

基于粒子群算法构建无线传感器网络的研究

马玉洁

安徽文达信息工程学院 安徽合肥 231201

摘要: 无线传感器网络凭借大范围信息感知及无线信息传输的优势被广泛部署。本文提出一种基于粒子群算法的分簇路由协议;该算法在网络分簇中引入POS算法,并设计了相应的适度函数;该函数由离散度因子和存活度因子组成,分别反映节点在网络中分布的均匀性和自身质量。仿真结果表明,采用粒子群算法的分簇路由网络的生存时间延长一倍以上。

关键词: 无线传感器网络、粒子群优化算法、路由

Abstract: WSN are widely deployed due to the advantages of wide range of information perception and wireless information transmission. This paper proposes a clustering routing protocol based on particle swarm optimization. In this algorithm, POS algorithm is introduced into the network clustering, and the appropriate function is designed. The function is composed of discreteness factor and survival factor, which reflect the distribution uniformity and quality of nodes in the network respectively. Simulation results show that the survival time of the clustered routing network with particle swarm optimization is more than doubled.

Keywords: WSN; PSO; routing

引言:

从研究结果来看,业界为同类无线传感器网络提出了许多聚类算法,例如LEACH^[1]、PEGASIS^[2]和HEED^[3],但这些技术在异构网络中表现不佳。针对于异构网络,G.Smaragdakis,等提出了SEP^[4]算法;该算法将网络中的传感器节点分为两种类型:节点普通节点和高级节点。高级节点比普通节点拥有更多的能量。该方法有效的延长网络的稳定期。

本节阐述关于无线传感器网络聚类技术的相关研究。粒子群优化算法源于对鸟类捕食的研究。PSO算法具有实现容易、精度高、收敛快等优点^[5]。文献^[6]是一篇较早应用粒子群优化算法解决WSN分簇问题的文章,相比于传统层次路由方法,作者所提方法有效提升了数据的收集量。但是该方法过于追求簇规模均匀,导致在节点分布不均衡场景中簇间的能耗不均衡。

在文献^[7]中,作者提出了LP/NLP公式,并提出了两种PSO算法,其路由算法采用高效的粒子编码方案和多目标适应度函数实现。通过和已有的算法进行比较,证明了该算法在负载均衡和延长网络生存时间方面的优势。文献^[6]提出了一种聚类方法,该方法使用一种适应度函数修改PSO算法,该适应度函数的参数为传感器节点与Sink节点之间平均距离及剩余能量,通过与LEACH和LEACH-C^[9]等流行算法进行比较,证明了该方法在WSN中的聚类效果。

N.M.A.Latiff等人提出了一种采用PSO算法优化具有能量感知能力的聚类方法^[10]。该方法在分簇时,能够有效缩短簇头节点与传感器节点的距离,进而提升网络负载均衡的能力。但是该方法忽略了簇头节点的负载均衡,与距离sink节点近的簇头节点相比,较远的簇头节点通讯能耗较高,这将导致这些较远簇头节点过早的消亡,进而降低网络的覆盖率。针对上述问题,文献^[8]提出另一种基于PSO的分簇算法能够有效降低远距离簇头节点的负载,进而实现在保证覆盖率的前提下延长网络的生命周期。

一、粒子群分簇算法

粒子群优化算法(PSO)基于进化计算的方式实现,在该算法中,粒子具有速度和位置两个属性;速度代表粒子运动的方向,位置代表解空间的位置。在每一次的迭代中,粒子通过跟踪两个“极值”(pbest, gbest)来更新自己。在找到这两个最优值后,粒子通过下面的公式来更新自己的速度和位置。

$$V_{i,new} = w * V_i + c_1 * r_1 * (X_{i,pbest} - X_i) + c_2 * r_1 * (X_{gbest} - X_i) \quad (6)$$

$$X_{i,new} = X_i + V_{i,new} \quad (7)$$

(6)和(7)式分别表示粒子速度和位置更新的算法,其中(6)可分解为:记忆项($w * V_i$)、自身认知项($c_1 * r_1 * (X_{i,pbest} - X_i)$)、群体认知项($c_2 * r_1 * (X_{i,pbest} - X_i)$)。记忆项表示上一次运动的速度,

我们通过调节 w (惯性权重) 能够实现粒子的全局搜索和局部搜索的能力; 自身认知体现了粒子的自身经验; 群体认知反映了粒子间的系统合作和经验共享。式中, c_1 和 c_2 代表加速因子 (非负常数), r_1 和 r_2 为 $[0, 1]$ 范围内的随机数。

