

基于泛洪区域限定的改进 DSR 节能组网*

孟金林

(轨道交通工程信息化国家重点实验室(中铁一院), 陕西 西安 710043)

摘要: 针对动态源自组网(Dynamic Source Routing, DSR)因泛洪组网请求(Route Request, RREQ)而产生的高组网能耗问题, 提出基于区域的发现机制的 DSR 组网(Zone-based Route Discovery Mechanism, ZRDM)。ZRDM 组网依据节点的环境以及邻居节点的分布情况, 将节点网络区域划分为 3 个子区域。每个节点数据含一个邻居表, 并将邻居节点划分为 3 个子区域。同时 DSR 组网只允许部分节点传输 RREQ 数据。仿真结果表明, 提出的 ZRDM 组网降低了能耗, 提高了数据传递率。在节点数为 140 时, 相比 DSR 组网, ZRDM 组网的归一化能耗下降了 47.8%, 数据传递率提高约 2.78%。

关键词: 移动 Ad hoc 网络; 动态源自组网; 组网发现; 泛洪

中图分类号: TN915

文献标识码: A

DOI: 10.16157/j.issn.0258-7998.212446

中文引用格式: 孟金林. 基于泛洪区域限定的改进 DSR 节能组网[J]. 电子技术应用, 2022, 48(5): 70-75.

英文引用格式: Meng Jinlin. An improved DSR energy-saving networking based on flood area limitation[J]. Application of Electronic Technique, 2022, 48(5): 70-75.

An improved DSR energy-saving networking based on flood area limitation

Meng Jinlin

(State Key Laboratory of Rail Transit Engineering Informatization(FSDI), Xi'an 710043, China)

Abstract: Aiming at the high networking energy consumption problem of dynamic source routing(DSR) caused by flood networking request(RREQ), a zone based route discovery mechanism(ZRDM) is proposed. ZRDM networking divides the node network area into three sub areas according to the node environment and the distribution of neighbor nodes. Each node contains a neighbor table, and the neighbor node is divided into three sub regions. At the same time, DSR networking only allows some nodes to transmit RREQ packets. Simulation results show that the proposed ZRDM networking reduces energy consumption and improves packet delivery rate. When the number of nodes is 140, compared with DSR networking, the normalized energy consumption of ZRDM networking decreases by 47.8%, and the packet delivery rate increases by about 2.78%.

Key words: mobile ad hoc network; dynamic source routing; route discovery; flooding

0 引言

动态源自组网(Dynamic Source Routing, DSR)是移动 Ad hoc 网络(Mobile Ad hoc Network, MANET)^[1-2]的典型组网, 其主要有组网发现和组网维护两个阶段^[3-4]。在组网发现阶段, 源节点通过链接 RREQ, 构建连通目的节点的组网。

然而, 若盲目地泛洪 RREQ 数据, 增加了网络能耗, 也容易引起链接风暴问题^[5]。针对这些问题, 研究人员提出不同的泛洪改进算法, 如 N 跳泛洪^[6]、概率泛洪^[7-8]。

本文针对源组网的 RREQ 的泛洪问题, 提出区域的组网发现机制的 DSR 组网(Zone-based Route Discovery Mechanism, ZRDM)。ZRDM 组网通过限定泛洪 RREQ 的

区域, 减少 RREQ 数据重传的次数, 进而控制能耗, 提高数据传递率。仿真结果表明, 提出的 ZRDM 组网降低了组网能耗, 提高了数据传递率。

1 ZRDM 组网

ZRDM 组网主要由 3 个阶段构成: (1) 邻居节点分类; (2) RREQ 泛洪区域的选定; (3) 组网发现。

1.1 邻居节点分类

令 R 表示节点的传输范围。依据信号强度^[9-10]将其划分为 3 个子区域: 最外区域(OutSide Rrea, OSR)、中间区域(InterMediate Rrea, IMR)、最内区域(InSide Rrea, ISR), 如图 1 所示。将半径 $R \sim 3R/4$ 内的环形区域作为 OSR 区域; 将半径 $3R/4 \sim R/2$ 的环形区域作为 IMR; 将半径 $R/2$ 的圆形区域作为 ISR 区域。

令 $\gamma_{i \rightarrow j}$ 表示源节点 s_i 从其邻居节点 s_j 接收的信号强度, 源节点 s_i 可通过式(1)计算 $\gamma_{i \rightarrow j}$:

