

WSN 中基于位置预测的地理路由算法

王振朝^{1,2} 侯欢欢¹ 连蕊¹

(河北大学电子信息工程学院 河北保定 071002)¹ (河北省数字医疗工程重点实验室 河北保定 071002)²

摘要 为了提高高动态无线传感器网络的通信性能,提出了一种新的地理路由方案(Efficient Geographic Routing Scheme Based on Location Prediction and Energy Saving,LPESGR)。首先,给出了 ESGR 节能地理路由算法和 GPS 与 RSSI 相结合的节点定位及预测算法;然后,在两个算法的基础上提出了一种基于能源高效性的路由实时搜索算法来搜索能源消耗最小的实际路由;最后,提出了一种新的路由空洞解决方案,该方案避免了传统方案中的不足。除此之外,为提高能量利用率,降低路由中断概率,提出了一种新的基于信号传送距离预测结果的功率实时调整方案。仿真结果表明,所提方案可以有效减小网络能耗并提高数据传输成功率。

关键词 无线传感器网络,地理路由,地理位置预测,能量利用率

中图分类号 TP393 文献标识码 A DOI 10.11896/j.issn.1002-137X.2018.05.010

Geographic Routing Algorithm Based on Location Prediction in WSN

WANG Zhen-chao^{1,2} HOU Huan-huan¹ LIAN Rui¹

(College of Electronic & Information Engineering, Hebei University, Baoding, Hebei 071002, China)¹

(Key Laboratory of Digital Medical Engineering of Hebei Province, Baoding, Hebei 071002, China)²

Abstract In order to improve the performance of network communication in high dynamic wireless sensor network, a new technical scheme(LPESGR) was presented. First, an energy-saving geographic routing algorithm ESGR and a node localization and prediction algorithm combining GPS with RSSI were provided. Then, a routing real-time search algorithm based on energy efficiency was proposed to search the actual route with the least energy consumption on the basis of the above two algorithms. At last, a new solution for the routing hole was proposed, which can avoid the shortcomings of the traditional scheme. In addition, for the purpose of increasing the energy utilization rate and reducing the probability of route disruption, a new power real-time adjustment scheme based on the prediction distance of signal transmission was put forward. Simulation results demonstrate that the scheme can effectively reduce the network energy consumption and increase the success rate for data transmission.

Keywords Wireless sensor network, Geographic routing, Location prediction, Energy utilization rate

1 引言

无线传感器网络(Wireless Sensor Networks, WSN)是由具有无线通信功能的传感器节点在没有固定基础设施支持的情况下,自组织形成的一种无线网络,具有无中心、自组织、拓扑结构动态变化和移动终端资源有限等特点。路由问题是无线传感器网络面临的关键问题之一,即如何在众多节点中合理且高效地分配无线资源并在源节点和目的节点之间建立稳定且有效的路由,从而将数据分组传送到目的节点^[1]。IEEE 和 ACM 等发表了大量关于路由问题的文章,并提出了诸多地理路由算法。该类算法利用位置信息指导路由发现、维护和数据转发,能够实现信息的定向传输,避免整个网络的信息洪泛;利用节点位置信息构建网络拓扑图,易于进行网络管理,实现网络的全局优化。因此,地理路由算法已经成为了当

前无线传感器网络路由协议中的一个研究热点。

近年来,对地理路由算法的研究主要集中在由于节点移动引起的拓扑快速变化而造成的一系列问题上,如链路稳定性降低、时延增加、丢包率升高等。文献[2-3]中的地理路由算法(BLR 和 GPSR)以最小中继跳数作为优化指标,所有节点被统一编码,数据转发节点获取邻居节点的位置信息后,选择出距离目的节点最近的邻居节点作为下一跳转发节点。但在高速网络中,要想及时、准确地获取邻居节点的位置信息,则不可避免地要求邻居节点进行频繁位置更新,这样不但延长了网络的传输时间,而且会造成能量开销的急剧增加。文献[4-5]研究了基于 ARIMA 预测模型的地理路由算法,其利用 ARIMA 预测模型选择最优路径进行数据传输,减少了路由重建的开销;同时,提出了一个路由评估指标判据,检测并计算链路双向传输的成功率和链路的最大可能传输速率,选

