3\,000\text{ m} \times 2\,000\text{ m}$ 的区域,如图 2 所示。然后找出仿真地区地理环境的特征后,得到的地理特征图如图 3 所示。

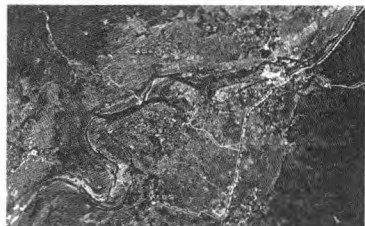


图 2 雅安市芦山县局部卫星实拍图

由于震后仿真区域的道路、电力损毁比较严重,以及山体滑坡等原因,许多交通道路损毁严重,已经无法正常行驶车辆。文中的环境模型假设极端情况,只有

救援人员徒步携带无线设备进行探测、救援,配以一架无人机协助中继传输。将救援小组分为 4 个小分队,其中步行人员有 3 队,分别在区域 1、区域 2、区域 3 进行救援,无人机自成 1 队,在区域 4 内移动。用以上的移动模型为基本的节点移动模型,以完成在分队内部、分队之间以及分队与无人机的信息传递。之后将在此节点移动模型的基础上,改变模型的节点个数、节点的缓存大小以及数据信息的生存周期条件,生成三种不同的模型,并运用这些模型对几种 DTN 网络协议进行仿真、分析。

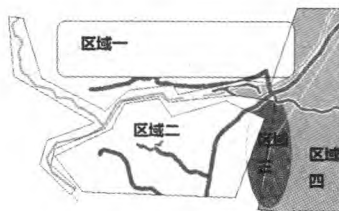


图 3 雅安市芦山县局部地理特征图

4 仿真

4.1 仿真工具的选择

ONE 是专门针对 DTN 网络发明的仿真软件,是 Opportunistic Network Environment simulator 的英文缩写^[15]。ONE 会同时结合节点的移动模型,对 DTN 路由和应用协议等进行仿真,其基本原理框图如图 4 所示。

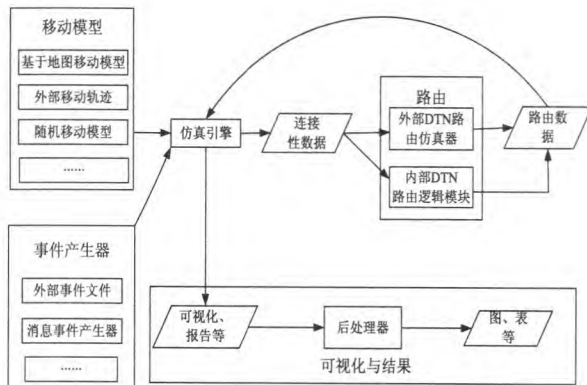


图 4 ONE 软件的基本原理框图

文中选择 ONE 仿真软件对地震应急通信中的 DTN 路由协议进行仿真和分析,并用 OPENJUMP 软件对仿真环境的地理位置、节点移动模型等进行绘制。

4.2 仿真结果与分析

4.2.1 仿真设置

文中选择“4.20 雅安大地震”中距震源较近的雅安市芦山县 $3\,000\text{ m} \times 2\,000\text{ m}$ 的区域(如图 2)为仿真的地震受灾救援地点,对地震中第二类通信进行节点的布置。保持四组节点(三组救援人员、一组无人机)的移动范围不变,从节点个数、节点缓存大小和节点数

据的生存时间三个方面对 DTN 网络的三种多副本路由协议进行了仿真与分析研究。得到仿真结果后,从报文的成功递交率、网络开销和平均延迟着手,对三种多副本路由协议进行分析与评估。

报文的成功递交率(DP)计算方法如式(4)。

$$DP = \frac{\sum N_{de}}{\sum N_{creat}} \times 100\% \quad (4)$$

其中, $\sum N_{de}$ 为网络中成功递交的消息个数;

$\sum N_{creat}$ 为网络中产生的消息个数。

网络开销率是网络中被转发的数据报个数减去成功递交给目的节点的数据包个数的差值与成功递交给目的节点的数据包个数之比。其计算方法如式(5)。

$$R_{overhead} = \frac{N_{hop} - N_{des}}{N_{des}} \quad (5)$$

其中, N_{hop} 为所有消息一共被转发的次数; N_{des} 为消息成功到达目的节点的个数。

平均延迟是被成功递交信息的平均时延,用于衡量网络的通信质量。

4.2.2 结果与分析

现在开始对三种不同地震应急通信模型进行仿真。图 5(a)~(c)中分别是三种基本地震应急系统模型-基于不同节点个数、不同的节点缓存大小以及不同的数据消息生存时间下的三种多副本路由协议对报文成功递交率的影响。

