

doi:10.6041/j.issn.1000-1298.2017.08.035

基于分簇数据融合的农产品冷链温度监控方法

李志刚¹ 刘丹丹¹ 张小栓²

(1. 石河子大学信息科学与技术学院, 石河子 832000; 2. 中国农业大学信息与电气工程学院, 北京 100083)

摘要: 针对现有基于无线传感网络的农产品冷链物流监测系统, 传感器节点数据传输量大, 带宽利用率低、能耗高, 网络生命周期短的问题, 提出了一种基于算术平均值与分批估计的簇内数据融合及自适应加权的簇间数据融合冷链温度监测方法。首先利用疏失误差对采集数据进行预处理, 然后利用平均值与分批估计方法对簇成员节点发送的数据进行融合处理, 最后簇头节点利用自适应加权算法对接收到的成员节点数据进行进一步的融合处理。实验证明, 基于该数据融合方法的冷链监测系统网络生存周期相比传统方法提高了 34.2%, 稳定周期相比于传统低功耗自适应集簇分层型协议提高了 11.4%, 数据融合精度高于传统算术平均值法 7.6%, 系统能耗每轮降低约 32.5%。能够有效降低冗余和可信度较差的数据对测量结果带来的影响, 减少不必要数据传输损耗, 降低了冷链物流成本, 提高了农产品冷链物流信息化程度。

关键词: WSN 无线传感网; 分簇融合; 冷链监测

中图分类号: S126; TS205.7 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2017)08-0302-07

Cold Chain Temperature Monitoring Method of Agricultural Products Based on Clustered Data Fusion

LI Zhigang¹ LIU Dandan¹ ZHANG Xiaoshuan²

(1. College of Information Science and Technology, Shihezi University, Shihezi 832000, China

2. College of Information and Electrical Engineering, China Agricultural University, Beijing 100083, China)

Abstract: In order to reduce the data transmission and energy consumption of sensor nodes and improve the broadband utilization and life cycle in real-time cold chain logistics monitoring system for agri-food based on wireless sensor networks, a clustering fusion method based on arithmetic mean and batch estimation for the cold chain temperature monitoring of agricultural products was proposed. Firstly, the mistake errors of the collected data was eliminated, and then the data which were sent from the cluster member nodes were merged by the mean and the batch estimation method. Secondly, the cluster head node used the adaptive weighting algorithm to further analyze the fusion data of the member nodes. The experimental results showed that the network lifetime of the cold chain monitoring system based on the data fusion method was 34.2% higher than that of the traditional method, and the stability period was 11.4% higher than that of the traditional low power adaptive cluster clustering protocol. Compared with the traditional arithmetic average method, the accuracy of data fusion was improved by 7.6%, the system energy consumption was decreased by about 32.5% per round, which can not only reduce the influence of redundancy and less reliable data on the measurement results, but also reduce the unnecessary data transmission loss, as well as reduce the cost of cold chain logistics and improve the degree of informatization of cold chain logistics to a certain extent.

Key words: WSN wireless sensor network; clustering fusion; cold chain monitoring

引言

生活水平的提高和饮食结构的显著变化,使消

费者对新鲜特色农产品的需求日益增大。但由于农产品本身鲜活的品质特性,当农产品在库冷藏和冷链运输环境中温湿度及各气体比例失衡时,都会造

收稿日期: 2017-04-17 修回日期: 2017-05-23

基金项目: 国家自然科学基金项目(71261021)

作者简介: 李志刚(1970—),男,教授,博士生导师,主要从事农业信息技术及系统开发研究, E-mail: lzg_inf@shzu.edu.cn

成产品软化变质、果实衰老、果粒脱落、果实营养物质损耗和感官评价等级下降等,大大降低了农产品的营养价值和商业价值^[1]。冷链物流的全程无缝监管与追溯是保障农产品品质安全的关键^[2]。

