

doi:10.6041/j.issn.1000-1298.2014.12.047

基于两级预测的温室 WSN 系统数据传输方法^{*}

刘永华^{1,2} 沈明霞¹ 熊迎军¹ 刘勇¹ 高菊玲² 金文忻²

(1. 南京农业大学江苏省现代设施农业技术与装备工程实验室, 南京 210031;

2. 江苏农林职业技术学院机电工程系, 句容 212400)

摘要: 为了减少温室 WSN 系统传感器节点数据传输次数, 提出基于两级预测的温室 WSN 系统数据传输方法。首先, 引入莱特准则进行序列异常值检测, 研究并提出了便于节点实时计算的序列方差滑动递推计算方法。其次, 分别在传感器节点和服务器建立一阶分段线性回归方程并结合自适应加权算法形成两级预测模型, 设定传感器节点仅在预测误差超过设定阈值时上传实际采集值, 其他时刻服务器自动触发线性回归模型预测填充该部分数据。同时, 结合温室环境自动控制的特点, 研究了一种基于抛物线的可变误差阈值确定方法。试验表明: 分段一阶线性回归模型能够在规定误差阈值内逼近系统原始数据曲线, 利用两级预测算法无线传感器节点数据发送次数可减少 93% (误差阈值为 0.9)。

关键词: 温室 WSN 系统 两级预测 数据传输

中图分类号: TP391; TN925⁺.93

文献标识码: A

文章编号: 1000-1298(2014)12-0329-06

引言

传统设施农业自动化控制系统多采用有线数据传输方式, 随着 ZigBee 等无线通信技术的应用普及, 国内外基于无线传感器网络的温室监控系统逐渐增多^[1-6]。无线传感器网络给设施农业数据传输带来了许多方便^[7-9], 但大量数据无线传输所引起的能量浪费和数据冲突又成为了新问题。针对这一问题, 研究者分别从 MAC 层协议和应用层的数据融合算法出发, 寻找合适传输方法。尽管这两种方法均能减少数据冲突和降低能量浪费, 但是相比之下, 采用数据融合算法直接降低网络中无线数据的传输量更为有效。通过数据融合将节点持续采集的一批数据进行本地拟合, 然后将模型参数传输至网关, 虽然大幅度降低了数据量, 但同时也产生了显著的传输延迟, 并且这些方法多数复杂度较高, 会产生大量的运算能耗。鉴于本地拟合的缺点, 部分研究者尝试将建模过程转移到网关或服务器上, 提出采用如回归^[10]、滑动平均、指数平滑和最小均方差以及神经网络^[11]等模型进行双端预测来降低数据量, 而这种双端预测模型在数据波动较大时需要频繁传递模型参数。文献[12-13]提出了一种无须模型参数

传递的融合方法, 但在温室无线传感器网络中使用时仍有改进空间。

本文从温室无线传感器网络监控系统现场实际应用出发, 针对温室数据和温室控制的特点, 利用一阶线性回归思想, 建立基于两级预测的数据传输方法。

1 温室无线传感器网络系统架构

无线传感器网络有星型、树型和网状 3 种类型, 但是目前温室 WSN 系统中, 应用最多的是星型结构, 如图 1 所示。

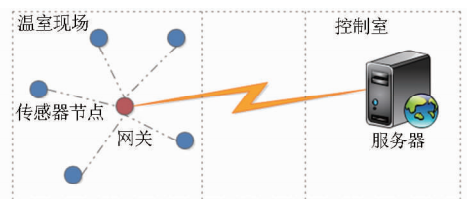


图 1 温室无线传感器网络典型结构

Fig. 1 Typical structure of greenhouse WSN

温室中部署的传感器节点采用电池供电, 而网关节点由于负荷较重, 一般均采用固定电源供电, 网关将传感器节点无线发送的温室数据以无线或者有线的方式传送到远程服务器进行处理。

收稿日期: 2014-07-02 修回日期: 2014-08-13

^{*} 江苏省农业科技自主创新资助项目(CX(12)3030)、江苏省农业三新资助项目(SXGC[2012]382)和江苏省农机三新工程资助项目(NJ2013-18、NJ2013-28)

