

低占空比无线传感器网络异步邻居发现算法研究

王朝龙¹,徐正坤²,殷 锋³

(1.四川大学 计算机学院 四川 成都 610064 2.中国人民解放军 78020 部队 云南 昆明 650000 ;

3.西南民族大学 计算机学院 四川 成都 610041)

摘要:邻居发现是无线传感器网络能够正常通信的前提。为节省能量,低占空比无线传感器网络中的节点在生命期中大部分时间在休眠,从而导致较长的发现延迟。邻居发现算法需要在节省能量和缩短发现延迟之间进行平衡取舍。文章对近年提出的几种比较重要的低占空比无线传感器异步网络邻居发现算法进行了总结,并以仿真实验加以对比。

关键词:无线传感器网络;低占空比;邻居发现

中图分类号:TP393

文献标识码:A

文章编号:1673-1131(2014)02-0006-02

0 引言

邻居发现问题是无线传感器网络(WSNs)通信协议的重要组成部分之一。为节省能量,低占空比 WSNs 中的节点在生命期中大部分时间在休眠,从而导致较长的发现延迟。邻居发现算法必须要在节省能量和缩短发现延迟之间进行平衡取舍。因为不需要耗时耗能的同步通讯,异步的邻居发现算法近年得到了较多的关注。目前,低占空比 WSNs 的异步邻居发现算法的基本做法都是先将时间分成固定间隔的时间槽。一个时间槽的时间长度可以保证完成一次发现过程。当两个节点有一个苏醒时槽重叠时,则可以认为节点发现了邻居。

异步邻居发现算法分为两类:概率性和确定性算法。概率性算法如文献[1]等在保持节点能量低消耗的情况下,致力在确定的时间内能够以较大概率发现邻居;而确定性算法如文献[2][3][4]等则致力于在确定的时间内能够 100%地发现邻居节点。

本文对近年提出的重要的异步低占空比无线传感器网络邻居发现算法 Birthday^[1],Disco^[2],U-Connect^[3]和 SearchLight^[4]进行了总结,并以仿真实验加以对比。

1 Birthday 算法

McGlynn 等在文献[1]根据生日悖论提出了 Birthday 算法。一个节点分别以 p_1 , p_1 和 p_1 的概率选择进入三种状态(休眠、传输和监听)之一。文献得出在时间槽 n 两个节点互相发现的期望概率是

$$E(U) = 2(1 - (1 - p_1 p_1)^n)$$

但是概率性邻居发现算法的最大缺点便是最差发现延迟时间的不确定性,从而限制了算法的应用场合。

2 Disco 算法

Dutta 等在文献[2]中提出了 Disco 邻居发现算法。Disco 算法的基础来源于中国剩余定理:给定两个互质的整数和相应的余数,在两个互质数的乘积范围内,必然存在一个整数满足条件。Disco 基于此提出了以素数作为占空比的倒数。考虑到两个节点可能选择同一个素数导致永远无法发现对方的缺陷,提出了以一个素数对 (p_{i1}, p_{i2}) 作为布置时序的标准,其中 p_{i1} 与 p_{i2} 在一个节点取值不同,同时满足占空比为

$$DC \approx \frac{1}{p_{i1}} + \frac{1}{p_{i2}}$$

这样即使两个节点不巧选择了同一个素数对,也可以保证在有限的时间内可以发现对方。

3 U-Connect 算法

Kandhalu 等在文献[3]中提出了 U-Connect 算法。算法依据占空比参数选择一个素数 p ,并以 $p \times p$ 为周期组织算法时序。在 $p \times p$ 的网格中,以下列规律令节点苏醒:

$$\psi(t) = \begin{cases} 1, & \text{if } [t]_p = 0 \text{ or } 0 \leq [t]_p < \frac{p+1}{2} \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases}$$

U-Connect 保证了在 $p \times p$ 的周期内,100%地发现节点邻居。文献[3]首次提出了对邻居发现算法的一种度量标准 $P \cdot L$ 。其中 P 指的是节点的能量消耗, L 指的是发现延迟。

4 SearchLight 算法

Bakht 等在文献[4]中提出了 SearchLight 算法,包括 Searchlight-S 和 Searchlight-R 两种。它是一种确定性邻居发现算法。SearchLight-S 的时间槽时序如图,节点周期为 $t \cdot \lfloor t/2 \rfloor$ 。它将苏醒时槽分为两类:锚时槽(图中的 A)和探测时槽(图中的 P)。

