

桃园中无线传感网络通信协议改进设计*

鲁琛¹ 屈稳太² 杨祥龙¹ 王春龙¹ 曹泓¹ 贾生尧¹

(1. 浙江大学生物系统工程与食品科学学院, 杭州 310058; 2. 浙江大学宁波理工学院, 宁波 315100)

摘要: 为部署和运行符合桃园灌溉应用要求的无线传感网络,选取 2 470 MHz 载波频率,以长时间监测数据包传输率为基础获得可靠通信距离为 40 m,短时间内数据包传输率监测结果的分析表明无线链路在短时间内的变化很剧烈,且链路间没有明显的相关性。根据应用要求和链路特点设计了无线传感网络的通信协议;为降低监听功耗,对泛洪时间同步协议进行改进,设计了更符合本应用要求的泛洪-固定根节点时间同步协议;针对短时间内链路质量变化剧烈的特点,改进采集树路由协议以提高数据包传输效率,将两种协议结合,设计了较完备的通信协议,并在 TinyOS 无线传感网络操作系统上用 nesC 的编程方法进行实现,最后在桃园中进行现场实验,结果表明:全网节点时间同步的误差小于 10 ms,研究的通信协议与基于 MultihopLQI 的通信协议相比,数据包传输率提高 8%~15%,两节 AA 电池可供节点运行 264 d,具有很低的功耗。

关键词: 桃园 无线传感网络 数据包传输率 时间同步协议 路由协议

中图分类号: S275.9; TP393.02; TN919.72 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2014)07-0260-07

引言

应用于农业的无线传感网络,通常需要满足低成本、低功耗、信号传输稳定以及覆盖地域范围较大的要求,这些应用要求和外界环境对无线传感网络的节点制造、节点部署、无线信道^[1-3]、网络协议^[4-5]、数据融合等方面起着决定性影响^[6-9]。

不同的农业环境,无线传感网络通信协议的考虑也各不相同,Yang 等^[10]和沈明霞等^[11]的研究适用于无线链路的质量随时间变化不大的情况,然而,Sun 等^[6]研究表明,载波频率为 2 470 MHz 时,一些真实环境下的无线传感网络的链路质量在小时数量级上变化很大,假如果园等实际环境下的无线链路也存在这样的特点,通信协议的设计无疑需要考虑这一重要因素,以期获得较高的传输效率。

本文为在桃园中部署并运行符合应用要求的无线传感网络,选取 2 470 MHz 载波频率,测量桃树在生长期各个阶段内数据包传输率的平均值并分析得到最佳收发机高度和可靠通信距离,据此部署无线传感网络;测量并分析链路的数据包传输率在短期内的变化,将结论用于无线传感网络的路由协议设计;根据应用要求和桃园环境下的链路特点设计无线传感网络的通信协议(主要包含时间同步协议和

路由协议),并在 TinyOS 无线传感网络操作系统上用 nesC 的编程方法实现该通信协议,最后在桃园中进行时间同步、路由协议的对比和节点功耗实验。

1 桃园中的无线传感网络的应用要求

本研究针对浙江大学紫金港校区的桃园部署无线传感网络,设计和实现通信协议,运行符合应用要求的无线传感网络。这是最终实现根据土壤湿度进行智能灌溉的必备条件。无线传感网络应符合如下要求:

- (1) 桃园大部分区域无法市电供电,为降低无线传感网络的成本,采用电池供电,所以需满足低功耗,2 节 AA 电池能用数月。
- (2) 每 30 min 或 1 h 采样一次,数据产生后 2~3 h 内传至网关节点即可。
- (3) 最终目的是将土壤湿度传感器深埋至桃树根部土壤以监测土壤湿度,因此,出于部署成本的考虑,传感器节点安装高度不能高于地面 3 m。
- (4) 节点部署密度较小,节点间隔一般为数十米,只需考虑与附近少于 5 个节点进行通信。

2 最佳收发机高度和可靠通信距离

实验设备为 TelosB (Crossbow Technology,

收稿日期: 2013-08-16 修回日期: 2013-11-02

* 宁波市自然科学基金资助项目(2011A610135)和浙江省科技厅重大科技专项(优先主题)工业项目(2009C11041)