上述标准粒子群算法是以连续空间为基础构建的, 对于网线传感器网络的簇头选取问题, 而我们所求的待解变量 (哪些节点能够作为簇头) 是一种离散型变量, 因此我们需要采用离散粒子群算法。

$$V_{i,d,new} = w * V_{i,d} + c_1 * r_1 * (X_{i,d,pbest} - X_{i,d}) + c_2 * r_2 * (X_{d,gbest} - X_{i,d}) \quad (8)$$

$$s(V_{i,d}) = \frac{1}{1 + \exp(-V_{i,d})} \quad (9)$$

$$X_{i,d} = \begin{cases} 1 & rand() \leq s(V_{i,d}) \\ 0 & otherwise \end{cases} \quad (10)$$

(8) 和 (10) 式分别表示粒子的速度和位置更新公式, (9) 式采用 sigmoid 函数将速度映射至 $[0, 1]$ 空间内。

以上给出了离散粒子群算法的速度和位置更新公式, 但 $X_{i,d,pbest}$ 和 $X_{d,gbest}$ 的计算方法还未说明。为了得到个体粒子最位置 ($X_{i,d,pbest}$) 和全体粒子最优位置 ($X_{d,gbest}$), 我们设计了相应的适应度函数 $F(C_1, C_2, \dots, C_n)$; 将粒子位置 X 所包含的簇头节点代入, 该函数返回一个正数, 返回值越大则该位置的适应度高。

$$F(C_1, C_2, \dots, C_n) = \varphi * f(C_1, C_2, \dots, C_n) + \omega * g(C_1, C_2, \dots, C_n) \quad (11)$$

$f(X)$ 表示簇首节点离散度评判因子, $g(X)$ 表示簇首节点存活度评判因子。 Φ 和 ω 分别为他们的权重。

簇首节点离散度因子 $f(C_1, C_2, \dots, C_n)$: 反映簇首在网络中分布的均匀性, 备选簇首间的距离越远, 则他们在网络中分布的均匀性越好, 如 (12) 式采用 n 个备选簇首内任意两个簇首的平均距离作为离散度因子。

$$f(C_1, C_2, \dots, C_n) = \frac{1}{n(n-1)} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^{n, i \neq j} d(C_i, C_j)$$

簇首节点存活度因子 $g(C_1, C_2, \dots, C_n)$: 反映簇首质量的优劣, 由于簇头节点需要中继其他传感器节点的数据, 若被选择的簇头节点的剩余能量较小, 距离 sink 节点较远, 那么该簇头节点将过早的消亡, 这种情况不仅会降低网络的生存时间, 而且会破坏整个网络的运行结构。因此簇头应当选取剩余能量多, 距离 sink 节点近的节点。

$$g(C_1, C_2, \dots, C_n) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{E_{C_i}}{(d(C_i, sink))^2}$$

对于适度函数中的离散度因子和存活度因子的权重补充说明如下: 其满足如下三个约束条件: (1)

$\varphi > 0$ 且 $\omega > 0$ 、(2) $\varphi + \omega = 1$ 。(3) 并且随着网络运行时间的延长, φ / ω 的值将变小。

二、仿真实验

本节将阐述我们的仿真环境、实验参数及实验结果。我们采用 python 模拟网络运行, 并通过 pyplot 输出实验结果。实验参数如表 1 所示:

表 1 仿真参数

参数	值	参数	值
网络覆盖区域	100m*100m	ϵ_{mp}	0.0013pJ / bit / m ²
Sink 节点位置	(50, 50)	d_0	70m
传感器数量	100	α	0.7
传感器初始能量	1J	c_1	2
数据包大小	4000bit	c_2	2
E_{elec}	50nJ / bit	φ 初始值	0.7
ϵ_{fs}	10nJ / bit / m ²	ω 初始值	0.3

为了验证所提 POS 路由算法的效果, 我们选择节点生存时间和网络感知数据量两个方面作评估标准。节点生存时间是指随着网络的运行, 网络内剩余节点的数量; 网络感知数据量是指从网络开始运行至网络失效 Sink 节点收到的数据总量。