作者简介: 刘永华, 博士生, 江苏农林职业技术学院副教授, 主要从事电气控制、设施农业物联网技术研究, E-mail: lyh167@sina.com

通讯作者: 沈明霞, 教授, 博士生导师, 主要从事农业电气化与自动化研究, E-mail: mingxia@njau.edu.cn

节点电池能量有限,节省能量才能延长节点寿命。无线数据传输消耗了节点的大部分能量,所以需要尽可能减少传感器节点的数据发送次数。

正常运行时,温室无线传感器网络节点周期性采集环境数据上传至网关,但在获取的连续时间序列中,并非每个时刻的数据都会对最终的决策控制起到关键作用。以温度数据为例,假定一种作物某个时期的适宜温度为 $[T_{\min}, T_{\max}]$, T_{\min}^+ 是温度下限 T_{\min} 附近的一个值,满足 $T_{\min} < T_{\min}^+$,同理, T_{\max}^- 是温度上限 T_{\max} 附近的一个值,满足 $T_{\max}^- < T_{\max}$ 。为了保证作物生长,温室温度需要维持在区间 $[T_{\min}, T_{\max}]$ 中,一般情况下,在设施农业监控系统中,当温室温度越过区间 $[T_{\min}^+, T_{\max}^-]$ 接近边界值 T_{\min} 或者 T_{\max} 时,决策算法才会自动控制机构调节温室温度,而当温室温度位于区间 $[T_{\min}^+, T_{\max}^-]$ 内时,决策算法不会触发工作,所以,决策控制对区间 $[T_{\min}^+, T_{\max}^-]$ 内的温度数据不敏感,也就是说这部分数据的精度不必太高,可以考虑尽量减少这部分数据的传输以降低能量消耗。

2 序列异常值检测方法

温室环境参数一般变化比较缓慢,可认为传感器真值在较短时间内保持不变^[14]。由于温室环境以及硬件原因影响,数据采集难免会产生异常值,首先需要对温室数据序列进行异常值检测。分布图法和莱特准则(3倍标准差法)是常用的两种异常值检测方法^[15],其中莱特准则无须序列排序,实时性较强,但每次检测需要计算序列标准差。为了提高标准差计算速度,参照文献^[16]的思想,给出一种序列标准差滑动递推计算方法。

假定 $X(0), X(1), X(2), \dots, X(n)$ 为温室内传感器节点实际采集值构成的时间序列,设定一个长度为 $k(k \geq 15)$ 的窗口在温室数据序列上滑动,传感器每产生1个新的数据,窗口向前移动1位,则对于时刻 $i-1$ 和时刻 i 有

$$\bar{X}(i-1) = \frac{1}{k} \sum_{j=i-k}^{i-1} X(j) \quad (1)$$

$$\bar{X}(i) = \frac{1}{k} \sum_{j=i-k+1}^i X(j) = \bar{X}(i-1) + \frac{X(i) - X(i-k)}{k} \quad (2)$$

$$S^2(i-1) = \frac{1}{k-1} \sum_{j=i-k}^{i-1} (X(j) - \bar{X}(i-1))^2 \quad (3)$$

$$S^2(i) = \frac{1}{k-1} \sum_{j=i-k+1}^i (X(j) - \bar{X}(i))^2 =$$

$$\frac{1}{k-1} \sum_{j=i-k+1}^i \left(X(j) - \bar{X}(i-1) - \frac{X(i) - X(i-k)}{k} \right)^2 =$$

$$\frac{1}{k-1} \sum_{j=i-k+1}^i \left((X(j) - \bar{X}(i-1))^2 - 2(X(j) - \bar{X}(i-1)) \frac{X(i) - X(i-k)}{k} + \frac{(X(i) - X(i-k))^2}{k^2} \right) =$$

