

无线传感器监测网络分布式节点调度策略^{*})

许华杰 李国徽 胡方晓

(华中科技大学计算机学院 武汉 430074)

摘要 无线传感器监测网络(WSSN)由数量众多的节点组成。每个节点通过传感器监测外界环境的变化并将监测数据以无线多跳的方式发回基站,实现对用户感兴趣的区域进行监测。WSSN节点的主要特点是电能、带宽、计算和存储能力等高度受限,尤其是其电源的不可替代性导致在保证对监测目标完全监测的同时延长系统工作寿命成为WSSN应用的一个中心问题。提出了WSSN的扩展工作寿命的定义,并在此基础上提出了一种延长WSSN工作寿命的分布式节点调度策略,在各节点簇内对节点进行调度以实现有差别监测服务并延长系统的工作寿命。提出的策略综合考虑节点的当前状态,具有较强的容错性。仿真实验结果表明相对于已提出的方法,该策略有效延长了WSSN的工作寿命。

关键词 无线传感器监测网络,分布式,调度

Decentralized Nodes Scheduling Scheme for Wireless Sensor Surveillance Networks

XU Hua-jie LI Guo-hui HU Fang-xiao

(College of Computer Science and Technology, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074, China)

Abstract In wireless sensor surveillance networks composed of a large number of low-power, short-lived, unreliable sensors, one of the most important design challenges is to obtain long system lifetime, as well as maintain sufficient surveillance to targets. We defined the general lifetime of system and presented a round-based decentralized nodes scheduling scheme, which can schedule nodes in each cluster independently, therefore extend the general lifetime of system in differentiated surveillance. Fault-tolerance can be achieved with our scheme by taking nodes status and residual energy into account. Simulations show that our scheme accomplishes differentiated surveillance with longer general lifetime and outperforms previous schemes remarkably.

Keywords Wireless sensor surveillance networks, Decentralized, Scheduling

1 引言

由于电子技术和无线通信技术的迅猛发展,综合了传感器技术、网络和无线通信技术、嵌入式计算技术、分布式信息处理技术等无线传感器网络日趋成熟,其应用领域遍及军事、环境监测、抢险救灾、医疗卫生、空间探索、建筑和机械施工等领域,无线传感器网络独特的特性使其应用领域还在不断扩展^[1]。作为一项独特的技术,无线传感器网络拉近了人与自然的距离,极大拓展了人类的视野,因此引起了国内外学术界和工业界的高度重视,美国科学界甚至把无线传感器网络列为即将对21世纪产生巨大影响的技术之一^[2]。无线传感器网络由大量具有一定计算和存储能力、具有无线通信能力以及对外界环境的感知能力的传感器节点组成,这些节点密集地部署到要观察的环境中或接近要观察的环境^[3]。出于造价和应用的需要,无线传感器网络的节点体积通常比较小,功能比较单一,主要的特点是电源能力有限,通信能力有限,计算和存储能力有限,网络动态性强^[4]。无线传感器节点通常采用电池供电,而目前甚至是未来很长时间内电池技术的发展还远没达到能够让节点在没被替换或回收充电的情况下长时间工作。因此节能和系统工作寿命成为无线传感器网络应用过程中主要关注的问题之一。

在无线传感器网络的各种应用中,系统所承担的任务大

部分是以监测的形式出现的。承担监测任务的无线传感器网络称为无线传感器监测网络 WSSN(Wireless Sensor Surveillance Networks)。通常在 WSSN 应用的过程中,由于节点位置分布不均匀(如飞机抛洒),为了取得理想的服务质量,需要向监测区域部署比实际需要更多的节点。节点的冗余性意味着监测区域中的一些节点在某些时段可以被关闭以节省能耗,当然前提是剩下的活跃节点能够提供相近的服务质量。因此,如果能够对监测区域内节点的工作时间进行合理调度,系统的工作寿命就能得到相应的延长。此外,减少同时工作的节点数量也有利于缓解对有限无线通信信道的争用。在 WSSN 中服务质量通常用监测覆盖率这一指标来衡量。基于无线传感器网络覆盖率的定义和传感节点部署的冗余性,学术界对在保持对监测区域一定的监测覆盖率的前提下节省能耗、延长系统工作寿命的方法开展了有益的研究^[5-7]。由于节点的冗余部署,通过在某些时段关闭某些节点来实现的节点调度成为可能。文献[8]提出了一种启发式算法用于在监测区域选择互不相交的节点集,每个节点集都能实现对监测区域的完全覆盖,算法的目标是找出覆盖其他节点无法覆盖或覆盖程度不够的节点并避免将这些节点包含在同一节点集中。文献[9]提出了一种保持覆盖率的节点调度方法以确定一个节点何时可以被关闭,何时需要被重新调度并再次开启,通过检测一个节点的覆盖区域是否有其他邻居节点可以覆盖

