

Cluster Based Ultra Wide-Band Multipath Routing

LIU Jie^{1,2}, YAO Jianyong¹, YANG Shaochun¹

1. School of Electronic and Information, Wuhan polytechnic, Wuhan, China

2. School of Electronic and Information, Wuhan University, Wuhan, China

e-mail: lj-ivy@126.com

Abstract: To reduce energy consumption and to ensure reliability of data transmission, Cluster based UWB Multipath Routing (CUMR) was proposed. The routing algorithm utilized clustering strategy and positioning characteristics of UWB and synthetically considered energy consumption, the surplus energy of nodes in communication routes to balance the energy consumption and longer lifetime of network. The simulation results showed that CUMR could be more balanced use of limited energy, decreased transmission delay, prolonged the lifetime of UWB-Ad hoc network, and reduced impacts on the routing algorithm due to network changes.

Keywords: cluster; ultra wide-band; multipath; energy equilibrium

基于分簇的超宽带多路径路由算法

刘婕^{1,2}, 姚建永¹, 杨少春¹

1. 武汉职业技术学院电信学院, 武汉, 中国, 430074

2. 武汉大学电子信息学院, 武汉, 中国, 430072

e-mail: lj-ivy@126.com

【摘要】为了减少网络能耗并保证数据传输的可靠性, 本文提出了一种基于分簇的超宽带多路径路由算法。该路由算法将分簇策略与 UWB 定位特性有机结合, 综合考虑通信路径上节点的消耗能量、剩余能量, 选择下一跳节点, 使网络能量消耗均衡, 延长了网络生存时间。仿真结果表明, CUMR 路由算法可以更均衡地利用有限的能量, 减少传输延时, 延长网络寿命, 减少网络变化对路由算法的影响。

【关键词】分簇; 超宽带; 多路径; 能量均衡

1 引言

Ad-hoc 网络节点数量大, 具有多跳路由、资源受限、拓扑变化等特点, 要实现整个网络快速部署及拓扑结构变化的动态重建, 最有效的方法是采用分簇机制, 这种网络结构可以使网络规模不受限制, 可扩充性好, 路由和控制开销少, 容易实现移动管理和网络的同步。近年来, 业界提出了多种无线传感器网络的分簇方法, 并提出了一些能量相关的分簇路由算法^[1-3]。

基于 Ad-hoc 的 UWB 无线通信网络, 采用 Ad-hoc 组网方式, 同时超宽带被当作传输技术应用于此网络, 能更好地发挥其特殊的优势, 如: UWB 设备具有支持多次有效反射路由机制的精确位置跟踪功能, 更有利于在具有动态节点的 Ad-hoc 网络中实现定位; UWB 技术可以在近距离内获得极高的数据传输速率, 并可

以通过多跳路由实现远距离的传输。UWB 与 Ad-hoc 网络的结合将显著提高多跳网络性能以及自身技术的发展。

为了延长网络寿命, 研究人员提出了多种基于能量的路由协议均衡网络能量, Shah RC 等提出了能量多路径路由协议^[4], 使用局部最佳路径得到节能路由, 与 DD^[5]路由相比, 延长网络寿命 40% 以上。本文在 Shah RC 等提出的能量多路径路由协议基础上, 将分簇策略与 UWB 定位特性有机结合进行下一跳节点选择, 提出了基于分簇策略的超宽带多路径路由算法 CUMR (Cluster based UWB Multipath Routing), 实验表明算法可以均衡消耗网络能量, 减少传输延时, 延长网络寿命, 减少网络变化对路由算法的影响。

2 基于分簇的超宽带多径路由算法

2.1 UWB 的定位特性

超宽带 Ad-hoc 网络的物理层使用的是 UWB 技

资助信息: 高等学校博士点基金 (20040486049)
国家自然科学基金重点项目 (60132030) 子课题

术, UWB 技术可为上层提供精确的定位信息, 将这一特性应用到基于分簇的超宽带多径路由算法中。

当有数据需要传输时, 用 UWB 定位信息, 判断目标节点是否在一跳范围内, 如果在, 就不需要发送路径建立消息, 直接发送数据; 如果不在, 发送路径建立消息。如果节点要转发路径建立消息, 也利用定位功能检查一下目标节点是否在自己的通信范围内, 如果在, 就直接将目标节点添加到自己的路由记录中并返回路径建立消息给源节点, 不需广播路径建立消息。利用 UWB 定位特性, 虽然只有一跳的距离, 可减少一定的网络负载。

