

大规模传感器网络随机睡眠调度节能机制

石高涛 廖明宏

(哈尔滨工业大学计算机科学与技术学院 哈尔滨 150001)

(kyle_shi@hit.edu.cn)

Stochastic Sleeping for Energy Conserving in Large Wireless Sensor Networks

Shi Gaotao and Liao Minghong

(School of Computer Science & Technology, Harbin Institute of Technology, Harbin 150001)

Abstract Scheduling the nodes to work alternately can prolong the network lifetime efficiently. The existing solutions usually depend on the geographic information which may compromise the effectiveness as a whole. In this paper, a stochastic sleeping scheduling mechanism is studied and four stochastic scheduling schemes based on different information are introduced. Furthermore, analysis and simulation are provided in detail. The results show that stochastic sleeping scheduling mechanism can reduce the working node number and guarantee a high coverage rate in different level if the sleeping probability is set based on neighbors information properly.

Key words wireless sensor networks; node scheduling; coverage; stochastic sleeping

摘要 调度冗余节点轮流工作能有效延长网络寿命,然而现有的调度协议需要地理位置信息,引入了额外负载。研究随机睡眠的节点调度机制,给出了4种基于不同信息的随机调度模式并分析比较其性能。结果表明,根据邻居节点信息合理设置节点睡眠概率可以不同程度地减少工作节点个数和保证较高的网络覆盖率。

关键词 传感器网络;节点调度;覆盖;随机睡眠

中图法分类号 TP393.02

1 引言

传感器网络是由大量形体较小、能源受限并且配置有计算和无线通信能力的传感器节点组成的无结构网络。节点通过人工放置或者飞机投放到观测区域,依靠无线通信以多跳(multi hop)传输的方式向远方基站发送探测到的信息^[1,2]。

在传感器网络中,节点一般都依靠电池供电,其能源非常有限,如何最大限度地节省能源的使用以延长网络寿命是传感器网络的关键问题。目前一种广泛使用的减少能源消耗的办法就是调度节点使其

轮流工作^[3,4],这种方法是可行并且是合理的,因为大部分传感器网络都以高密度配置^[5],一方面节点同时处于工作状态,会导致搜集到的数据高度相关和冗余,另一方面由于同一区域中节点竞争信道也会带来过多的数据包冲突。目前大部分节点调度协议都依赖于节点的位置信息,这会在整体上降低这些协议的性能。

但是没有地理信息的支持,判断节点是否冗余是很困难的。Gao等人^[6]分析了节点完全冗余的概率上下限,结果表明在节点随机部署,需要11个邻居节点才有机会达到90%的完全覆盖。幸运的是很多应用并不需要网络时刻达到全覆盖的程度,比如

收稿日期:2005-02-22;修回日期:2005-08-04

基金项目:国家自然科学基金重点项目(60533110);哈尔滨工业大学校基金项目(HIT2002-74)

©1994-2011 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. <http://www.cnki.net>

在环境监测中临近区域的信息比较相近, 这种情况可以不需要全覆盖. 因此, 如果在全覆盖要求不是非常严格的情况下, 只要能够提供提供一个合理的覆盖率就可以了.

本文研究采用随机睡眠的方法进行节点调度. 这种方法不需要定位协议或设备的支持.

2 相关工作

目前有很多有关节点调度方面的研究工作在进行, 这些工作大致可以分为以下两类:

一类是节点确定性睡眠. 文献[3]中每个节点判断邻居是否可以管理该节点的覆盖范围, 进而决定是否睡眠. Ye 等人^[4]给出了一个基于探测的网络密度控制协议 PEAS. Xu 等人^[7]将网络划分成虚拟的网格, 在每个网格里面只保留一个工作节点. Zhang 等人^[8]研究如何使用的最少节点数达到全覆盖. Wang^[9]和 Huang^[10]等人研究了传感器网络的 k 覆盖问题.

另一类是节点随机睡眠. 其基本思想是每个节点以概率 p 睡眠, 以 $1-p$ 的概率保持工作状态. 这方面的研究集中在节点睡眠概率和节点感知半径、网络区域大小的关系方面^[11,12]. 在这些研究中, 每个点以固定的概率睡眠, 因此适应性不好. 本文的研究属于第 2 种, 在分析固定概率调度缺点的基础上提出了 3 种更加适应于传感器网络的随机调度模式.

