

基于定位辅助按需拓扑维护的超宽带自组网路由算法

温怀玉¹, 贺元成¹, 郑相全²

(1. 泸州职业技术学院网络中心 四川 泸州 600123; 2. 重庆通信学院数字通信与信号处理重点实验室 重庆 沙坪坝 400035)

【摘要】提出了一种基于定位辅助按需拓扑维护的超宽带自组网路由算法, 该算法利用超宽带技术精确定位信息所获得的网络拓扑信息和路由信息进行分组转发, 路由维护阶段在定位信息辅助下采用按需方式进行断链路由的修复和拓扑维护, 通过基于位置信息的按需路由发现和限制路由查找范围, 以及定位信息和网络拓扑信息的及时更新, 在降低协议开销的同时保证了算法的有效性。仿真表明, 该算法在分组丢失率、平均端到端时延和路由附加开销等方面具有良好性能, 其优良的分分布式控制特征能适应超宽带自组网的动态环境。

关键词 自组网; 超宽带; 位置辅助路由算法
中图分类号 TN915.02 文献标识码 A

A Location-Aided on-Demand Topology Maintenance Routing Algorithm for UWB Ad-hoc Networks

WEN HUAI-yu¹, HE YUAN-cheng¹, ZHENG XIANG-quan²

(1. Network Center, Vocational School of Luzhou Luzhou Sichuan 600123;
2. DC&SP Lab., Chongqing Communication College, Shapingba Chongqing 400035)

Abstract This paper presents an location-aided on-demand topology maintenance routing algorithm for Ultra-Wide Band (UWB) based ad hoc networks. The algorithm sends the packets based on the network topology and routing tables issued from location information acquired by the UWB technology. At the same time, protocol makes use of the updated location information during the route maintenance period to implement the link break repair on demand. By analyzing simulation results, this algorithm is proven in good performance, such as packet delivery ratio, average end-to-end delay and routing overhead. The feature of distributed control of the algorithm meet the requirement of dynamic ultra-wide-band ad hoc networks.

Key words ad hoc networks; ultra-wide band (UWB); location-aided routing algorithm

超宽带(UWB)无线通信技术与常规无线电技术相比, 具有隐蔽性好、传输速率高、空间容量大、功耗低和测距精确等优点^[1]。研究基于超宽带无线电技术的自组网协议设计具有重要的意义^[2]。当前, 自组网中已有不少基于定位辅助的路由协议出现, 但是, 将其直接应用于超宽带自组网还存在以下问题: (1) 当位置信息计算发生错误时, 主动路由协议对错误位置信息的周期广播会导致网络性能的急剧恶化, 其容错性较差; (2) 节点移动速度高时, 主动定位辅助路由协议位置信息更新速度难以满足拓扑变化的需求; (3) 按需路由算法过多依赖可即时提供的位置信息, 对其完整性和精确度要求较高, 难以找到最佳路由; (4) 距离信息和位置信息的广播更新开销较高, 需要进行有效控制。

本文提出了一种基于定位辅助的超宽带自组网路由算法, 利用超宽带技术的定位优势, 通过位置信息优化按需寻路的过程降低控制开销, 路由查找使用最新的位置信息限制路由查找的范围以减小算法开销, 通过位置信息表的定期广播, 为按需路由查找过程提供即时的节点拓扑信息。

1 基于定位辅助的超宽带自组网路由算法

1.1 算法设计思想

算法主要利用节点的位置信息将路由查找的范围限制在一定的区间内, 以减小算法的开销, 并基于节点的位置信息产生网络拓扑和路由表, 完成分组的路由选择和转发过程。算法由位置信息的交换获取和路由表的形成阶段、路由选择和分组转发阶段、路由维护阶段共三部分构成。在节点频繁移动的情况下, 节

点的位置频繁变化, 导致链路断开时常发生。算法利用周期更新的距离位置交换分组(DAP)信息获得网络的拓扑信息, 在得到节点位置的同时维护本地网络拓扑表, 并根据拓扑表计算到达全网其他节点的最短路由。分组的转发首先基于本地路由表中的路由信息, 使用源路由转发的模式。当链路变化太快, 使得通过DAP实现网络拓扑更新的速度跟不上链路的变化速度或其他原因导致分组中的源路由断开时, 算法基于已有位置信息采用按需方式重新进行限制搜索范围的路由发现, 以减少算法开销。由于使用UWB技术得到的是节点之间的距离信息, 将其转换为位置信息所需要进行的计算和控制消息发布会引入一定的控制开销。

