

一种分簇 Ad Hoc 网络场景下的路由发现方案

葛文豪, 曾桂根

(南京邮电大学 通信与信息工程学院, 江苏 南京 210003)

摘要:针对分簇结构 Ad Hoc 网络场景下的路由问题,提出一种基于接收信号强度(RSSI)和邻居先验信息的按需路由发现方案。该方案根据网络的分簇特点,在路由发现 RREQ 广播中,考虑节点间 RSSI 和中继节点业务负载情况,引入随机延时退避转发机制,综合判断是否转发 RREQ 报文,以解决场景中“广播风暴”引起的路由开销问题、优化路由发现的质量。仿真结果表明,与 CBRP 协议路由发现的性能相比,该方案大大降低了路由发现过程中控制包的开销,缩短了路由发现的时延,总体提高了网络性能。

关键词:分簇 Ad Hoc 网络;路由发现;CBRP 协议;接收信号强度;邻居节点表

中图分类号:TN393

文献标识码:A

文章编号:1673-629X(2015)02-0064-05

doi:10.3969/j.issn.1673-629X.2015.02.015

A Route Discovery Scheme of Clustering Ad Hoc under Network Scenario

GE Wen-hao, ZENG Gui-gen

(College of Telecommunication and Information Engineering, Nanjing University of Posts and Telecommunications, Nanjing 210003, China)

Abstract: A scheme of reactive route discovery is proposed based on RSSI and neighbor priori-knowledge, aiming at routing problem of the clustering Ad Hoc scenario. Based on cluster network feature, this scheme considers the RSSI between nodes and traffic-load of relay nodes during RREQ broadcast, and introduces the delay back-off forwarding mechanism to comprehensively determine whether to forward RREQ packet, solving the routing overhead problem caused by broadcast storm and optimizing performance of route discovery. Simulation results show that compared with performance of protocol CBRP, the scheme significantly reduces the route discovery control overhead and shortens the discovery delay, improving overall network performance.

Key words: clustering Ad Hoc network; route discovery; CBRP; RSSI; neighbor node table

0 引言

Ad Hoc 网络^[1]是由一组带无线收发装置的移动终端构成的多跳临时性自治系统。由于其独立组网、多跳路由等网络特性,可满足战场、矿区、抗震救灾等应急通信场合的应用。Ad Hoc 网络节点兼具路由器和主机功能,当源节点和目的节点不在相互直接覆盖范围时,需通过中间节点的报文转发实现通信。Ad Hoc 网络路由协议对节点间的通信性能影响很大,是 Ad Hoc 网络重要的研究方向。根据拓扑结构路由协议可分为平面(如 AODV)和分簇式(如 CBRP)两类,其各有相对适用的场景^[2]。

AODV(Ad Hoc On-demand Distance Vector)协议^[3]是一种平面式 Ad Hoc 网络经典按需路由协议,通过 RREQ(Route Request)广播和 RREP(Route Reply)单播机制按需路由发现并形成路由表,故相对表驱动协议能有效节省网络资源。CBRP(Cluster Based Routing Protocol)协议是基于分簇 Ad Hoc 网络结构的按需路由协议,参与路由发现的节点主要为簇头和中继节点,故控制开销相对 AODV 较少。然而,以上两种协议的路由发现方式均存在较大缺陷:AODV 协议在广播查找路由时形成的洪泛,会造成大量不必要的路由开销,并可能导致“广播风暴”^[4-5];CBRP 协议虽

收稿日期:2014-02-27

修回日期:2014-05-29

网络出版时间:2014-12-27

基金项目:江苏省科技支撑计划(工业)项目(BE2012182)

作者简介:葛文豪(1989-),男,硕士研究生,研究方向为认知无线电 Ad Hoc 网络下的混合式路由协议;曾桂根,博士,副教授,硕士生导师,研究方向为认知无线电宽带无线数据通信技术、异构网络融合和网关技术。

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/61.1450.TP.20141227.1341.012.html>

减少了开销,但寻找的路径只含簇头-中继链路,导致这些节点负荷过大,且当簇间重叠区内中继节点较多时,RREQ包的开销及转发选择问题仍未解决。

分簇 Ad Hoc 的网络结构更适合于宽带数据传输,与之相对应的路由协议也得到了业界关注,并针对 CBRP 协议的缺陷,进行了深入研究。文献[6]通过自适应地调整簇半径,节点密度增加时路由开销并不急剧增大;文献[7]以确保邻接簇间只存在唯一中继节点为簇间中继选取原则,可减少 CBRP 协议中继选择开销;文献[8]利用簇标签共享信息使路由广播只沿最大支配集内节点转发,然而这些策略会引入较大算法控制开销,寻到的路由多为单径且不一定最优。