3 预备知识

本文假设节点符合布尔感知模型. 为了叙述方面, 节点的邻居定义为位于感知半径内的节点.

定义 1. 网络覆盖区域. 如果物理位置点 m 距离节点 i 不超过节点 i 的感知半径, 称 m 被节点 i 覆盖. 节点 i 的覆盖区域是指以节点 i 为圆心, 以 R_s 为半径的圆环所覆盖区域, 记为 C_i . 网络的覆盖区域 C 是指网络中所有节点覆盖区域的集合, 即 $C = \bigcup_{i \in S} C_i$, 其中 S 是网络所有节点的集合.

如果在同一网络中, 调度算法 F_1 和 F_2 使得相同的节点进入睡眠状态, 但是算法 F_1 运行后的网络覆盖区域比算法 F_2 的网络覆盖区域大, 那么说明在关闭了相同的节点数后算法 F_1 依然维护了更加接近原始网络大小的覆盖区域, 此时算法 F_1 调度后的网络节点之间的重叠更小, 冗余度更低. 从另一方面, 如果两个算法得到相同大小的网络覆盖

区域, 但算法 A 关闭了更多的节点, 那么从节能的角度来说算法 A 性能更好. 为此, 给出定义 2 和 3.

定义 2. 覆盖率. 调度算法覆盖率是指调度算法运行后网络的覆盖区域和调度算法运行前的网络覆盖区域的比值, 记为 CR . 若 C_p 表示原始网络覆盖区域, C_a 表示算法运行后的网络覆盖区域, 那么调度算法覆盖率可表示为 $CR = |C_a|/|C_p|$. 记 CR 的期望值为 $E(CR)$.

定义 3. 睡眠率. 调度算法的节点睡眠率是指调度算法运行后的工作节点数和原始网络的工作节点数的比值, 记为 SR .

定义 4. 概率 P_c 和 P_{ulc} ^[13]. 概率 P_c 是指给定一个点被传感器节点覆盖的概率, 概率 P_{ulc} 是指原来被网络覆盖的点因调度算法的影响而没有被覆盖的概率.

定理 1. 节点分布在给定区域 S 内, 则

$$E(CR) = 1 - \left(\iint_S P_{ulc} dS \right) / |C_p|. \quad (1)$$

4 随机睡眠调度机制

本文假设每个节点的工作过程分为周期为 T 的轮(round), 在每一轮的开始进行节点调度, 之后根据调度结果, 工作的节点进行感知, 其他节点睡眠, 如图 1 所示. 这一假设并不需要每个节点具有严格的时间同步, 我们将在第 5 节解释其原因. 基于以上假设, 以下在讨论调度算法时只考虑在时间同步的情况下每一轮中的情况.

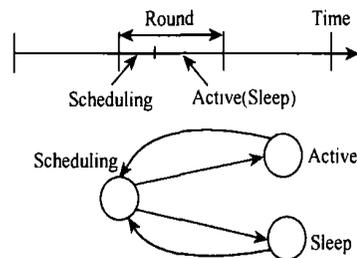


Fig. 1 Node scheduling state diagram.

图 1 节点调度状态图

4.1 固定概率调度

固定概率调度是每个节点以预先设置的相同概率 $p = f_{\text{model}}$ 进行睡眠, 其中,

$$f_{\text{model}} = \beta. \quad (2)$$

这里 β 是一个在 $[0, 1]$ 内的实常数. 假设网络节点个数为 N , 那么, 最后的工作节点数为 $(1-\beta)N$.

由定义知 $P_{ulc} = \sum_{n=1}^{\infty} \beta^n \frac{A^n e^{-A}}{n!} = e^{-A(1-\beta)} - e^{-A}$,

其中 $A = -\lambda\pi r^2$, $r = R_s$. 因为 $C_p = (1 - e^{-A})S$, 由式(1)得算法运行后的覆盖率为

$$CR = 1 - \frac{e^{-A(1-p)} - e^{-A}}{1 - e^{-A}}. \quad (3)$$

图2画出了调度算法的覆盖率和节点密度及随机睡眠概率之间的关系. 可以看到, 覆盖率随着睡眠概率的增加而减小, 但是随网络密度的增加而增大. 图2也反映了在节点密度比较小时($A = 3$), 节点睡眠概率的微量变化都会带来覆盖率的降低, 而在密度比较高时变化不明显($A = 10$).

