

A Hinge-Type and Radiation-Pattern-Reconfigurable Antenna for Cognitive Internet of Things Application

Shouhui Xue, Fang Qiu, Zixu Wang

Xiamen Xindeco IOT Technology Ltd., Xiamen
Email: shouhuixu@263.net

Received: Nov. 21st, 2014; revised: Dec. 18th, 2014; accepted: Dec. 24th, 2014

Copyright © 2014 by authors and Hans Publishers Inc.
This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).
<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

Abstract

A hinge-type RFID (Radio Frequency Identification) chip antenna with reconfigurable radiation pattern is proposed for Cognitive Internet of Things (CIOT). As analyzed using FEM (Finite Element Method) the hinge-type structure enables the dipole antenna to be rotatable and by rotating the angle between the two antenna's arms from 0° to 90° , its radiation pattern can be reconfigured from 40° to -90° (assuming the axis vertical to ground is 0°). Moreover, EBG (Electromagnetic Band-Gap) structure is applied to realize further reconfigurable radiation patterns. Specifically, taking 60° degree as an example, by tuning the size of rectangular hole of EBG, its radiation patterns could be tuned $\pm 30^\circ$. The reconfigurable radiation pattern is qualitatively verified by experiment using Tagformance measurement system.

Keywords

Reconfigurable Radiation Pattern, EBG, Hinge-Type Antenna, CIOT, RFID, FEM

应用于感知物联网的方向图 可重构超高频RFID标签天线

徐守辉, 邱方, 王子旭

厦门信达物联科技有限公司, 厦门

Email: shouhuixu@263.net

收稿日期: 2014年11月21日; 修回日期: 2014年12月18日; 录用日期: 2014年12月24日

摘要

本论文提出了一款新颖的应用于感知物联网(CIOT, Cognitive Internet of Things)的方向图可重构的RFID (Radio Frequency Identification)超高频电子标签天线。该RFID超高频电子标签天线为应用于金属物品的偶极子天线,创新之处在于: 1) RFID超高频电子标签天线采用汉字结构; 2) 偶极子天线应用“铰链型”可旋转结构,在 $0^{\circ}\sim 90^{\circ}$ 范围内调控超高频电子标签天线的偶极子臂的夹角,进而实现电子标签天线的阻抗实部在 $0\sim 90\ \text{ohm}$ 范围以及虚部在 $150\sim 260\ \text{ohm}$ 范围内可调,方向图在边射(约 0°)和前向端射(约 -90°)范围内调控; 3) 在该超高频天线偶极子臂夹角固定为某一特定角度(以 60° 为例)的前提下,通过在“铰链型”天线的上层加一层介质和电磁带隙栅格结构(EBG, Electromagnetic Band-Gap)进一步调控方向图的辐射方向(以 60° 夹角为例,可进一步调控 $30^{\circ}\sim 40^{\circ}$)。实际测试结果验证了RFID超高频电子标签天线的可翻转偶极子臂对方向图的调控性,以及EBG结构对方向图辐射方向的可调控性。本文探索了可重构天线在RFID超高频电子标签天线的延伸,尤其提出并验证了可翻转偶极子臂以及EBG对RFID超高频电子标签天线的方向图及方向图辐射方向的可调控性能。

关键词

方向图辐射方向可调控, “铰链型”天线, 感知物联网, “汉字型”天线, 电磁带隙, RFID

1. 引言

物联网是通过 RFID (Radio Frequency Identification)、红外感应器、全球定位系统、激光扫描器、气体感应器等信息传感设备,按约定的协议,将物品与互联网连接起来,进行信息交换和通讯,以实现智能化识别、定位、跟踪、监控和管理的一种网络。简而言之,物联网就是“物物相连的互联网” [1] [2]。从拓扑结构上来看,它包含感知层网络层和应用层。对于感知层而言,如何准确便捷智能的实现识别是物联网最基本而最重要的研究方面之一。如图 1 中所示,处于无线覆盖区域之内的物体被识别进而进行相关数据的读写,然后以无线通信的方式传入互联网,实现信息互联。从图 1 可以看出,作为接受和发射无线信号的天线是 RFID 的核心关键技术,天线的各项特性及形态大小,极大程度地影响了自动识别的准确度和速率。特别是对于天线的方向图而言,具备可重构功能的天线方向图的 RFID 超高频电子标签,可以通过天线方向图的可重构功能使得天线始终指向最大功率接收方向,不但可以提高自动识别的准确度和速率,也同时减少了 RFID 电子标签的功耗。