文中研究分簇 Ad Hoc 网络场景,提出了一种基于 RSSI(接收信号强度指示)与邻居节点先验信息的 RREQ 转发判决的广播机制(RREQ Forwarding Decision of Broadcast mechanism based on RSSI and Neighbor priori-knowledge, FDBRN),节点通过其邻居节点的 RSSI 与业务负载信息,计算其周围邻居节点的平均 RSSI 和平均业务负载;在此基础上,选择比平均 RSSI 小的簇内成员节点转发 RREQ,在此条件下,再选择比平均业务负载小的簇间中继节点转发 RREQ,而不满足以上两个条件的节点则启动一种竞争 RREQ 转发优先权的延时退避机制。FDBRN 机制可有效降低分簇 Ad Hoc 网络路由发现广播开销,并提高搜索路由质量。

1 相关工作

针对分簇 Ad Hoc 网络路由发现广播及选择问题,有很多研究成果。文献[9]通过构造多点中继 MPR(Multi-Point Relay)集来选择特定节点转发路由广播,但并不能保证获得的 MPR 集最优。文献[10]提出基于距离预测进行扩展环路由发现,预测到目的节点距离跳数,并计算 ERS(Expanding Ring Search,扩展环搜索)3个参数。该算法虽减弱了路由发现的盲目性,但节点数目增加时开销仍较大。文献[11]为每个中间节点建立两跳拓扑,在多轮搜索后就可仅让部分节点参与转发,从而减少广播开销。此外,有研究指出 MAC 协议对路由开销也产生影响,改善开销还需考虑 MAC 层的碰撞问题^[12]。

上述路由协议及改进算法在对路由发现进行优化时总体基于以下几点:限制路由广播转发边界以降低盲目性;让特定节点转发广播包以减少碰撞;在保证搜索路由质量前提下尽量减少广播发送量。无论哪种方法,减少路由发现开销的本质可归结为:中间节点通过策略判断“是否”及“何时”转发 RREQ,以此减少不必要开销。

RSSI(Received Signal Strength Indicator)可以作为 Ad Hoc 网络的测距定位技术^[13],节点通过它可估计出发节点间距离 d 。某个节点广播 RREQ 后,邻居节点转发 RREQ 的效率与节点间距离 d 紧密相关。用邻居节点重播 RREQ 形成的新增覆盖范围衡量 RREQ 转发效率。如图 1 所示,节点 A 发出或转发一个 RREQ 包, B 和 C 重播该 RREQ。设 S_A 、 S_B 分别为 A、B 节点的覆盖范围, B 重播 RREQ 新增覆盖面积用 S_{B-A} (阴影部分)表示, R 为节点 A、B 的无线覆盖半径, d 为 A、B 间估计距离。可推导出 $|S_{B-A}|$ 如公式(1):

$$|S_{B-A}| = |S_B| - |S_{A \cap B}| = \pi R^2 - 4 \int_{d/2}^R \sqrt{R^2 - x^2} dx \quad (1)$$

特别地,当 $d=R$ 时,新增覆盖 $|S_{B-A}|$ 达最大,积分计算得其约为 0.61。因此,即:一次 RREQ 重播最多只提供较前一次广播 61% 的新增覆盖面积,节点密集环境下的新增覆盖会更小。因此从新增覆盖角度看,图中节点 B 就比 C 的 RREQ 转发效率高,故可通过 RSSI 估计 d ,选择 d 较大的邻居节点转发 RREQ,以提高转发效率。

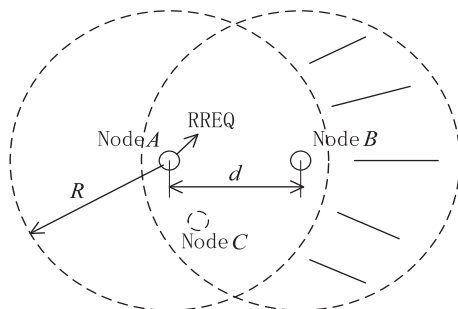


图1 节点重播 RREQ 新增覆盖与距离 d 的关系

距离 d 与 RSSI 的计算关系根据无线传播模型存在差异,为了较符合实际网络信道环境,文中用 Shadowing 模型描述其计算关系^[14]为:

$$\frac{P_r(d)}{P_r(d_0)} = -10\beta \log\left(\frac{d}{d_0}\right) + X_{db} \quad (2)$$

