

# 一种带宽展宽的圆极化微带天线的设计

周东, 孙玉发, 胡少启, 杨明, 刘伟伟

(安徽大学计算智能与信号处理教育部重点实验室, 安徽合肥 230039)

**摘要:**为了改善微带天线的带宽性能,提出了一种新颖的展宽圆极化微带天线带宽的设计方法.该方法使用同轴中心馈电方式并加载微带匹配段实现阻抗匹配,贴片四周加载四个连续旋转放置的开口谐振环,并在地板中心嵌入一个缺陷地结构,实现了微带天线阻抗带宽和轴比带宽的展宽.实验结果表明,阻抗带宽和轴比带宽分别提高了68.2%和56.6%.

**关键词:**微带天线;圆极化;开口谐振环;缺陷地结构;带宽展宽

**中图分类号:** TN822.8      **文献标识码:** A      doi:10.3969/j.issn.0253-2778.2015.07.006

**引用格式:** ZHOU Dong, SUN Yufa, HU Shaoqi, et al. Design of circularly polarized microstrip antenna with bandwidth broadening[J]. Journal of University of Science and Technology of China, 2015, 45(7): 582-587.

周东, 孙玉发, 胡少启, 等. 一种带宽展宽的圆极化微带天线的设计[J]. 中国科学技术大学学报, 2015, 45(7): 582-587.

## Design of circularly polarized microstrip antenna with bandwidth broadening

ZHOU Dong, SUN Yufa, HU Shaoqi, YANG Ming, LIU Weiwei

(Key Lab of Intelligent Computing & Signal Processing, Ministry of Education, Anhui University, Hefei 230039, China)

**Abstract:** In order to improve the performance of the bandwidth of the microstrip antenna, a novel method for broadening bandwidth of the circularly polarized microstrip antenna is presented. Coaxial feeding loaded microstrip matching section is used to achieve impedance matching. The impedance and the axialratio bandwidths are improved by placing four sequentially rotated split-ring resonators around the patch of the antenna and embedding a defeated ground structure on the center of the ground plane. Experimental results show that the impedance and the axialratio bandwidths of the antenna are increased by 68.2% and 56.6%, respectively.

**Key words:** microstrip antenna ; circularly polarized; split-ring resonator; defeated ground structure; bandwidth broadening

## 0 引言

圆极化微带天线由于其剖面低、重量轻、易于载

体共形等优点,已被广泛地应用于无线通信系统.另外,与普通微带天线相比,圆极化微带天线还具有以下优点:第一,能够接收任意极化的电磁波;第二,利

收稿日期:2015-04-14;修回日期:2015-06-10

基金项目:国家自然科学基金(61172020)资助.

作者简介:周东,男,1990年生,硕士生.研究方向:导航天线、移动天线设计. E-mail:ted0130@163.com

通讯作者:孙玉发,博士/教授. E-mail:yfsun\_ahu@sina.com

用其旋向正交性,在分集技术和电子对抗中得到了广泛的使用;第三,由于圆极化电磁波入射到对称目标时旋向逆转,因此能够抑制雨雾干扰和抵抗多路径反射.

现代无线通信系统对天线的小型化需求日益强烈,高介电常数基板的使用日益频繁,使得圆极化微带天线的带宽性能显得尤为紧张.为了追求技术上的进步以及满足日益增长的实际需求,国内外学者研究了多种展宽圆极化微带天线带宽的方法.目前展宽单馈微带圆极化天线带宽的方法主要有:采用厚介质基板,贴片上刻 U 型槽、直线型槽、十字型槽,贴片周围加载电磁带隙 (electromagnetic band gap, EBG) 结构等<sup>[1-6]</sup>.文献[7]提出了一款弯折探针馈电的圆极化微带天线,这种馈电方式使得天线带宽得到了较大程度的展宽.文献[8]通过地板开槽和加入短路金属墙结构将天线分成了两部分,并在四个拐角处加入不同长度的支节激发出圆极化辐射模式,实现了宽带覆盖.文献[9]在贴片周围加载寄生微带结构,同时在天线中心加载一个短路探针,从而展宽了天线的阻抗带宽和轴比带宽.

以上方法在一定程度上展宽了天线带宽,但同时对于天线尺寸和其他性能也产生了一些影响.如文献[1-2]厚介质基板和大地板结构的贴片所占尺寸较大,文献[3-4]中开槽结构使天线的圆极化辐射性能受到了一定程度的削弱,文献[7-8]中的天线结构相对复杂,天线性能对结构参数十分敏感.文献[9]中的天线本身尺寸较大,并且使用了厚空气层和大地板结构,不便于安装在便携式设备上.本文针对以上设计的不足,提出了一种新的展宽圆极化微带天线带宽的设计方法,在贴片四周加载四个连续旋转放置的开口谐振环 (split-ring resonator, SRR) 并在地板中心嵌入一个缺陷地结构 (defected ground structure, DGS),使得天线的阻抗带宽和轴比带宽得到了显著提高.

