

基于 RFID 和低占空比机会路由协议的冷链物流监控系统设计

张 娅^{1,2}

(1. 北京理工大学 软件学院, 北京 100081; 2. 宜宾职业技术学院, 四川 宜宾 644000)

摘要:针对现有冷链物流监控系统往往侧重于系统软硬件设计或仅对感知层获取的数据进行压缩融合处理,没有考虑到可靠、节能和短路径路由协议的设计,设计了一种基于 RFID 和低占空比机会路由协议的冷链物流监控系统;首先给出了系统总体结构框图,并对各组成部分即 RFID 标签,标签阅读器、节点和汇聚节点均进行了硬件设计,然后,设计了一种基于低占空比休眠机制的机会型路由协议,通过汇聚节点广播 Hello 数据包确定数据传输方向和邻居候选节点集,在此基础上进一步通过预测候选节点在某时刻的状态来确定是否为最终的候选节点获得转发机会;通过部署实验进行测试,结果证明文章设计的系统能实时有效地对冷链物流系统进行有效监控,较其它方法,具有数据传输路径短、数据包到达率高和数据延时短的优点,具有较大的优越性。

关键词:冷链物流;路由协议;占空比;节点

Design of Monitoring System for Cold Chain Logistics Based on RFID and Low Duty Cycle Opportunistic Routing

Zhang Ya^{1,2}

(1. Software engineering, Beijing Institute of Technology, Beijing 100081, China;

2. Yibin Vocational and Technical College, Yibin 644000, China)

Abstract: Owing to the given cold chain logistics monitoring system paying attention to the system software and hardware or the compress and fusion manage, not considering the feasibility, energy-saving and short-part routing protocol design. Therefore, a cold chain logistics monitoring system based on RFID and Low Duty Cycle Opportunistic routing is designed. Firstly, the main system framework figure is given and the hardware of the parts including RFID label, label reader, node and sink node are designed. Then the Opportunistic routing with Low Duty Cycle is introduced, the sink node broadcasting the Hello data packet to get the data transferring direction and neighbor selective node set, and the states for the neighbor selective node set are predicted to obtain the final selective nodes with opportunity. The experiment is tested to show the system in this paper can monitoring the system effectively, and compared with the other methods, it has the short path of transfer, high data packet reaching rate and short delay time, so it is with big priority.

Keywords: cold chain logistics; routing protocol; low duty cycle; node

0 引言

近年来食品安全问题越来越受到经济社会的重视^[1-3],冷链物流技术^[4-5]是一种保证生鲜易腐农产品品质和质量安全的重要手段,通过调节储运环境中气体构成和温湿度环境来保证生鲜易腐农产品处于合宜的贮藏环境^[6],目前已经成为生鲜易腐农产品物流运送的主要方式和发展方向^[7-8]。

目前,已有的冷链物流监控方面的相关研究主要有:文献[9]设计了一种基于 RFID 的生鲜食物冷链物流监测系统,将 RFID 读取的数据发送给后台处理程序,并通过程序对食品的监测数据进行处理。文献[10]设计了一种基于无线射频识别技术的罗非鱼冷链物流温度监控系统,通过 RFID 无线传输技术来自动读取冷藏产品温度,实现产品温度实时监控。文献[11]首先通过数据压缩感知特征构建双正交小波变换稀疏矩阵,实现采集数据的稀疏表示,最后构建数据传输模型和实现数据压缩采样传输。

上述工作均研究冷链物流智能监控系统,但往往侧重于系统软硬件设计或是对数据进行稀疏表示,没有考虑节点数据传输的多跳路由,为此,文中设计了一种基于低占空比的机会汇聚路由^[12],实现节点数据到网关的数据传输,并通过仿真试验对所提方法进行了验证。

