

基于RFID的成箱服装信息检测系统可靠性设计

朱伟伟¹, 杨朝², 俞立群³, 夏克尔·赛塔尔¹, 徐阳^{1*}

(1.新疆大学 纺织与服装学院, 乌鲁木齐 830046; 2.新疆东纯兴纺织有限公司, 新疆 图木舒克 844000;
3.无锡恒烨软件技术有限公司, 江苏 无锡 214121)

摘要: **目的** 解决目前服装企业存在的服装量大、品种多、整箱货运盘货难度大等问题。**方法** 将RFID技术与服装信息管理相结合, 设计整箱服装信息自动化采集系统, 通过对系统RFID阅读器天线数量及位置进行优化设计, 同时改进RFID标签多叉树防碰撞算法, 以提高服装信息检测系统识别的可靠性。**结果** 通过计算分析, 构建了阅读器“M”形四天线空间分布全覆盖检测模型, 同时配合服装检测系统的识别软件完成了批量服装电子标签可靠性检测, 对最大服装包装箱的检测准确率达到100%。在系统的检测速度为60 m/min时, 每分钟的理论识别量可达到2 600件。**结论** 有效提高了服装信息检测系统的可靠性和采集效率。

关键词: 射频识别; 服装电子标签; 检测系统; 防碰撞; 可靠性

中图分类号: TS04; TB486 **文献标志码:** A **文章编号:** 1001-3563(2024)07-0175-05

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2024.07.022

Reliability Design of Box Clothing Information Detection System Based on RFID

ZHU Weiwei¹, YANG Chao², YU Liqun³, XIAKEER Saitaer¹, XU Yang^{1*}

(1. School of Textile and Clothing, Xinjiang University, Urumqi 830046, China; 2. Xinjiang Dongchunxing Textile Co., Ltd., Xinjiang Tumushuke 844000, China; 3. Wuxi Hengye Software Technology Co., Ltd., Jiangsu Wuxi 214121, China)

ABSTRACT: The work aims to solve problems such as large quantity, many varieties, and difficulty of freight container in current clothing enterprises. The RFID technology was combined with clothing information management. An automatic collection system of clothing information was designed. Through the optimization design of RFID reader antenna number and location deployment of the system, the multi-way tree anti-collision algorithm of RFID tags was improved, so as to improve the reliability of clothing information detection system identification. After calculation analysis, a "M" type four-antenna spatial distribution full coverage detection model was built for the reader. With the cooperation of the clothing detection system identification software, the batch clothing electronic label reliability detection experiment was completed. The maximum clothing packing box detection accuracy reached 100%, and the system detection speed reached 60 m/min. The theoretical identification reached 2 600 pieces per minute. It effectively improves the reliability and collection efficiency of the garment information detection system.

KEY WORDS: radio frequency identification; electronic label of clothing; detection system; collision prevention; reliability

随着我国经济的快速发展及电子商务的崛起, 服装产品进入了快时尚消费时代, 服装产品在货物的

存、取、盘等方面呈现出品种多样、货物周期短、上新速度快等特点, 但是存在投入人力多、识别精准度

收稿日期: 2023-08-27

基金项目: 新疆维吾尔自治区科技支疆项目计划(2020E0239)

*通信作者

低等诸多问题^[1],限制了服装企业从生产到销售各环节的效率。RFID (Radio Frequency Identification) 是通过无线射频进行不接触双向通信,从被电子标签捆绑的商品上识别目标信息的技术^[2]。目前,优衣库、Zara 等服装零售品牌企业已经将 RFID 电子标签与服装吊牌或织唛相结合,通过现代物联网感知技术有效提升了企业的生产和管理效率^[3]。在服装仓储运输环节,整箱服装 RFID 多标签阅读的准确性和可靠性显得尤为关键。文中结合服装企业实际生产和物流情况,基于 RFID 技术构建批量服装信息检测系统,着重对服装 RFID 电子标签阅读器的天线数量、位置进行设计,同时探讨电子标签防碰撞阅读方式,以期提高服装信息检测系统的可靠性和运转效率。

1 批量服装信息检测系统的构建

基于物联网 RFID 的阅读原理,构建批量服装信息检测系统,如图 1 所示。当带有 RFID 电子标签的成箱服装通过传送带被传送到检测门时,每件服装所携带的电子标签与阅读器天线之间通过电磁场进行双向信息交流。阅读器通过无线方式对标签数据进行采集^[4],同时将数据传送到电脑端,并储存于数据库中,从而完成整个服装信息自动化检测流程。

