

## 金属环境对 HF 频段 RFID 系统的影响\*

朱海龙 赖晓铮 戴宏跃 赖声礼

(华南理工大学 电子与信息学院, 广东 广州 510640)

**摘要:**为实现 HF 频段 RFID 系统在金属环境下的正常工作,采用 HFSS 9.0 为仿真工具,研究金属物体对 HF 频段 RFID 系统工作性能的影响,对中距离 HF 频段 RFID 系统在金属环境中的工作进行数值仿真分析,得出了读写器天线的磁场分布特性,根据仿真结果对铁氧体吸波材料标签和立体标签的设计方法进行了讨论,同时提出全向标签的概念. 所得出的解决方法适用于在金属环境下工作的标签的设计.

**关键词:**射频识别; 金属; 铁氧体; 立体标签; 全向标签

**中图分类号:** TN820.1

**文献标识码:** A

射频识别(RFID)技术的应用目前越来越广泛,高频(HF)段 RFID 系统相对于其它工作频段的 RFID 系统而言,技术上更为成熟,标签携带的数据量较大,工作距离可达 1 m 以上,且场信号对各种介质的穿透能力远好于超高频(UHF)及更高频段的 RFID 系统,因而得到了最为广泛的应用<sup>[1]</sup>. 在 RFID 系统的应用中,经常会遇到对金属物体进行信息识别的要求. 在这种情况下,标签往往贴在金属的表面上或是与金属平面的距离很近. 对于通常的 HF 频段标签,此时系统的工作性能会有很大程度上的恶化,正常读写的工作距离大大缩短. 因此,研究此种条件下 RFID 系统的性能和解决金属环境干扰的办法具有重要的实际意义. 针对金属环境中 RFID 系统的工作性能,Boventi 等<sup>[2-3]</sup>做过一些初步的研究,并提出了实用的标签设计方法. Ryoson 等<sup>[4]</sup>提出了一种较新颖的标签设计理念,以保证标签在金属环境中的性能不致于有太大恶化,同时改善了标签工作的零点性能. 文中对 HF 频段 RFID 系统在金属环境下的性能进行了分析,同时采用 HFSS 9.0 对 HF 频段 RFID 系统环天线在金属环境中的磁场分布进行了数值仿真分析,比较了不同标签设计方案的性能,所得结果对实际的标签设计具有重要的指导意义.

## 1 金属环境影响分析

## 1.1 天线辐射近场和金属平面边界条件

HF 频段 RFID 系统采用电感耦合方式工作,标签的位置在小环天线的近场内. 如果在系统工作范围内只有单一介质存在,则在环形天线场内,任意一点 $(R, \theta, \varphi)$ 的磁场可表示为<sup>[5]</sup>

$$\begin{cases} H_R = j \frac{\beta a^2 I \cos \theta}{2R^2} \left[ 1 + \frac{1}{j\beta R} \right] e^{-j\beta R} \\ H_\theta = -\frac{(\beta a)^2 I \sin \theta}{4R} \left[ 1 + \frac{1}{j\beta R} - \frac{1}{(\beta R)^2} \right] e^{-j\beta R} \\ H_\varphi = 0 \end{cases} \quad (1)$$

式中: $I$ 为天线线圈流过的电流; $a$ 为环形天线的半径; $R$ 为观察点到环形天线中心的距离; $\beta = 2\pi/\lambda$ 为相位常数; $\lambda$ 为电磁波波长.

当读写器天线的工作范围内存在金属物体时,电磁场在金属平面上必须满足相应的边界条件. 对于金属类的良导体,各参数满足以下条件: $\varepsilon = \varepsilon' - j\varepsilon''$ ,  $\sigma \gg \varepsilon'$ ,  $\sigma \gg \varepsilon''$ ,  $\mu = \mu_0$ . 其中: $\varepsilon$ 为复介电常数; $\sigma$ 为电导率; $\mu$ 为金属物体的磁导率; $\mu_0$ 为真空磁导率. 由于趋肤效应,电磁场在金属物体中将很快衰减,因此近似认为金属物体内的电磁场为 0<sup>[6]</sup>. 设交界面处的法线方向单位向量为 $n_0$ ,则有:

收稿日期: 2007-04-24

\* 基金项目: 广东省珠海市科技攻关项目(PC200320010)

作者简介: 朱海龙(1973-),男,博士生,主要从事 RFID 相关射频电路和天线技术方面的研究. E-mail: lixiang7312@163.com

$$\begin{cases} \mathbf{n}_0 \times \mathbf{E} = \mathbf{0} \\ \mathbf{n}_0 \times \mathbf{H} = \mathbf{J} \\ \mathbf{n}_0 \cdot \mathbf{E} = \rho / \epsilon_0 \\ \mathbf{n}_0 \cdot \mathbf{H} = 0 \end{cases} \quad (2)$$

式中: $\mathbf{E}$ 为电场强度; $\mathbf{H}$ 为磁场强度; $\mathbf{J}$ 为电流密度; $\rho$ 为电荷密度; $\epsilon_0$ 为真空介电常数。

由式(2)可见,在金属物体的平面附近,磁场在界面法线方向上的分量近似为 0。对于 HF 频段 RFID 标签而言,标签端所感应到的电压可表示为<sup>[7]</sup>

$$V = 2\pi f N S B_0 \sin\alpha \quad (3)$$

式中: $f$ 为系统的工作频率; $N$ 为标签天线的圈数; $S$ 为标签天线所环绕的面积; $B_0$ 为标签天线区域的磁感应强度幅值; $\alpha$ 为磁场矢量方向与标签天线平面的夹角。金属物体靠近标签放置时,磁感应强度的幅值和方向将发生变化,即  $B_0$  和夹角  $\alpha$  的值都发生变化,从而对标签天线所感应到的电压产生影响。如果标签天线此时接近金属物体的表面平行放置,则标签天线所感应到的电压将接近为零,造成读写距离大幅下降,甚至无法读取。

## 1.2 金属环境影响的仿真模型和仿真结果

金属环境影响的仿真模型如图 1 所示,模型参数如下:圆环天线使用的材料为铝,线半径为 0.5 cm,相对介电常数为 1,相对磁导率  $\mu_r = 1.000021$ ,电导率  $\sigma = 3.8 \times 10^7$  S/m,环天线的半径为 15 cm,参考平面的中心位置与环天线中心的距离为 50 cm,等于环天线的典型工作距离。激励源为 13.56 MHz 的正弦信号。图 1(b)中金属板的材料为铝,尺寸为 60 cm × 60 cm × 5 cm,金属板底面到环天线平面的距离为 50.5 cm。