其中,距离 d 的平均接收功率为 $P_r(d)$;给出参考距离 d_0 对应的平均接收信号强度为 $P_r(d_0)$; β 表示路径衰减系数,通常为实地测量的经验值; X_{db} 是均值为零的高斯随机变量,标准差 σ_{db} 由实地测量获取,具体估计 d 时可忽略其影响。

从式(2)中 d 和 RSSI 计算关系得出,可通过特定机制选取 RSSI 较小的邻居节点重播 RREQ,以降低路由开销,进而提高 RREQ 转发效率。

综上,根据 RSSI 有利于降低 RREQ 开销的分析,文中提出了 FDBRN 机制,通过邻居节点的平均 RSSI、平均业务负载和综合判决条件,判断是否转发 RREQ,不满足判决条件的节点启动一种延时退避机制,竞争

RREQ 包的转发优先权,其退避时间与 RSSI 和邻居先验信息相关。

2 FDBRN 方案

2.1 符号与参数定义

如图 2 所示,设 $RSSI_{NN}(j)$ 为节点 $Node_i$ 的邻居节点 $Neighbor_j$ 到 $Node_i$ 的 RSSI, $RSSI_{NC}(j)$ 为 $Node_i$ 的邻居 $Neighbor_j$ 到所属簇头 Cluster 的 RSSI。节点的业务负载可用其 MAC 层接口队列内的分组长度表征,设 $Traffic_j$ 为 $Node_i$ 的邻居节点 $Neighbor_j$ 当前流量负载, $Traffic_k$ 为 $Neighbor_j$ 周围某邻居节点最近流量负载。设节点 $Node_i$ 的邻居节点 $Neighbor_j$ 的邻居节点数目为 $Degree_N(j)$ 。

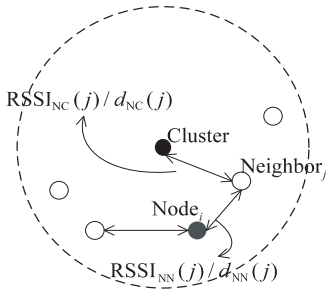


图 2 RSSI 等相关参数定义说明

在 FDBRN 方案的路由发现广播包 RREQ 中,新加入 $\overline{RSSI_{avg}}$ 、 $\overline{Q_{avg}}$ 、 $\overline{Degree_N}$ 三个参数字段,收到 $Node_i$ 所发 RREQ 包的节点 $Neighbor_j$ 以此综合判决下一步转发行为。以下公式 (3) ~ (5) 计算参数 $\overline{RSSI_{avg}}$,公式 (6) 计算邻居节点用于与 $\overline{RSSI_{avg}}$ 比较的参数 $\overline{RSSI_j}$ 。 $\overline{Q_{avg_old}}$ 为从收到 RREQ 中提取的 $\overline{Q_{avg}}$ 参数,而 $\overline{Q_{avg_new}}$ 是用公式 (7) 计算的新 $\overline{Q_{avg}}$ 动态阈值。公式 (8) 计算 $Node_i$ 周围所有邻居节点 $Neighbor_j$ 的平均邻居节点数 $\overline{Degree_N}$ 。公式定义如下:

$$\overline{RSSI_{avg}} = \text{AVG}(\overline{RSSI_{NN}}, \overline{RSSI_{NC}}) \quad (3)$$

$$\overline{RSSI_{NN}} = \frac{\sum_{j=1}^N \overline{RSSI_{NN}(j)}}{N} \quad (4)$$

$$\overline{RSSI_{NC}} = \frac{\sum_{j=1}^M \overline{RSSI_{NC}(j)}}{M} \quad (5)$$

$$\overline{RSSI_j} = \text{AVG}(\overline{RSSI_{NN}(j)}, \overline{RSSI_{NC}(j)}) \quad (6)$$

$$\overline{Q_{avg_new}} = \frac{\sum_{k=1}^{Degree_N(j)} \overline{Traffic_k} + \overline{Traffic_j} + \overline{Q_{avg_old}}}{N + 2} \quad (7)$$

$$\overline{Degree_N} = \frac{\sum_{j=1}^N \overline{Degree_N(j)}}{N} \quad (8)$$