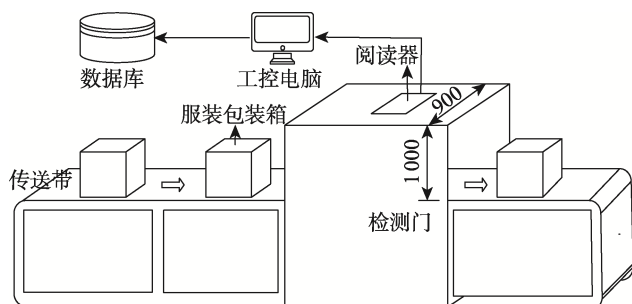


图1 服装信息检测系统框架

Fig.1 Framework of clothing information detection system

常用的服装包装纸箱有多种规格,其中最大的尺寸为 580 mm×400 mm×400 mm,一般可放置 200~300 件 T 恤产品^[5]。通过勾股定理可以计算得出,最大纸箱的最长斜边在通过传送带时的最大长度超过 700 mm。由于皮带两边有金属支撑框架,皮带与检测门之间也有一定间隙,因此设定检测门内宽度为 900 mm。

为了提高检测效率,目前服装物流行业普遍采用商用超高频圆极化阅读器天线,它具有更大的检测覆盖范围和天线增益。天线的极化就是阅读方向上辐射电磁场的空间辐射方向,通过分析商用超高频圆极化阅读器天线方向的半功率波瓣宽度可知,天线的覆盖角度为 72°左右^[6],理论识别距离为 2 m。电子标签与天线的距离越近,则标签信息识别准确率上升。考虑了各种规格包装箱体的高度及传送带金属边框对电磁信号的影响^[7],将检测门内框下沿至传送带之间的距离设计为 1 000 mm。

2 RFID 电子标签检测系统的设计

基于阅读器天线与电子标签之间信息的交互,阅读器天线检测的覆盖范围是整个服装信息检测系统全覆盖的重点。当常用服装纸箱的最大尺寸超过阅读器天线的阅读范围时,就会发生阅读失效和漏读等现象,不能达到服装企业多标签检测全覆盖的要求。根据采用的阅读器天线范围,设计检测门的结构,如图 2 所示。当服装包装纸箱可能出现在传送带 A 位置或 B 位置等情况下,阅读器单天线的识别范围(虚线及阴影部分)均不能对多电子标签服装包装纸箱进行全覆盖。

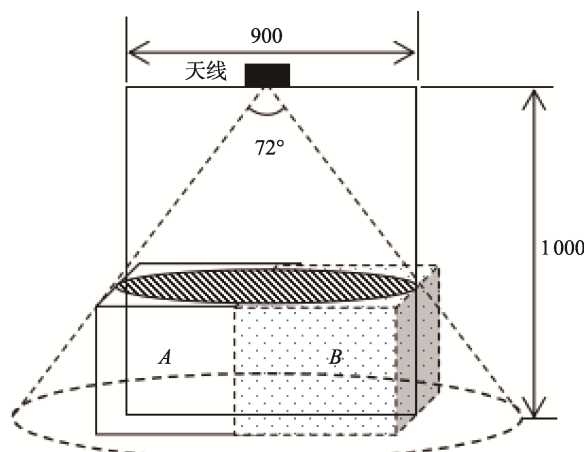


图2 阅读器单天线识别范围

Fig.2 Single-antenna identification range of reader

RFID 读写器的阅读范围如图 2 所示,可知在其正前方辐射增益范围内的电子标签读取效果最好^[8]。为了解决电子标签全覆盖问题,在识别服装箱体的正上方增设了双天线(如图 3 所示),从而增大了检测范围。通过计算双天线的检测范围可知,对服装企业中常用的最大尺寸箱体检测范围达到了全覆盖。