为了减少能耗并保证数据传输的可靠性, 综合考虑路径节点的通信能耗、节点的剩余能量, 给每条路径赋予一定的选择概率, 将分簇策略与 UWB 定位特性有机结合进行下一跳节点选择, 使数据传输均衡消耗整个网络的能量^[6], 延长整个网络的生存时间。

2.2 下一跳节点的选择

路由算法的重点是路径建立, 每个节点需知道到目标节点的所有下一跳节点, 并根据到目标节点的通信代价计算选择每个下一跳节点传输数据的概率。在网络中, 假设 S 为源节点, D 为目标节点, $Cost(N_i)$ 表示节点 i 到目的节点 D 的通信代价。

路由建立规则如下:

(1) 目的节点向邻居节点广播路径建立消息, 启动路径建立过程路径建立消息中包含一个代价域, 表示发出该消息的节点路径上的能量信息, 初始能量 $Cost(N_D) = 0$ 。

(2) 当节点 N_j 收到邻居节点 N_i 发送的路径建立消息时, 节点间距离 d 满足下面条件转发路径建立消息, 否则丢弃。

$$d(N_i, N_s) \geq d(N_j, N_s), \quad d(N_i, N_D) \leq d(N_j, N_D)$$

(3) 如果节点 N_j 要转发路径建立消息, 利用定位功能检查目标节点是否在自己的一跳通信范围内, 如果在, 直接将目标节点添加到自己的路由记录表中并返回路径建立消息给源节点, 不需广播路径建立消息。

节点 N_j 转发路径建立消息时, 需重新计算通信代价 C_{N_j, N_i} :

$$C_{N_j, N_i} = Cost(N_i) + Metric(N_j, N_i)$$

各参数意义如下:

C_{N_j, N_i} : 节点 N_j 发送数据经由节点 N_i 到达目的节点的代价。

$Metric(N_j, N_i)$: 节点 N_j 到节点 N_i 的通信能量消耗, $Metric(N_j, N_i) = e_{ij}^\alpha R_i^\beta$, 其中 e_{ij}^α 为节点 N_j 和节点 N_i 直接通信能量消耗, R_i^β 表示节点 N_j 的剩余能量, α, β 是常量。

(4) 节点放弃代价太大的路径, 节点 N_j 将节点 N_j 加入本地路由表 FT_j 的条件:

$$FT_j = \left\{ i \mid C_{N_j, N_i} \leq \alpha \cdot (\min_k C_{N_j, N_k}) \right\} \quad (\alpha \text{ 为系统参数})$$

(5) 节点 N_j 为路由表 FT_j 中每个下一跳节点计算选择概率 P_{N_j, N_i} 。

$$P_{N_j, N_i} = \frac{1/C_{N_j, N_i}}{\sum_{k \in FT_j} 1/C_{N_j, N_k}}$$

(6) 节点 N_j 根据路由表中能量代价和下一跳节点的选择概率, 计算本节点到目的节点的代价 $Cost(N_j)$ 。

$Cost(N_j)$: 经由路由表中节点到达目的节点的代价平均值。

$$Cost(N_j) = \sum_{k \in FT_j} P_{N_j, N_k} C_{N_j, N_k}$$

节点 N_j 用 $Cost(N_j)$ 替换消息中原来的代价值, 然后向邻居节点广播该路由建立消息。

(7) 对于接收的每个数据分组, 节点从多个下跳节点选出选择概率值高的节点, 作为准下一跳节点将数据转发给该节点。

2.3 基于分簇的能量均衡策略

基于分簇策略的能量均衡策略用来实现准下一跳节点确定后(如: 利用 2.2 所述策略选择准下一跳节点)的负载分流。为了便于算法描述, 做如下定义: 节点 N_i 邀请距离最近的邻节点 N_m 为邻伴, 微簇内不存在簇首, 每个节点至多有一个邻伴。

分簇策略结构示意图如图 3 所示, Cluster1、Cluster2、Cluster3 为微簇, 其成员节点分别为 N_1 与 N_2, N_3 与 N_4, N_5 与 N_6 , 节点 N_7 没有邻伴, 不存在微簇结构。

如果节点 N_2 有待发数据包, 节点 N_2 的邻节点为

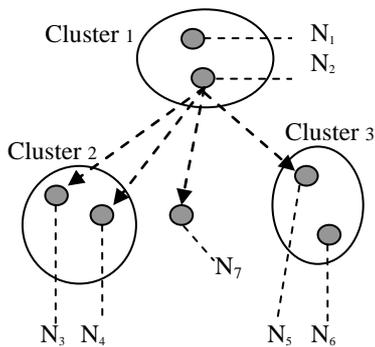


图 1. 分簇策略结构示意图

N_1 、 N_3 、 N_4 、 N_5 、 N_6 、 N_7 , 在 N_2 所在微簇 Cluster1 中, 当且仅当 N_1 是 N_2 唯一存活的邻节点时, 节点 N_2 将数据包转发给节点 N_1 , 否则数据转发策略如下:

CASE1: 如果准下一跳节点选择为无邻伴节点 N_7 , N_2 发送数据至 N_7 ;

CASE2: 若准下一跳节点选择为有邻伴节点 N_5 , 由于其邻伴非 N_2 的邻节点, N_2 发送数据至 N_5 ;

CASE3: 若准下一跳节点选择为有邻伴节点 N_3 , 由于 N_3 、 N_4 均为 N_2 的邻节点, 此时节点 N_2 比较 N_3 、 N_4 节点的剩余能量, 将数据发送至剩余能量较多的节点。

我们用上述方法确定了算法的路由发现过程, 路由算法的数据传送和路由维护过程如下:

(1) 数据传送: 当有数据需要传输时, 用 UWB 定位信息, 判断目标节点是否在一跳范围内, 如果在, 就不需要发送路径建立消息, 直接发送数据; 如果不在, 发送路径建立消息。对于接收的每个数据分组, 节点从多个下跳节点选出选择概率值高的节点, 作为准下一跳节点, 根据分簇策略选择下一跳节点。

(2) 路由维护: 通过周期性从目的节点到源节点进行洪泛查询维持所有路径的活动性。

2.4 CUMR 算法理论分析

CUMR-1: 利用分簇策略以距离为约束条件建立微簇, 减少了跳数, 降低了传输时延, 并从剩余能量的角度均衡网络负载, 在局部实现了能量均衡。

CUMR-2: 在路由建立和数据传输过程中, 根据 UWB 的定位特性优化路由负载。

CUMR: 既利用分簇策略均衡能量, 又根据 UWB 的定位信息优化路由负载。

CUMR-1 以距离为约束条件建立微簇, 能避免频

繁分簇与簇首选择带来的能量开销问题, 且未出现连通问题时, 簇内节点不互相转发数据包, 从一定程度上减少了跳数, 降低传输时延; 从能量角度选择下一跳节点, 局部实现了能量均衡。

CUMR-2 用 UWB 定位信息, 判断节点是否在通信内, 利用 UWB 定位特性, 虽然只有一跳的距离, 可减少一定的网络负载。

在 Shah RC 等人提出的能量多路径路由协议的基础上, 进行改进和扩展, 提出了基于分簇的超宽带多路径路由算法, 该路由算法利用 UWB 的定位特性减少了网络的传输时延和路由开销; 利用分簇策略综合考虑路径节点的通信能耗、节点的剩余能量, 给每条路径赋予一定的选择概率, 使网络能量消耗均衡, 延长了网络的生存周期, 最终实现了稳定的低时延节能路由。

3 仿真结果与分析

3.1 仿真环境及参数设置

采用 NS2 仿真平台, 相关仿真参数如下:

表 1. 仿真参数设置

仿真参数	取值
网络区域大小 (m^2)	1000×1000
信道带宽 (Mbps)	500 (UWB)
无线传输距离 (m)	100
MAC 协议	TDMA
网络节点数	30
节点初始能量 (J)	5
数据包生成速率 (s)	0.001
移动模型	Random Waypoint
节点运动时间间隔 (s)	10
节点平均运动速度 (m/s)	(0, 30)
仿真时间 (s)	500
α, β	1, 50

基于分簇的超宽带多径路由算法属于按需路由算法, DSR 是按需路由算法的典型代表, 具有较好的性能, 将 CUMR 与经典路由协议 DSR 进行比较, 分析协议在分组投递率、平均时延、路由开销、节点死亡个数、网络生存时间等方面的性能。

(1) 平均端到端时延: 平均时延是目的节点的分

组接收时间与源节点的分组发送时间的平均差值。时延越小，响应越快，网络性能越好^[6]。

(2) 分组投递率：目的节点接收数据分组的个数与源节点发送分组的个数的比值。分组投递率越大，传送过程中丢失的分组越少，网络性能越好。

(3) 归一化路由开销：网络运行过程中所有节点发出的控制分组数目与总的发送分组（包括控制分组与数据分组）的比值。该参数评估路由控制开销，间接反映动态环境下路径的稳定性，开销越小，路径稳定性越强。

