# 引言：

传感器网络是由大量低成本、低能耗、小体积的传感器节点构成的自组织网络。在恶劣环境、无人值守的区域有着广泛应用。由于传感器的能量有限，为延长使用寿命经常在低占空比的情况下工作，但由此产生了较大的发现延迟。

以往的研究主要注重于在较小占空比下尽可能缩短发现延迟。由于同步方法耗时耗能，因此网络主要采用异步方法进行通讯。目前异步方法是的基本思想是将连续时间离散化为一个个时隙，两个节点在激活槽重叠时能够发现彼此。

目前异步邻居发现算法主要分为两类：概率性算法和确定性算法。概率性算法追求在一定时间内，能够较大概率地发现邻居节点；确定性算法追求的是能够在一定时间内100%发现邻居节点。

本文首先对比了目前邻居发现的几种方法及其性能指标，然后提出一种新的激活策略。考虑到实际应用中部分节点的能量剩余问题，本文进一步提出了基于剩余能量的激活策略，充分利用能量以提高网络性能。

# 相关工作

1. Birthday协议

McGlynn等人提出Birthday协议**[1]**，每个节点在每个时隙上分别以概率、、进入发送、收听与睡眠状态，在n个时隙内节点A发现B的概率为:

1. Disco协议

Dutta等人提出Disco协议[2]。该协议基于中国剩余定理：当两个节点的唤醒调度周期互质时，其乘积范围内必然有重叠时隙。



Disco算法采用两个互素的数a、b作为节点A、B的激活参数。时隙编号从0开始，当时隙编号是a的整数倍时，A节点在此刻被激活，B节点同理。考虑到a=b时，两节点可能永远发现不了彼此，提出了以素数对、作为时序布置的标准。在保证100%发现彼此的前提下，平均发现延时为,占空比为。

1. Todis协议

Disco协议使用质数保证互质性，但10000里面只有1264个质数，参数的选择范围受到极大限制。Chen等人[3]针对Disco算法的这一不足提出了Todis算法，选择连续奇数的三元组作为唤醒调度参数，在一定条件下，保证互质性的同时增加了 参数的可选择空间。作者通过计算证实了最小不满足互质性的连续三元组为和，但这两组参数对应的占空比远小于实际占空比,基本用不上，故而Todis协议是有效的。

1. 倍数方法

SearchLight协议[4]提出倍数方法，假设A节点的唤醒周期为T，B节点的唤醒周期为nT，那么A节点重复n次后调度周期和B节点等长，只需要在nT时间内能够保证邻居发现即可。基于此，作者提出在集合}中依据需求选择节点调度周期参数。只需要在较长周期中有连续覆盖T个时隙即可保证邻居发现。



1. Quorum协议

Quorum协议在的时隙矩阵中选取一行一列作为唤醒时隙

1. Hedis协议

Chen等人[5]提出Hedis协议，将调度周期设置为n(n-1)的矩阵，其唤醒调度定义如下：

# 基本激活策略

# 剩余能量利用

# 参考文献

[1]McGlynn M J, Borbash S A. Birthday protocols for low energy deployment and flexible neighbor discovery in ad hoc wireless networks[C]//Proceedings of the 2nd ACM international symposium on Mobile ad hoc networking & computing. ACM, 2001: 137-145.

[2] Dutta P, Culler D. Practical asynchronous neighbor discovery and rendezvous for mobile sensing applications[C]//Proceedings of the 6th ACM conference on Embedded network sensor systems. ACM, 2008: 71-84.

[3] Chen, Lin, et al. "On heterogeneous duty cycles for neighbor discovery in wireless sensor networks." *Ad Hoc Networks* 77 (2018): 54-68.

[4] Bakht, Mehedi, Matt Trower, and Robin Hilary Kravets. "Searchlight: Won't you be my neighbor?." *Proceedings of the 18th annual international conference on Mobile computing and networking*. ACM, 2012.

[5] Chen, Lin, et al. "On heterogeneous neighbor discovery in wireless sensor networks." *2015 IEEE Conference on Computer Communications (INFOCOM)*. IEEE, 2015.

**推论1：**给定整数,序列,序列。

若互质，那么：

1. 时，B恰是N的一个完全剩余系
2. 时，B必定是N的一个完全剩余系的非重复子集。
3. 时，B一定包含N的一个完全剩余系

**证明**：假设存在两数，下述方程组成立：

等价于

等价于

1. 时，因为T、N互质且,故将分解为素数乘积之后，不可能包含N，原方程不可能成立，故 B中任意两个元素对N取模，结果必不相等。且B中共有n个元素，B是N的一个完全剩余系。
2. 时，同理可得 B中任意两个元素对N取模，结果必不相等。且B中共有n个元素，B是N的完全剩余系的非重复子集。
3. 时，对B中前N个元素， B中任意两个元素对N取模，结果必不相等。第N+1个元素为等价于0，第N+2个元素为等价于T，以此类推。只需要B中前N个元素即可构成N的一个完全剩余系。

