

恶劣环境下无线传感器网络数据存储策略研究

易琼,王珺

(南京邮电大学 通信与信息工程学院,江苏 南京 210003)

摘要:在恶劣环境下,无线传感器网络需要长时间监测大量数据,因而没有必要部署高功率的基站以收集实时的数据,而网络内节点包括 sink 节点在内又会由于各种原因(电池耗尽、敌人攻击、自然灾害等)发生故障,因此如何高效地存储感知数据成为恶劣环境下无线传感器网络的一个关键问题。文中对恶劣环境下无线传感器网络中已有的数据存储策略进行了综述。首先概述了无线传感器网络的结构模型和能量模型;然后详细探讨了各种数据存储策略,从引发节点失效的不同原因以及不同的优化目标对其进行分类,重点介绍了各存储策略的核心思想,并从适用性、节点能耗、网络生命周期等方面分析了各种实现方案的优缺点;最后给出了研究结论,并指出了该问题的进一步研究方向。

关键词:数据存储;间歇式连接传感器网络;数据重分配;数据复制

中图分类号:TP393

文献标识码:A

文章编号:1673-629X(2015)11-0139-06

doi:10.3969/j.issn.1673-629X.2015.11.028

Research on Data Storage Strategy in Wireless Sensor Networks Deployed in Challenging Environments

YI Qiong, WANG Jun

(College of Communication and Information Engineering, Nanjing University of Posts and Telecommunications, Nanjing 210003, China)

Abstract: In challenging environment, wireless sensor networks need to take a long time to monitor a large number of data, thus there is no need to deploy high-powered base stations to collect real-time data. Furthermore, sensor nodes including sink nodes may fail due to various reasons (battery depletion, enemy attacks and natural disasters), therefore, how to efficiently store sensory data in such cases becomes a key issue. It reviews the existing data storage strategies for wireless sensor networks under harsh environments. First, the network model and energy model are introduced, then various data storage strategies are summarized, and classification is given from the perspective of different causes of node failures and different optimization goals. Following that, the core idea of each storage strategy is discussed in detail. Meanwhile, their advantages and disadvantages are analyzed in terms of applicability, energy consumption and lifetime of network. Finally, some conclusions and potential future research directions for this problem are pointed out.

Key words: data storage; intermittently connected sensor networks; data redistribution; data replication

0 引言

许多现代传感器网络应用,如太阳能供电的无线传感器网络^[1]、水下或海洋传感器网络^[2]、监测火山喷发和冰川融化的传感器网络^[3]、地下传感器网络^[4]、音频传感器网络^[5]、车载传感器网络^[6]等,均部署在恶劣的环境之中(如偏远无人值守或无法靠近的区域)且需要长时间监测大量的数据、音频、视频、图像等,而这些应用无需实时的数据传输和数据访问,因此没有必要近距离地部署高功率的数据收集基站。在这些应用中,大量的感知数据首先存储在网络内,然后通过低速

卫星链路^[7]或是数据骡子(data mules)^[8]将数据上传给基站。然而,在恶劣的环境下,这样的上传机会不可预知且很稀少,使得网络与基站的连接呈间歇性,对于此种间歇性连接传感器网络,所面临的最大问题就是在下一次上传机会到来之前,如何高效地存储大量的感知数据。

当感兴趣的事件发生时,靠近事件的传感器节点较远离事件的传感器节点收集数据更为频繁,因而很快消耗完存储空间以至于无法存储新产生的数据。为防止数据的丢失,溢出的数据必须重分配给其他拥有

收稿日期:2015-01-08

修回日期:2015-04-15

网络出版时间:2015-11-04

基金项目:国家自然科学基金资助项目(61401234)

作者简介:易琼(1990-),女,硕士研究生,研究方向为下一代通信网络技术;王珺,博士,副教授,研究方向为下一代通信网络技术。

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/61.1450.TP.20151104.0952.056.html>