无线传感网络 (Wireless sensor network, WSN) 能够在任何地点和环境条件下多节点采集海量数据的特点使得该技术向冷链物流监控领域的渗透成为趋势^[3]。文献[4-5]利用 ZigBee 技术进行了冷链物流温度监测方法的研究,实现了冷链物流中温度的实时采集与传输。文献[6-10]以 ZigBee 协议为基础,围绕 CC2530 型无线传感片上系统,设计了基于 WSN 技术的冷链物流实时监控系統。文献[11-13]提出并开发了一种基于 WSN 与射频识别技术 (Radio frequency identification, RFID) 的农产品冷链物流实时监测系统。该系统能够实时地对物流过程中产品的品质、标识和温度等进行监控,同时可以提高仓储和冷链配送的效率及准确性。文献[14]研究了集成 WSN 与自适应按需加权 (AOW) 技术的冷链监测系统对葡萄品质的影响,利用 AOW 实现了感知节点监测数据的融合,减少了网内数据的传输。文献[15]构建了一种基于 WSN 和压缩感知的冷链物流监测方法,该方法根据感知数据特征构建了双正交小波变换稀疏矩阵,实现了数据的压缩采样传输。上述研究都能很好地实现冷链物流环境的实时监测与反馈,同时对冷链监测系统的深入探索起到了一定的推动作用。但大部分研究并未考虑到监测系统中节点能耗问题,部分关于监测系统数据融合的研究中,对于节点间的分簇融合方法考虑较为缺乏。基于 WSN 的冷链物流监控系统中,传感节点由电池驱动,能源非常有限^[16]。相关实验表明,WSN 无线传感网络中的能量消耗主要有计算和通信耗费,两者的能耗比大约为 1:3 000^[17]。因此,利用节点的计算能力进行节点分簇与数据融合,通过减少网内异常冗余数据的射频收发来减少网络通信量^[18],是亟需解决的问题。

针对传统冷链物流监测方法的不足,本文集成 WSN 及节点分簇融合技术优势,进行农产品冷链物流监测方法研究。

1 融合原理与模型构建

WSN 无线传感网络中的节点大部分都是通过多跳方式将数据传输给节点。节点在整个网络中的地位是相同的没有任何担任管理任务的节点,节点都是独立工作难以发挥网络中节点之间相互协调、共同完成任务的优势,同时也不利于进行数据压缩技术和数据融合方法的应用。为了解决这些问题,

且不降低服务的质量,基于分簇的数据融合研究成为焦点。

1.1 分簇路由协议

在无线传感网分簇路由算法中,簇群内的节点分为簇头节点和非簇头节点。在分簇路由算法中 WSN 的簇群形成是以簇头产生为前提,该簇头节点则起到管理站的作用,对该簇群中的节点和数据进行有效的管理。网络中簇头产生后,簇成员节点根据簇头的位置或者能量等重要信息加入相应的簇,从而形成相应的簇群。在簇群内部,簇成员节点通过一跳或者多跳的方式与簇头节点进行通信。在簇群之间,簇头节点通过单跳或多跳的方式与节点进行数据通信^[19],这样会大幅度地减少数据通信量,并节省网络能量。

本文主要针对传统低功耗自适应集簇分层型协议 (Low energy adaptive clustering hierarchy, LEACH) 簇头节点在整个网络中分布不均匀,产生局部过稀疏的情况,以及已经当选过簇头的节点和能量低的节点有可能再一次被当选,加快能量消耗,导致节点过早死亡,在网络中产生盲区等问题。利用改进 LEACH 路由协议,考虑到无线传感器网络中节点初始能量和剩余能量的异构特性,为了在一定程度上避免网络中初始能量较小的节点过早死亡,将无线传感节点分为高能量节点和普通节点,利用相关算法使高能量节点被选为簇头的机会大于普通节点,高能量节点轮转周期短于普通节点。在理想情况下,这种加权轮转分簇方法使得高能量节点和普通节点几乎在同一时间死掉,从而延长了整个网络系统的稳定运行时间。

1.2 疏失误差的处理

传统的异常数据判断方法主要有莱特准则、格罗贝斯判据准则和分布图法。莱特准则是建立在测量次数 n 趋于无限大的情况下,当 n 较小时,采用莱特准则的方法就很不可靠^[20]。格罗贝斯准则是一种基于被测值服从正态分布的递归算法,但此方法一次只能剔除一个误差值,需多次反复运算才能消除多个误差,增加了算法运行时间。实践证明,对于可用传感器较少时得到的温度测量数据,利用分布图法可以很好地剔除疏忽误差^[21],且软件设计相对容易实现,故该研究中采用分布图法对含有疏失误差的冷链监测温度数据进行处理。

具体步骤如下:

(1) 将所测得的 N 个测量数据 T_i 按递增进行排序,得到一数据序列: $T_1, T_2, \dots, T_N$, 其中 T_1 为下限值, T_N 为上限值。