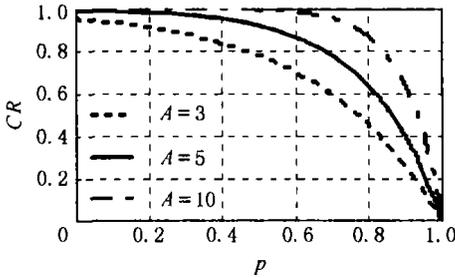


Fig. 2 CR and p vs. network density.

图2 覆盖率和睡眠概率及网络密度的关系

这种调度方式比较简单, 基本没有引入任何负载. 但是网络节点会随着时间不断减少, 而概率值却不能随时更新, 从而会导致性能下降, 所以这种方法不具有可扩展性和适应性.

4.2 邻居信息指导概率调度

这种调度方式中不同的邻居信息导致节点以不同的概率 $p = f_{\text{mode2}}$ 进行睡眠, 其中,

$$f_{\text{mode2}} = \begin{cases} (n - k)/n, & n \geq k, \\ 0, & n < k, \end{cases} \quad (4)$$

这里 k 是节点睡眠的效率参数, n 是节点感知区域内的邻居个数. 可以在每轮开始时通过发送 Hello 消息获得. 因此, 该调度算法的消息发送负载为 $O(N)$, 接收消息负载为 $O(nN)$.

假设节点均匀分布, 根据式(1)可以得到其覆盖率为

$$CR = 1 - (1 - k/n)^n. \quad (5)$$

很明显, 当 n 趋向无穷大时, 覆盖率趋向 $1 - e^{-k}$. 因此, 在均匀分布的传感器网络里, 该调度算法的覆盖率低限是 $1 - e^{-k}$. 图3给出了覆盖率变化情况. 其中的一个现象是当 $k = 3$ 时, 覆盖率的变化非常小(从 $1 \sim 0.97$), 也就是说此时节点的睡眠对网络覆盖的影响很小. 下面分析它的原因.

如图4所示, A 和 B 互为邻居节点, 并且位于彼此的感知区域内, 根据几何知识, 节点 A 和 B 的感知圆环所形成的圆心夹角 $\theta = 2\arccos(d/2R_s)$, 因

为 $0 < d < R_s$, 所以 $2\pi/3 \leq \theta < \pi$, 因此, 节点 A 的感知区域若被其邻居节点瓜分至少需要3个. 若考虑感知区域之外的邻居节点, 则所需最少的节点数还会更加少. 所以, 当 k 设为3时, 所有邻居节点个数小于等于3的节点都将处于工作状态, 在这种情况下, 网络的覆盖率相对会非常高.

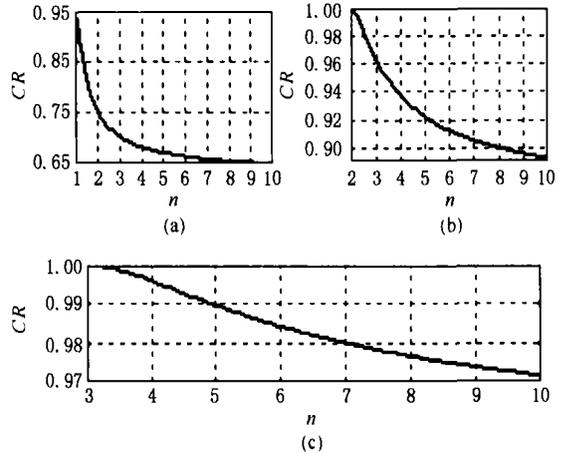


Fig. 3 Network coverage ratio vs. neighbor number. (a) $k = 1$; (b) $k = 2$; and (c) $k = 3$.

图3 网络覆盖率随邻居节点数变化情况 (a) $k = 1$; (b) $k = 2$; (c) $k = 3$

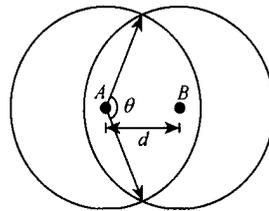


Fig. 4 Analysis of the neighbor minimum.