* 基金项目: 陕西省工业科技攻关项目(2016GY-066)

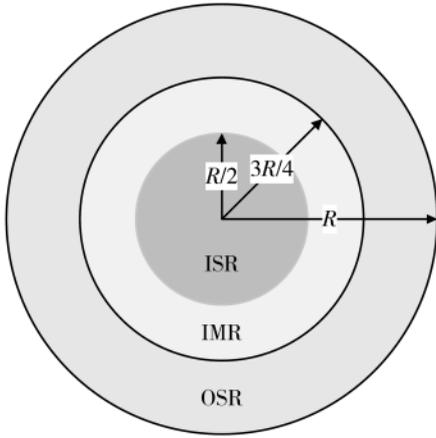


图1 传输范围的区域划分

$$\gamma_{i \rightarrow j} = \frac{P_t}{(4\pi\lambda)^2} \left(\frac{1}{d}\right)^\alpha \quad (1)$$

式中： P_t 表示发射功率， λ 为控制参数， α 表示衰减因素， d 表示源节点 s_i 与邻居节点 s_j 间距离。

如果 $\gamma_{i \rightarrow j}$ 大于 γ_{th}^0 ，则将邻居节点 s_j 位于OSR；若 $\gamma_{i \rightarrow j}$ 满足： $\gamma_{th}^M < \gamma_{i \rightarrow j} < \gamma_{th}^0$ ，则邻居节点 s_j 位于IMR；若 $\gamma_{i \rightarrow j}$ 小于 γ_{th}^M ，则邻居节点 s_j 位于ISR。两个阈值 γ_{th}^0 、 γ_{th}^M 的定义如式(2)所示：

$$\begin{cases} \gamma_{th}^0 = \frac{P_t}{(4\pi\lambda)^2} \left(\frac{2}{R}\right)^\alpha \\ \gamma_{th}^M = \frac{P_t}{(4\pi\lambda)^2} \left(\frac{4}{3R}\right)^\alpha \end{cases} \quad (2)$$

每个节点维持一个邻居表，并将其分成3个区域。令 N_i 表示节点 s_i 的一跳邻居节点集，并令 N_i^O 、 N_i^M 和 N_i^I 分别表示OSR内、IMR内和ISR内节点集， $N_i^O \cup N_i^M \cup N_i^I = N_i$ 。

1.2 RREQ 泛洪区域

传统的DSR组网采用泛洪方式^[11-12]传输RREQ数据，如图2所示。通过不断地传递RREQ，直到目的节点接收到RREQ。由于RREQ数据中携带了其传输路径，目的节点可从RREQ获取连通源节点的路径信息，目的节点再沿此路径向源节点传输回复数据(Route Reply, RREP)。最终，通过RREQ和RREP的传输构建了组网^[13-14]。

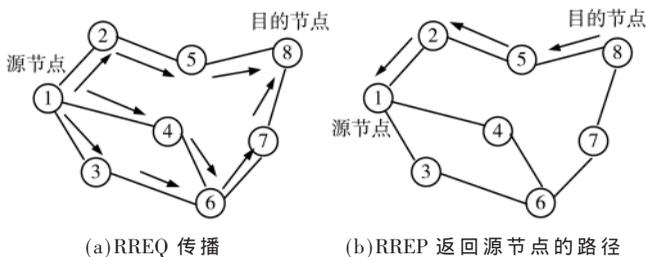


图2 DSR组网发现阶段

为了更好地减少控制能耗，对源节点传输方向划分为4个象限。令 (x_i, y_i) 表示源节点 s_i 的位置坐标，将源节点 s_i 的传输区域划分为 Q_1 、 Q_2 、 Q_3 和 Q_4 ，如图3所示。