(2) 定义中位数: $T_M = T_{(N+1)/2}$ (N 为奇数);

$T_M = (T_{N/(2+1)} + T_{N/2})/2$ (N 为偶数)。

(3)同理定义上四分位数 T_H 为 $[T_M, T_N]$ 的中位数,下四分位数 T_L 为 $[T_1, T_M]$ 的中位数,四分位数离散度 $d_T = T_H - T_L$ 。

(4)确定有效数据的判断区间为 $\left[T_L - \frac{K}{2}d_T, T_H + \frac{K}{2}d_T\right]$,其中 K 为常数, K 值根据数据列大小和精度要求来确定 (通常取 K 为 1),即认为 $T_i - T_M > Kd_F$ 的数据为无效数据, $T_i - T_M \leq Kd_F$ 的数据则认为有效的一致性数据。

由于 T_M 、 T_H 和 T_L 的选取和数据列的极值点无关,仅取决于测量数据的位置分布,从而增强了其后续要进行的数据融合处理的鲁棒性。

1.3 基于算术平均值与分批估计的簇内融合

利用疏失误差对数据预处理之后,为了找到一个能真实反映当前情况的数据,同时减少数据传输量,在簇头处利用平均值与分批估计方法对簇成员节点发送来的数据进行融合处理,将每一簇内数据按其传感器安装位置分为 2 组,为了减小数据处理误差,相邻两传感器尽量不被分在同一组,对簇内 2 组数据的平均值采用分批估计算法,估计出接近温度真值的融合值 T^+ ,以消除测量过程中的不确定性。

具体方法是:

设将利用分布图法得到的簇内一致性数据分为组:① $T_{11}, T_{12}, \dots, T_{1m}$ ($m \leq N/2$); ② $T_{21}, T_{22}, \dots, T_{2c}$ ($c \leq N/2$)。

簇内 2 组数据算术平均值为

$$T_{(1)} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m T_{1i} \tag{1}$$

$$T_{(2)} = \frac{1}{c} \sum_{i=1}^c T_{2i} \tag{2}$$

相应的标准偏差分别为

$$\sigma_1 = \sqrt{\frac{1}{m-1} \sum_{i=1}^m (T_{1i} - T_{(1)})^2} \tag{3}$$

$$\sigma_2 = \sqrt{\frac{1}{c-1} \sum_{i=1}^c (T_{2i} - T_{(2)})^2} \tag{4}$$

则根据分批估计理论可得到温度融合值的方差为

$$\sigma = \frac{\sigma_1^2 \sigma_2^2}{\sigma_1^2 + \sigma_2^2} \tag{5}$$

最后得出温度估算值 T^+ 为

$$T^+ = \frac{\sigma_2^2}{\sigma_1^2 + \sigma_2^2} T_{(1)} + \frac{\sigma_1^2}{\sigma_1^2 + \sigma_2^2} T_{(2)} \tag{6}$$

由上述融合原理可知,进行簇内分批估计数据

融合处理之后,每个簇内的若干个簇成员数据变为一个簇头数据,这样簇内由大量节点采集的多节点数据变为与簇头数目相等的几个数据,从而大大减少通信数据量。

1.4 基于自适应加权的簇头数据融合

假设 n 个传感器节点的感知数据均方误差分别为 $\sigma_1^2, \sigma_2^2, \dots, \sigma_n^2$,同时各传感器节点测量值分别为 $X_1, X_2, \dots, X_n$,它们相互独立,并且是 X 的无偏估计,各传感器权重因子分别为 $W_1, W_2, \dots, W_n$,则融合后的 X 真值和权重因子分别满足

$$\hat{X} = \sum_{p=1}^n W_p X_p \tag{7}$$

$$\sum_{p=1}^n W_p = 1 \tag{8}$$

总均方误差为

$$\sigma^2 = E[(X - \hat{X})^2] = E\left[\sum_{p=1}^n W_p^2 (X - X_p)^2 + 2 \sum_{p=1, q=1, p \neq q}^n W_p W_q (X - X_p)(X - X_q)\right] \tag{9}$$

因为 $X_1, X_2, \dots, X_n$ 相互独立,并且为 X 的无偏估计,所以

$$E[(X - X_p)(X - X_q)] = 0 \tag{10}$$

($p \neq q; p = 1, 2, \dots, n; q = 1, 2, \dots, n$)