超高频 RFID 标签圆极化天线存在极化方向,在产品包装使用过程中,随着所在平面转动角度的不同,标签的读取效果也不同。相关研究表明,在相对

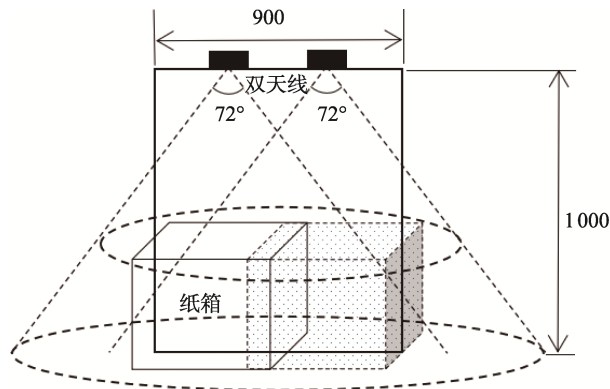


图3 阅读器双天线检测范围

Fig.3 Two-antenna detection range of reader

位置从平行到垂直的转变过程中, 其识别准确性逐渐降低。在电子标签与读写器天线平面平行时, 识别准确性最高。相对来说, 在标签与读写器天线平面互相垂直时, 识别准确性最低^[9]。当服装上的电子标签随着服装放置在纸箱里时, 受到服装的柔韧性和摆放空间的限制, 电子标签有可能出现侧翻或竖直等不同角度放置的情况, 因此检测系统在检测门的正上方和两侧各设置了 2 个阅读器天线, 如图 4 所示。在最大服装检测箱体的检测范围内形成了检测范围的全覆盖, 阅读器的天线在全覆盖的情况下数量最少, 检测重叠范围最小, 检测的时间最短, 其检测信号强度和效果也最好。阅读器四天线构成了“M”形空间封闭检测模型, 提高了检测系统的可靠性。

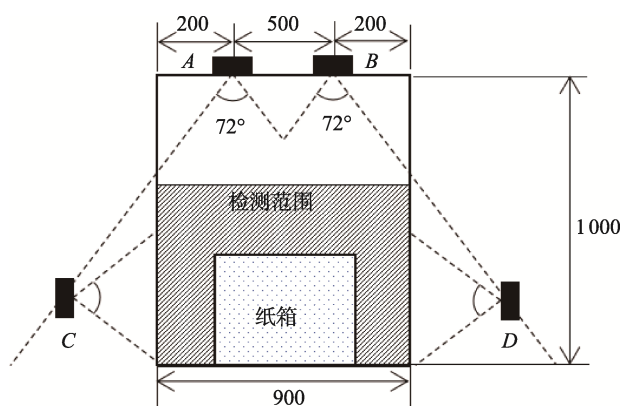


图 4 阅读器四天线“M”形空间分布模型
Fig.4 "M" spatial distribution model for four antennas of reader

3 服装多标签防碰撞算法

3.1 防碰撞算法

在服装信息检测过程中, 阅读器多天线的每个天线对电子标签的识别是轮流交替进行的。阅读器与电子标签的工作原理^[10]: 通过第 1 个天线发送超高频电磁信号, 形成电磁场, 当电子标签经过发射天线工作区域时产生的感应电流, 一部分用来激活电子标签, 一部分转变为电磁信号解码后, 再转变为数据, 最后标签将自身编码等信息通过内置天线发送出去, 阅读器在接收到信号后对标签的信息进行匹配, 则阅读器和电子标签完成了整个识别过程。

在 1 个天线的工作范围内, 多个标签同时与阅读器互相通信时占用同一通信通道, 标签信号相互干扰而发生信道争夺现象, 这种现象称为多标签碰撞。目前, 针对多标签碰撞的防碰撞算法包括 ALOHA 算法^[11]和二进制树型算法^[12]。ALOHA 算法采用随机分配时隙和识别地址, 对电子标签的检测具有良好的适应性, 且操作简单, 但是可能出现检测很多次都不能完全检测的情况。二进制的树型算法包括二叉树和四

叉树算法, 基本思想是碰撞的电子标签从产生碰撞节点处不断产生分支, 进一步缩小识别电子标签的数量, 直到只有 1 个电子标签回应。二叉树算法在电子标签每次发生碰撞时只产生 2 个分支, 并判断 1 个碰撞位。虽然避免了空闲时隙, 但是随着标签数量的增多, 其搜索效率会降低。采用四叉树算法在搜索时, 每个碰撞会产生 4 个分支, 标签较多时其检测效率较高, 但是随着分支内碰撞标签数量的减少, 会导致空闲时隙增加。这不仅降低了识别效率, 而且造成识别时间增加^[13]。由此, 为了避免不同算法的局限性, 需要改进设计。