图4 节点最小邻居数分析

这种方式会导致某些互为邻居的节点都以同样的概率睡眠, 从而在局部产生类似于第4.1节中的情况, 同时, 在网络密度很大的情况下, 每个节点都会以较高的概率睡眠, 从而导致网络覆盖率严重下降, 通过后面的仿真也可以看到这一点.

4.3 动态邻居信息指导概率调度

mode2 的适应性不好的主要原因是节点的睡眠概率没有随着邻居节点变化而改变, 合理的方式应该是每个节点及时更新工作状态的邻居节点个数, 并作相应的调整. 因此, 在这种睡眠调度方式下, 每个节点的睡眠概率 $p = f_{\text{mode3}}$, 其中,

$$f_{\text{mode3}} = \begin{cases} (n_a - k)/n_a, & n_a \geq k, \\ 0, & n_a < k, \end{cases} \quad (6)$$

在这里, k 的含义和第4.2节中的相同, n_a 是指节

点在当前时刻的工作邻居节点个数, n_a 可以这样获得: 每轮开始时节点广播 Hello 消息, 当节点决定睡眠时通知邻居节点, 所有邻居节点更新邻居节点个数.

该调度算法能及时根据节点睡眠情况更新信息, 实时调整睡眠概率, 从而避免了第 4.2 节中的弊端, 不会导致部分密度集中的区域出现裸露区域. 整个发送消息负载为 $O(N + S)$, 接收消息负载 $O(\bar{n}N + \bar{a}S)$, 其中 S 表示平均睡眠的节点个数, \bar{a} 表示平均接收睡眠通知的邻居节点数.

4.4 邻居距离指导概率调度

以上算法都仅依赖于邻居节点数目, 没有考虑邻居之间距离, 这样会导致部分区域的存活节点距离很近, 结果一方面网络覆盖重叠区域过大, 导致冗余, 另一方面在数据发送期间冲突的可能性增加.

如图 4 所示, 节点 A 和 B 位于彼此的感知区域内, 它们之间的距离为 d , 则它们相交的区域面积为 $RED(d) = 4 \int_{d/2}^R \sqrt{R^2 - x^2} dx$. 假设传感器节点在网络内呈均匀分布, 则节点 i 和其邻居节点相交面积的平均值为

$$\int_0^R \frac{2x}{R^2} RED(x) dx \approx 0.59\pi R^2.$$

由此可见, 即使能够有效地减少工作节点个数, 如果不能控制工作节点之间的距离, 效果仍不会理想. 为此, 节点调度应当尽可能减少节点距离过近的情况. 这种方法不需定位设备或者定位协议, 因为距离可以根据信号强度来估计.

在邻居距离指导概率调度算法中, 每个节点以概率 $p = f_{\text{mode4}}$ 睡眠, 其中,

$$f_{\text{mode4}} = \frac{In - 1}{In} + \sigma. \quad (7)$$

在这里, $In \geq 1$ 表示位于距节点 d 内的工作邻居节点个数, 它可以按照第 4.3 节中的方法获得. $0 < \sigma < 1$ 是节点睡眠概率下限, 这样当 $In = 1$ 时节点仍能够以 σ 的概率随机睡眠. σ 不能设置过大, 以防止大面积出现无节点覆盖的情况. 该算法的消息负载与基于动态邻居信息指导算法相同, 不同的是需要借助于距离信息.

定理 2. 基于邻居距离指导的概率调度算法可以保证位于 d 内的工作节点个数小于 $\lceil \frac{1}{\sigma} \rceil$.

证明 反证法: 假设存在一个工作节点有不少于 $\lceil \frac{1}{\sigma} \rceil$ 个邻居节点位于 d 内, 即 $In \geq \lceil \frac{1}{\sigma} \rceil$, 又因为 $\frac{1}{\sigma} \leq \lceil \frac{1}{\sigma} \rceil$, 所以有 $\sigma \geq 1 / \lceil \frac{1}{\sigma} \rceil$, 因此 $\frac{In - 1}{In} + \sigma \geq$

$1 - 1 / \lceil \frac{1}{\sigma} \rceil + 1 / \lceil \frac{1}{\sigma} \rceil = 1$, 即这个节点应该以概率 1 睡眠, 因此, 它不是工作节点, 矛盾.

在节点均匀分布的情况下, 节点 i 和其邻居节点的距离平均长度为 $\int_0^R \frac{2x}{R^2} dx = 2R/3$. 在仿真实验中将以这个值来设置节点睡眠概率参数 d .

