

基于事件驱动与数据融合的温室 WSN 节能传输模型*

王纪章¹ 彭玉礼¹ 李萍萍^{1,2}

(1. 江苏大学现代农业装备与技术教育部重点实验室, 镇江 212013;

2. 南京林业大学森林资源与环境学院, 南京 210037)

摘要: 针对温室内环境信息变化缓慢、冗余度大和时间空间相关性强的特点,提出了基于事件驱动与支持度融合的温室环境监测无线传感器网络(WSN)的节能传输模型。利用所建立的数据节能传输模型进行了温室环境试验,结果表明采用基于事件驱动的数据传输模型能够减少83.8%数据传输次数,基于支持度函数的数据融合能够根据数据之间的关联程度计算出各原始数据的加权值,融合效果优于算术平均值。

关键词: 温室 WSN 事件驱动 数据融合 传输模型

中图分类号: S625.5; TN925+.93 文献标识码: A 文章编号: 1000-1298(2013)12-0258-04

Energy Transmission Model of WSN in Greenhouse Based on Event-driven and Data Fusion

Wang Jizhang¹ Peng Yuli¹ Li Pingping^{1,2}

(1. Key Laboratory of Modern Agricultural Equipment and Technology, Ministry of Education, Jiangsu University, Zhenjiang 212013, China 2. College of Forest Resources and Environment, Nanjing Forestry University, Nanjing 210037, China)

Abstract: Since environmental information in greenhouse had the characteristics of slow changing, great redundancy, and strong spatial and temporal correlation, a energy transmission model of wireless sensor network (WSN) was proposed based on event-driven and data fusion for the acquisition of environmental information in greenhouse. With the energy transmission model the field test was conducted. The results showed that the data transmission model based on event-driven could reduce the data transmission frequency 83.8%. The data fusion based on data support function could calculate each weighted value of the original data size according to the degree of association among the data, and was better than the arithmetic mean.

Key words: Greenhouse WSN Event driven Data fusion Transmission model

引言

无线传感器网络(Wireless sensor networks, WSN)集传感器技术、微机电系统技术、无线通信技术、嵌入式计算技术和分布式信息处理技术于一体,为人们提供了一种全新的获取信息、处理信息的途径^[1-2]。WSN在设施农业中的应用能高效、实时地

获取作物环境和作物信息,有效降低人力消耗,加速推进农业现代化进程^[3-5]。由于无线传感器网络由一组功能有限的传感器节点以自组织方式协作完成大规模感知任务,每个传感器节点携带电池能量有限且不易补充,因此数据传输策略研究的主要目的是合理使用无线传感器网络节点的有限能量资源,以最小的能耗代价取得用户所需精确度的信息,最

收稿日期: 2013-07-15 修回日期: 2013-08-22

* 科技部中小企业创新基金资助项目(11C26213204549)、江苏省农业科技支撑计划资助项目(BE2010347)、江苏省产学研联合创新资金资助项目(BY2013065-07)和江苏高校优势学科建设工程资助项目

作者简介: 王纪章,助理研究员,博士生,主要从事设施农业信息技术研究,E-mail: whxh@ujs.edu.cn

通讯作者: 李萍萍,教授,博士生导师,主要从事设施农业工程技术研究,E-mail: lipingping@ujs.edu.cn

大化的延长整个无线网络的生命周期。国内外研究者主要从节点间数据传输协议^[6-13]和冗余数据融合^[14-22]两个方面做了大量研究工作。

温室环境参数具有变化缓慢、在时间和空间上冗余度大的特点,正常情况下,传感器节点在相近数个采集周期内的感知数据不会发生跳变现象,因此可以通过对感知节点数据进行预处理,以减少节点的数据传输量,达到降低节点能量消耗,延长节点生命周期的目的。同时由于数据预处理会造成数据的丢失,而在数据传输过程中可能会出现数据的丢包等情况,为提高监测数据的准确性,通常采用多传感器数据融合以获得最优值。本研究针对温室内环境信息的特征,提出基于事件驱动和支持度融合的温室环境监测无线传感器网络的节能数据传输模型。