作者简介: 鲁琛,博士生,主要从事无线传感网络研究,E-mail: 476643698@qq.com

通讯作者: 屈稳太,教授,主要从事复杂机电系统建模与控制研究,E-mail: wentaiqu@zju.edu.cn

California, USA) 节点, 选取无线传感网络最常用并且在我国免许可的 2 470 MHz 频段, 桃树间距均为 3.83 m, 在桃树花期到果实成熟期的几个时间段内, 通过测量收发机在不同高度和距离下的数据包传输率的平均值分析得出最佳收发机高度和可靠通信距离。

实验中, 选取放置发射机和接收机金属杆的位置时, 应保持其正好处于一排桃树树干连线或其延长线上; TelosB 节点天线是集成在电路板上的印刷天线并近似为全向, 在测量过程中保持电路板平面与地平面垂直。

最佳收发机高度和可靠通信距离满足条件是: ①该高度下, 桃树花期到果实成熟期的各个时间段内小于可靠通信距离的各个距离下数据包平均传输率均大于 80%^[7]。②如果在无线传感网络部署的限制高度(3 m)内存在理想的不受桃树枝叶阻挡的视距传播的收发机高度, 则该高度就是最佳收发机高度。获得实验数据后根据上述条件分析可得最佳收发机高度为 3 m, 该收发机高度下可靠通信距离为 40 m。

3 短时间内无线链路的数据包传输率监测

测量桃园中短时间内无线链路的数据包传输率的实验环境与第 2 节所述相同, 实验设备为 1 个发射机和 10 个接收机, 发射机和接收机都是 TelosB 节点, 发射机和单个接收机分别组成链路 1、链路 2、…、链路 10, 实验在 2012 年 5 月 20 日早 10:00 至 5 月 26 日早 10:00 内进行, 测量方法是: 发射机和接收机的高度都为 3 m, 每个接收机和发射机距离都是 40 m, 测量过程中保持所有节点电路板平面与地平面垂直。发射机的 CC2420 芯片输出功率设置为 0 dBm, 每隔 0.5 h 启动一次无线模块, 10 min 后关闭, 无线模块启动后每隔 2 s 发出一个带有序列号的数据包; 接收机每隔 0.5 h 启动一次无线模块, 11 min 后关闭, 为了克服时钟漂移, 将每个接收机无线模块的开启时间比发射机提前 30 s, 关闭的时间比发射机滞后 30 s(这一余量已足够克服时钟漂移引起的误差)。接收机 10 min 内的测量结果保存在接收机的 Flash 存储芯片中, 实验结束将每个接收机与计算机相连, 用程序读取 Flash 中的数据, 然后求出每 2 次测量的平均值作为该时段内该无线链路的数据包传输率。

对 10 条无线链路短期内的数据包传输率测量结果分析如下: ①数据包传输率随时间变化很大, 推测是由温度^[12]、多径衰落^[13]、湿度和噪声^[6]等的影响造成的, 几种因素影响机理有待进一步研究。

②无线链路数据包传输率没有随昼夜交替而呈现明显的规律。经计算, 整个短时间范围内, 所有链路之间的相关系数分布如图 1 所示, 相关系数分布在 $(-0.220, 0.212)$ 之间, 并可近似忽略, 因此做如下推断: 某一时段内, 一条链路的数据包传输率降低时, 无法直接预测这一时段内另外一条无线链路的数据包传输率, 从而直接选择此时合适的路由节点以提高数据包传输效率。

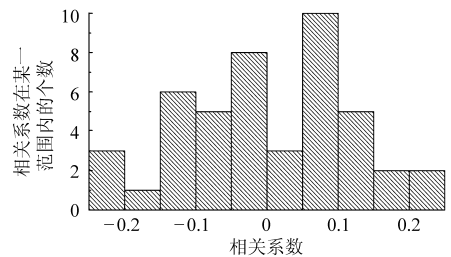


图 1 相关系数的分布

Fig. 1 Distribution of correlation coefficient

4 通信协议设计

4.1 通信协议总体设计

无线传感网络中, 节点之间晶振周期差异造成的时钟误差不可避免, 为最大程度减少收发模块开启的时间以节省节点有限的能量, 需设计所有节点在整个运行时间内的时间同步协议以实现所有节点同时开启和关闭收发模块^[14]。