可用存储空间的节点。所有的传感器节点均具有有限的、不可充电的电池能量,在等待数据上传机会的同时节点一直保持监测事件的工作状态,即不断地消耗电池能量。当电池能量消耗殆尽时,也会造成数据的丢失,因此需要将低能量节点存储的数据重分配给高能量节点。此外,由于无线链路的不稳定性,节点很容易遭到外界攻击或受到自然环境的迫害而发生故障,从而造成网络的中断,形成“孤岛”,此时需要保证网络内至少有一个其他节点存储有该故障节点存储的数据。恶劣环境下,无线传感器网络数据存储问题的核心是数据重分配,而数据重分配问题的核心则在于最大化网络节点的存储利用率,同时最小化数据转移的能耗,以尽可能长的时间保存尽可能多的数据。

文中将对恶劣环境下无线传感器网络的数据存储策略进行探讨和分析,从而为今后的研究工作提供参考。首先,分别描述了传感器网络模型和能量模型;然后,对现有数据存储算法进行了分类,总结了不同重分配算法的主要思路及优缺点;最后,针对现有算法中存在的问题,给出了改进意见,并对全文进行了总结。

1 传感器网络模型(Network Model)

无线传感器网络可用无向连通图 $G(V, E)$ 来表示。其中, $V = \{1, 2, \dots, N\}$ 是 N 个均匀部署的传感器节点; E 是 m 条边的集合,任意两个传感器节点如果在彼此的通信范围之内,则以边相连可直接通信。数据发生器 i (也称作源节点) 表示为 DG_i , 网络中有 k 个数据发生器, 记为 $V_s = \{1, 2, \dots, k\}$ 。每个数据发生器感知到的数据是具有单位尺寸的数据项序列, 用 s_i 表示 DG_i 需要重分配(即溢出)的数据项个数, 因此网络中需要重分配的数据项总数为 $\sum_{i=1}^k s_i$ 。对任意传感器节点 $i \in V$, 其初始能量表示为 E_i (有限且不可充), 可用存储空间表示为 m_i 。如果 $i \in V_s$, 则 $m_i = 0$; 反之, $i \in V - V_s$, 则 $m_i \geq 0$ 。

2 能量模型(Energy Model)

传感器节点的能耗主要由监听、计算、通信这几部分引发, 而由于节点监听和计算消耗的能量相较于通信而言很小, 所以在大部分研究中只考虑节点的通信能耗。采用一阶无线电模型: 在距离 l 上传输 k -bit 数据, 其发送能量为:

$$E_{Tx}(k, l) = E_{elec} \times k + \varepsilon_{amp} \times k \times l^2 \quad (1)$$

接收能量为:

$$E_{Rx} = E_{elec} \times k \quad (2)$$

其中, $E_{elec} = 100$ nJ/bit 是发送电路和接收电路每比特的能耗; $\varepsilon_{amp} = 100$ pJ/(bit · m²) 是发送放大器每

比特的能耗。

由于 ε_{amp} 远远小于 E_{elec} , 传感器节点均匀分布数据项具有统一尺寸, 因此在整个网络内任意一跳间传递任意一个数据项的能耗可近似相等, 从而可以用传输数据项的总跳数来衡量能耗。更为具体地, 对每个节点而言, 发送或接收一个数据项耗费 0.5 单元的能量, 如果是中间节点转发数据项则耗费 1 单元的能量(既接收又发送), 因此整个网络的总能耗等于在数据重分配过程中所有重分配数据的跳数的总和。

3 恶劣环境下无线传感器网络数据存储问题的研究现状

造成间歇式连接传感器网络中存储数据丢失的原因主要有三个: 节点能量耗尽(导致存储的数据丢失)、节点存储耗尽(节点不能存储新生成的数据)和节点硬件故障(导致存储的数据丢失)。本节从这三个方面出发, 将恶劣环境下无线传感器网络的数据存储策略分为三类, 如下所述。

3.1 能量耗尽引起的数据存储策略

在间歇式连接传感器网络中, 由于节点都趋于微型化, 因此必然导致节点所带的电池容量受到很大的限制。所以当节点的能量消耗殆尽时, 势必会影响其存储的数据。为克服由于能量耗尽而引起的数据丢失问题, 需要将低能量节点(称为源节点)存储的数据重分配给高能量节点(称为目的节点), 以最大的可能时间保存网内数据。