到稿日期:2017-03-24 返修日期:2017-05-04 本文受河北省自然科学基金(F2014201168)资助。

王振朝(1958—),男,博士,教授,主要研究方向为下一代移动通信网和工业数据通信,E-mail:wangzhenchaohbdx@163.com(通信作者);侯欢欢(1990—),女,硕士生,主要研究方向为无线网络;连蕊(1991—),女,硕士生,主要研究方向为无线自组网。

择最适合的传输速率进行数据传输,以获得较高的传输性能。但是,网络拓扑结构的急剧变化增加了算法的复杂度。

文献[6]从整体上分析了距离与能耗的关系,提出了一种有效的节能地理路由算法 ESGR(Energy Saving Geographic Routing)。文献[7]对 ESGR 算法进行了改进,采用动态调整发射功率的方式进行数据传输,降低了由于网络拓扑快速变化导致的数据包严重丢失事件的发生概率。

本文提出一种基于位置预测的地理路由方案。首先,将 GPS 定位与 RSSI 算法相结合的节点定位预测算法运用到对移动节点进行定位和地理位置的实时预测上,以减小节点能量消耗并扩大网络的适用范围。然后,基于文献[6]和文献[7]中的 ESGR 算法和本文提出的节点位置预测算法,提出一种可以减小能耗的路由实时搜索算法,并运用实时搜寻算法选择最佳路径进行数据传输。最后,针对路由空洞问题,提出一种新的中继选择区域更新方案,该方案有效避免了传统方案中的不足。当传输速率一定时,发射功率与数据传输范围有着密切的关系^[4]。发送信号时,基于信号传送距离的预测结果,使用本文提出的实时功率调整方案可以提高能量利用率并降低路由中断概率。

2 LPESGR 系统模型

2.1 网络结构模型

大量的传感器节点分布在一定区域内,它们将收集到的数据发送到基站。不失一般性,基站位于网络右侧的中间位置,固定锚节点呈均匀分布,移动节点呈随机分布。因为传感器节点的能量受限且发射功率较小,通信距离受到限制(如普通 RFID 的传输距离为 0.2~10 m,蓝牙的最大传输距离为 1~75 m),因此它通过多跳方式将收集到的数据传送到基站。

2.2 能耗散模型

本文采用文献[8]中的能量消耗模型,忽略节点在计算、存储等过程中的能量消耗,仅计算通信能耗。根据文献[6]的分析,发送 k bits 数据到距离为 d 的节点时消耗的能量为:

$$E_{Tx}(k, d) = E_{elec} \cdot k + \epsilon_{amp} \cdot d^\gamma \cdot k \quad (1)$$

节点接收 k bits 数据所消耗的能量为:

$$E_{Rx}(k) = E_{elec} \cdot k \quad (2)$$

中继节点所需能量为:

$$E_{relay}(k, d) = 2E_{elec} \cdot k + \epsilon_{amp} \cdot d^\gamma \cdot k \quad (3)$$

其中, E_{elec} 为发送或者接收 k bits 数据时硬件消耗的能量; d 为发送距离; ϵ_{amp} 为功率放大系数,即将 k bits 数据传输单位距离时运算放大器所需的能量,并且 ϵ_{amp} 不随 d 的变化而变化; γ 为路径损耗指数,通常取 2~6,如果发送端到接收端在可视距离内,则 γ 接近于 2。

如图 1 所示(并非一定是直线),任意一条传输路径所需能量的总和为^[6]:

$$\begin{aligned} E_{link}(D) &= E_{Tx}(k, d_1) + [E_{Tx}(k, d_2) + E_{Rx}(k)] + \dots + \\ &\quad [E_{Tx}(k, d_m) + E_{Rx}(k)] \\ &= k \cdot [E_{elec} + \epsilon_{amp} \cdot d_1^\gamma + [\sum_{i=2}^m (2E_{elec} + \epsilon_{amp} \cdot d_i^\gamma)]] \\ &= k \cdot (-E_{elec}) + \sum_{i=1}^m (2E_{elec} + \epsilon_{amp} \cdot d_i^\gamma) \end{aligned}$$