FTSP(泛洪时间同步协议)协议^[15]通过周期性的广播时间同步消息包来达到全网同步, 该协议能有效解决根节点失效的问题并能在原理上抑制非根节点的广播, 本研究设计并实现了更符合本应用的泛洪-固定根节点时间同步协议, 它完全能达到本应用要求不高的同步精度(同步误差在数百毫秒级上已经足够), 与 FTSP 协议对比, 改进如下: ①由竞争产生的根节点在一定数目的(本研究的协议中设定为 30 个)消息周期后广播询问其他所有节点是否已经在一定数目的(本研究的协议中设定为 15 个)消息周期内都认为自己是根节点, 如果所有节点的应答都为“是”, 则该竞争产生的根节点就是全网的固定根节点, “否”则继续进行同步, 如此循环。②为维持全网时间同步并提高同步精度, 固定根节点只在收发机开启的一次通信过程的专用时隙内发送时间同步包, 其他节点也只在该时隙内接收并转发时间同步包。

研究中, 需解决将为数众多的传感器节点产生的土壤湿度数据多跳传至某一固定节点这一问题, 因此可采用树状网结构, 如前对桃园中短时间内无线链路的数据包传输率的监测结果和分析可知, 在

研究的应用环境下,无线链路数据包传输率波动很大,为了提高数据包传输效率并降低发送能耗,需要设计或改进能动态选择下一跳节点的路由协议。CTP(采集树)路由协议^[16]的链路估计器能通过是否收到应答消息对过去数个数据包的应答情况进行统计,结合邻居节点最新发送的信标对整条链路的ETX(预期的传输次数)进行计算,据此选择到根节点的路由路径,因而能很好地解决链路质量变化的问题^[16]。此外,CTP路由协议还具有避免重传、迅速修复路由环路以及发送信标数量很少等优势。但本研究的通信协议的路由协议与CTP路由协议有如下不同:在全网能够达到时间同步即能同时开启和关闭无线收发模块之后,为大幅降低监听功耗,须采用很低占空比,因此休眠时间会达数十分钟或更长,这将造成每当一次通信过程开始时,都需要初始化链路估计器,再迅速发送需应答的路由信标,而后通过应答统计估计与邻居节点之间的链路的质量,因此需要改进CTP路由协议。

综合以上,本研究的通信协议的总体设计是:将改进的泛洪-固定根节点时间同步协议作为通信协议的主体,在所有节点同时开启无线收发模块之后的一次通信过程中,采用更符合本应用的改进CTP路由协议进行数据传输。

4.2 通信协议设计

所设计的泛洪-固定根节点时间同步协议流程如图2所示,其中一次通信过程如图3所示,相关说明如下:

(1) 在图2中,节点的各种状态含义如下:booted表示成功进行一次硬件启动,InSynchronizationProcess表示进入竞争根节点的阶段,StableRootState表示非根节点的时间同步达到稳定更新的状态,节点不再接收除记录根节点以外的其他根节点同步包,StateInWork表示节点能正确与记录的根节点进行同步,在该状态下所有节点能在同一时刻打开无线收发模块,开始一次通信过程,然后同时关闭无线收发模块。

(2) 当全网内节点达到时间同步(也就是能同时开启和关闭无线收发模块)后,即同时开始和同时结束图3所示的一次通信过程(在其余时间,节点的收发模块都处于关闭状态)。在该过程中,为确保所有节点收到以及广播邻居节点记录的根节点发送的同步消息包以维持全网时间同步,协议中留有专用的时间同步时隙 T_1 ,该时隙不小于3个接收并广播同步消息的周期,每个周期结束则将收到的记录根节点序列号最大的时间同步消息广播出去,为使时间同步表中记录的条目在时间上均匀分布进