1 温室 WSN 节能数据传输模型

为实现 WSN 系统节能传输的目的,建立了如图 1 所示的温室 WSN 节能数据传输结构,主要包括感知节点数据预处理和汇聚节点数据融合两部分。对于感知节点事件驱动模型进行数据预处理,即感知节点依据设定的阈值对采集到的温室环境数据进行积累传输或跳变实时传输,在满足事件实时处理的前提下,减少感知节点的数据传输量。感知节点传输数据到汇聚节点后,汇聚节点根据各传感器数据之间的支持程度,计算出各数据的最优权重,最终计算出数据的融合值,为系统的决策提供可靠依据,保证控制的准确性,实现系统的节能传输。

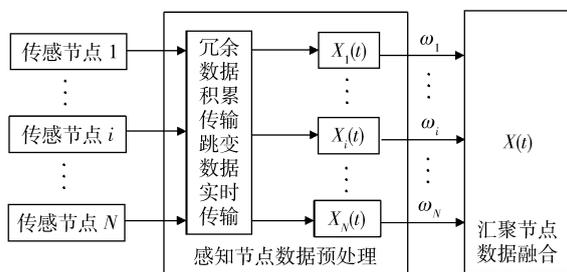


图 1 温室 WSN 节能数据传输模型

Fig. 1 Model of energy transmission for greenhouse WSN

2 基于事件驱动的感知节点数据预处理

感知节点数据预处理属于无线传感器网络数据融合的低级融合技术,融合结果直接向基站或中心节点传输,是后续数据融合的基础。针对无线传感器网络的数据感知节点,文献[16]提出了阈值限定和均值相结合的节点数据融合方法,以减少节点通信量,降低能耗,延长节点生存时间。假设无线传感器网络中:①由 k 个传感器节点监测同一环境。②每个传感器以等时间间隔 t 采集一次数据。③第

j 个传感器第 i 次采集的数据为 $a_{ij} (i=1,2,\dots;j=1,2,\dots,k)$ 。

感知节点数据预处理设定了两处理阈值: ε 和 τ ,其中 ε 限定了感知数据之间的差值,当第 i 次采集的数据与之前采集的 $i-1$ 个数据中的差值超过阈值 ε 时,就认为数据出现突变现象,为保证温室数据的实时监控要求,需要进行跳变传输; τ 设定了传感节点的采集次数,在 τ 个采集周期内数据没有发生突变,将本次数据与前 $i-1$ 次进行均值计算后传输给汇聚节点。基于事件驱动的感知节点数据预处理算法,具体步骤如下:

(1) 设 a_{ij} 为节点 j 采集的第 1 个数据。

(2) 每采集一次数据 a_{ij} , 分别与前 $i-1$ 次的数据 $a_{1j}, a_{2j}, \dots, a_{i-1j}$ 进行比较, 当 $|a_{ij} - a_{nj}| > \varepsilon, (n=1, 2, \dots, i-1)$ 时, 传感器节点将及时发送当前突变数据 a_{ij} 。

(3) 当采集次数超过 τ 次时, 计算当前 i 个数据的均值 $\bar{a} = \sum_{n=1}^i a_{nj}$, 并发送 \bar{a} 的值到汇聚节点。

(4) 重复步骤(1)~(3)。

3 基于支持度函数的数据融合

3.1 支持度函数

为了表征数据之间的关系, Yager^[23] 提出采用支持度函数 $\sup(a, b)$ 表示数据 b 对数据 a 的支持程度, 即 a 和 b 的数值接近程度, 它满足 3 个条件: ① $\sup(a, b) \in [0, 1]$ 。② $\sup(a, b) = \sup(b, a)$ 。③ 如果 $|a - b| < |x - y|$, 则 $\sup(a, b) > \sup(x, y)$ 。

用支持度函数来描述 2 个数据的数值接近程度^[19], 即

$$\sup(a, b) = D(a, b, K, \beta) = \frac{K}{1 + \beta|a - b| + |a - b||a - b| + |a - b|} \quad (K \in [0, 1], \beta \geq 0) \quad (1)$$

