

文章编号:1001-9081(2007)08-1825-03

一种蚁群竞争 WSN 能量均衡路由算法

张曦煌¹, 夏佳¹, 沈玉方²

(1. 江南大学 信息工程学院, 江苏 无锡 214122; 2. 南京邮电大学 计算机学院, 南京 210003)

(jxia6182@163.com)

摘要:针对无线传感器网络路由在能量控制和拥塞控制上的特殊要求,通过利用蚁群算法(ACS)对路由中最短路径的加速收敛的同时,兼顾网络节点能量均衡消耗,提出了一种新算法——AERA。该算法引入了多蚁群竞争机制,并将多蚁群挥发的信息素与网络节点能量参数共同构成路由控制因子。此算法能有效地控制网络拥塞,并使网络节点能量消耗相对均衡,延长了整个网络的生命周期,实现了高效路由与能量消耗的最优权衡。通过 NS 仿真实验验证了该方法的可行性,并给出了实验结果。

关键词:蚁群算法;拥塞控制;能量路由;信息素

中图分类号: TP311 **文献标志码:** A

Equilibrium energy routing algorithm based on ant colony system for WSN

ZHANG Xi-huang¹, XIA Jia¹, SHEN Yu-fang²

(1. College of Information Engineering, Southern Yangtze University, Wuxi Jiangsu 214122, China;

2. College of Computer, Nanjing University of Posts and Telecommunications, Nanjing Jiangsu 210003, China)

Abstract: An improved ant colony competition energy routing algorithm named AERA was put forward, which aimed at the special requirement in network congestion and energy controlling for Wireless Sensor Network (WSN). This algorithm could, by taking advantage of Ant Colony System (ACS), accelerate the constringency speed of routing on shortcut and take the balance of nodes energy into account. It imported the multiple ant colony competition mechanism too. The pheromone and energy of network nodes were combined to affect the pheromone concentration in optimization path, which could avoid network congestion and balance the energy consumption among the nodes. Thus it could prolong the lifecycle of the whole network. The feasibility of this algorithm has been validated, and the results of experiment have been presented.

Key words: Ant Colony System (ACS); congestion control; energy routing; pheromone

0 引言

路由协议负责将数据包从源节点通过网络转发到目的节点,它主要包括两个方面的功能:寻找源节点和目的节点间的优化路径,将数据包沿着优化路径正确转发。传统路由协议在选择最优路径时,很少考虑网络拥塞和节点的能量消耗问题^[1]。而无线传感器网络中节点的能量有限,延长整个网络的生存期成为传感器网络路由协议设计的重要目标^[2,3]。因此,传感器网络路由协议不仅要选择能量消耗小的消息传输路径,而且要从整个网络生命周期的角度考虑,选择使整个网络能量均衡消耗的路由。

蚁群算法^[4,5]已经成功地用于解决 TSP、JSP 等许多组合优化问题。本文则提出了一个基于蚁群算法的具有能量均衡特性的路由算法,该算法通过不同节点能量参数与蚂蚁信息素之间的相互作用决定该路径上蚂蚁的数量,避免蚁群算法收敛时单一路径上的蚂蚁数量过多而导致拥塞,并且使得各传感器节点的能量均衡消耗,从而达到传感器网络路由的优化目的。

1 蚁群算法

蚁群算法又称蚂蚁算法,其基本原理可大致描述如下:蚂

蚁个体之间通过在其所经过的路径上留下一一种称之为信息素^[6]的物质来进行信息传递。蚂蚁可以嗅到这种信息素,而且可以根据信息素的浓度来指导自己对前进方向的选择。同时,该信息素会随着时间的推移逐渐挥发掉,于是路径的长短及该路径上通过的蚂蚁的多少就对残余信息素的强度产生影响。反过来信息素的强弱又指导着其他蚂蚁的行动方向。因此,某一路径上走过的蚂蚁越多,则后来者选择该路径的概率就越大。这就构成了蚂蚁群体行为表现出的一种信息正反馈现象。蚂蚁个体之间就是通过这种信息交流达到快速找到食物源或蚁穴的。

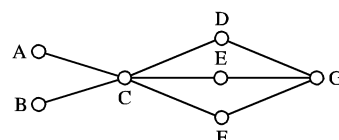


图 1 基本蚁群算法

如图 1 所示,图中节点 A、B 表示蚂蚁穴节点,G 表示食物源。开始时,从 A、B 放出若干只蚂蚁到 G,这时它们会以相等的概率选择 C-D-G、C-E-G 和 C-F-G 支路。每只蚂蚁在所经过的路径上要释放一定数量的信息素,这些信息素以一定的速率挥发,蚂蚁判断前进的道路时选择信息素强度最大