5 讨 论

5.1 时间同步

本文调度算法并不需要全局的时间同步, 原因如下: 如图 1 所示, 因为每个节点在每轮开始都进行调度阶段, 从长时间来看, 这相当于在每轮结束时也进行调度, 这样, 每一个工作的节点在该轮结束时就进行一次判断过程, 而每一个睡眠的节点在醒来时同样进行一次判断. 也就是说每个节点的任何一次状态改变前都要进行一次调度, 并且先进行调度的节点的最终状态将会影响后进行调度的节点状态. 这种节点的调度时隙交错进行的效果和时钟完全同步时的避让机制 (back off) 效果^[3]一样.

5.2 网络连通

节点的随机睡眠不可避免地会影响到网络的连通状况. 本文所给出的调度算法有以下考虑:

首先, 每个节点孤立的可能性很小. 对 mode2, 当节点的邻居个数小于 k 时, 该节点肯定处于工作状态, 也表明, 在网络均匀分布的情况下, 平均每个节点最终至少会有 k 个工作邻居位于节点的感知区域. 对 mode3 也相同. 对 mode4, 节点的睡眠是根据 d 内的邻居节点个数来定的. 这从一方面减少网络分离的可能性.

此外, 一般节点的感知半径比通信半径小得多^[14], 并且节点的通信半径可调. Zhang 等人^[8]和 Wang 等人^[9]已经证明, 当通信半径不小于感知半径的 2 倍时, 全覆盖的网络是连通的. 我们在实验中发现, 在通信半径为感知半径 2 倍时, 算法调度后的网络几乎都是连通的.

最后, 若网络发生了不连通的情况, 可以让感知到信息的节点保持工作状态直到有下一跳路由节点, 之后再继续进行自己的调度. 这会带来一定的延迟, 然而文献^[15]研究表明, 在这种情况下, 数据依然会以概率 1 传输到基站, 并且延迟只和距离成线性关系.

6 模拟实验

节点的状态直接影响节点的能源消耗, 睡眠的

节点越多, 整个网络的能耗就相对越低, 因此也就越节能, 但也会带来网络覆盖率的变化, 因此实验主要关心节点的睡眠率和由此导致的网络覆盖率. 本节给出不同调度算法的实验结果.

以下实验都是在 300 单位 \times 300 单位的区域内随机放置半径为 40 个单位若干节点. 就我们所知, 本文是第一个基于不同信息随机睡眠的节点调度方面的工作, 其他随机睡眠调度方式都是基于固定概率的, 这类方式的性能在图 5 中给出. 其他 3 种随机调度算法的仿真结果分别如图 6~ 8 所示. 其中柱形图表示节点睡眠率, 曲线表示覆盖率

从图 5 可以看出, 基本上, 不管节点密度如何, 睡眠的节点率约等于 p , 这也符合最初的预料, 因此, 随着节点密度的增大, 每次处于工作态的节点个数增加, 这样势必造成过多的节点冗余. 比如, 当节点数为 200 和 300 时, 若节点以 50% 的概率睡眠, 那么分别共约有 100 和 150 个节点处于工作状态, 而从图 5 可以看出, 在节点数为 200 时只需要 100 左右的节点足以达到较高的覆盖率.

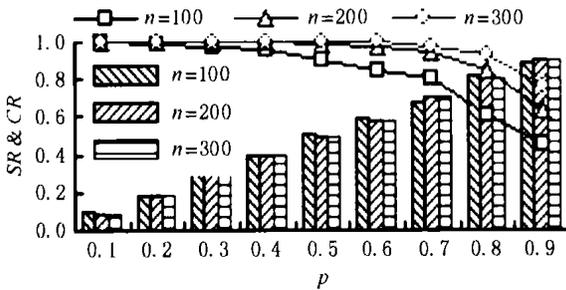


Fig. 5 Constant Probability scheduling.
图 5 固定概率调度性能

图 6 是运行 mode2 调度算法的情况. 从图 6(a) 可以看出随着 k 的增大网络覆盖率也增大, 但是节点的睡眠率逐渐减少. 当网络密度增大时, 节点的睡眠率也呈增加趋势, 这种现象产生的原因和固定概率算法一样. 图 6(b) 给出了当 k 固定时网络覆盖率随着网络密度的变化情况. 可以看出, 当 k 值较小时, 节点的睡眠率很高, 但是网络的覆盖率却非常低, 原因是 k 值不合理, 另一个原因是节点不能实时更新邻居信息.