1 系统构架

冷链物流中的贮藏场所主要为冷藏库,为了实现多所有生鲜农产品的实时监控,在生鲜农产品的包装袋上附加了 RFID 标签,标签内置温度传感器,传感器节点通过 RFID 阅读器来读取各标签上存储的数据,并通过多个节点之间的多跳路由发送给汇聚节点。

文中设计的基于 RFID 的冷链物流监控系统如图 1 所示。

初始时刻设定温度记录时间间隔,在每个生鲜食品包装上均贴上有温度传感器的 RFID 标签,传感器节点密集地分布在冷藏库和冷库中,读取 RFID 标签的值以及采集环境中的湿度等信息,当某生鲜农产品到达某节点时,就能将生鲜农产品上的 RFID 标签中的食品信息数据和温度性能系等读取出来,并通过其它节点的多跳路由,传输到汇聚节点。

为了防止标签的存储容量不够而导致的信息丢失,通常在

收稿日期:2014-05-12; 修回日期:2014-06-10。

作者简介:张 娅(1980-),女,四川宜宾人,硕士研究生,讲师,主要从事计算机软件与算法设计方向的研究。

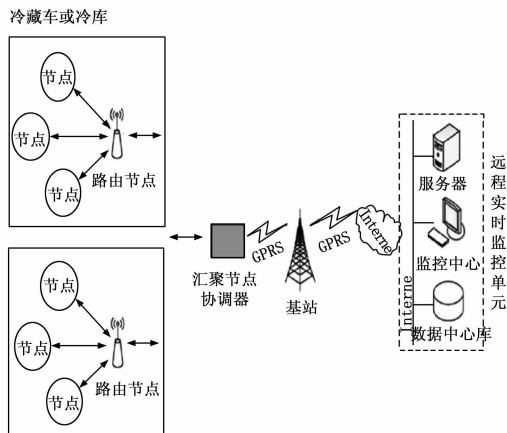


图 1 冷链物流系统构架

标签中的数据被读取后自动被清空，每个节点上都实现对生鲜食品的实时数据采集。

2 硬件设计

2.1 RFID 标签及阅读器

RFID 标签贴在生鲜农产品的包装袋表面，标签选用型号 Log—icGEN2 型标签，内含温度传感器，可以满足温度的实时读取，并将其农产品本身的相关信息如类别、价格、生产日期等融合为一个整体的数据，同时具有使用寿命长和传输速度快的优点。

RFID 阅读器采用与 Log—icGEN2 型标签相匹配，射频为 56MHZd 的 RFID 阅读器，能实时准确地读取 RFID 标签中存储的数据。

2.2 车载传感器

车载传感器节点的组成部分如图 2 所示。

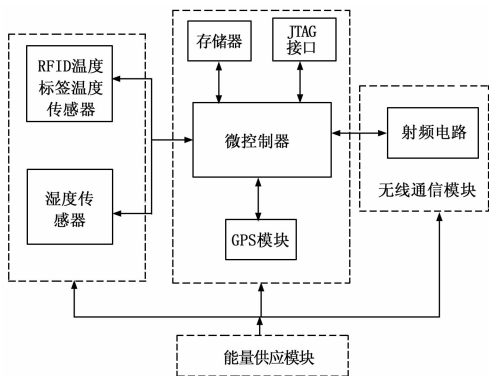


图 2 车载传感器节点结构

车载传感器节点即为在冷藏车中放置的传感器节点，从图 2 中可以看出，车载传感器节点主要包含 RFID 阅读器、湿度传感器、存储器、JTAG 接口、微控制器、GPS 模块、射频模块和能量供应模块。