针对方向图可重构的 RFID 超高频电子标签天线,许多学者做了一些有意义的研究工作,文献[3]应用 PIN 二极管组成微带阵列,通过控制 PIN 二极管的通断,来改变阵列方向图的指向。文献[4]应用二极管连接两个方向图形状不相同的部分,通过二极管的通断合成不同的方向图。文献[5]通过开关实现单极子和带反射器的偶极子两种工作方式,进而改变天线的辐射方向图,以实现在单极子辐射全向方向图和带反射器的偶极子辐射方向图之间切换。文献[6]通过控制开关的状态控制中心的圆形贴片和周围环绕的五个带 U 型槽的扇环形寄生贴片的连接,以实现五种不同的定向方向图。以上工作积极探索了方向图可重构的天线的研究,但大多都采用开关,这样增加了功耗和损耗,也增加了天线的复杂度。

本文方向图的调控基于两方面: 1) 汉字型偶极子天线: 其一个辐射臂可转动一定角度,同时增加天

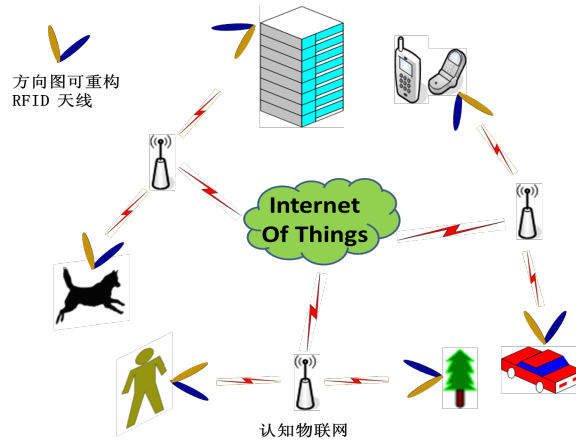


Figure 1. The internet of things
图 1. 认知物联网

线的介质基片的厚度,以填补旋转后的天线臂与介质的间隙,即可以实现天线的辐射方向图的调控。2) 在汉字型天线的一条辐射臂在旋转的同时,并通过控制此旋转臂上方的周期性电磁带隙结构,即同时旋转该周期性电磁带隙结构即可进一步调节天线的辐射方向图。本文所使用的电磁带隙结构为周期性分布的矩形孔。以上两种方法简单、实用,且制作成本低。

本文的创新点在于: 1) 为了与现有市场上具有较大的容性的 RFID 芯片的阻抗匹配,采用弯折较多的汉子型结构,并且使用公司汉字名称中的:“信达物联”,将天线隐藏于公司名称的商标中,简单、方便、美观,在具有创新性的同时也具有较强的实用性;2) 利用 RFID 电子标签天线基材 PET(Polyethylene Terephthalate)材料的柔软可弯折性,实现天线臂的弯折旋转,达到方向图辐射方向的可控性目的;3) 使用电磁带隙结构调控天线辐射方向图。

2. 铰链型天线

该“铰链型”天线为两层结构,如图 2(b)所示。第一层为介质基板,基板的上侧的天线为第二层,天线类似为偶极子天线。天线一般是蚀刻金属层或金属浆形成的,蚀刻的电子标签天线的形状为“厦门信达物联网科技有限公司”的中文简称:“信达物联”。其中,“信达物联”四字中,“信达”二字为电子标签天线的一个辐射臂,“信”字旋转 90 度,与“达”字垂直;“物联”二字为电子标签天线的另一个辐射臂,“联”字旋转 90 度,与“物”字垂直。“信达物联”四字为汉字的行书格式,相邻汉字之间彼此相连,连接线上设计有弧形以调节容感性,连线上设有断开间隙,断开间隙的两侧设有天线馈电点。因该天线为二维结构,电子标签天线的两辐射臂相互垂直,分别位于两个垂直的平面上。在实际应用中将该二维天线贴于物流应用的金属箱体表面(如图 2(a)所示)。