^{*})本文研究得到国家自然科学基金项目(No. 60203017),航天“十一五”重点预研项目和教育部留学回国人员基金项目资助。许华杰 博士生,研究方向为无线传感器网络、移动数据管理、不确定性数据处理;李国徽 博士,教授,博士生导师,研究方向为移动实时数据库、流数据处理、无线传感器网络;胡方晓 博士生,研究方向为移动实时数据库。

来确定该节点是否有资格关闭。文献[10]提出了传感器网络节点可以被关闭的判断标准:如果一个节点的覆盖范围在其所有邻居节点中是最小的,则该节点可以被关闭,由其邻居节点代它执行监测任务,这个过程持续直到一个节点的覆盖区域小于事先给定的某个阈值为止。

在无线传感器网络的实际监测应用中可能需要对不同区域提供有差别的监测服务。文献[11]对该问题进行了探讨,将整个监测区域划分为网格以便于判断相应区域是否被完全覆盖。系统的工作寿命被划分为多个长度相等的时段,在每个时段为每个节点分配工作时间以保证任意时刻每个网格区域至少被一个节点所覆盖。此外还可以通过增加节点的工作时间来达到以容错为目的的额外的覆盖度。由于提出的方法要求检查所有的网格区域,在大规模传感器网络中文献[11]提出的方法可能会导致较高的计算开销。文献[12]为求解无线传感器监测网络节点调度的最优解提出了一个调度方法,通过线性规划方法对系统的最大工作寿命和工作负荷矩阵进行计算,然后将工作负荷矩阵分解为可以达到系统的最大工作寿命的调度矩阵序列,并从调度矩阵序列导出每个节点最终的目标监测工作时间表。在该方法中节点的调度是在系统开始工作之前在汇聚节点以集中方式进行的,在系统的整个工作寿命中每个节点的目标监测工作时间表保持不变。因此虽然该方法在没有节点失效的理想条件下能够有效延长系统的工作寿命,但是即使是少量的节点失效的发生也有可能导导致较长时间的目标丢失。此外,集中调度方式也不利于容错和降低通信开销。

本文提出一种以延长无线传感器监测网络的工作寿命为目标的分布式节点调度策略 DNSS,该策略可以根据节点当前的状态(如剩余电能等)以周期的方式动态地进行调度,同时分布式的调度方式也有利于提高节点调度的局部性和独立性,从而减少通信开销。通过仿真证实了 DNSS 能够实现具有一定容错性的有差别的监测服务,并有效延长系统的工作寿命。

2 定义和问题描述

假设在一个 2 维监测区域中有一些目标需要监测,监测目标组成目标集。向监测区域中部署(如飞机抛洒)一定数量的无线传感器网络节点组成一个网络系统用于对目标进行监测并返回目标的状态信息。一个传感器节点可以监测在其监测范围内的目标,一个目标可能位于多个传感器节点的监测范围之内。假设每个传感器节点初始都具有一定的电源储备,在同一时刻只能监测单个目标。对本文用到的相关符号及其所表示的意义说明如下:

表 1 本文所用的相关符号及其意义

符号	意义
T	目标集
S	无线传感器监测网络节点集
$ T = m$	T 中所包含的目标个数
$ S = n$	S 中所包含的节点个数
T_i	位于节点 i 的监测范围之内的目标集, $i = 1, 2, \dots, n$ 。 $T_i = \{t_1, t_2, \dots, t_l\}$, l 是位于节点 i 的监测范围之内的目标个数。
S_j	能对目标 j 进行监测的节点集, $j = 1, \dots, m$ 。 $S_j = \{s_1, s_2, \dots, s_k\}$, k 是能对目标 j 进行监测的节点个数。
e_i	节点 i 当前的电能储备, 以可以使节点正常工作的时间计, $i = 1, 2, \dots, n$ 。

需要注意的是:对于 $i \neq j$, S_i 可以与 S_j 相交;同样对于

$i \neq j$, T_i 可以与 T_j 相交。

无线传感器监测网络的工作寿命定义为无线传感器监测网络部署完毕开始工作到由于节点电能耗尽导致存在目标无法被任何一个节点所监测之间的时间段。在某些情况下,用户需要对所有的目标进行同等的监测,但是更多的实际情况如战场监测,某些目标如司令部比另一些目标如兵营保密性和重要性更强,因此所需的监测程度也不一样。在这样的情况下,没有必要要求系统绝对的工作寿命,只要关键目标还在监测之下,一些不重要的目标丢失,完全可以接受。因此有必要根据监测目标的重要程度将其区分为关键目标和普通目标。

定义 1(无线传感器监测网络的扩展工作寿命) 从无线传感器监测网络开始对监测区域内的目标进行监测到由于电能耗尽导致存在目标无法被任何节点监测所经历的时间段。

假设每个节点同时最多只能监测一个目标,任何时刻每个目标至少被一个节点所监测。无线传感器监测网络节点调度方法要解决的问题是如何合理调度各个节点的工作时间,在保证对于每个给定的关键目标至少有一个节点对其进行监测的前提下,有效延长系统的扩展工作寿命。在提出分布式节点调度策略之前,先对相关的概念进行定义。

定义 2(监测图) 用符号 $SG(V, E)$ 表示,由监测区域内所有的目标和能监测一个以上目标的节点组成。其中顶点集 V 包括两种类型的顶点:传感顶点和目标顶点。当且仅当一个目标在一个节点的监测范围内的时候代表它们的节点之间存在一条边,所有的边组成 E 。需要注意的是边只存在于不同类型的顶点之间,即目标和节点之间。在不会引起歧义的情况下,本文中 $SG(V, E)$ 也用 SG 来表示。

定义 3(局部监测图) 表示为 $LSG(V, E)$,是在监测图 $SG(V, E)$ 中的最大连通子图,也可以表示为 LSG 。

定义 4(局部监测矩阵) 局部监测图的邻接矩阵,表示为 LSM 。

定义 5(目标顶点的度) 监测范围包含目标 t_j 的节点的数目为代表 t_j 的目标顶点的度,表示为 $|t_j|$ 。

定义 6(传感顶点的度) 在一个节点 s_i 监测范围内的目标的数目为代表该节点的传感顶点的度,表示为 $|s_i|$ 。

3 无线传感器监测网络分布式节点调度策略

本文提出的无线传感器监测网络分布式节点调度策略的目标是优化系统的扩展工作寿命。无线传感器监测网络以该策略进行工作,包括两个阶段:初始化阶段和工作阶段。初始化阶段用 INIT 表示,在该阶段系统所包含的所有节点都处于激活状态,为工作阶段的传感和通信任务创建网络拓扑结构;工作阶段用 WORK 表示,在该阶段部分节点处于激活状态对目标实施监测,而另一部分节点处于休眠状态以节省能耗。假设在监测区域中的每个节点和目标都分配有一个唯一的 ID,每个节点都能确定在其监测范围内的所有目标的 ID,且每个节点都能检测到自己当前的电能储备。在目前的硬件技术条件下这些假设都是很容易实现的。以下首先介绍局部监测图的计算方法,在此基础上提出无线传感器监测网络分布式节点调度策略。