车载传感器的 RFID 阅读器周期性地读取 RFID 标签内的数据，并将其与采集的环境湿度信息一起，通过无线通信模块的射频设备将其发送给汇聚节点。

2.3 汇聚节点

汇聚节点主要包含 GPRS 模块、存储器、JTAG 接口、微

控制器、射频模块和能量供应模块，其组成如图 3 所示。

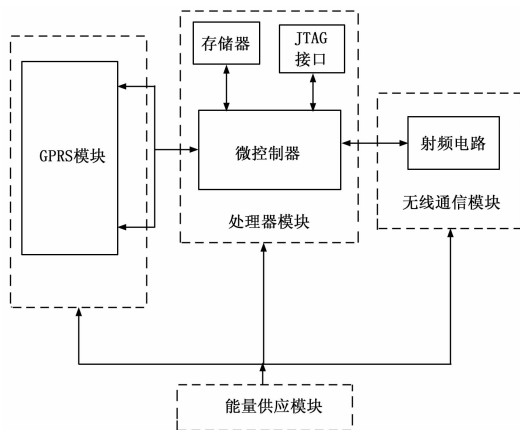


图 3 汇聚节点硬件结构

汇聚节点的硬件结构如图 3 所示，汇聚节点主要承担网关的作用，首先接收由车载传感器转发的数据信息，并将其通过 GPRS 模块发送远程服务器上，另一方面接收由远程控制中心发送的数据采集命令，并将其通过无线通信网络发送给车载传感器节点，车载传感器节点在收到命令后，启动阅读器读取农产品的 RFID 标签数据。

3 低占空比机会路由协议

从图 1 设计的冷链物流监控系统中可以看出，农产品包装上附加的 RFID 是数据的来源，而汇聚节点和远程服务器是数据发送的目标，而车载传感器在读取了 RFID 的标签数据和环境的湿度数据后，如何通过冷库中的各车载节点的路由转发，将其发送给汇聚节点是一个需要解决的重点问题。

而车载传感器节点的能量供应模块，往往采用电池供电，因此，节点很容易由于电池耗尽而失效。因此，文中设计一种适用于冷链物流实时监控的低占空比机会路由协议，以最大程度地降低节点能耗和缩短数据传输距离。

3.1 数据传输方向确定

从上述节点的硬件设计可以看出，节点的位置是未知的，因此，需要从汇聚节点处反向传输数据以确定节点数据传输的方向，汇聚节点广播数据包，当汇聚节点邻近的节点收到来自汇聚节点发送的数据包后，将具有最小跳数或与保存的最小跳数相同的节点加入该节点的候选节点集中，当数据包在网络中传播一次结束后，所有节点均获得了通过多个邻居节点到达汇聚节点的路由，即确定了数据传输的梯度方向。

具体的节点数据传输方向和邻居候选节点确定算法可以表示如下。

初始化：初始化节点到汇聚节点的跳数 $h = \infty$ ，各节点的邻居候选节点集 $N = null$ ，汇聚节点到自身的跳数 $h = 0$ ；

步骤 1：汇聚节点在网络中广播 Hello 数据包，Hello 数据包中包含当前跳数信息，即 $h = 0$ ；

步骤 2：当车载传感器节点 i 收到 Hello 数据包后，进行判断：

如果该 Hello 数据包来自汇聚节点，则设置 $h_i = 1$ ；

否则，判断来自节点 j 的 Hello 数据包中包含的跳数 $h_j + 1$ 是否小于 h_i ；

如果小于，则 $h_i = h_j + 1$ ，并首先清空邻居候选节点集

N_i , 然后将节点 j 加入到节点 i 的邻居节点集 N_i 中, 并在网络中继续广播数据包;

如果大于, 则抛弃该数据包;

如果等于, 则不改变 h_i , 将节点 j 加入到节点 i 的邻居节点集 N_i 中, 并在网络中继续广播数据包

步骤 3: 循环执行步骤 2, 直到所有的节点均已获得 Hello 数据包。

通过上述 3 个步骤, 所有节点均获取了到达汇聚节点的数据传输路由, 以及其可以经由的所有候选节点。

3.2 机会路由协议

机会路由协议由 Biswas 提出, 网络中的节点利用无线网络的广播特性和不确定性等特征, 同时向多个候选节点发送数据, 并机会性地选择下一跳节点, 以提高数据传输质量和网络的吞吐率。

