

doi:10.3969/j.issn.1001-893x.2016.10.005

引用格式:杜明谦,毛刚,陈翼. RFID 技术在机场行李自动分拣系统中的应用[J]. 电讯技术,2016,56(10):1093-1098. [DU Mingqian, MAO Gang, CHEN Yi. Application of RFID technology in airport automatic baggage handling system[J]. Telecommunication Engineering,2016,56(10):1093-1098.]

RFID 技术在机场行李自动分拣系统中的应用*

杜明谦**,毛 刚,陈 翼

(中国民用航空局第二研究所,成都 611430)

摘 要:为提高基于射频识别(RFID)技术的机场行李自动分拣系统的正确性和实时性,提出了一系列措施,包括:为读写器设计具有楔形辐射范围的有向天线;通过功率调节使读写器天线视距覆盖范围内最多仅含一个标签;采取多帧重复识别机制滤除环境反射干扰;采用小帧长。实验测试表明,行李识别正确率可达 99.89%且符合实时性要求,所提出的综合性技术措施具有实用价值。

关键词:行李自动分拣系统;射频识别;碰撞;反射

中图分类号:TN925 **文献标志码:**A **文章编号:**1001-893X(2016)10-1093-06

Application of RFID Technology in Airport Automatic Baggage Handling System

DU Mingqian, MAO Gang, CHEN Yi

(The Second Research Institute of Civil Aviation Administration of China, Chengdu 611430, China)

Abstract: In order to enhance the correctness and fast response of the baggage handling system based on radio frequency identification(RFID) technology in airports, a series of measures are proposed, including dedicated design of the directional antenna of the reader to make a chock shaped coverage area, adjusting the transmitting power to make sure that not more than one tag exists in the line-of-sight radiation field of the reader's antenna, reading tags repeatedly through multiple frames to filter interference from reflection by environments, and adopting small frame length. Experimental tests show that the ratio of correct identification reaches 99.89 percent while the real-time nature is guaranteed, so that the proposed comprehensive technical measures have practical value.

Key words: automatic baggage handling system; RFID; collision; reflection

1 引 言

随着机场开通的航班密度越来越高,机场行李分拣系统的负荷也不断增加。因此,机场行李自动分拣系统对通过的行李密度也提出了更高的要求,以便应对负荷不断增长的压力。目前多数机场行李分拣系统对行李前后间距的最低要求是 20 cm。间距不低于 20 cm 的两件行李通过自动分拣系统时,系统不仅要及时识别出行李代码,同时也要能正确

地甄别出前后顺序,才能确保正确分拣行李。

国内民航机场现行的行李分拣主要是条码识别方式。在基于条码识别的机场行李自动分拣系统中,导入皮带、分拣机等地点设有自动读码站(Auto-matic Tag Reader, ATR)。因自动读码站采用的是光学条码识别设备,因此业内目前也约定俗成地将 ATR 代指光学条码识别。由于条码由机械打印,识别时依靠光电检测,存在因打印质量不好、旅行者不

* 收稿日期:2016-06-06;修回日期:2016-09-02 Received date:2016-06-06;Revised date:2016-09-02

** 通信作者:steven_du@sina.com Corresponding author:steven_du@sina.com

经意将其折叠或弄脏等原因导致识别率下降的风险,因此在美国等发达国家已不乏将无线射频识别技术(Radio Frequency Identification, RFID)用于机场行李分拣的例子。

随着射频识别技术在我国的发展成熟和成本降低^[1],我们尝试将 RFID 应用到机场的行李自动分拣系统中。将 RFID 技术运用于行李分拣系统必须解决的主要问题是怎样保证行李识别的正确性和及时性。机场复杂的电磁环境以及密集的客流,对基于 RFID 技术的行李自动识别系统提出了严酷的要求。而由于技术保密等原因,有关将 RFID 用于行李分拣的专业文献几乎是空白。本文在分析 ATR 和 RFID 两种技术在行李识别、定位方面的机制以及不足的基础上,结合机场行李分拣系统的实际需求,探索在基于 RFID 技术的行李自动分拣系统中提高标签识别正确率和实时性的有效措施,并通过实际测试予以检验。

2 ATR 系统及其不足之处

基于条码的行李自动分拣系统中,旅客行李标签上有记录了行李代码的条码。国际航联(International Air Transport Association, IATA)的标准 Resolution 740 中定义了两种类型条码,分别是 T-LABEL 和 LINE-AR LABEL,采用的编码规则为 Code 2/5i^[2]。