3.1 局部监测图的计算

首先,由监测区域内的目标顶点和传感顶点组成的顶点集和由这两种顶点之间的边组成的边集组合形成监测图 SG ,

再通过 SG 计算局部监测图 LSG。具有目标在其监测范围内的每个节点的状态信息都上传到汇聚节点,这些节点构成节点集 S。一个节点 s_i 的状态表示为 $s_i(NODE_ID, T_i, e_i)$, 其中 T_i 包含所有在 s_i 的监测范围内的目标的 ID, e_i 是 s_i 当前的电能储备。在介绍各个节点信息上传的具体过程之前先介绍计算局部监测图 LSG(V, E) 的算法如下:

LSG 算法

```

Begin
VSLSG = ∅ //the set of VLSG
For tj ∈ T do //for each target
  For s ∈ Sj do //for each sensor who can surveil tj
    If ∃ VLSG (VLSG ∈ VLSG ∧ s ∈ VLSG)
      Then VLSG = VLSG + Sj + {tj}
      //exists a set including s
    Else
      Create a new V'LSG = {tj} + Sj
      VLSG = VLSG + {V'LSG}
      //add V'LSG to VSLSG
  Endfor
Endfor
Return VSLSG
End

```

其中, V_{LSG} 表示组成 LSG(V, E) 的顶点集, VS_{LSG} 表示 V_{LSG} 的集合。

定理 1 LSG 算法中在 VS_{LSG} 中的 V_{LSG} 的个数的上限为 m 。

证明: 在监测图中只有当不存在传感顶点将目标顶点连接起来的现象发生时 VS_{LSG} 中的 V_{LSG} 的个数才是 m , 否则 VS_{LSG} 中的 V_{LSG} 的个数少于 m 。

定理 2 LSG 算法的时间复杂度为 $O(m \cdot n)$, 其中 m 是目标个数, n 是参与监测任务的节点个数。

证明: 通过对 LSG 算法的循环结构分析不难得出算法的时间复杂度为 $O(m \cdot n)$ 。

在无线传感器监测网络中, 汇聚节点较一般节点具有较强的计算和存储性能, 而 LSG 算法是在汇聚节点执行的, 且只需在系统正常工作前的 INIT 阶段执行一次, 因此算法的时间复杂度是可以接受的。

3.2 无线传感器监测网络分布式节点调度策略 DNSS

本文提出的 DNSS 策略是一种回合制的调度策略, 在无线传感器监测网络的节点在包含监测目标的监测区域中部署完毕之后开始执行。系统中所有的节点首先工作在 INIT 阶段对监测系统进行初始化, 之后转入 WORK 阶段并开始实施监测。LSG 算法计算得到的每一个局部监测图 LSG 在 DNSS 中都作为一个簇看待。DNSS 的详细步骤说明如下:

1) 从具有目标在其监测范围的、参与监测任务的节点中选出簇头节点, 与邻近的普通节点一起组成初始的簇。簇头节点的选择方法以及初始簇形成的方法可以采用已有的基于簇的无线传感器网络路由协议如 LEACH^[13] 或 TEEN^[14]。

2) 每个簇头节点收集簇内每个节点的状态信息 $s_i(NODE_ID, T_i, e_i)$, 并将这些信息上传到汇聚节点。

3) 在汇聚节点通过前面介绍的 LSG 算法计算 VS_{LSG} , VS_{LSG} 中所包含的每个 V_{LSG} (用于指示构成一个局部监测图的节点和目标) 形成一个新的簇, 簇内当前具有的能量储备最大的节点成为新的簇头。汇聚节点将各个节点的状态信息发送给其所在簇的簇头节点。

4) 在每个簇的簇头节点, 根据簇内节点的状态信息计算相应的局部监测矩阵 M_{local} , 对 M_{local} 的每一行和每一列分别进行求和, 分别计算出簇内每个节点和每个目标的度。

5) 在每个簇的簇头节点执行簇调度算法为簇内的每一个目标分配一个节点执行监测, 并计算休眠时间 T_{sleep} 。在本轮没被分配任务的节点进入休眠状态。在簇调度算法的执行过程中, 如果 $|T_c| > |S_c|$, 即剩余的目标个数大于工作寿命没结束的节点个数, DNSS 将终止。本文后面部分将会对簇调度算法进行详细说明。