故 σ^2 可写成

$$\sigma^2 = E\left[\sum_{p=1}^n W_p^2 (X - X_p)^2\right] = \sum_{p=1}^n W_p^2 \sigma_p^2 \tag{11}$$

由式(8)~(11)可知,均方误差 σ^2 为多元二次函数,因此 σ^2 必然存在最小值,根据多元函数极值理论,权重因子最小值为

$$W_p^* = \frac{1}{\sigma_p^2 \sum_{i=1}^n \frac{1}{\sigma_i^2}} \quad (p = 1, 2, \dots, n) \tag{12}$$

所对应的最小均方误差为

$$\sigma_{\min}^2 = \frac{1}{\sum_{p=1}^n \frac{1}{\sigma_p^2}} \tag{13}$$

经过自适应加权数据处理后,各个簇头数据在基站处融合为一个数据后发送至监控管理中心。监控管理中心以此数据为基准,进行后续的冷链监测和管理。节点分簇与数据融合步骤如图 1 所示。

1.5 网络能量消耗

由于 WSN 无线传感网能量消耗主要集中在数据传输阶段,因此本文主要着眼于研究传输阶段的能量消耗。如图 2 所示即为无线传感器节点的数据无线发射及接收过程。

无线传输能量损耗为

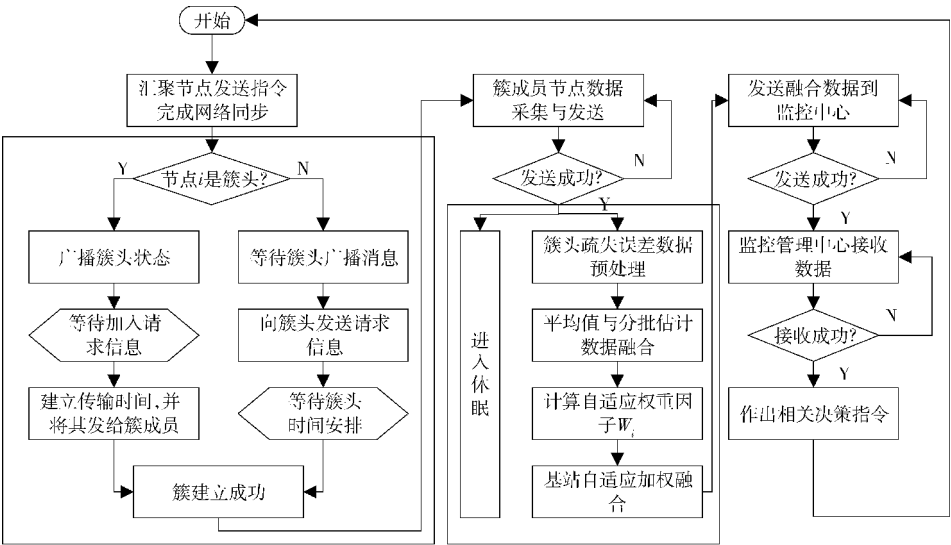


图 1 分簇融合流程图

Fig. 1 Flow chart of cluster fusion

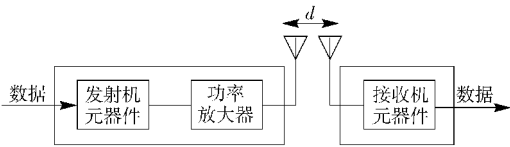


图 2 无线电数据传输过程

Fig. 2 Process of radio data transmission

$$E_{Tx}(L,d)=\begin{cases}LE_{elec}+L\epsilon_{fs}d^2 & (d\leq d_0) \\ LE_{elec}+L\epsilon_{mp}d^4 & (d>d_0) \end{cases} \quad (14)$$

式中 E_{elec} ——每发送 1 bit 数据消耗的能量
 ϵ_{fs} ——簇内节点到簇头的单位数据传输能量损耗
 ϵ_{mp} ——簇头节点到基站单位数据传输能耗
 d ——发送方与接收方之间的距离
 d_0 ——距离阈值 L ——数据包长度