3.2 算法的改进

为了改进 ALOHA 算法可能检测不完全, 以及基于二进制的树型算法耗时较长等问题, 提出一种 ALOHA 算法与二进制树型算法相结合的混合增强型自适应多叉树算法。混合增强型自适应多叉树算法的识别过程分为标签数量估计识别阶段和多叉树自适应识别阶段。

1) 首先采用 Vogt 算法^[14]对服装包装箱的标签量 M 进行估算, 并计算出时隙长度。同时, 利用 ALOHA 算法识别标签, 并减少待识别的标签数量, 再根据待识别标签数目确定时隙长度, 电子标签选择其自身所响应的时隙, 并判断标签的状态。

2) 根据碰撞标签的数量, 将计算的碰撞因子与推导的碰撞因子相比较, 自动选择多叉树算法的类型, 直到电子标签数量为 0, 检测结束。

在多叉树算法下, 标签在同一时间段内具有不同的识别状态, 即空闲时隙、成功时隙、碰撞时隙, 单独使用二叉树或四叉树算法, 都会导致空闲时隙或碰撞时隙增加, 造成识别效率下降。由于目前防碰撞算法采用编码形式, 并利用碰撞信息的前几位, 所以标签越多, 则碰撞越多, 在总编码中的占比越大。为了有效利用标签碰撞位数的信息, 用碰撞因子 μ 来表示占比。采用这 2 种算法的重点取决于碰撞因子, 通过相关资料推导出碰撞因子 $\mu = 0.75$ ^[15]。混合增强型自适应多叉树算法流程如图 5 所示。

混合增强型自适应多叉树算法检测过程如下。

1) 在检测门的识别范围内, 阅读器向标签发送原始指令。

2) 采用 Vogt 算法对服装包装箱的标签量 M 进行估算, 计算出时隙长度 L 。同时, 利用 ALOHA 算法识别标签, 减少待识别的标签总量。

3) 阅读器向标签发送请求指令 (N, L) , N 为标签对应编码时隙的位数, x 对应 3 种不同时隙的位数 (即时隙号)。标签通过时隙号 x 来选择对应的时隙, 然后全部标签得到响应。

4) 标签根据自己的序列号从 $(0, L-1)$ 时隙中选择对应的时隙号 x 。 x 有空闲、识别、碰撞等 3 种状态。在识别时, 成功检测到 1 个标签后, 此标签静默,