6) 经过 T_{sleep} 后本轮休眠的所有节点将被唤醒, 每个簇内的所有节点将其当前的状态信息报告给簇头节点, 在簇内选择当前电能储备最多的节点作为新的簇头节点。当选的新簇头节点将自己当选的消息广播给簇内其他节点并开始从这些节点接收监测数据。如果没有目标丢失, 则转到步骤 4 进入下一轮调度, 否则算法终止。

以上步骤 1 到 3 属于 INIT 阶段, 只在系统开始工作前执行一次, 对网络进行初始化。值得注意的是, 只有监测区域中的所有目标两两之间非常接近, 并通过它们之间的节点在监测图中相连的时候, 所有的目标才会位于同一个簇中, 这种情况只有在节点部署非常密集的极端情况下才会发生。在这样的情况下, 簇调度算法一开始只在这唯一的一个簇中执行, 但随着一些节点由于电能耗尽而失效, 初始产生的唯一的簇会分裂成若干个簇。因此在目标随机分布的情况下, 监测任务执行的过程中通常会有多个簇存在。步骤 4 到 6 是构成 WORK 阶段的迭代过程, 在这个阶段, 节点被分配对相应的目标进行监测, 并将监测数据上传到汇聚节点。

以下介绍的簇调度算法在每轮由每个簇的簇头节点执行, 也即该算法是分布式的。簇调度算法的目的是对簇内包含的目标和节点进行匹配并计算 T_{sleep} 。

簇调度算法

```

Begin
TLSG = {target nodes in VLSG}
SLSG = {sensor nodes in VLSG}
Tc = TLSG //sets as counters
Sc = SLSG
While Tc ≠ ∅ do
  //remain targets have not been assigned
  Tmin = {the targets ti with minimum degree in Tc}
  If |Tmin| = 1 then t ← ti //only one target with min degree
  Else pick a target randomly in Tmin as t
  Smin = {the sensors sj with minimum degree in Sc ∩ Sc}
  If |Smin| = 1 then s ← sj //only one sensor with min degree
  Else pick a sensor in Smin with maximum ej as s
  Add s-t match to the timetable of this round
  Tc = Tc - {t}
  Sc = Sc - {s}
Endwhile
Emin = {minimum node's energy in SLSG - Sc}
Tsleep = ε (Emin - Tsleep)
Return timetable and Tsleep
End

```

以上簇调度算法中, T_{sleep} 是在一轮调度中不工作节点的休眠时间, T_{setup} 是对下一轮监测网络进行设置所需的时间, 即在 T_{setup} 期间所有的节点均处于激活状态。较长的 T_{setup} 会降低节能效果, 但是由于相对于系统的工作寿命 T_{setup} 的时间

非常短,因此 T_{setup} 所产生的效果基本可以忽略不计。通常 T_{setup} 设置为簇初始化所需的时间。 ϵ 是根据网络通信稳定性设置的工作参数, $\epsilon \in (0, 1)$, 值越大说明网络通信越稳定, ϵ 值对系统的容错性能也有一定影响。

3.3 提高系统容错性能

文献[12]提出的方法理论上可以达到无线传感器监测网络的最大工作寿命。在这一方法中,无线传感器监测网络的每一个节点的工作时间表都预先安排好,在系统的整个工作寿命期间,节点都按照其工作时间的安排工作,因此即使是少数节点的失效都有可能对某些目标长时间失去监测。当丢失的目标是具有重要意义的关键目标时所导致的后果尤其严重。无线传感器网络由于受电源、通信、工作环境等限制,节点失效的概率比固定网络环境大得多,因此需要有能够及时发现目标丢失并进行恢复的机制。由于无线传感器网络内在的分布特性以及节点电能限制,文献[11]提出的心跳消息监视机制并不适用。本文提出的无线传感器监测网络分布式调度策略是一种回合制的调度策略,在每一轮根据节点当前的电能储备分配节点对目标进行监测,因此可以及时发现失效的节点并在下一轮调度中将其排除。通过对工作参数 ϵ 的设置可以在能耗和容错性之间进行权衡。此外,在每一轮调度考虑节点当前的能量储备也有利于对簇内节点的能耗进行平衡,避免产生某些节点的过早夭折。