(4) 节点死亡个数：在规定模拟过程中能量减为 0 的节点个数。

(5) 网络生存时间：网络出现第一个节点死亡的时间。该参数反映网络总体的生命力，一般情况下，节点生存时间越长，网络能量的均衡消耗将会得到更好控制^[7]。

3.2 结果分析

图 2 为路由算法的分组投递率随节点移动速度变化的比较情况。从图中可以看出网络基本稳定时（节点速度较小），CUMR 和 DSR 的分组投递率都很高，随着节点移动速度的增大，DSR 要花更多的时间进行路由发现，期间丢掉的数据包也越多，DSR 协议的分组投递率显著下降，而 CUMR 的下降趋势缓慢，其分组投递率要明显高于 DSR。我们还可以看出，由于 UWB 的定位能力只能提供一跳范围内的信息，所以 CUMR-2 对网络性能的提高是有限的，没有 CUMR-1 明显，要进一步提高网络性能，还需进一步挖掘 UWB 特性潜力。

图 3 为平均端到端时延随节点移动速度变化的比较情况。从图中可以看出，在节点速度较小，网络基本稳定时，DSR 协议平均端到端时延小于 CUMR 算法，因为 DSR 是直接以跳数作为选路的条件，而 CUMR 考虑能量问题，因此跳数会多一些，导致时延增加。两种协议随着节点速度加快而时延增加，断链的机率增加，使得数据在节点缓冲的等待时间增加。总的来说，CUMR 所产生的平均端到端时延比采用 DSR 协议产生的平均端到端时延要小，并且利用 UWB 的定位功能减少了一定传输时延减少数据分组传输延时，提高了传输效率。

图 4 为归一化路由开销随节点移动速度变化的比较情况。从结果可以看出，DSR 的路由开销最大，

CUMR 算法的路由开销最低。在节点不移动的时候，虽然 DSR 丢弃了重复的请求包，但是由于 CUMR-2 利用 UWB 定位信息，在一跳范围内的数据传输，就不需再发送路径

建立消息包，减少了路由负载，同时路径建立消息也可减少一跳的广播，有效地限制了路由开销。由于 CUMR-2 没有跳数约束，因而 CUMR-2 的路由开销

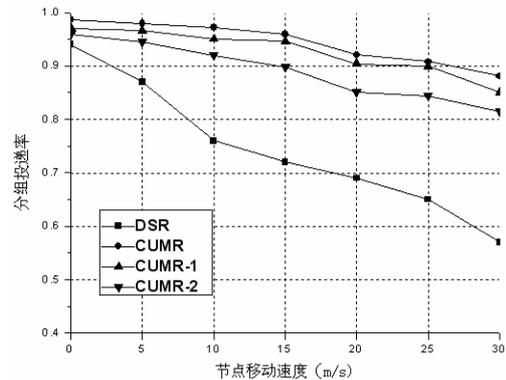


图 2. 分组投递率与节点移动速度的关系

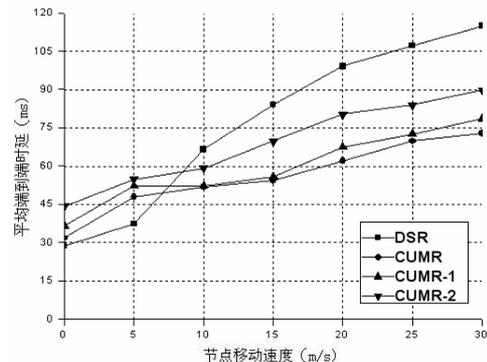


图 3. 平均端到端时延与节点移动速度的关系

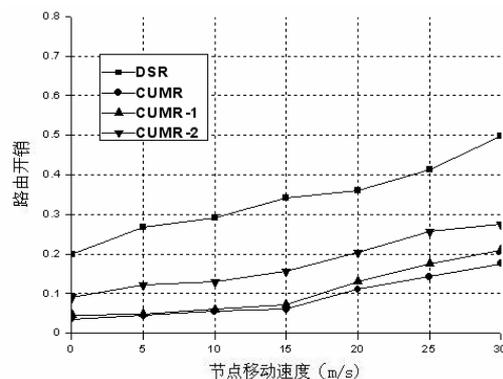


图 4. 路由开销与节点移动速度的关系

比 DSR 小很多但比 CUMR-1 开销大。UEAR 联合了 UEAR-1 和 UEAR-2 的优化, 故 UEAR 的路由开销最低。随着节点的移动性加强, DSR 和 CUMR 的路由开销都在增加, 曲线呈上升趋势, CUMR 算法优势越明显。