传统的机会路由协议由于没有充分利用节点之间的协调机制, 数据包重复传输概率高。

文中改进的机会路由协议通过首先计算数据期望传输次数 K , 并发送数据包 K 次, 以确保至少有一个候选节点能收到数据包。

期望传输次数 K 的计算可以通过求解下式获得:

$$P_{receive} = 1 - (\prod_{j=1}^N p_j)^K \geq s \quad (1)$$

其中: 候选节点 j 的个数为 N , 其失败概率为 p_j , s 为每跳成功传输率的下限值, 则求解式 (1) 后可以获得传输次数为:

$$K = \frac{\ln(1-s)}{\sum_{j=1}^N \ln(p_j)} \quad (2)$$

当某个节点要发送数据包时, 它会对该数据包广播 K 次, 节点的多个邻居候选节点均会收到该数据包, 但邻居候选节点转发该数据包的概率为 pro , 由于多个邻居候选节点都会以一定的概率进行转发, 因此, 在某一时刻, 至少存在着一条从该节点到汇聚节点的路径, 转发概率可以通过求解下式获得:

$$1 - \prod_{j=1}^N (1 - pro + p_j^K pro) \geq s \quad (3)$$

因此, 转发概率可以表示为:

$$pro = \frac{1 - (1-s)^{1/N}}{1 - p_{min}^K} \quad (4)$$

4 低占空比休眠实现

4.1 节点休眠机制

低占空比是指节点工作时间与其休眠时间的比例, 较低的占空比说明节点在大部分时间下均处于空闲状态, 这有利于节约节点的能量, 最终提高网络的生命周期。

节点的低占空比是通过固定占空比切换休眠, 通过固定占空比在节点的休眠模式和工作模式之间进行切换:

当节点在工作时段时, 节点与邻居候选节点进行通信, 将已采集的数据通过机会路由协议沿着梯度传送给汇聚节点;

当节点位于休眠状态时, 节点关闭无线通信模块, 只采用阅读器读取 RFID 标签或者读取传感器的感知数据, 并将其存储在存储器模块中。

4.2 数据传输的同步

如果节点在机会路由中选择的下一跳候选节点位于休眠状

态, 那么很可能无法转发数据, 因此, 文中对下一跳候选节点的状态先进行预测, 只有预测为处于工作状态的节点才以一定的概率转发数据, 以保证路由传输的可靠性。

假设一个调度周期为 T , 一个周期内节点的工作时间和休眠时间分为为 T_{work} 和 T_{sleep} , 则节点对下一跳候选节点的状态进行预测的过程可以表示为:

1) 每隔一段时间 T_r , 节点向邻居节点发送已工作的时间长度 $Time_1$;

2) 邻居节点收到该数据包后, 首先在自己的邻居候选节点中查找是否存在该节点:

如果存在, 则记录收到数据包时自身已工作的时间 $Time_{self}$ 和 $Time_1$;

否则, 丢弃数据包;

3) 当某节点需要发送数据或转发其它节点的数据时, 设当前时刻 $Time_2$, 则根据下式对候选节点的预测值进行计算:

$$\omega = Time_2 - Time_1 + Time_{self}/T \quad (5)$$

如果 $\omega \leq T_{work}/T$, 则节点处于工作状态;