收稿日期:2007-02-13;修回日期:2007-04-10。

作者简介:张曦煌(1962-),男,江苏无锡人,副教授,主要研究方向:嵌入式系统、图形图像处理、无线网络;夏佳(1982-),男,江苏无锡人,硕士研究生,主要研究方向:嵌入式系统;沈玉方(1983-),女,江苏南通人,硕士研究生,主要研究方向:无线传感器网络。

的道路。这样,当选择 C-E-G 支路的蚂蚁按原路返回到 A 或 B 时,因为其余两条路径的长度较长,从 A 点或 B 点出发的蚂蚁还没有返回。这时,C-E-G 上的信息素强度高于其余两条支路上的信息素强度,因此后续蚂蚁选择 C-E-G 支路的概率就变得最大。这样 C-E-G 支路上的信息素强度就会越来越大,而其余两条支路的信息素浓度会随着蚂蚁访问次数的减少而减少,最终,所有的蚂蚁都选择了长度最短的 C-E-G 支路。

2 蚁群算法分析

算法初始化中,所有的边都被赋予一定的信息素。在每次搜索开始时,蚂蚁从随机选择的节点中开始寻找路径,各自开始自己的搜索过程。在搜索中,蚂蚁倾向于沿着信息素水平较高的边访问下一个节点。当所有蚂蚁完成了搜索后,进行全局信息素更新:所有连接边的信息素都有一部分挥发出去,然后每只蚂蚁根据它们已经完成寻路的消耗参数更新它们走过的边的信息素水平。蚂蚁消耗参数越低,信息素水平增加就越显著。然后所有蚂蚁重新选择出发的节点,重新开始搜索。

假设一只蚂蚁正处于节点 r ,它对下一选择节点 s 进行访问的概率 $P_k(r,s)$ 由式(1)确定:

$$P_k(r,s) = \begin{cases} \frac{\tau(r,s) \cdot [\eta(r,s)]^\beta}{\sum_{\mu \in J_k(r)} \tau(r,\mu) \cdot [\eta(r,\mu)]^\beta}, & s \in J_k(r) \\ 0, & s \notin J_k(r) \end{cases} \quad (1)$$

其中, τ 是信息素数量, $\eta = 1/\sigma$,是从节点 r 到节点 s 的距离的倒数, $J_k(r)$ 是还未访问节点的集合, β 是调整消耗参数和信息素相对重要程度的常数,一般取 2。

信息素全局更新按式(2)进行:

$$\tau(r,s) = (1 - \alpha) \cdot \tau(r,s) + \alpha \cdot \sum \Delta\tau_k(r,s)$$

$$\Delta\tau_k(r,s) = \begin{cases} 1/L_k, & \text{如果}(r,s) \text{是蚂蚁 } k \text{ 走过的边} \\ 0, & \text{其他} \end{cases} \quad (2)$$

在蚂蚁算法中信息素挥发参数一般取 0.9, L_k 是蚂蚁 k 的完成寻路的消耗参数。

从上面的算法可以看出,一般的蚂蚁算法进行过程中,所有的蚂蚁都是通过信息素最多的路径到达目的地,所以如果某路径是到达不同目的地共同最优路径时,在该路径上出现蚂蚁数量将是巨大的。这种现象在网络中是不合理的,在这条路径上很有可能会出现拥塞,最终导致整个网络的瘫痪,并且该路径上的节点能量将急剧减少,这将使整个网络的生命

周期缩短。

为了解决这些问题必须对蚂蚁算法进行改进,使网络中数据的流量尽可能经过不同路径,从而达到网络流量的负载分担,使节点能量均衡消耗^[7]。

3 AERA 算法

通过上述分析过程可以看出,为了实现不同节点的能量消耗相对均衡,必须对蚁群算法进行改进,改进后的蚁群算法应该能够在不同路径上实现数据包分流,在算法加速收敛的同时避免出现收敛于唯一最优路径。

对不同数据流量进行标记以便不同的数据流量可以通过不同的路径。本文使用多个蚁群相互竞争并结合网络中节点能量的变化实现这种负载分担的能量路由算法——AERA (Ant Colony Competition Energy Routing Algorithm)。对每个蚁群的外激素进行标记,不同的外激素如果出现在同一条路径上那么外激素的挥发会加速,使得在该路径上不同蚁群的外激素相互抑制,从而使得该路径上蚂蚁的数量降低。如果一条路径上只有一个蚁群中的蚂蚁,则该算法就退化成一般的蚁群算法。

