

文章编号:1001-9081(2010)06-1469-03

MP_WSMN 数据融合权重 μ - ξ 的高 QoS 实现

王雪飞

(黄山学院 现代教育技术中心, 安徽 黄山 245021)

(wxf6@hsu.edu.cn)

摘要:为提高无线传感器网络(WSN)的服务质量(QoS),建立了基于多参数传感器微网络(MP_WSMN)数据评价系数 μ ,并形成通信数据重要性系数 ξ 。利用传感数据的可靠性 μ 有效减少了冗余数据占用的带宽;通过系数 ξ 进行拥塞控制与数据融合,增加了重要数据传输可靠性,有效降低了重要数据的丢包率,提高了WSN的QoS。在基于改进的低功耗自适应集簇分层型(LEACH)路由算法仿真与对古民居火灾探测网络的应用均验证了这一结论。

关键词:无线传感网;服务质量;低功耗自适应集簇分层型协议

中图分类号: TP393 **文献标志码:** A

Data fusion weight μ - ξ of MP_WSMN to achieve high QoS

WANG Xue-fei

(Modern Education and Technology Center, Huangshan University, Huangshan Anhui 245021, China)

Abstract: To improve the QoS of Wireless Sensor Network (WSN), this paper set up the sensor data review coefficient μ and the communication data importance coefficient ξ of MP_WSMN. The μ was effective in reducing the redundant data bandwidth. The congestion control and data fusion through ξ effectively increased the reliability of data transmission, and reduced the packet loss rate of the important data. The simulation on the improved LEACH routing algorithm and the application of fire detection network for ancient residences have validated the conclusion.

Key words: Wireless Sensor Network (WSN); QoS; Low Energy Adaptive Clustering Hierarchy (LEACH) protocol

0 引言

多参数无线传感器网络(Wireless Sensor Network, WSN)场景与通信体系、传感器参数、数据传送处理(融合等)高可靠紧密相关。传感数据是场景再现的基础,数据的真实性与传感器系统、通信系统,以及数据中心处理密切相关,通过对这些系统参数的特征选择,提高多参数WSN的场景真实性。

解决通信中的拥塞控制与路由安全是提高通信体系可靠性的有效方法。文献[1-3]认为,解决通信中的拥塞控制与路由安全可以有效提高通信体系可靠性,而网络传感器的标准1451.5与传感环境安全性保证,解决了传感数据生成(或TEDS(Transducer Electronic Data Sheets))与报文可靠性;文献[4-8]对数据融合造成的数据变异、通信中的数据丢弃算法等进行了讨论,提出多参数能量约束与重要数据保护的概念,但在如传感体系失败、节点失效、传感重要数据丢失、网络链接部分超时、融合数据的属性丢失等影响WSN的服务质量(Quality of Service, QoS)方面,考虑得较少。本文引入传感器多参数微网络(Multiple Parameters of Wireless Sensor Micro Networks, MP_WSMN)结构,建立MP_WSMN的数学模型,形成物理、网络的多参数集合与逻辑条件集合,给出微网络下传感数据可靠性的 μ 值判断机制,用 μ 值形成微网络单元融合数据的重要评判系数 ξ ,进行高效的数据融合与拥塞控制,有效提高了WSN的QoS。实验与仿真验证了这一模型的有效性。

1 MP_WSN 简述

图1为WSN的双层拓扑结构,其中单簇头微网络是传感数据的基本单元,对应一个场景单元数据集合。传感器单元

数据通过微网络送到簇头,形成本地数据集合,这是一个具有可靠性 μ 值评价的数据集合,通过数据融合,提出基于场景要求的评判系数 ξ ,并由此确定网络的数据传输权重。网络对不同 ξ 值的数据选择不同的传送方式,确保重要性高的数据不丢失、短时延到达。