文献[9]将能量耗尽引起的数据存储问题等效为在节点能量约束条件下, 为每个数据项寻找目的节点和分配路径, 以使得在重分配后, 目的节点的最小能量最大化问题, 也即静态数据保存问题(SDP), 用表达式描述为:

$$\begin{aligned} E'_i &= E_i - \sum_{j=1}^p x_{ij}, \forall i \in V \\ \max_{r, P} \min_{1 \leq i \leq p} E'_{r(i)} \\ \text{s. t. } E'_i &\geq 0, \forall i \in V \end{aligned} \quad (3)$$

其中, x_{ij} 表示在分配数据项 j 的过程中节点 i 消耗的能量, 当 $i = j \neq r(j)$ 或 $i = r(j) \neq j$ 时, $x_{ij} = 0.5$, 当 $i \in P_j$ and $i \notin \{j, r(j)\}$ 时, $x_{ij} = 1$, 否则 $x_{ij} = 0$; r 是分配函数; P 是分配路径集。

通过数学建模证明 SDP 是 NP-hard 问题, 为此提出了两种启发式数据重分配算法: 集中式数据分配算法(CDA)和分布式数据分配算法(DDA)。

CDA 的核心思想是根据最短路径原则将源节点的数据传输至剩余能量最高的目的节点, 同时在重分配过程中目的节点尽量不作为中继节点使用。

DDA 的主要思路是保证每个源节点与一跳邻居节点进行消息通信,若发现剩余能量比自身高且拥有可用存储空间的邻居节点则进行数据转移,否则自己保存数据。

这两种算法均有效地延长了数据的保存时间,但仅考虑了传感器节点只拥有一个存储单元、源节点仅拥有一个数据项的简单情况。

3.2 存储耗尽引起的数据存储策略

对于由于节点存储耗尽而引起的数据存储问题,又可根据不同的优化目标划分为:以优化网络存储利用率为目标的数据存储、以最大化数据保存时间(或最大化节点最小剩余能量)为目标的数据存储、以最小化重分配总能耗为目标的数据存储和以最大化保存数据的总优先级为目标的数据存储。

3.2.1 以优化网络存储利用率为目标的数据存储

文献[10]针对离线操作模式下的传感器网络提出了一种新的协同存储系统 EnviroStore。该方法采用数据重分配机制来优化共享的网络存储空间,提出了网内数据重分配和网间数据重分配两种基于广播的算法。对于网内数据重分配,邻居节点间以较低的频率不断交换节点的剩余存储空间消息,若节点的存储空间变化量大于一定的广播门限值 R_{Δ} ,则需插入额外的广播消息以及时告知邻居节点,当节点的剩余存储低于某一门限值且其能量持续时间大于存储持续时间时才触发数据重分配。

$$\begin{aligned} R_i &= R_{\min} \text{ and } R_i < R_{\text{TH}} \\ \frac{\Omega_i}{E_i} &> \frac{R_i}{S_i} \end{aligned} \tag{4}$$

其中, R_{\min} 是包括 i 在内的 i 的所有邻居节点的最小剩余存储空间; R_{TH} 是设置的剩余存储空间阈值以减少数据重传的次数; Ω_i 是节点 i 的剩余能量; R_i 是剩余存储空间。

触发条件满足后,节点 i 将部分数据转移到随机选择(不直接选择剩余存储空间最大的节点,是为防止 ping-pong 效应,引起不必要的能耗)的欠载邻居节点(剩余存储空间大于平均剩余存储空间 \bar{R}_i 的节点)上且传到欠载节点的数据量 D_{ij} 不宜过大以达到数据均衡。

$$D_{ij} \leq \min(R_j - \bar{R}_j - R_{\Delta}, \bar{R}_i - R_i) \tag{5}$$

对于网间数据重分配,移动 data mules 以较高的频率在“孤岛”间广播自身的剩余存储空间值,过载节点利用 data mules 进行数据上传或进行“孤岛”间的数据重分配。EnviroStore 协作系统的提出,能最大化间歇式连接传感器网络的存储空间利用率,以有限的节点存储空间保存尽可能多的数据且适用于源节点动态