$$S^2(i-1) - \frac{(X(i) - X(i-k))^2}{k(k-1)} +$$

$$\frac{(X(i) - X(i-k))(X(i-k) + X(i) - 2\bar{X}(i-1))}{k-1} \quad (4)$$

其中, $\bar{X}(i-1), S(i-1), \bar{X}(i), S(i)$ 分别是 $i-1$ 和 i 时刻的均值和样本标准差。可知, i 时刻的样本标准差 $S(i)$ 和均值 $\bar{X}(i)$ 可以由 $i-1$ 时刻的样本标准差 $S(i-1)$ 和均值 $\bar{X}(i-1)$ 递推得到。根据莱特准则,可知如果序列值 $X(i) \geq 3S(i)$,则该值为异常值。剔除异常值后的序列将形成空缺,对于空缺值本系统采用 $X(i-1)$ 时刻的值进行填补。

3 基于两级预测的数据传输方法

在文献^[12]中,传感器节点端采用具有一定精度的预测算法估计这部分数据,当预测值与实际采集值的误差在限定值以内时,不上传采集的数据,而服务器端在规定时间内未收到指定数据则采用预测算法填充这部分数据,仅当误差超过限定值时才向网关或服务器上传实际采集值,并且同时更新两端的预测模型参数,从而大幅度减少传感器节点的数据传输量。常用的预测模型主要有两种:一是线性模型如回归、滑动平均、指数平滑和最小均方差等;二是非线性模型如神经网络、灰色系统等。其中,线性模型运输量相对较小,适合于资源有限的传感器节点使用。

3.1 传感器节点端一阶线性回归预测

由图2的温室温度曲线可以看出,温室环境数据尽管总体上呈现二次曲线趋势,但在有线时间段内却显示出直线特征,所以能够采用分段直线拟合,即可以采用线性模型中的一阶回归模型估计。

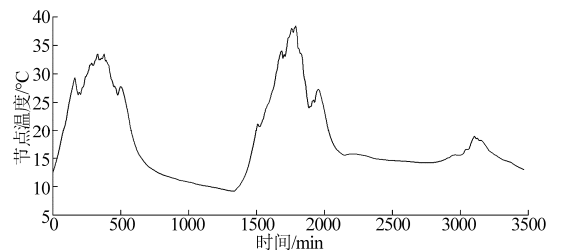


图2 典型温室环境温度曲线

Fig.2 Environment temperature curve of typical facility

在温室无线传感器网络的传感器节点端建立直线方程,拟合预测区间 $[T_{\min}^+, T_{\max}^-]$ 中的数据。对于 $i(k \geq 15)$ 时刻窗口序列 $X_i = \{X(m) | m = i - k + 1,$

$i - k + 2, \dots, i$, 令对应的直线方程拟合值为 $Y_i = \{Y(m) | m = i - k + 1, i - k + 2, \dots, i\}$, 则有直线拟合方程

$$Y(m) = am + b \quad (5)$$

其中

$$a = \frac{l_i^{xy}}{l_i^{xx}} \quad b = \bar{Y}_i - a \bar{X}_i$$

$$\bar{X}_i = \frac{1}{k} \sum_{m=i-k+1}^i X(m) \quad \bar{Y}_i = \frac{1}{k} \sum_{m=i-k+1}^i Y(m)$$

$$l_i^{xy} = \sum_{m=i-k+1}^i (X(m) - \bar{X}_i)(Y(m) - \bar{Y}_i)$$

$$l_i^{xx} = \sum_{m=i-k+1}^i (X(m) - \bar{X}_i)(X(m) - \bar{X}_i)$$

当 $m > i$ 时, 根据式(5)即可得到 m 时刻对应预测值 Y_m , 令该时刻的直线拟合误差为 $\psi = |Y(m) - X(m)|$, 温室监控系统所能容忍的拟合误差阈值为 ξ 。