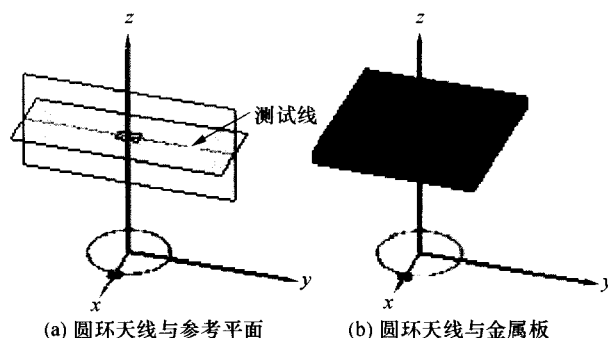


图 1 金属环境影响的仿真模型

Fig. 1 Simulation model for effect of metal environment

仿真结果如图 2 所示。为便于分析,文中所截取的均为激励为 270°相角时的仿真图。

为对磁场的强度进行量化分析,沿水平参考面的长边中心设定了一条测试线(参见图 1(a)),线长为 80 cm,并在该测试线上给出磁场场度的幅值(见图 3)。

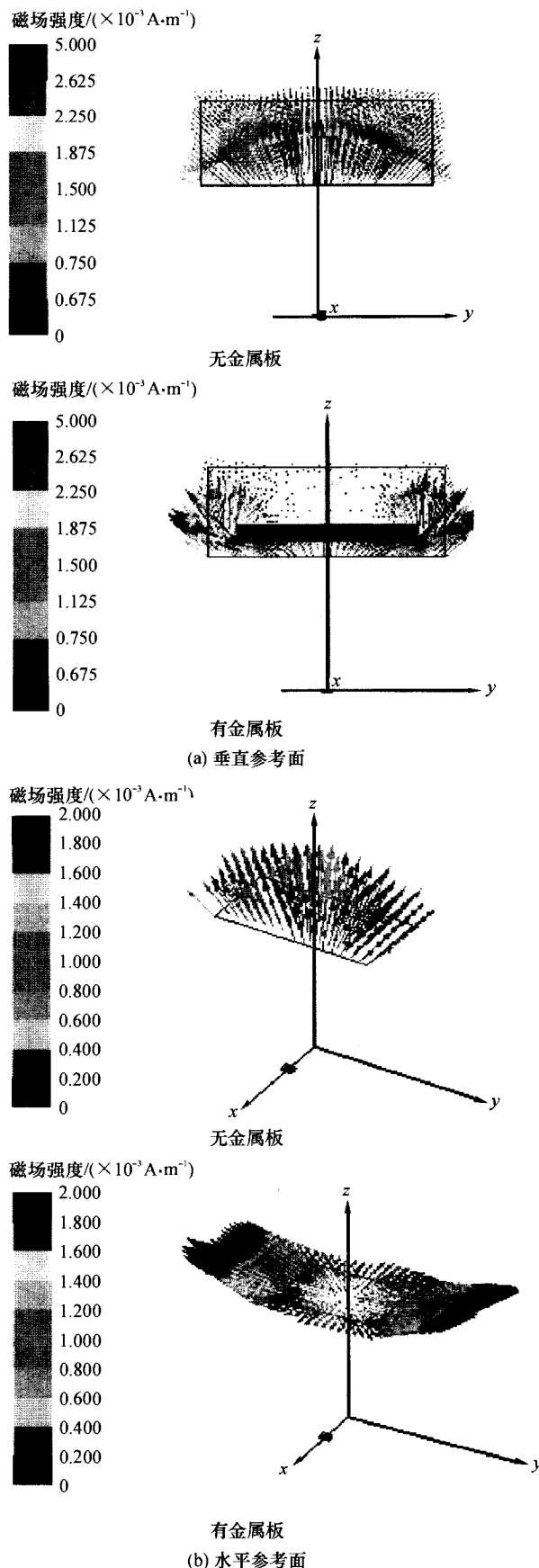


图 2 各参考面的磁场矢量

Fig. 2 Vectors of magnetic fields on reference surfaces

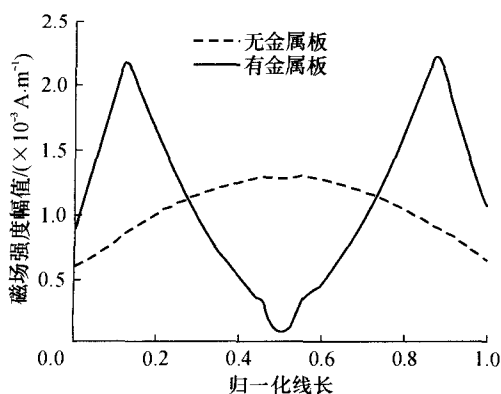


图3 测试线上的磁场强度幅值

Fig.3 Magnitude of magnetic field on test line

从图2、3可以看出,金属物体对 HF 频段 RFID 系统的工作有很大的影响,天线有效工作区域的磁场矢量在幅值和方向上均有很大变化,常规设计的标签如果贴在金属物体表面,那么将由于式(3)中的  $\alpha$  值接近 0 而导致标签中感应到的电压大为减小,造成读取距离变短,甚至无法进行读取。

## 2 解决金属环境影响的方法

为提高标签在金属环境影响下的工作性能,可以采用两种可行的方法:(1)采用铁氧体或其它特殊材料降低金属物体对正常磁场分布的影响;(2)充分利用图3中所展示的磁场大小分布特性,对标签进行特殊的设计。

### 2.1 使用铁氧体吸波材料的方法

铁氧体是一种特殊的铁磁物质,具有特殊的物理和电磁特性。为使标签能够在金属环境中使用,可以充分利用铁氧体作为吸波材料的性质:吸波材料能够吸收或衰减入射电磁波的能量,并将电磁能通过材料的介质损耗转换为热能或其它形式的能量。