产生数据项的场景,但由于其基于广播的特性,需要邻居节点间以及节点、data mules 间不断地交换消息,这将导致大量的消息开销,尤其当网络的规模增大时,消息成本显著增加。此外,EnviroStore 仅要求节点和单跳邻居节点进行通信,限制了重分配的范围, data mules 的使用需要掌握全局的节点存储位置,且必须能够访问大部分的节点以检索数据,当 data mules 受到攻击时将危及收集到的所有数据。

3.2.2 以最大化数据保存时间为目标的数据存储

文献[11]则将由于存储耗尽而引起的数据存储问题作为图论问题解决,将数据存储的可行性问题等效于在适当转换的流网络中的最大流问题,其具体的网络转化方法为:

- (1) 将无向边 $(i, j) \in E$ 转换为两条有向边 (i, j) 和 (j, i) , 有向边容量设置为无穷;
- (2) 将节点 $i \in V$ 分裂成两个节点:入节点 i' 和出节点 i'' 。增加有向边 (i', i'') , 边容量为 E_i (节点 i 的初始能量), 节点 i 的所有入边入射到 i' , 所有出边从 i'' 射出;
- (3) 增加一个新的源节点 s , 连接到每一个 DG 节点 $i \in V_s$ 的入节点 i' , 边容量为 s_i , 增加一个宿节点 t , 将所有非 DG 节点 $j \in V - V_s$ 的出节点 j'' 连接到 t , 边容量为 m_j 。

图 1、图 2 给出了一个网络转化实例。在转化后的流网络 $G'(V', E')$ 上利用改进的 Edmonds-Karp 算法(MEA)判断数据存储的可行性(求出的最大流大于等于 $\sum_{i=1}^k s_i$), 当可行性条件满足时, 在假设目的节点集合 V_d 已知的前提下提出了最优算法, 即对所有的目的节点利用二进制搜索的方法寻找其仍能产生最大流 $\sum_{i=1}^k s_i$ 的最大最小剩余能量。

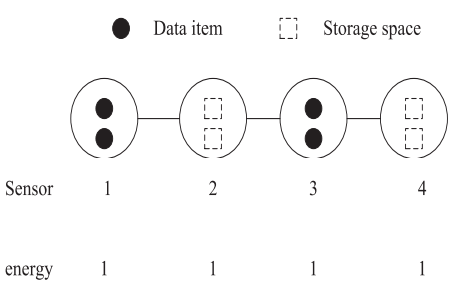


图 1 原网络图 $G(V, E)$

此外,还提出了一种分布式数据存储算法,选出局部高能量节点,通过广播的方式建立源节点和局部高能量节点之间的连接,通过多参数规划方法不断的迭代,求出最优解。该文献突破了文献[9]中传感器节点只有一个存储空间、源节点只有一个数据项的限制,

但其提出的最优算法仅以可行性条件满足且目的节点已知为前提,不具有广泛性,分布式数据存储算法也只考虑了可行性满足条件下的静态存储情形。

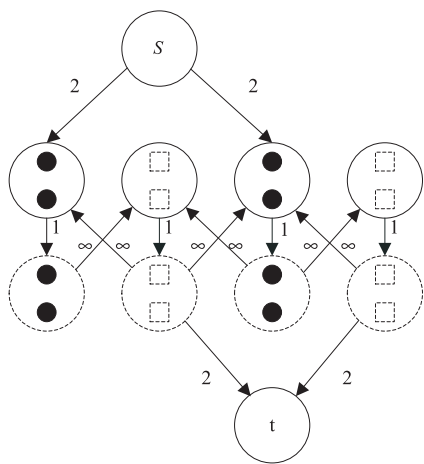


图2 转化后的流网络图 $G'(V', E')$

不同于文献[11]中的网络拓扑,文献[12]主要研究线性传感器网络的数据存储问题,即所有的传感器节点均部署在一条直线上。在该网络模型中,有且仅有一个源节点,且源节点的位置是任意的。与文献[9,11]不同的是,文献[12]将传感器网络的数据保存时间定义为所有存储溢出数据项的目的节点的剩余能量之和,即 $\sum_{j=1}^a E'_{r(j)}$ 。