而按照时间同步表计算的根节点的时间更精确,在一次通信过程中只记录一次,对序列号更大的其他同步消息只进行广播转发而不记录。在此时隙之后是通过发送可变周期的路由信标估计链路质量的时隙 T_2 ,在该时隙开始时初始化链路估计器,为避免多个节点信标发送时间冲突,第1个信标在随机延时后发送,之后为了避免信标发送的间隔过短造成信标一次传输失败后的传输率降低^[13]以及减少信标数量,将第2个信标间隔设置为256 ms,之后每次发送的时间间隔增加25%,直至 T_2 结束。链路估计器通过应答统计计算与邻居节点间之间链路的期望传输次数,通过解析邻居节点发送的信标获得邻居节点到根节点的期望传输次数,两者相加即可获得本节点到根节点的期望传输次数,选该值最小的邻居节点作为父节点。所有的一次通信过程发送信标的时间安排都相同。一次通信过程的最后是转发数据包、发送数据包以及其余路由信标的时隙 T_3 ,当节点接收到数据包需要路由时,将数据包打包转发给链路估计器选好的父节点。当节点符合以下3个条件之一时重启信标初始间隔时间:①路由表为空。②期望传输次数增加大于1.5。③监听到一个Pull标志位为1(代表邻居节点需要获得本节点发送路由信标以更新路由表)的数据包。节点自身产生数据后打包向父节点发送,最终路由至根节点。

(3) 图2中,为避免节点同时收到数据后立刻发送消息引起的冲突,设置与节点ID相关的随机定时器,用于发送JoinRequest消息、发送TimeSynchronizationInSyncProcessMsg消息、发送WelcomJoin消息、发送或者广播IsRootMeStable消息、发送或者广播RootNotStable消息、发送或者广播SetNetWideGlobalWakeupTime消息的随机定时器周期范围分别为5.0~6 s、2.5~3.5 s、5.0~10 s、2.0~3.5 s、3.5~4.0 s、4.5~6.5 s,图3中,接收并广播同步消息的周期为1.5~2.5 s,对于所有类型的消息,在检查是否发送足够次数以及发送时分别采用检查队列和发送队列的机制,图中 s_p 为接收并广播同步消息的周期。

5 实验

5.1 时间同步实验

实现通信协议时,在TinyOS-2.1.0操作系统上,用nesC编程语言编写协议程序,MAC层采用CSMA-CA的信道接入算法,数据包的格式符合IEEE802.15.4的标准,通信协议的调试方法是:将协议的二进制文件下载至TelosB节点上的MSP430单片机中,在上位机上采用Printf函数显示变量从