由于目标重要性不尽相同,在实际应用中可能对有差别的监测服务的需求更为迫切。所谓有差别的监测服务就是根据重要程度将目标划分为关键目标和普通目标,对关键目标要保证任一时刻都有节点加以监测,而对于普通目标短时间的丢失是可以容忍的。本文提出的 DNSS 策略可以很方便地提供有差别的监测服务,具体做法是:在执行 DNSS 的簇调度算法的时候,对每个簇内的所有关键目标根据度的大小按非降序排序,对簇内的普通目标也做同样的操作;然后按照排序的结果——选择关键目标进行调度,关键目标选择完毕接着按同样的顺序选择普通目标。通过对不同类型的目标进行区分,保证关键目标在调度执行的过程中具有比普通目标高的优先级,其结果是即使在没有足够的节点实施监测的情况下,也能有效保证对关键目标的监测。系统的扩展工作寿命通过这种方式可以得到有效延长。具有目标区分机制的 DNSS 在本文中用 DNSS-D 表示,其效果通过仿真试验加以验证。

4 性能分析

为了分析本文提出的无线传感器监测网络分布式节点调度策略 DNSS(含容错机制)的性能,进行了一系列的仿真试验,并将仿真试验结果与文献[12]提出的方法做比较。为了方便起见,将文献[12]提出的两种方法分别简称为 MDA(矩阵分解方法)和 GA(贪婪算法)。所有的仿真试验都是在一个 $50\text{m} \times 50\text{m}$ 的 2 维平面区域进行,每个传感节点的监测范围设置为 10m 。不失一般性,如果不特别说明,10 个目标和 100 个传感节点随机分布在监测区域内。每个传感节点的初始电能储备是一个 $[0, 50]$ 范围内的随机量(以小时为单位,表示对应的电能储备能支持节点在激活状态下连续工作的时间),均值是 25 小时。 T_{setup} 设置为 0.1 小时。试验结果是 100 次独立试验结果的平均值。

4.1 工作寿命

第一个仿真试验检测监测区域内节点数量对系统工作寿命的影响,将监测区域内的节点数目以 10 的整数倍从 10 增

加到 100。图 1 显示的是部署的节点数目的变化对系统工作寿命的影响。从图中可以看出随着节点密度的增加系统的工作寿命相应得到提高,在节点数相同的情况下 DNSS 方法所取得的系统工作寿命比 MDA 方法短,但是比 GA 方法长。这是由于 MDA 是在没有节点失效发生且每个目标在同一时刻只有一个节点监测的理想情况下取得的最大工作寿命。但是图 1 也显示 DNSS 方法与 MDA 方法之间在系统工作寿命方面差别不大,导致这一结果的原因有三:首先每轮的初始化时间 T_{setup} 相对于每轮的时间很小,对工作寿命的影响非常有限;其次是每轮收集节点当前状态信息被限制在簇内,额外消耗的电能也十分有限;再次, DNSS 在进行节点调度时考虑节点当前的电能储备,其结果是平衡了不同节点的能耗,产生的效果部分抵消了由于 T_{setup} 和节点状态信息传递对系统工作寿命的影响。

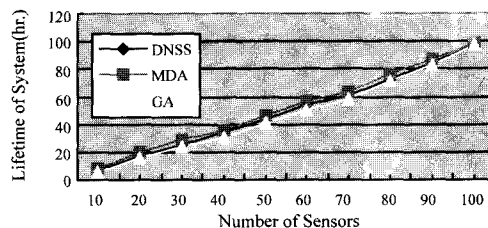


图 1 系统工作寿命与节点数的关系($m=10$)

