**说 明 书**

**基于完全差集的邻居发现方法**

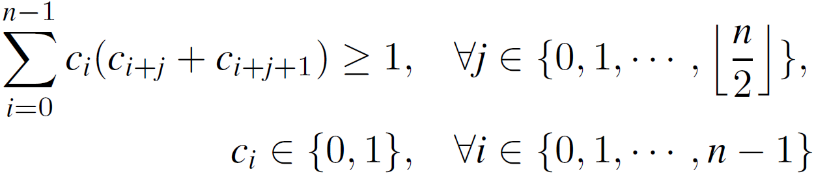
**技术领域**

1. 本发明涉及的是一种移动无线网络技术领域的方法，具体是一种移动无线网络中基于完全差集（Perfect Difference Set）的邻居发现方法，利用完全差集设计无线移动节点在邻居发现过程中所采用的活动睡眠模式（Active-Sleep Pattern），在保证邻居发现成功的前提下，实现很高的能量效率，并显著地缩短邻居发现过程的延时。

**背景技术**

1. 近年来，移动无线网络中涌现了许多基于无线节点位置的应用（Proximity-Based Applications），这些应用依赖于移动无线节点有效发现其周围邻居节点的能力。因此，在移动无线网络中实现高能量效率和低延时的邻居发现就显得尤为重要。
2. 考虑到移动无线网络的特点，移动无线网络中的邻居发现问题有四个基本要求：第一，分布式，因为集中式的方案必然会受限于移动节点与中央服务器之间的连接，并且会带来很大的时间延迟和能量消耗；第二，异步性，因为实现无线节点间同步的方法，如GPS，会引入高能耗，从而加快无线节点电池耗尽的速度；第三，确定性，因为采用随机的方法，可能会导致任意长的发现延时，在这种情况下，一个无线节点会失去发现本来处于其通信范围内的邻居节点的机会；第四，对称和非对称的占空比（duty cycle），因为不同的无线节点具有不同的剩余电池电量，它们在进行邻居发现时所能采用的占空比可能是相同（对称）或者不同（非对称）的。因此，移动无线网络中的邻居发现必须依赖于分布式的异步方法，每个无线节点必须有独立确定的活动睡眠模式。
3. 现有的邻居发现协议将时间分为等长的时间槽，节点在一个时间槽内保持活动（Active）或者睡眠（Sleeping）。具体来说，节点分别在一个活动时间槽的开始和结尾发送地址包，并在剩余时间保持接受状态；而节点在一个睡眠时间槽中既不发送也不接收。当两个邻居节点的活动时间槽重合时，它们就可以互相发现。但是，在消耗相同能量的前提下，现有的协议在对称的占空比下的表现远远低于最优，而且也不能在非对称情况下同时实现很好的平均发现延时和最坏情况发现延时。

**发明内容**

1. 本发明针对现有技术存在的上述不足，提出一种移动无线网络中基于完全差集的邻居发现方法，通过扩展及补充完全差集设计确定性的活动睡眠模式，使其在占空比对称的情况下能够实现最优或者接近最优的发现延时，在占空比非对称的绝大多数情况下都获得更短的延时。
2. 本发明是通过以下技术方案实现的：
3. 本发明涉及一种移动无线网络中基于完全差集的邻居发现方法，包括以下步骤：
4. 步骤1、在占空比对称的情况下，利用由0-1序列代表的活动睡眠模式，将对称的活动睡眠模式的设计问题进行建模。
5. 所述的由0-1序列代表的活动睡眠模式即：将一个周期长度为*n*个时间槽的活动睡眠模式建模为一个长度为*n*的0-1序列C:\Users\mengtong\Desktop\1.png，序列中的第*i*位*ci*表示节点在一个周期中第*i*个时间槽的状态，*ci* = 1表示一个活动时间槽，*ci* = 0表示一个睡眠时间槽。
6. 所述的建模为：将对称的活动睡眠模式的设计问题建模成一个最小化的优化问题：
7. 优化目标：最小化，
8. 限制条件：。
9. 其中，*w*表示一个周期中活动时间槽的个数，*n*表示两个相邻节点按照相同的活动睡眠模式进行邻居发现时可能需要的最大发现延时。
10. 步骤2、由问题建模，根据*n*的值建立相应的活动睡眠模式（Diff-Code），具体包括两种情况：
11. 2.1、当n为某一完全差集长度的两倍时，直接通过扩展该完全差集建立Diff-Code活动睡眠模式；
12. 2.2、否则，利用贪婪算法在完全差集的基础上构建Diff-Code。
13. 步骤3、将对应于不同占空比的，并且周期长度两两互质的多个对称的活动睡眠模式Diff-Code，组合成一个适用于占空比非对称情况下的活动睡眠模式系列（ADiff-Code Series）。
14. 所述的占空比非对称情况下的活动睡眠模式系列指的是：一个由若干对称的活动睡眠模式Diff-Code组成的集合，其中任意两个Diff-Code都可以在占空比非对称情况下保证成功的邻居发现。