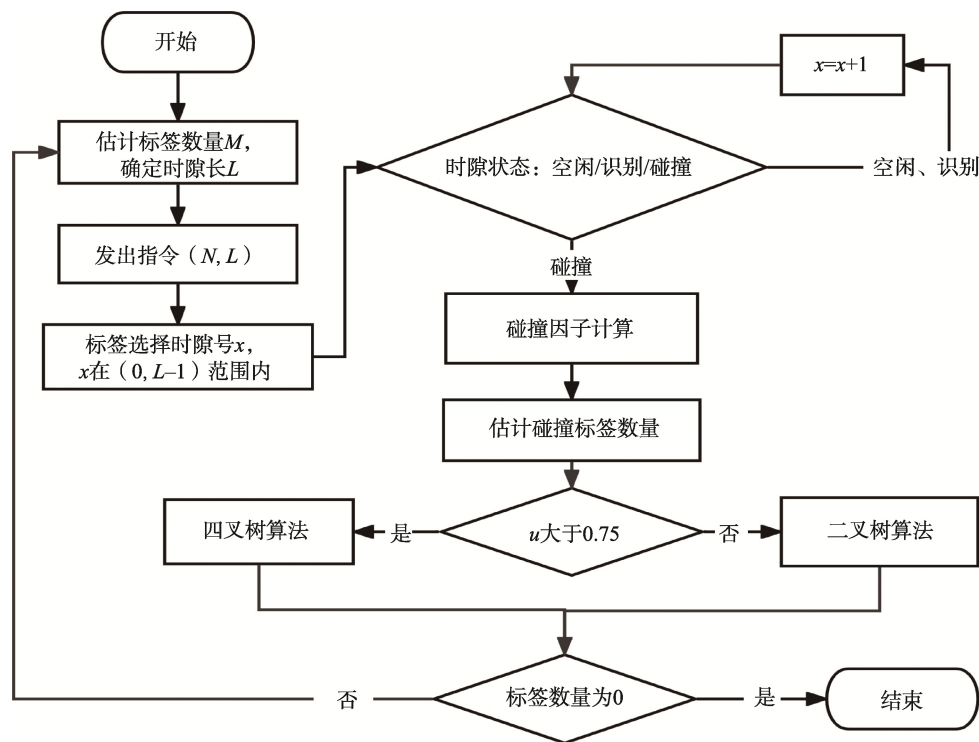


图 5 混合增强型自适应多叉树算法流程

Fig.5 Flowchart of hybrid-enhanced adaptive multi-way tree algorithm

进行下一次检测。在空闲时, 如果无标签响应, 则进行下一步。在识别时, 存在 2 个及以上标签之间的碰撞时, 检测系统按照自适应多叉树算法进行处理, 阅读器端对多个电子标签进行解码, 然后计算碰撞因子 μ 。当 $\mu < 0.75$ 时, 选择完全二叉树防碰撞算法。当 $\mu \geq 0.75$ 时, 选择四叉树防碰撞算法。

5) 判断标签是否全部识别。

6) 当标签数量未全部识别时, 则转到步骤 2) 循环执行。

7) 直到标签数量为 0, 所有标签被识别, 算法结束。

防碰撞算法性能的优劣取决于识别效率、识别时间。由图 5 可以看出, 混合增强型自适应多叉树算法在估计标签数量后, 利用 ALOHA 算法的优势识别部分标签, 再结合 2 种二进制树型算法的识别优势, 完成剩余标签在不同情况下的检测。在实际应用检测中, 这种算法需要的检测时间更少、效率更高, 且能保证标签的识别准确率。

4 实际应用

以无锡恒烨软件科技有限公司的服装信息检测设备 (型号为 HY-TG-2001) 为实验平台, 采用优化的 RFID 信息采集系统对 200 件带有 RFID 电子吊牌的素色袜包装箱进行信息采集测试。考虑到服装包装

箱体在信息采集过程中的连续性和工作人员的安全性, 设置传送系统的运行速度为 60 m/min, 重点考察了箱体间距对信息采集可靠性的影响。如表 1 所示, 当服装信息检测箱体之间的距离 (1.2~1.8 m) 增大时, 由表 1 可知, 在间距小于 1.5 m 时出现了误读, 且间距越小, 误读的数量越多, 检测的准确率越低。由于后一箱服装电子标签出现在正在检测箱体的检测范围内, 所有进入检测范围内的电子标签信息都会被系统采集, 且检测重叠范围越大, 检测的误差率越高。只有当箱体间距大于 1.5 m 时, 才能保证箱体内 RFID 电子吊牌信息采集的准确率为 100%。在此条件下服装每分钟的理论识别量可达到 2 600 件, 有效提高了服装企业的物流信息自动化采集需求。

表 1 不同间距箱体服装数量检测结果
Tab.1 Test results of clothing quantity of different box spacing

组别	箱体间隔/m	数量/件	采集的准确率/%
1	1.2	220	
2	1.3	206	
3	1.4	202	
4	1.5	200	100
5	1.6	200	100
6	1.7	200	100
7	1.8	200	100

5 结论

通过充分了解服装行业信息管理的难点,基于RFID技术设计了符合服装企业使用的信息检测系统,并通过设计阅读器四天线“M”形空间位置方案,对二叉树防碰撞算法进行了优化设计。最后,在实际检测过程中测试出最合适的识别间距,从而提高了系统的识别可靠性和识别效率。文中从系统的软硬件方面来提高系统检测的可靠性,为提高服装信息检测的准确性提供了参考,但是并未考虑实际应用中外界的影响因素,后续应对服装包装箱体大规模识别的影响因素进行研究,如周围环境中的金属、标签的弯曲等,进一步提高检测系统的可靠性。

参考文献:

- [1] 张维霞,刘应安. 基于RFID的农产品物流仓储管理系统设计与实现[J]. 包装工程, 2021, 42(7): 239-244.
ZHANG W X, LIU Y A. Design and Implementation of Agricultural Products Logistics Warehousing Management System Based on RFID[J]. Packaging Engineering, 2021, 42(7): 239-244.
- [2] 章登科,韩国程,俞朝晖,等. RFID技术及其在智能包装中的应用[J]. 包装工程, 2018, 39(1): 6-11.
ZHANG D K, HAN G C, YU Z H, et al. RFID Technology and Its Application in Smart Packaging[J]. Packaging Engineering, 2018, 39(1): 6-11.
- [3] 郭彦希,张钰欣,高思晴,等. 防水RFID标签的制备与性能测试[J]. 上海纺织科技, 2020, 48(5): 33-35.
GUO Y X, ZHANG Y X, GAO S Q, et al. Preparation and Property Test of Waterproof RFID Tag[J]. Shanghai Textile Science & Technology, 2020, 48(5): 33-35.
- [4] 刘想开,刘基宏. 基于射频识别的筒纱错支监控系统[J]. 上海纺织科技, 2021, 49(9): 20-24.
LIU X K, LIU J H. RFID-Based Yarn Quality Monitoring System for Winding Process[J]. Shanghai Textile Science & Technology, 2021, 49(9): 20-24.
- [5] 凌晨捷. H&M的纸箱包装标准设计与原则[J]. 物流技术与应用, 2014, 19(5): 126-128.
LING C J. H&M's Carton Packaging Standard Design and Principles[J]. Logistics & Material Handling, 2014, 19(5): 126-128.
- [6] 李鹏. 多标签超高频RFID无漏识别技术研究[D]. 成都: 电子科技大学, 2013: 9-11.
- [7] LI P. Research of Multi-Tag UHF RFID Seamless Recognition Technology[D]. Chengdu: University of Electronic Science and Technology of China, 2013: 9-11.
- [8] ZHANG S, GONG Y, ZHU G. Detection Method Based on RFID Tag on the Metal Surface[C]// 2022 5th International Conference on Power Electronics and Control Engineering, 2022: 1-5.
- [9] TAJIN M A S, DANDEKAR K R. Pattern Reconfigurable UHF RFID Reader Antenna Array[J]. IEEE Access: Practical Innovations, Open Solutions, 2020, 8: 187365-187372.
- [10] 朱胤达. UHF RFID织物标签在服装智能包装管理中的应用技术评价[D]. 上海: 东华大学, 2018: 32-37.
ZHU Y D. Technical Evaluation of UHF RFID Tags Application in Intelligent Clothing Packaging Management[D]. Shanghai: Donghua University, 2018: 32-37.
- [11] LUO C Y, GIL I, FERNÁNDEZ-GARCÍA R. Wearable Textile UHF-RFID Sensors: A Systematic Review[J]. Materials, 2020, 13(15): 3292.
- [12] 姚金玲,刘婕,闫雪锋. 食品质量追溯中RFID多标签识别防碰撞算法[J]. 食品与机械, 2021, 37(6): 97-101.
YAO J L, LIU J, YAN X F. Anti-collision Algorithm of RFID Multi-Tags Identification in Food Quality Traceability[J]. Food & Machinery, 2021, 37(6): 97-101.
- [13] ULLAH S, ALSALIH W, ALSEHAIM A, et al. A Review of Tags Anti-Collision and Localization Protocols in RFID Networks[J]. Journal of Medical Systems, 2012, 36(6): 4037-4050.
- [14] 张学军,蔡文琦,王锁萍. 改进型自适应二叉树防碰撞算法研究[J]. 电子学报, 2012, 40(1): 193-198.
ZHANG X J, CAI W Q, WANG S P. One Anti-Collision Algorithm Based on Improved Adaptive Multi-Tree Search[J]. Acta Electronica Sinica, 2012, 40(1): 193-198.
- [15] 张小红,周伟辉. 动态帧时隙的二进制树RFID防碰撞算法研究[J]. 系统仿真学报, 2018, 30(3): 1063-1073.
ZHANG X H, ZHOU W H. Research on Dynamic Framed Binary Tree Anti-Collision Algorithm for RFID System[J]. Journal of System Simulation, 2018, 30(3): 1063-1073.
- [16] DING Z G, ZHU X Y, GUO L, et al. An Adaptive Anti-Collision Algorithm Based on Multi-Tree Search[J]. Acta Automatica Sinica, 2010, 36(2): 237-241.