为有效吸收入射电磁波,吸波材料应具有波阻抗匹配特性和衰减特性。当介质有损耗时,复介电常数虚部  $\varepsilon''$  和复磁导率虚部  $\mu''$  越大,损耗越大,越有利于电磁波的吸收。铁氧体具有畴壁共振损耗、磁矩自然共振损耗和粒子共振损耗等特性,其作用机理可概括为对电磁波的磁损耗和介电损耗<sup>[8-9]</sup>。一般而言,铁氧体吸波材料主要利用大的复磁导率虚部  $\mu''$  来实现对电磁波的有效吸收。有效吸收电磁波的另一个条件是实现分界面处波阻抗的匹配,即要求反射系数  $\Gamma = 0$ 。假定铁氧体介质厚度为  $t$ ,则铁氧体介质的本征波阻抗可表示为

$$Z = \sqrt{\frac{\mu_0 \mu_r}{\varepsilon_0 \varepsilon_r}} \tanh \left\{ j \frac{2\pi}{\lambda} \sqrt{\varepsilon_r \mu_r} t \right\} \quad (4)$$

式中:  $\varepsilon_0$  为真空介电常数;  $\mu_r = \mu'_r - j\mu''_r$  为铁氧体材料

的复相对磁导率;  $\varepsilon_r = \varepsilon'_r - j\varepsilon''_r$  为铁氧体材料的复相对介电常数。由式(4)可得波阻抗匹配条件的近似等式为<sup>[10]</sup>

$$j \frac{2\pi}{\lambda} (\mu'_r - j\mu''_r) t \approx 1 \quad (5)$$

$$\mu''_r = \frac{\lambda}{2\pi t} (\gg 1) \quad (6)$$

根据铁氧体材料的实际特性,文中  $\mu'_r$  取为 1。

为评估铁氧体吸波材料的作用,文中建立如图4所示的仿真模型。铁氧体薄片紧贴金属板,放置在金属板与读写器天线之间,薄片长为 8 cm,宽为 5 cm,

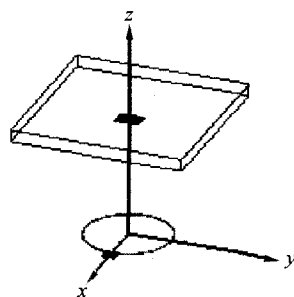


图4 带铁氧体吸波片的仿真模型

Fig.4 Simulation model with ferret absorber

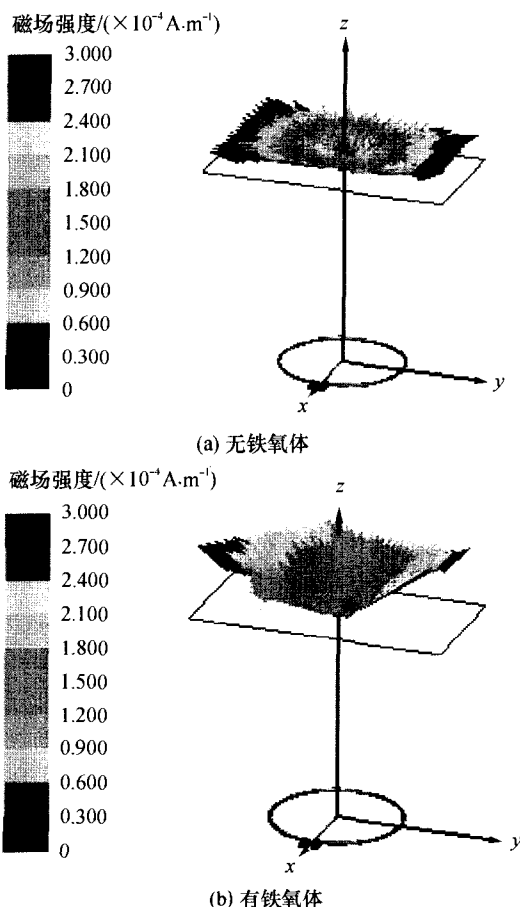


图5 局部水平参考面的磁场矢量

Fig.5 Vectors of magnetic fields on local horizontal surface

厚度为0.4 cm,从式(6)可得 $\mu_r'' = 800$ ,取 $\mu_r' = 1$ , $\epsilon_r = 5$ .仿真结果如图5所示.