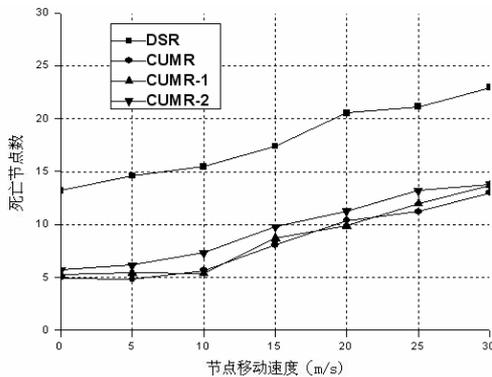


图 5. 节点死亡数与节点移动速度的关系

图 5 为节点死亡数随节点移动速度变化的比较情况。随着节点的速度加快, 死亡节点个数均呈上升趋势, 由于 CUER-1 和 CUER-2 都考虑了节点的能量消耗速度, 更有效的利用了节点的能量, 死亡节点数低于 DSR。

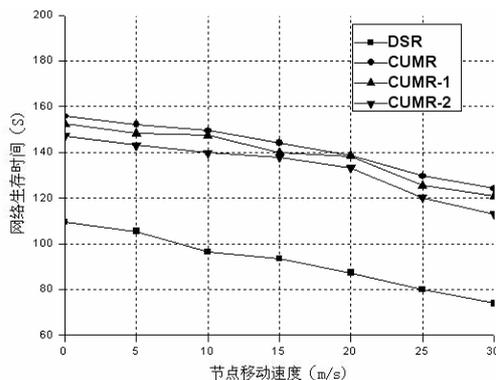


图 6. 网络生存时间与节点移动速度的关系

图 6 为网络生存时间随节点移动速度变化的比较情况。随着节点运动速度的增大, 网络生存时间越来越小, 主要由于随着节点运动速度的增大, 网络拓扑

变化越来越大, 控制开销增大, 使网络生存时间的到来提前, CUMR-1、CUMR-2 和 CUMR 的网络生存时间明显优于 DSR。

4 结论

为了减少能耗并保证数据传输的可靠性, 本文提出了一种基于分簇的超宽带多路径路由算法, 该路由算法利用 UWB 的定位特性减少了网络的传输时延和路由开销, 算法采用分簇策略, 综合考虑通信路径上节点的消耗能量, 剩余能量, 选择下一跳节点, 使网络能量消耗均衡, 延长了网络生存时间。仿真结果表明, 根据分簇及 UWB 定位特性选择稳定的低时延节能路由, 能减少路由开销, 提高传输效率, 使数据传输均衡消耗整个网络的能量, 延长网络的生存时间, 提高网络性能。

References (参考文献)

- [1] M Youssef, K Arisha. A Constrained shortest-Path Energy-Aware Routing Algorithm for Wireless Sensor Networks [C]. Wireless Communications and Networking Conference, 2002.94-799.
- [2] Rajesh Krishnan, David starobinski. Efficient clustering algorithms for self-organizing wireless sensor networks [J]. Ad Hoc Networks, 4, 2006. 36-59.
- [3] Bassam Aoun, Rauof Boutaba. Clustering in WSN with Latency and Energy Consumption Constraints [J]. Journal of Network and Systems Management, 14(3), 2006.415-439.
- [4] Shah R C,Rabaey J M. Energy aware routing for low energy Ad Hoc sensor networks[C].Proc of IEEE Wireless Communications and Networking Conference. Piscataway, USA, 2002.17-21.
- [5] Intanagonwiwat C, Govindan R, Estrin D. Directed diffusion: a scalable and robust communication paradigm for sensor networks[C]. Proc of ACM MobiCom '00, Boston, MA, 2000. 56-67.
- [6] Wang quandi, Li bing, Liu qingsong. Research on energy Multi-Path Routing for Wireless sensor network [J]. Information and control, 35(2), 2006. 130-132. 汪泉弟,李彬,刘青松.无线传感器网络能量多路径路由研究[J].信息与控制, 35(2), 2006. 130-132.
- [7] Heinzelman W R, Chandrakasan A, Balakrishnan H. Energy-Efficient Communication Protocol for Wireless Microsensor Networks[C]. Proc of the 33rd Hawaii International Conference on System Sciences, 2000.1-10.
- [8] Mann R P,Namuduri K, Pendse R. Energy Aware Routing Protocol (EARP) for Ad-Hoc Wireless Sensor Networks[C]. Proc of IEEE Communications Society Globecom 2004 Workshops, 2004.419-427.