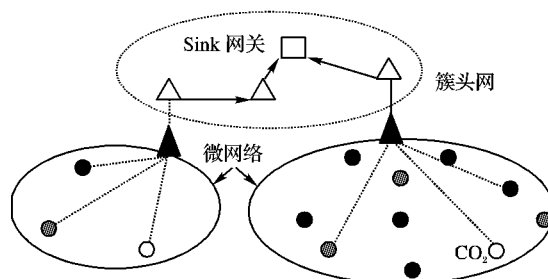


图1 WSN 微网络拓扑示意图

2 MP_WSMN 单元

2.1 MP_WSMN 的可靠性系数 μ

MP_WSMN的基本多传感器参数系统,由传感参数构成离散集合 $A\{x_1, x_2, \dots, x_n\}$,并传送到簇头节点;簇头节点对应存在一个条件集合 $S\{y_1, y_2, \dots, y_k\}$,用于确定MP_WSMN的事件性质。设定条件满足为“真”,不满足为“假”,发生“真”的次数记为 k_0 ,全部为“真”的次数为 k ,产生系数 μ :

$$\mu = k_0/k \quad (1)$$

其中: μ_0 为事件发生阈值(即 $\mu \geq \mu_0$ 时,事件发生)。不同的事件具有不同的 S 集合,事件不同的重要性由对应不同的多个集合或多个 μ_0 值确定,并映射成不同的重要性系数 ξ ,是网络报文传输状态的重要性标志。网络数据的处理也以重要性系

数 ξ 为优先原则。

文中假设 MP_WSMN 满足以下 3 个条件:

1) 微网络内传感器系统周期由取样最长周期的传感器决定。

2) 传感器数据可靠性由微网络的 μ 值决定, 失败节点与传感数据异常(无传感等)的数据均为“假”, 直到节点退出。

3) 簇网(通信)报文由簇头数据融合后生成; 簇成员的数据量不大于簇头节点融合能力; 传感器数据的长度由簇头发送数据报文决定。

2.2 基于 μ 值的事件等级 ξ 值

μ 是集合 $A\{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ 的可靠系数, 条件集合 S 是区分事件的参数集合。表 1 是在簇头形成的不同 μ 与网络传输报文的重要性 ξ 之间关系。

表 1 不同 μ_0 值事件的重要性 ξ 报文映射表

μ 值范围	ξ 值	事件
$\mu < \mu_{10}$	0	普通
$\mu_{10} \leq \mu < \mu_{20}$	1	一般重要
$\mu \geq \mu_{20}$	2	重要

其中存在 S_{10} 和 S_{20} 两个集合(事件逻辑), 对应事件阈 μ_{10} 和 μ_{20} 。

事件发生的可靠性由系数 μ 决定, MP_WSMN 的 μ_0 值对应的事件; 不同的条件 μ 值可映射为离散值 ξ , ξ 决定了传感器数值报文的紧急程度(重要性)。

2.3 MP_WSMN 的报文结构

MP_WSMN 通信分为两部分: 簇成员路由与簇头网路由(Sink 寻路)形成。簇头是由节点选择产生, 并负责数据的融合。

簇成员利用 TEDS 完成如下所示的数据融合, 形成的报文向簇头发送:

簇 ID
节点 ID
多参数排列类型
传感数值长度
传感数值 1
...
传感数值 k
时间或位置

簇头在收集到簇成员的数据后, 进行数据融合形成 μ 和 ξ 值。形成如下所示的格式进行簇间通信:

源节点地址
会聚中心或目的地址
报文类型
节点 ID_1 数据
...
节点 ID_n 数据
时间与位置
ξ 值

传感数据报文与数据属性报文用于簇内传感器数据传送, 簇头节点将传感器数据形成通信数据报文, 由簇头传送到网关(Sink)节点。

2.4 基于 ξ 值的拥塞控制算法

单元簇网一般不会发生拥塞。而簇头网与网关(Sink)之间容易发生拥塞, WSN 拥塞控制, 保证 WSN 中重要数据的可达, 而对冗余较大等的普通数据采用优先丢弃算法, 减轻网络负荷, 解决网络的拥塞。

在 WSN 中(簇头)发现本地队列存在过老旧的数据或数据队列过长时, 向一跳源节点发出拥塞报文, 源节点与本节点采用 ξ 值判定数据丢弃算法。过程如下:

```

IF( $\xi = 0$ )
    丢弃或周期性丢弃
Else
    数据融合并传送
  