从图5可见,在铁氧体介质的前方,即标签天线所处位置,读写器天线所产生的磁场方向有很大改善.表明铁氧体介质的使用可以在很大程度上提高标签在金属环境中的工作性能.

为对磁场的强度进行量化分析,沿图1(a)所示测试线中部截取线长为6 cm的短测试线,并在该测试线上给出磁场强度的幅值(见图6).从图5、6可以看出,加入铁氧体板后,磁场的强度和方向均会发生有利于读取的变化.

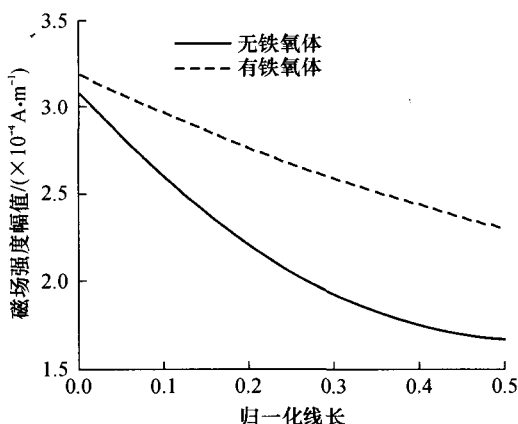


图6 短测试线上磁场强度幅值

Fig. 6 Magnitude of magnetic field on short test line

## 2.2 使用立体标签的方法

从图3可以看出,在金属板边缘附近,磁场强度幅值会达到一个峰值,且该值大于无金属板时此位置上的磁场强度幅值.为获得足够大的夹角 $\alpha$ ,标签天线的线圈平面必须与安装平面垂直或有一定的夹角,而要实现这个目标,显然将增加标签的厚度.为保证标签在没有金属物体时也能正常使用,标签必须在底部加装一块金属片,以便在没有外界金属物体时,能使磁场矢量方向发生偏转,从而保证足够大的 $\alpha$ 角.附加的金属片由于能够保证磁场方向与标签底面接近平行,因此可在不同入射方向的磁场中工作.立体标签的这种特性使其全向读取成为可能,

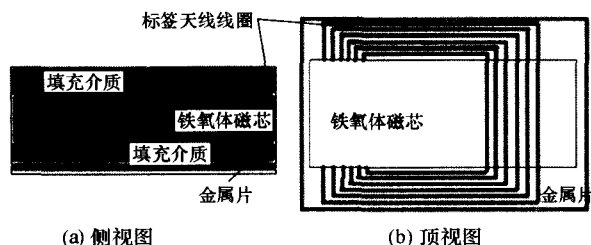


图7 立体标签原型

Fig. 7 Prototype of omnidirectional tag

可以进一步扩宽标签的应用范围.图7给出了一种建议的立体标签构型.

图8所示为标签线圈平面与阅读器天线平面垂直(设金属底板与标签线圈平面的夹角为 $25^\circ$ ,此时金属底板与阅读器天线平面的夹角为 $65^\circ$ )时的磁场矢量分布图.金属底板的存在能够使磁场矢量与金属底板平行,保证标签读取.

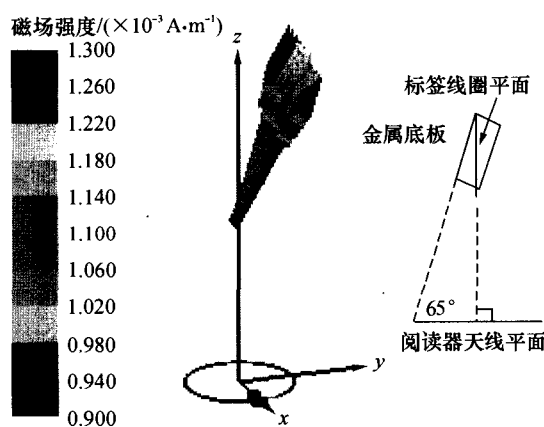


图8 立体标签仿真结果

Fig. 8 Simulation result of omnidirectional tag

## 3 结语

文中从数值仿真角度出发,对金属环境影响下HF频段RFID标签的读取进行了仿真分析,发现金属环境的存在在很大程度上会降低常规标签的工作性能.根据仿真结果,文中分别就两种不同的标签设计方案进行了讨论,并比较了这两种方案的性能,认为立体标签有可能演化为今后大规模使用的全向标签.