1.2 网络拓扑和路由表信息更新

节点定位信息可以采用文献[3]中所述方法获得, 包括本地路由表、网络拓扑表和节点位置信息表三种信息表, 分别如图1、图2和图3所示。每个节点都周期广播一张包含网络中每个节点到其他邻居节点的距离信息集的截短表 - DAP表, 以实现位置信息的交换和更新, 如图4所示。图4中, 分组长度以字节为单位; “ $N_{\text{邻居}1}$ ” 为第1个目的节点的邻居数; 邻居地址 $N_{\text{邻居}1}$ 为第一个目的节点的第 N 个邻居节点。

Dest_0	Length_0	node_0	node_1	node_2	node_3	node_4	node_5	node_6	node_7
Dest_1	Length_1	node_0	node_1	node_2	node_3	node_4	node_5	node_6	node_7
Dest_2	Length_2	node_0	node_1	node_2	node_3	node_4	node_5	node_6	node_7
...									
Dest_3	Length_3	node_0	node_1	node_2	node_3	node_4	node_5	node_6	node_7

图1 本地路由表项

目的节点ID(包含本节点ID)	目的节点当前序列号
最后获取信息时间	目的节点前一个序列号
邻居节点1	到邻居节点1的距离
邻居节点2	到邻居节点2的距离
⋮	⋮
邻居节点 n	到邻居节点 n 的距离

图2 本地拓扑表项

Dest_1	Dest_1_x	Dest_1_y
Dest_2	Dest_2_x	Dest_2_y
⋮	⋮	⋮
Dest_n	Dest_n_x	Dest_n_y

图3 本地位置信息表项

周期性主动广播的过程如下: (1) 网络初始化时, 节点间通过不断与邻节点交换彼此的信息以得到周围的链路状态信息。当获得全网节点的拓扑连接关系以及所有相邻节点之间的距离后, 使用最小距离算法计算本地路由表。计算本节点全局坐标系坐标时, 以ID号最小的节点为网络的中心参考节点。(2) 节点首先将拓扑更新信息中每一项的目的节点序列号加1, 节点将本节点已知的最新距离和拓扑信息广播到邻居节点。(3) 节点收到来自一跳邻居节点的DAP信息后, 根据分组中携带的距离信息和拓扑信息更新自己的本地位置信息表。若DAP信息中的目的节点序列号大于本地拓扑表中的目的节点序列号, 则使用DAP信息中的相应表项更新本地拓扑表中的相应表项; 否则, 不更新。之后, 该邻居节点再将所知道的最新网络拓扑连接和节点位置信息向其邻居节点广播。通过充分的信息交换后, 所有节点就能够获得全网的拓扑连接和节点间的距离。节点本地拓扑表每次更新后都将重新计算本地路由表, 以保证路由表中信息对拓扑变化的收敛。

1.3 路由选择和分组转发

对节点距离信息和网络拓扑信息定期更新时, 节点利用本地

分组长度	预留
目的地址 1 目的地址 1	
目的序列号 1	$N_{\text{邻居}1}$
邻居地址 1	到邻居 1 的距离
...	
邻居地址 $N_{\text{邻居}1}$	到邻居 $N_{\text{邻居}1}$ 的距离
目的地址 2	
目的序列号 2	$N_{\text{邻居}2}$
邻居地址 2	到邻居 2 的距离
...	
邻居地址 $N_{\text{邻居}2}$	到邻居 $N_{\text{邻居}2}$ 的距离
...	

图4 节点 i 的DAP截短表格式

链路状态信息计算去往网络中其他节点的路由表, 路由表中的每个表项都保存了到达其他节点的整条路径信息。当节点有分组要发送到目的节点时, 将本地路由表中到达目的节点的所有中转节点的地址信息封装在数据分组, 采用源路由的方式将分组发送到下一跳邻居节点。中转节点接收到该数据分组时, 首先检查分组中封装的下一跳邻居节点地址是否为本节点地址, 如果是, 记录本节点信息并向目的节点继续发送该分组。由于当前网络拓扑结构发生变化或其他原因导致从源节点到目的节点的路由不可达时, 使用源路由维护机制维护到目的节点的路由。