其中, D 表示源节点与基站的距离,所经中继节点的个数为 $m-1$; d_i ($i=1, 2, \dots, m$) 表示两个传输节点之间的距离。由于基站由其他电源供电,因此这里不考虑基站接收数据所需的能量。

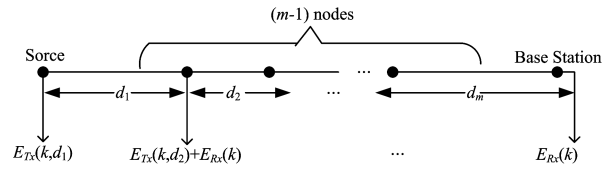


图 1 一条路径消耗的能量示意图

Fig. 1 Energy consumed by a path

3 节点定位及预测算法

3.1 结合 GPS 和 RSSI 的定位算法

配备有 GPS 接收机的锚节点周期性地发送 ID 和位置信息,移动节点接收到各个锚节点的信号后,分别计算与各个锚节点之间的路径传输损耗并将较小的 3 个路径传输损耗转化为距离。分别以这 3 个锚节点的位置为圆心、以该移动节点与锚节点间的距离为半径画 3 个圆;然后计算出这 3 个圆的交点坐标;再以这 3 个圆的交点坐标为顶点画一个三角形,三角形的质心坐标即为该移动节点的地理位置^[9]。

无线通信系统中路径损耗的计算公式为^[9,12]:

$$PL(d_{mn}) = PL(d_0) + 10k \lg(d_{mn}/d_0) + x_\sigma \quad (5)$$

其中, $PL(d_{mn})$ 表示路径损耗; d_{mn} 表示节点 m 与节点 n 之间的距离; d_0 为参考距离,一般取 1 m; $PL(d_0)$ 表示参考距离为 d_0 时的路径损耗;信号衰减因子 k 与环境有关,通常取 2~6; x_σ 表示均值为 0 的高斯分布随机变量, σ 一般取 4~6。

接收端接收到的信号强度由式(6)给出^[12]:

$$\begin{aligned} P(d_{mn}) &= P_T + G - PL(d_{mn}) \\ &= P_T + G - PL(d_0) - 10k \lg(d_{mn}/d_0) - x_\sigma \end{aligned} \quad (6)$$

其中, P_T 代表信号发射功率; G 为天线增益; $P(d_{mn})$ 为节点 m 接收到的节点 n 的信号强度。

在 RSSI 理想模型中,取 $k=2$,忽略 x_σ 的影响。根据式(5)和式(6)计算得到节点 m 与节点 n 之间的距离 d_{mn} 为:

$$d_{mn} = 10^{(P_T + G + PL(d_0) - P(d_{mn}))/20} \quad (7)$$

3.2 地理位置预测算法

一般地,节点的运动具有连续性,可根据节点的运动轨迹预测其下一时刻的地理位置。设节点每隔 T_0 时间便更新自身的位置信息,记节点 Y 前一时刻的地理位置坐标为 (x_a, y_a) ,当前时刻的地理位置坐标为 (x_b, y_b) 。当 T_0 较小时,认为 Y 在 T_0 时间内匀速运动,则当前时刻的运动速度 \vec{v} 可由式(8)给出:

$$\begin{cases} v_x = x_b - x_a / T_0 \\ v_y = y_b - y_a / T_0 \end{cases} \quad (8)$$

其中, v_x 代表节点沿 X 轴的速度分量, v_y 代表节点沿 Y 轴的速度分量。

根据运动轨迹和当前时刻的速度可以预测节点经过任意时间 T ($T < T_0$) 后所处的地理位置。经过 T 时间后,节点 Y

的地理位置坐标 (x_c, y_c) 可由式(9)计算:

$$\begin{cases} x_c = v_x T + x_b \\ y_c = v_y T + y_b \end{cases} \quad (9)$$

4 LPESGR 地理路由方案

由 ESGR 路由算法可知,在源节点与目的节点的连线上均匀分布着若干个中继节点,当单跳距离 d 相等且均为 $\sqrt{\frac{2E_{elec}}{\epsilon_{amp}(\gamma-1)}}$ 时, $E_{link}(D)$ 取得最小值,则称此时的 d 为特征距离 d_{char} ,其值可以表示为^[6]:

