

认知无线电传感器网络在食品生产中的应用

Research on application of cognitive radio wireless sensor networks in food production

包雅馥¹ 张双² 孙辉³

BAO Ya-fu¹ ZHANG Shuang² SUN Hui³

(1. 长春职业技术学院, 吉林 长春 130033; 2. 吉林大学, 吉林 长春 130021;

3. 中国民航大学航空自动化学院, 天津 300300)

(1. Changchun Vocational Institute of Technology, Changchun, Jilin 130033, China; 2. Jilin University, Changchun, Jilin 130021, China; 3. Civil Aviation University of China, Institute of Automation, Tianjin 300300, China)

摘要: 无线传感器网络被广泛地应用于食品安全生产和检测中, 传感器信息准确地捕捉是此类系统的关键。利用认知无线电技术能有效解决在食品安全生产和监测系统中基于 RFID 技术的无线传感器网络信号干扰和信道拥堵的问题, 并通过 MATLAB 的仿真结果证明所建立系统模型的合理性。

关键词: 食品安全; 无线传感器网络; 认知无线电; 信道拥堵; RFID

Abstract: Wireless sensor networks are facilitated in detecting food security and production. The key of this system is to capture the information from sensors without error. The idea of Cognitive Radio network (CRN) is used to eliminate signal interference and channel jamming in wireless sensor networks based on RFID and simulation results in Matlab shows that the modeling and analysis are valid.

Keywords: food safety; wireless sensor networks; cognitive radio network; channel jamming; RFID

无线传感器作为检测器件被广泛地应用于工业、农业、医学等领域。在食品领域, 无线传感器随着需求的不断发展, 应用也越来越广泛。在食品的储存过程中, 往往对温度控制要求十分严格, 通过在储存地点搭建温度传感器网络就可以实时有效地监测温度的变化, 将其控制在规定范围内。另外, 在生产过程中, 物品在传送带上的分拣也依靠传感器网络的部署来对物品进行定位。因此, 传感器传输、接收信息的准确性会对食品的生产、追踪、储存和运输产生影响。

基金项目: 国家自然科学基金青年基金项目(编号: 61403395); 教育部留学回国人员科研启动基金以及中国民航大学科研启动基金(编号: 2012QD21x)

作者简介: 包雅馥(1973—), 女, 长春职业技术学院讲师, 硕士。
E-mail: byf11110@163.com

收稿日期: 2015-06-19

食品安全是全世界所关注的问题之一。一些大型的食品制造厂将无线传感器应用于食品安全的保障系统中, 通过无线传感器网络将食品的生产、运输以及存储等过程进行跟踪和监控。例如, 无线传感器利用 RFID 技术对食物进行跟踪、追溯, 以保证食品的卫生和安全^[1]。在食品工业安全监测中, RFID 技术的应用要依赖于读取器与被检测食品标签之间的信息通信。在 RFID 传感网络系统工作时, 各读写器也在其作用范围内工作, 此时, 容易出现多个标签信息被读取的情况, 如果读写器同时获得这些标签信息数据, 那么通信信息就会容易出现冲突, 最终造成读写器错误地读取信息, 甚至无法正常地读出数据。无线通信过程中若产生上述信号间的干扰(如信道拥堵)而造成跟踪失误, 将会带来食品的安全问题。

目前, RFID 系统在实际应用中通常是基于时分多址的防碰撞算法, 而该算法有两种情况: ① 基于 Bit 位的二进制搜索算法, 该算法可以准确地确定碰撞发生的比特位置, 而这对于阅读器同步而准确地读取所有标签的信息提出了很高的要求, 实际操作较困难^[2]; ② 改进的 ALOHA 的防碰撞算法, 该算法是基于时隙的, 也能降低信息冲突、碰撞等发生的概率, 但是通过限制响应标签数量的方法来提高对标签的识别率^[3]。本研究中应用建立在改进的 ALOHA 防碰撞算法基础之上的 RFID 系统, 其优势是发生信息冲突以及信息碰撞的可能性低, 对标签的识别率高。

另外, 国内外研究人员也进行了卡尔曼滤波和认知无线电技术在传感器网络中的研究。例如, 卡尔曼滤波跟踪算法在无线传感器网络定位中的应用^[4,5], 传感器网络中应用认知无线电特性提高数据传输率^[6], 以及基于认知无线电的传感器网络的分析和研究等^[7-9]。