当 $\psi < \xi$ 时, 传感器节点不向服务器上传数据 $X(t)$, 而服务器端规定时间内未收到该值时触发预测模型生成数据填充缺失 $X(t)$ 所产生的空缺。当 $\psi \geq \xi$ 时, 节点立即向服务器上传 $X(t)$, 并提醒服务器预测模型误差已经超过设定阈值, 但是此时并不能立即更新传感器节点和服务器两端的预测模型, 因为有可能是温室温度的短暂波动或者是温度经过拐点、极值点引起的较大误差, 如果此时立即更新方程, 则会造成短时间频繁更新直线方程的现象出现。为了避免这种情况, 节点在 m 时刻检测到 $\psi \geq \xi$ 时, 继续检测 $m + 1, m + 2, m + 3, \dots, m + k - 1$ 时刻数据并同时上传服务器, 如果 k 个连续时刻数据的拟合误差均满足 $\psi \geq \xi$, 则在 $m + k - 1$ 时刻基于这 k 个数据重新构造传感器节点和服务器两端的预测模型, 在传感器节点端基于新的直线方程继续进行拟合检测, 服务器端同样使用更新的预测模型, 否则, 仅向服务器上传传感器数据, 直至传感器节点检测到 k 个连续的误差超过设定阈值的数据时, 传感器节点和服务器才更新预测方程。

3.2 远程服务器端融合预测

为了提高传感器数据采集精度或者增强系统鲁棒性, 往往在同一个温室部署相同的多个传感器节点, 根据本系统的两级预测算法, 每个传感器在远程服务器端都会对应产生一个式(5)所示的一阶线性回归预测模型, 多个传感器节点同时工作后, 将在每个时刻产生多个同类环境因子数据, 而在温室 WSN 监控系统中, 这些数据必须融合成一个值才能进行环境状况决策^[17]。本系统采用自适应加权法对服务器端的预测数据进行融合。

假设温室 WSN 系统中部署了 p 个传感器节点,

某时刻 i 各传感器节点的一阶线性回归预测值分别为 $Y^1(i), Y^2(i), \dots, Y^p(i)$, 则最终的融合预测值为

$$Y(i) = \sum_{q=1}^p \omega^q(i) Y^q(i) \quad (\omega^q(i) \in [0, 1]) \quad (6)$$

其中, $\omega^q(i)$ 是传感器节点 q 在时刻 i 的加权融合权重。可以看出, 加权融合的关键就是确定融合权重。文献[18-19]从传感器测量方差角度给出了一种确定融合权重的方法, 据此, 可得传感器节点的融合权重 $\gamma^q(i)$ 为

$$\gamma^q(i) = \frac{\delta_q^{-1}(i)}{\sum_{q=1}^p \delta_q^{-1}(i)} \quad (q = 1, 2, \dots, p) \quad (7)$$

其中, $\delta_q^{-1}(i)$ 是传感器节点 q 在时刻 i 的方差倒数, 该方差同样可以采用式(4)所示的递推公式得到。式(7)的前提是各传感器节点在某时刻的测量值应该是此时刻所要估计真值的无偏估计, 但在温室环境中, 由于小气候的存在, 各位置的环境因子有所差异, 不同部署位置的传感器节点测量值并不能成为真值的无偏估计。为了减少这种影响, 在从方差估算融合权重的基础上, 本系统又给每个不同位置的传感器节点赋予固定不变的经验性权重, 令传感器节点 q 的融合经验权重为 θ^q ($\theta^q \in [0, 1]$), 则最终融合权重 $\omega^q(i)$ 为

$$\omega^q(i) = \frac{\gamma^q(i) \theta^q(i)}{\sum_{q=1}^p \gamma^q(i) \theta^q(i)} \quad (8)$$