4.2 扩展工作寿命

在为用户提供有差别监测服务时,在保证不会错失对关键目标的监测的前提下,系统所能达到的扩展工作寿命是一个很重要的技术指标。在仿真试验中从监测区域中的 10 个目标中随机选择 2 到 10 个目标为关键目标,将采用 DNSS 方法所达到的系统扩展寿命与 MDA 方法以及具有目标区分机制的 DNSS-D 方法进行比较,图 2 显示的是在不同关键目标个数下的比较结果。从图中可以看出当所有 10 个目标都是关键目标的情况下 3 种方法所取得的系统扩展工作寿命是相等的,但随着在所有目标中关键目标数量的减少, DNSS-D 取得的扩展工作寿命明显大于 DNSS 和 MDA,而 DNSS 和 MDA 所取得的扩展工作寿命基本相等。试验结果表明具有目标区分机制的 DNSS-D 方法在提供有差别的监测服务时能够有效延长系统扩展工作寿命,这是由于在节点调度过程中赋予关键目标优先权,从而导致关键目标丢失的概率小于普通目标,也就延长了系统扩展工作寿命。

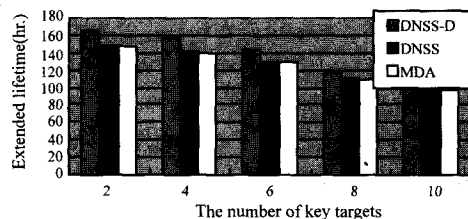


图 2 系统扩展工作寿命与关键目标数的关系

在本文的仿真试验和文献[12]的仿真试验中,节点和目标都是随机分布在监测区域中,因此每个目标丢失的概率是相等的。系统的工作寿命由最先丢失的“瓶颈”目标决定,这意味着如果将关键目标与普通目标区别开来并使关键目标具有受节点监测的优先权,将能避免关键目标成为“瓶颈”目标从而有效延长系统扩展工作寿命。这就是 DNSS-D 在扩展工作寿命方面能够超越 DNSS 和 MDA 的原因。由于 GA 方法

的情况与 MDA 的类似,因此在图 2 没有加入 GA 方法的结果。本文提出的 DNSS 方法稍加扩展就能成为适合于提供有差别监测服务的 DNSS-D。

4.3 容错性能

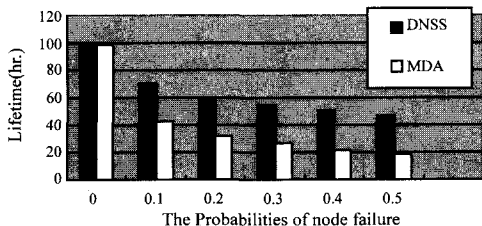


图 3 系统工作寿命与节点失效概率的关系

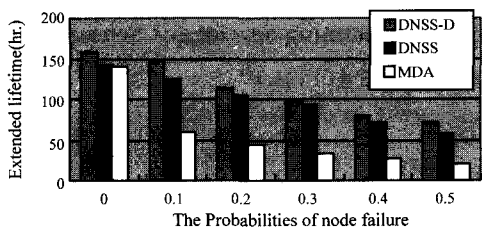


图 4 系统扩展工作寿命与节点失效概率的关系

无线传感器监测网络系统的容错性通过由于节点失效而导致的系统工作寿命降低来衡量。在仿真试验中我们分别在节点失效概率分别为 0.1, 0.2, 0.3, 0.4 和 0.5 的情况下对系统的工作寿命和扩展工作寿命进行测量,失效节点以相应的失效概率从所有节点中选出。系统的工作寿命和扩展工作寿命(在所有 10 个目标中有 4 个是关键目标)分别由图 3 和图 4 显示。如图 3 所示,随着节点失效概率由 0(无节点失效发生)提高到 0.5,采用 MDA 方法,系统工作寿命急剧下降,而采用 DNSS,系统工作寿命下降比较缓慢。在同样的节点失效概率下,采用 DNSS,系统工作寿命明显高于采用 MDA。这两种方法结果之间的差异产生的原因是由于 DNSS 是一种回合制的调度方法,周期性地根据节点的当前状态进行调度,可以及时发现失效节点并将其排除;而 MDA 只在系统运行的开始阶段对节点进行调度,之后在系统的整个工作寿命内节点都按照调度产生的时间表工作。图 3 没将 DNSS-D 的结果显示出来是因为 DNSS-D 是为提高采用 DNSS 的系统的扩展工作寿命所做的改进,在系统工作寿命方面,这两种方法,所产生的结果没有任何区别。在不同的节点失效概率下采用不同调度方法所得到的系统扩展工作寿命如图 4 所示,与图 3 所显示的趋势类似,随着节点失效概率的提高,无论采用什么调度方法,系统扩展工作寿命都有所降低。在相同的节点失效概率下,采用 DNSS 的系统扩展工作寿命大于采用 MDA,而 DNSS-D 又比 DNSS 更好。试验结果显示在有节点失效发生的情况下 DNSS 和 DNSS-D 能有效提高系统扩展工作寿命,也就是说这两种方法都能有效提高系统的容错性。产生以上现象有两个原因:首先是由于 DNSS 和 DNSS-D 都是回合制的调度方法,周期性地根据节点的当前状态进行调度,可以及时发现失效节点并将其排除;其次 DNSS-D 在调度过程对关键节点优先进行调度,这也有效延长了系统扩展工作寿命。