条形码扫描器的光源所发出的光经光阑及聚焦后,照射到黑白相间的条形码上。反射光经聚焦后,照射回光电转换器上,于是光电转换器接收到与白条和黑条相应的强弱不同的反射光信号,并转换成电信号输出到放大整形电路,整形电路把模拟信号转化成数字信号,再经译码电路译成数字字符信息^[3]。

确保 ATR 系统性能的关键在于光源必须持续保持稳定。但灰尘累积会逐渐影响透镜效率,而且摆动开关是机械开关,易出现故障,影响 ATR 系统的整体稳定性^[4]。更糟糕的是,随着条码打印机使用次数增多,会逐渐出现图 1 所示的各种异常状况。

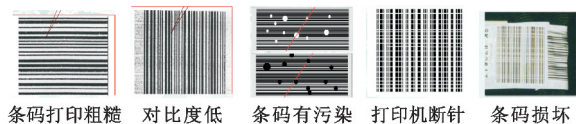


图 1 条码异常状况

Fig. 1 The abnormal status of barcode

ATR 系统无法准确可靠地识别出存在上述问题的条码,这就是 ATR 系统刚投入使用时,识别率超过 99%,但是运行一两年后会下降到不足 90%的主要原因。

3 RFID 在智能行李分拣中的应用

RFID 技术最早起源于英国,在第二次世界大战中用于辨别敌我飞机身份。2000 年后,国际标准化组织开展了 RFID 标准化工作,推出了一系列 RFID 空中接口标准^[5]。国际航联也推出了应用于航空业的 RFID 标准 1740c^[6],该协议规定:应用于民航业的 RFID 设备应采用超高频(Ultra High Frequency, UHF)频段以及无源 RFID 标签,空中接口则与国际标准化组织(International Standard Organization, ISO)和国际电工委员会(International Electro-Technical Commission, IEC)联合制定的标准 ISO/IEC 18000-6C 相同。

3.1 面临的主要问题

行李分拣系统中,首先要解决的问题是行李识别的正确性,其次是行李识别的及时性。将 RFID 技术用于智能行李分拣面临的主要问题是:在旅客较多、行李密度较大的情况下,按电子标签防碰撞协议中的随机退避机制,如果同时有两个以上标签在 RFID 读写器识别范围内,则可能出现先识别一个距离较远的标签,然后识别一个较近的标签,这样,行李排列与实际标签识别顺序不一致,导致分拣错误;行李密度大,还很可能导致多个标签同时应答(发生碰撞),导致一些标签不能及时被识别,进而使部分行李无法自动分拣^[7]。

3.2 解决方法

按照航空管理的有关法规,每件行李的长、宽、高都有限制。此外,在行李分拣系统中,还规定了传送带上相邻的行李间距不小于 20 cm。因此,要解决正确性和及时性这两个问题,关键是要设计好 RFID 读写器天线的射频覆盖范围,使得正常情况下其覆盖范围内最多只有一个标签,天线覆盖范围越小越容易满足这一要求;但覆盖范围越小,行李以指定速度经过该范围的时间就越短,供读写器识别该行李的时间就越短,如果不能在这段时间内识别出标签,就会错过识别机会。因此,设计合适的读写器天线辐射场覆盖范围是关键,同时还要有效缩短识别标

签所花的时间。

为解决上述问题,本文提出一系列措施,具体包括四个方面:

一是采用有向天线,根据读写器天线安装位置及行李尺寸限制、传送带上行李最小间隔要求,设计有向天线参数,使其覆盖角满足 $\theta \leq \theta_0$;

二是控制读写器发送的信号功率,使其仅满足识别预定覆盖范围内最远距离标签的需要,即 $P \leq P_0$;

三是降低帧长至某个较小值,减少每个待识别标签不必要的退避时间;

四是结合多帧重复识别,滤除环境反射的干扰,提高识别正确率。

3.2.1 天线覆盖范围设计

图 2 是天线辐射场沿传送带移动方向分布示意图, h_0 是天线离传送带水平面的高度, d_0 是邻近行李间容许的最小间隔,可见

$$\theta_0 = \arctan \frac{d_0}{h_0}。$$

(1)

