

基于动态门限的定向扩散算法

杨军^{1,2}, 张德运¹, 胡宁³

(1. 西安交通大学电子与信息工程学院, 710049, 西安; 2. 宁夏大学数学与计算机学院, 750021, 银川;
3. 中国航空工业第一集团公司航空计算技术研究所, 710068, 西安)

摘要: 通过对无线传感器网络节点传输能耗模型的分析, 在研究时间敏感应用的基础上, 提出了一种基于动态门限机制的控制方法. 利用采样数据内在的相关性、无硬门限特性, 并根据采样数据的发送间隔实现了门限的动态调整, 以改进基本的定向扩散算法. 仿真实验表明, 所提算法能减少节点无线传输的次数, 可使无线传感器网络节点的生命期延长 30%, 它随采样数据的变化动态地调整门限值, 从而满足了时间敏感应用的要求, 适合于一次性查询和持续性查询.

关键词: 无线传感器网络; 定向扩散; 时间敏感; 动态门限

中图分类号: TP393 **文献标识码:** A **文章编号:** 0253-987X(2007)12-1411-03

Directed Diffusion Algorithm Based on Dynamic Threshold

Yang Jun^{1,2}, Zhang Deyun¹, Hu Ning³

(1. School of Electronics and Information Engineering, Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710049, China; 2. School of Mathematics and Computer Science, Ningxia University, Yinchuan 750021, China; 3. Aeronautics Computing Technique Research Institute, China Aviation Industry Corporation I, Xi'an 710068, China)

Abstract: By analyzing the model of transmission energy consumption of the WSN nodes and on the basis of study on time-sensitive applications, a control algorithm based on dynamic threshold mechanism is presented to improve the directed diffusion algorithm. Utilizing the inherent correlation of sample data and non-hard threshold and after realizing the dynamical adjustment of threshold according to the transmission interval of sample data, the basic directed diffusion algorithm is improved. Simulation studies demonstrate that the proposed algorithm can decrease the wireless transmission times so as to extend the lifetime of sensor nodes of WSN by more than 30%. It can adjust the threshold dynamically with changing of sample data, and thereby satisfy the requirements of time-sensitive application, and it is suitable for one-off and persistent queries.

Keywords: wireless sensor network; directed diffusion; time-sensitive; dynamic threshold

无线传感器网络的能量消耗主要来源于节点的感知、数据的无线传输和处理 3 个操作, 其中无线传输能耗超过其他 2 项操作, 因而很多路由算法也都是通过减少节点的数据传送量或传送次数来减少无线传输, 如定向扩散算法(DD^[1-2])、低能耗自适应分簇^[3](LEACH)算法等. 这类算法大多利用了无线传感器网络本身的特点, 忽略了采样数据的内在相关性. 阈值敏感能量有效协议^[4](TEEN)和混合阈

值敏感能量有效协议^[5](APTEEN)等, 均通过门限来减少数据的传送次数, 达到节能且满足时间敏感的需求, 但是 TEEN 协议不能主动地进行门限调整, 而 APTEEN 协议也必须在簇头的控制下完成调整.

在无线传输能量消耗建模的基础上, 本文提出了一种基于动态门限的路由算法, 它利用采样数据内在的相关性, 根据数据的发送间隔实现门限的动

态调整.

1 算法描述

1.1 问题建模和分析

文献[6]中定义无线传感器网络生命期为网络初始到第一个节点死亡之间的时间长度,据此网络剩余能量被定义为网络当前所有节点中剩余能量最小者,因此设计无线传感器网络的传输目标是:在网络生命期内,通过最优的传输策略来减少传输次数,在满足时间敏感应用的基础上,获得尽可能大的节能效率.

设无线传感器网络的拓扑为 $G=(V, \zeta)$, 其中 $V=\{V_1, V_2, \dots, V_N\}$ 是网络的节点集合, ζ 为拓扑的邻接表矩阵 $\{e_{ij}\}$, 节点 $i \in V$ 的初始能量为 E_{0i} . 在网络生命期内采集数据需要从 i 节点向 j 节点传输单位数据包的次数为 $T_{ij} (i, j \in V)$, 相应的每个节点的传输能耗为 $E_{ci} (i \in V)$, 显然 E_{ci} 是 T_{ij} 的函数. 根据网络剩余能量的定义, 优化的传输方案应是极小化的节点传输能耗, 从而极大化的节点剩余能量

$$\max E_i = E_{0i} - \min E_{ci}(T_{ij}) \quad (1)$$

式中: E_i 为网络生命期内执行数据传输后节点 i 的剩余能量. 为此, 可借鉴时间滑动窗口的思想, 来保证在最近的一段时间窗 $T=t_u-t_l$ 内节点的传输次数最少, 即 $\min T_{ij}$.