**技术效果**

1. 本发明与现有技术相比，其优点表现为：可以在占空比对称的情况下实现最优或者接近最优的发现延时，可以在占空比非对称的情况下同时实现更短的平均情况和最坏情况的发现延时；实现简单，并且能量效率高。

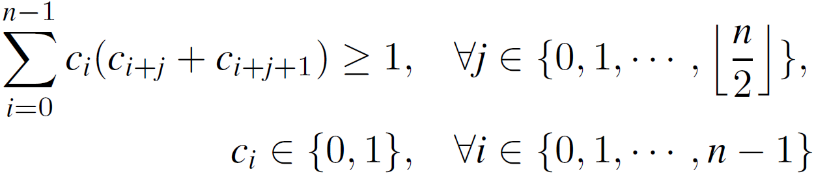
**附图说明**

1. 图1为时间槽偏移的示意图。
2. 图2为溢出的活动时间槽保证活动时间槽非对齐的示意图。
3. 图3为对称占空比为5%时不同协议的发现延时累积分布图。
4. 图4为非对称占空比下不同协议的发现延时累积分布图；
5. 图中：a为10%和1%的非对称占空比比较，b为5%和1%的非对称占空比比较。

**具体实施方式**

1. 下面对本发明的实施例作详细说明，本实施例在以本发明技术方案为前提下进行实施，给出了详细的实施方式和具体的操作过程，但本发明的保护范围不限于下述的实施例。

**实施例1**

1. 本实施例包括以下步骤：
2. 第一步、占空比对称情况下活动睡眠模式的设计问题的建模
3. 移动无线网络中的邻居发现问题，通常都将时间分为等长的时间槽。根据无线节点在一个时间槽内的活动，可以将其分为活动时间槽和睡眠时间槽两类。在一个活动时间槽中，一个无线节点分别在开始以及结尾发送包含自身地址的数据包（Beacon），并在之间的剩余时间内保持接收状态；在一个睡眠时间槽中，无线节点既不发送也不进行接收，因而几乎不消耗能量。并且，一个节点A接收到来自另一个节点B的地址数据包，就表示节点A发现了邻居节点B。因此，如果两个邻居节点的活动时间槽在某一时刻会出现重合，它们就可以成功地相互发现。
4. 在移动无线网络中，无线节点一般是手机、平板电脑等具有无线功能的可移动电子设备。这些设备受限于本身有限的电池电量，在进行邻居发现时往往遵从于比较低的占空比，即它们在大部分时间槽内保持睡眠，只在少数的时间槽内进行数据包的发送与接收。无线节点在邻居发现过程中的活动与睡眠状态的转换，是由一个确定的活动睡眠模式决定的。一个活动睡眠模式规定了一个节点在一个周期内的行为。在占空比对称的情况下，所有节点都有相同的活动睡眠模式。
5. 因为每个时间槽只有活动或者睡眠两种可能，考虑到这种双态性，一个周期长为*n*个时间槽的活动睡眠模式可以由一个长度为*n*的0-1序列C:\Users\mengtong\Desktop\1.png表示。这样，时间槽*i*就对应着序列*C*中的*ci*：*ci* = 1表示一个活动时间槽，*ci* = 0表示一个睡眠时间槽。另外，因为节点之间是异步的，所以两个不同节点的活动睡眠模式存在时间槽偏移（Slot Offset），即两个节点进入周期中第1个时间槽的不同时刻间的偏移量。时间槽偏移以时间槽的个数为单位，并且可以是非整数值。需要注意的是，当活动睡眠模式的周期长为*n*时，一个大小为*d*的偏移量等价于大小为*n*-*d*的偏移量，为了表示方便，取其中较小的值作为时间槽偏移。这样，两个节点间的时间槽偏移最大不超过*n*/2。图1提供了时间槽偏移的例子，图中节点A与节点B之间的时间槽偏移为3个时间槽，节点A与节点B之间的时间槽偏移为2.5个时间槽。
6. 因为节点在邻居发现过程中的状态转换是周期化的，所以对于一个长为*n*的有效的活动睡眠模式，必须在*n*个时间槽内完成邻居发现。这样，*n*可以被看作是最坏情况下的发现延时上限。对活动睡眠模式的设计问题的建模就是根据固定的最坏情况目标延时（Target Worst-Case Delay），或者说目标周期长度，建立有效的活动睡眠模式。很明显，在固定*n*的情况下，活动睡眠模式在一个周期内包含的活动时间槽越少，对应的邻居发现中的能量效率就越高；在占空比对称的情况下，一个有效的活动睡眠模式，必须在全部可能的时间槽偏移下保证邻居节点可以成功互相发现。因此问题的建模如下：
7. 优化目标：最小化，
8. 限制条件：。
9. 其中， *n*是给定的最坏情况目标延时。这一建模是一个最小化的优化问题，优化目标为*w*的最小化，即一个周期内所含活动时间槽个数的最小化。第一个限制条件的意义是，所建立的活动睡眠模式必须在时间槽偏移为*j*时保证两个邻居节点能够成功互相发现。并且，该限制条件必须基于不同节点的活动时间槽是非对齐的。虽然由于诸如不同的时钟速率等原因，在绝大多数情况下，进行邻居发现的不同节点的时间槽都是非对齐的，但仍然不能忽略极少数情况下可能出现的节点间的时间槽完全对齐的情况。为了保证活动时间槽非对齐，可以采用Searchlight协议中使活动时间槽溢出（Overflowed Active Slot）的方法，将每个活动时间槽的开始时刻略微提前*δ*·100%。这样，如图2所示，溢出的活动时间槽可以保证即使在不同节点时间槽完全对齐的情况下，它们的活动时间槽仍然是非对齐的。
10. 第二步：建立占空比对称情况下的活动睡眠模式Diff-Code
11. 根据第一步中对问题的建模可以知道，若一个周期长度为*n*的活动睡眠模式中有两个不同的活动时间槽*i*1和*i*2（*i*2 > *i*1），则该活动睡眠模式可以满足闭区间[*i*2-*i*1-1, *i*2-*i*1+1]中任意的时间槽偏移。因此可以借助完全差集构建Diff-Code。一个完全差集是一个由*w*个不同的小于*n*的整数构成的集合，并且每一个小于n的非零整数都等于差集中唯一的一对不同元素的差。