结束语 本文针对无线传感器监测网络环境提出回合制

的分布式节点调度策略 DNSS 和 DNSS-D,目的是延长无线传感器监测网络系统工作寿命。与目前许多方法不同,本文提出的调度策略不是集中式的,可以有效降低调度所需的额外通信开销;同时回合制的调度方式提高了系统的容错性能。本文提出的无线传感器监测网络分布式节点调度策略的一个显著特点是可以方便实现有差别监测服务,有效延长系统扩展工作寿命。一系列仿真试验表明,本文提出的策略能够有效实现比目前主要方法具有更好的容错性能和系统扩展工作寿命的有差别监测服务。

参考文献

- [1] 任丰原,黄海宁,林闯. 无线传感器网络. 软件学报,2003,14(7): 1282-1291
- [2] 崔莉,鞠海玲,苗勇. 无线传感器网络研究进展. 计算机研究与发展,2005,42(1):163-174
- [3] Akyildiz I F, Su W, Sankarasubramaniam Y, et al. Wireless sensor networks; a survey. Computer Networks, 2002, 38:393-422
- [4] 李建中,李金宝,石胜飞. 传感器网络及其数据管理的概念、问题与进展. 软件学报,2003,14(10):1717-1727
- [5] Huang C F, Tseng Y C. A Survey of Solutions to the Coverage Problems in Wireless Sensor Networks. Journal of Internet Technology, 2005, 6(1):1-8
- [6] Meguerdichian S, Koushanfar F, Potkonjak M, et al. Coverage problems in wireless ad-hoc sensor networks//IEEE INFOCOM 2001. 2001:1380-1387
- [7] Huang C F, Tseng Y C. The coverage problem in a wireless sensor network//ACM International Workshop on Wireless Sensor Networks and Applications (WSNA). 2003:115-121
- [8] Slijepcevic S, Potkonjak M. Power efficient organization of wireless sensor networks//IEEE International Conf. on Communications (ICC). 2001:472-476
- [9] Tian D, Georganas N D. A node scheduling scheme for energy conservation in large wireless sensor networks. Wireless Commun. and Mobile Comput(WCMC), 2003, 3:271-290
- [10] Ruiz L B, Vieira L F M, Vieira M A M, et al. Scheduling Nodes in Wireless Sensor Networks; a Voronoi Approach//Proceedings of 28th IEEE Conference on Local Computer Networks (LCN2003). 2003:423-429
- [11] Yan T, He T, Stankovic J A. Differentiated surveillance for sensor networks// Proceedings of the First ACM Conference on Embedded Networked Sensor Systems (SenSys 2003). Los Angeles, 2003:51-62
- [12] Liu H, Wan P J, Yi C W, et al. Maximal lifetime scheduling in sensor surveillance networks//IEEE INFOCOM 2005. Vol. 1-4, 2005:2482-2491
- [13] Heinzelman W, Chandrakasan A, Balakrishnan H. Energy efficient communication protocol for wireless microsensor networks // Proceedings of the 33rd IEEE International Conference on System Sciences. Hawaii, 2000:3005-3014
- [14] Manjeshwar A, Agrawal D P. TEEN; A routing protocol for enhanced efficiency in wireless sensor networks//Proceedings of the 15th IEEE Parallel and Distributed Processing Symposium. San Francisco, 2001:2009-2015