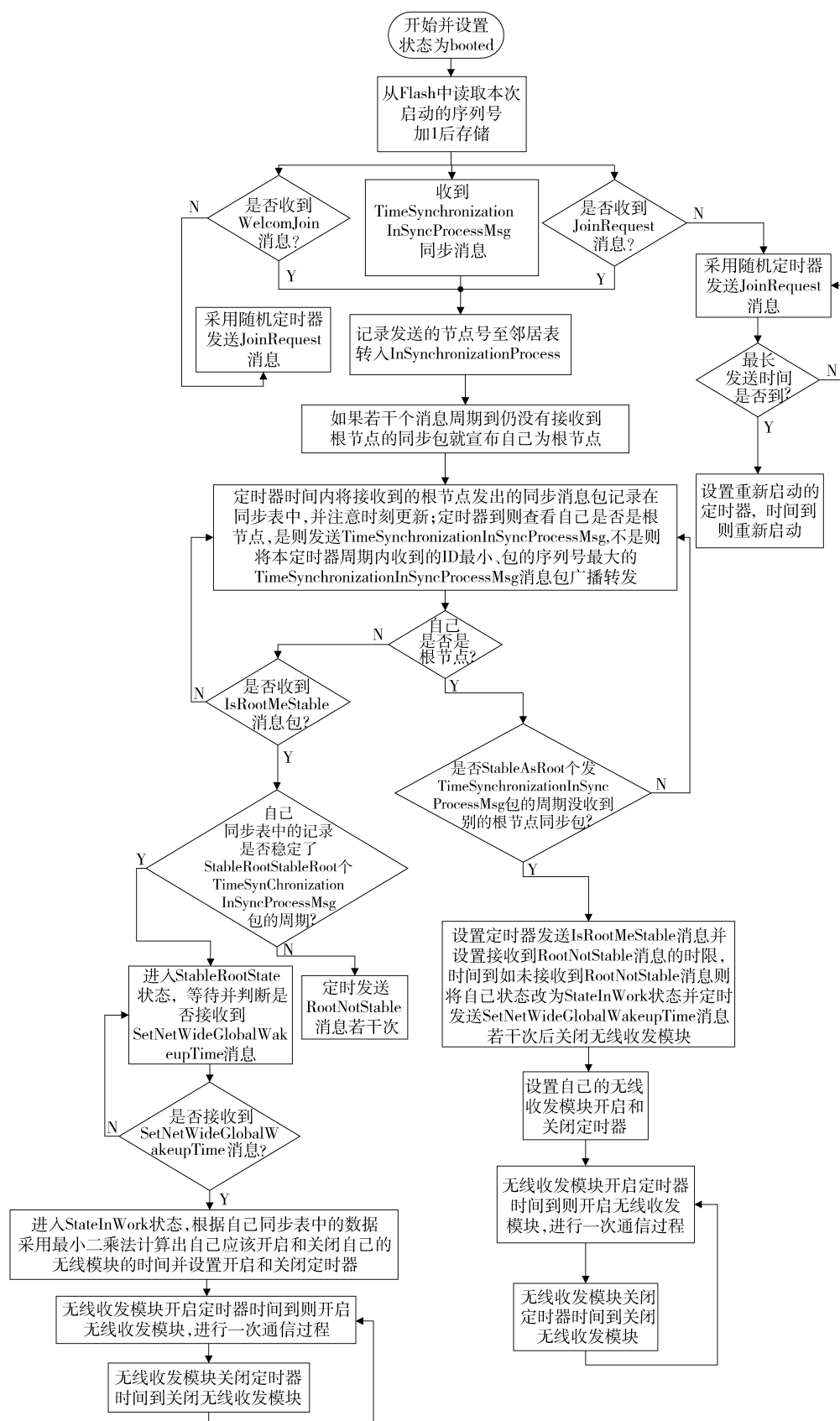


Fig. 2 Flow chart of flooding and stable root time synchronization protocol

一个 TelosB 节点作为改进的采集树协议的根节点用于接收其他所有节点定时虚拟的包含土壤湿度数据的数据包,所有节点的高度为 3 m,并且尽可能保

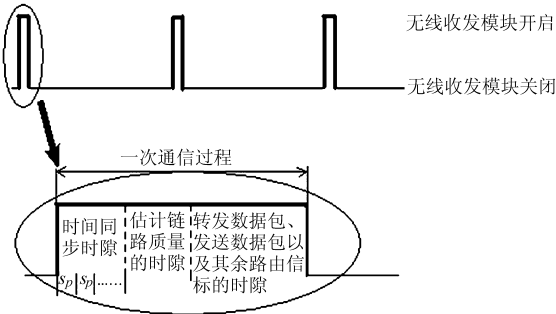


图3 一次通信过程示意图
Fig.3 Process of communication

持部署间隔为 40 m (有的节点间隔小于 40 m, 由第 2 节可知, 小于 40 m 也能保证可靠通信), 用 5 个 TelosB 节点作为参考节点分散部署在网络节点之间, 每隔 15 s 发送消息, 实验过程中保持所有节点电路板平面与地平面垂直并将所有节点 CC2420 芯片输出功率设置为 0 dBm, 节点的一个工作周期由一次通信过程时间 (实验中设置为 20 s) 和一次无线收发模块关闭时间 (实验中设置为 1 780 s) 组成, 一次通信过程中 T_1 、 T_2 、 T_3 时隙分别为 7.5 s、5.0 s、7.5 s, 由根节点将所有 TelosB 节点虚拟的土壤湿度数据传送至上位机并在 Cygwin 平台下通过 TinyOS-2.1.0 中的 Printf 函数进行显示, 运行时间为 2013 年 6 月 10 日 10:00 ~ 2013 年 6 月 20 日 10:00, 由运行结果可见, 所有节点均能同时开始和结束一次通信过程, 将每个节点 Flash 中存储的该节点估计的每次无线模块开启时刻和接收到参考节点发送的消息的时刻所对应的根节点的时间读出并进行误差分析, 结果表明整个实验时间内, 全网内所有节点的最大同步误差均小于 10 ms, 这一精度足够达到桃园中无线传感网络的应用要求。

