

基于喷墨印刷的 RFID 标签天线性价比优化方法研究

沈丽燕, 钱军浩

(江南大学, 无锡 214122)

摘要: 以小型偶极子天线为研究对象, 采用无选择和选择性 2 种不同的喷墨印刷方式印制, 对比了 2 种印刷方式下天线的识别距离和油墨耗用量。实验证明, 在表面电流密度较高处进行选择性印刷, 以增加墨层厚度的方法, 有利于降低喷墨印制无源超高频 RFID 标签天线的成本, 性价比明显提高。

关键词: 喷墨印刷; 性价比; 识别距离; 油墨耗用量

中图分类号: TS851⁺.2; TS807 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2012)15-0121-04

Cost-effective Optimization of RFID Tag Antenna by Ink-jet Printing

SHEN Li-yan, QIAN Jun-hao

(Jiangnan University, Wuxi 214122, China)

Abstract: Small dipole antennas printed by full printing and selective printing were studied. The read range and ink consumption under the two conditions were compared. The results showed that the method of selective printing on the area of higher surface current density to increase ink layer thickness is propitious to reduce the cost of passive UHF RFID tag antenna and to improve its cost-effectiveness.

Key words: ink-jet printing; cost-effective; read range; ink consumption

现如今, 喷墨印刷技术是一种利用导电油墨印制无源 UHF RFID 标签天线的重要工艺, 发展前景广阔。该技术利用加成法、无接触印刷方式^[1]有效地节省材料, 降低产品生产成本^[2], 而且该生产工艺越来越成熟。许多 RFID 标签^[3-4]及无线传感器^[5-6]都是采用该方式印制的, 甚至可以在产品包装材料上直接印制^[7], 简化生产过程。虽然该工艺有其明显的优势, 但导电油墨成本较高, 使其总成本居高不下, 因此在保持电子产品性能的前提下应尽量减少油墨的耗用量, 以降低总成本。

提高天线识别性能的方法主要有以下 3 种: 增加整个天线结构的墨层厚度^[8]能有效地提高识别距离; 将天线划分成网格, 再进行印刷^[9], 该印制方法能节约 50% 的油墨量; 在表面电流密度较高处增加膜层厚度^[10], 该方法不仅不会妨碍阻抗的匹配度, 而且能有效降低天线的阻抗。

文中基于第 3 种方法提出在大于临界表面电流密度处进行多次喷墨印刷以增加墨层厚度, 提高天线性能。

1 油墨厚度对天线生产成本及性能的影响

天线性能的好坏以辐射效率 e_r 来衡量, 其计算公式为^[11]:

$$\begin{cases} e_r = \frac{P_r}{P_{\text{loss}} + P_r} = \frac{R_r}{R_{\text{loss}} + R_r} \\ R_{\text{loss}} = \rho \cdot \frac{L}{WH} \end{cases} \quad (1)$$

式中: P_{loss} 是指导体和绝缘体的损耗功率; P_r 是指天线的辐射功率; R_{loss} 是指损耗阻抗; R_r 是指辐射阻抗; ρ 为导体电阻率; L, W, H 分别为导体的长、宽、高。由此可见, H 越大, P_{loss} 和 R_{loss} 就越小, 辐射效率 e_r 也就越高。

识别距离的长短是天线辐射效率高低的宏观体现, 所谓识别距离是指天线最大的有效工作范围, 即天线在该处所能提供的能量是激活阅读器芯片的最小能量, 计算公式为:

$$d_{\text{Tag}} = \frac{\lambda}{4\pi} \sqrt{\frac{P_{\text{EIRP}}}{P_{\text{TS}} L_{\text{fwd}}}} \quad (2)$$

收稿日期: 2012-05-15

作者简介: 沈丽燕(1987—), 女, 江苏人, 江南大学硕士生, 主攻 RFID 标签天线印刷技术。

其中: P_{EIRP} 是指标准所规定的最大等值辐射功率,欧洲标准设定为 $3.28 \text{ W}^{[7]}$; P_{TS} 是指待测天线的阈值功率; L_{fwd} 是指实验过程中的路径损耗。