其中, a 表示溢出数据项的总个数; $r(j)$ 表示第 j 个数据项对应的目的节点。

为最大化数据保存时间,文献[12]则需最大化所有目的节点的剩余能量之和,而文献[9,11]只需最大化目的节点的最小剩余能量。为求得该问题的最优解,文献[12]先研究了源节点处于端点0的情况,经过理论推导,最终将求解目标转化为:

$$\max \sum_{i=1}^n (E_i \times \xi(i)) - a^2/2 \quad (6)$$

其中, $i \in \{1, 2, \dots, n\}$ 表示非源节点; $\xi(i)$ 表示重分配给节点 i 的数据项个数。

此时只需将非源节点按照剩余能量的大小降序排列,然后选出前 $k+1$ 个满足 $\sum_{i=1}^k m_i < a \leq \sum_{i=1}^{k+1} m_i$ 的高能量节点进行数据重分配,前 k 个节点分得的数据项个数分别为各节点的自由存储空间大小,而第 $k+1$ 个节点分得的数据项个数为 $a - \sum_{i=1}^k m_i$ 。对于源节点处于其他位置的情况,只需以源节点为端点利用上述方法分别求卸载 x 个数据项到左半边节点和 $a-x$ 个数据项到右半边节点使得剩余能量之和最大的解即可。

相较于随机重分配,该算法无论在延长网络生命周期,还是能耗方面均具有一定的优势,但线性的网络

拓扑结构具有一定的局限性,且研究的源节点个数仅为1。

3.2.3 以最小化重分配总能耗为目标的数据存储

文献[13]研究了数据密集型网络中的高效数据存储问题,首次将势能函数创新型地引入数据重分配以解决在大规模网络中重分配数据的冲突问题(当数据发生器相互靠近或生成的数据量可与网络存储空间相比拟时,就会出现重分配冲突,即不同的数据发生器有重叠的卸载区域)。将整个传感器网络建模成电势场,数据发生器对应于电势场中的点电荷,需要卸载的数据量看作正电荷量,根据叠加原理,整个传感器网络的总电势场等于所有数据发生器的单个场的线性叠加。对于任意节点 j ,其总电势为:

$$\varphi(j) = \sum_{i=1}^k \varphi(i, j) = \sum_{i=1}^k \frac{s_i}{d_{ij}} \quad (7)$$

节点 j 处的总电势反映出了其争用程度,电势越高,争用越激烈。数据重分配则等效于带电粒子在电势场中的运动,源节点每次仅按最短路径传送一个数据项,即将最小能量消耗问题转化为最小跳数问题:

$$\begin{aligned} \min_r \sum_{i \in I} d_{s(i), r(i)} \\ \text{s. t. } |\{i \mid i \in I, r(i) = j\}| \leq m_j \end{aligned} \quad (8)$$

可证明当数据项具有统一尺寸大小时,以最小化总能耗为目标的数据存储问题则等效于最小费用流问题。鉴于最优解的集中特性不适合大规模分布式网络,故文献[13]提出了一种适用于数据密集型网络的基于势能的分布式数据重分配算法(PDA)。即需要卸载数据项的源节点广播消息,收到广播消息的目的节点计算源节点在该处的电势以及该节点的总电势,选择在该节点处对应电势最高的源节点许诺相应的存储空间,源节点选择最近的许诺节点(存在多个最近的许诺节点时选择总电势最小的节点作为目的节点以避免重分配冲突)进行数据转移,该算法以迭代的方式展开,直到所有的源节点卸载完溢出数据项为止。PDA是在线的分布式算法,完全适用于数据动态生成、节点故障以及存储、能量耗尽动态发生、数据项以及源节点数目非常多的场景,在存储许诺阶段即可解决重分配冲突(不需要额外通信),对于稀疏网络,只要在PDA的广播阶段增加跳数的限制同样适用,但该算法的最大缺陷是未考虑节点的能量限制。在实际应用中,能量约束是数据存储必须面临的挑战之一。