3. 可重构方向图

方向图的可重构基于以下两点: 1) 该铰链型天线的基板为柔软折叠的 PET 基板; 2) 天线由蚀刻金属层或金属浆形成,可与 PET 基板一起折叠翻转。实际操作中,物流应用环境中(如图 2(a)所示),天线贴于长方体的两个垂直侧面上,置于其中一个侧面的天线部分翻转一定角度,翻起后天线与侧面的空间填充介质,另一个侧面上的天线部分保持不变,从而实现天线旋转(如图 3 所示)。随着天线一个臂旋转一定角度,应用有限元法(FEM)进行分析其辐射方向图辐射指向不同方向(如图 4 所示)。图 4 显示了随着天线臂 0 度,20 度,40 度,60 度等不同角度的翻转,辐射方向图的指向分别为大约 35 度,-40 度(320 度),-60 度(300 度),-90 度(270 度)。图 4 充分说明了方向图的可调特性。

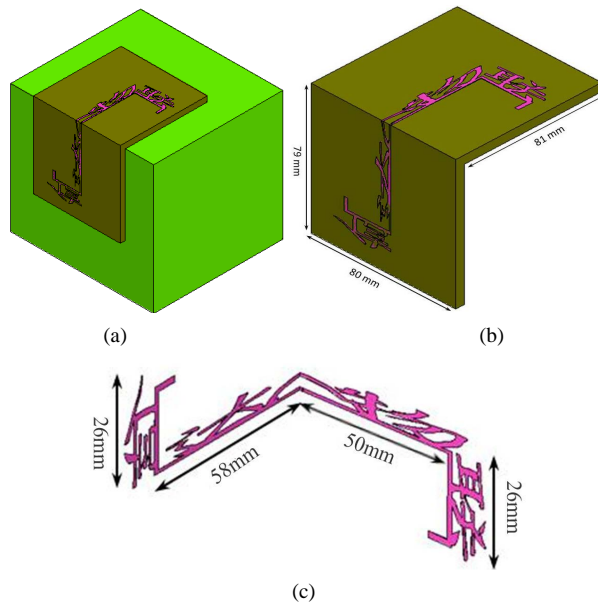


Figure 2. (a) Antenna attached in metal box; (b) RFID antenna; (c) Rotatable antenna arm
图 2. (a) 天线附着于金属环境箱体; (b) RFID 天线; (c) 天线可旋转臂

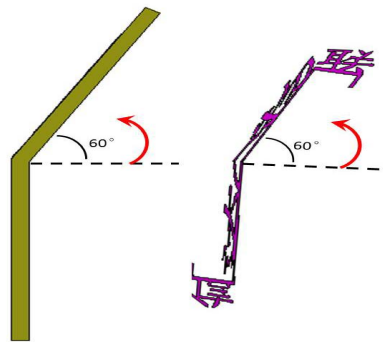


Figure 3. Rotatable antenna arm
图 3. 可旋转天线偶极子臂

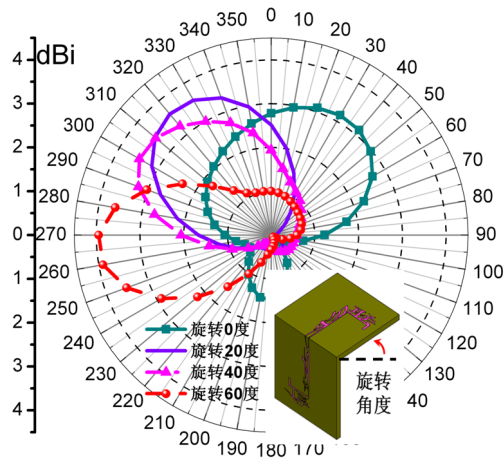


Figure 4. Reconfigurable radiation pattern
图 4. 可重构方向图

4. 可调阻抗

另一方面,随着天线臂的翻转,天线阻抗的特性如图 5,图 6 所示。从图 5 可以看出,随着天线臂 0 度,20 度,40 度,60 度的翻转,天线阻抗的实部的变化范围为 5 ohm 至 90 ohm。该变化范围涵盖了 RFID 常用芯片的实部阻抗。同样的在天线臂翻转 0 度至 60 度的范围内,从图 6 中可以看出 RFID 天线的虚部的变化范围为 150 ohm 至 260 ohm。该变化范围,符合匹配 RFID 电子标签天线常用的芯片阻抗的虚部的范围。

5. EBG 对方向图的调控

为了进一步调控方向图,EBG 被引入天线设计以进一步探索对方向图辐射的调控的方法。EBG 被常用于优化天线的增益[7] [8]。本文中 EBG 结构被应用以调控方向图。EBG 结构的研究基于该 RFID 天线臂转动 60 度后(如图 7)。如图 7 所示,在紧贴天线上层添加一个基板,基板材料可为 PET 材料、Fr4、或陶瓷等。此基板与天线第一层基板相互平行。在天线之上的基板上为金属电磁带隙矩形周期性结构。EBG 结构为在尺寸为 $72.5\text{ mm} \times 67\text{ mm}$ 的金属板上挖去 7×6 阵列的矩形小孔而形成的网状结构。图 8 为当标签天线臂转动 60 度后电磁带隙矩形周期性结构中矩形小孔面积变化对电子标签方向图辐射的调控。从