图 7 是运行动态节点信息指导的调度算法结果. 从图 7(a) 可以看出, 节点的睡眠率随着网络密度的增加而增加. 图 7(b) 是相应的网络覆盖度随节点的变化情况, 基本上可以看出, k 的设定对网络覆盖率的影响很小, 惟一的异常点是当 k 值为 1 时网络覆盖度基本上没有不超过 98.8%, 而且网络覆盖率不稳定. 然而, 即使这样, 在 k 值较小时, 网络的覆盖

率也比上一算法的覆盖率要高, 而且节点的睡眠率也不低.

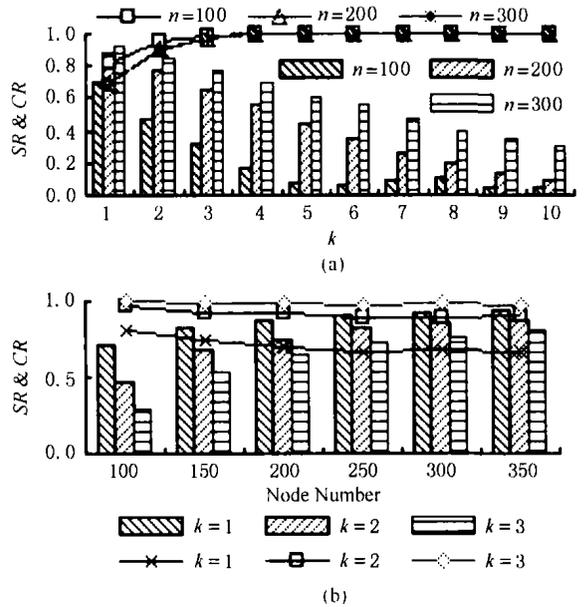


Fig. 6 Scheduling performance based on neighbor number. (a) SR & CR vs k and (b) SR & CR vs node number.

图 6 邻居信息指导概率调度性能 (a) SR & CR 随参数 k 的变化情况; (b) SR & CR 随节点数变化情况

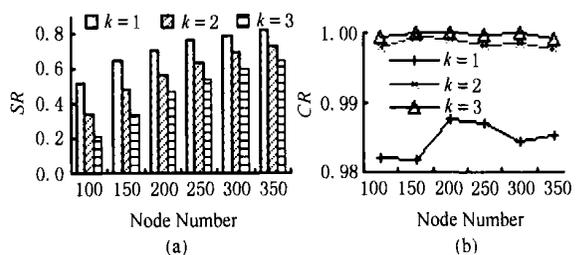


Fig. 7 Performance based on active neighbor number. (a) SR vs node number and (b) CR vs node number.

图 7 动态邻居信息指导概率调度性能 (a) 睡眠率变化情况; (b) 覆盖率变化情况

图 8 是运行带距离的实时邻居信息指导的调度算法结果. 图 8(a) 是算法产生的睡眠率随着网络内节点密度变化的情况. 图 8(b) 是算法产生的覆盖率随着网络内节点密度变化的情况. 可以看出, 节点睡眠率仍然随着密度的增加而增加, 网络覆盖率在节点密度达到一定程度(本实验是 150 个节点)后随机睡眠几乎对网络的覆盖率影响很小, 上下起伏比较小.

实验比较了随机睡眠调度算法和基于位置信息的确定性睡眠调度算法 DT^[3]. 它使用节点位置信息来关闭冗余节点. 从图 9 可以看出, 随机调度算

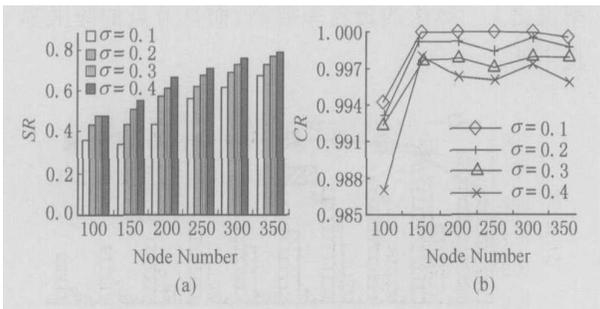


Fig. 8 Scheduling performance based on neighbor distance. (a) SR vs. node number and (b) CR vs. node number.