## 参考文献:

- [1] Want R. An introduction to RFID technology [J]. Pervasive Computing, 2006, 5(1): 25-33.
- [2] Bovelli S, Neubauer F, Heller C. A novel antenna design for passive RFID transponders on metal surface [C] // Proc of the 36th European Microwave Conference. Manchester: IEEE, 2006: 580-582.
- [3] Bovelli S, Neubauer F, Heller C. Mount-on-metal RFID transponders for automatic identification of containers [C] // Proc of the 36th European Microwave Conference. Manchester: IEEE, 2006: 726-728.
- [4] Ryoson H, Goto K, Ueno M, et al. A 13.56 MHz RFID device and software for mobile systems [C] // Proc of Consumer Communications and Networking Conference. Las Vegas: IEEE, 2005: 241-244.
- [5] Zhu Hai-long, Lai Sheng-li. Antenna design for long range

13. 56 MHz RFID reader [C] // Proc of the First Wireless Mobile and Multimedia Networks. Hangzhou: IET, 2006: 258-261.
- [6] Hassan M A. Numerical modelling technique for the radiation of wire antennas near conducting surfaces [C] // Proc of Microwaves, Antennas and Propagations. Manchester: IEEE, 1991: 225-232.
- [7] Chen S C Q, Thomas V. Optimization of inductive RFID technology [C] // Proc of International Symposium on Electronics and Environment. Denver: IEEE, 2001: 82-87.
- [8] Lax B. Frequency and loss characteristics of microwave ferrite devices [J]. Proceedings of IRE, 1956, 44(10): 1368-1386.
- [9] Adam J D, Davis L E, Dionne G F, et al. Ferrite devices and materials [J]. IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, 2002, 50(3): 721-737.
- [10] Naito Y, Suetake K. Application of ferrite to electromagnetic wave absorber and its characteristics [J]. IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, 1971, 19(1): 65-72.

## Effect of Metal Environment on HF RFID Systems

Zhu Hai-long Lai Xiao-zheng Dai Hong-yue Lai Sheng-li

(School of Electronic and Information Engineering, South China University of Technology, Guangzhou 510640, Guangdong, China)

**Abstract:** In order to ensure the high-frequency (HF) Radio Frequency Identification (RFID) in metal environment, the effect of metal plate on the performance of HF RFID system is first simulated by means of HFSS9.0, and the operation of middle-range HF RFID system in metal environment is numerically simulated and analyzed. Then, the distribution characteristics of the magnetic field of reader antenna are provided, and two solutions to the metal plate effect respectively based on the ferrite absorber and on the dimensional tag are discussed. Finally, the concept of omnidirectional tag is presented. The above-mentioned results are proved feasible in the design of tags used in metal environment.

**Key words:** radio frequency identification; metal; ferrite; dimensional tag; omnidirectional tag

(上接第74页)

## Minimum-Power AM-MIMO Algorithm to Realize Unequal Error Protection

Zhang Yan-ling Sun Xian-pu Li Jian-dong

(State Key Laboratory of Integrated Service Networks, Xidian University, Xi'an 710071, Shaanxi, China)

**Abstract:** In order to improve the transmission quality of multimedia data in wireless communication, this paper proposes an adaptive modulation algorithm to realize the unequal error protection (UEP) for the data transmission in multiple-input multiple-output (MIMO) system. As the power gains of sub-channels of the spatial correlation MIMO system are greatly different in narrowband flat fading environment, the sub-channels are divided into two groups to transmit high- and low-quality data, respectively. Moreover, according to the demands of transmission quality and rate of input data, the modulation order and transmission power of each sub-channel are adaptively adjusted to minimize the total transmission power. Simulated results indicate that the proposed algorithm can effectively control the bit error rate of data and realize the unequal error protection with a minimum transmission power.

**Key words:** multiple-input multiple-output system; adaptive modulation; unequal error protection; minimum transmission power