式(1)无需指数运算, 减少了运算复杂度, 且符合 Yager 给出的支持度函数应该满足的 3 个必要条件。

3.2 汇聚节点数据融合方法

考虑到在基于事件驱动的数据预处理过程中不同传感器之间的数据会产生不同步, 而支持度融合中需要实时同步数据。为保证在支持度融合中的数据同步性, 在本研究中采用汇聚节点所接收到经过预处理的最新数据作为 t 时刻的传感器采集数据。设 t 时刻的第 i 个传感器和第 j 个传感器的温室数据经预处理分别为 $X_i(t)$ 和 $X_j(t) (i, j=1, 2, \dots, N)$, 代入式(1)有

$$\sup(X_i(t), X_j(t)) = D(X_i(t), X_j(t), K, \beta) = \gamma_{ij} \quad (2)$$

根据式(2)可构建支持度矩阵

$$\gamma = \begin{bmatrix} \gamma_{11} & \cdots & \gamma_{1N} \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ \gamma_{M1} & \cdots & \gamma_{MN} \end{bmatrix}$$

来描述各传感器之间的相互支持程度,则第*i*个传感器获得其他所有传感器的支持度总和为

$$T(X_i(t)) = \sum_{j=1}^N \gamma_{ij} \quad (3)$$

根据计算获得的传感器支持度总和 $T(X_i(t))$ 可得第*i*个传感器的最优融合权重为

$$\omega_i = 1 + T(X_i(t)) \quad (4)$$

则融合后的温室环境信息最优估计值为

$$X(t) = \frac{\sum_{i=1}^N (\omega_i X_i(t))}{\sum_{i=1}^N \omega_i} \quad (5)$$

4 试验

4.1 试验设备与方法

试验于2013年4月在镇江市京口区瑞京园玻璃温室内进行,玻璃温室长39.2 m,宽36 m。试验设备如图2所示,主要包括1个汇聚节点、4个传感器节点、PC机、监控软件和三角架等,其中汇聚节点和传感器节点采用CC2430片上系统,系统采用AM2302电容数字温湿度实现温室内温、湿度的监测。具体试验方法如下:将节点0设置为汇聚节点,负责接收各传感器采集到的数据,通过串口线与PC机相连接,将数据和传输时间保存在数据库中。将节点1、2和3设置为感知节点,负责采集数据。各节点的在温室内的部署位置如图3所示。

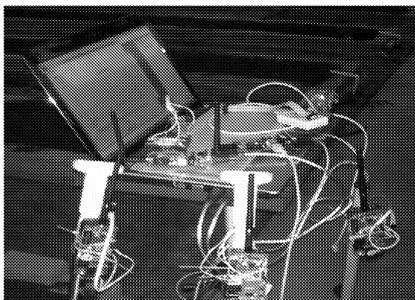


图2 试验设备

Fig. 2 Test equipment

为了测试系统数据处理效果,将汇聚节点0的支持度函数参数设置为: $K=1, \beta=0.5$ 。将节点1、2和3的预处理阈值设置为 0.5°C ,每隔30 s采集一次数据,节点根据阈值决定数据实时传输或积累传

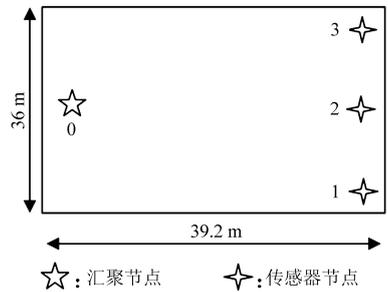


图3 温室传感节点部署

Fig. 3 Sensor node placement in greenhouse

输。增加对比节点4,每隔30 s采集一次数据。

4.2 数据传输量试验

采用由17:30至18:37之间的试验数据进行数据传输量试验。结果表明,在相同时间内,各数据阈值预处理节点的数据传输次数要明显小于无处理节点的数据传输次数,节点1、2、3的传输次数分别为22、18和22次,其中最小减少传输114次,占总传输次数的83.8%。表明阈值预处理技术能够有效减少感知节点的数据传输量,达到延长网络生命周期的效果。