5.2 路由协议对比实验

MultihopLQI 是一个认可度很高、测试充分、应用广泛的路由协议, 是常用的无线传感网络路由协议的对比协议^[16]。由于本研究设计和实现的通信协议融合了时间同步协议和路由协议, 将其与单一的 MultihopLQI 路由协议进行对比实验是不合理的, 必须在共有的时间同步协议基础上进行对比, 因此实验中用作对比的通信协议的设计方法是: 首先完全采用本研究设计的泛洪-固定根节点时间同步协议做到时间同步, 然后在开启无线模块的时间 (一次通信过程) 内分配信标的专用时隙以确保链路代价评估, 之后采用 MultihopLQI 路由协议, 即每个节点通过接收的路由信标中包含的单跳链路质量指数 (LQI) 和邻居节点的路由代价来计算从该节点到根节点的路由代价, 从而选取最优路径, 无线模块开启

后初始化路由信息和邻居信息表。对比协议的实现方法是: 将本研究设计的泛洪-固定根节点时间同步协议完全移植到对比协议上, 然后将 TinyOS-2.1.0 里 MultihopLQI 协议的标准实现移植到对比通信协议里, 并加入无线模块开启后初始化路由信息和邻居信息表的代码以及分配路由信标专用时隙的代码。

对比实验中 2 种协议的实验环境、实验设备类型和数量、网络结构、节点部署方法、一次通信过程时间、一次无线收发模块关闭时间都与时间同步实验相同。在一次通信过程中, 上述对比的通信协议的路由信标专用时隙为 7.5 s, 路由信标的发送周期均设置为 512 ms。本研究的通信协议运行时间为 2013 年 6 月 21 日 10:00 ~ 2013 年 7 月 1 日 10:00, 对比的通信协议运行时间为 2013 年 7 月 2 日 10:00 ~ 2013 年 7 月 12 日 10:00, 每天对每个节点虚拟的数据包的接收进行统计, 计算该天该节点数据包传输率, 最终计算出的所有节点的数据包传输率的最大值、最小值以及平均值如图 4 所示。可见, 采用本研究的通信协全网内所有节点的数据包传输率始终在 90% 以上, 数据传输率提高 8% ~ 15%, 本研究的协议优于对比的通信协议。

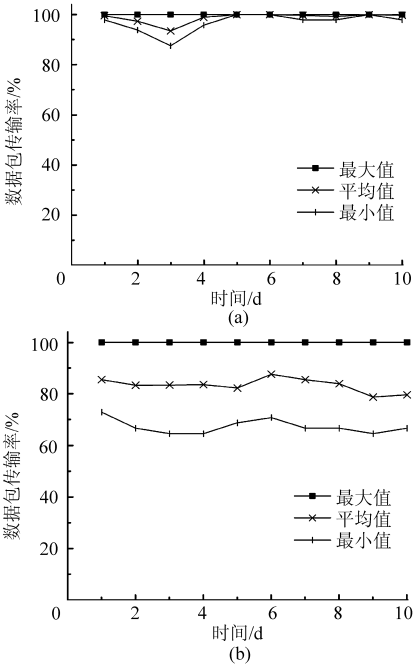


图4 两种通信协议数据包传输率的对比

Fig.4 Comparison of packet delivery rate for the two protocols
(a) 本研究通信协议 (b) 对比的通信协议

5.3 节点的功耗分析和计算

节点的功耗分析和计算实验的实验环境、实验设备类型和数量、网络结构、节点部署方法、一次通信过程时间、一次无线收发模块关闭时间都与时间同步实验相同, 过程如下:

(1) 取 10 个 TelosB 节点作为测量样本,分别与 $5.1\ \Omega$ 的电阻串联后用 2 节 AA 电池进行供电,通过示波器对电阻上的电压进行监测可以获得节点的电流强度的瞬时值,测量结果是每个 TelosB 节点一次通信时间内的瞬时值基本保持稳定并且不同的节点之间都近似相等,10 个 TelosB 节点的平均值约为 26.385 mA,用相同方法求出 10 个 TelosB 节点在无线收发模块关闭时间内的电流强度瞬时值一直约为 117.647 μ A。