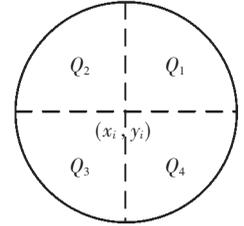


图3 泛洪区域的划分

对于任意邻居节点 $s_j \in N_i$ ，如果 $x_j > x_i$ 且 $y_j > y_i$ ，则邻居节点 s_j 位于 Q_1 ，如式(3)所示：

$$\text{if } x_j > x_i \text{ and } y_j > y_i, s_j \rightarrow Q_1 \quad (3)$$

如果满足式(4)，则邻居节点 s_j 位于 Q_2 ：

$$\text{if } x_j < x_i \text{ and } y_j > y_i, s_j \rightarrow Q_2 \quad (4)$$

若满足式(5)，则邻居节点 s_j 位于 Q_3 ：

$$\text{if } x_j < x_i \text{ and } y_j < y_i, s_j \rightarrow Q_3 \quad (5)$$

若满足式(6)，则邻居节点 s_j 位于 Q_4 ：

$$\text{if } x_j > x_i \text{ and } y_j < y_i, s_j \rightarrow Q_4 \quad (6)$$

为了避免形成组网循环，减少组网跳数，源节点泛洪RREQ区域内至少数据含一个邻居节点；若未能数据含一个邻居节点，就选择其他区域传输RREQ数据。

1.3 组网发现策略

首先，源节点(假定为节点 s_i)先产生RREQ数据，其数据含自己的序列号、目的地址和源节点的地址。如果目的节点在源节点一跳范围，则源节点直接将RREQ数据传输至目的节点。接收RREQ后，目的节点就向源节点传输RREP数据，如图4所示。

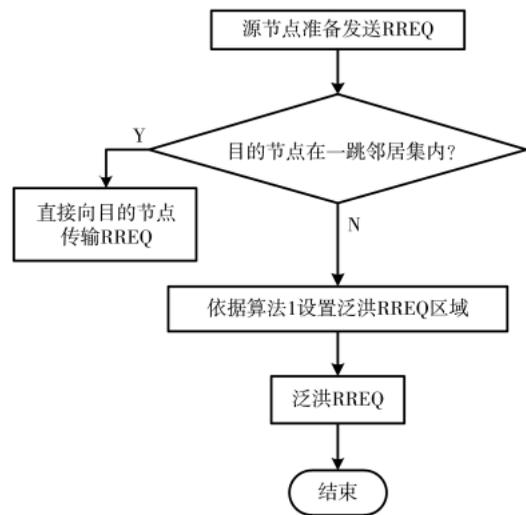


图4 传输RREQ的流程

若目的节点不在自己一跳传输范围内，源节点就需向邻居节点泛洪RREQ数据。但与DSR组网不同，ZRDM组网为了减少参与传输RREQ数据和接收RREQ数据的节点数，ZRDM组网并非向所有区域泛洪RREQ数据，而是依据算法1设置泛洪RREQ数据的区域。

1.4 算法1

算法1完成泛洪RREQ子区域的选择。令 Ω_F^i 表示

节点 s_i 的泛洪 RREQ 的区域。DSR 组网是将 OSR、IMR 和 ISR 3 个子区域都作为泛洪 RREQ 的区域, 即 $\Omega_F^i = \{OSR, IMR, ISR\}$ 。但是 ZRDM 组网并不是固定地将 OSR、IMR 和 ISR 3 个子区域作为泛洪 RREQ 的区域, 而是依据节点的分布情况, 有目的地选择泛洪 RREQ 的区域, 如算法 1 所示。

算法 1: 选择泛洪 RREQ 的区域

输入: $\Phi_i^O(Q_k), \Phi_i^M(Q_k) \quad k=1, 2, 3, 4$

输出: Ω_F^i

If $\Phi_i^O(Q_1) \neq \phi \ \& \ \Phi_i^O(Q_2) \neq \phi \ \& \ \Phi_i^O(Q_3) \neq \phi \ \& \ \Phi_i^O(Q_4) \neq \phi$ then

$$\Omega_F^i = \{OSR\}$$

elseif $\Phi_i^M(Q_1) \neq \phi \ \& \ \Phi_i^M(Q_2) \neq \phi \ \& \ \Phi_i^M(Q_3) \neq \phi \ \& \ \Phi_i^M(Q_4) \neq \phi$ then

$$\Omega_F^i = \{OSR, IMR\}$$

else $\Omega_F^i = \{OSR, IMR, ISR\}$

如果节点 s_i 的 4 个区域 (Q_1, Q_2, Q_3 和 Q_4) 内均有节点, 就只选节点 s_i 的 OSR 区域作为泛洪区域。具体而言, 若满足式(7), 则将 OSR 子区域作为泛洪 RREQ 的区域:

$$\text{if } \Phi_i^O(Q_1) \neq \phi \ \& \ \Phi_i^O(Q_2) \neq \phi \ \& \ \Phi_i^O(Q_3) \neq \phi \ \& \ \Phi_i^O(Q_4) \neq \phi$$

$$\Omega_F^i = \{OSR\} \tag{7}$$

式中: $\Phi_i^O(Q_k)$ 表示节点 s_i 在 OSR 区域内象限 Q_k 内的邻居节点集, 且 $k=1, 2, 3, 4$ 。例如, $\Phi_i^O(Q_1)$ 表示 OSR 区域内且在象限内邻居节点集。 ϕ 表示空集。