12. 然而，对于相同的*n*和*w*，可能会存在多个不同的完全差集。为了使所构建的Diff-Code实现更高的能量效率，在构建活动睡眠模式之前需要对完全差集进行处理。处理过程应用到了完全差集的两个性质：在模*n*的前提下，将一个完全差集中的全部元素分别加上或者减去一个相同的整数，所得的集合仍然是一个完全差集；在模*n*的前提下，将一个完全差集中的全部元素分别乘以一个与*n*互质的整数*p*，结果仍然是一个完全差集。对于长度*n*，我们任意取一个完全差集*Dn*，按照如下的步骤进行处理：
13. i) 对于完全差集*Dn*，计算集合*Q* = {(*i*, *j*) | *i* < *j*, *i*∈*Dn*, *j*∈*Dn*, *j*-*i* < *n*/2}；
14. ii) 以*n*为模，依次将从1到*n*-1的整数加到*Dn*中的每一个元素上，对相加所得的完全差集分别计算集合*Q*；
15. iii) 对于全部的小于50的并且与*n*互质的整数*p*，以*n*为模将*p*乘以*Dn*的每个元素，在全部所得的完全差集上重复步骤i和ii，将以上过程中得到的|Q|最大的完全差集用于活动睡眠模式的构建。
16. 利用经过处理的完全差集，分两种情况构建对称的活动睡眠模式Diff-Code。
17. 第一种情况，一个参数为*n*和*w*的完全差集*Dn*，可以直接扩展成一个周期长度为2*n*的Diff-Code。具体来说，如果完全差集中存在元素*i*，则所构建的活动睡眠模式中的第2*i*个时间槽为活动时间槽。因为对于完全差集*Dn*，其参数*n*和*w*满足这样的关系：*w*(*w*-1)+1=*n*。另一方面，任何的周期为2*n*且一个周期中包含*w*个活动时间槽的活动睡眠模式，都拥有*w*(*w*-1)/2对不同的活动时间槽对。考虑到一个活动时间槽对(*i*, *j*)（*i* < *j*）可以满足取值于闭区间[*j*-*i*-1, *j*-*i*+1]上的任意时间槽偏移，且*n*为奇数，所以有如下关系式：*w*(*w*-1)/2≥=(*n*-1)/2。根据上述两个关系式，直接通过扩展完全差集所获得的Diff-Code拥有最优的最坏情况目标延时。
18. 但是，并不是对任意的*n*都存在完全差集。对于参数为*n*和*w*的完全差集，当*w* < 1600时，必然存在一个质数*p*和一个正整数*s*，满足：*w*=*ps*+1。而随着*w*接近1600，*n*将达到106个时间槽的数量级，这对移动网络中的邻居发现来说过大，所以能够用于建立可以实际应用的Diff-Code的完全差集必须满足*w*=*ps*+1的关系。当Diff-Code不能由完全差集直接扩展获得时，需要通过贪婪算法进行构建，该算法具体步骤包括：
19. i) 将所要构建的周期长为*n*的Diff-Code记为*C*，*C*中的全部时间槽都初始化为睡眠时间槽；
20. ii) 找到一个正整数*n*1，*n*1 < *n*，并且*n*1是最大的满足“存在以*n*1/2为模的完全差集”的正整数；
21. iii) 设长度为*n*1的活动睡眠模式Diff-Code（跟据第一种情况通过扩展完全差集建立）为*C*1，对于*C*1中任意一对不同的活动时间槽*i*和*j*（*i* < *j*），若*j* – *i* < *n*1/2，则将*C*中相应的时间槽*i*和*j*定为活动时间槽；
22. iv) 遍历*C*中全部的睡眠时间槽，对每个睡眠时间槽计算可满足时间槽偏移的增量，即将该时间槽定为活动时间槽后*C*所能满足的时间槽偏移的个数的增量，并将该增量最大的一个睡眠时间槽定为活动时间槽；
23. v) 不断重复步骤iv，直到*C*成为一个可行的对称活动睡眠模式。
24. 以上算法的复杂度为*O*(*n*3)，通过该算法建立的占空比对称情况下的活动睡眠模式也可以实现接近最优的最坏情况延时。
25. 第三步：建立占空比非对称情况下的活动睡眠模式系列
26. 在占空比非对称的情况下，不同节点可能有不同的活动睡眠模式，可以通过对称的活动睡眠模式Diff-Code建立非对称的活动睡眠模式系列（ADiff-Code Series）。一个ADiff-Code系列包括若干个对称的活动睡眠模式Diff-Code，这些Diff-Code的周期长度两两互质。
27. 假设有两个不同的Diff-Code，记为*C*1和*C*2，他们的周期长度分别为*n*1和*n*2（*n*1 < *n*2，*n*1和*n*2互质）。当*C*1 和*C*2各自的第一个时间槽（时间槽0）重合时，*C*1中与*C*2的第一个时间槽重合的时间槽集合为*S* = {(*k· n*1) mod *n*2 | 0≤*k* < *n*2, *k*∈*N* }。因为*n*1和*n*2互质，所以集合*S* = {0, 1, 2, …, *n*2-1}，即*C*1中每个时间槽都会与*C*2 的第一个时间槽发生重合。同理，*C*1中任意一个活动时间槽肯定与*C*2中每个时间槽都重合，所以这两个Diff-Code在非对称的占空比下能够保证两个邻居节点的成功互相发现。因此，上述方法构建出的ADiff-Code系列中任意两个活动睡眠模式都可以保证邻居节点间可以成功发现。