本研究拟考虑将认知无线电算法思想应用于食品生产系统中的无线传感器网络中并对其做出仿真分析, 通过引入

RFID 技术的方式解决无线传感器网络信号干扰和信道拥堵的问题,并通过 MATLAB 仿真结果的方式验证系统模型的科学性与合理性,对提高食品生产系统无线传感器网络运行效率方面有积极作用。

1 RFID 原理和传感器技术

(1) 射频识别技术(radio frequency identification):是利用射频信号达到对被识别对象非接触识别的方法。这类识别系统主要是由电子标签(被识别物体)、阅读器、网络、阅读器天线和控制器 5 部分组成。其中,电子标签与被识别物体结合在一起并存储着被识别物体的信息;阅读器在电子标签进入合适区域时就可以读取数据,阅读器在一定区域内发射电磁波,标签内有一个频率和电磁波频率相同的 LC 谐振电路,当标签通过时发生谐振并通过电容电荷的移动提供电路工作电压接收阅读器信息或发送标签内数据。读取完的数据通过网络传输到控制器记录、比较。在食品工业中,RFID 主要用来进行食品防伪、食品追踪和食品安全方面。

(2) 传感器是将温度、压力等物理量转化为电路可以处理的电信号的装置,它是信息采集的重要部件,是现代工业中实现测量和控制的重要条件。传感器一般由敏感元件、转换元件和电路组成。食品工业中最常用的就是温度传感器和生物传感器。温度对于食品生产来说至关重要,实时地监测温度的变化必须通过温度传感器实现。较多使用在食品工业的温度传感器是热电阻传感器,分为铂和铜热电阻两大类。温度传感器的原理是由于两种不同材质的导体在某点连接,对该点加热,在不加热的部位就会出现电位差,而这个电位差的数值与不加热部位测量点的温度有关。生物传感器主要用于食品的分析过程,例如食品发酵过程中的参数测量。

(3) RFID 和传感器网络技术的结合。由于 RFID 的抗干扰能力差,传输有效距离短,利用无线传感器网络可以扩大信息传输的半径,提高效率。普通传感器与 RFID 的结合能够更好地感知目标信息并主动进行网络传输^[1]。

食品的包装过程是食品生产的一个重要组成部分。在自动化程度很高的包装流水线上,包装机械臂只有确定食品的位置,才能成功地完成对食品的抓取。这就要求将食品准确的位置信息传递给控制机械臂的控制器,而视觉传感器可以通过图像处理达到准确定位食品的要求。流水线上抓取过程见图 1。

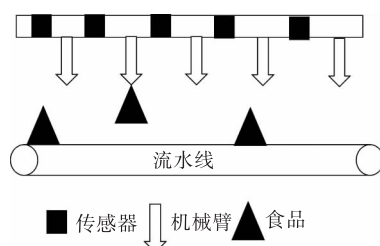


图1 传感器网络在食品生产过程中的应用举例
Figure 1 For sensor network application in the food production process

当食品包装完之后会进入储藏的过程,由于食品包装上有电子标签,可以通过 RFID 技术读取标签信息确定食品的状态。食品的每一次状态改变,例如由储藏状态变化为运输状态都可以将变化写入到信息中从而达到追踪的效果。

但是在传感器数目较多或者布局不合理的情况下会导致由于信号相互干扰造成的信息缺失和误判。本研究将从认知无线电传感器网络的角度分析此问题。

2 认知无线电技术

基于认知无线电技术的传感器网络容许网络中的传感器在具有使用权的主用户不占用信道期间有条件的暂时使用该信道。为了保证传感器不会影响主用户对网络频段的正常使用就要求网络中的传感器在通信期间实时监测主用户的动态。当主用户需要再次使用该通道时,传感器应当马上停止通信动作离开通道,去选择其他可用信道继续通信或者停止当前信息的传递。基于这种思路和方法很好地提高了频谱的使用率,缓解了无线频谱资源匮乏的问题^[10]。

3 系统模型的建立

3.1 信道模型

假设传感器可以随机的占用任一信道。这样,每一个信道有两种状态:被占用和空闲。被占用状态指频段被传感器正常使用或者信号拥堵,空闲状态指频段为空,未被占用。另外,本研究假设所用的空闲信道都拥有相同的性质,即用户在使用信道进行通信之前无需检查每个信道的通信质量。

假设 H_i 和 H_o 分别表示信道的空闲和被占用状态,则信道状态 C_m 可用式(1)的数学形式表达:

$$C_m = \frac{H_o}{H_o + H_i} \times 100\% \quad (1)$$

式中:

C_m ——信道利用率,%;

H_o ——信道被占用状态,s;