所需的 天线辐射场覆盖范围整体形状类似一个楔子。

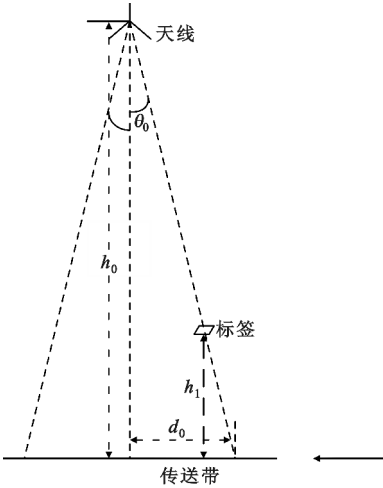


图 2 读写器天线辐射场覆盖范围

Fig. 2 Coverage of radiation field of the interrogator

根据应用的实际情况,选用微带圆极化天线设计方案。该类天线具有体积小、厚度薄的优势,便于在机场环境安装。信号馈入采用双馈点方式,这是获得圆极化辐射的最直接方法。该天线采用两个馈电点来激励两个极化正交的简并模,并由馈电网络保证两简并模的振幅相等、相位差为 90° ,如图 3 中的 A、B,这样就满足圆极化条件。

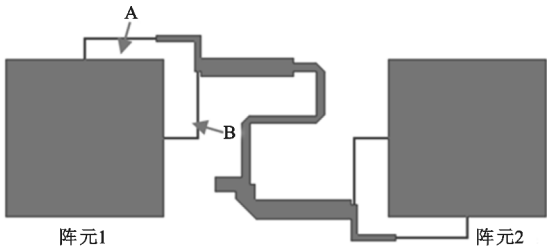


图 3 微带圆极化天线设计方案

Fig. 3 Design of microstrip circularly polarized antenna

参考图 4 及图 2,通过调整辐射边界大小,可以控制读写器天线辐射场沿 Y 方向的覆盖角度,通过调整阵元 1 和阵元 2 之间的距离可以控制辐射场沿 X 方向的覆盖角度 θ 。

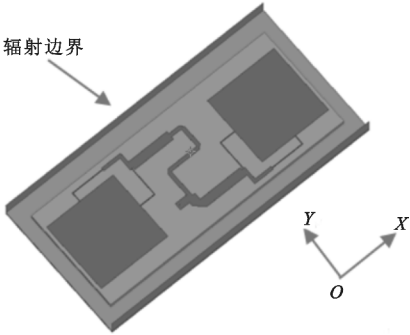


图 4 机场行李分拣 RFID 天线示例

Fig. 4 Airport baggage sorting RFID antenna sample

将图 4 所示天线进行仿真分析。从整体看,辐射场的存在区域是一个楔形,如图 5。沿 YZ 轴向和 XZ 轴向辐射场分布如图 6 中两条不同曲线所示。从两侧面看上去,天线辐射场的覆盖区域是扇形, XZ 截面和 YZ 截面扇形的角度分别为 2θ 和 γ ,如图 7 和图 8 所示,可见天线满足实际应用需求。

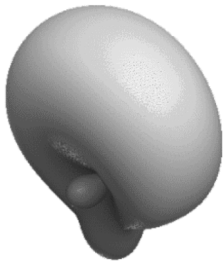


图 5 天线辐射场 3D 图

Fig. 5 3D map of antenna radiation field

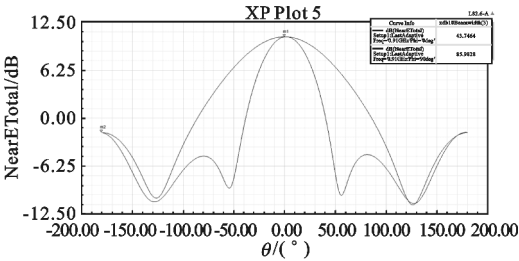


图 6 YZ 轴向和 XZ 轴向剖面图

Fig. 6 YZ axial and XZ axial profile

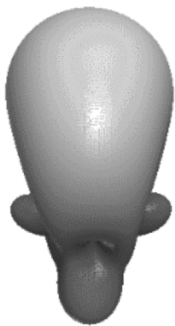


图 7 XZ 轴向角度 2θ
Fig. 7 XZ axial angle 2θ

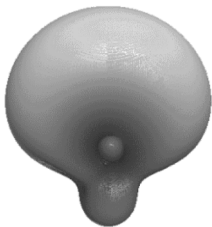


图 8 YZ 轴向角度 γ
Fig. 8 YZ axial angle γ

3.2.2 读写器天线发射功率控制

旅行者出于自己的习惯,可能将 RFID 标签贴于行李箱上任何一处,此时对信号传播过程所产生损耗进行理论分析十分困难。为简化分析,本文假设机场通过有效宣传手段,使旅客统一将 RFID 标签贴于行李箱朝向天线一面,使标签内天线所处平面为水平面,由此得出的结果仅供初步估计发射功率用。