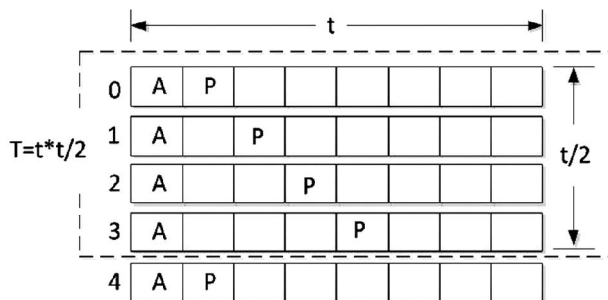


图 1 SearchLight 时序分布

Searchlight-R 将顺序的探测时槽随机化。如图 1 Searchlight-S 的探测时槽序为(1,2,3,4),而 Searchlight-R 的探测时槽序可为每个周期取个随机值,如(1,4,3,2)(2,4,3,1).....

5 性能仿真

5.1 仿真指标和参数

我们采用 C++编写的仿真实验平台对各算法进行仿真。实验中,我们对比各个邻居发现算法在相同的占空比参数下,邻居发现延迟的累计分布函数 CDF 和在不同占空比情况下的最差和平均发现延迟。仿真实验采用表 1 中的实验参数。

表 1 仿真实验参数设置

节点占空比 DC	Birthday 的苏醒概率	Disco 的素数对取值 (q_{i1}, q_{i2})	U-Connect 的素数取值	SearchLight 的 t 取值
1%	0.01	(191, 211)	151	200
2%	0.02	(97, 103)	73	100
5% (默认)	0.05	(37, 43)	29	40
10%	0.1	(17, 23)	13	20

实验中,我们对每种算法执行 100000 次,每次都随机分配时序。

5.2 邻居发现延迟的累计分布函数 CDF

本节对各个邻居发现算法在相同的占空比参数下邻居发现延迟的累计分布函数 CDF 进行了仿真。各算法表现如图 2。

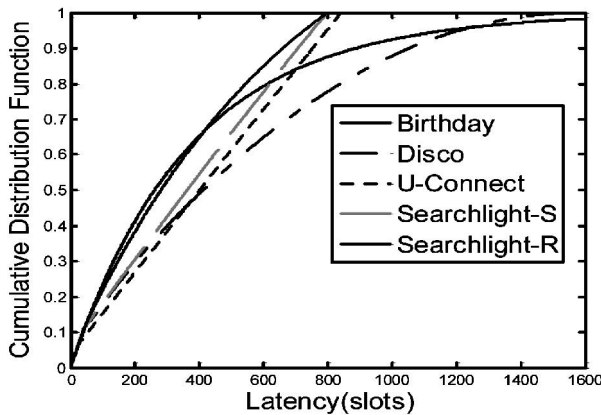


图 2 发现延迟的累计分布函数 CDF

由图 2 可知, Birthday 算法能够较早期地发现潜在的邻居,但无法保证能够完全发现周围的邻居; Disco 不管是平均延迟还是最差延迟都比较大; U-Connect 的最差延迟比 Disco 有较大的缩短; SearchLight-S 与 SearchLight-R 的表现还要优秀一些,特别是 SearchLight-R 在能够较早期地发现邻居上几乎可以与 Birthday 媲美,而且在最差延迟上也是所有算法中最优的。Birthday 与 SearchLight-R 在前期的表现表明,带有一定随机性成分的算法更能够较早期地发现邻居,即其在较小的固定延迟内发现邻居的概率更大。

5.3 不同占空比情况下的最差发现延迟

本节仿真分析各个占空比参数对最差发现延迟的影响。Birthday 算法的最差发现延迟趋于无穷,本节不令其参与比较,而 Searchlight-S 与 Searchlight-R 的最差延迟相同,我们以同一条曲线代表。实验结果如图 3。

