

基于空间信息的 MANET 路由算法

朱本浩¹, 姚明海²

(1. 浙江海洋学院数理与信息学院, 舟山 316004; 2. 浙江工业大学信息工程学院, 杭州 310014)

摘要: 针对基于位置的路由算法在剧烈变化的网络拓扑或有障碍物的情况下易产生拓扑洞而导致路由失败的问题, 提出基于空间信息的移动 Ad hoc 网络(MANET)路由算法。该算法采用构建空间模型, 将场景知识引入路由过程, 在路由前规避拓扑洞。仿真结果表明, 在网络连通度适当的条件下, 该路由算法可有效地改善路由性能。

关键词: 空间信息; 拓扑洞; 移动 Ad hoc 网络路由算法; SAR 协议

MANET Routing Algorithm Based on Spatial Information

ZHU Ben-hao¹, YAO Ming-hai²

(1. College of Mathematics, Physics and Information, Zhejiang Ocean University, Zhoushan 316004;
2. College of Information Engineering, Zhejiang University of Technology, Hangzhou 310014)

【Abstract】 Mobile Ad hoc Network(MANET) routing algorithm based on spatial information is introduced in order to solve the problem under which location-based routing algorithm with dramatic changes in the network topology or obstruction may produce the topology holes. The algorithm can avoid the topology hole in the pre-routing by the structure of space model and the introduction of knowledge-scenes process of routing. Simulation results show that the new routing algorithm can effectively improve the performance of routing in the proper conditions of network connectivity.

【Key words】 spatial information; topology hole; Mobile Ad hoc Network(MANET) routing algorithm; SAR protocol

1 概述

移动 Ad hoc 网络(Mobile Ad hoc Network, MANET)^[1]是一种由自治节点组成、无须预先建立固定结构的网络。网络节点具有多跳、自组织、无中心、拓扑结构不断变化的特性, 因此, 在 MANET 中发现和维持路由是一个重要问题。目前一些相对成熟的路由算法, 如 DSR^[2], GPSR^[3]等都是基于位置的路由算法。在这种算法环境中, 路由发现是地理坐标上逐步向宿节点逼近的过程, 这就隐含了一个基本的假设: 地理坐标上的接近与网络拓扑意义上的接近是一致的。然而在具体应用场景中, 如拓扑结构剧烈变化或路径上存有障碍物时, 地理坐标上的接近往往并不等同于网络拓扑意义上的接近, 会出现拓扑洞(topology hole)的情况, 导致路由链路断开, 进而使得基于位置的路由算法失效, 而这种失效状态的重复发生, 会大大降低路由算法的性能。因此, 本文提出一种基于空间信息的 MANET 路由算法。

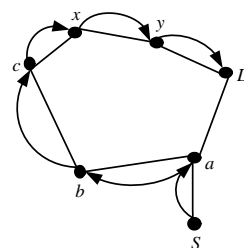
2 基于位置的路由算法缺陷

2.1 剧烈变化的网络拓扑对路由算法的影响

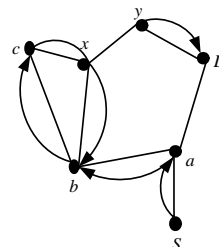
剧烈变化的网络拓扑对路由算法的影响是非常明显的, 它增加了基于拓扑的 MANET 路由算法的开销, 导致网络拓扑信息及时更新更加困难。当算法使用“过期”的信息时, 基于位置的 MANET 路由算法就可能出现路由失败。

GPSR 算法失效的示例如图 1 所示。图 1(a)给出了 GPSR 算法寻找节点 S 到 D 的路由过程。 S 前传报文至 a , 如初始面设置为 ab 。根据右手法则, 报文依次通过 c, x, y , 最终到达 D 。在静态网络或网络拓扑变化缓慢时, GPSR 可成功地找到路由。然而当网络拓扑变化剧烈时, 例如, 在 b 前传报

文的同时, c, x 的位置发生了改变, 如图 1(b)所示, 使用 GPSR 算法就会形成路径环 bcx 。由于初始面并不会再次到达, GPSR 无法判断路径环的发生, 从而报文将在 b, c, x 间反复传递直到达到最大 hop 数, 路由过程失败。