另外, 在传统周期上传的温室无线传感器网络收发机制中, 如果节点失效, 则规定时间到时服务器不能收到对应节点的数据, 服务器可据此判断节点是否失效。在本系统的两级预测机制中, 节点周期唤醒采集, 如果服务器指定时间未收到传感器节点数据, 则会触发组合预测算法填补该数据, 这种策略在降低数据传输量的同时, 带来了服务器端难以及时获知传感器节点失效的负面影响。为了避免这种情况的出现, 这里采用传统的 Heartbeat 检测机制, 规定传感器节点每隔 1 h 向服务器发送一条 Heartbeat 信息, 如果服务器在周期到时未收到该消息, 则触发网关采用 CSMA-CA 机制向指定节点发送 Hello 消息, 节点收到该消息后立刻返回应答帧给服务器。如果服务器收到应答帧则认为目前节点工作正常, 可以继续采用预测算法, 否则随机延迟 $p t_{back}$ (p 为温室中部署的传感器节点数目, t_{back} 等于 CSMA-CA 机制中的退避周期) 秒后再次发送 Hello 消息, 当连续发送次数达到 5 次时仍未收到应答帧, 则报告服务器传感器节点可能发生故障, 暂停数据预测, 下一周期到来时如果仍未收到 Heartbeat 信息

再作此检测,如果仍未收到应答帧,则判断该传感器节点失效,停止服务器端数据预测。

4 基于抛物线的可变误差阈值确定方法

在本系统的两级预测算法中,阈值参数直接影响数据传输量和关键数据的精度,但目前并无文献研究阈值的选择问题。从最终实现温室环境自动决策控制的目的来看,区间 $[T_{\min}^+, T_{\max}^-]$ 中的值靠近边界越近对温室自动决策控制的影响越大,也就是说越靠近边界精度要求越高,所以对区间 $[T_{\min}^+, T_{\max}^-]$ 中的所有数据采用一个阈值有些不妥。基于该原理,提出一种基于抛物线的可变阈值策略。

如图3所示,假定区间 $[T_{\min}^+, T_{\max}^-]$ 边界和区间中间值 T_{mid} 分别对应的误差阈值为 ξ_m 和 ξ_{mid} ,则区间中的传感器数据所对应的误差阈值位于 (T_{\min}^+, ξ_m) 、 $(T_{\text{mid}}, \xi_{\text{mid}})$ 和 (T_{\max}^-, ξ_m) 3点所确定的抛物线上,即误差阈值为

$$\xi = aT^2 + bT + c \quad (9)$$

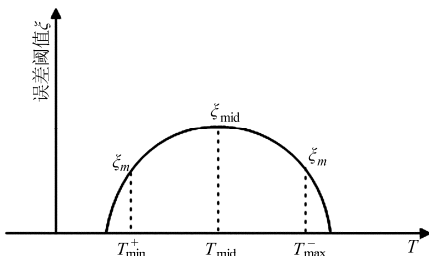


图3 基于抛物线的可变阈值策略

Fig. 3 Variable threshold strategy based on parabola

其中,参数 a 、 b 和 c 可通过代入已知的3点求得。可知,传感器数据所对应的误差阈值在区间中间时取得最大,在区间边界时取得最小。也就是说,当传感器数据接近边界值时,提高对预测算法精度的要求,尽量上传原始关键数据,以确保温室监控系统自动决策功能的效果。

5 试验

5.1 试验方法

2014年8月10日在江苏农博园玻璃温室中进行试验。该温室已经部署了1套星型结构的无线传感器网络温室信息监控系统。系统包含3个温湿度节点,1个照度节点和1个 CO_2 节点,这3个温湿度节点在温室中呈近似等边三角形布局(各节点两两相近似相距13m)。试验选择温度数据作为研究对象,并将节点数据的经验权重分别设定为1/3。该节点采用2节AA电池供电,设定数据采集周期为1min,为了便于分析,试验中节点每隔1min定时向远程服务器上传采集的原始温度数据,利用 Matlab

软件对融合效果进行了对比分析。

5.2 结果分析

试验从2014年8月10日上午8:00开始,各节点均获取280个温度数据。根据实际情况,设定滑动窗口长度 k 为16,即一阶线性回归样本容量16。分别采用一阶线性回归、自适应加权融合预测对数据进行处理,获得如下结果。

5.2.1 一阶线性回归预测和自适应加权融合预测效果对比(预测阈值 ξ 为 0.5°C)