## 1 天线结构设计

### 1.1 参考天线设计

参考天线结构如图 1 所示,该天线采用中心馈电并加载微带匹配段实现阻抗匹配,通过截角实现右旋圆极化辐射.天线的中心频率为 2.45 GHz,制作在介电常数  $\epsilon_r = 10.2$  的介质基板上,尺寸为  $35 \text{ mm} \times 35 \text{ mm} \times 3.18 \text{ mm}$  ( $\approx 0.29\lambda_0 \times 0.29\lambda_0 \times 0.026\lambda_0$ ).文中参考天线记为天线 1,具体设计参数

如表 1 所示.

### 1.2 SRR 结构

SRR 结构最初是由 Pendry 提出,因其具有尺寸小、Q 值高、能形成异向介质等特点,受到了广泛关注.目前 SRR 及其互补结构已广泛地应用于天线、滤波器等.

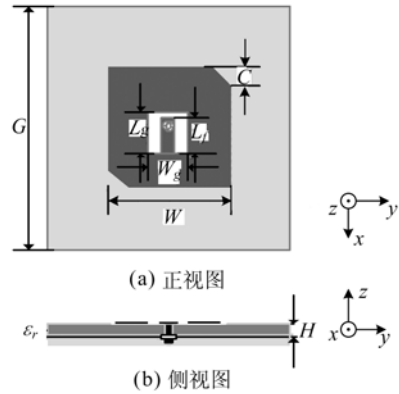


图 1 天线 1 结构示意图

Fig. 1 Geometry of the antenna 1

表 1 天线 1 的设计参数

Tab. 1 Parameters of the antenna 1

参数	G	H	W	W <sub>g</sub>	L <sub>g</sub>	L <sub>f</sub>	C
尺寸/mm	35	3.18	16.7	6.6	6.4	5.9	2.1

经典 SRR 结构如图 2(a) 所示,  $r$  为外半径,  $d$  为环间距,  $c$  为环的宽度. SRR 的等效电路图如图 2(b) 所示,  $L$  为 SRR 的自感,  $C$  为两环之间的总电容,且

$$C = 2\pi r_0 C_{\text{pul}} \quad (1)$$

式中,  $r_0 = r - c - d/2$ ,  $C_{\text{pul}}$  为两环间缝隙单位长度的电容.

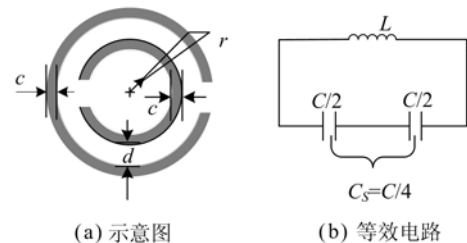


图 2 SRR 结构图

Fig. 2 Geometry of SRR

SRR 的谐振频率为<sup>[10]</sup>:

$$f_0 = \frac{1}{2\pi \sqrt{LC_s}} = \frac{1}{\pi \sqrt{2\pi r_0 LC_{\text{pul}}}} \quad (2)$$

由式(1)和(2)可知, SRR 的谐振频率可通过改

变其结构参数来调节.

本文将变型的 SRR 作为寄生结构加载在参考天线辐射贴片的周围,结构如图 3(a)所示,通过调节 SRR 尺寸,使其在天线的中心频率处谐振. 因为

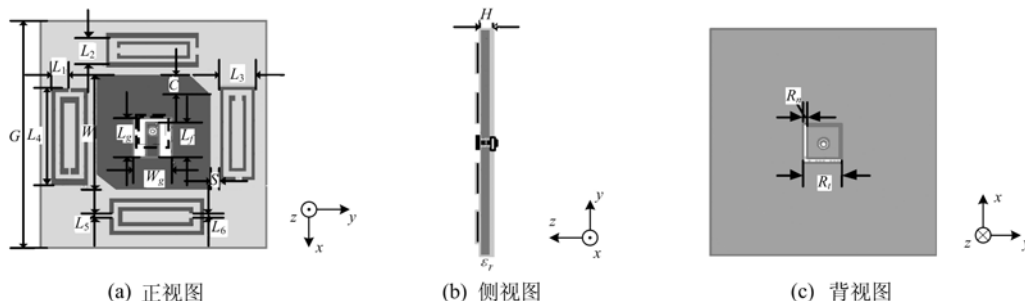


图 3 天线 2 结构图

Fig. 3 Geometry of the antenna 2

### 1.3 缺陷地结构

1999 年,韩国学者 Park 等首次提出了缺陷地结构,通过在接地板上刻蚀出缺陷图形,以改变介质衬底材料有效介电常数的分布,从而改变微带线的有效电容和有效电感<sup>[11]</sup>. 本文在加载 SRR 结构的基础上,地板中心处又嵌入了一个方形环缺陷地结构,如图 3(c)所示. 嵌入合适大小的方形环,使得表面电流的路径更加弯折,能够有效地降低谐振频率和 Q 值,进一步展宽天线的阻抗带宽和轴比带宽. 文中加载 SRR 并采用 DGS 的天线记为天线 2,具体设计参数如表 2 所示.