图 2 给出了旅客行李箱的表面所贴标签刚进入读写器天线辐射场范围的情形。为了使标签能对读写器所发指令产生正确响应,标签所接收的信号功率必须达到其接收灵敏度所要求最低值 $P_{\min}$ 以上。按照图 2,此时读写器发射天线与标签之间的距离为

$$d = (h_0 - h_1) / \cos\theta_0 \tag{2}$$

式中: h_1 为行李高度。对于视距传播,路径损耗为

$$L = 32.5 + 20\lg F + 20\lg d \tag{3}$$

式中: L 是功率损耗(单位 dB); F 是 RFID 系统所采用的工作频率(单位 MHz); d 是传播距离(单位 m)。因此,读写器所发射的功率应不低于

$$P_{\min} = 10^{L/10} p_{\min} / (G_t G_r \cos\theta_0) \tag{4}$$

式中: G_t 是发射天线增益; G_r 是接收天线增益。

由于实际环境中电磁波会发生反射,增大信号

功率虽然有益于正确识别标签,但也会导致因为电磁波反射使覆盖范围变大,使得对被识别行李的定位变得模糊,并最终导致行李分拣错误。因此,本文中所设计读写器天线的实际发射功率取为 $K P_{\min}$, K 为一个略大于 1 的数,其值通过实际测试予以确定。

3.2.3 采用小帧长

在 ISO/IEC 18000-6C 空中接口协议中,识别标签的过程是逐帧进行的。每帧所包含的时隙数可以通过 QUERY 指令中的 Q 参数进行调整。在天线辐射场设计完美的情况下,理论上可以考虑将 Q 的值设为 0,使得接收到 QUERY 指令的标签不经延时立即对该指令予以响应,由于天线辐射场内只有一个标签,这个标签可以立即被识别。不过,考虑到实际环境中难免因电磁波反射使其他标签也能接收到该 QUERY 指令,若将 Q 设为 0,这些不在设计的天线辐射场范围内但经过反射接收到 QUERY 指令的标签必将与存在视距信道的标签同时响应而发生冲突,在天线设计不完美的情况下,这种冲突经常发生,从而导致标签识别速率显著下降。为此,可设定 Q 为很小的正整数,如 1 或 2,这样既可以避免总是冲突,又能有效减少过多的随机退避时间,以满足及时识别标签的需要。

按照机场行李分拣系统的现有技术标准,传送带移动速度典型值为 2.5 m/s,行李间距最小为 20 cm,此时识别一个标签的时间不能超过 80 ms,否则就不能区分不同行李。现有公认较好的执行 ISO/IEC18000-6C 标准的 RFID 系统,1 s 内识别的标签数在 350 个左右,平均识别一个标签需要 2.7 个时隙,因此平均一个时隙的长度约为 1 ms。如果取 Q 为 1,设天线覆盖设计效果不太完美,总有一个标签因电磁波反射而可能与待识别标签碰撞,可知此情况下碰撞概率为 1/2,每帧有两个时隙,80 ms 有 40 帧,每帧内因碰撞而不能识别指定标签的概率是 1/2,连续 40 帧都发生碰撞而导致该标签不能被识别的概率为

$$P_L = (1/2)^{40} \approx 10^{-12} \tag{5}$$

若取 Q 为 2,则一帧有 4 个时隙,在每一帧内,碰撞概率为 1/4,80 ms 约有 20 帧,连续 20 帧都发生碰撞而导致该标签不能被识别的概率为 $(1/4)^{20}$,与式(5)结果一样。因此,80 ms 内不能识别出该标签的概率几乎为 0。而倘若取 Q 为 6,1 帧有 64 个时隙,80 ms 只比 1 帧时间略长,此时碰撞概率为 1/64,