2 系统设计与实现

2.1 系统总体结构

冷链物流监测系统总体结构如图 3 所示,布置在冷库或冷藏车厢内的传感节点和网关组成终端采集模块,负责冷链环境信息的采集、传输和处理;数

据库服务器、应用服务器、路由器和防火墙作为系统服务层,负责接收采集层上传的各项监测信息;管理计算机作为用户访问层,负责实时向用户提供冷链监测信息。

2.2 系统硬件设计

基于 WSN 无线传感网络的冷链物流监控系统硬件框图如图 4 所示,主要由环境感知节点、数据汇集节点和管理终端组成。环境感知节点以设定的时间间隔完成冷链环境的感知与数据采集传输,之后进入休眠状态,主要由微控制模块、射频收发模块、传感模块和电源模块组成。汇聚节点主要用来组建网络、唤醒休眠状态的感知节点及接收簇头节点发送的数据,并以一定的发送间隔将接收到的数据传输到管理中心。

为提高系统集成度和可靠性,优化电路整体设计,系统选用德州仪器公司生产的支持 2.4 GHz IEEE 802.15.4、ZigBee 和 RF4CE 应用的 CC2530 型无线传感网络片上系统作为处理器模块和射频模块的解决方^[22]。采用体积小,硬件成本低,抗干扰能力强的 DS18B20 作为传感模块,具有单总线、体积

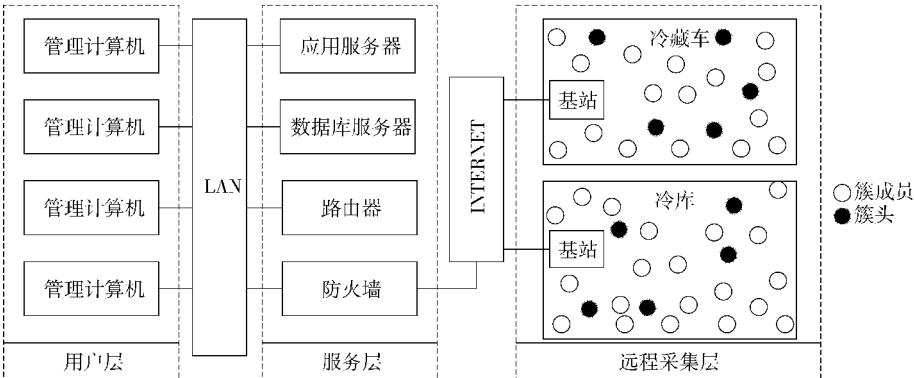


图 3 系统数据传输过程

Fig. 3 Process of system data transmission

小、分辨率高、抗干扰强等特点^[23],其相对温度测量范围为-55~125℃,工作电源为3.0~5.5 V。采用功耗低、温宽大的 M590E 作为 GPRS 模块。

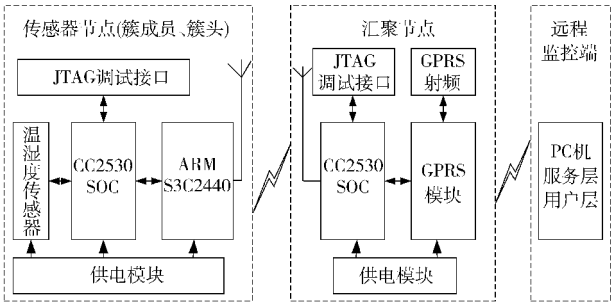


图4 系统硬件框图

Fig.4 Block diagram of system hardware

3 实验和结果分析

3.1 实验环境与参数设定

实验在中国农业大学工学院进行,为了验证融合性能的特性,将选取 27 个温度传感器节点按照一定方式部署^[24]在模拟冷藏车厢内进行温度信息的实时监测与数据采集,节点分布情况如图 5 所示。在理想情况下,将整个网络区域分为 3 簇,设置簇成员节点向簇头发送数据的时间间隔为 3 s,簇头向基站发送数据的时间间隔为 1 min,所有节点发送数据包长度为 9 个字节,其中节点 ID 号占用一个字节,温度与电池电量分别占 4 个字节。

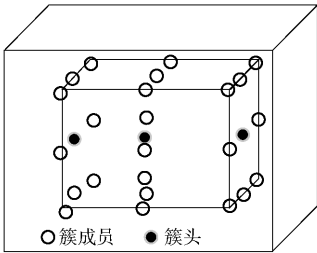


图5 节点部署图

Fig.5 Diagram of node deployment

3.2 数据融合性能分析

3.2.1 融合误差分析

经过基于算术平均值与分批估计的数据融合处理后的数据如表 1 所示,系统数据融合值为

$$\hat{X} = \sum_{p=1}^3 W_p T^+ = 4.392 \quad (15)$$

算术平均值法测量误差、加权融合法测量误差及自适应加权融合法测量误差分别为 0.105 0、0.100 7 和 0.097 0。

通过上述分析,本文首先利用分布图法对原始感知数据进行预处理,剔除疏忽误差,然后利用算术平均值与分批估计方法进行簇内数据融合,最后基于自适应加权进行簇间数据融合处理,最终得到的