标记 n 个蚁群为 A_1, A_2, \dots, A_n ,外激素分别标记为 $\tau_1, \tau_2, \dots, \tau_n$ 。处于城市 r 的 A_i 蚁群的蚂蚁,它对下一选择城市 s 进行访问的概率 $P_{ik}(r,s)$ 由式(3)确定:

$$P_{ik}(r,s) = \begin{cases} \frac{\tau_i(r,s) \cdot [\eta(r,s)]^\beta \cdot \varphi_{is}}{\left\{ \sum_{\mu \in J_{ik}(r)} \tau_i(r,\mu) \cdot [\eta(r,\mu)]^\beta \right\} \cdot \sum_j \theta_j}, & s \in J_{ik}(r) \\ 0, & s \notin J_{ik}(r) \end{cases} \quad (3)$$

其中, τ 是信息素数量, $\eta = 1/\sigma$,是从节点 r 到节点 s 的距离的倒数, $J_{ik}(r)$ 是 A_i 蚁群中蚂蚁 k 还未访问节点的集合, β 是寻路消耗和信息素相对重要程度的常数,一般取 2, φ_{is} 是 A_i 蚁群中第 k 只蚂蚁信息素节点能量运算因子:

$$\varphi_{is} = \begin{cases} \frac{E_s}{\sum_{k \in U_k(r)} E_s}, & s \in U_k(r) \\ 0, & s \notin U_k(r) \end{cases} \quad (4)$$

其中, E_s 是 A_i 蚁群中蚂蚁 k 即将访问的下一个节点的剩余能量, $U_k(r)$ 是 A_i 蚁群中蚂蚁 k 所在节点的所有将被访问的下一节点的集合。

式(3)中, θ_j 是其他蚁群对蚁群 A_i 在该路径上的概率抑制因子,可以通过式(5)确定:

$$\theta_j = \begin{cases} \frac{\tau_j(r,s) \cdot [\eta(r,s)]^\beta}{\sum_{\mu \in J_{jk}(r)} \tau_j(r,\mu) \cdot [\eta(r,\mu)]^\beta} + \frac{\tau_i(r,s) \cdot [\eta(r,s)]^\beta}{\left\{ \sum_{\mu \in J_{ik}(r)} \tau_i(r,\mu) \cdot [\eta(r,\mu)]^\beta \right\} \cdot \sum_j \theta_j}, & s \in J_{ik}(r) \cap J_{jk}(r) \\ 1, & s \notin J_{ik}(r) \cap J_{jk}(r) \end{cases} \quad (5)$$

式(5)表示了蚁群 A_j 在寻径过程中对蚁群 A_i 的影响,从而导致了在相同路径上两个蚁群外激素的相互抑制,使得在相同链路上的两个蚁群的蚂蚁数量下降,但是这个过程并不是立刻就达到稳定的,在蚂蚁算法中当选择一条路径的概率发生变化时其他相关路径的选择概率同样要进行相应的更新,更新必须满足以下的原则:

$$\sum_{s \in J_{ik}(r)} P_{ik}(r,s) = 1 \quad (6)$$

式(6)说明了在从 r 到其他所有可行节点的概率之和必

须为 1。所以在上述算法的计算过程中需要对所有路径上的概率进行调整,又会影响到该路径上的蚁群间的抑制概率的变化,所以该调整过程必须动态进行。

式(3)表示了蚁群在相互竞争最优路径的同时受到了节点能量消耗的限制。在其收敛于最优解的同时,平衡了节点的能量消耗,使得蚂蚁不会完全收敛于最优解而造成拥塞,能量消耗相对平均,最大限度地延长了整个网络的生命周期。

信息素全局更新按式(7)进行:

$$\tau_i(r,s) = (1 - \alpha) \cdot \tau_i(r,s) + \lambda_i \cdot \alpha \cdot \sum \Delta\tau_{ik}(r,s) \quad (7)$$

其中:

$$\Delta\tau_{ik}(r,s) = \begin{cases} 1/L_{ik}, & \text{如果}(r,s) \text{ 是蚂蚁 } k \text{ 走过的边} \\ 0, & \text{其他} \end{cases}$$