$$d_{char} = \sqrt{\frac{2E_{elec}}{\epsilon_{amp}(\gamma-1)}} \quad (10)$$

当不考虑 γ 的变化对路由产生的影响而设置 γ 为固定值 2 时(自由传播模型), d_{char} 也为固定值。

4.1 路由实时搜索算法

4.1.1 路由发现

1) 虚拟中继节点的选择

当两节点间的距离为 d 时,判断两节点间是否进行中继的门限为 L ^[10]:

$$L = \sqrt{\frac{2E_{elec}}{\epsilon_{amp}(1-2^{1-\gamma})}} \quad (11)$$

其中, $\gamma=2$ 。当 $d \leq L$ 时,两节点间直接通信是最节省能量的;当 $d > L$ 时,使用中继进行传输。

如图 2 所示,当源节点 n_0 与目的节点 n_D 进行通信时,首先需要判断 n_0 与 n_D 之间的距离是否大于 L ,若大于 L ,则根据 ESGR 路由算法在 n_0 和 n_D 之间建立路由, u_1 为第一跳虚拟中继节点,距离 u_1 最近的节点 n_1 为第一跳最佳中继节点;然后判断 n_1 与 n_D 之间的距离是否大于 L ,若大于 L ,则根据 ESGR 路由算法在 $n_1 n_D$ 之间建立路由,计算出第二跳虚拟中继节点的位置 u_2 ,并寻找距离 u_2 最近的节点 n_2 ,并将其作为第二跳最佳中继节点;依次类推,直到第 N 跳最佳中继节点 n_N 与目的节点 n_D 之间的距离小于 L 时,两节点间就可以直接进行通信,无需中继。

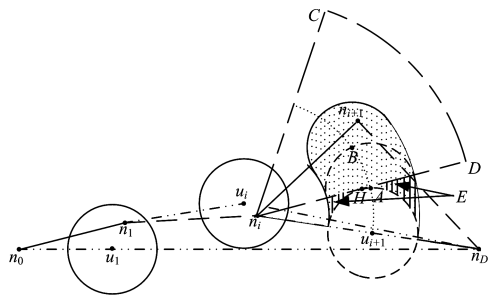


图 2 路由搜索算法的原理图

Fig. 2 Principle diagram of routing algorithm

具体的计算步骤如下:以 n_0 为原点、以 $\overline{n_0 n_D}$ 所在直线为 X 轴建立平面直角坐标系。设 n_D 的坐标为 (x_D, y_D) , n_1 的坐标为 (x_1, y_1) , $|| \cdot ||$ 表示两节点间的距离,则 u_1 的坐标 (x_{u_1}, y_{u_1}) 和 u_2 的坐标 (x_{u_2}, y_{u_2}) 分别表示为:

$$\begin{cases} x_{u_1} = d_{char} \\ y_{u_1} = 0 \end{cases} \quad (12)$$

$$\begin{cases} x_{u_i} = x_1 - \frac{d_{char}}{|n_1 n_D|} (x_1 - x_D) \\ y_{u_i} = y_1 - \frac{d_{char}}{|n_1 n_D|} (y_1 - y_D) \end{cases} \quad (13)$$