若不满足式(7), 为了保证构建稳定组网, 先将 OSR 作为泛洪 RREQ 的区域, 然后, 再考虑是否将 IMR 区域作为泛洪区域。如果 IMR 区域内 4 个象限区域均有节点, 就将 IMR 区域作为泛洪区域。即再判断式(8), 若满足式(8), 则将 IMR 和 OSR 区域共同作为泛洪 RREQ 的区域:

$$\text{if } \Phi_i^M(Q_1) \neq \phi \ \& \ \Phi_i^M(Q_2) \neq \phi \ \& \ \Phi_i^M(Q_3) \neq \phi \ \& \ \Phi_i^M(Q_4) \neq \phi$$

$$\Omega_F^i = \{OSR, IMR\} \tag{8}$$

若既不满足式(7), 也不满足式(8), 就将 OSR、IMR 和 ISR 3 个子区域都作为泛洪 RREQ 的区域, 即 $\Omega_F^i = \{OSR, IMR, ISR\}$ 。在这种情况下, ZRDM 组网与 DSR 组网一样, 向所有区域泛洪 RREQ 数据。

一旦确认了泛洪 RREQ 数据的子区域 Ω_F^i , 源节点 s_i 就将区域 Ω_F^i 的节点加入链接重传邻居列表 (Neighbors to Rebroadcast RREQ, NRR)。只有 NRR 列表内的节点才可以转发 RREQ 数据。

1.5 选择泛洪区域的示例

为了更好地理解算法 1 所选择的泛洪 RREQ 区域,

图 5 给出示例说明。接下来分别考虑了 Case1、Case2 和 Case3 3 种情况。

(1)Case1: 节点密度较高, 如图 5 所示。OSR 区 4 个象限内均有邻居节点。在这种情况下, 就只将 OSR 区域作为泛洪区域, 只在 OSR 区内泛洪 RREQ 数据。

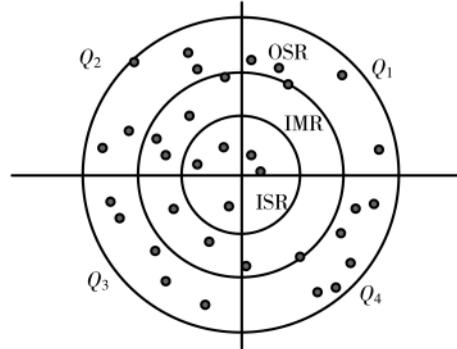


图 5 泛洪 RREQ 数据的区域示例 (Case1)

(2)Case2: 节点密度不高, 如图 6 所示。并非 OSR 区的 4 个象限内均有邻居节点, 而 IMR 区的 4 个象限内都有邻居节点。在这种情况下, 只在 OSR 区和 IMR 内泛洪 RREQ 数据。

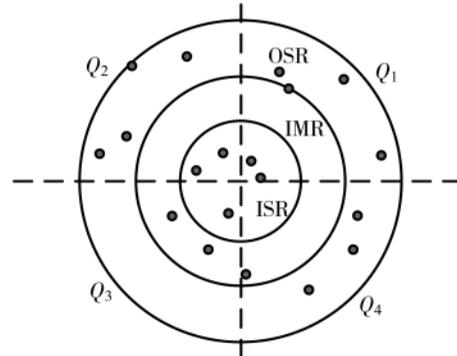


图 6 泛洪 RREQ 数据的区域示例 (Case2)

(3)Case3: 节点密度稀疏, 如图 7 所示。OSR 和 IMR 区域内的 Q_4 象限内没有邻居节点。在这种情况下, 为了提高建立可靠组网, 将 OSR、IMR 和 ISR 3 个区作为