```

所有处于拥塞的节点均使用 ξ 控制下的通信, 使得簇头网拥塞快速控制。拥塞结束后, 发出解除报文或由路由维护程序自动解除。

2.5 μ_0 值生成过程中的两个问题

从第 3 章的实验可发现: μ_0 值的确定应该考虑到节点失败与传感器的异常问题, 在处理中使用了归“常规”处理方法, 也就是将判断为节点失败(有通信报文没有传感数据)与传感器异常(节点邻居或相似(近距离)区域其他传感数据差异过大)均归为数据正常。这样避免出现事件的 A 元素 X 可能全部为“真”的情况。反复实验后认为, μ_0 值应该为理论理想值的 0.6, 也就是传感器与节点完全可靠时, A 集合元素达到 μ_0 条件的数量为 60% 时, 应该视为事件发生。

实际上还存在数据融合造成的数据变异与网络的不安全(如位置与时间错误)造成的事件误报或漏报。因此簇头数据融合(或二次融合)中采用 ξ 判定, 在排除簇节点的位置信息与时间信息(Sink 端也可再判定)失常后, 因为网络的误报基本消除(没有观察到), 所以避免了误报与漏报发生。

3 应用实验与仿真

3.1 高可靠古民居早期火灾探测网络实例

以明清建筑为主的安徽省黄山市老街利民巷 ** 号是属于国家文化遗产保护居民区内的两个建筑群, 建筑结构以砖木徽式 2 或 3 层建筑, 主要有商店、居住区、公共用房等, 布置建立传感器早期火灾探测网络, 由 4 个簇网组成。

对表 2 所示的 4 个典型的民居正常状态下温度传感器数值分析如下:

从表 3 ~ 4 中选择温差与民居重要温度 60℃、200℃ 为条件集合 S_{10} 、 S_{20} 。

表 5 ~ 6 是对于在 2006 年 12 月 17 日下午, A 民居炭火烘烤引起的早期火灾现象的数据分析(表中采用 12 小时计时制), 从 1:00 到发现至浓烟扑灭(3:30)的传感器数据过程。

A 民居紧邻两个房间早期火灾探测过程(温度 + μ - ξ 融合算法)传感器温度差值, 每个房间有两个温度测试点, 采用房间编号在公共网关上形成虚拟簇头 μ 值, 4 个房间共用 1 个簇头, 探测网络有 4 个簇头、79 个温度传感节点和 16 个感烟传感节点。

条件集合 S 以每天 12 次等间隔抽样(每 2 小时一次), 计 3 天(确定无火灾)修正值形成(如表 4)。确定如表 3 ~ 4 的着火点(卧室)温差为 7℃, 构成条件值集合, 大于等于此值为

ξ 警告区,温度大于 200℃ 为火灾发生。但对于公用地,由于平时均值为 1℃,所以,条件值为大于 1℃ 则进入警告区。进入警告区后采样时间与数据发送时间缩短(10 min 与 5 min 两级(温度大于 70℃))。

表2 传感器微网络单元的 S 集合形成

单元性质	公共场所(厕所)		卧室		杂物间		厨房	
	温差/℃	空间/m ³	温差/℃	空间/m ³	温差/℃	空间/m ³	温差/℃	空间/m ³
A 民居	1.0	3×2.7×3.2	7.0	4.2×2.7×3.2	2.1	1.9×3.7×3.2	4.4	2.4×3.7×3.2
B 民居	5.0	3.2×2.4×3.2	6.3	3.7×2.7×3.2	6.8	0.9×1.8×3.2	15.3	1.5×2.1×3.2
小吃店	11.0	3×4.7×3.0	6.2	1.3×2.6×3.0	11.0	0.9×1.7×3.0	16.2	2.3×1.7×3.2
商店	2.3	13×4.7×3.0	9.1	2.3×2.7×3.0	2.0	1.3×2.0×3.0	14.6	1.3×2.7×3.02

注:温差是指一天之内最高温度与最低温度之差的平均值。

表3 早期火灾发生过程数据采集记录(卧室(着火点))

温度/℃	ξ 值	时间	温度/℃	ξ 值	时间
1	0	1:10	61	1	2:40
3	0	1:30	87	1	2:45
9	1(警告)	1:50	119	1	2:50
17	1	2:10	151	1	2:55
28	1	2:20	179	1	3:05
41	1	2:30	207	2(火灾)	3:10

表4 早期火灾发生过程数据采集记录(厕所(紧邻参考点))