碰撞 1 次即意味着不能及时读出标签,此时,不能及时识别标签的概率为 1.6%,对照式(5),可以看出在行李分拣系统中,设定小 Q 值的重要性。

3.2.4 多帧重复识别

尽管按 3.2.1 节所述天线设计方法可以保证当行李间距满足标准规定时,在读写器天线的直接辐射场内只有一个标签,但由于环境对电磁波的反射及折射效应,可能有少量标签通过环境反射途径进入读写器识别范围,导致在一帧中有两个以上标签被识别(其中一个标签是读写器直接辐射场内待识别的目标标签,另一个或几个是附近其他行李上的标签),这将导致识别标签的顺序无法确定,进而导致分拣错误。针对这一问题,本文提出多帧重复识别方法,概括为:在每帧识别结束时,并不立即确定经过读写器辐射场的行李对应哪个标签,暂时不对发出响应的各标签回应确认信号,而是将该帧识别结果暂时保存,当暂存的已识别帧数足够多时,统计所有暂存的各帧中识别的标签的标识(identity, ID)码及其识别次数,根据统计得到的每个标签的识别次数做出不同处理——其中识别次数最高的,就判断为读写器直接辐射场内的标签,也是我们需要正确识别的目标标签,此时再对它发送确认信号,令其不再响应读写器的后续读写指令;其他出现次数少的标签,是因为经环境反射后进入读写器识别范围的标签,予以忽略。

采取上述方法的理由在于:当一件行李进入读写器辐射场覆盖范围时,在一定时间内,该行李上的标签是唯一在该段时间内持续保持在读写器直接辐射场内的标签,同时,其他标签若要能在该时段内对读写器做出响应,必须通过环境对电磁波的反射,这种反射环境会随行李的移动急剧变化,因此通过环境反射识别的标签会逐帧发生明显变化;但处在读写器天线直接辐射场内的标签会在大约 80 ms 时间内维持不变,在此期间的每一帧,这个处于天线直接辐射场内的标签都会进行响应。参照 3.2.3 节的例子,若取 Q 为 2,则有大约 20 帧的时间用于正确识别目标标签,此时,用于进行统计的暂存的帧数应略小于 20,因读写器需要一点时间进行统计处理。

3.3 实验测试

采用以上方法研制的一套机场行李自动分拣 RFID 识别系统,在某机场行李分拣试验线上进行了

长时间、大量行李的测试。测试中,通过对天线有效覆盖范围的调整,首先确定了天线的有关参数及最小发射功率,然后将读写器天线的实际发射功率取为最小发射功率的 1.13 倍($K=1.13$),并取 $Q=2$,多帧重复检测统计帧数为 15,测试结果见表 1,行李识别正确率达到 99.89%,行李前后顺序识别准确率达到了 99.97%。这些测试结果与文献[8]报道的采用 RFID 技术实施行李分拣的美国某国际机场的行李识别正确率相当。

表 1 行李识别测试结果		
Tab. 1 Experimental results of baggage identification		
项目	数量/件	比例/%
测试行李包总数	97 648	100.00
识别行李数量	97 541	99.89
未识别行李数量	107	0.11
前后顺序错误数量	30	0.03

测试中,还在 Q 值为 1 或 3、重复统计帧数对应为 30 或 8、其他参数不变的条件下进行了测试,测试结果与表 1 基本相同,因此不重复列出。

测试中有行李未被识别的主要原因是行李标签经过与传送带、翻转机的多次摩擦而出现磨损,RFID 标签天线被折叠损坏。

出现行李前后顺序识别错误的主要原因是由于行李在传送带上打滑导致前后行李的间距小于 20 cm,甚至出现了连包情况。

4 结束语

合理设计读写器的天线辐射场、发射功率及帧长,并且将这些措施与多帧重复识别方法相结合,可以有效提高基于 RFID 技术的机场行李自动分拣系统的正确性和实时性。实际测试结果表明,采用本文的方法,行李识别正确率达到 99.89%,优于航空行李识别正确率的国际标准,与现有文献报道的美国机场行李识别正确率持平,达到了可以实用的水平。由于没有文献披露外国的具体技术手段,本文所提出的方法系自主创新。接下来,将探索进一步提高识别正确率及实时性的新途径。

参考文献:

[1] 李元忠,林睿南,朱宏,等. 短程通信和射频识别技术的应用[J]. 电讯技术,2016,56(8):944-948.
LI Yuanzhong, LIN Ruinan, ZHU Hong, et al. Applications

of short range communication and RFID technology [J].
Telecommunication Engineering, 2016, 56 (8) : 944-948.
(in Chinese)

[2] IATA. Resolution 740; passenger service conference resolutions manual [S]. Washington DC: IATA, 2014: 34.