否则, 节点处于休眠状态。

4) 选择 $\omega \leq T_{work}/T$ 的节点作为最终的邻居候选节点采用机会路由转发数据。

5 客户端设计

RFID 客户端监控中心主要包含 RFID 标签读取模块、湿度数据管理模块、温度数据管理模块、客户信息管理模块和农产品信息管理模块, 如图 4 所示。

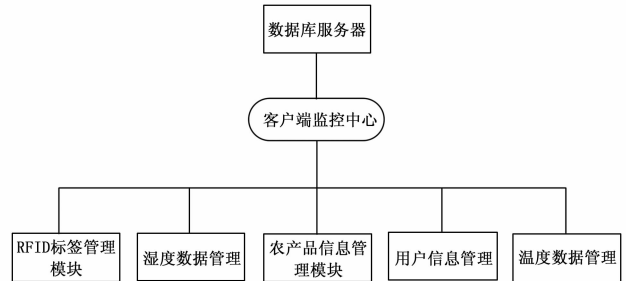


图 4 监控中心功能图

从图 4 中可以看出, 客户端中的 RFID 标签管理模块、温度管理模块和湿度管理模块主要是从监控区域读取农产品的信息、温度和湿度信息, 并将其写入数据库, 并在农产品管理模块作决策分析, 客户端信息管理模块主要是对各类客户的权限进行管理。

6 试验分析

在某车冷藏库上布置试验环境, 对各类冷藏农产品添加 RFID 标签, 并在冷藏库中布设大量传感器节点实现路由转发, 客户端采用 SQL 数据库服务器, 采用 VS2012 设计 WEB 客户端程序, 客户端软件能实现对冷藏库的各类农产品的信息进行有效管理, 对温度和湿度等进行实时有效地监控, 并在其值超出正常范围时, 提示相关人员进行处理, 能实现冷链物流系统的基本功能。

由于本文的创新在于采用了低占空比的机会路由, 因此, 对文中方法的路由传输长度和数据包的传输延迟两个方面来进行考虑。

6.1 路由传输长度和数据包到达率

将所有节点到汇聚节点的最大跳数定义为汇聚树的深度，文中仿真得到的汇聚数的深度和实际的平均跳数如表 1 所示。

指标	50 个节点		100 个节点	
	文献[9]方法	文中方法	文献[9]方法	文中方法
汇聚树深度	35	35	65	60
平均跳数	29	23	38	26