表 1 簇内融合处理后的数据

Tab.1 Data within cluster fusion

	簇 1	簇 2	簇 3
融合值	4.407 5	4.395 3	4.383 5
方差	0.017 3	0.016 5	0.012 7
自适应因子	0.252 8	0.277 9	0.469 2

数据精度优于传统加权融合及算术平均值法。

3.2.2 网络生命周期分析

图 6 所示为不同方法对监测系统网络生命周期的影响,网络生命周期是一种更近似的能量消耗衡量机制,是指由于节点能量耗尽而导致网络结构被破坏的时间。

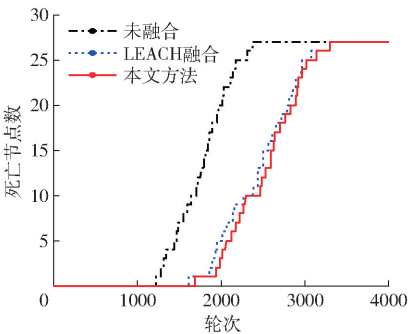


图6 网络生命周期

Fig.6 Life cycle of network

仿真结果表明,未分簇融合之前汇聚节点附近的节点会承担大部分的数据传输量,使能量损耗加快,缩短了网络寿命。本文所采用的改进 LEACH 分簇协议及自适应数据融合算法,生命稳定期相比前 2 种算法分别提高了 34.2% 与 11.4%。

由图 7 可知,与未搭建融合算法及传统融合算法相比,该监测网络系统数据传输量分别减少了 63.4% 与 59.5%。

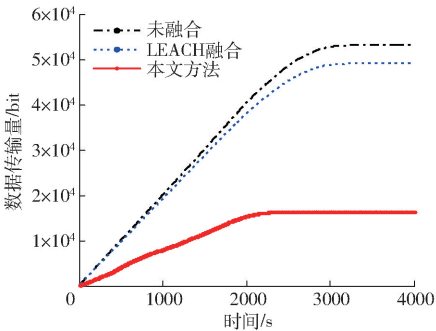


图7 系统数据传输量

Fig.7 Amount of system data transmission

3.2.3 系统能耗分析

能量消耗模型中, $\epsilon_{fs} = 10 \text{ pJ}/(\text{bit} \cdot \text{m}^2)$, $\epsilon_{mp} = 0.001 3 \text{ pJ}/(\text{bit} \cdot \text{m}^4)$, $E_{elec} = 50 \text{ pJ/bit}$ 。其网络传输能耗情况如图 8 所示。

结果表明,与传统数据融合算法相比,文中所采

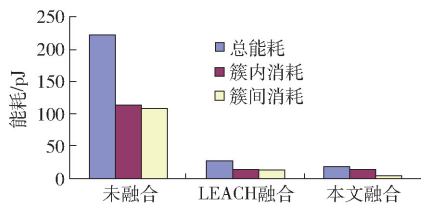


图 8 系统能耗

Fig. 8 Energy consumption of system

用的分簇融合算法每轮能耗降低了约 32.5%。

由图 9 可知,该文所采用的分簇数据融合机制可以使簇头节点的平均能耗变小,即提高了每一轮的能耗负载均衡度。

4 结论

(1)基于分布图法的自适应加权融合数据处理算法,先对传感节点采集到的原始数据用分布图法剔除疏失误差,然后采用算术平均值与分批估计的融合方法对簇内数据进行预处理,再用自适应加权数据融合方法进行簇头数据融合处理,虽然处理过程较为繁琐,但处理误差相比与传统方法减小了 7.6%。