其中, $\text{AVG}(X, Y)$ 计算 X, Y 均值; N 为 $Node_i$ 所有

一跳邻居数; M 为与 $Node_i$ 隶属同簇的一跳邻居数。

2.2 方案基本思想

FDBRN 方案中,当源节点发起路由发现时,通过 2.1 节中公式进行计算,在 RREQ 包内加入 $\overline{RSSI_{avg}}$ 、 $\overline{Q_{avg}}$ 、 $\overline{Degree_N}$ 三个参数;收到该 RREQ 的中间节点,比较自身 $\overline{RSSI_j}$ 与 $\overline{RSSI_{avg}}$ 的大小,如果是中继节点还需比较自身 $\overline{Traffic_j}$ 和 $\overline{Q_{avg_new}}$ 的大小;如果 $\overline{RSSI_j}$ 小于 $\overline{RSSI_{avg}}$ 且 $\overline{Traffic_j}$ 小于 $\overline{Q_{avg_new}}$ (中继节点情况),则直接转发 RREQ;否则,启动随机退避机制竞争 RREQ 的转发。下面给出详细方案思想。

如图 3 所示,通过分析,注意到离簇头 B 较远和离节点 B_6 较远的节点对提高路由发现 RREQ 广播的“跨簇转发”效率非常有利,而一些较集中簇头 B 或较集中 B_6 的节点则不太适合转发 RREQ。根据这种情况, FDBRN 方案综合以上两种 RSSI 信息作为重播 RREQ 的判决条件,以降低大量不必要的 RREQ 开销。因此根据 2.1 节定义, $Node_i$ (B_6) 在发 RREQ 时,计算 $\overline{RSSI_{avg}}$,加入 RREQ 包内;其邻居节点 $Neighbor_j$ (如 B_7) 收到后,计算 $\overline{RSSI_j}$,与收到 RREQ 包内的 $\overline{RSSI_{avg}}$ 比较,若 $\overline{RSSI_j}$ 小于 $\overline{RSSI_{avg}}$,则转发该 RREQ。另外从图 3 注意到,对于 3 跳及以上的路由发现一般需跨簇搜索,此时充当路由的簇间中继节点,其业务负载情况引起的排队时延使数据分组转发时延增大。因此,在基于 RSSI 判决转发 RREQ 基础上,有意“避开”业务负载较重的中继, RREQ 广播可搜到具备负载均衡特点的路径, FDBRN 方案引入“业务负载动态阈值”进一步判断是否转发 RREQ。在 $Node_i$ 节点发送的 RREQ 包中包含 $\overline{Q_{avg}}$ 参数;具备中继属性的邻居节点 $Neighbor_j$ 收到后,在满足 RSSI 判决条件下,利用 RREQ 包内的 $\overline{Q_{avg_old}}$,计算新的负载动态阈值 $\overline{Q_{avg_new}}$,并比较自身 $\overline{Traffic_j}$ 与 $\overline{Q_{avg_new}}$ 的大小,若 $\overline{Traffic_j}$ 小于 $\overline{Q_{avg_new}}$,则转发该 RREQ。

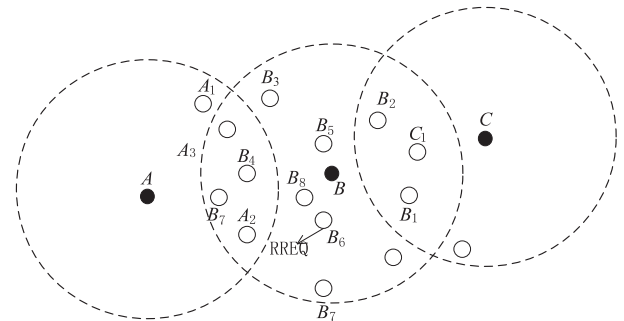


图 3 簇 B 内 B_6 节点向外广播 RREQ 包的情况

但在图 4 所示情况下,使用以上判决条件转发 RREQ 包进行路由发现时存在路径质量问题。因为实

际网络中节点 c 的邻居节点分布存在差异性,节点密度并不均匀,收到 Node_i 所发 RREQ 的邻居节点中,落在图中虚点圆(作为 $\overline{\text{RSSI}_{\text{avg}}}$ 或 $\overline{Q_{\text{avg}}}$ 的阈值界线)内椭圆围绕的这三个节点,根据以上判决规则将都丢弃该 RREQ。但是,当要寻找的目的节点位于 Node_x 方向的区域内时,由于 RREQ 包难以全方位覆盖转发,将存在路径“绕远”或找不到路由的缺陷。FDBRN 方案针对该问题,使不满足以上判决条件的邻居节点启动一种延时退避机制,异步竞争 RREQ 的转发优先权,而不是直接丢弃。