温度/℃	ξ 值	时间	温度/℃	ξ 值	时间
1	0	1:10	14	1	2:40
2	1(警告)	1:40	18	1	2:45
4	1	1:50	23	1	2:50
7	1	2:10	30	1	2:55
9	1	2:20	49	1	3:05
10	1	2:30	66	1	3:10

早期火灾发生时间处于警告阶段有 2 个多小时,3:30 火灾后没有造成后果。网络采用了 4 跳通信(簇内 1 跳,簇头最远为 3 跳),网关接收后处理。从 2006 年 3 月到发生火灾的可靠预警运行了 9 个月,没有发现数据丢失。

3.2 通信可靠性的仿真实验

采用 OPNET Technology 公司的仿真软件 OPNET 11.5 对以上算法进行仿真。路由改自低功耗自适应集簇分层型(Low Energy Adaptive Clustering Hierarchy, LEACH)协议^[8], LEACH 分为簇准备阶段(set-up phase)和可稳定通信的就绪阶段(ready phase),簇准备阶段和就绪阶段称为一轮(round)。在准备阶段,确定簇头并形成簇头网络;在通信阶段(ready phase),簇内节点向簇头发送数据,簇头完成向数据中心(Sink 节点)的通信,当选簇头启动基于 μ 值(ξ 值)的拥塞控制算法与数据融合算法,将数据报文传送到数据处理中心完成探测。

考虑由 10 个单元簇网,簇头网的簇头最大 3 跳可达网关;每个簇网由 16 个节点组成;WSN 内随机有不大于两个簇网探测范围内出现早期火灾事件;仿真参数如表 5;仿真 LEACH 协议与改良后 LEACH 协议的数据丢包率。

可见,在无(火灾)事情件发生时,网络处于长休眠与短唤醒状态,优化后的 LEACH 协议丢包率是没有优化协议的 1/4;而有 2 个簇中发生(火灾)事件时,优化后的 LEACH 协议丢包率更低,约为没有优化 LEACH 协议的 1/8;多簇头数据增加时,改进的协议明显提高了性能,说明了事件数据报文重要性 ξ 值,有效减少了拥塞现象中的重要数据丢失;而火灾预警探测网络中,多簇同时发生事件的可能性还是较小的,但基于数据重要性的路由技术,对提高 WSN 重要数据的 QoS,

具有实用价值。

表5 场景描述

名称	参数与说明
网关节点(Sink)	1(带宽 250 Kbps)
节点数目	160
节点间距	1~100 m
节点最大带宽	60 Kbps
天线类型	全向天线
电池容量	650 mAh
最大功耗	≤80 mW
空闲功耗	3 mW
仿真协议	LEACH 改进协议
仿真时间	7200 s

仿真结果如图 2 所示。

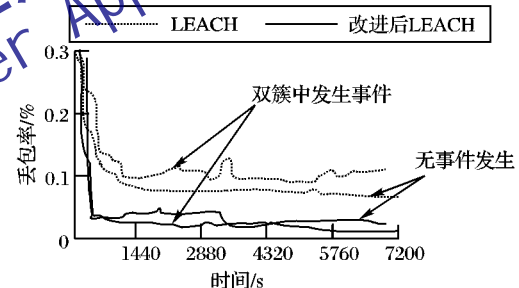


图2 改进 LEACH 协议前后网络丢包率仿真

4 结语

1) 可靠系数 μ 值与映射 ξ 值,有效控制了拥塞产生,降低了有效数据的丢包率,提高了传输可靠性。

2) 基于 μ 值的数据融合与展开,为重要场景再现提供了具有“可靠程度(μ 值)”的参考。

3) 条件 μ_0 值的产生,选择了经验值;采用了理想值的 0.6 关系来完成对 ξ 的映射,实验发现有效消除了误报与漏报。

μ - ξ 值的使用,提高了 WSN 的 QoS,并为重要数据可靠传送建立了保障通道,在数据融合中减少的冗余信息,有效减小了拥塞控制中丢弃的重要数据,同时也降低了丢包率。当采用 μ_0 值为理想值的 60% 时,误报与漏报有效减少(没有发现误报、漏报),证实了 WSN 的高 QoS,而 μ_0 值的选择有待进一步研究。

参考文献:

- [1] YOUNIS M, AKKAYA K, ELTOWEISSY M, et al. On handling QoS traffic in wireless sensor networks [C] // Proceedings of the 37th Annual Hawaii International Conference on System Sciences. Washington, DC: IEEE Computer Society, 2004: 4653-4662.
- [2] AGRE J, CLARE L. An integrated architecture for cooperative sensing networks [J]. IEEE Computer Magazine, 2000, 33(5): 106-108.