图8 邻居距离指导概率调度性能 (a) 睡眠率变化情况; (b) 覆盖率变化情况

法比DT关闭了更多的节点。对于覆盖率,DT算法能够保证覆盖率为1,随机调度的覆盖率请参看图7和图8。值得注意的是,DT算法由于自身的设计和边界效应并不能完全关闭冗余节点。综合图7~9可以看出随机睡眠调度能够在保证一定覆盖率的情况下尽可能地让更多节点投入睡眠。

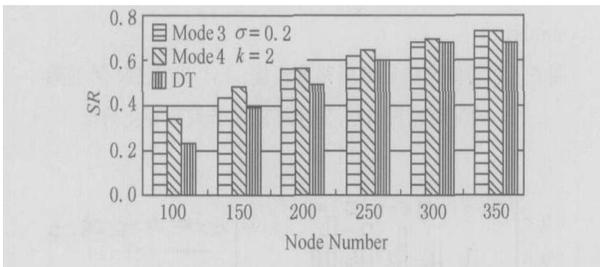


Fig. 9 Probability based vs. position based

图9 随机调度和基于位置信息调度比较

此外,实验比较了mode3和mode4的工作节点之间的距离分布情况。将感知半径分成5个等长的区间,分别计算每一个区间内落入的邻居节点个数。如图10所示,可以看出,mode4的大部分节点的邻居都分布在远离圆心的区域,相比较,mode3在靠近圆心的区域分布要高于mode4。

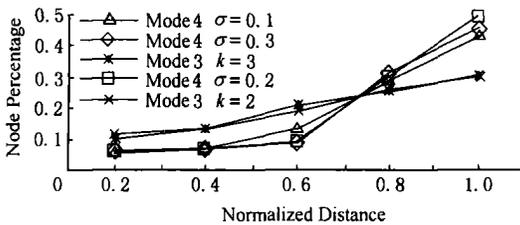


Fig. 10 Node distance distribution comparison

图10 节点距离分布比较

7 结 论

由于传感器网络的能源极其受限,使得能源管

理成为其主要研究内容,而关闭节点则能够在最大程度上节省能源。现有的节点调度协议大都依赖于节点的位置信息,从而不能有效地进行调度。在应用不要求网络全覆盖的情况下,一种有效的调度方法是每个节点以随机的方式进行睡眠,给出了4种节点随机睡眠模式,对其进行分析和仿真实验,结果表明,合理根据节点邻居信息的随机睡眠的方式能不同程度地减少工作节点,维护较高的覆盖率,并且引入较少的负载。

参 考 文 献

- 1 D. Estrin, R. Govindan, J. Heidemann, *et al.* Next century challenges: Scalable coordinate in sensor network. In: Proc. 5th ACM/IEEE Int'l Conf. Mobile Computing and Networking. Los Alamitos, CA: IEEE Computer Society Press, 1999. 263~ 270
- 2 Ian F. Akyildiz, W. Su, Y. Sankarasubramanian, *et al.* A survey on sensor networks. IEEE Communications Magazine, 2002, 44(8): 102~ 114
- 3 D. Tian, N. D. Georganas. A coverage preserving node scheduling scheme for large wireless sensor networks. In: Proc. 1st ACM Int'l Workshop on Wireless Sensor Networks and Applications. New York: ACM Press, 2002. 32~ 41
- 4 F. Ye, G. Zhong, S. Lu, *et al.* PEAS: A robust energy conserving protocol for long lived sensor networks. In: Proc. 23rd Int'l Conf. Distributed Computing Systems. Los Alamitos, CA: IEEE Computer Society Press, 2003. 28~ 37
- 5 E. Shih, S. Cho, N. Ickes, *et al.* Physical layer driven protocol and algorithm design for energy-efficient wireless sensor networks. In: Proc. 7th Annual ACM Conf. Mobile Computing and Networking. New York: ACM Press, 2001. 272~ 286
- 6 Y. Gao, K. Wu, F. Li. Analysis on the redundancy of wireless sensor networks. In: Proc. 2nd ACM Int'l Conf. Wireless sensor networks and applications. New York: ACM Press, 2003. 108~ 114
- 7 Y. Xu, J. Heidemann, D. Estrin. Geography informed energy conservation for ad hoc routing. In: Proc. 7th Annual ACM Conf. Mobile Computing and Networking. New York: ACM Press, 2001. 16~ 21
- 8 H. Zhang, J. C. Hou. Maintaining sensing coverage and connectivity in large sensor networks. Wireless Ad Hoc and Sensor Networks, 2005, 1(1): 89~ 124
- 9 X. Wang, G. Xing, Y. Zhang, *et al.* Integrated coverage and connectivity configuration in wireless sensor networks. In: Proc. 1st ACM Conf. Embedded Networked Sensor Systems. New York: ACM Press, 2003. 28~ 39
- 10 C. F. Huang, Y. C. Tseng. The coverage problem in a wireless sensor network. In: Proc. 2nd ACM Int'l Conf. Wireless sensor networks. New York: ACM Press, 2003. 115~ 121
- 11 S. Kumar, Ten H. Lai, J. Balogh. On k coverage in a mostly