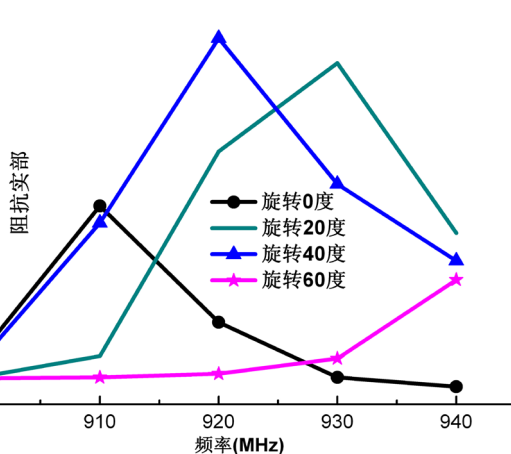


Figure 5. Real part of impedance with rotatable antenna

图 5. 阻抗实部随天线翻转角度的变化

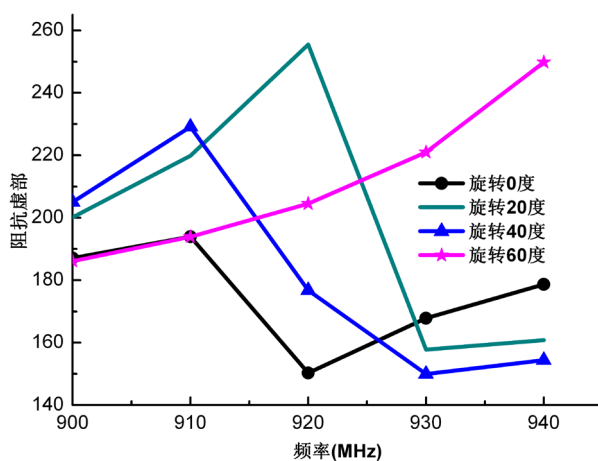


Figure 6. Imaginary part of impedance with rotatable antenna

图 6. 阻抗虚部随天线翻转角度的变化

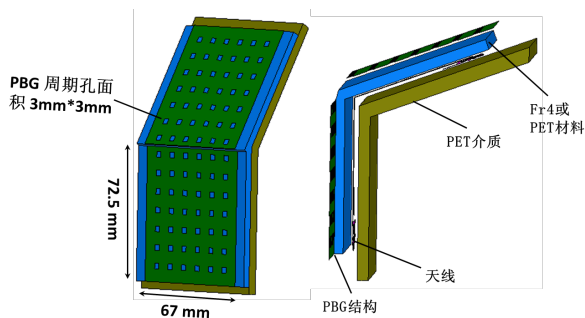


Figure 7. Reconfigurable radiation pattern using PBG
图 7. PBG 方向图快重构天线

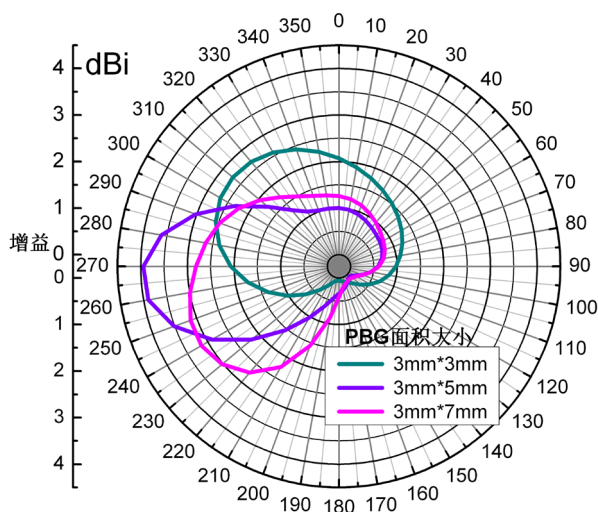


Figure 8. Reconfigurable radiation pattern with the variation of EBG
图 8. 方向图随 EBG 网状小孔的面积变化