(a) 静态 GPSR 路由过程



(b) 节点移动引起的路径环

基金项目: 浙江省科技厅基金资助项目(2009C31087)

作者简介: 朱本浩(1974—), 男, 讲师、硕士, 主研方向: Ad hoc 网络, 路由算法; 姚明海, 教授、博士

收稿日期: 2009-06-02 **E-mail:** zbenhao@zjou.edu.cn

图1 节点移动引发 GSR 失效的示例

2.2 障碍物对路由算法的影响

传统的 MANET 路由算法并没有考虑障碍物对路由算法的影响,然而在实际应用中,各种建筑物普遍存在。建筑物会反射、衰减无线电波,在一些场合中甚至会中断节点间的无线信道,使得邻域内的节点间无法正常通信。障碍物的存在使得空间位置上的连通并不能保证网络拓扑上的连通,因此,在路由算法中必须考虑障碍物的影响。

由此可知,新的路由算法要求能有效地规避拓扑洞。为解决这个问题,本文将空间模型引入到路由算法中,利用空间模型的静态性以及网络拓扑结构的近似性来避免网络拓扑动态更新时带来的巨大开销和拓扑洞。

3 基于空间信息的路由协议

3.1 空间模型

空间模型是对存储在电子地图里原始数据的一种封装,为高层应用提供了有效的数据处理^[4]。电子地图、空间模型与路由协议之间的关系如图 2 所示。

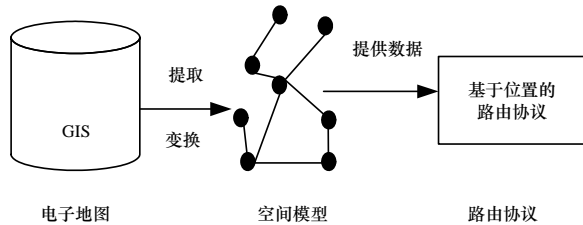


图2 电子地图、空间模型与路由协议之间的关系

由图 2 可知,在空间模型的构建过程中,先提取地理信息系统(GIS)中的数据并将其转换成标准的地理数据文件格式进行存储。当网络节点密度足够大时,空间模型图与平面化的网络拓扑是一致的,这时可以用静态的空间模型图来模拟动态的网络拓扑,利用空间模型图来选择路由,规避拓扑洞的产生。为更好地描述空间模型,本文引入图距离的概念,以图距离代替网络拓扑中的欧几里德距离,这构成了 SAR(Spatially Awareness Routing)协议的基本思路。完整的 SAR 协议包括邻节点检测、GSR 规划和基于 GSR 的报文前传 3 个基本操作。

3.2 邻节点检测

邻节点检测主要提供节点邻域知识,为后续的报文前传提供必要的支持。SAR 协议的邻节点检测机制采用信标方式。为使网络中所有节点能获得邻节点的地理位置信息,SAR 协议采用了一种简单的信标发送机制,该机制规定每个节点利用广播地址,周期性地向所有邻节点发送信标信号,该信号中包含了节点的身份标识如地址和当前的位置等信息。节点的位置信息用一对 4 Byte 的浮点数表示,分别代表节点的 x 、 y 坐标值,对于某一节点而言,它可能有多个邻节点,这些节点之间发送的信标信号有可能发生冲突,为了避免这一问题,本文采用一种随机选取信标发射间隔的策略。一个节点前后 2 次发射信标之间的时间间隔在 $[0.5B, 1.5B]$ 上服从均匀分布,其中, B 为发射信标的平均时间间隔,采用该方式,可以降低多个邻节点发送信标信号的冲突概率。在一定时间间隔内,如果节点没有收到某一邻节点发送的信标信号,则认为该邻节点已经失效或不在自己一跳范围内,将其从自己的邻居列表中删除。

3.3 GSR 规划

GSR 是基于已经建立的空间模型,由一系列空间定位点构成。这些空间定位点指定了从源节点到目的节点路径的大致形状。一般来说空间模型图是连通的,为便于描述,本文给空间模型的每条边都赋予了一定的权函数。这些权函数可以是节点之间的图距离、最短经历时间或期望经历时间等。GSR 以坐标形式嵌入在数据报文的报头中随着数据报文一起发送,由于报头的存储空间有限,因此必须限制 GSR 长度。