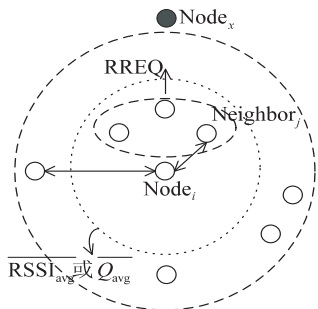


图4 一种 RREQ 包转发判决的特殊情景
延时退避机制退避时间 T_0 计算如式(9)所示:

$$T_0 = U\left(\tau * \frac{\overline{\text{RSSI}_j}}{\overline{\text{RSSI}_{\text{avg}}}} * \frac{\overline{\text{Traffic}_j}}{\overline{Q_{\text{avg}}}} * \frac{\overline{\text{Degree}_N}}{\overline{\text{Degree}_N(j)}}\right) \quad (9)$$

其中, τ 为一个较短时延常量,一般取 μs 数量级;其后是对 τ 的加权,分别表示 $\overline{\text{RSSI}_j}$ 、 $\overline{\text{Traffic}_j}$ 、 $\overline{\text{Degree}_N(j)}$ 三个参数对 T_0 的影响; $U(x)$ 是一个均匀分布于 0 和 x 间的随机数函数。

分析图 4 可得, $\overline{\text{RSSI}_j}$ 相对较小(其距离 d 较大)的邻居节点 Neighbor_j 具备一定的 RREQ 转发优先权,这通过其与 $\overline{\text{RSSI}_{\text{avg}}}$ 归一化对 τ 的加权体现, $\overline{\text{RSSI}_j}$ 越小,定时器 T_0 越小; $\overline{\text{Traffic}_j}$ 对 T_0 的影响与 $\overline{\text{RSSI}_j}$ 一致; $\overline{\text{Degree}_N(j)}$ 对 T_0 影响与 $\overline{\text{RSSI}_j}$ 相反, $\overline{\text{Degree}_N(j)}$ 越大, T_0 越小。

FDBRN 方案中延时退避机制的引入,相对于通过以上判决条件转发 RREQ 的“硬判决”来说,这种“软判决”策略更能自适应 Ad Hoc 网络拓扑特点。 Neighbor_j 执行延时退避算法的流程如下:

(1) 缓存 RREQ 包,初始化 RREQ 延时转发定时器 $\text{RREQ_Contention_Timer}$ 的值为 T_0 。启动定时器 $\text{RREQ_Contention_Timer}$;

(2) 如果在定时器超时前,又收到同一轮路由发现的 RREQ 包(通过 $\langle \text{RREQ_ID}, \text{SrcIP} \rangle$ 判断),则丢弃该 RREQ,并清空原缓存的 RREQ 包;

(3) 否则,如果在定时器超时时,都未收到周围发来的 RREQ 包,则计算新的 $\overline{\text{RSSI}_{\text{avg}}}$ 、 $\overline{Q_{\text{avg}}}$ 、 $\overline{\text{Degree}_N}$ 参数,

构造 RREQ 包并广播。

FDBRN 方案使用的先验参数 $\text{RSSI}_{\text{NN}}(j)$ 、 $\text{RSSI}_{\text{NC}}(j)$ 、 $\text{Degree}_N(j)$ 、 Traffic_j ,从节点两跳范围的邻居节点表(Neighbor Node Table, NNT)中获取。建立 NNT 表可通过在 MAC 层周期性以身份广播帧 ID_Broadcast 与邻居节点交互信息,经过两次交互后形成。为降低节点间交互 ID_Broadcast 信息的代价,要避免配置较短的交互周期,具体实现时可根据网络场景自适应调整该周期。

2.3 路由发现算法流程

综上所述,基于 FDBRN 机制的路由发现完整执行流程描述如下:

(1) 源节点 $S(\text{Node}_i)$ 发送 RREQ 前,计算参数 $\overline{\text{RSSI}_{\text{avg}}}$ 、 $\overline{\text{Degree}_N}$ 、 $\overline{Q_{\text{avg}}}$,并联合其他参数,构造 RREQ 包并发送;