1.4 位置信息对算法的优化

在全网节点位置信息计算的基础上, 算法使用位置信息限制请求分组的发送范围以降低控制开销。本算法只允许在源节点所定义的容许转发区域内(请求区)的中间节点对路由请求分组进行转发, 减少了路由请求分组洪泛的区域。请求区的定义需要在两方面进行权衡: (1) 较小的请求区导致较低的路由开销, 因为较少数量的节点被容许转发路由请求分组; (2) 较大的请求区会增加到达目的节点的路径, 特别是在网络节点稀疏的情况下。本文采用了锥形和圆形两种请求区。(1) 锥形请求区定义为一个以源节点位置为定点、大到足够可以包含路由请求分组应该到达的网络区域(期望区)的锥形区域, 该定义减小了请求区, 因此减小了路由发现开销, 如图5所示。(2) 圆形请求区定义为一种基于距离信息的区域。在路由请求分组中, 包含源节点 S 和目标节点 D 之间的距离 d_{SD} 以及目标节点的位置 (X_D, Y_D) 。收到路由请求分组的节点 I 检查 $d_{ID} < d_{SD} + \delta$ 这个条件是否被满足。设 d_{ID} 是节点 I 与 D 之间的距离; δ 是一个给定的常数, 如果 $d_{ID} < d_{SD} + \delta$, 节点 I 就转发路由请求分组; 否则分组被丢弃。对于 $\delta=0$, 只有离目标节点的距离比源节点离目标节点的距离还小的节点容许转发路由分组, 请求区是一个以 (X_D, Y_D) 为圆心、 d_{SD} 为半径的圆形区域; 当 $\delta>0$, 请求区增大为以 (X_D, Y_D) 为圆心、 $d_{SD} + \delta$ 为半径的圆形区域, 如图6所示。

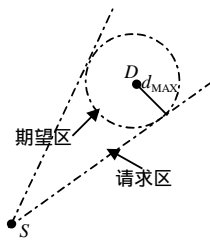


图5 锥形请求区示意图

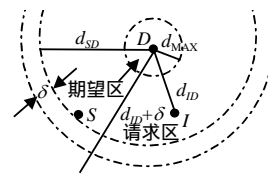


图6 圆形请求区示意图

路由查找过程中, 虽然使用位置信息进行了路由期望区的限制, 但如果本地节点的路由表中保存有到目的节点的路径, 则不需要进行位置判断; 只有当本地节点路由表中没有到目的节点的路由的情况下, 才会发起按需路由维护的过程, 中转节点接收到请求分组后判断本节点是否位于期望区域内, 如果在期望区域内, 则转发分组请求。另外, 本算法将路由查找限制在5跳以内, 有利于减少路由发现的时间。

2 性能分析与仿真

使用软件OPNET 8.1对本文算法与典型按需路由协议DSR^[4]进行仿真对比, 结果如图7~10所示。仿真中节点移动模型采用典型的Random Waypoint Model^[5], 32个节点随机分布于 $500\text{ m} \times 500\text{ m}$ 区域内。在系统初始化完成后周期性(10 s)地重新计算各个节点的位置, 并为其产生新的移动方向和移动速度。仿真中对算法性能的评估主要集中在算法对网络吞吐量、端到端时延和归一化路由控制开销的影响^[6]。

不考虑测距误差和连通性的影响, 设置测距信息误差在 $[-1, 1]$ 内均匀分布, 节点传输距离为300 m。为了更好地观察网络的各种特性与节点移动性的关系, 将每种算法在不同速度下得到的仿真结果数据取期望均值后作对比分析。图7和图8所示为两种路由算法在不同节点移动速度下性能比较的仿真结果, 横坐标 v_0, v_1, v_2, v_3 分别表示节点移动速度为0 m/s、5 m/s、10 m/s、20 m/s; LAR1和LAR2分别为本文算法的锥形请求区域和圆形请求区域策略。由图7可知, 节点移动速度增大时, 三种算法的网络控制开销整体均呈上升趋势, 本文算法的两种策略的上升趋势明显高于DSR。由图8可知, 分组的成功递交率随节点移动速度增大有较大幅度降低, DSR协议的递交率高于本文算法的两种请求区域策略。

在不同的节点移动速度下,不同网络连通度对协议性能影响的对比仿真结果如图9和图10所示,其中range3表示节点的通信距离为150 m,range8表示节点的通信距离为350 m。由图9可见,节点连通度较高时网络控制开销明显低于节点连通度低的场景。连通度高的节点可以较快地计算得到自己的位置信息,并通过位置信息辅助降低路由查找的控制开销。连通度低的节点在较短的时间内对于其他节点位置信息的了解不够完整,导致路由查找主要基于洪泛方式,控制开销相对较高。由图10可见,由于本文算法选择的是连通度差别比较大的两个场景,两种连通度的曲线明显分为互不交叉的两簇,递交率较高的一簇曲线为连通度较高场景的仿真结果;较低的一簇曲线为连通度较低场景的仿真结果。在节点移动情形下,即使速度已经达到20 m/s(如range8_v3曲线),其分组成功递交率仍然高于移动速度较低(如range3_v0曲线)但连通度较低的场景。可见在分组转发的过程中,由于逐跳转发而产生的碰撞和阻塞情况较为严重。