4.3 数据融合效果

试验中各节点温、湿度和融合值如图4和5所示。由图可知,支持度函数能根据数据之间的关联程度合理分配数据融合权重,使得融合结果侧重于关联度较大的数据。当各节点数据之间的相对差值较大时,基于支持度函数的融合值大于平均值,数据结果与原始数据相比更接近于关联度较大的两者数据。当各节点数据相对差值较小时,基于支持度函数的融合值与平均值相同,起到求平均值的效果。

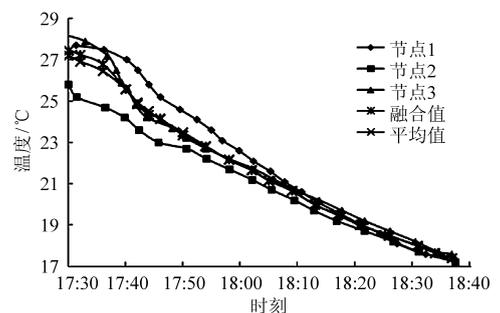


图4 温度融合结果

Fig. 4 Fusion results of temperature

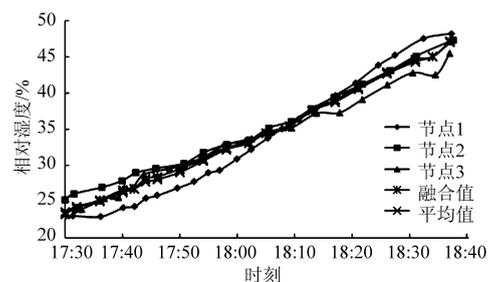


图5 相对湿度融合结果

Fig. 5 Fusion results of humidity

综上所述,基于支持度函数的数据融合是一种加权平均算法,能够根据数据之间的关联程度计算出各原始数据的加权值,在实际应用中的融合效果优于算术平均值。

5 结束语

建立了基于事件驱动和支持度融合的温室环境

监测 WSN 的数据传输策略,并进行了试验验证,验证结果表明:基于事件驱动的数据阈值预处理能够起到剔除冗余数据减少数据传输量的目的,在采集频率为 30 s 时,减少数据传输 83.8%。基于支持度函数的数据融合能够根据数据之间的关联程度计算出各原始数据的加权值,其融合效果优于算术平均值。