从表 1 可以看出，文中方法具有较小的汇聚树深度和平均跳数。

对两种方法的数据包到达汇聚节点的量进行统计并进行比较，如图 5 所示。

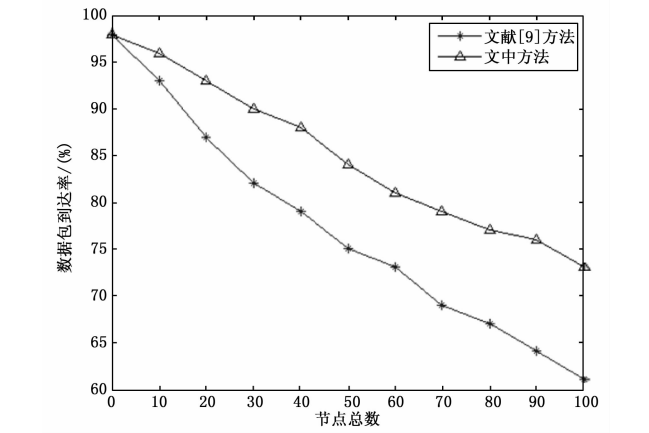


图 5 数据包到达率比较

从图 5 所示的图中可以看出，文中方法在整个仿真期间对应的数据包到达率均远高于文献 [9] 方法，平均约高 10.26%。

6.2 数据包延迟

两种方法得到的数据包延迟如图 6 所示。

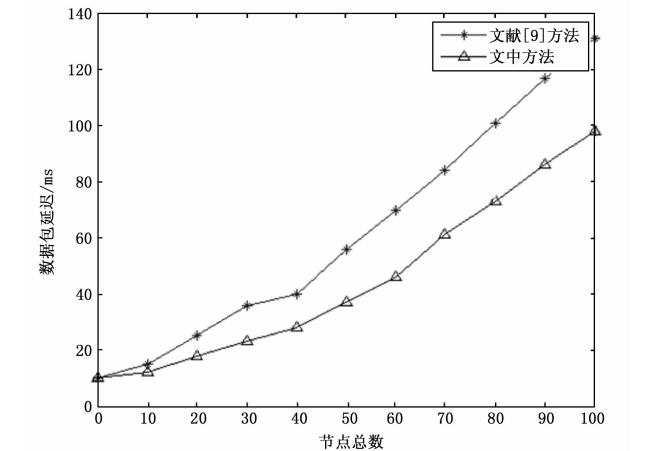


图 6 数据包延迟比较

从图 6 中可以看出，文中方法的数据包传输延迟在仿真期间，远远低于文献 [9] 方法，文献 [9] 方法平均约为 62.273，文中方法平均约为 44.727，显然，文中方法较其延迟缩短了 28.18%，这是因为文中方法采用了低占空比的路由，同时通过汇聚节点广播 Hello 数据包确定传输梯度方向，因此，文中方法不仅具有较大的数据包到达率，且具有传输延迟较短的优点。

7 结语

为了实现保证生鲜农产品的质量，设计了一种基于 RFID 和低占空比路由协议的冷链物流监控系统。首先，对系统的总体结构进行了描述，然后，对系统的硬件即 RFID 标签，标签阅读器和汇聚节点的硬件均进行了设计，为了进一步提高网络的生命周期，设计了一种低占空比的机会路由协议，引入了节点周期休眠机制，并对邻居候选节点的工作状态进行有效地预测，以进一步提高数据传输的可靠性。最后，部署实验环境对系统进行测试，测试表明文中设计的系统能实现基本功能，进一步对系统性能进行测试，证明系统具有传输路径短、数据包到达率高和数据延迟短的优点。

参考文献：

[1] Bhattacharyya R, Floerkemier C, Sarma S, et al. RFID tag antenna based temperature sensing [A]. 2010 IEEE International Conference on RFID [C]. Orlando, 2010: 126-133.

[2] 佟金, 王亚辉, 樊雪梅, 等. 生鲜农产品冷链物流状态监控信息系统 [J]. 吉林大学学报 (工学版), 2013, 43 (6): 1707-1711.

[3] Shabani A, Saen R F, Torabipour S M R. A new bench marking approaching in cold chain [J]. Applied Mathematics Modeling, 2012, 36 (1): 212-224.

[4] Ellouze M, Augustin J C. Applicability of biological time temperature integrators as quality and safety indicators for meat products [J]. International journal of food microbiology, 2010, 138 (1): 119-129.

[5] 马婷, 李芳, 单打亚. 基于物联网技术的食品冷链物流跟踪及追溯问题研究 [J]. 上海理工大学学报, 2013, 35 (6): 557-562.

[6] Carullo A, Corbellini S, Parvis M, et al. A wireless sensor network for cold chain monitoring [J]. IEEE transactions on instrumentation and measurement, 2009, 58 (5): 1405-1411.

[7] 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]. 农业机械学报, 2012, 43 (8): 134-140.

[8] Abad E, Palacio F, Nuin M, et al. RFID smart tag for traceability and cold chain monitoring of foods: Demonstration in an intercontinental fresh fish logistic chain [J]. Journal of food engineering, 2009, 93: 394-399.

[9] 陈宇铮, 汤仲喆, 倪云峰, 等. 基于 RFID 的冷链物流监测系统的设计 [J]. 计算机应用于软件, 2013, 30 (2): 263-265.

[10] 汪庭满, 张小栓, 陈伟, 等. 基于无线射频识别技术的罗非鱼冷链物流温度监控系统 [J]. 农业工程学报, 2011, 21 (9): 141-146.

[11] 肖新清, 齐林, 傅择田, 等. 基于压缩感知的鲜食葡萄冷链物流监测方法 [J]. 农业工程学报, 2013, 22 (29): 259-265.

[12] 孙亮. 基于 Markov 流量预测和改进蚁群算法的分簇自适应路由 [J]. 计算机测量与控制, 2014, 22 (3): 820-822.