**模拟实验结果**

1. 本实施实例的模拟实验计算了两个邻居节点进行邻居发现时在全部可能的初始时间槽状态下的发现延时，并据此得到发现延时的累积分布曲线。累积分布曲线可以全面地表现邻居发现协议在平均情况以及最坏情况下的表现。在实验中，设置了Disco，U-Connect，Searchlight-S以及Birthday四种已有的邻居发现协议作为对比项。
2. 如图3所示，为5%的对称占空比下不同邻居发现协议的发现延时累积分布图。各种协议的参数设置在图例中都详细给出，比如，实验中采用的Diff-Code周期长为280，每个周期中的活动时间槽个数为14。可以看出，对称的活动睡眠模式Diff-Code在全部比例下都拥有最小的发现延时。具体来说，相比于已有的邻居发现协议中表现最好的Searchlight-S，Diff-Code可以取得30%的中值增益和30%的最坏情况增益。
3. 如图4所示，为非对称占空比下不同邻居发现协议的发现延时累积分布图。图4.a为邻居节点的非对称占空比为10%和1%时的对比，图4.b为邻居节点的非对称占空比为5%和1%时的对比。可以看出，在两种情况下，ADiff-Code系列的最坏情况延时与表现最好的已有协议相近。在第一种情况下，ADiff-Code系列在超过95%的情况下都优于已有的邻居发现协议；第二种情况下，ADiff-Code与Disco的表现相近，而在超过99%的情况下都优于其它协议。另外，两种情况下相比Searchlight-S的中值增益分别为20%和30%。
4. 通过以上模拟实验的结果，Diff-Code和ADiff-Code的设计在降低发现延时方面与现有的邻居发现协议相比确实拥有巨大的优势。