1.2 相关定义

定义 1 节点发送的采样数据可以看作是在一定时间段内依先后次序流入的数据集合, 每个数据可以看作是一个有时间戳的二值数据, 则数据窗口

$$D_{\text{Window}} = \{\langle D_i, T_i \rangle \mid \langle D_l, T_l \rangle, \langle D_{t+1}, T_{t+1} \rangle, \dots, \langle D_u, T_u \rangle\}$$

定义 2 函数

$$\delta(x) = \begin{cases} 1 & x \geq 0 \\ 0 & x < 0 \end{cases} \quad (2)$$

定义 3 采样数据的门限值 $D_{\text{Threshold}}$ 应是设定的相邻 2 个采样数据绝对差值的阈值.

定义 4 动态门限控制的传输策略是: 只有当前采样数据值与上一次采样数据值的绝对差值大于门限时, 即当前采样值 $\langle D_i, T_i \rangle$ 属于发送集合

$$S_{\text{Send}} = \{\langle D_i, T_i \rangle \mid |D_i - D_{i-1}| \geq D_{\text{Threshold}}\} \quad (3)$$

此时数据才被真正地传送. 由式(2)、式(3)可知

$$T_{ij} = \sum_{i=1}^{u-l} \delta(|D_{i+1} - D_i| - D_{\text{Threshold}}) \quad i = 1, 2, \dots, u-l \quad (4)$$

在不考虑具体应用和时延要求的情况下, 由式

(4)取极小, 可得

$$D_{\text{Threshold}} = \max(|D_{i+1} - D_i|) \quad i = 1, 2, \dots, u-l \quad (5)$$

从而 $\min T_{ij} = 0$. 在考虑时间敏感应用和实际的情况下, 本文利用超时发送数据的个数占发送数据总数的比例来动态地控制门限值 $D_{\text{Threshold}}$, 从而使 T_{ij} 取得的值满足时间敏感和能耗节省的要求.

定义 5 在超时阈值 T_{Timeout} 内, 如果相邻 2 次差值没有达到门限值, 此后则强制发送一次数据.

定义 6 当前采样数据与上一次发送数据的差值小于门限值, 且经历的时间 $t \geq T_{\text{Timeout}}$ 时, 则强制发送, 此时超时发送集合

$$S_{\text{Force}} = \{\langle D_i, T_i \rangle \mid (|D_i - D_{i-1}| < D_{\text{Threshold}}) \&\& (t \geq T_{\text{Timeout}})\} \quad (6)$$

定义 7 允许超时发送数据的个数占数据发送总数的比例为超时发送比例 α , α 的区间参数为 $\Delta\alpha$.

定义 8 将 S_{Force} 发送个数占数据发送总数的比例 R_{Timeout} 作为门限调整条件, 即

$$R_{\text{Timeout}} = \left(\frac{|S_{\text{Force}}|}{u-l+1} \right) \quad (7)$$

定义 9 门限调整速度的控制参数为 β .

1.3 动态门限调整策略

当 R_{Timeout} 大于设定比例 α 的小区间时, 应降低门限值, 相反则增大门限值. 如果 R_{Timeout} 在 α 的小区间范围内无需调整门限值, 即: ①当 $R_{\text{Timeout}} > \alpha + \Delta\alpha$, 则 $D_{\text{Threshold}} = D_{\text{Threshold}}/\beta$, 这说明超时发送的比例太大, 也就是门限设置得太高; ②当 $R_{\text{Timeout}} < \alpha - \Delta\alpha$, 则 $D_{\text{Threshold}} = \beta D_{\text{Threshold}}$, 这说明超时发送的比例太小, 也就是门限设置得太低; ③当 $\alpha - \Delta\alpha \leq R_{\text{Timeout}} \leq \alpha + \Delta\alpha$, 则 $D_{\text{Threshold}} = D_{\text{Threshold}}$, 这说明处于这个区间的门限值设置得比较合适.