2) 最佳中继节点的选择

如图 2 所示,源节点 n_0 首先广播 RTS(Request To Send) 信息包给它的邻居节点。RTS 内包含以下信息:该节点的地理位置和速度、数据包经过的中继跳数和下一跳虚拟中继节点 u_1 的地理位置。邻居节点接收到 RTS 后提取信息,根据自身的地理位置决定是否参与竞争。邻居节点如果位于以 u_1 为圆心、以 r 为半径的圆形 $C(u_1, r)$ 转发域内,则参与转发数据的竞争,否则不参与。参与竞争的邻居节点首先计算与 u_1 的距离 d_v 和退避时间 BT (Back off Time)(退避时间与两节点之间距离的关系为: $BT = \tau d_v$),然后预测 BT 时间后与节点 n_0 之间的距离 s ,最后经过回退时间 BT 后回复 CTS (Clear To Send)。CTS 内包含以下信息:该节点的地理位置、速度和回退时间。MAC 层采用 IEEE802.11 协议,根据距离 s 实时调整 CTS 信号的发射功率,以保证 n_0 可以接收到该邻居节点回复的信息。最先回复 CTS 的节点将竞争成为最佳中继节点 n_1 ,参与数据传输。为了保证数据转发的唯一性, $C(u_1, r)$ 内的节点只要接收到其他邻居节点回复的 CTS,就不再发送 CTS。依次类推,根据虚拟中继节点 $u_i (1 \leq i \leq N)$ 来搜寻最佳中继节点 $n_i (1 \leq i \leq N)$ 。

3) 空洞问题的解决方案

某个节点转发数据到目标节点时,若发现没有任何一个邻居节点比它自身更接近目标节点,且目标节点不在该节点的通信范围之内,则该节点的前向区域被称为路由空洞区域。如图 2 所示,如果 n_i 发出的 RTS 经过时间 t (t 为最大等待时间)后,转发域 $C(u_{i+1}, r)$ 内没有任何节点回复 CTS 信息,则认为该节点遭遇了路由空洞。现有地理路由算法^[1,11] 遵从 GPSR 的空洞解决方案,即使用右手法则来改变中继选择区域,中继选择区域由转发域 $C(u_{i+1}, r)$ 变成扇形区域 $Cn_i D$,该扇形的圆心角为 $30^\circ \sim 90^\circ$,并且扇形区域的一个边界与 $C(u_{i+1}, r)$ 相切于点 H 。此类方案并没有考虑阴影区域 E 中是否存在最佳中继节点,可能会导致选出的下一跳最佳中继节点并不是最佳的,也可能导致本次路由发现失败。为了确保中继选择区域的合理性与高效性,将图 2 阴影部分所示的图形作为新的中继选择区域:以 u_{i+1} 为圆心、以线段 $n_i u_{i+1}$ 为半径画弧,圆 $C(u_{i+1}, r)$ 的圆心沿着这个弧逆时针滑动,其扫过的图形即为阴影区域。由相关数学知识可知旋转角为:

$$\angle u_{i+1} n_i B = 2 \angle u_{i+1} n_i A \quad (14)$$

$$\angle u_{i+1} n_i A = 2 \arcsin[r / (2d_{char})] \quad (15)$$

若新的中继选择区域内没有节点回复 CTS 信息,则丢弃要转发的数据包。

4.1.2 路由维护

源节点发出的数据沿着所建立的路由依次进行数据传输,上游中继节点对节点本身与下一跳中继节点间的距离 S 进行实时预测。如果上游中继节点预测出下一时刻两个节点间的距离 S 小于 L ,那么上游节点根据实时距离 S 动态调整数据的发送功率,以在保证通信质量的前提下以最小功率进

行数据传输;如果上游中继节点预测出下一时刻两个节点间的距离 S 大于 L ,则上游的路由节点启动路由发现策略,寻找新的下一跳中继节点,建立新的路由,并在下一时刻沿着新的路由进行数据传输。

4.2 执行步骤

1) 节点 n_i ($0 \leq i \leq N$) 发送或转发数据前,根据目的节点和自身的位置,以及 ESGR 路由算法,利用几何作图法计算出下一跳虚拟中继节点的位置 u_{i+1} ,执行步骤 2)。

2) 节点 n_i 根据 RTS/CTS 握手法则,从其转发域 $C(u_{i+1}, r)$ 中搜索出最接近虚拟中继节点的邻居节点 n_{i+1} 作为下一跳的最佳中继节点,执行步骤 3)。

3) 依次执行步骤 1) 和步骤 2),直到某中继节点与目的节点的距离小于 L ,路由建立完成,执行步骤 4)。如果在路由建立过程中出现路由空洞现象,则执行步骤 5)。

4) 基于第 3 节中的节点定位与预测算法计算信号的传输距离,当信号的传输距离小于 L 时,动态调整信号的发送功率以保证信号以最小能耗进行传输;当信号的传输距离大于 L 时,则启动路由维护策略。