图4a为一阶线性回归预测与节点的原始数据对比曲线。从节点1、节点2和节点3的预测对比效果来看,数据平稳时,一阶线性回归能够很好地逼近原始曲线,波动较大尤其是在波峰、波谷以及一些突出的拐点处,预测曲线有明显误差,但仍旧在预测阈值所限定的范围内。

图4b为自适应加权融合与一阶线性回归预测对比曲线。可以看出,自适应加权融合对节点1、节点2和节点3的温度数据进行了很好的折中。

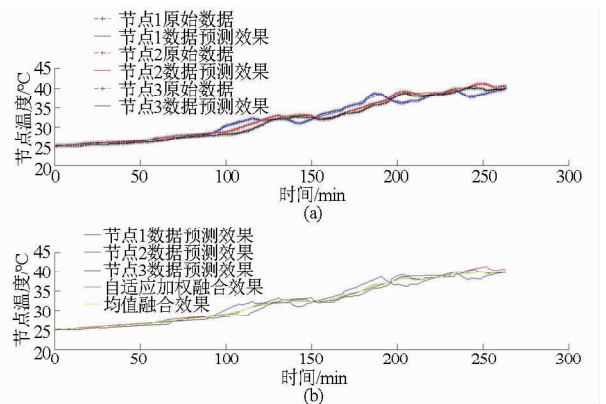


图4 一阶线性回归预测和自适应加权融合预测效果对比曲线

Fig. 4 Effect contrast curve between first order linear regression prediction and adaptive weighted fusion prediction

(a) 一阶线性回归预测与原始数据对比

(b) 自适应加权融合与一阶线性回归对比

同时也发现,尽管文献[18-19]通过理论证明,自适应加权融合优于均值融合,但本系统实际测试中,两者的融合效果差别并不明显(最大误差 0.36°C),主要原因是2个节点所采用的传感器芯片相同,处于基本相同的试验环境中,测量方差差别不大,并且赋予了相等的经验权重。这也说明了均值融合是自适应加权融合的特例。

5.2.2 节点数据发送次数分析

表1是2个节点的预测模型更新次数和节点数据发送次数对照表。可以看出,预测模型更新次数随着预测阈值的增大而呈减小趋势,这是因为预测

阈值增大后,对模型预测误差的接受程度也增大,所以预测模型的参数更新次数会减少。系统引入两级预测模型后,节点所需要传输的数据由两部分构成:一是初始构建服务器端预测模型时需要传输的 k (本系统中 $k = 16$) 个数据;二是系统运行中每次更新模型所需要的 k 个数据。对于第二部分数据,系

统采用捎带传输模式^[20],也就是将 k 个数据包传输,其能量消耗与传输 1 个数据相当。所以,每个节点在指定阈值情况下,数据发送次数等于预测模型更新次数加 k 。与未引入两级预测模型时对比,可知数据传输次数最大可减少 $1 - 21/280 = 93\%$ (预测阈值为 0.9 时)。

表 1 一阶线性回归模型更新次数和节点数据发送次数

Tab. 1 Update frequency and node data sending frequency of first order linear regression model

项目	预测阈值								
	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
节点 1 预测模型更新次数	13	13	11	10	8	8	8	7	6
节点 2 预测模型更新次数	10	10	10	9	8	8	8	6	5
节点 3 预测模型更新次数	12	11	11	8	8	7	6	6	6
节点 1 数据发送次数	29	29	27	26	24	24	24	23	22
节点 2 数据发送次数	26	26	26	25	24	24	24	22	21
节点 3 数据发送次数	28	27	27	23	24	23	22	22	22

6 结论

(1) 采用莱特准则实现了序列异常检测,为了提高莱特准则的实时性,给出了一种序列方差的滑动递推计算方法。该方法仅需记录 $i - 1$ 时刻的窗口序列均值、样本标准差和 $X(i - k)$,即可获得 i 时刻的传感器节点方差,有效简化了传感器节点实时方差的计算过程。

(2) 利用温室环境数据分段线性的特点,分别在传感器端和服务器端建立分段一阶线性回归方程,形成两级预测模型。该模型规定当预测值与实际采集值的误差在设定阈值以内时,不上传采集的数据,而是在服务器端采用相同的线性回归模型填充这部分数据。试验证明,应用该方法的温室 WSN