参 考 文 献

- 1 Yick J, Mukherjee B, Ghosal D. Wireless sensor network survey[J]. *Computer Networks*, 2008, 52(12): 2 292 ~ 2 330.
- 2 任丰原,黄海宁,林闯. 无线传感器网络[J]. *软件学报*, 2003, 14(7): 1 282 ~ 1 291.
Ren Fengyuan, Huang Haining, Lin Chuang. Wireless sensor networks[J]. *Journal of Software*, 2003, 14(7): 1 282 ~ 1 291. (in Chinese)
- 3 乔晓军,张馨,王成,等. 无线传感器网络在农业中的应用[J]. *农业工程学报*, 2005, 21(增刊): 232 ~ 234.
Qiao Xiaojun, Zhang Xin, Wang Cheng, et al. Application of the wireless sensor networks in agriculture[J]. *Transactions of the CSAE*, 2005, 21(Supp.): 232 ~ 234. (in Chinese)
- 4 张荣标,褚夫环,黄贤林,等. WSN 节点温室环境试验系统的预测解耦控制[J]. *农业机械学报*, 2012, 43(1): 192 ~ 196.
Zhang Rongbiao, Chu Fuhuan, Huang Xianlin, et al. Predictive decoupled control of wsn nodes greenhouse environment simulation experimental system[J]. *Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery*, 2012, 43(1): 192 ~ 196. (in Chinese)
- 5 郭文川,程寒杰,李瑞明,等. 基于无线传感器网络的温室环境信息监测系统[J]. *农业机械学报*, 2010, 41(7): 181 ~ 185.
Guo Wenchuan, Cheng Hanjie, Li Ruiming, et al. Greenhouse monitoring system based on wireless sensor networks[J]. *Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery*, 2010, 41(7): 181 ~ 185. (in Chinese)
- 6 方维维,钱德沛,褚天舒,等. 分簇无线传感器网络可靠高效的数据传输方案[J]. *西安交通大学学报*, 2009, 43(8): 28 ~ 32.
Fang Weiwei, Qian Depei, Chu Tianshu, et al. A reliable and efficient data delivery scheme for clustered wireless sensor networks[J]. *Journal of Xi'an Jiaotong University*, 2009, 43(8): 28 ~ 32. (in Chinese)
- 7 李成法,陈贵海,叶懋,等. 一种基于非均匀分簇的无线传感器网络路由协议[J]. *计算机学报*, 2007, 30(1): 27 ~ 36.
Li Chengfa, Chen Guihai, Ye Mao, et al. An uneven cluster-based routing protocol for wireless sensor networks[J]. *Chinese Journal of Computers*, 2007, 30(1): 27 ~ 36. (in Chinese)
- 8 李宏,于宏毅,刘阿娜,等. 一种基于树的无线传感器网络数据收集方法[J]. *电子与信息学报*, 2007, 29(7): 1 633 ~ 1 637.
Li Hong, Yu Hongyi, Liu Ana, et al. A tree based data collection scheme for wireless sensor network[J]. *Journal of Electronics & Information Technology*, 2007, 29(7): 1 633 ~ 1 637. (in Chinese)
- 9 郑瑾,苏广毅,贾维嘉,等. 能量有效的无线传感器网络数据收集协议[J]. *计算机工程*, 2010, 36(8): 102 ~ 104.
Zheng Jin, Su Guangyi, Jia Weijia, et al. Energy efficient data gathering protocol for wireless sensor networks[J]. *Computer Engineering*, 2010, 36(8): 102 ~ 104. (in Chinese)
- 10 Nakamura E F, Figueiredo C M S, Loureiro A A F. Information fusion for data dissemination in self-organizing wireless sensor networks[C]// *Networking-ICN 2005: 4th International Conference on Networking Springer Berlin Heidelberg*, 2005: 585 ~ 593.
- 11 Zheng J, Guo S, Qu Y, et al. Energy equalizing routing for fast data gathering in wireless sensor networks[J]. *The Journal of China Universities of Posts and Telecommunications*, 2007, 14(4): 13 ~ 21.
- 12 Bagei H, Yazici A. An energy aware fuzzy approach to unequal clustering in wireless sensor networks[J]. *Applied Soft Computing*, 2013, 13(4): 1 741 ~ 1 749.
- 13 Jang U, Lee S, Yoo S. Optimal wake-up scheduling of data gathering trees for wireless sensor networks[J]. *Journal of Parallel and Distributed Computing*, 2012, 72(4): 536 ~ 546.
- 14 陈磊,赵保华. 低能耗自适应分簇的面向数据融合的路由协议[J]. *北京邮电大学学报*, 2009, 32(5): 71 ~ 74.
Chen Lei, Zhao Baohua. Data fusion oriented routing protocol based on LEACH[J]. *Journal of Beijing University of Posts and Telecommunications*, 2009, 32(5): 71 ~ 74. (in Chinese)
- 15 张志伟,王新才,吉爱国,等. 基于自适应加权与 LZW 的 WSNs 层次式数据融合算法[J]. *传感技术学报*, 2011, 27(8): 1 193 ~ 1 196.
Zhang Zhiwei, Wang Xincan, Ji Aiguo, et al. Hierarchical data aggregation algorithm of WSNs based on the adaptive weighted and LZW[J]. *Journal of Sensors and Actuators*, 2011, 27(8): 1 193 ~ 1 196. (in Chinese)
- 16 孙凌逸,黄先祥,蔡伟,等. 基于神经网络的无线传感器网络数据融合算法[J]. *传感技术学报*, 2011, 24(1): 122 ~ 127.
Sun Lingyi, Huang Xianxiang, Cai Wei, et al. Data aggregation of wireless sensor networks using artificial neural networks[J]. *Journal of Sensors and Actuators*, 2011, 24(1): 122 ~ 127. (in Chinese)

Chinese)