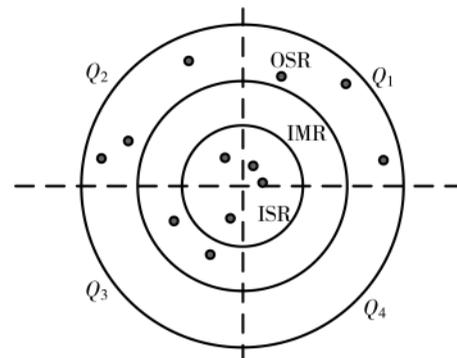


图 7 泛洪 RREQ 数据的区域示例 (Case3)

泛洪 RREQ 的区域。

1.6 邻居节点接收 RREQ 的处理策略

一旦收到 RREQ 数据后, 邻居节点从 RREQ 数据中提取 NRR 的信息, 并判断自己是否在 NRR 内。

若不在 NRR 列表内, 就直接丢失 RREQ 数据; 若自己在 NRR 列表内, 就继续判断自己是否为目的节点。若是目的节点, 就直接向该目的节点传输 RREQ 数据; 若自己不是目的节点, 就利用算法 1 选择泛洪 RREQ 数据区域。处理 RREQ 数据的流程如图 8 所示。

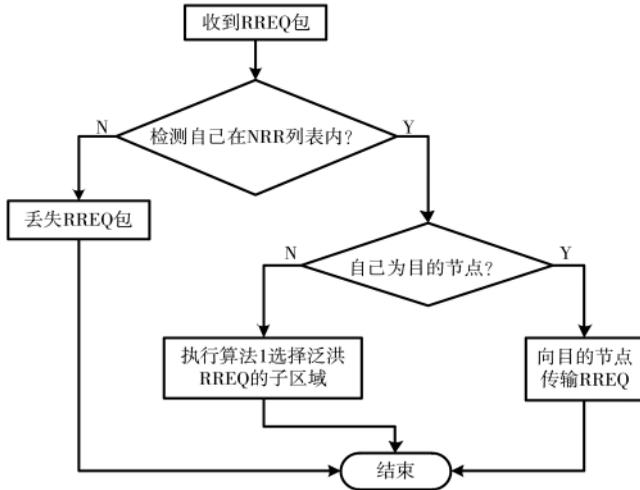


图 8 接收 RREQ 数据后的处理流程

2 数值分析

2.1 仿真场景

通过 NS3 仿真软件建立仿真平台^[15]。N 个节点随机分布于 300 m×1 500 m 区域, 节点的传输范围为 250 m。具体的仿真参数如表 1 所示。

表 1 仿真参数

仿真参数	值
MAC 协议	IEEE 802.11
仿真时间/s	600
移动模型	Random Waypoint
节点移动速度/(m/s)	0~5
信号传播模型 ^[16]	Free Space Model
流量类型	CBR
数据包尺寸/B	512
节点数	20~140
节点传输范围/m	250

为了更好地分析 ZRDM 组网性能, 选择文献[3]提出的可靠 DSR 组网(DSR)作为参照, 并分析数据传递率和归一化的吞吐量。

2.2 数据传递率

首先分析节点数的变化对数据传递率的影响, 其中数据传递率等于目的节点成功接收了的数据数与源节

点发送的数据数之比^[16]。

从图 9 可知, 在节点数从 20~40 变化区间, ZRDM 组网与 DSR 组网的数据传递率相近, 它们的数据传递率分别约为 88%、86%。原因在于: 当节点数较少, 节点密度分布较低时, DSR 和 ZRDM 组网一样, 都采用 OSR、IMR 和 ISR 区作为泛洪 RREQ 数据区。

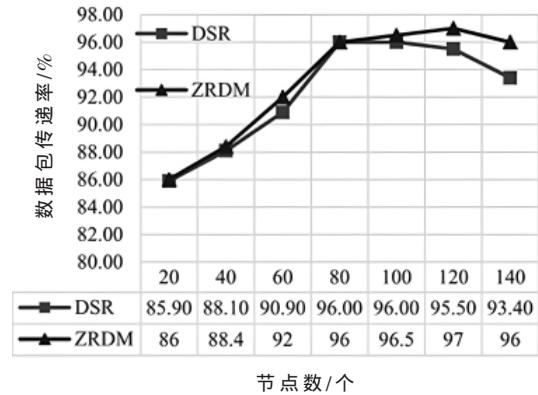


图 9 数据传递率

然而, 随着节点数的增加, ZRDM 组网的数据传递率逐步优于 DSR 组网。因为节点数的增加, 使 OSR 区域内的 4 个象限均有节点的概率增加, 从而实现了只在 OSR 区域内泛洪 RREQ 数据, 减少了节点传递 RREQ 数据的次数, 降低了拥塞概率, 增加了数据传递率。当节点数增加至 140 时, 相比于 DSR 组网, ZRDM 组网数据传递率提高至 2.78%。