3.2.4 以最大化保存数据的总优先级为目标的数据存储

相较于其他文献而言,文献[14]在数据存储过程中首次考虑数据优先级(感知数据分为多种类型,不同的传感器节点感知不同类型的数据,在同一应用进

程中,不同类型的数据对传感器网络应用研究具有不同的价值),为每个源节点 s_i 生成的数据项分配优先级 v_i ,将最大化保存数据的总优先级问题(DPP)转化为最大权重流问题(MWF),其求解目标即可表示为:

$$\max_{f} v_f = \sum_{s_i \in S} \sum_{u \in V} v_i \times (f(s_i, u) - f(u, s_i)) \quad (9)$$

s. t. 容量约束

$$f(u, v) \leq c(u, v), \forall (u, v) \in E$$

流守恒约束

$$\sum_{u \in V} f(u, v) = \sum_{u \in V} f(v, u), \forall v \in V \setminus V_s \cup \{t\}$$

$$\sum_{u \in V} (f(s_i, u) - f(u, s_i)) > 0$$

$$\sum_{u \in V} (f(t, u) - f(u, t)) < 0$$

继而在经典最大流增广路径算法(EK 算法)和压入—重标记算法(push-relabel 算法)基础之上分别提出了贪婪最优算法和带有数据优先级的分布式数据存储算法。这两项算法的提出,不仅扩展了经典的最大流问题,而且作为一项理论基础,同样适用于任何数据优先级和资源约束并存的应用,如对等网络、智能通信。就目前而言,DPP 的研究仍处于初步阶段,只考虑静态的场景,即需要存储的数据仅在开始时产生且仅产生一次。

3.3 节点硬件故障引起的数据存储策略

与存储和能量耗尽相比,传感器节点的硬件故障是不可预知的,因而单一的数据重分配方法无法完全解决恶劣环境下网内数据的存储问题。为防止由于硬件故障而引起数据丢失的关键方法之一是利用数据复制技术保证传感器网络中每个生成的数据项有多个复本,从而以较高的概率保证当上传机会来临时至少有一个数据项的复本是存活的。

文献[15]为有效地应对节点故障,保证数据的可用性,在分布式系统中采用复本技术,以减小通信成本、延长网络的生命周期为目标研究复本的个数以及存储问题。通过利用节点的故障模型,将复本的存储建模成二进制优化问题,即

$$\min \sum_{1 \leq i \leq N} \sum_{1 \leq j \leq N} X_{ij} d_{ij} \quad (10)$$

subject to

$$\forall i \quad \prod_{i \in S_i} p_i < 1 - P_{\text{req}}$$

$$\forall j \quad \sum_{1 \leq i \leq N} X_{ij} \leq M_j$$

$$\forall i, j \quad X_{ij} \in \{1, 0\}$$

$$\forall i, j \quad d_{ij} \geq 0$$

其中, p_i 表示节点 i 的故障概率; P_{req} 表示成功访问数据的请求概率; S_i 表示为节点 i 存储数据复本的

节点集合; $X_{N \times N}$ 是二进制变量矩阵,用以记录复本的存储位置,如果节点 j 为源节点 i 存储一个复本,则 $X_{ij} = 1$,反之 $X_{ij} = 0$,由于节点 i 本身存储自己的数据,所以当 $i = j$ 时, $X_{ij} = 1$ 。