(2) 本研究的通信协议中,TelosB 节点的一个工作周期由一次通信过程时间(时长为 20 s)和一次无线收发模块关闭时间(时长为 1 780 s)组成,据此求出节点在工作周期内电流强度的平均值,计算可得,平均值为 0.337 mA。

(3) 改变每个 TelosB 的工作电压以测量最低工作电压,平均后可得该电压是 2.14 V,将 2 节容量都是 2 400 mA $\cdot$ h 的 AA 电池串联组成电池模块进行放电实验,结果表明,该电池模块在 3.30 ~ 2.14 V 之间的总电量是 2 135 mA $\cdot$ h,以该数值除以步骤(2)中获得的工作周期内电流强度的平均值可得,电源模块可使用的时间约为 264 d。

6 结论

(1) 以长时间监测数据包传输率为基础获得收发机最佳高度为 3 m,在此高度下,可靠通信距离为 40 m。

(2) 在通信协议研究方面,改进了 FTSP 协议同步包的发送时隙,设计了带有稳定根节点判断标准和时间同步包专用发送时隙的泛洪-固定根节点时间同步协议,根据短期内链路的数据包传输率的监测结果和分析,得出短期内链路质量变化特点,然后结合本应用要求,改进了 CTP 路由协议,最后采用 TelosB 节点,在 TinyOS-2.1.0 操作系统上,用 nesC 语言编写、调试并实现了整个通信协议。

(3) 在桃园现场实验方面,首先进行了时间同步实验,结果表明 10 d 内所有节点的同步误差都小于 10 ms,然后进行了对比实验,结果表明本通信协议与基于 MultihopLQI 的通信协议相比,数据包传输率提高 8%~15%,最后进行了功耗实验,结果表明,2 节容量都是 2 400 mA $\cdot$ h 的 AA 电池串联组成电池模块可使 TelosB 节点工作 264 d,运行本研究通信协议的 TelosB 节点具有很低的功耗。

参 考 文 献

- 李震,洪添胜,Wang Ning,等.基于神经网络预测的无线传感器网络田间射频信号路径损耗[J].农业工程学报,2010,26(12):178-181.
Li Zhen, Hong Tiansheng, Wang Ning, et al. Path-loss prediction for radio frequency signal of wireless sensor network in field based on artificial neural network[J]. Transactions of the CSAE, 2010, 26(12):178-181. (in Chinese)
- Richter J, Caldeirinha R F S, Al-Nuaimi M O, et al. A generic narrowband model for radiowave propagation through vegetation [C]//2005 IEEE 61st Vehicular Technology Conference, 2005, 1:39-43.
- 郭秀明,赵春江,杨信廷,等.苹果园中 2.4 GHz 无线信道在不同高度的传播特性[J].农业工程学报,2012,28(12):195-200.
Guo Xiuming, Zhao Chunjiang, Yang Xinting, et al. Propagation characteristics of 2.4 GHz wireless channel at different heights in apple orchard[J]. Transactions of the CSAE, 2012, 28(12):195-200. (in Chinese)
- Baccour N, Koubaa A, Mottola L, et al. Radio link quality estimation in wireless sensor networks: a survey [J]. ACM Transactions on Sensor Networks, 2012,8(4): Article No 34.
- Zhang H, Sang L, Arora A. Experimental analysis of link estimation methods in low power wireless networks[R]. Detroit, MI: Wayne State University, 2008.
- Sun Jingbo, Cardell-Oliver R. An experimental evaluation of temporal characteristics of communication links in outdoor sensor networks[C]//Proceedings of the ACM Workshop on Real-World Wireless Sensor Networks (REALWSN 2006), 2006.
- Li Zhen, Hong Tiansheng. Data transmission performance for 2.4 GHz in field wireless sensor networks[C]//2nd International Conference on Computer Engineering and Technology (IC CET), 2010, 1:465-469.
- Aqeel-ur-Rehman, Abu Zafar Abbasi, Noman Islam, et al. A review of wireless sensors and networks applications in agriculture [J]. Computer Standards and Interfaces, 2014,36(2):263-270.
- Ruiz-Garcia L, Lunadei L, Barreiro P, et al. A review of wireless sensor technologies and applications in agriculture and food industry: state of the art and current trends[J]. Sensors, 2009,9(6):4728-4750.
- Yang Haiqing, Kuang Boyan, Mouazen A M. Wireless sensor network for orchard management[C]//2011 3rd International Congerence on Measuring Technology and Mechatronics Automation (ICMTMA), 2011, 3:1162-1165.
- 沈明霞,马奉先,孙玉文,等.农田信息采集单多跳共存 LEACH 算法[J].农业机械学报,2010,41(3):163-168.
Shen Mingxia, Ma Fengxian, Sun Yuwen, et al. Improved LEACH algorithm with coexistence of single-hop and multi-hop based on the farm fields[J]. Transactions of the Chinese Society for Agriculture Machinery, 2010, 41(3):163-168. (in Chinese)
- Kenneth Bannister, Gianni Giorgetti, Sandeep K S. Gupta. Wireless sensor networking for "Hot" applications: effects of