2.3 归一化能耗率

接下来, 分析归一化能耗率随节点数的变化情况, 如图 10 所示。

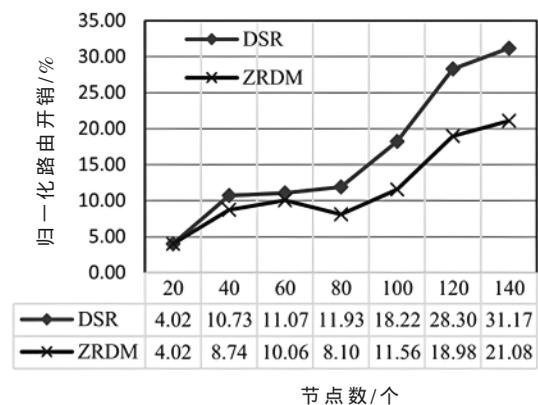


图 10 归一化组网能耗

从图 10 可知, 相比于 ZRDM 组网, DSR 组网产生更多的 RREQ 数据。原因在于: 每个节点都接收 RREQ 的副本。例如, 当节点数为 80 时, DSR 组网的归一化能耗率近 11.93%, 而 ZRDM 组网的归一化能耗率近 8.10%, 比 DSR 组网下降近 3.83%。

2.4 节点移动速度对数据传递率的影响

分析节点移动速度对数据传递率的影响,其中节点移动速度从 5 m/s~35 m/s 变化,如图 11 所示。

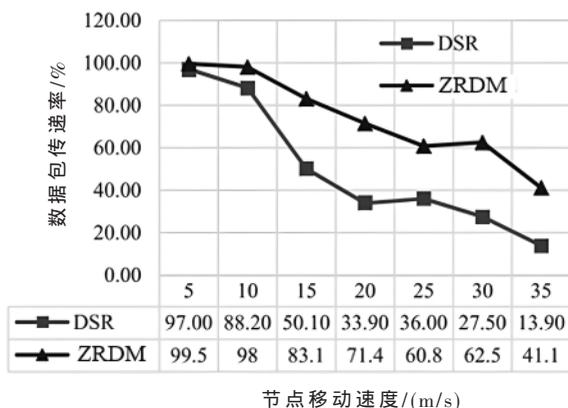


图 11 节点移动速度对数据传递率的影响

从图 11 可知,ZRDM 组网和 DSR 组网的数据传递率均随节点移动速度增加而下降。原因在于:节点移动速度越快,网络拓扑变化加快,降低链路的连通时间。相比于 DSR 组网,提出的 ZRDM 组网提高了数据传递率。例如,当节点移动速度增加至 10 m/s,ZRDM 组网的数据传递率达到 98%,而 DSR 组网的数据传递率约 88%,提高了近 10.2%。原因在于:节点移动速度的增加,加剧了链路断裂数,这影响了 DSR 组网的数据传递率。而 ZRDM 组网构建组网时考虑了链路的可靠性。

当节点移动速度增至 15 m/s 时,ZRDM 组网数据传递率约 83.1%,而 DSR 组网数据传递率只有 50.1%。相比 DSR 组网,ZRDM 组网将数据传递率提升了约 65.9%。当节点移动速度分别增加至 20 m/s、25 m/s、30 m/s、35 m/s 时,ZRDM 和 DSR 组网数据传递率迅速下降。但 ZRDM 组网的数据传递率的下降速度低于 DSR 组网。