系统节点数据发送次数最大可减少 93% (预测阈值为 0.9 时)。

(3) 引入自适应加权算法,实现了温室 WSN 系统中多个同构传感器节点数据(包括预测数据)的服务器端融合,并结合传感器节点的实际部署位置差异,给出了修正的融合权重计算公式。

(4) 提出了一种基于抛物线的可变误差阈值确定方法,该方法能够根据传感器数据靠近阈值 $[T_{\min}, T_{\max}]$ 边界的远近程度自适应调整误差阈值。当传感器数据靠近 $[T_{\min}, T_{\max}]$ 区间边界时,该方法将自动给出一个较小的误差阈值以提高数据精度,反之,则给出一个较大的误差阈值以尽量减少传感器数据发送次数。

参 考 文 献

- Berezowski K. The landscape of wireless sensing in greenhouse monitoring and control [J]. International Journal of Wireless & Mobile Networks (IJWMN), 2012, 4(4): 141 - 154.
- 阎晓军, 王维瑞, 梁建平. 北京市设施农业物联网应用模式构建[J]. 农业工程学报, 2012, 28(4): 149 - 154.
Yan Xiaojun, Wang Weirui, Liang Jianping. Application mode construction of internet of things (IOT) for facility agriculture in Beijing [J]. Transactions of the CSAE, 2012, 28(4): 149 - 154. (in Chinese)
- 孙玉文, 沈明霞, 张祥甫, 等. 基于嵌入式 ZigBee 技术的农田信息服务系统设计[J]. 农业机械学报, 2010, 41(5): 148 - 151.
Sun Yuwen, Shen Mingxia, Zhang Xiangfu, et al. Design of embedded agricultural intelligence services system based on ZigBee technology [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2010, 41(5): 148 - 151. (in Chinese)
- 王福禄, 房俊龙, 张喜海. 基于无线传感器网络的温室环境监测系统研究[J]. 东北农业大学学报, 2011, 42(2): 59 - 64.
Wang Fulu, Fang Junlong, Zhang Xihai. Research of environmental monitoring system for greenhouse based on wireless sensor network [J]. Journal of Northeast Agricultural University, 2011, 42(2): 59 - 64. (in Chinese)
- 李萍萍, 王纪章. 温室环境信息智能化管理研究进展[J]. 农业机械学报, 2014, 45(4): 236 - 243.
Li Pingping, Wang Jizhang. Research progress of intelligent management for greenhouse environment information [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2014, 45(4): 236 - 243. (in Chinese)
- 张猛, 房俊龙, 韩雨. 基于 ZigBee 和 Internet 的温室群环境远程监控系统设计[J]. 农业工程学报, 2013, 29(增刊 1): 171 - 176.
- 盛平, 郭洋洋, 李萍萍. 基于 ZigBee 和 3G 技术的设施农业智能测控系统[J]. 农业机械学报, 2012, 43(12): 229 - 233.
Sheng Ping, Guo Yangyang, Li Pingping. Intelligent measurement and control system of facility agriculture based on ZigBee and 3G