(2) 中间节点 $M(\text{Neighbor}_j)$ 收到 RREQ 后的处理过程。节点判断是否已收过该 RREQ,若收过,则丢弃;否则,按以下综合流程判决转发 RREQ:

- 解析 RREQ 中参数 $\overline{\text{RSSI}_{\text{avg}}}$,计算自身 $\overline{\text{RSSI}_j}$,若 $\overline{\text{RSSI}_j} \leq \overline{\text{RSSI}_{\text{avg}}}$,转 b;否则转 d;
- 判断节点属性。若是中继,转 c,否则转 e;
- 使用 RREQ 内参数 $\overline{Q_{\text{avg_old}}}$ 计算 $\overline{Q_{\text{avg_new}}}$ 动态阈值,若 $\text{Traffic}_j \leq \overline{Q_{\text{avg_new}}}$,转 e;否则转 d;
- 启动定时器 $\text{RREQ_Contention_Timer}$ 执行延时退避竞争 RREQ 转发优先权(详见 2.2 节);
- 在路由表内建立反向路由,使用计算参数构造新的 RREQ 包并广播;
- 算法结束。

(3) 目的节点 D 收到 RREQ 后的处理过程与 AODV 协议基本一致,不在赘述。至此源节点可通过该条路由将缓存的数据包逐跳发至目的节点。

3 仿真分析

3.1 仿真环境

文中通过 MATLAB 搭建网络场景仿真模型:建立 Random-Way-Point 节点移动模型,使用 MATLAB 中的元胞(Cell)数组构建网络节点数据存储结构,采用泊松分布模拟实际的业务流触发事件,并通过循环缓存队列模拟无线信道的数据传输及其他控制。在 MATLAB 仿真模型的基础上,编写程序对文中 FDBRN 方案进行仿真,并统计路由发现性能参数。每次实验仿真时间为 1 800 s,反复运行 15 次,最后对实验数据加权平均计算,获得仿真对比结果,具体见 3.2 节。表 1 为部分仿真参数。

仿真着重比较 CBRP 协议与中文 FDBRN 方案,主

要对以下两个性能度量进行仿真分析,定义如下:

1) 归一化路由开销:每发送一个数据分组产生的路由控制分组数,反映了路由发现效率。本仿真中路由开销主要为 RREQ 和 RREP 包数目。

表 1 仿真环境参数

参数名称	值
网络范围	2 000 * 2 000
传输半径/m	250
移动速度/(m/s)	0 ~ 20
发包大小/bytes	468
发包速率/(packet/s)	8
MAC 层	802.11 DCF
传播模型	Shadowing 模型
业务类型	CBR 业务流
业务连接数	10 个
节点数目	20,30,50,70,90,110

2) 平均端到端时延:从源节点产生数据分组至目的节点收到该分组的总体时延,反映拥塞程度及路由发现有效性。本仿真中主要为路由发现时延和分组排队时延。

3.2 仿真结果及分析

图 5 给出了 FDBRN 方案归一化路由开销随节点数目的变化情况,并与 CBRP 协议进行比较。随着节点数的增加,两种协议产生的 RREQ 和 RREP 包数都在增加,但 CBRP 协议增加的速度和幅度较为明显, FDBRN 方案总体路由开销增加较平稳,且明显减少。这是因为节点数目越多,RREQ 广播包转发次数越多, CBRP 协议的路由开销将随节点密度同比增长,而 FDBRN 方案考虑节点间 RSSI 和中继节点业务负载情况尽量选择合适节点转发 RREQ,大大降低开销。

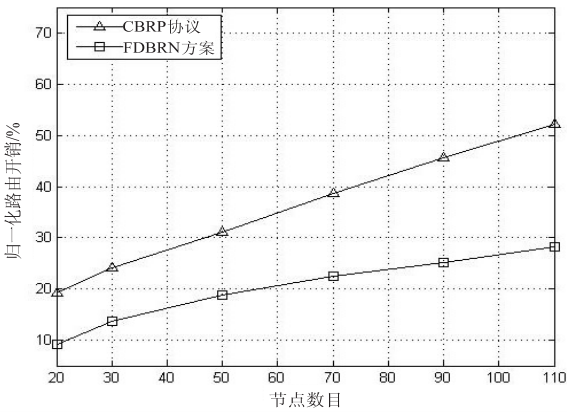


图 5 节点数目对归一化路由开销的影响

图 6 给出了 FDBRN 方案和 CBRP 协议的平均端到端时延随节点数目的变化情况。当节点数较少时, CBRP 协议采用簇头-中继链路转发 RREQ 而不用其他处理,故时延性能稍好;但随着节点数目增加,FD-