2.5 节点移动速度平均端到端时延的影响

接下来,分析节点的移动速度对端到端传输时延的影响,其中节点移动速度从 5 m/s~35 m/s 变化,如图 12 所示。

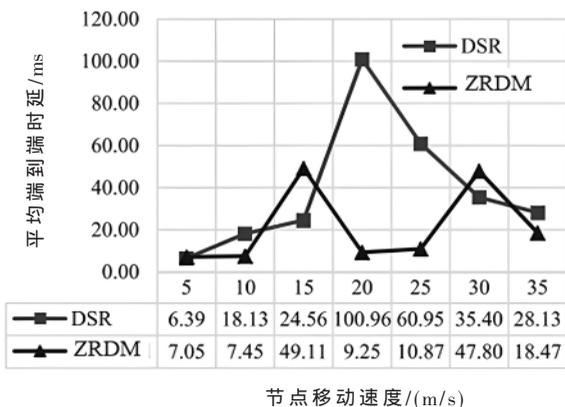


图 12 节点移动速度对平均端到端时延的影响

从图 12 可知,在节点移动速度为 10 m/s、20 m/s、25 m/s 和 35 m/s 时,提出的 ZRDM 组网的平均端到端时延低于 DSR 组网的时延。例如,在节点移动速度为 10 m/s 时,ZRDM 组网的平均端到端时延约为 7.45 ms,而 DSR 组网的平均端到端时延达到 18.13 ms。相比于 DSR 组网,ZRDM 组网的平均端到端时延下降了 10.68 ms。并且随着移动速度的提升,ZRDM 组网在时延性能方面的优势越明显。

2.6 节点移动速度归一化组网能耗的影响

最后,分析节点移动速度对归一化组网能耗的影响,其中节点移动速度从 5 m/s~35 m/s 变化,如图 13 所示。

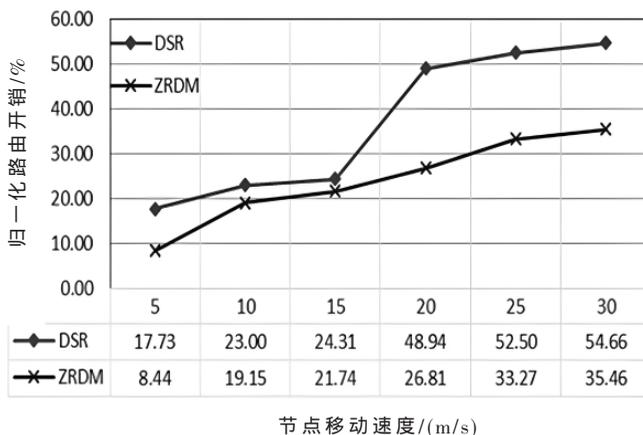


图 13 节点移动速度对归一化组网能耗的影响

当节点移动速度为 5 m/s 时,ZRDM 组网的归一化组网能耗为 8.44%,而 DSR 组网的归一化组网能耗达到 17.73%。相比之下,ZRDM 组网将归一化组网能耗下降了 51%。当节点移动速度增加时,链路断开的概率也随之增加,这就增加了消息传输失败的次数。一旦消息传输失败,就需要源节点重新构建新的组网,这就增加了组网能耗。而 ZRDM 组网通过限定 RREQ 的传输区域,降低了组网能耗。

3 结论

本文针对 DSR 组网盲目地泛洪问题,提出基于区域的组网发现机制 ZRDM。ZRDM 组网先依据信号强度将邻居节点划分为 3 个子区域,并依据每个子区域的节点分布情况再选择泛洪 RREQ 数据的区域,进而控制重播 RREQ 的次数。仿真结果表明,提出的 ZRDM 组网降低了能耗,并提高了数据传递率。

参考文献

[1] 李莉莉,张晓勇,岳伟.移动自组织中基于贪婪蚁群算法的链接策略[J].系统工程与电子技术,2020,42(4): 200-206.
 [2] 邢静宇,单平平.MANETs 中能量感知-低拥塞的动态源自组网[J].中国电子科学研究院学报,2019,14(5): 502-507.