temperature on signal strength, data collection and localization [C] // 5th Workshop on Embedded Networked Sensors (HotEmNets'08), 2008.

13 Srinivasan K, Kazandjieva M, Agarwal S, et al. The beta-factor: measuring wireless link burstiness[C] // Proceedings of the 6th ACM Conference on Embedded Networked Sensor Systems (SenSys'08), 2008; 29 – 42.

14 Lasassmeh S M, Conrad J M. Time synchronization in wireless sensor networks: a survey [C] // Proceedings of the IEEE Southeastcon, 2010; 242 – 245.

15 Kusy B, Ledeczi A, Maroti M, et al. The flooding time synchronization protocol[C] // Proceedings of the 2nd International Conference on Embedded Networked Sensor Systems, 2004; 39 – 49.

16 Omprakash Gnawali, Rodrigo Fonseca, Kyle Jamieson, et al. Collection tree protocol [C] // Proceedings of the 7th ACM Conference on Embedded Networked Sensor Systems (Sensys 09), 2009; 1 – 14.

17 岳学军,王叶夫,洪添胜,等. 基于信道测试的橘园 WSN 网络部署试验[J]. 农业机械学报, 2013, 44(5); 213 – 218.
Yue Xuejun, Wang Yefu, Hong Tiansheng, et al. WSN layout experiment based on radio frequency propagation tests in citrus orchard[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2013, 44(5); 213 – 218. (in Chinese)

Design and Improvement of the Communication Protocol for Wireless Sensor Networks in Peach Garden

Lu Chen¹ Qu Wentai² Yang Xianglong¹ Wang Chunlong¹ Cao Hong¹ Jia Shengyao¹
(1. College of Biosystems Engineering and Food Science, Zhejiang University, Hangzhou 310058, China
2. Ningbo Institute of Technology, Zhejiang University, Ningbo 315100, China)

Abstract: With the aim to deploy wireless sensor networks and accommodate to application in a peach garden, the frequency of 2 470 MHz was selected, a distance of 40m was defined as a reliable communication distance based on the monitoring of variance of packet deliver rate in long term, the result and analysis of short term monitoring of packet delivery rate showed that quality of wireless links changed greatly in short term and there were no significant correlation between them. Then a communication protocol was designed based on the requirement of application and the characteristics of links; with the aim to reduce power consumption of listening, the flooding time synchronization protocol was improved and flooding-stable root time synchronization protocol was designed; as the link quality changes greatly in short time the collection tree protocol was improved to enhance the packet deliver efficiency, a comparatively complete communication protocol was designed by combining these two protocols above. After that the protocol was implemented with nesC language in TinyOS, finally field tests were carried out in the peach garden, the result shows that the time synchronization errors are less than 10 ms in the whole net, the packet delivery rate of communication protocol is 8% ~ 15% higher than that of communication protocol based on MultihopLQI. A TelosB node can run 264 d, with the supply power of two AA batteries, indicating that the communication protocol achieves very low power consumption.

Key words: Peach garden Wireless sensor networks Packet delivery rate Time synchronization protocol Routing protocol