我们的目标是找到在一定条件下，使得两节点总能通信的最简单的激活策略。通过研究文献[]，我们提出**猜想1**：令A、B节点的

A B

图1 基本可行策略

节点A与节点B的激活策略，√代表当前时刻节点被激活

**结论1**：将图1中的激活策略应用于节点A与节点B，使得A、B必定能够通信的一个充分条件是：与的最大公倍数不超过b，即。

**证明：**

如图【】所示(固定B节点，其偏移量为0)。在上文选择的激活策略下：

1. A节点一共有两类激活点，偏移量d=0时：分别为图中和；偏移量d=1时：分别为图中和。
2. B节点一共有三类激活点，分别为、、。

称图中激活点中的表达式值为类别号，那么,成立，，。



假设A、B在t时刻可以互相通信，A的时间偏移为d，则如下方程组有解：

（1-1）

（1-2）

该方程组有解的充要条件： （1-3）j的取值范围

式1-3有解的充要条件：(1-4)

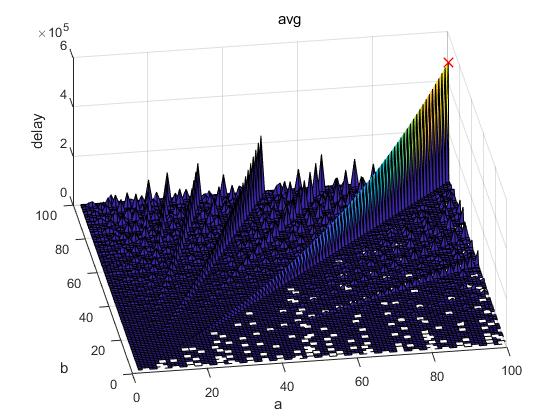
而1-4恒成立，证明如下：

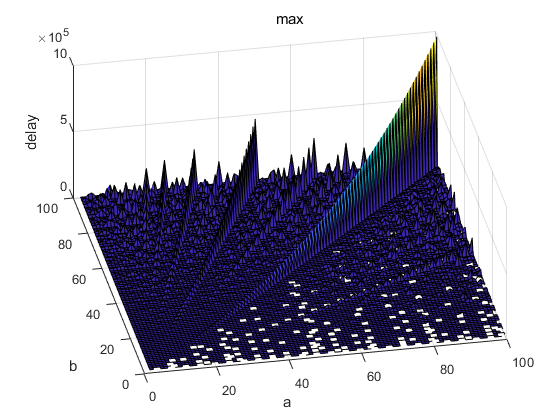
若存在,则b+1与有公共质因子，而与b有相同质因子，即b与b+1有公共质因子m，且m>1。显然不成立，即不存在这样的k。则。但不保证。满足j取值范围可行的一个充分条件是：序列恰好是的完全剩余系。

根据**推论1**可知：取，，

当且时满足条件。

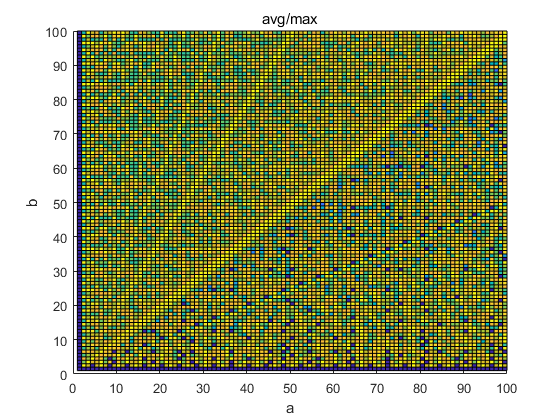
占空比取1%到100%，2，时：再保证同奇偶性且的情况下，在9801个组合中共有9608个可行组合。使用算法1计算每一种组合下对应的最大延迟与平均延迟，并得到结果图如下：



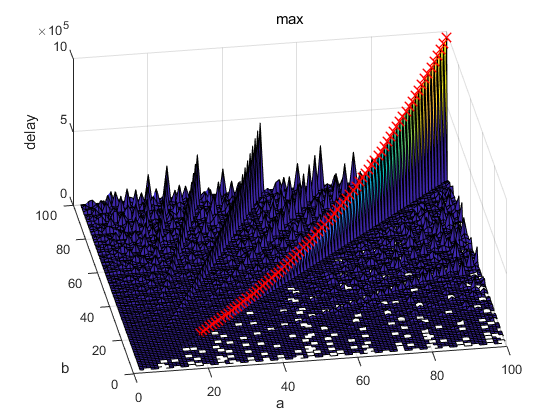


平均延时的最值为480249.494949495，最大延时的最值为970200，前者大约是后者的一半。

绘制出avg/max如下：



曲线拟合：





General model Power1:

f(x) = a\*x^b

Coefficients (with 95% confidence bounds):

a = 1.601 (1.583, 1.619)

b = 1.988 (1.985, 1.99)

Goodness of fit:

SSE: 2.17e+04

R-square: 1

Adjusted R-square: 1

RMSE: 16.68

b=a-1