- [3] 丛佩丽,赵恒.一种面向移动 Ad Hoc 网络 DSR 协议的改进泛洪算法[J].电信科学,2016,32(10):110-115.
- [4] SHORA M A,NOUH S A,KHALIFA A R.Reliable dynamic source routing(RDSR) protocol with link failure prediction for mobile ad hoc networks(MANET)[J].Journal Network Communication Emergence Technology,2018,8(3):13-20.
- [5] 王庆文,戚茜,程伟,等.节点度估计和静态博弈转发策略的 Ad Hoc 网络组网协议[J].软件学报,2020,31(6):222-236.
- [6] 余修武,梁北孔,周利兴,等.基于网络分区和路径能耗的深井无线传感器网络多簇首组网算法[J].中国安全生产科学技术,2019,15(1):34-39.
- [7] 梁晨,杨艳,秦丹阳,等.无线多跳网络网络中基于贝叶斯概率模型的消息转发机制研究[J].计算机测量与控制,2020,28(3):231-234,249.
- [8] CHAN J,CHAEWOO L.An efficient flooding algorithm for position-based wireless ad hoc networks[C]//The 3rd International Conference on Convergence and Hybrid Information Technology, Nov 11-13, 2008, Busan, Korea. New Jersey: IEEE Press, 2008: 13-20.
- [9] 杜恒,俞慧芳,龚茜茹.基于旋跳自漂移修正的 WSN 网络信号源定位算法[J].西南大学学报(自然科学版),2019,41(2):117-127.
- [10] 贾蒙,巩峰,陈为刚.无线传感器网络不可靠链路特性[J].信息与控制,2020,49(5):552-559.
- [11] 祝嘉东,孙君,许晖,等.基于 DSR 的改进型综合源组网协议[J].网络技术,2020,53(1):80-86.
- [12] 蔡震,梁满贵.基于遗传算法的道路车辆自组织网络源组网机制[J].交通运输系统工程与信息,2019,19(4):43-49.
- [13] 房亚群,安进.基于概率链接 RREQ 的 AODV 的改进协议[J].计算机工程与设计,2016,4(12):3244-3249.
- [14] 朱尚聪,吕红芳,吉书瑶.基于能量均衡的 ZigBee 组网优化算法[J].微电子学与计算机,2018,4(7):140-143.
- [15] 蔡文郁,刘晓玲.计算机网络启发式 NS-3 仿真案例教学模式[J].实验室研究与探索,2018,37(9):95-100.
- [16] 刘影,李国庆,钱志鸿,等.采用确定性信号传播模型的普适寻优定位方法[J].重庆邮电大学学报(自然科学版),2021,33(3):378-386.

(收稿日期:2021-12-09)

作者简介:

孟金林(1973-),男,硕士研究生,高级工程师,主要研究方向:电力系统。



扫码下载电子文档

“深度学习和图像识别”专栏征稿

随着智能时代的来临,深度学习和图像识别相关技术得到了越来越广泛的关注与应用。深度学习和图像识别已成为推动工业 4.0 和双碳目标的重要实施路径。目前,深度学习已经广泛应用于语音识别、文本分析、知识图谱、图像识别、视频分析等诸多领域。为了及时、集中地反应我国深度学习和图像识别领域取得的最新技术及应用成果,《电子技术应用》拟在 2022 年第 10 期出版“深度学习和图像识别”专栏,欢迎深度学习和图像识别及相关领域的专家学者、科研人员踊跃投稿!

1. 专栏特约主编

朱小燕 清华大学 教授
利节 重庆科技学院 副教授
王东 清华大学 副研究员

2. 征稿范围

征文涉及的领域包括但不限于:

- (1) 深度神经网络模型理论研究及应用;
- (2) 深度强化学习理论研究;
- (3) 图像增强/特征提取/对齐/检索方法研究;
- (4) 数字图像相关方法研究;
- (5) 图形/文字识别相关研究;
- (6) 图像识别在工程/医学/生物等应用研究;
- (7) 图像识别模型轻量化研究。

3. 稿件要求:文章需具有创新性且未在其他期刊公开发表过。文中图表需清晰,文字规范。详见《电子技术应用》投稿须知(<http://www.chinaaet.com/about/notice/>)。

4. 截稿日期:2022 年 8 月 20 日。

5. 投稿方式:请登录《电子技术应用》官网(<http://www.ChinaAET.com/>),投稿页面中选择“深度学习和图像识别”专栏投稿,按要求提交。

版权声明

经作者授权，本论文版权和信息网络传播权归属于《电子技术应用》杂志，凡未经本刊书面同意任何机构、组织和个人不得擅自复印、汇编、翻译和进行信息网络传播。未经本刊书面同意，禁止一切互联网论文资源平台非法上传、收录本论文。

截至目前，本论文已经授权被中国期刊全文数据库（CNKI）、万方数据知识服务平台、中文科技期刊数据库（维普网）、DOAJ、美国《乌利希期刊指南》、JST 日本科技技术振兴机构数据库等数据库全文收录。

对于违反上述禁止行为并违法使用本论文的机构、组织和个人，本刊将采取一切必要法律行动来维护正当权益。

特此声明！

《电子技术应用》编辑部

中国电子信息产业集团有限公司第六研究所