H_i ——信道空闲状态,s。

3.2 传感器通信模型

假设传感器不会发生误报警并且不考虑扫描误差,可以同时检测多个信道,随机选择空闲频段。同时,本研究假设信道数足够大。传感器占用信道时有两种情况:① 每个信道只被单一用户占用;② 信道被多个用户占用。在第一种情况下如果传感器检测到了其他信号的存在就会立即离开当前信道选择其他可用信道完成通信任务。在用户重叠的情况下,非活动用户根据活动用户的检测结果决定离开当前信道与否。

基于上述的系统模型和假设的描述可知,在本研究中传感器的网络吞吐量只与通信时间以及网络活跃的整个过程有关。

4 无线传感器网络频谱吞吐量的分析

假设认知无线传感器网络中有 M 个信道、 N 个传感器。 p_a 表示信道拥堵概率, p_s 表示传感器选择某个信道的概率, p_m 是其他传感器选择同样信道的概率。另外假设网络活跃过程时长 T 被分割为多个时间段,每个时间段的值为 T_m 。

则时间段的个数 K 可以表示为式(2):

$$K = \frac{T}{T_m} \quad (2)$$

对每一个时间段来说,信道中只有一种网络行为存在:通信或者拥堵。当拥堵发生时,有效通信被损坏,通信时间为 0;否则的话通信时间为时间段的时长 T_m 。

通过以上假设和分析,传感器的网络信道成功接入概率为式(3):

$$p_c = 1 - \frac{K\{(p_a \times 0) + [(1 - p_a) \times T_m]\}}{K \times T_m} \quad (3)$$

式中:

p_c ——成功通信的概率, %。

下面将讨论不同情况下网络吞吐量的分析:

(1) 两个传感器:此种情况下,传感器对选择某个信道的概率为 $p_s = 1/M$ 。同理,攻击者选择某个信道的概率为 $p_m = 1/M$ 。则吞吐量为式(4):

$$p_{th} = 1 - m \times (p_s \times p_m) \quad (4)$$

(2) 多个传感器:假设认知无线网络中有 N 个传感器(其中有 L 个传感器会产生相互干扰), M 个信道。其中 $1 \leq N \leq M, 1 < L \leq N$ 。 α 表示传感器从 M 个信道中选择的 L 个不同组合(不考虑重叠问题),那么有 $\alpha = C_M^L$ 。如果其他传感器没有选择已被占用的信道时拥堵不会发生,此时从信道中选择的 L 个不同组合为 $\beta = C_{M-1}^L$,此种情况下吞吐量为式(5):

$$p_{th} = \frac{\beta}{\alpha} \quad (5)$$

如果时分多址(TDMA)被考虑使用在多个用户占用同一个通信信道的情况下,用户将周期性的占用频段。

假设 p_d 表示在该信道通信总时长条件下某一特定用户对的通信概率, p_t 表示该特定用户在所处通道发生重叠的概率。这里的两种概率是未知的,取决于频谱带宽本身。所以两种情况需要考虑:① 多个传感器分享同一频段;② 信道上只有一种信息。由式(4)可知,在第一种情况下,拥堵概率为式(6);在第二种情况下,拥堵概率为式(7)。

$$p_{a1} = p_t \times p_d \times [(p_s \times p_m) \times M] \quad (6)$$

$$p_{a2} = (1 - p_t) \times [(p_s \times p_m) \times M] \quad (7)$$

因此,吞吐量应该为式(8):

$$p_{th} = 1 - (p_{a1} + p_{a2}) \quad (8)$$

5 仿真结果与分析

5.1 两个传感器

图 2 显示了在 10 个信道的网络结构中网络吞吐量和信道个数的关系。由图 2 可知,在传感器网络中网络吞吐量随着信道个数的增加递增。这说明在网络中信道个数达到一定程度,传感器相互间产生信道拥堵的机会很小,通信几乎不受影响。