图 8 中可以看出在电磁带隙矩形周期性结构中矩形形状大小从 $3\text{ mm} \times 3\text{ mm}$, $3\text{ mm} \times 5\text{ mm}$, $3\text{ mm} \times 7\text{ mm}$ 变化的过程中, 方向图指向从 -50 度(310 度)变化到 -90 度(270 度)度到 -115 度(245 度)。

6. 实验测试

应用厦门信达物联公司的制造测试系统, 制造的样品如图 8 所示。两块尺寸为 $80 \times 79 \times 1.6\text{ mm}$ 的普通 FR4 板材, 并将之拼成一定角度(旋转 0° , 20° , 40° , 60°), 如图 8(a)~(c)所示。金属线型层天线为铝蚀刻天线, 该天线为“信达物联”字样(图 9(a)), 尺寸为 $80 \times 26\text{ mm}$, 且与 IMPINJ MONZA5 芯片匹配, 如图 9(b), 图 9(c)所示。由于实验设备局限, 天线的阻抗以及方向图无法直接测量; 本次验证测量, 采用公司 RFID 电子标签专业仪器 Tagformance 测试系统, 对 RFID 电子标签的灵敏度进行测试, 进而来判断 RFID 电子标签天线方向图的不同指向。具体测试了四种情况(旋转 0° , 20° , 40° , 60°), 通过接受的灵敏度的大小可判断该方向方向图的增益大小, 进而可以定性的描述出方向图的指向。测试的设置如下:

- 1) RFID 电子标签天线距离 Tagformance 仪器接收天线 3 m 左右;
- 2) Tagformance 仪器接收天线置于电子标签天线 -90 度(270 度方向)辐射方向, 即“铰链型”天线旋转 60° 后辐射方向图应指向的方向;
- 3) 保持 Tagformance 仪器接收天线不动, 以此翻转 RFID 标签天线一臂 0 度, 20 度, 40 度, 60 度测试其接收电平如图 10 所示。

从图 10 可以看出，随着电子标签天线臂从 0 度翻转到 60 度，其接收电平依次升高，从符合图 4 所示方向图的指向变化，进而定性的验证了方向图的指向可重构性。同样的位置和同样的测试方法，不同 EBG 孔径大小对于方向图辐射方向的影响如图 11 所示。从图 11 可以看出，当测试方向是-90 度方向时，

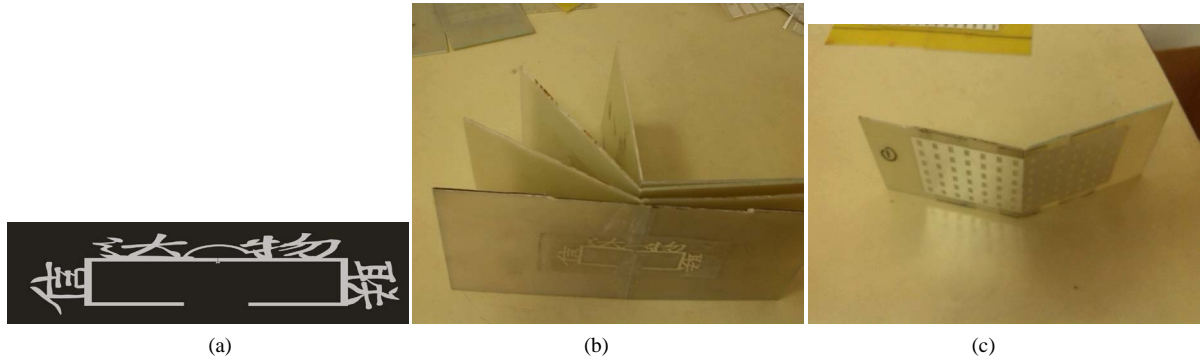


Figure 9. (a) Chinese-character-type antenna; (b) Hinge-type antenna; (c) Hinge-type antenna loaded with EBG
图 9. (a) 汉子型天线; (b) “铰链型”天线; (c) 加载 EBG “铰链型”天线