5) 改变中继选择区域,根据 RTS/CTS 握手法则从新的中继区域内选出下一跳中继节点,执行步骤 1)。若新的中继区域内没有节点回复 CTS 信息,则丢弃要转发的数据包。重复上述过程,直到所有数据传输结束。

5 仿真及仿真分析

为了验证 LPESGR 算法的性能,使用 Matlab 仿真平台来实现 BLR, GPSR 以及 LPESGR 算法的模拟仿真,并以节点的平均能耗和数据传输成功率为评价指标对仿真结果进行分析比较。

5.1 仿真条件的设定

在一个 $500\text{m} \times 500\text{m}$ 的模拟平面网络中(基站位于该网络右侧的中间位置)均匀分布着 30 个固定锚节点,其最大无线通信半径为 150 m,且在模拟平面网络中随机平均分布着 170~320 个移动传感器节点,其最大无线通信半径为 60 m。取 $r=20\text{m}$,信道带宽为 2 Mbit/s。采用随机游走 Random Way-point 模型,移动速度随机取值于 $[0, v_{\max}]$ 区间。使用 IEEE 802.11 作为媒介访问控制(MAC)协议,节点的无线发射功率可根据信号的传输距离进行动态调整。取 $E_{\text{elec}} = 50\text{ nJ/bit}$, $\epsilon_{\text{amp}} = 100\text{ pJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{bit}^{-1})$ 。随机选取 40 个移动节点作为源节点,向基站发送固定速率的数据流,数据包的大小为 256 bytes,发包率为 10 packets/s,RTS 和 CTS 分组的大小为 25 bytes,仿真时间为 60 s。为减少随机误差,取 50 次仿真结果的平均值作为最终的仿真结果。

5.2 仿真结果与分析

图 3 给出了在移动节点数为 170 时,3 种算法中节点的最大移动速度对节点的平均能量消耗(即平均每个节点在仿真过程中的能量消耗)的影响。可以看出 LPESGR 算法更节能,一是因为其采用能量消耗趋近最小的路径进行通信,二是因为其采用能耗较低的定位算法对节点进行定位。三者消耗的能量随着节点移动速度的加快而增多,因为 BLR 与 GRSR 没有考虑节点的移动问题,而节点移动导致了通信链路的断

裂,所以增大了用于数据重传的能量开销。LPESGR 虽然考虑了节点移动问题,但是节点的快速移动会导致网络拓扑频繁发生变化,链路的频繁断裂和频繁更新增加了网络开销。相比于 BLR 和 GPSR 地理路由算法,LPESGR 的能耗增长率较小,这是因为 LPESGR 通过实时调整通信功率来保证信号的有效传输,增加了链路的稳定性,减少了链路断裂次数,虽然复杂度有所增加,但其能更有效地减少能耗。

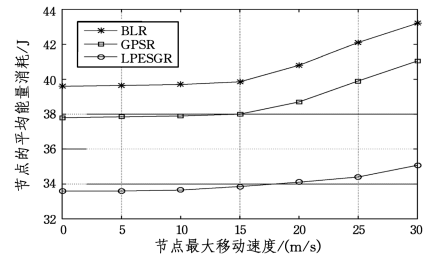


图 3 不同速度下的节点平均能量消耗

Fig. 3 Average energy consumption of each node at different speeds

图 4 给出了当节点最大移动速度为 10 m/s 时,节点的平均能耗随移动节点数量变化而变化的曲线。可以看出,平均每个节点的能量消耗随着节点数量的增加而降低,这是因为在规定的有限区域内,随着节点数量的增多,BLR 算法在数据转发过程中可选节点的数量更多,可以将数据传递给距离目的节点更近的邻节点,从而减少了总跳数,节省了网络总能量,降低了节点的平均能量消耗。对于 GPSR 和 LPESGR 来说,节点数量的增加减少了路由空洞数量,降低了回避路由空洞的开销。