[3] 熊川, 嵇建波. 基于 CCD 的二维条形码检测系统 [J].
电讯技术, 2012, 52 (10) : 1670-1674.
XIONG Chuan, JI Jianbo. A 2D bar code detection system
based on CCD [J]. Telecommunication Engineering,
2012, 52 (10) : 1670-1674. (in Chinese)

[4] DX8200A reference manual. Datalogic Automation [EB/OL].
[2016-07-30]. http://www. datalogic. com.

[5] ITU. 18000-6C; EPC™ radio-frequency identity protocols class-1 generation-2 UHF RFID protocol for communications at 860MHz-960MHz [S]. Geneva: ISO, 2005: 1.

[6] IATA. Recommended Practice 1740c; radio frequency identification (RFID) specifications for interline baggage [S]. Washington DC: IATA, 2014: 34.

[7] YANG L, CHEN Y, LI X, et al. Tagoram: real-time tracking of mobile RFID tags to high-precision accuracy using COTS devices [C] // Proceedings of The 20th Annual International Conference on Mobile Computing and Networking. Maui: ACM, 2014: 1-5.

[8] 盛亚. 航空领域 RFID 应用介绍 [J]. 射频世界, 2010 (2) : 36-39.
SHENG Ya. Introduction of RFID applications on aviation [J]. Radio Frequency World, 2010 (2) : 36-39. (in Chinese)

作者简介:



杜明谦 (1970—), 男, 四川绵阳人, 1993 年于四川大学获学士学位, 现为高级工程师, 主要研究方向为电气工程及物流装备自动化;

DU Mingqian was born in Mianyang, Sichuan Province in 1970. He received the B. S. degree from Sichuan University in 1993. He is now a senior engineer. His research concerns electric engineering and automatic control of logistic system.

Email: steven_du@ sina. com

毛 刚 (1967—), 男, 四川泸县人, 1988 年于北京航空航天大学获学士学位, 现为教授级高级工程师、中国民航首批中青年技术带头人, 主要研究方向为机械自动化、物流技术装备;

MAO Gang was born in Sichuan Province, in Luxian, Sichuan Province, in 1967. He received the B. S. degree from Beihang University in 1988. He is now a senior engineer of professor and also one of the first group of Young and Middle-aged Academic Leaders of Civil Aviation Administration of China. His research concerns machinery automation and logistic technology.

陈 翼 (1973—), 男, 四川新津人, 1996 年于桂林电子工业学院获学士学位, 现为副研究员, 主要研究方向为物流装备机械自动化。

CHEN Yi was born in Xinjin, Sichuan Province, in 1973. He received the B. S. degree from Guilin University of Electronic Technology in 1996. He is now a senior engineer. His research concerns machinery automation of logistic system.



《电讯技术》继续入选中国科技核心期刊

根据中国科学技术信息研究所 10 月 12 日在北京发布的《2016 年版中国科技期刊引证报告 (核心版) 自然科学卷》, 本刊继续被收录为“中国科技核心期刊” (中国科技论文统计源期刊)。至此, 本刊已连续 5 届入选, 继续保持了“双核心期刊”的地位。

《2016 年版中国科技核心期刊引证报告 (核心版) 自然科学卷》以《中国科技论文与引文数据库 (CST-PCD)》为基础, 采用科学客观的研究方法与评价方式, 遴选出了中国自然科学领域各个学科分类的重要期刊作为统计来源期刊。该报告收录了在中国 (不含港澳台地区) 正式出版的 1915 种中文科技期刊和 70 种英文科技期刊, 共 1985 种“中国科技核心期刊” (中国科技论文统计源期刊)。与上一年相比, 有 41 种中文期刊和 24 种英文期刊新入选, 33 种期刊被取消资格。在中国电子科技集团公司主管的 41 种期刊中, 有 17 种期刊名列其中, 均是继续被收录; 与上年度相比有 2 种期刊被淘汰。

本刊编辑部 赵 勇