2 定向扩散算法的扩展及算法开销分析

2.1 双向拉协议的工作过程

DD 算法是以数据为中心的平面路由协议簇, 该协议分为 2 个阶段. 在第 1 阶段, 接收器(Sink)节点以泛洪的形式向所有节点发送兴趣消息(包含“属性-值”对列表), 源(Source)节点以泛洪的形式发送探测数据包(包含要发送的数据). 兴趣消息在传播过程中, 每个节点会保存“梯度”信息, 梯度是由消息本身和指向发送此消息节点的方向组成, 这样会形成以梯度为索引的遍布整个网络的梯度场. 在第 2 阶段, Sink 节点为响应探测数据包正向增强一个合

适的路径,而在正向增强路径上,Source 节点发送数据。如果第 1 阶段中的 Sink 和 Source 节点都是主动的,则称之为双向拉协议,这也是本文研究的内容。

2.2 DD 算法的扩展

本文扩展了 DD 算法,即增加了动态门限控制,使得 DD 算法支持时间敏感的温度应用,其温度监测任务可设定从 10 min 后开始,执行时间为 50 min,传感器节点的采样频率为 2 次/s(间隔 0.5 s)。当采样与发送的温度差值大于门限值(初始值为 2 °C),节点才真正传送本次采样值;当温度差值小于门限值且在 2.5 s 内没有传送数据,就强制发送当前的采样值。

2.3 算法开销分析

算法的主要开销是在数据窗口 D_{Window} (定义 1)内进行的相邻 2 个数据之间的比较运算,令窗口的大小 $k=u-l$,因此算法总共比较 $k-1$ 次,其时间复杂度和空间复杂度均为 $O(k)$ 。

3 仿真实验

3.1 实验环境

本文利用 NS2 中 DD 算法源代码进行扩展,实验的模拟数据源是正态分布的($E_x=30, D_x=10$),场景为 50 个节点随机分布在 160 m×160 m 的区域内,随机选择 5 个数据源和 1 个 Sink 节点,数据采样频率为 2 次/s,产生的数据包大小为 64 B, Sink 节点以 5 s 的间隔发送兴趣消息,兴趣消息的大小为 36 B。传感器节点采用 1.6 Mb/s 的 IEEE 802.11 MAC 协议,节点空闲能耗为 35 mW,接收能耗为 395 mW,发送能耗为 660 mW,频率为 914 MHz,节点的信号传送半径为 40 m。初始门限值设定为 2 °C,传送超时为 5 个采样周期(2.5 s),实验终止条件是直到所有节点能量耗尽为止,并以第 1 个节点的死亡时间作为传感器网络寿命的衡量标准。

3.2 数据分析

本文算法使用了 2 个参数,即生存节点数目(TNNA)和节点生命期(LON),以衡量无线传感器网络整体覆盖范围随时间变化的情况。

3.2.1 不同门限机制对节点生命期的影响 动态门限机制(硬门限($E_x=30$)机制、门限机制、硬门限与门限相结合机制(也称为软门限)、无门限机制)对节点生命期的影响如图 1 所示。从中可以看到,采用门限机制可减少采样数据在平稳变化时的传送次数,大大降低了节点的发送、接收能耗,使得节点的

生命期延长了 30% 左右。仅采用硬门限机制,在延长节点生命期上没有显著的效果,而采用门限机制或采用硬门限与门限相结合机制,节点生命期的延长效果很接近,这说明采用硬门限可以节能,但能力是有限的,实验也证实了这一观点。

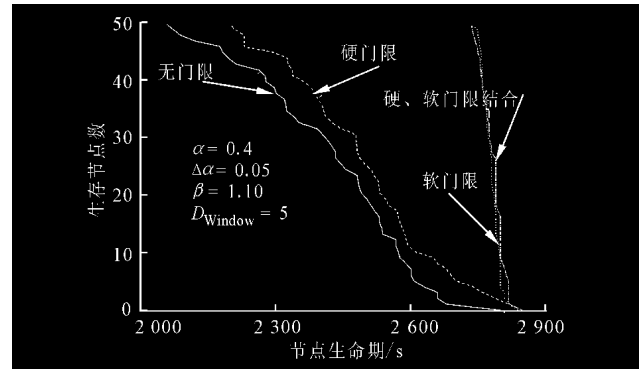


图1 动态门限机制对节点生命期的影响

3.2.2 发送窗口的大小对节点生命期的影响 门限的调整依赖于窗口的大小,在采用硬门限、门限机制下,窗口大小对节点生命期会产生影响,如图 2 所示。从中看出,窗口越大,节点发送数据的效率越高,但节点的生命期越短。