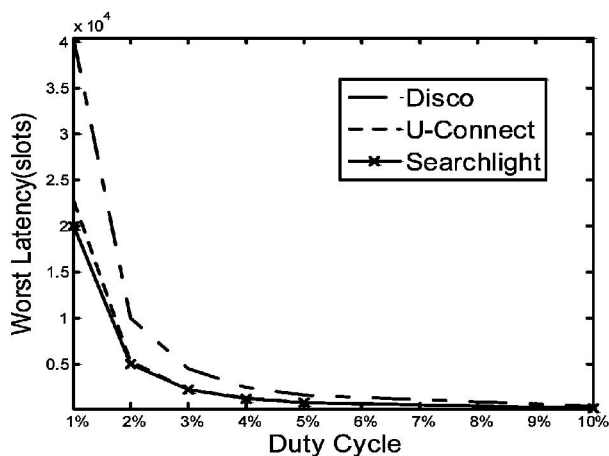


图 3 占空比参数对最差发现延迟的影响

由图 3 可知,在所有算法都表现出随着占空比增加,最差发现延迟减小的情况。可见对能量消耗和发现延迟之间的权衡是邻居发现算法的一个主要考量因素。其中, Searchlight 算法在相同的占空比情况下,可以取得较小的最差发现延迟。

5.4 不同占空比情况下的平均发现延迟

本节仿真分析各个占空比参数对平均发现延迟的影响。其中, Birthday 算法我们只取其在固定延迟内已发现邻居的情况进行统计。实验结果如图 4。

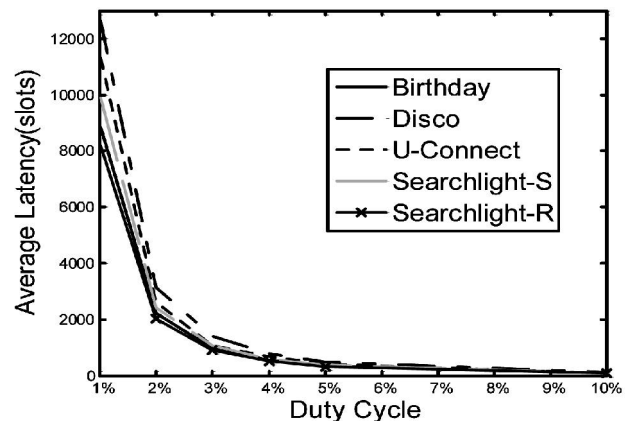


图 4 占空比参数对平均发现延迟的影响

由图 4 可知,在所有算法都表现出随着占空比增加,平均发现延迟减小的情况。在其中, Searchlight-R 算法在相同的占空比情况下,可以取得最小的平均发现延迟; Birthday 算法在较小的固定延迟内发现邻居的概率均要优于其他算法(除了 Searchlight-R),也即表明带有一定随机性成分的算法更能够较早期地发现邻居。

6 结语

低占空比无线传感器网络(WSNs)的邻居发现算法必须要在节省能量和缩短发现延迟之间进行平衡取舍。本文对近年提出的低占空比无线传感器网络异步邻居发现算法进行了总结,并以仿真实验加以对比。特别地,我们在仿真实验中发现算法设计中具有一定随机成分的算法在平均发现延迟和在较小的延迟时间段内发现邻居的概率上会有较优的表现。

参考文献:

- [1] M. McGlynn, S. Borbash, "Birthday protocols for low energy deployment and flexible neighbor discovery in ad hoc wireless networks", [J] Proceedings of MobiHoc '01, pp. 137-145, 2001
- [2] P. Dutta, D. Culler, "Practical asynchronous neighbor discovery and rendezvous for mobile sensing applications", [J] Proceedings of SenSys '08, pp. 71-84, 2008
- [3] A. Kandhalu, K. Lakshmanan, R. Rajkumar, "U-connect: a low-latency energy-efficient asynchronous neighbor discovery protocol", [J] Proceedings of IPSN '10, pp. 350 - 361, 2010
- [4] M. Bakht, R. Kravets, "SearchLight: asynchronous neighbor discovery using systematic probing", [J] Mobile Computing and Communications Review, vol. 14, no. 4, pp. 31-33, 2010

作者简介: 王朝龙(1979-) 男,黑龙江鹤岗人,研究生,主要研究领域为无线传感器网络;徐正坤(1980-) 男,工程师,主要研究领域为无线传感器网络;殷锋(1972-) 男,贵州人,博士,副教授,主要研究方向为计算机网络。