在导电介质性能一定的情况下,当墨层厚度减小时,导体结构尺寸会发生变化,由于趋肤效应的作用,电流强度及其分布也会变化,进而欧姆损失变大,天线辐射效率降低。增加墨层厚度能有效提高标签天线辐射效率、增大识别距离,而鉴于成本控制方面的考虑,选择性地进行区域印刷,即在大于临界表面电流密度值处进行墨层加厚处理。

2 实验验证

2.1 天线结构

实验以小型偶极子标签天线为研究对象,配以 Alien Technology 的无源 Higgs-3 RFID 芯片^[12],见图 1。

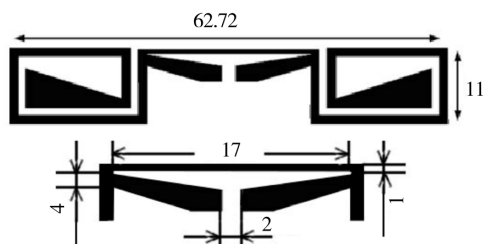


图 1 待测天线的结构和尺寸(mm)

Fig. 1 Structure and dimension of tag antenna to be tested

在 $51 \mu\text{m}$ 厚 Kapton 200HN 上印制上述天线,该天线具有 T 匹配网络结构,以提高天线与芯片两者输入阻抗的匹配度,进而获得最大传输功率^[13]。

2.2 选择性印刷

通过 HFSS13 3 维全波电磁仿真软件模拟工作频率为 $900 \text{ MHz}^{[14]}$ 时天线表面电流密度的分布情况,见图 2。模拟过程中,墨层厚度设置为 $1.5 \mu\text{m}$,油墨的导电性设置为 20 MS/m 。Kapton 200HN 的渗透性设置为 3.5,其损失正切设置为 0.002。

要适当确定临界表面电流密度值,若该值定义得过小则油墨耗用量增加,否则天线性能会下降。实验以偶极子臂端中心处的表面电流密度为参考(即图 2 中深蓝色区域)定义了 3 个不同的临界值:①表面电流密度值是参考值的 5 倍,该印刷方案称为 5 倍掩膜法;②表面电流密度值是参考值的 10 倍,该印刷方案称为 10 倍掩膜法;③表面电流密度值是参考值的 40 倍,该

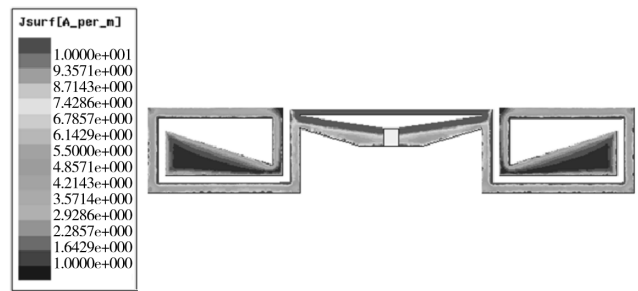


图 2 工作频率 900 MHz 下待测天线表面电流密度的分布

Fig. 2 Distribution of the surface current density of the test antenna at 900 MHz