限制 GSR 长度的机制有 2 种:

- (1)删节 GSR 中定位点序列以适应报头存储空间的大小;
- (2)缩短 GSR 中定位点序列,产生新的定位点序列仍可指示路径的大致形状。

前者保留 GSR 最初的一段定位点序列,并沿该段 GSR 传输报文直到经过最后一个定位点,此时接收到报文的节点必须重新计算新的从当前节点到目的节点的 GSR 以覆盖剩下的路径。这种方式传输实现简单,可以保持最优路径传输,但是重新计算 GSR 会产生大量的计算开销。后者则通过对原始 GSR 采样产生新的 GSR,报文前传过程始终使用新的 GSR,因此,中间节点不需要重新计算 GSR,避免了计算开销。

3.4 基于GSR的报文前传

GSR 生成的时候也就指定了报文前传路径的大致形状,报文沿着定位点指定的方向传输。当某一节点接收到数据报文时,首先检查自身与当前激活的定位点之间的图距离,并将该距离与预设的阈值进行比较。如果图距离大于阈值,则接收节点将从邻节点列表中选择合适的节点作为下一跳的目的节点;反之,则标记当前激活的定位点不再有效,而激活下一个定位点,向新的定位点前传报文。上述过程被重复执行直至到达目的节点附近。一般报文前传到目的节点附近后,目的节点在当前报文接收节点的直接可达的范围内,或通过 greedy 策略进一步前传。

3.4.1 失效处理

由上述 SAR 协议的实现可以看出,GSR 的生成是基于静态的空间位置而不是现存的链路,不能保证报文的成功传输。报文前传失败来源于报文接收节点缺乏合适的邻节点作为前传的目的节点,这在网络节点密度较小时会频繁发生。为了从前传失败中恢复,节点可以采取丢弃报文、挂起报文、计算新的 GSR 这 3 种方式。丢弃报文通常会在一段时间后触发源节点报文重传过程。如果报文重传时 GSR 上网络拓扑没有发生变化,重传过程仍会遭遇失败,并导致报文的丢失。因此,简单地丢弃报文并不是理想的解决方案。执行挂起报文的操作有助于提高传输质量。当节点缺乏合适的邻节点作为前传目的地时,则将报文缓存在本地挂起缓存中等待进一步的操作。节点周期地检查缓存中的报文的缓存时间是否超过本地存储时间,如是,则丢弃该报文。

当有新的合适的邻节点出现时,报文从缓存中弹出,并前传给新的邻节点。当节点前传报文失败时,节点在空间模型图中标记当前边暂时不可用,重新计算新的从当前位置到目的节点的 GSR,并替换报头中原始 GSR。数据报文沿着新的 GSR 前传。

3.4.2 路径环

传统的 MANET 路由协议总是试图避免路径环的出现,为了防止路径环的出现使得传输失败或者严重降质,协议必须使用附加机制来避免路径环的产生。而在 SAR 协议中,由

于数据报文将被前传给图距离更接近于下一个定位点的邻节点,这种确定性的报文前传方式防止了报文在部分网络节点间无休止传递现象的发生,因此,在 SAR 协议中没有必要刻意避免路径环的出现。

4 仿真实验与分析

为评价 SAR 的算法性能,本文采用带 CMU 无线扩展的 NS2 仿真器进行了仿真实验。在仿真实验中,实现了 2 种类型的 SAR 协议:不含恢复机制的基本 SAR 协议,带挂起缓存的 SARB(Spatially Awareness Routing with suspend Buffer)协议。前者在遭遇前传失败时简单地丢弃报文,而后者允许最大可达 80 个报文、每个报文最大 30 s 缓存时间的缓存过程。仿真中比较了 SAR, SARB 和 GPSR 的性能差异。

仿真中对每个通信半径均使用了 6 个随机产生的运动模型,生成 3 种协议在该环境下的仿真结果,最后得到的结果是对这 6 次仿真结果的平均。相关的仿真参数如表 1 所示。