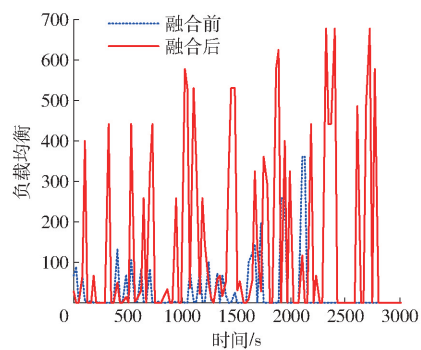


图 9 节点负载均衡度

Fig. 9 Load balancing degree of node

(2)在 WSN 节点分簇过程中采用改进 LEACH 协议,相比于传统 LEACH 协议,其在计算和数据处理过程中要消耗一定的能量,但是其生命稳定期相比前两种算法分别提高了 34.2%与 11.4%,同时数据传输量分别减少了 63.4%与 59.5%。同时在每一轮分簇融合过程中,其网络负载均衡得到很大改善,弥补了 WSN 无线传感网络在计算和通信过程中能耗的不平衡问题。延长了整个冷链监测系统网络生命周期。

参 考 文 献

- 1 WENG Xingang, YANG Hui, WANG Lei. Research on cold chain logistics traceable system for fresh agricultural products [J]. American Journal of Industrial and Business Management, 2015, 5(12):728-729.
- 2 梁琨,肖宏伟,杜莹莹,等.基于物联网技术的果蔬冷链物流实时监测系统[J].江苏农业科学,2015(11):519-520.
LIANG Kun, XIAO Hongwei, DU Yingying, et al. The real-time monitoring system of fruit and vegetable cold chain logistics based on internet of things technology[J]. Journal of Jiangsu Agricultural Sciences, 2015(11):519-520. (in Chinese)
- 3 齐林,田东,张健,等.基于 SPC 的农产品冷链物流感知数据压缩方法[J].农业机械学报,2011,42(10):130-131.
QI Lin, TIAN Dong, ZHANG Jian, et al. Compression method of agricultural products cold chain logistics based on SPC[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2011,42(10):130-131. (in Chinese)
- 4 张锐,王燕,王以忠,等.基于 ZigBee 的冷链温度监测系统的研究[J].保鲜与加工,2013(3):12-16.
ZHANG Rui, WANG Yan, WANG Yizhong, et al. Research on cold chain temperature monitoring system based on ZigBee[J]. Preservation and Processing, 2013(3):12-16. (in Chinese)
- 5 RUIZ-GARCIA L, BARREIRO P, ROBLA J I. Performance of ZigBee-based wireless sensor nodes for real-time monitoring of fruit logistics[J]. Journal of Food Engineering, 2008,87(3):405-410.
- 6 齐林,韩玉冰,张小栓,等.基于 WSN 的水产品冷链物流实时监测系统[J/OL].农业机械学报,2012,43(8):135-140. http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?file_no=20120825&flag=1. DOI:10.6041/j.issn.1000-1298.2012.08.025.
QI Lin, HAN Yubing, ZHANG Xiaoshuan, et al. Real time monitoring system for aquatic cold-chain logistics based on WSN[J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2012,43(8):135-140. (in Chinese)
- 7 袁浩浩,蒋联源,张联盟.基于 WSN 的冷链物流监控溯源系统[J].物流技术,2014(11):369-371.
YUAN Haohao, JIANG Lianyuan, ZHANG Lianmeng. Cold chain logistics monitoring traceability system based on WSN [J]. Logistics Technology, 2014(11):369-371. (in Chinese)
- 8 肖新清,齐林,张雷,等.面向鲜食葡萄冷链物流的无线实时监测系统[J].电子技术应用,2013,39(8):77-79.
XIAO Xinqing, QI Lin, ZHANG Lei, et al. Wireless real-time monitoring system for table grape cold-chain logistics [J]. Application of Electronic Technique, 2013,39(8):77-79. (in Chinese)
- 9 CARULLO A, CORBELLINI S, PARVIS M, et al. Wireless sensor network for cold-chain monitoring[J]. IEEE Transactions on Instrumentation & Measurement, 2009,58(5):1405-1411.
- 10 ZHANG J, ZHANG X S, ZHANG L, et al. Design on wireless SO₂ sensor node based on CC2530 for monitoring table grape logistics[J]. Journal of Food Agriculture & Environment, 2013,11(1):115-117.
- 11 王义勇.农产品冷链物流实时监测系统设计[J].计算机时代,2015(2):38-39.