BRN 方案端到端时延虽增加,但较缓慢;当节点数多于 70 后,相较 CBRP 协议能平均减少约 49% 时延量。这是因为虽然节点密度提高,信道冲突增加,但 FDBRN 选择较远节点转发 RREQ,数据分组转发跳数并不急剧增加,且考虑中继业务负载使排队时延降低,故时延性能较 CBRP 有大幅度改善。

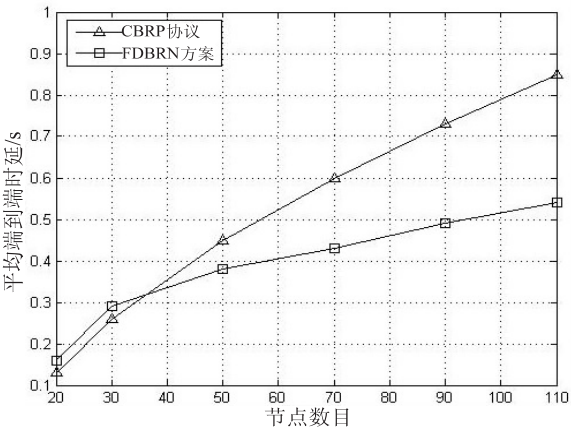


图 6 节点数目对平均端到端时延的影响

4 结束语

文中在分簇 Ad Hoc 网络场景下,针对 AODV 和 CBRP 协议存在的路由开销和路由质量问题,考虑节点间 RSSI 和先验邻居信息,提出了 FDBRN 方案并对其性能进行仿真。节点通过其邻居节点的 RSSI 与业务负载信息,计算邻居节点平均 RSSI 和平均业务负载;在此基础上,选择比平均 RSSI 小的簇内成员节点转发 RREQ,在满足比平均 RSSI 小的条件下,再选择比平均业务负载小的簇间中继节点转发 RREQ,而不满足以上两个条件的节点启动竞争 RREQ 转发优先权的延时退避机制。仿真结果表明,该方案有效降低了路由发现开销和平均时延,大大提高了网络性能,算法不需增加辅助设备且实现简单,很有实际意义。当节点间存在障碍物导致 RSSI 精度出现的偏差问题将是下一步研究内容。

参考文献:

[1] Li V O K, Lu Z. Ad hoc network routing [C]//Proc of 2004 IEEE international conference on networking, sensing and control. [s. l.]:IEEE,2004:100-105.

[2] Parvathi P. Comparative analysis of CBRP, AODV, DSDV routing protocols in mobile ad hoc networks [C]//Proc of 2012 international conference on computing, communication and applications. [s. l.]:IEEE,2012:1-4.

[3] 沈 奔,秦 军,万 丽.无线 Ad Hoc 网络中 AODV 路由算法的研究与改进[J]. 计算机技术与发展,2011,21(3): 150-153.

$$\hat{f} = \frac{f_x \cdot dx + f_y \cdot dy}{2} \times 10^{-3}$$

(36)

则标定结果中焦距绝对误差和相对误差为:

$$\Delta f = f - f_0$$

(37)

$$\delta = \frac{|\Delta f|}{f_0} \times 100\%$$

(38)

计算结果如表 1 所示。

表 1 标定误差结果分析

摄像机序号	绝对误差/mm	相对误差/%
1(左)	-0.07	2.8
2(中)	-0.06	2.4
3(右)	-0.07	2.8

5 结束语

文中对三目立体标定的方法以及原理进行了详细的研究,提出的多目标带约束的优化方程吻合三目摄像机的参数模型,在此基础上利用 MATLAB 对三目标定原理进行了实验。实验结果很好地验证了三目立体标定原理的正确性以及有效性。

参考文献:

[1] 马颂德,张正友. 计算机视觉:计算理论与算法基础[M]. 北京:科学出版社,1998.

[2] 徐 德,谭 民,李 原. 机器人视觉测量与控制[M]. 北京:国防工业出版社,2008.

[3] 吴文琪,孙增圻. 机器视觉中的摄像机定标方法综述[J].

计算机应用研究,2004,21(2):4-6.

[4] 秦丽娟,胡玉兰,魏英姿,等. 基于模型的单目视觉定位方法研究概述[J]. 仪器仪表学报,2008,29(8):530-533.