L_{ik} 是蚁群中蚂蚁 k 完成寻路的消耗参数。 λ_i 是改进后的信息素挥发因子,该值按以下规则进行计算:

$$\lambda_i = \begin{cases} \frac{\alpha_i}{\zeta_{ij} \cdot (\alpha_i + \alpha_j)}, & \text{蚁群 } i,j \text{ 竞争同一条路径} \\ 1, & \text{其他} \end{cases} \quad (8)$$

ζ_{ij} 是信息素抑制参数,通过确定信息素挥发因子可以加速两个蚁群在竞争过程中的信息素挥发程度,动态减少该链路路上的蚂蚁数量,从而达到预期目的。AERA 算法在单一蚁群的情况下就退化成为传统的蚁群算法。

4 NS 模拟实验

本试验采用网络仿真软件 NS-2 对上述算法进行仿真。在试验中使用单一蚁群算法在图 1 所示的网络结构中进行试验。按照传统的蚁群算法,其中 $\alpha = 0.9, \beta = 2$,同时每个节点使用概率表 $P = P_i$ 记录每个可能目标节点下一跳选择各个相邻节点的概率,并保持一张邻接表 $I = I_i$,初始的信息素数量 $\tau_{init} = 1$,所有路径成本均取 1。

在使用蚁群算法进行路由的过程中,最优的路径上将会有大量的蚂蚁通过,同时在非最优化的路径上蚂蚁数量将减少。这样就造成了网络路径负载过于集中,导致网络拥塞,节点能量消耗极度不平衡。试验中路径 CE 成为蚁群算法的唯一最优解,而其他两条路径上将只有少量蚂蚁通过。

使用 AERA 算法,在图 1 所示的网络拓扑中进行试验,标记不同的蚁群 A,B 有相同的目的地 E。试验中主要针对同一时间间隔内路径 CD,CE,CF 上蚂蚁数量的变化和最优路径上节点能量消耗速度的变化。

基于基本蚁群算法在一个时间段间隔内观察路径 CF、CD、CE 上蚂蚁数量的变化情况,如图 2 所示。

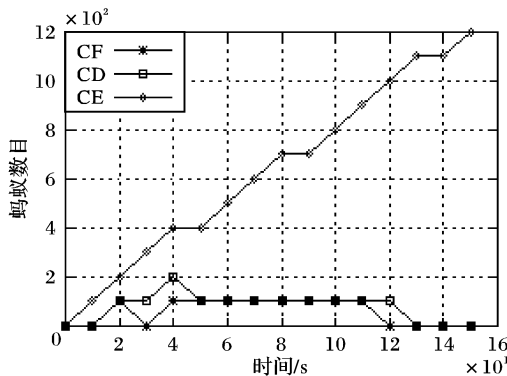


图 2 各路径蚂蚁数量变化(ACS)

图 2 中横坐标表示时间间隔,以 10s 作为一个刻度。纵坐标表示蚂蚁数量,以 100 只蚂蚁作为一个刻度。从图 2 中可以看出,在最优路径 CE 上蚂蚁数量急剧上升,而路径 CF、CD 上的蚂蚁数量相当少。

基于 AERA 算法在同一个时间段间隔内的相同条件下观察路径 CF、CD、CE 上蚂蚁数量的变化情况,如图 3 所示。

从 3 图中可以看出,在最优路径 CE 上蚂蚁数量被有效控制,而路径 CF、CD 上的蚂蚁数量也有显著上升,路由趋向相对平衡。

最后,在相同时间间隔内分别使用 ACS 算法和 AERA 算法观察节点 E 的能量变化。定义各节点的初始能量为 100 个单位,如图 4 所示。

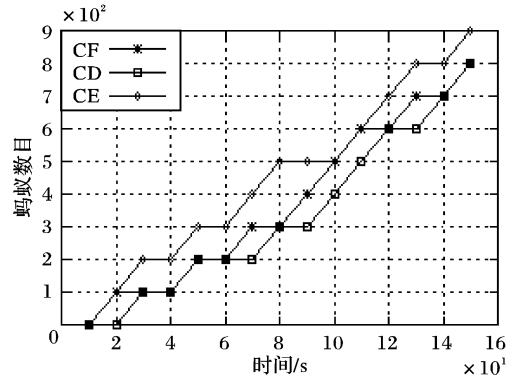


图 3 各路径蚂蚁数量变化(AERA)