从图中可以看出,节点总数增加后, SprayAndWait 路由的递交率有较明显的上升,而 Epidemic 和 Prophet 路由的递交率有所下降。节点缓存增大后,三种路由协议作用下的报文成功递交率从趋势上看都是上升的,其中节点缓存对 Epidemic 和 Prophet 路由的影响比 SprayAndWait 更大。数据消息的生存周期越大, Epidemic 和 Prophet 路由的报文成功递交率有显著的下降, SprayAndWait 路由的递交率则没有显著变化。

接下来比较三种多副本路由协议在不同模型下所形成的网络开销。多副本路由协议下的网络中存在大量的消息副本,随着时间推移,大量的消息洪范所造成的网络开销对网络通信环境的影响不容忽视。仿真结果表明,无论哪种模型下, SprayAndWait 路由的网络开销都是最小的,并且变化趋势不明显。节点个数增加和数据生存周期的增大都会造成 Epidemic 和 Prophet 路由网络开销的增加,尤其当节点个数增加到某一定程度后,网络开销会陡增。节点缓存的增大会减小 Epidemic 和 Prophet 路由的网络开销且降幅明显。数据生存周期增长后, Epidemic 和 Prophet 路由的网络开销也会显著增加。

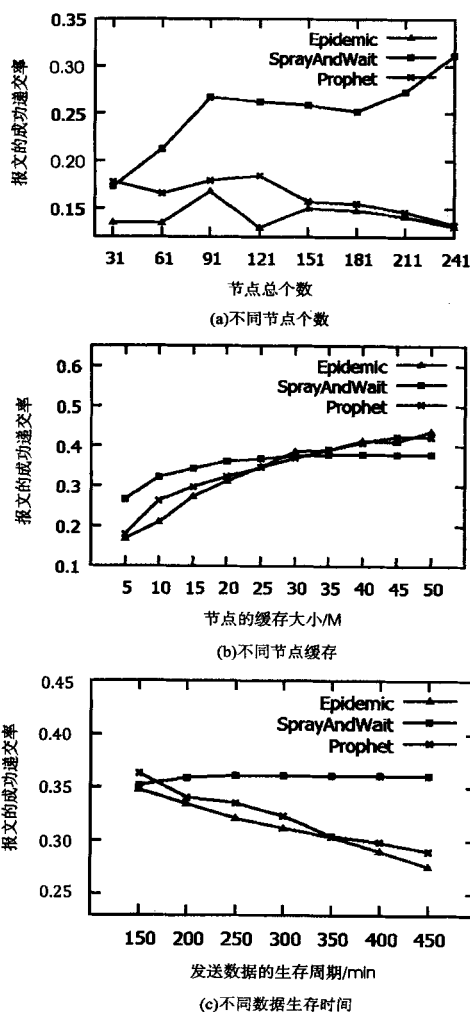


图5 不同模型下的报文成功递交率

最后,比较三种多副本路由协议在不同模型下的网络平均延迟。实验中可得知,节点个数增加、节点缓存变大、数据的生存周期变长都会不同程度地提升网络的平均延迟。其中节点缓存对平均延迟的影响最大,尤其是节点缓存比较小时,影响最为明显。

总体实验的仿真结果说明,当救援人员人数较少、携带无线设备缓存较小、发送数据的生存周期较短时,三种路由协议的作用效果区别不大,都可以适用。当救援人员人数开始增多,起初三种路由的报文成功递交率有所上升,一定程度后递交率开始下降,同时 Epidemic 和 Prophet 伴随急速上升的网络开销和网络延迟的增长, SprayAndWait 相应性能也有缓慢增长。增大便携无线设备的缓存有利于报文成功递交率的提升和网络开销的下降,但是过大的缓存空间会增加网络延迟,这点对 Epidemic 和 SprayAndWait 的影响很大。发送数据的生存时间变长后, SprayAndWait 作用下的报文成功递交率变化不大,但 Epidemic 和 Prophet 的成功递交率有明显下降,同时三种路由下的网络开销和平均延迟都有增大。

总体来看, SprayAndWait 在各种情况下的网络性

能都比较好,更适宜四川多山地、丘陵的地势情况。同时适当增多救援人数,适当增大便携无线设备的缓存,适当减少数据的生存时间,都有益于使地震应急通信中数据完成快速、可靠的传输。

5 结束语

对地震应急通信系统进行了通信分类,同时针对四川省内多山地、丘陵的特殊地势情况,以四川雅安大地震为例,建立几种不同的地震应急通信环境模型。根据地震应急通信呈现出 DTN 网络的特性,在不同地震应急环境模型下对 DTN 路由协议进行仿真,发现 SprayAndWait 路由协议更适合四川的特殊地形,网络性能较好,并通过分析不同情况下路由协议对通信传输质量的影响,得出地震后的救援部署策略的有益参考。