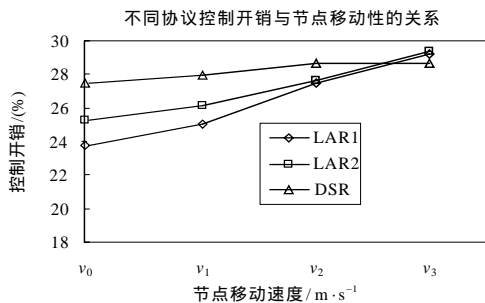


图7 速度对协议开销性能影响的比较

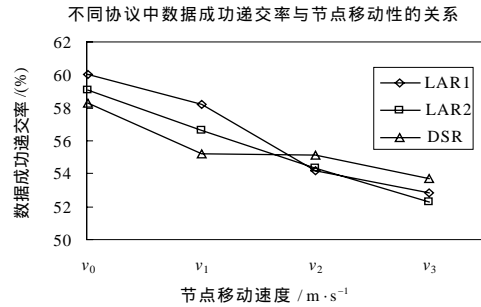


图8 速度对分组成功递交率性能影响的比较

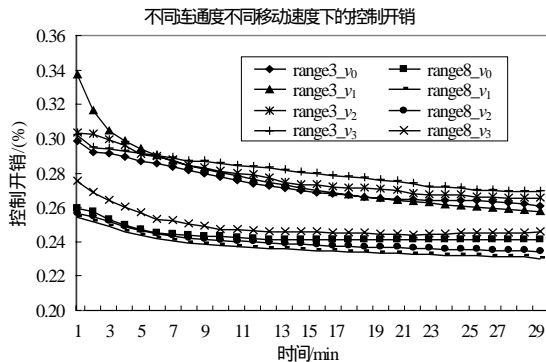


图9 连通度与节点移动速度对控制开销的影响

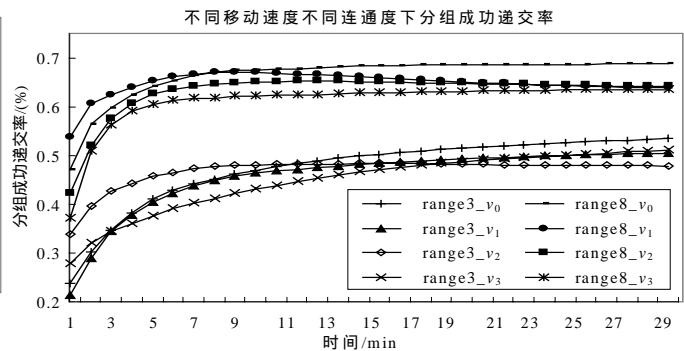


图10 连通度与节点移动速度对分组成功递交率的影响

3 结束语

本文提出了一种将周期计算更新DAP信息以及按需寻路有机结合的定位辅助路由算法,算法基于UWB的精确测距和定位所提供的信息,在按需路由查找过程中使用位置信息限制路由查找范围,以降低算法开销,优化选择的路径。仿真结果表明,本文提出的算法在分组丢失率和算法附加开销等方面具有适应节点移动性的良好能力,其优良的分布式控制特征能适应Ad Hoc网络的动态环境。

参 考 文 献

- [1] 葛利嘉, 曾凡鑫, 刘郁林, 等. 超宽带无线电通信[M]. 北京: 国防工业出版社, 2005.
- [2] 郑相全. 无线自组网技术实用教程[M]. 北京: 清华大学出版社, 2004.
- [3] 闵 军, 郑相全, 王婷婷. 超宽带自组网中基于定位辅助的路由[J]. 电子科技大学学报, 2005, 34(5): 589-592.
- [4] Broch J, Johnson D, Maltz D. The dynamic source routing protocol for mobile ad hoc networks [EB/OL]. <http://www.ietf.org/internet-drafts/draft-ietf-manet-dsr-10.txt>, 2006-03-12.
- [5] Johnson D B, Maltz D A. Mobile computing[M]. Kluwer: Academic Publishers, 1996.
- [6] Corson S, Macker J. Mobile Ad hoc networking (MANET): routing protocol performance issues and evaluation considerations (RFC 2501)[EB/OL]. <http://www.ietf.org/rfc/rfc2501.txt>, 2006-01-20.