我们选取 LEACH 算法作为对比。图 1 展示了节点生存的数量随网络运行的变化, LEACH 算法的仿真实验中第一个死亡节点出现在 529 轮, 网络一半节点死亡出现在 681 轮; 网络运行至 812 轮时所有节点死亡, 即网络失效。基于 POS 分簇路由算法的第一个节点死亡、一半节点死亡、网络失效分别出现在 573 轮、987 轮、2127 轮。结果表明, 基于 POS 分簇路由算法有效提升网络的健壮性, 延长网络生存时间。

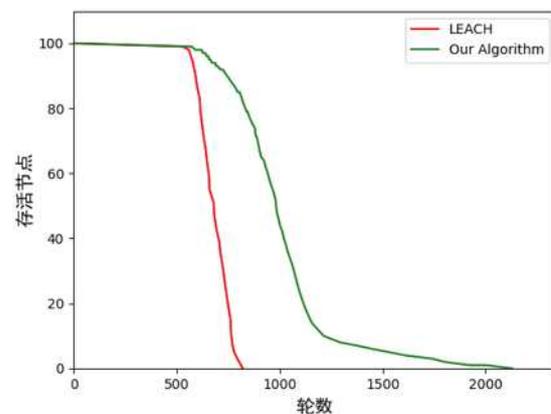


图 1 节点生存时间对比

图 2 展示了 Sink 节点收到数据包的数量随网络运行的变化。LEACH 算法总共收到 68438 个数据包。而基于 POS 的分簇路由算法中, 总的数据包接受达到 101525。

从图中可以看出自出现第一个死亡节点（573轮）后，数据包的接收量开始放缓，但其增速依然比LEACH算法的增速高。其原因在于POS分簇路由算法在网络运行后期，通过向内收缩选取簇头降低了簇头的负载。

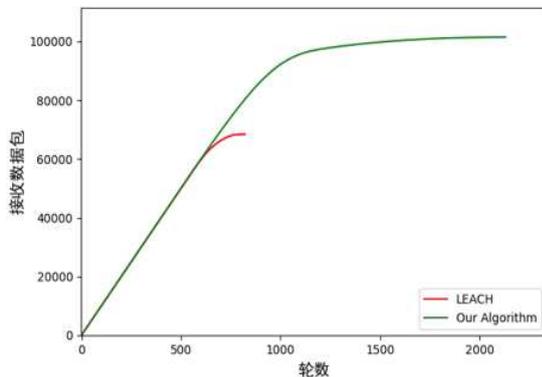


图2 接受数据量对比

结合上述实验结果，可以看出我们所提出算法的第一个节点的死亡时间较LEACH延长8%，网络的生存时间延长了161%。由于POS分簇路由算法引入了离散度因子和节点存活度因子，有效降低了快速衰减的速度。

参考文献：

[1] Heinzelman W R . Energy-efficient communication protocol for wireless microsensor networks[C]// 33rd Annual Hawaii International Conference on System Sciences, 2000. 2000.

[2] Shukla I , Meghanathan N . Power Efficient Gathering in Sensor Information System (PEGASIS Protocol). 2010.

[3] Younis O , Fahmy S . HEED: A Hybrid, Energy-

Efficient, Distributed Clustering Approach for Ad Hoc Sensor Networks[J]. IEEE Transactions on Mobile Computing, 2004, 3(4):366-379.

[4] Smaragdakis G , Matta I , Bestavros A . 1 SEP: A Stable Election Protocol for clustered heterogeneous wireless sensor networks. 2013.

[5] 杨维, 李歧强. 粒子群优化算法综述[J]. 中国工程科学, 2004, 6 (5): 87-94.

[6] Tillett J . Cluster-head identification in ad hoc sensor networks using particle swarm optimization[C]// IEEE International Conference on Personal Wireless Communications. IEEE, 2002.

[7] Kuila P , Jana P K . Energy efficient clustering and routing algorithms for wireless sensor networks: Particle swarm optimization approach[J]. Engineering Applications of Artificial Intelligence, 2014, 33(AUG.):127 - 140.

[8] Yadav R K , Kumar V , Kumar R . A Discrete Particle Swarm Optimization Based Clustering Algorithm for Wireless Sensor Networks[J]. 2015.

[9] Heinzelman W . An Application-Specific Protocol Architecture for Wireless Microsensor Networks[J]. IEEE Transactions on Wireless Communications, 2002, 1.

[10] Latiff N , Tsimenidis C C , Sharif B S . Energy-Aware Clustering for Wireless Sensor Networks using Particle Swarm Optimization[C]// IEEE International Symposium on Personal. IEEE, 2007.