参考文献:

- [1] 四川百科全书编纂委员会. 四川百科全书[M]. 成都:四川辞书出版社,1997.
 - [2] Fall K. A delay-tolerant network architecture for challenged internets[C]//Proceedings of the 2003 conference on applications, technologies, architectures, and protocols for computer communication. [s. l.]:[s. n.],2003:27-34.
 - [3] 王 雪. 无线传感网络测量系统[M]. 北京:机械工业出版社,2008.
 - [4] 郑少仁,王海涛,赵志峰,等. Ad hoc 网络技术[M]. 北京:人民邮电出版社,2005.
 - [5] Liu T, Liao W. On routing in multichannel wireless mesh networks: challenges and solutions[J]. IEEE Network, 2008, 22(1):13-18.
 - [6] Randolph Y, Sobti S, Garg N, et al. Turning the postal system into a generic digital communication mechanism[C]//Proceeding of ACM SIGCOMM. New York: ACM, 2004: 159-166.
 - [7] Xiong Y P, Sun L M, Niu J W, et al. Opportunistic networks[J]. Journal of Software, 2009, 20(1):124-137.
 - [8] Spyropoulos T, Psounis K, Raghavendra C S. Efficient routing in intermittently connected mobile networks: the single-copy case[J]. IEEE/ACM Transactions on Networking, 2008, 16(1):63-75.
 - [9] Fall K. A delay-tolerant network architecture for challenged internets[J]. ACM SIGCOMM Computer Communication Review, 2003, 33(4):27-34.
 - [10] Nekovee M. Epidemic algorithms for reliable and efficient information dissemination in vehicular[J]. Intelligent Transport Systems, 2009, 3(2):104-110.
 - [11] Vahdat A, Becker D. Epidemic routing for partially connected ad hoc networks[R]. USA: Duke University, 2000.
 - [12] 钱景辉. 机会网络中机会路由和转发机制研究[J]. 微计算机信息, 2010, 26(36):132-134.
 - [13] Spyropoulos T, Psounis K, Raghavendra C S. Spray and wait: an efficient routing scheme for intermittently connected mobile networks[C]//Proceedings of the ACM SIGCOMM'05 workshop on delay-tolerant networking. [s. l.]: ACM, 2005:252-259.
 - [14] 刘水仙,周 健. 延迟/中断可容忍网络路由中的关键技术[J]. 通信技术, 2010(9):115-117.
 - [15] Lindgren A, Doria A, Schelén O. Probabilistic routing in intermittently connected networks[J]. ACM SIGMOBILE Mobile Computing & Communications Review, 2004, 7(3):19-20.
-
- (上接第 181 页)
- for service composition optimal-selection in cloud manufacturing system[J]. IEEE Transactions on Industrial Informatics, 2013, 9(4):2023-2033.
 - [6] 汪定伟. 智能优化方法[M]. 北京:高等教育出版社,2007.
 - [7] Ma Xiaoping, Wang Yongdong, Fan Yang. A further study on fuzzy evidence theory[C]//Chinese control conference. [s. l.]:[s. n.],2007:363-366.
 - [8] Gu Ping, Xiu Chunbo, Cheng Yi, et al. Adaptive ant colony optimization algorithm[C]//International conference on mechatronics and control. [s. l.]:[s. n.],2014:95-98.
 - [9] He J, Chen L, Wang X, et al. Web service composition optimization based on improved artificial bee colony algorithm[J]. Journal of Networks, 2013, 8(9):2143-2149.
 - [10] 李丽香,彭海朋,杨义先. 混沌蚁群算法及应用[M]. 北京:中国科学技术出版社,2013.
 - [11] Gong Wei, Wang Shoubin. Chaos ant colony optimization and application[C]//Internet computing for science and engineering. [s. l.]:[s. n.],2009:301-303.
 - [12] Zhang Daqiao, Xian Yong, Li Jie, et al. UAV path planning based on chaos ant colony algorithm[C]//International conference on computer science and mechanical automation. [s. l.]:[s. n.],2015:23-25.
 - [13] Zheng Zhongwu, Qin Yali. Remote sensing image classification of fuzzy C-means clustering based on the chaos ant colony algorithm[C]//International congress on image and signal processing. [s. l.]:[s. n.],2015:14-16.
 - [14] Zhao Z, Hong X, Wang S. A web service composition method based on merging genetic algorithm and ant colony algorithm[C]//International conference on computer and information technology. [s. l.]:[s. n.],2015:1007-1011.