印刷方案称为 40 倍掩膜法。由此产生的 3 种印刷方案见图 3,深色区域需重复印刷。实验还研究了只增

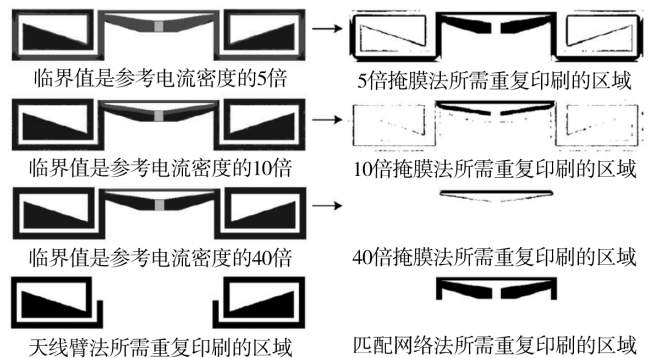


图 3 针对临界表面电流密度值所设定的印刷方案

Fig. 3 Printing schemes for different critical surface current density values

加天线臂或匹配网络的墨膜厚度对天线性能的影响。

2.3 印刷参数设置

利用 Dimatix DMP-2800 喷墨印刷机^[15]和 Hari-ma NPS-JL 的纳米银油墨在 Kapton 200HN 上印制天线。该印刷机的喷嘴大小为 10 pl ,印刷精度设置为 508 dpi ,即印刷点距为 $50 \mu\text{m}$ 。

选择性印刷流程如下:①印制前需利用异丙醇对基质进行清洁处理,使基质粗糙度降低,性能一致,防止墨层中参杂质以致影响导电性能;②先将天线结构完整地印制在基质上,然后在 $200 \text{ }^\circ\text{C}$ 下进行 40 min 的固化处理,风干温度和时间对导体表面的粗糙度影响极大,必须合理控制,否则会降低导体边缘的紧致性,从而影响天线的辐射性能;③对已固化的墨层进行选择性的印刷,然后再固化,该过程中液滴沉积的准确性对印刷效果起着决定性的作用,而喷嘴直径、液滴沉积形态及喷嘴与基质的距离这 3 个参数的设定

是关键,使用印刷机的重复位移为 $\pm 25 \mu\text{m}$ 。

实验中天线由 1—5 层墨层组成,采用选择性方式印制的天线是由一结构完整的墨层及 1—4 层选择性墨层组成,因此当 2 种天线的墨层层数相同时,其最大墨层厚度也应相等。

2.4 实验结果与分析

运用 Tagformance 仪器在紧凑型暗箱内测量各印制天线的识别距离,测量数据见表 1。

表 1 各方案中天线的识别距离
Tab.1 Read range of each solution m

墨层 层数	无选择 性印刷	5 倍掩 膜法	10 倍掩 膜法	40 倍 掩膜法	天线 臂法	匹配 网络法
1	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2
2	4.7	4.6	4.0	3.4	3.5	3.5
3	5.8	5.5	4.7	3.5	3.4	4.1
4	6.6	6.1	5.1	3.6	3.4	4.5
5	7.2	6.8	5.1	4.0	3.3	4.6

随着油墨耗用量的增加,无选择性方式印制的天线性能也不断增强,最大识别距离由单层时的 3.2 m 变为 5 层时的 7.2 m,增长率为 125%。

采用选择性方式印制的天线识别距离的增长率虽不如前者,但也有明显的提高。5 倍掩膜法印制的天线性能堪比无选择性印刷方式,识别距离由 3.2 m 增长至 6.8 m,增长率为 112.5%。10 倍掩膜法的识别距离也单调递增,由 3.2 m 增大为 5.1 m,增长率为 59.4%,但当墨层达到 4 层后,识别距离不再随墨层厚度的增加而增大。40 倍掩膜法印制的天线识别距离以最小的增长率 25%由 3.4 m 增大为 4 m。

由表 1 可知,随着天线臂厚度的增加,天线识别距离却在不断减小,由一次选择性印刷时的 3.5 m 降为 4 次选择性印刷时的 3.3 m。产生这种现象的原因可能是芯片灵敏性或者是芯片和天线之间衔接性发生了变化,因此,天线臂厚度的增大对天线性能的提高毫无作用。

天线识别距离与匹配网络的墨层厚度密切相关,前者随着后者的增大而增大,最大识别距离以 43.8% 的增长率由 3.2 m 增大至 4.6 m。该方案操作简便,无需模拟即可确认印刷区域。