(下转第 1529 页)

$$H_{ij}(x_i, x_j) = \frac{\left(-\frac{1}{2n_i \ln 2} \sum_{k \in I_i} ((A_i)_i + (A_i)_j) \right)^2 + \left(-\frac{1}{2n_j \ln 2} \sum_{k \in I_j} ((A_j)_i + (A_j)_j) \right)^2}{\left(-\frac{1}{2n_i \ln 2} \sum_{k \in I_i} ((A_i)_i + (A_i)_j) \right) + \left(-\frac{1}{2n_j \ln 2} \sum_{k \in I_j} ((A_j)_i + (A_j)_j) \right)} \quad (10)$$

其中:

$$(A_i)_i = \mu_{ik} \ln \mu_{ik} + \gamma_{ik} \ln \gamma_{ik} - \ln(1 - \pi_{ik}) - \pi_{ik} \ln 2$$

$$(A_i)_j = \mu_{jk} \ln \mu_{jk} + \gamma_{jk} \ln \gamma_{jk} - \ln(1 - \pi_{jk}) - \pi_{jk} \ln 2$$

$$(A_j)_i = \mu_{ik} \ln \mu_{ik} + \gamma_{ik} \ln \gamma_{ik} - \ln(1 - \pi_{ik}) - \pi_{ik} \ln 2$$

$$(A_j)_j = \mu_{jk} \ln \mu_{jk} + \gamma_{jk} \ln \gamma_{jk} - \ln(1 - \pi_{jk}) - \pi_{jk} \ln 2$$

其中:集合 $I_i = \{k | \text{样本 } x_k \text{ 属于第 } i \text{ 类}\}$, $1 \leq i \leq c$; n_i 表示第 i 类样本集的元素个数; μ_{ik} 表示第 k 个样本对于第 i 类的隶属度; γ_{ik} 表示第 k 个样本对于第 i 类的非隶属度; π_{ik} 表示第 k 个样本对于第 i 类的犹豫度。

4 实例验证

实验采用 IRIS 数据作为验证数据。IRIS 数据是国际公认的比较无监督聚类方法效果好坏的典型数据,它包含 3 类,每一类各有 50 个样本点,每个样本点有 4 个属性,数据特点是第一类和其他类离得较远,第二类和第三类数据离得较近,且有部分重叠。首先,对测试数据集进行直觉化处理。本文采用一种比较简单的处理方法,取各维元素最大值为 1,其他元素取与该维元素最大值的比值作为其隶属度,且令直觉指数为 0 即可。然后,采用文献[5]提出的直觉模糊聚类方法对数据进行聚类分析。

实验中依次取 $c = 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10$, $m = 1.5, 2, 2.5$, 不考虑权重向量,故令 $\omega = (1, 1, 1, 1)$; 通过基于目标函数的直觉模糊聚类方法获得划分隶属矩阵和划分非隶属矩阵,进行聚类有效性分析,分析结果如表 1 所示。

表 1 聚类有效性分析结果

类别数 c	$m = 1.5$	$m = 2$	$m = 2.5$
2	0.0652	0.1839	0.3081
3	0.1499	0.2738	0.4180
4	0.2144	0.4789	0.6685
5	0.2128	0.4556	0.6330
6	0.2306	0.4532	0.6213
7	0.2301	0.4467	0.6154
8	0.2589	0.5200	0.7044
9	0.3467	0.5817	0.7009
10	0.3450	0.6802	0.8018

由表 1 可见,当 $m = 1.5, 2, 2.5$ 时, Sub 在 $c = 2$ 时均取得最小值,在 $c = 3$ 时取得次最小值,符合 IRIS 数据的特点,同时该聚类有效性函数对 m 具有良好的鲁棒性,而且该结果与利用文献[5]中的方法所得结果是一样的。