表 1 SAR 协议仿真参数

参数	值
仿真时间	900 s
节点数目	100 个
场景大小	2 500 m×1 000 m
通信半径	50 m~250 m
节点移动速度	30 km/h~60 km/h
节点停留时间	10 s~30 s
业务类型	CBR
业务流量	2 Kb/s
报文大小	64 Byte
连接数	20 个

节点通信半径与报文传输率的关系如表 2 所示。

表 2 节点通信半径与报文传输率的关系

节点通信半径/m	报文传输率/(%)		
	GPSR	SAR	SARB
50	3.51	3.52	9.11
100	13.21	13.22	30.12
150	32.15	34.50	56.51
200	55.01	63.04	82.10
250	63.02	74.10	87.53

表 2 表明,当通信半径较小时,SAR 协议的报文传输率与 GPSR 协议相当;当通信半径超过 150 m 时,SAR 协议的报文传输率则明显高出 GPSR 协议,而加入简单缓存后的 SARB 协议则一开始就要高出 GPSR 协议 40% 以上。由此可知,SAR 协议可以规避拓扑洞的特点会随着通信半径的逐步增加而逐步显现出来,加入简单的缓存操作后,SAR 协议能更有效地提高和改善路由性能。

节点通信半径与报文传输时延的关系如表 3 所示。表 3 表明,在所有场景中 SAR 协议的传输时延显著低于 GPSR 协议。SARB 协议则在传输率和传输时延之间找到一个平衡,由于挂起缓存的存在,传输时延显著增加,但随着通信半径的增加,节点密度的增大,报文缓存时间得以降低。

节点通信半径与报文平均前传次数的关系如表 4 所示。

表 3 节点通信半径与报文传输时延的关系

节点通信半径/m	报文传输时延/s		
	GPSR	SAR	SARB
50	12.92	0.17	0.83
100	8.53	0.13	1.95
150	12.25	0.21	1.82
200	5.11	0.19	1.31
250	2.98	0.17	1.29

表 4 节点通信半径与报文平均前传次数的关系

节点通信半径/m	报文前传次数		
	GPSR	SAR	SARB
50	6.03	1.50	5.30
100	6.22	3.75	7.95
150	6.92	5.45	8.60
200	5.82	5.44	6.73
250	5.25	5.11	5.63

表 4 显示了 3 种协议报文传输过程中的平均前传次数。SARB 协议表现出相对较高的 hop 数,因为它缓存了数据报文。数据报文频繁地经历缓存、前传过程,增加了每次成功传输的 hop 数。当通信半径在 150 m 以下时,SAR 协议的平均前传次数与 GPSR 协议相比较少,而两者的报文传输率近似。这表明在较低的节点密度下,GPSR 协议可通过 perimeter forwarding 模式传输大部分报文,而 SAR 协议则通过规避拓扑洞的方式更直接地传输报文。

5 结束语

为解决基于位置的路由算法在网络拓扑结构剧烈变化和障碍物存在时易产生拓扑洞的问题,本文提出将场景知识引入路由过程,用静态空间模型图模拟动态网络拓扑,用图距离替代欧几里德距离,进行空间模型描述,以此构建 SAR 路由协议。

仿真结果表明,在网络连通度适当的条件下,SAR 协议在报文传输率、报文传输时延、平均前传次数等方面都显著优于 GPSR 协议。SAR 协议有效规避拓扑洞的特性使得 MANET 路由算法的性能得到较大程度的改善。

参考文献

- [1] 许重球,李腊元. MANET 典型路由协议的性能分析与仿真[J]. 计算机工程,2008,34(12): 97-99.
- [2] Johnson D, Maltz D. Mobile Computing[M]. Loria, France: Kluwer Academic Publishers, 1996.
- [3] Karp B, Kung H T. Greedy Perimeter Stateless Routing for Wireless Networks[C]//Proc. of ACM/IEEE MobiCom'00. Boston, MA, USA: [s. n.], 2000.
- [4] Tian Jing, Lu Han, Rothermel K, et al. Spatially Aware Packet Routing for Mobile Ad hoc Inter-vehicle Radio Networks[C]//Proc. of the 6th International Conference on Intelligent Transportation Systems. Shanghai, China: [s. n.], 2003.

编辑 顾姣健