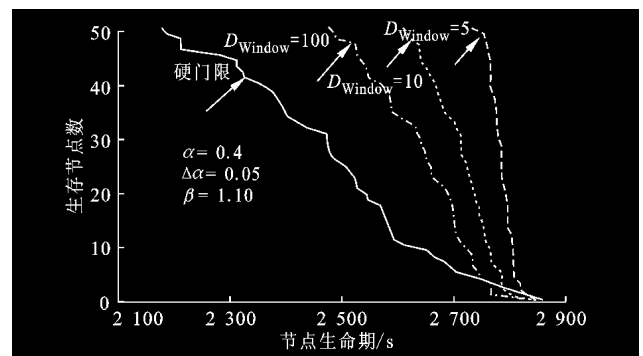
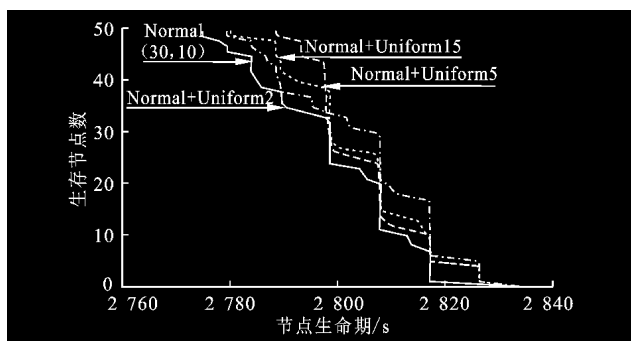


图2 窗口大小对节点生命期的影响

3.2.3 不同平滑程度的数据源对算法的影响 为了比较不同平滑程度的数据源对算法的影响,可对正态分布的数据连续进行 2 次插值平滑处理,使得相邻的数据差值服从均值(2,5,15)且均匀分布,再通过 4 种不同的数据源来考察算法的性能。随着数据的变化,门限会作出相应的调整,所以数据源不会一直以较高速率发送数据,节点的数据发送速率应接近于系统稳定时的情况,如图 3 所示。

4 结束语

本文分析了无线传输中通过减少传送次数达到



$Normal(30,10)$:采用均值为30、方差为10的数据源;

$Normal+Uniform(15,5,2)$:采用相邻数据差值均值分别为(15,5,2)的方法对数据源进行平滑处理

图3 不同平滑程度的数据源对节点生命期的影响

节能路由的方法,并在对传输能耗建模的基础上,提出了一种基于动态门限的 DD 算法.它利用采样数据内在的相关性,根据数据超时发送的比例实现门限的动态调整,因此减少了采样数据在平稳时的发送次数,延长了节点的生命期,仿真实验结果也证实了本文的观点.

参考文献:

- [1] Intanagonwivat C, Govindan R, Estrin D, et al. Directed diffusion for wireless sensor networking[J]. IEEE/ACM Transactions on Networking, 2003, 11(1):2-16.
- [2] Silva F, Heidemann J, Govindan R, et al. Directed diffusion, USC/ISI-TR-2004-586 ISI[R]. Los Angeles, USA: USC/Information Sciences Institute, 2004.
- [3] Heizelman W B, Chandrakasan A P, Balakrishnan H. An application-specific protocol architecture for wireless microsensor networks[J]. IEEE Transactions on Wireless Communications, 2002, 1(4):660-670.
- [4] Manjeshwar A, Agrawal D P. TEEN: a routing protocol for enhanced efficiency in wireless sensor networks[C]//Proceedings of International Parallel and Distributed Processing Symposium. Piscataway, USA: IEEE, 2001:2009-2015.
- [5] Manjeshwar A, Agrawal D P. APTEEN: a hybrid protocol for efficient routing and comprehensive information retrieval in wireless sensor networks[C]//Proceedings of International Parallel and Distributed Processing Symposium. Piscataway, USA: IEEE, 2002: 195-202.
- [6] Chang J H, Tassiulas L. Maximum lifetime routing in wireless sensor networks[J]. IEEE/ACM Transactions on Networking, 2004, 12(4):609-619.

(编辑 苗凌)