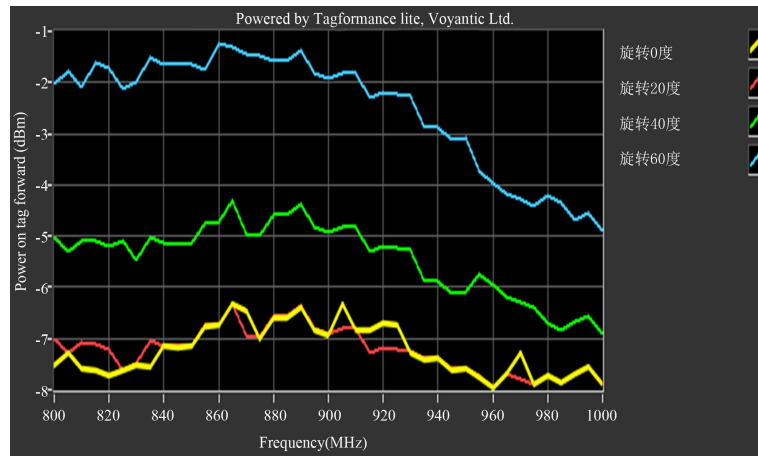


Figure 10. Test result with rotated angles
图 10. 不同翻转角度的灵敏度测试值

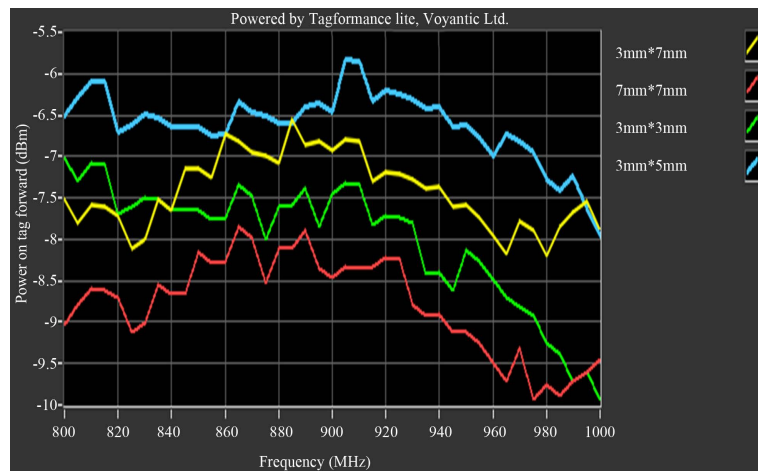


Figure 11. Test result with varied EBG
图 11. EBG 不同孔径大小的灵敏度测试值

孔径大小为 $3\text{ mm} \times 5\text{ mm}$ 时, 接受电平为最高, 说明其最大辐射方向靠近 -90 度方向, 孔径大小为 $3\text{ mm} \times 7\text{ mm}$, $3\text{ mm} \times 3\text{ mm}$ 的接受电平依次减小, 定性的验证了图 8 的仿真结果。

7. 结论

本文提出了一款基于汉字型的 RFID 超高频电子标签天线, 通过翻转天线的一臂实现了方向图指向的可重构, 更进一步的通过 EBG 矩形孔网状的引入, 翻转 60 度后的标签天线的方向图可从 -50 度(310 度)调控到 -90 度到 -115 度(245 度)。通过 Tagformance 仪器对 RFID 标签天线的接受电平随 RFID 电子标签天线臂翻转而变化, 定性的验证了方向图的可调控性。

参考文献 (References)

- [1] Mattern, F. and Floerkemeier, C. (2010) From the internet of computers to the internet of things. *Informatik-Spektrum*, **33**, 242-259.
- [2] Ashton, K. (2009) That “Internet of Things” thing. *RFID Journal*. <http://www.rfidjournal.com/article/print/4986>
- [3] Monti, G., Corchia, L. and Tarricone, L. (2012) A microstrip antenna with a reconfigurable pattern for RFID applications. *Progress in Electromagnetics Research B*, **45**, 101-116.
- [4] Rhyu, H., Harackiewicz, F.J. and Lee, B. (2007) Wide coverage area of UHF-band RFID system using a pattern reconfigurable antenna. *Microwave and Optical Technology Letters*, **49**, 2154-2157.
- [5] 王安国, 董加伟, 王鹏 (2010) 一种方向图可重构印刷振子天线的设计. *电波科学学报*, **1**.
- [6] 王安国, 蔡晓涛, 冷文, 王鹏 (2011) 带寄生贴片的圆盘形方向图可重构天线设计. *电波科学学报*, **6**.
- [7] Yem, V.V., et al. (2013) Hanoi, Vietnam. Novel high gain and broadband CPW-fed antennas with EBG for ITS applications. 2013 *International Conference on Advanced Technologies for Communications (ATC)*, Hochiminh City, 16-18 October 2013, 451-456.
- [8] Yang, F. (2009) *Electromagnetic band gap structures in antenna engineering*. Cambridge UP, Cambridge.