sleeping sensor network. In: Proc. 10th Annual Int'l Conf. Mobile Computing and Networking. New York: ACM Press, 2004. 144~ 158

- 12 S. Shakkottai, R. Srikant, N. B. Shroff. Unreliable sensor grids: Coverage, connectivity and diameter. In: Proc. 21st Annual Joint Conf. IEEE Computer and Communications Societies. Los Alamitos, CA: IEEE Computer Society Press, 2003. 1073 ~ 1083
- 13 C. Hsin, M. Liu. Network coverage using low duty cycled sensors: Random & coordinated sleep algorithm. In: Proc. 3rd Int'l Symposium on Information Processing in Sensor Networks. New York: ACM Press, 2004. 433~ 442
- 14 H. Zhang, J. C. Hou. On deriving the upper bound of alpha lifetime for large sensor networks. In: Proc. 5th ACM Int'l Symposium on Mobile Ad Hoc Networking and Computing. New York: ACM Press, 2004. 121~ 132
- 15 O. Dousse, P. Mannersalo, P. Thiran. Latency of wireless sensor networks with uncoordinated power saving mechanisms. In: Proc. 5th ACM Int'l Symposium on Mobile Ad Hoc Networking and Computing. New York: ACM Press, 2004. 109~ 120



Shi Gaotao, born in 1978. Ph. D. candidate. His current research interests include networked embedded system, wireless sensor networks.

石高涛, 1978 生, 博士研究生, 主要研究方向为无线传感器网络、网络嵌入式系统



Liao Minghong, born in 1966. He joined the Harbin Institute of Technology in 1988 and is currently professor, Ph. D. supervisor. His main research interests include modern operating system, real time and embedded computing, P2P.

廖明宏, 1966 生, 教授, 博士生导师, 主要研究方向为新型操作系统、实时与嵌入式计算、对等计算

Research Background

Wireless sensor networks consist of a large number of tiny sensors that have only limited energy supply which can be used for many mission critical applications such as target tracking in battlefields, habitat monitoring in forests, and space research. In wireless sensor networks, one of the crucial design challenges is energy efficient design to maintain long network lifetime. A broadly used strategy for reducing energy consumption in wireless sensor networks is to turn off redundant sensors by scheduling sensor nodes to work alternatively. In this paper, stochastic sleeping scheduling mechanism is studied and four stochastic scheduling schemes based on different information are introduced. Analysis and simulation are conducted to validate their performance. Our work is supported by the Scientific Research Foundation of the Harbin Institute of Technology under grant No. HIT 2002. 74

2006 年全国高性能计算学术会议(HPC China 2006)会议

征文通知

会议由中国计算机学会高性能计算专业委员会主办,中国科学院网络信息中心承办. 会议将于 2006 年 10 月 27~ 29 日在北京友谊宾馆召开.

论文涉及的领域如下: 高性能计算机体系结构、高性能计算机软件、并行算法、高性能计算机应用、网络技术及应用

会议网址: <http://www.sccas.cn/hpcchina2006>

投稿邮箱: hpcchina2006@sccas.cn 或 chi@sccas.cn

论文截止日期: 2006 年 8 月 30 日

论文通知日期: 2006 年 9 月 30 日

论文交印日期: 2006 年 10 月 20 日