5.2 多个传感器

由图 3 可知,多个传感器占用信道的情况下,信道的拥堵概率随着信道数的增加递减。由图 4 与图 3 比较可知,图 4

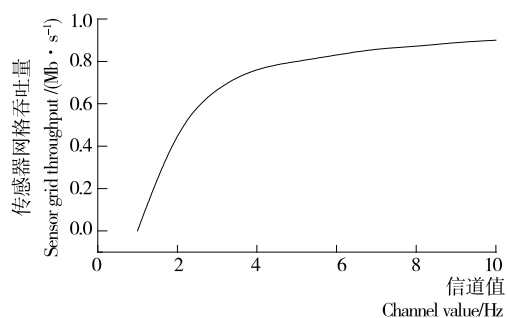


图 2 10 个信道情况下传感器网络的吞吐量

Figure 2 10 channel under the sensor network throughput

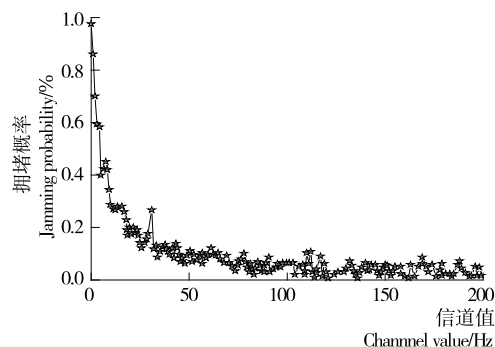


图 3 最大值为 200 个信道情况下多个传感器公用信道时的拥堵概率

Figure 3 A maximum of 200 channel cases multiple sensors public channel congestion probability

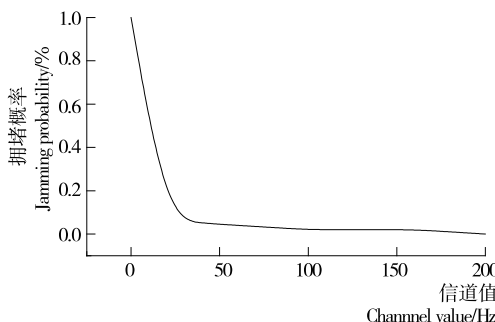


图 4 最大值为 200 个信道基于 TDMA 算法情况下多个传感器公用信道时的拥堵概率

Figure 4 A maximum of 200 channel based on TDMA algorithm under multiple sensors congestion probability when the public channel

在采用时分多址的算法后,信道拥堵的概率随信道数增加而递减的幅度要大于图 3,并且更平滑几乎没有反复现象。说明受拥堵的概率要小于其他情况。

仿真分析结果表明:当信道数目相同的情况下,有重叠行为的用户的受拥堵概率小于无重叠行为的用户值。这是因为在重叠情况下,某用户可选择信道的概率增加。而且在时分多址算法的控制下,信道在通信过程中通畅度更高。

在食品生产中,由于产品在流水线上速度很快,监测生产过程(如包装过程)就需要较多的传感器,此时就会存在传感器信号之间的干扰,使得反馈到控制器的信息出现误差甚至错误。采用本研究中的算法思想可以使信号收发性能大大改进,提高信息提取的精度。

(下转第 156 页)

为了进一步验证本方法的有效性,分别对本方法和传统方法进行仿真试验。由图4可知,采用本方法所需耗时间一直低于传统方法。这是因为本方法首先对食品机械加工对接平台的对接过程进行三维仿真,再依据校对方法实现食品机械加工对接平台的设计,实现过程简单,计算量相对较低。由图5可知,采用本方法获取的准确度明显高于传统算法,说明本方法不仅具有较高的效率,还具有较高的准确度,验证了本方法的有效性。

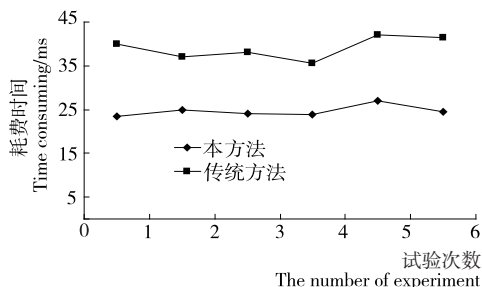


图4 本方法和传统方法所需时间比较

Figure 4 In this paper, the method and the time needed for traditional methods comparison results

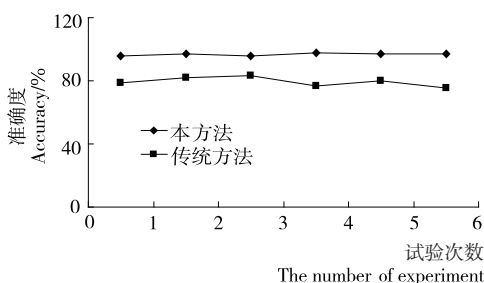


图5 本方法和传统方法准确度比较

Figure 5 Method and traditional method accuracy comparison results in this paper

3 结论

本研究提出一种基于三维图像校对的食品机械加工对接平台设计方法,分析了三维图像校对原理,依据三维图像局部亮度、对比度、结构信息相关性的比较,求出其结构相似度。在大量对接图像中采集对接区域的特征点,对接区域进行三维图像还原。获取几何矩阵关于 z 轴的子矩阵上的任意阶矩,还原食品机械加工对接平台的对接信息。分析了投影矩的定义及计算过程,通过投影矩实现基于三维图像校对的食品机械加工对接平台设计,仿真试验结果表明,所提方法具有很高的效率及对接精度。