- WANG Yiyong. System design of real-time monitoring for cold chain logistics of agricultural products [J]. Computer Age, 2015 (2): 38–39. (in Chinese)
- 12 周开. 基于 WSN 和 RFID 的冷链物流监控系统研究[D]. 成都: 西南科技大学, 2012.
ZHOU Kai. Research on cold chain logistics monitoring system based on WSN and RFID [D]. Chengdu: Southwest University of Science and Technology, 2012. (in Chinese)
- 13 刘国梅, 孙新德. 基于 WSN 和 RFID 的农产品冷链物流监控追踪系统[J]. 农机化研究, 2011(4): 179–182.
LIU Guomei, SUN Xinde. Monitoring and tracking system of agricultural products cold chain logistics based on WSN and RFID [J]. Research on Agricultural Mechanization, 2011(4): 179–182. (in Chinese)
- 14 XIAO Xinqing, WANG Xiang, ZHANG Xiaoshuan, et al. Effect of the quality property of table grapes in cold chain logistics-integrated WSN and AOW[J]. Applied Sciences, 2015, 5(4): 747–760.
- 15 XIAO Xinqing, LI Zhigang, MATETIC M, et al. Energy-efficient sensing method for table grapes cold chain management[J]. Journal of Cleaner Production, 2017, 152: 77–87.
- 16 张聚伟, 王宇, 杨挺. 基于数据融合的有向传感器网络全覆盖部署[J]. 传感技术学报, 2017, 30(1): 139–140.
ZHANG Juwei, WANG Yu, YANG Ting. Full-coverage deployment of directed sensor networks based on data fusion[J]. Chinese Journal of Sensors and Actuators, 2017, 30(1): 139–140. (in Chinese)
- 17 SOHIL G, ANKER S, YANG Xiaojian, et al. Optimal energy aware clustering in sensor networks[J]. Sensors, 2002, 2(7): 258–269.
- 18 刘永星, 赵涓涓, 常晓敏. 基于数据融合的无线传感器网络林火监控算法[J]. 计算机科学, 2015(11): 156–158.
LIU Yongxing, ZHAO Juanjuan, CHANG Xiaomin. Forest fire monitoring algorithm for wireless sensor networks based on data fusion[J]. Computer Science, 2015(11): 156–158. (in Chinese)
- 19 尹湘源. 无线传感器网络低能耗分簇路由算法关键技术研究[D]. 上海: 华东理工大学, 2014.
YIN Xiangyuan. Research on key technologies of low energy clustering routing algorithm in wireless sensor networks [D]. Shanghai: East China University of Science and Technology, 2014. (in Chinese)
- 20 唐亚鹏. 基于自适应加权数据融合算法的数据处理[J]. 计算机技术与发展, 2015(4): 53–54.
TANG Yapeng. Data processing based on adaptive weighted data fusion algorithm[J]. Computer Technology and Development, 2015(4): 53–54. (in Chinese)
- 21 张兰勇, 陆晴, 耿文杰, 等. 基于贴近度及分布图法的数据深度融合算法研究[J]. 兵器装备工程学报, 2016, 37(11): 50–51.
ZHANG Lanyong, LU Qing, GENG Wenjie, et al. Research on data depth fusion algorithm based on close degree and distribution graph method[J]. Journal of Weapon and Equipment Engineering, 2016, 37(11): 50–51. (in Chinese)
- 22 冯贺平, 吴梅梅. 基于 WSN 的果蔬冷链物流实时监测系统研究[J]. 保鲜与加工, 2016(5): 104–105.
FENG Heping, WU Meimei. Studying on real-time monitoring system of fruit and vegetable cold chain logistics based on WSN [J]. Preservation and Processing, 2016(5): 104–105. (in Chinese)
- 23 汤锴杰, 栗灿, 王迪, 等. 基于 DS18B20 的数字式温度采集报警系统设计[J]. 传感器与微系统, 2014, 33(3): 99–100.
TANG Kaijie, LI Can, WANG Di, et al. Design of digital temperature acquisition alarm system based on DS18B20[J]. Sensors and Microsystems, 2014, 33(3): 99–100. (in Chinese)
- 24 刘静, 张小栓, 肖新清, 等. 基于多目标决策模糊物元法的冷藏车传感器布点优化[J/OL]. 农业机械学报, 2014, 45(10): 215–217. http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?file_no=20141033&flag=1. DOI:10.6041/j.issn.1000-1298.2014.10.033.
LIU Jing, ZHANG Xiaoshuan, XIAO Xinqing, et al. Optimal sensor layout in refrigerator car based on multi-objective fuzzy matter element method[J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2014, 45(10): 215–217. (in Chinese)