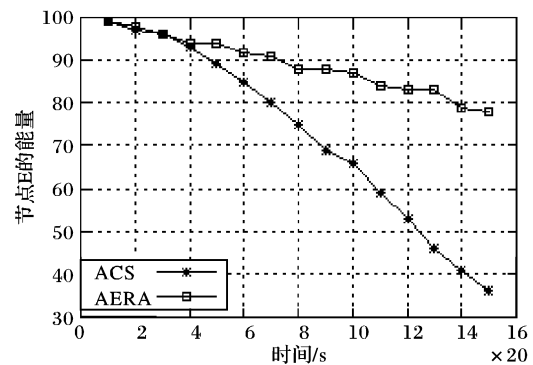


图 4 E 节点剩余能量的变化

图 4 中横坐标表示时间,以 20s 为一个刻度。纵坐标表示 E 节点的剩余能量。从图 4 中可以看出,用 ACS 算法时,E 节点能量急剧下降,而用 AERA 算法时,E 节点能量消耗相对缓和。

从以上的试验结果可以看出,AERA 算法使得各路径上数据包的数量相对平均,最优路径上节点的能量消耗明显减缓。该算法不再将单一路径作为最优解来进行路由,具有一定的负载分担能力,从而能很好地解决网络拥塞的问题,降低了节点的丢包率,提高了网络性能,并且节点能量消耗相对平均,提高了整个网络的生命周期。

5 结语

提出的蚁群竞争能量路由算法 AERA 避免了原蚁群算法陷入局部最优解,产生过早收敛的问题。同时将其应用在无线传感器网络路由算法中,很好地权衡了路由收敛速度与网络生命周期的相互制约关系。对于提高无线传感器网络的网络效率,扩大无线传感器网络的生存周期具有很高的应用价值。

参考文献:

[1] RAJAGOPALAN S, JAIKEAO C, SHEN C C. The routing for mobile Ad-hoc networks with swarm intelligence[EB/OL]. (2004 - 10 - 10) [2006 - 12 - 10]. <http://www.cis.udel.edu/rajagopa/ansi-uni-cast-udcistr-2003-07-dt: 05-01-2003. pdf>.

[2] XU Y, HEIDEMANN J, ESTRIN D. Geography - informed energy conservation for Ad-hoc routing[C]// Proceedings of 7th Ann International Conference on Mobile Computing and Networking. Rome: ACM Press, 2001: 70 - 84.

定算法首先比较收到的报文是否优于默认数据设置。如果在一个局域网中,收到同步报文以后调用状态决定算法进行两两数据设置比较,就可以决定一个较优时钟,最终总可以得到一个最优时钟。这是一个比赛树的算法,整个系统是收敛的。假设整个网络中有 n 台主机,则收敛得出最优时钟从而达到自同步的时间最多不会超过 $2(n-1)$ s。

3 PTP 协议软件实现的性能分析

PTP 协议的系统可以很快实现收敛得到一个主时钟,从时钟发送延迟请求的时间为 $4 \sim 6$ s 的随机值,加上系统收敛时间,整个系统最终达到同步的时间最多不会超过 $2(n-1) + 6$ s。IEEE 1588 的软件实现在理想情况下可以达到纳秒级。

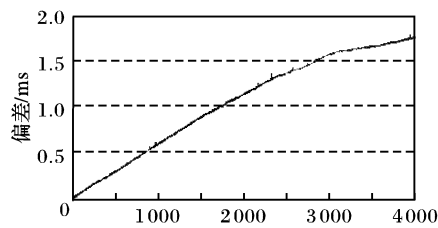


图3 偏差统计

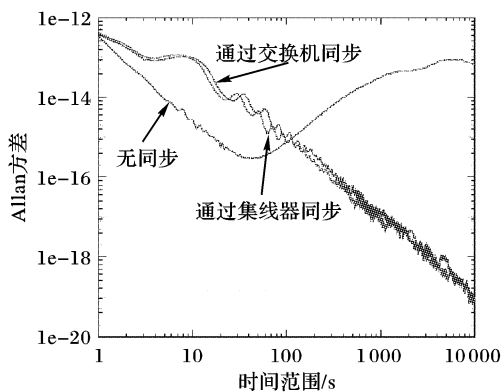


图4 Allan 方差统计

图4是在Linux嵌入式系统上用C实现的IEEE 1588协议的统计分析图。系统的主频是66MHz内存为68kB,对不

同网络条件下采样50000次Allan方差进行统计,没有任何同步技术条件下的Allan方差曲线呈V字型,表明时钟的精确性较差,时钟在一个较大的范围内波动。通过集线器和交换机进行同步的Allan方差曲线几乎重合,表明PTP协议的实现与网络环境的关系并不是很大^[4],这主要是因为PTP协议占用的带宽很小,对计算机硬件和网络环境的要求很低。