**说 明 书 附 图**



图1



图2

D:\ANL\2_WRITING\2_END\4_patent\figure\figure3\fig_symmetric_simulation.eps

图3

D:\ANL\2_WRITING\2_END\4_patent\figure\figure4a\fig_asymmetric_simulation_10_1.eps

a

D:\ANL\2_WRITING\2_END\4_patent\figure\figure4b\fig_asymmetric_simulation_5_1.eps

b

图4

**权 利 要 求 书**

1、一种移动无线网络中基于完全差集的邻居发现方法，其特征在于，包括以下步骤：

第一步、在占空比对称的情况下，利用由0-1序列代表的活动睡眠模式，将对称的活动睡眠模式的设计问题进行建模；

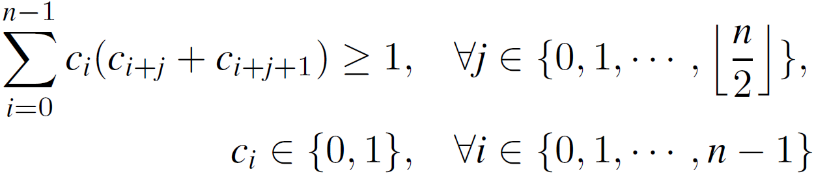
第二步、由问题建模，建立相应的活动睡眠模式；

第三步、将对应于不同占空比的，并且周期长度两两互质的多个对称的活动睡眠模式，组合成一个适用于占空比非对称情况下的活动睡眠模式系列。

2、根据权利要求1所述的方法，其特征是，所述的由0-1序列代表的活动睡眠模式即：将一个周期长度为*n*个时间槽的活动睡眠模式建模为一个长度为*n*的0-1序列C:\Users\mengtong\Desktop\1.png，序列中的第*i*位*ci*表示节点在一个周期中第*i*个时间槽的状态，*ci*=1表示一个活动时间槽，*ci*=0表示一个睡眠时间槽。

3、根据权利要求1所述的方法，其特征是，所述的建模为：将对称的活动睡眠模式的设计问题建模成一个最小化的优化问题：

优化目标：最小化，

限制条件：。

其中，*w*表示一个周期中活动时间槽的个数，*n*表示两个相邻节点按照相同的活动睡眠模式进行邻居发现时可能需要的最大发现延时。

4、根据权利要求1所述的方法，其特征是，所述的第二步具体包括两种情况：

2.1）当n为某一完全差集长度的两倍时，直接通过扩展该完全差集建立活动睡眠模式；

2.2）否则，利用贪婪算法在完全差集的基础上构建活动睡眠模式。

5、根据权利要求1所述的方法，其特征是，所述的占空比非对称情况下的活动睡眠模式系列指的是：一个由若干对称的活动睡眠模式组成的集合，其中任意两个活动睡眠模式都可以在占空比非对称情况下保证成功的邻居发现。

**说 明 书 摘 要**

一种移动无线网络中的基于完全差集的邻居发现方法，基于由0-1序列表示的无线节点活动睡眠模式，将占空比对称情况下的活动睡眠模式设计问题进行了建模，并根据建模利用完全差集建立最优或者接近最优的对称活动睡眠模式，最后将周期长度互质的若干对称的活动睡眠模式组合成适用于占空比非对称情况下邻居发现的活动睡眠模式系列。本发明针对移动无线网络中的邻居发现问题，并利用节点的活动睡眠模式与完全差集的联系，建立了能实现更高能效和更短延时的活动睡眠模式，实际应用简单，并且降低了邻居发现问题的能量消耗，在占空比对称和非对称情况下都缩短了发现延时。