为求得最优的存储位置,文献[15]假设所有的节点均具有相同的故障概率 p ,并理论证明当 $p \leq 1 - P_{\text{req}}$ 时,所需复本数为 0;当 $p > 1 - P_{\text{req}}$ 时,所需的复本数 $|S_i|$ 为 $\lceil \frac{\log(1 - P_{\text{req}})}{\log p} \rceil$,此时上述优化问题完全取决于 d_{ij} 的选择。由此文献[15]提出了启发式算法,即先将数据复本重分配给一跳邻居节点,如果数量未达到要求,则继续重分配给二跳邻居节点,如此继续下去直到个数等于所求的 $|S_i|$ 为止。该算法能有效地降低通信成本,保证传感器网络的数据可用性,但在求解复本存储位置的过程中忽略了节点的能量约束。

文献[16]克服了文献[15]的不足,在同时考虑有限的节点存储空间和电池能量的约束条件下,提出了数据 K -可用性数据(DKAP)。即为每个数据项创建 K 个复本,并以最大的时间保存这些数据项复本, K 的大小取决于节点的故障概率。假设每个节点的独立故障概率为 p_f ,为保证网络中的数据项至少有一个可用复本,则需

$$K \geq \frac{1}{1 - p_f} \quad (11)$$

DKAP 分为两个阶段: K -可用性创建阶段和 K -可用性维护阶段。 K -可用性创建阶段主要完成复本的创建及分配,对于具有统一尺寸大小的数据项,其 K -可用性创建问题等效于最小费用流问题,即选择成本最小的路径将复本分配给具有可用存储空间且未存储过该复本的目的节点,保证同一节点只存储同一数据项的一个复本。 K -可用性维护阶段,需要将具有较低能量水平的节点存储的数据复本重分配给具有较高能量水平的节点,以延迟任何数据项任何复本的丢失,即在保证同一节点只能存储同一数据项的一个复本的前提下,最大化保存数据项复本(包括原始的和复制的)的节点的最小剩余能量。提出了集中式启发算法和分布式算法两种算法。集中式算法主要是选择具有最大剩余能量同时拥有可用存储空间的节点作为目的节点,然后选择距离该节点最近的源节点进行数据项转移。分布式算法以迭代的方式展开,需要重分配数据项的源节点发送广播消息,满足条件的目的节点(剩余能量大于源节点且拥有可用存储空间)发回存储承诺消息,收到存储承诺消息后源节点选择最优的目的节点(剩余能量大、可用存储空间多、距离近)进行数据重分配。通过数据复制和数据重分配,能有效抵抗节点故障引起的数据丢失,以最大的时间保存数

据复本,但复本的引入增加了数据冗余和额外的通信开销,尤其当节点的故障概率比较大、网内数据比较多时,这种开销急剧增加,经济效益较低。

4 结束语

数据存储问题的研究是恶劣环境下无线传感器网络数据管理的重要内容之一。为保证恶劣环境下感知数据的安全性,可综合利用数据重分配、数据复制等多种技术对感知到的数据加以保存。文中对目前存在的各种恶劣环境下的存储策略进行了研究分类,虽然该领域的研究已取得了一定的成果,但仍存在许多改进的地方。如数据优先级的设置需完善(综合考虑源节点的数据量以及数据信息量以确定合理的优先级);数据替换策略的使用(在需要重分配的数据总量大于网络剩余总存储空间的情况下,源节点可丢弃局部产生的优先级较低的数据以为其他产生较高优先级数据的源节点腾出存储空间);数据重分配的方向选择性问题(综合考虑数据重分配的能耗和数据检索的能耗,朝着有利于数据检索的方向进行数据重分配);动态场景下的数据存储问题研究(感知数据动态产生,节点的存储、能量动态耗尽);在仿真方面不仅局限于网格传感器网络等。因此,以上提到的各种改进将成为未来恶劣环境下无线传感器网络数据存储问题的研究方向。


参考文献:

- [1] Yang Yong, Wang Lili, Noh D K, et al. Solarstore: enhancing data reliability in solar-powered storage-centric sensor networks[C]//Proc of 7th international conference on mobile systems, applications and services. Krakow, Poland: [s. n.], 2009:333-346.
- [2] Akyildiz I F, Pompili D, Melodia T. Underwater acoustic sensor networks: research challenges [J]. Ad Hoc Networks, 2005, 3(3): 257-279.
- [3] Werner-Allen G, Lorincz K, Johnson J, et al. Fidelity and yield in a volcano monitoring sensor network [C]//Proc of OSDI 2006. [s. l.]: [s. n.], 2006:381-396.
- [4] Akyildiz I F, Stuntebeck E P. Wireless underground sensor networks: research challenges [J]. Ad Hoc Networks, 2006, 4(6): 669-686.
- [5] Luo Liqian, Cao Qing, Huang Chengdu, et al. EnviroMic: towards cooperative storage and retrieval in audio sensor networks[C]//Proc of 27th international conference on distributed computing systems. Toronto, ON: IEEE, 2007: 34-34.
- [6] Li Xu, Huang Hongyu, Shu Wei, et al. VStore: towards cooperative storage in vehicular sensor networks for mobile surveillance [C]//Proc of wireless communications and networking conference. Budapest: IEEE, 2009: 1-6.
- [7] Mathioudakis I, White N M, Harris N R. Wireless sensor networks: applications utilizing satellite links [C]//Proc of IEEE 18th international symposium on personal, indoor and mobile radio communications. Athens: IEEE, 2007: 1-5.
- [8] Jain S, Shah R, Brunette W, et al. Exploiting mobility for energy efficient data collection in wireless sensor networks [J]. Mobile Networks and Applications, 2006, 11(3): 327-339.
- [9] Takahashi M, Tang B, Jaggi N. Energy-efficient data preservation in intermittently connected sensor networks [C]//Proc of IEEE conference on computer communications. Shanghai: IEEE, 2011: 590-595.
- [10] Luo L, Huang C, Abdelzaher T, et al. Envirostore: a cooperative storage system for disconnected operation in sensor networks [C]//Proc of IEEE international conference on computer communications. Anchorage, AK: IEEE, 2007: 1802-1810.
- [11] Hou X, Sumpter Z, Burson L, et al. Maximizing data preservation in intermittently connected sensor networks [C]//Proc of IEEE 9th international conference on mobile ad hoc and sensor systems. Las Vegas, NV: IEEE, 2012: 448-452.
- [12] Ryan H, Bin T, Samuel S, et al. Maximizing data preservation time in linear sensor networks [C]//Proc of IEEE 11th international conference on mobile ad hoc and sensor systems. Philadelphia, PA: IEEE, 2014: 513-514.
- [13] Tang B, Jaggi N, Wu H, et al. Energy-efficient data redistribution in sensor networks [C]//Proc of IEEE 7th international conference on mobile ad hoc and sensor systems. San Francisco, CA: IEEE, 2010: 352-361.
- [14] Xue Xinyu, Hou Xiang, Rajiv B. Data preservation in intermittently connected sensor networks with data priority [C]//Proc of 10th annual IEEE communications society conference on sensor, mesh and ad hoc communications and networks. New Orleans, LA: IEEE, 2013: 122-130.
- [15] Shen Yulong, Xi Ning, Pei Qingqi, et al. Distributed storage schemes for controlling data availability in wireless sensor networks [C]//Proc of 7th international conference on computational intelligence and security. Hainan: [s. n.], 2011: 545-549.
- [16] Tang Bin, Neeraj J, Masaaki T. Achieving data k-availability in intermittently connected sensor networks [C]//Proc of 23rd international conference on computer communication and networks. Shanghai: [s. n.], 2014: 1-8.

恶劣环境下无线传感器网络数据存储策略研究

作者：[易琼](#)，[王珺](#)，[YI Qiong](#)，[WANG Jun](#)

作者单位：[南京邮电大学 通信与信息工程学院, 江苏 南京, 210003](#)

刊名：[计算机技术与发展](#)

英文刊名：[Computer Technology and Development](#)

年，卷(期)：2015, 25(11)

引用本文格式：[易琼](#). [王珺](#). [YI Qiong](#). [WANG Jun](#) [恶劣环境下无线传感器网络数据存储策略研究](#)[期刊论文]-[计算机技术与发展](#) 2015(11)