为了验证该划分方案的可靠性,取 $m = 2, c = 3$, 计算各类间的直觉模糊划分熵,其值如表 2 所示。

表 2 各类间的直觉模糊划分熵值

类别	第 1 类	第 2 类	第 3 类
第 1 类	1.0000	0.3290	0.3170
第 2 类	0.3290	1.0000	0.4264
第 3 类	0.3170	0.4264	1.0000

从表 2 看出,该划分方案下,各类间的直觉模糊划分熵皆小于 0.5,取得了良好的划分效果,即各类间的重叠程度很低;而且可以看出第 2 类与第 3 类联系较密切,第 1 类与其他类离得较远,符合实际。这充分说明了直觉模糊划分熵在验证模糊聚类结果的可靠性方面是很有效的。

5 结语

经实例验证分析,本文提出的基于直觉模糊包含度的聚类有效性函数能反映出数据集的几何结构和分布情况;而且样本数据可以是直觉模糊数据,也可以是普通集合;同时直觉模糊划分熵在验证模糊聚类结果的可靠性方面是很有效的。

该方法丰富了直觉模糊集合理论,拓宽了其应用范围,解决了直觉模糊聚类类别数 c 的判定问题。但是该方法没有综合考虑直觉模糊聚类函数分类后产生的各项信息,过于依赖聚类后隶属矩阵和非隶属矩阵的好坏程度。对此,还需要进一步深入研究。

参考文献:

- [1] ATANASSOV K. Intuitionistic fuzzy sets [J]. Fuzzy Sets and Systems, 1986, 20(1): 87-96.
- [2] 雷英杰,王涛,赵晔,等. 直觉模糊匹配的语义距离与贴近度[J]. 空军工程大学学报, 2005, 6(1): 69-72.
- [3] 张洪美,徐泽水,陈琦. 直觉模糊集的聚类方法研究[J]. 控制与决策, 2007, 22(8): 882-888.
- [4] 陈东锋,雷英杰,田野. 基于直觉模糊等价关系的聚类算法[J]. 空军工程大学学报, 2007, 8(1): 63-65.
- [5] 申晓勇,雷英杰,李进,等. 基于目标函数的直觉模糊聚类方法[J]. 系统工程与电子技术, 2009, 31(11): 2732-2735.
- [6] 徐小米,雷英杰,赵学军. 基于直觉模糊熵的直觉模糊聚类[J]. 空军工程学报, 2008, 9(2): 80-83.
- [7] 高新波. 模糊聚类分析及其应用[M]. 西安: 西安电子科技大学出版社, 2004: 115-118.
- [8] 路艳丽,雷英杰. 直觉模糊集的包含度[J]. 计算机科学, 2009, 36(1): 134-137.
- [9] VLACHOS I K, SERGIADIS G D. Intuitionistic fuzzy information — Applications to pattern recognition [J]. Pattern Recognition Letters, 2007, 28(2): 197-206.
- [10] 孙才志,林学钰. 模糊划分有效性函数的构建与应用[J]. 系统工程理论与实践, 2004, 24(2): 106-110.

(上接第 1471 页)

- [3] 孙利民,李波,周新运. 无线传感器网络的拥塞控制技术[J]. 计算机研究与发展, 2008, 45(1): 63-72.
- [4] TILAK S, ABU GHAZALEH N B, HEINZELMAN W. Infrastructure tradeoffs for sensor networks [C]// Proceedings of ACM WSNA'02. New York: ACM Press, 2002: 49-58.
- [5] 卿利,朱清新,王明文. 异构传感器网络的分布式能量有效成簇算法[J]. 软件学报, 2006, 17(3): 481-489.
- [6] BANERJEE S, BHATTACHARJEE B, KCMAREDDY C. Scalable application layer multicast [C]// Proceedings of ACM SGCOMM

2002. New York: ACM Press, 2002: 205-217.

- [7] 余荣,孙智,周海军,等. 保证服务质量的最小能量无线传感器网络路由算法[J]. 清华大学学报: 自然科学版, 2007, 47(10): 1634-1637.
- [8] HEINZELMAN W R, CHANDRAKASAN A, BALAKRISHNAN H. Energy efficient communication protocol for wireless micro sensor networks [C]// Proceedings of the 33rd Annual Hawaii International Conference on System Sciences. Washington, DC: IEEE Computer Society, 2000: 1-10.