[5] Hallert B. Notes on calibration of cameras and photographs in photogrammetry[J]. Photogrametria, 1968, 8663(23):163-178.

[6] Weng J, Cohen P, Herniou M. Camera calibration with distortion models and accuracy evaluation[J]. IEEE Trans on PAMI, 1992, 14(10):965-980.

[7] Zhang Zhengyou. A flexible new technique for camera calibration[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2000, 22(11):1330-1334.

[8] 吴福朝,于洪川,袁 波,等. 摄像机内参数自标定—理论与算法[J]. 自动化学报,1999,25(6):769-775.

[9] 袁 野,欧宗瑛. 一种考虑二阶径向畸变的主动视觉自标定算法[J]. 中国图象图形学报,2003,8A(3):347-351.

[10] Hsien C H, Chen F C. General two-stage Kalman filters[J]. IEEE Trans on Automatic Control, 2000, 45(4):819-824.

[11] Zhang Zhengyou. Flexible camera calibration by viewing plane from unknown orientations[C]//Proc of 7th IEEE international conference on computer vision. Kerkyra: IEEE, 1999:666-673.

[12] 黄桂平,李小勇,钦桂勤. 数码相机内参数的实验场法标定[J]. 测绘学院学报,2005,22(3):163-165.

[13] 王保丰,唐歌实,李广云,等. 一种月球车视觉系统的匹配算法[J]. 航空学报,2008,29(1):117-122.

[14] 黄翔宇,崔平远,崔枯涛. 深空自主导航系统的可观性分析[J]. 宇航学报,2006,27(3):332-337.

(上接第 68 页)

[4] Jalil K A, Ahmad Z, Manan J A. Securing routing table update in AODV routing protocol [C]//Proc of 2011 IEEE conference on open systems. [s. l.]: IEEE, 2011:116-121.

[5] 何昆鹏,李腊元. Ad Hoc 网络中按需路由协议的仿真与性能分析[J]. 计算机技术与发展,2008,18(3):81-84.

[6] Shafiq Z, Mahmud S A, Khan G M, et al. Zone routing protocol: how does it perform the other way round? [C]//Proc of 2012 international conference on ICT convergence. [s. l.]: IEEE, 2012:71-77.

[7] 徐 浩,慕德俊,李立欣. 一种 Ad hoc 网络按需式分簇路由算法[J]. 计算机工程与应用,2007,43(14):3-6.

[8] Zhang Junna, Yuan Peiyan, Liu Ping. Research and simulations of cluster routing protocols in Ad Hoc networks [C]//Proc of WRI world congress on software engineering. Xiamen: IEEE, 2009:509-512.

[9] 陈林星,曾 曦. 移动 Ad Hoc 网络:自组织分组无线网络

技术[M]. 北京:电子工业出版社,2006.

[10] 李世宝,洪 利. 基于距离预测的移动自组网路由发现算法[J]. 通信学报,2010(11):180-187.


[11] Pham N D, Choo H. Energy efficient expanding ring search for route discovery in MANETs [C]//Proc of IEEE international conference on communications. Beijing: IEEE, 2008:3002-3006.

[12] 李士宁,张 琪,于 超. 基于 Ad Hoc 网络路由协议的控制开销研究[J]. 微电子学与计算机,2007,24(7):108-111.

[13] 魏烨嘉,王汝传,李伟伟,等. 基于普适计算环境的三维空间 RSSI 位置感知研究[J]. 计算机技术与发展,2010,20(4):183-186.

[14] Xue Wang, Zhong Songsu, Li Meng. Design of personnel position system of mine based on the average of RSSI [C]//Proc of 2012 IEEE international conference on automation and logistics. Zhengzhou: IEEE, 2012:239-242.

一种分簇Ad Hoc网络场景下的路由发现方案

作者: [葛文豪](#), [曾桂根](#), [GE Wen-hao](#), [ZENG Gui-gen](#)
作者单位: [南京邮电大学 通信与信息工程学院, 江苏 南京, 210003](#)
刊名: [计算机技术与发展](#) 
英文刊名: [Computer Technology and Development](#)
年, 卷(期): 2015 (2)

引用本文格式: [葛文豪](#), [曾桂根](#), [GE Wen-hao](#), [ZENG Gui-gen](#) 一种分簇Ad Hoc网络场景下的路由发现方案[期刊论文]

-[计算机技术与发展](#) 2015 (2)