- [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2012, 43(12): 229–233. (in Chinese)
- 8 刘卉, 汪懋华, 王跃宣, 等. 基于无线传感器网络的农田土壤温湿度监测系统的设计与开发[J]. 吉林大学学报, 2008, 38(3): 604–608.
Liu Hui, Wang Maohua, Wang Yuexuan, et al. Development of farmland soil moisture and temperature monitoring system based on wireless sensor network[J]. Journal of Jilin University, 2008, 38(3): 604–608. (in Chinese)
- 9 Ahonen T, Virrankoski R, Elmusrati M. Greenhouse monitoring with wireless sensor network [C] // IEEE/ASME International Conference on Mechatronics and Embedded Systems and Applications, MESA 2008, 2008: 403–408.
- 10 宋欣, 王翠荣. 基于线性回归的无线传感器网络分布式数据采集优化策略[J]. 计算机学报, 2012, 35(3): 568–580.
Song Xin, Wang Cuirong. Linear regression based distributed data gathering optimization strategy for wireless sensor networks[J]. Chinese Journal of Computers, 2012, 35(3): 568–580. (in Chinese)
- 11 肖骁. 无线传感器网络中基于 BP 神经网络的数据收集协议研究[D]. 长沙: 中南大学, 2009.
- 12 回春立, 崔莉. 无线传感器网络中基于预测的时域数据融合技术[J]. 计算机工程与应用, 2007, 43(21): 121–125, 146.
Hui Chunli, Cui Li. Forecast-based temporal data aggregation in wireless sensor networks [J]. Computer Engineering and Applications, 2007, 43(21): 121–125, 146. (in Chinese)
- 13 周平, 张胜, 舒坚. 基于预测模型的 WSN 节点能量融合机制[J]. 计算机工程, 2010, 36(1): 110–111, 130.
Zhou Ping, Zhang Sheng, Shu Jian. Node energy aggregation mechanism based on forecast model in WSN [J]. Computer Engineering, 2010, 36(1): 110–111, 130. (in Chinese)
- 14 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)
- 15 滕召胜, 罗隆福, 童调生. 智能检测系统与数据融合[M]. 北京: 机械工业出版社, 1999: 26–30.
- 16 邓胡滨, 刘觉夫, 王耀南. 均值方差的递推算法及其应用[J]. 计算机与现代化, 1996(4): 9–11.
- 17 蔡振江, 康健一, 张青, 等. 数据融合技术在温室温度检测中的应用[J]. 农业机械学报, 2006, 37(10): 101–103.
Cai Zhenjiang, Kang Jianyi, Zhang Qing, et al. Application of multi-sensor data fusion in greenhouse temperature test system [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2006, 37(10): 101–103. (in Chinese)
- 18 翟翌立, 戴逸松. 多传感器数据自适应加权融合估计算法的研究[J]. 计量学报, 1998, 19(1): 69–75.
Zhai Yili, Dai Yisong. Study of adaptive weighted fusion estimated algorithm of multisensor data [J]. Acta Metrologica Sinica, 1998, 19(1): 69–75. (in Chinese)
- 19 高峰, 俞立, 王涌, 等. 无线传感器网络作物水分状况监测系统的上位机软件开发[J]. 农业工程学报, 2010, 26(5): 175–181.
- 20 成小良. 无线传感器网络剩余能量实时监测方法研究[D]. 北京: 清华大学, 2010: 46–47.

Data Transmission of WSN System in Greenhouse Based on Two-level Prediction

Liu Yonghua¹² Shen Mingxia¹ Xiong Yingjun¹ Liu Yong¹ Gao Juling² Jin Wenxin²

(1. Jiangsu Agricultural Technology and Equipment Engineering Laboratory, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210031, China

2. Department of Mechanical and Electrical Engineering, Jiangsu Polytechnic College of Agriculture and Forestry, Jurong 212400, China)

Abstract: In order to decrease the data transmission frequency of the sensor nodes in greenhouse WSN system, a method based on two-level prediction was presented. Firstly, Letts' criterion was imported to detect the sequence of outliers and the calculation method of sliding recursive sequence variance was proposed to facilitate real-time calculation of the nodes. Secondly, a piecewise linear regression equation combined with weighted adaptive algorithm was established to form two-level prediction models in sensor node and server. When forecasting error exceeded the set threshold, the sensor nodes uploaded the actual collection value. At other times, the server automatically triggered the linear regression prediction model to fill the partial data. At the same time, a variable error threshold determination method based on parabola was presented according to the characteristics of the automatic control of facility environment. The tests proved that the first order linear regression model approximated the raw data curve in prescriptive error threshold and the number of sending data of WSN sensor nodes could be reduced 93% by using two-level prediction algorithm (error threshold is 0.9).

Key words: Greenhouse Wireless sensor network system Two-level prediction Data transmission