- 9 胡永光,李萍萍,戴青玲,等. 茶园高架风扇防霜系统设计与试验[J]. 农业机械学报,2007,38(12):97~99.
Hu Yongguang,Li Pingping,Dai Qingling,et al. System design and experiment on elevated wind machine for tea frost protection [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery,2007,38(12):97~99. (in Chinese)
- 10 Prabha T, Hoogenboom G. Evaluation of the weather research and forecasting model for two frost events[J]. Computers and Electronics in Agriculture,2008,64(2):234~247.
- 11 Smith B A, Hoogenboom G, McClelland R W. Artificial neural networks for automated year-round temperature prediction[J]. Computers and Electronics in Agriculture,2009,68(1):52~61.
- 12 Rossi F, Facini O, Loreti S, et al. Meteorological and micrometeorological applications to frost monitoring in northern Italy orchards [J]. Physics and Chemistry of the Earth,2002,27(23~24):1 077~1 089.
- 13 Ghaemi A A, Rafiee M R, Sepaskhah A R. Tree-temperature monitoring for frost protection of orchards in semi-arid regions using sprinkler irrigation[J]. Agricultural Sciences in China,2009,8(1):98~107.
- 14 胡永光. 基于气流扰动的茶园晚霜冻害防除机理及控制技术[D]. 镇江:江苏大学,2011.
Hu Yongguang. Mechanism and control technology of late frost protection for tea plant through air disturbance[D]. Zhenjiang: Jiangsu University,2011. (in Chinese)
- 15 静岡県農林水産部. 茶生産指導指針[M]. 静岡:静岡県経済農業協同組合連合会,2003.
- 16 何维勋,冯玉香,夏满强. 解冻速率对作物霜冻害的影响[J]. 应用气象学报,1993,4(4):440~445.
He Weixun,Feng Yuxiang,Xia Manqiang. Effects of thawing rate on frost injury of crops[J]. Quarterly Journal of Applied Meteorology,1993,4(4):440~445. (in Chinese)
- 17 马克西莫夫. 马克西莫夫院士选集[M]. 周小民,译. 北京:科学出版社,1962.
- 18 奇尔科夫. 农业气象学基础[M]. 方至,译. 北京:气象出版社,1987.
- 19 朱秀红,马品印,王军. 日照地区茶树冻害气候原因分析[J]. 中国茶叶,2008,30(2):28~29.
Zhu Xiuhong, Ma Pinyin, Wang Jun. Climatological analysis on developing freeze cold of tea trees in Rizhao region[J]. China Tea,2008,30(2):28~29. (in Chinese)

(上接第 261 页)

- 17 张强,卢潇,崔晓臣. 基于分簇的无线传感器网络数据聚合方案研究[J]. 传感技术学报,2010,23(12):1 778~1 782.
Zhang Qiang, Lu Xiao, Cui Xiaochen. Research on the scheme of data aggregation based on clustering for wireless sensor network [J]. Journal of Sensors and Actuators, 2010, 23(12): 1 778~1 782. (in Chinese)
- 18 林蔚,祝启龙. 无线传感器网络节能型数据融合算法[J]. 哈尔滨工程大学学报,2011,32(10):1 386~1 390.
Lin Wei, Zhu Qilong. Energy-efficient data fusion algorithm of wireless sensor networks [J]. Journal of Harbin Engineering University, 2011, 32(10): 1 386~1 390. (in Chinese)
- 19 熊迎军,沈明霞,陆明洲,等. 温室无线传感器网络系统实时数据融合算法[J]. 农业工程学报,2012,28(23):160~166.
Xiong Yingjun, Shen Mingxia, Lu Mingzhou, et al. Algorithm of real time data fusion for greenhouse WSN system [J]. Transactions of the CSAE, 2012, 28(23): 160~166. (in Chinese)
- 20 Chen H, Mineno H, Mizuno T. Adaptive data aggregation scheme in clustered wireless sensor networks [J]. Computer Communications, 2008, 31(15): 3 579~3 585.
- 21 Nesa Sudha M, Valarmathi M L, Babu A S. Energy efficient data transmission in automatic irrigation system using wireless sensor networks[J]. Computers and Electronics in Agriculture,2011,78(2):215~221.
- 22 Wei G, Ling Y, Guo B, et al. Prediction-based data aggregation in wireless sensor networks: combining grey model and Kalman filter[J]. Computer Communications,2011,34(6):793~802.
- 23 Yager R R. The power average operator[J]. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, 2001, 31(6): 724~731.