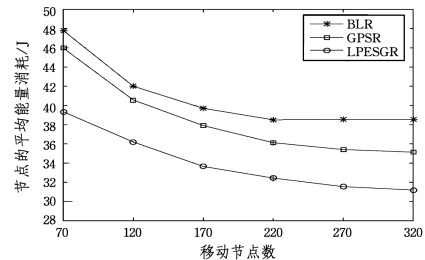


图 4 节点数量与节点平均能量消耗的关系

Fig. 4 Relationship between average energy consumption of each node and different number of nodes

图 5 给出了当移动节点数为 170 时,3 种算法在节点处于不同移动速度下的数据传输成功率(基站收到的数据包的数量与源节点发出的数据包数的比值)。可以看出,BLR 的数据传输成功率最低,GPSR 与 LPESGR 算法的传输成功率相对较高,这是因为 BLR 没有考虑路由空洞问题,GPSR 和 LPESGR 算法均考虑了遭遇空洞时的解决方案,降低了路由空洞引发的丢包率,从而提高了数据传输成功率。当节点移动速度增大时,BLR 与 GPSR 的数据传输成功率下降较快,因为 BLR 总会选择最接近目的节点的邻居节点作为中继节点,而 GPSR 在解决路由空洞问题时采用了信标机制,增大了数据传输的时延。在这两种算法中,下游转发节点在接收数据前可能已经移动到了通信范围之外,导致无法进行数据传输。LPESGR 算法为了保证数据包的成功传递,实时调整通信功率以适应信号的传输距离,并通过预测算法在路由断裂之前建立新的路由,降低了数据包的丢失概率。

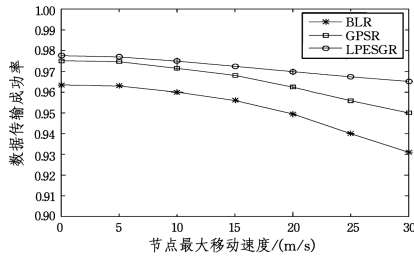


图5 不同速度下的数据传输成功率

Fig. 5 Success rate for data transmission at different speed

图6给出了在不同节点数量下,使用3种算法进行数据传输时的数据传输成功率曲线。可以看出,随着节点数量的增加,数据传输成功率不断上升,当节点数量达到一定值时,数据传输成功率趋于一致;并且GPSR和LPESGR的数据传输成功率比BLR算法的数据传输成功率高。这是因为:1)在有限的区域内,随着节点数量的增加,可供选择的节点更多,链路的稳定性增加,同时出现路由空洞的概率降低,数据包丢失的情况减少,传输成功率逐渐上升且趋于一致;2)在节点密度比较低时,出现节点空洞的概率较大,大量的空洞导致源节点到基站形成完整链路的可能性降低,BLR没有考虑空洞问题,会引起大量的丢包,造成数据传输成功率比较低,而GPSR和LPESGR具有有效的空洞解决方案,因此GPSR和LPESGR的数据传输成功率较高。

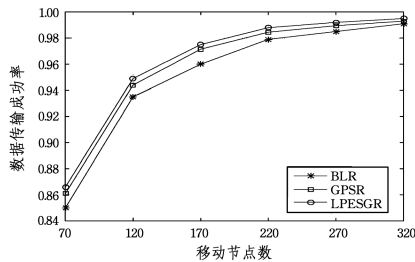


图6 节点数量与数据传输成功率之间的关系

Fig. 6 Relationship between number of nodes and success rate of data transmission

结束语 无线传感器网络中拓扑的快速变化会引起频繁的链路断裂和路由重建。频繁的链路断裂会导致丢包率增加;频繁的路由重建增加了能量开销,加快了无线传感器网络能量消耗的速率,缩短了网络的生命时间。针对上述问题,提出了一种在对节点位置进行实时预测的基础上建立路由并实时调整信号发送功率的技术方案LPESGR。为了节省能量,该方案不但采用了更加节能的GPS与RSSI相结合的节点位置预测算法对移动节点进行定位和地理位置的实时预测,而且运用一种实时搜寻算法来搜寻能量消耗接近于最小能耗的路由进行数据传输。为了降低路由中断概率,提高数据成功传输率和能量利用率,其根据信号需要传输的实际距离动态调整发射功率,以最小功率满足实际发射需要。针对路由建立过程中可能出现的路由空洞现象,本文提出了新的中继选择区域更新方案,使得中继节点的选取更加合理化与高效化。实验结果表明:所提技术方案可以有效减小网络能量消耗并提高数据传输成功率。