5 结语

现代计算机网络的发展,尤其是工业以太网的发展,对各个终端设备的实时同步要求越来越高,IEEE 1588协议为以太网的时钟精准同步提供了一种有效的解决方案。IEEE 1588的软硬件研究在国外已经比较深入,能够在以太网中应用的硬件系统已经出现,而在国内的研究还是刚刚起步。本文结合IEEE 1588核心原理,使用Java和C语言结合,在不增加额外硬件的前提下实现了它的基本功能。

参考文献:

- [1] ANSI/IEEE Standard 1588-2002, IEEE standard for a precision clock synchronization protocol for networked measurement and control systems[S]. 2002.
 - [2] WEIBEL H. High precision clock synchronization according to IEEE 1588 implementation and performance issues [C//OL]// Proceedings of Embedded World. Nuremberg, Germany, 2005 [2007-01-15]. http://ines.zhwin.ch/uploads/media/embedded_World_05_Contribution_final_02.pdf.
 - [3] HÖLLER R, SANTER T, KERO N. Embedded SynUTC and IEEE 1588 clock synchronization for industrial Ethernet[C]// Proceedings of Emerging Technologies and Factory Automation, September 16-19, 2003, Lissabon, Portugal. [S. l.]: IEEE Transactions on Industrial Electronics, 2003, 1: 422-426.
 - [4] CORREL K, BARENDT N, BRANICKY M. Design considerations for software only implementations of the IEEE 1588 precision time protocol[C]// Conference on IEEE-1588 Standard for a Precision Clock Synchronization Protocol for Networked Measurement and Control Systems. Winterthur: NIST and IEEE, 2005: 353-359.
-
- (上接第1827页)
- [3] HEINZELMAN W R, CHANDRAKASAN A, BALAKRISHNAN H. Energy efficient communication protocol for wireless micro sensor networks[C]// Proceedings of Hawaii International Conference on System Sciences, Hawaii. San Francisco: IEEE Computer Society, 2000: 3005-3014.
 - [4] SCHOONDERWOERD R, HOLLAND O, BRUTEN J, et al. Ant-based load balancing in telecommunications networks[J]. Adaptive Behavior, 1996, 5(2): 169-207.
 - [5] GUNES M, SORGES U, BOUAZIZI I. ARA: the-ant-colony based routing algorithm for MANETs[C]// Proceedings of the 2002 International Conference on Parallel Processing Workshops (ICPPW 02). Washington: IEEE Computer Society Press, 2002: 79-85.
 - [6] UTTEL M H, BRAUN T. Ants based routing in large scale mobile ad-hoc networks[C]// Proceedings of the 13th ITG/GI-Fachtagung Kommunikation in verteilten System (KiVS 2003), February 25-28, 2003. Leipzig, Germany: Praxisberichte und Workshop E-Learning, VDE Verlag, 2003: 181-190.
 - [7] TITZER B L, LEE D K, PALSBERG J. Avrova: scalable sensor network simulation with precise timing[C]// Proceedings of 4th International Symposium on Information Processing in Sensor Networks (IPSN'05). Piscataway, NJ: IEEE Press, 2005: 477-482.
 - [8] HUSSEIN O, SAADAWI T. Ant routing algorithm for mobile Ad-hoc networks (ARAMA)[C]// Proceedings of the 2003 IEEE International Conference on Performance, Computing and Communications Conference. [S. l.]: IEEE Press, 2003: 281-290.
 - [9] BARAS J S, MEHTA H. A probabilistic emergent routing algorithm for mobile ad-hoc networks[C]// Wiopt'03: Modeling and Optimization in Mobile, Ad Hoc and Wireless Networks, Sophia-Antipolice, France, March 3-25, 2003. [S. l.]: INRIA Press, 2003: 120-125.
 - [10] WANG Y C, ZHAO Q C, ZHENG D Z. Energy-driven adaptive clustering data collection protocol in wireless sensor networks[C]// Proceedings of International Conference on Information Mechatronics and Automation, Chengdu, China, 2004. [S. l.]: IEEE Press, 2004: 599-604.
 - [11] SHNAYDER V, HEMPSTEED M, CHEN B-R, et al. Simulating the power consumption of large-scale sensor network applications [C]// Proceedings of the 2nd International Conference on Embedded Networked Sensor Systems. New York: ACM Press, 2004: 188-200.