以识别距离与油墨耗用量的比值作为印刷方案的性价比,图 4 和图 5 分别为性价比的曲线图和柱状图。其中,图 4 中实点是指实验结果,而实线是指预测的发展趋势。

由图 4 和图 5 可知,经模拟确定的选择性印刷方

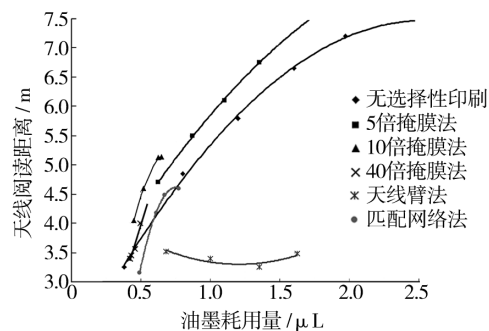


图 4 识别距离与油墨耗用量之间的函数关系

Fig. 4 Function of read range and ink consumption

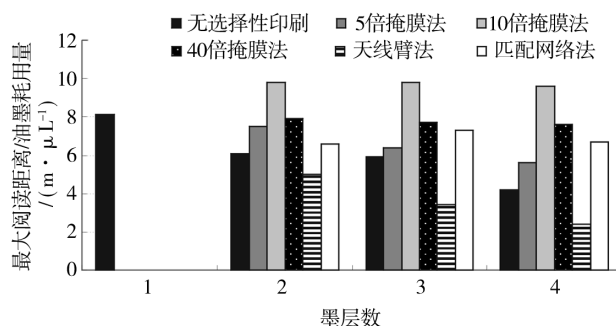


图 5 最大识别距离与油墨耗用量的比值

Fig. 5 Ratios of read range and ink consumption

案比无选择性印刷更具优势,性价比更高。其中,10 倍掩膜法性价比最高,能在低耗油量的前提下印制出高性能的天线,而只增加天线臂墨层厚度的印刷方案性价比最低。5 倍掩膜法与无选择性印刷方案相比,在天线识别距离相当的情况下,前者油墨耗用量更低。

3 结论

以天线表面电流密度分布不均为前提,针对不同的临界值确定高密度区,进而进行多次喷墨印刷处理,从而提高天线的性能,降低耗墨量。

实验结果显示该方法的可行性较高,不仅识别距离可与无选择性印刷方式相媲美,而且在油墨耗用量方面,选择性印刷方式优势更为明显,可节省 22%~50% 的量。因此该印刷方法适于印制高效、低廉的 UHF RFID 天线,但对于临界表面电流密度值需进一步研究。

参考文献:

[1] 董海荣,唐正宁. 喷墨印刷膜层宽度和厚度的分析计算

- [J]. 包装工程, 2009, 30 (1): 89—90.
- DONG Hai-rong, TANG Zheng-ning. Analysis and Calculation of the Width and Thickness of Ink-jet Printing Film[J]. Package Engineering, 2009, 30(1): 89—90.
- [2] JUNG H C, CHO S H, JOUNG J W, et al. Studies on Inkjet-Printed Conducting Lines for Electronic Devices[J]. Journal of Electronic Materials, 2007, 36(9): 1211—1218.
- [3] AMIN Y, PROKKOLA S, BOTAO S, et al. Inkjet Printed Paper Based Quadrature Bowtie Antennas for UHF RFID Tags[C]. 11th International Conference on Advanced Communication Technology, 2009: 109—112.
- [4] VIRTANEN J, UKKONEN L, BJRNINEN T, et al. Inkjet-Printed Humidity Sensor for Passive UHF RFID Systems[J]. IEEE Transaction on Instrumentation and Measurement, 2011, 60(8): 2768—2777.
- [5] LAKAFOSIS V, RIDA A, RVYAS, et al. Progress Towards the First Wireless Sensor Networks Consisting of Inkjet-Printed, Paper-Based RFID-Enabled Sensor Tags[J]. Proceedings of the IEEE, 2010, 98(9): 1601—1609.
- [6] TENTZERIS M M. Novel Paper-based Inkjet-printed Antennas and Wireless Sensor Modules, IEEE International Conference on Microwaves, Communications, Antennas and Electronic Systems, 2008: 1—8.
- [7] BJRNINEN T, ELSHERBENI A Z, UKKONEN L. Low-Profile Conformal UHF RFID Tag Antenna for Integration With Water Bottles, Ieee Antennas and Wireless Propagation Letters, 2011, 10: 1147—1150.
- [8] VIRTANEN J, BJRNINEN T, UKKONEN L, et al. The Effect of Conductor Thickness in Passive Inkjet Printed RFID Tags, IEEE Antennas and Propagation Society International Symposium, 2010: 1—4.
- [9] SIDEN J, OLSSON T, KOPTIOUG A, et al. Reduced Amount of Conductive Ink with Gridded Printed Antennas, Polytronic 2005. 5th International Conference on Polymers and Adhesives in Microelectronics and Photonics, Polytronic, 2005: 86—89.
- [10] 曹丽娜, 钱军浩, 导电油墨厚度对 RFID 标签天线辐射效率的影响[J]. 包装工程, 2012, 33 (5): 122—125.
- CAO Li-na, QIAN Jun-hao, Influence of Conductive Ink Thickness on Radiation Efficiency of RFID Tag Antenna[J]. Package Engineering, 2012, 33 (5): 122—125.
- [11] 吴光远, 钱军浩, 唐铖. 基于电子标签导电油墨厚度的研究[J]. 包装工程, 2012, 33 (5): 119—121.
- WU Guang-yuan, QIAN Jun-hao, TANG Cheng. Research on Electrically Conductive Ink Thickness Based on RFID[J]. Package Engineering, 2012, 33 (5): 119—121.
- [12] SIDEN J, FEIN M K, KOPTYUG A, et al. Printed Antennas with Variable Conductive Ink Layer Thickness, Microwaves, Antennas & Propagation, IET, 2007, 1(2): 401—407.
- [13] Alien Higgs-3 RFID IC, Product Overview, Available Online: <http://www.alientechnology.com/docs/products/Alien-Technology-Higgs-3-ALC-360.pdf>, Viewed On March 3, 2012.
- [14] MARROCCO G. The Art of UHF RFID Antenna Design: Impedance-matching and Size-reduction Techniques, Antennas and Propagation Magazine, IEEE, 2008, 50(1): 66—79.
- [15] Fujifilm, Dimatix DMP-2800 Materials Printer, Overview, Available Online: http://www.fujifilmusa.com/products/industrial_inkjet_printheads/deposition-products/dmp-2800/index.html, Viewed On March 3, 2012.

(上接第 63 页)

- ZHUANG Feng-ting, ZHANG Lei, ZHANG Chun-xian, et al. Research on Solution to Container Loading Problem Based on Ant Colony Optimization[J]. Journal of Jiangnan University, 2007, 6(6): 795—799.
- [4] 刘嘉敏, 刘晓楠, 黄有群. 具有承载能力约束的集装箱装入问题的求解方法[J]. 计算机工程与设计, 2009, 30 (22): 5204—5220.
- LIU Jia-min, LIU Xiao-nan, HUANG You-qun. Approach to Container Loading with Load Bearing Strength[J]. Computer Engineering and Design, 2009, 30 (22): 5204—5220.
- [5] SCULLI D, HUI C F. Three-dimensional Stacking of Containers[J]. Omega, 1988, 16(6): 585—594.
- [6] GEORGE J A. A Method for Solving Container Packing of a Single Size of Box[J]. Journal of Operational Research Society, 1992, 43(4): 307—312.
- [7] 何大勇, 鄂明成, 查建中, 等. 基于空间分解的集装箱布局启发式算法及布局空间利用率规律[J]. 计算机辅助设计与图形学学报, 2000, 12(5): 367—370.
- HE Da-yong, E Ming-cheng, CHA Jian-zhong, et al. A Heuristic Approach to Container Loading Problem Based on Space Decomposition and A Rule for Usage Rate of Packing Space[J]. Journal of Computer Aided Design & Computer Graphics, 2000, 12(5): 367—370.
- [8] 雍文君. 多约束三维装箱问题的研究及实现[D]. 西安: 西安理工大学, 2008.
- YONG Wen-jun. The Research and Implement of Mulyi-constraints 3D Bin-packing[D]. Xi'an: Xi'an University of Technology, 2008.