参考文献

- 1 李京娜,王国宏,孙少燕,等. 基于修改后的结构相似度的三维图像配准[J]. 光电工程, 2012, 21(12): 70~76.
- 2 余慧婷,张杰,潘萌. 噪声对三维图像归一化互信息配准的影响[J]. 中国医学影像学杂志, 2011, 19(11): 844~849.
- 3 刘东旭,刘洪,吕涛. 基于CT数据的三维配准技术在正畸中的应用[J]. 华西口腔医学杂志, 2010, 28(2): 119~123.
- 4 吕晓琪,李娜,张宝华,等. 基于体素相似性的三维多模态图像配准研究[J]. 中国医学影像学杂志, 2013, 14(2): 146~151.
- 5 周柏清,任勇军. 正则化最近点优化图像集匹配的三维人脸识别[J]. 计算机工程与应用, 2014(12): 169~174.
- 6 周世勋,张杰. 灰度预分割对三维医学图像配准的作用[J]. 中国医学影像学杂志, 2013, 21(4): 301~304.
- 7 吴晨,何建国,刘贵珊,等. 基于近红外高光成像技术的马铃薯干物质含量无损检测[J]. 食品与机械, 2014, 30(4): 126~130.
- 8 战旭梅,刘靖,刘萍. 高效液相色谱法测定香肠中亚硝酸盐含量[J]. 食品与机械, 2014, 30(4): 18~22.
- 9 晁学鹏. 冶金铁轨对接控制过程三维图像虚拟仿真[J]. 电气应用, 2014(20): 90~93.
- 10 孙谦,何明一. 三维重建中点云模型与纹理图像的配准[J]. 计算机仿真, 2011, 28(11): 218~221.

(上接第82页)

6 结论

安全问题对食品工业至关重要,RFID技术和无线传感器网络相结合来检测、追踪、定位食品的环境条件、传输过程,可以实现对食品安全问题的有效监控及预防。由于信号间的干扰和信道分配拥堵问题,而导致不能准确地接收和发送传感器的感测信息,是基于RFID技术的传感器网络的通病。本研究以食品安全监测为研究对象利用认知无线电技术的思想通过动态的频谱分配、接入方法可以有效地缓解此类问题。

参考文献

- 1 杜育栋,杨灵鑫,李亮. RFID传感器网络在食品生产领域的研究[J]. 工业控制计算机, 2008, 21(5): 8~9.
- 2 胡建赞,李强,闵昊. 时隙ALOHA法在RFID系统防碰撞问题中的应用[J]. 应用科学学报, 2005, 23(5): 489~492.
- 3 翟霞晖,唐明浩,金慧芬. 一种基于时隙ALOHA的RFID系统防碰撞算法[J]. 微计算机信息, 2008, 24(17): 239~241.
- 4 万江文,吴佳灵,冯仁剑. 卡尔曼滤波在无线传感器网络节点定位中的应用[J]. 高技术通讯, 2009, 19(2): 151~156.

- 5 姚先连,胡贞,吕晓玲. 无线传感器网络中卡尔曼滤波在移动目标跟踪中的研究[J]. 长春理工大学学报(自然科学版), 2011, 34(3): 88~92.
- 6 陆佃杰,黄晓霞. 认知无线电在无线传感器网络中的应用[J]. 先进技术研究通报, 2009, 3(11): 18~22.
- 7 张欣,贾明华. 认知无线电思想在ZigBee无线传感器网络中的应用[J]. 单片机与嵌入式系统应用, 2009(7): 15~18.
- 8 Fabrizio Granelli, Zhang Hong-gang, Zhou Xiao-fei, et al. Research advances in cognitive ultra wide band radio and their application to sensor networks[J]. Mobile Networks and Applications, 2006, 11(4): 487~499.
- 9 Zhang Qi, Yang Hao, Wei Yu-guang, et al. Selection of destination ports of inland-port-transferring RHCTS based on sea-rail combined container transportation[C]//Innovation and sustainability of modern railway: Third international symposium on innovation and sustainability of modern railway (ISMR 2012), September 20~21, 2012, Nanchang, China. [S. l.]: [s. n.], 2012: 675~680.
- 10 Wang Bei-bei, Liu K J Ray. Advances in cognitive radio networks: A survey[J]. Selected Topics in Signal Processing IEEE Journal of, 2011, 5(1): 5~23.