参考文献

[1] WANG G D, WANG G. An Energy-Aware and Beacon-less

Geographic Routing for Mobile Ad Hoc Network[J]. ACTA Electronica Sinica, 2010, 38(7): 1547-1551. (in Chinese)

王国栋,王刚. MANET中一种具有能量意识的无信标地理路由算法[J]. 电子学报, 2010, 38(7): 1547-1551.

[2] HEISSENBUETTEL M, BRAUN T, BERNOULLI T, et al. BLR: Beacon-less routing algorithm for mobile Ad Hoc networks[J]. Computer Communications, 2004, 27(11): 1076-1086.

[3] KARP B, KUNG H T. GPSR: greedy perimeter stateless routing for wireless networks[C]// International Conference on Mobile Computing and Networking. ACM, 2000: 243-254.

[4] SHA Y, LI N, ZHANG L L, et al. Routing Algorithm for Ad Hoc Network Based on Location Prediction[J]. Journal of Chinese Computer Systems, 2015, 36(3): 493-496. (in Chinese)

沙毅,李娜,张立立,等. 一种基于地理位置预测的Ad Hoc网络路由算法[J]. 小型微型计算机系统, 2015, 36(3): 493-496.

[5] SHA Y, GUO Z Q, ZHU L C, et al. High Performance Routing Algorithm Based on Geographic Location Prediction[J]. Journal of Northeastern University (Natural Science), 2015, 36(9): 1242-1245. (in Chinese)

沙毅,郭自强,朱丽春,等. 一种基于地理位置预测的高性能路由算法[J]. 东北大学学报(自然科学版), 2013, 36(9): 1242-1245.

[6] LIU Y Y. Algorithm Design on Energy-based Geographic Routing in WSN[D]. Nanjing: Nanjing University of Posts and Telecommunications, 2013. (in Chinese)

刘迎盈. 基于能量优先的地理位置WSN路由算法设计[D]. 南京: 南京邮电大学, 2013.

[7] TIAN Y, SONG X O. Energy efficient geographic routing in Wireless Sensor Networks[J]. Science Technology and Engineering, 2014, 14(10): 61-69. (in Chinese)

田雨,宋晓欧. 无线传感器网络中节省能量的地理路由[J]. 科学技术与工程, 2014, 14(10): 61-69.

[8] CHENG B C, YE H H, HSU P H. Schedule ability analysis for hard network lifetime wireless sensor networks with high energy first clustering[J]. IEEE Transactions on Reliability, 2011, 60(3): 675-688.

[9] WANG Z C, ZHANG Q, ZHANG F. Improved weighted centroid localization algorithm based on RSSI distance measurement[J]. Electrical Measurement and Instrumentation, 2014, 51(21): 63-66. (in Chinese)

王振朝,张琦,张峰. 基于RSSI测距的改进加权质心定位算法[J]. 电测与仪表, 2014, 51(21): 63-66.

[10] WANG X M, AN X M. An Energy and Location Aware ACO Based Routing Algorithm for Wireless Sensor Networks[J]. ACTA Electronica Sinica, 2010, 38(8): 1763-1769. (in Chinese)

王小明,安小明. 具有能量和位置意识基于ACO的WSN路由算法[J]. 电子学报, 2010, 38(8): 1763-1769.

[11] XUE Y, LI B C. A location-aided power-aware routing protocol in mobile ad hoc networks[C]// IEEE Global Telecommunications Conference. New York: IEEE Press, 2001: 2837-2841.

[12] LI J P, MU B C. Moving node localization algorithm based on cooperated prediction for wireless sensor networks[J]. Application Research of Computers, 2017, 34(1): 186-188. (in Chinese)

李建坡,穆宝春. 基于协同预测的无线传感器网络全移动节点定位算法[J]. 计算机应用研究, 2017, 34(1): 186-188.