表 2 天线 2 的设计参数

Tab. 2 Parameters of the antenna 2

参数	G	H	L <sub>1</sub>	L <sub>2</sub>	L <sub>3</sub>	L <sub>4</sub>	L <sub>5</sub>	L <sub>6</sub>
尺寸/mm	35	3.18	2.5	4	5.4	13	0.4	0.5
参数	W	C	S	W <sub>g</sub>	L <sub>g</sub>	L <sub>f</sub>	R <sub>n</sub>	R <sub>t</sub>
尺寸/mm	15.9	3	1.4	6.6	6.4	5.9	0.5	6

## 2 实验结果与分析

采用 Ansoft 公司的高频仿真软件 HFSS 13.0 进行天线仿真,不同结构的天线带宽比较如表 3 所示.

表 3 不同结构的带宽比较

Tab. 3 The bandwidths of different structures

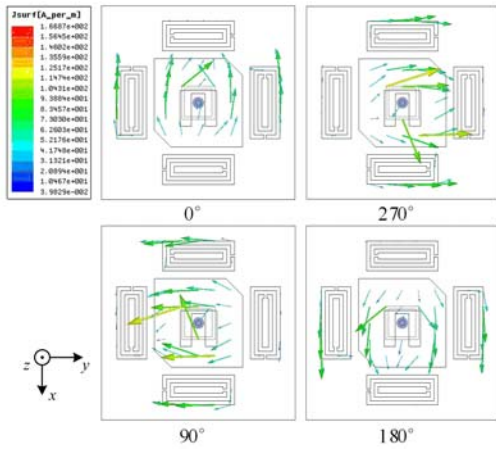
天线类型	-10dB 阻抗	3dB 轴比	-10dB 阻抗带宽和 3dB 轴比带宽的增加比例/ %
	带宽/MHz	带宽/MHz	
天线 1	102.5	23.3	—
天线 1+SRR	125.4	28.4	22.3/21.9
天线 2	164.9	34.5	60.8 / 48.1

SRR 与辐射贴片之间存在缝隙,所以 SRR 与辐射贴片的谐振频率并不完全重合,而是存在一定的偏移. 通过这种频率的微小偏移,可以使天线的工作频段获得一定程度的展宽.

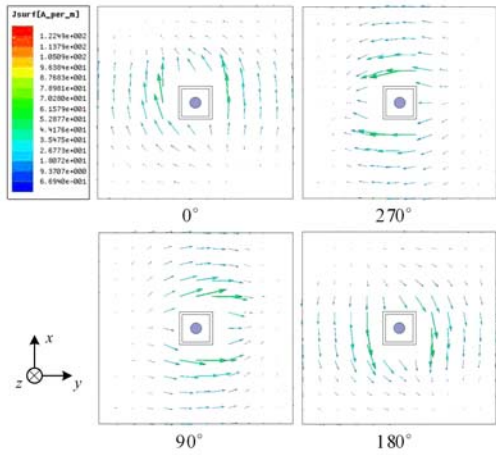
在中心频率 2.45 GHz,天线 2 表面电流分布随相位变化如图 4 所示,由图 4(a)可知,电流分布随相位变化而变化并呈现右旋圆极化辐射模式,在 0° 和 180° 时,沿 x 轴放置的 SRR 上有较强的电流分布,沿 y 轴放置的 SRR 上电流分布很微弱;相反,在 90° 和 270° 时,沿 y 轴放置的 SRR 上有较强的电流分布,沿 x 轴放置的 SRR 上电流分布很微弱. 由图 4(b)可知,地板上的电流分布随相位变化而变化并呈现左旋圆极化模式,这与贴片表面的右旋圆极化模式相吻合. 在地板中心的方环处,电流流向有较大角度的弯折,这将增加电流的流经,在一定程度上获得了带宽的展宽和降低了谐振频率.

天线 1 和天线 2 的实物图如图 5 所示;天线 1 与天线 2 的 S<sub>11</sub> 仿真与测试结果如图 6 所示. 由于加工误差和介质的不均匀性,实测结果较仿真结果有微小偏移. 天线 1 和天线 2 的仿真阻抗带宽分别为 102.5 MHz (4.2%) 和 164.9 MHz (6.7%), 实测阻抗带宽分别为 142.8 MHz (5.8%) 和 240.2 MHz (9.8%).

天线 1 和天线 2 轴比与增益的仿真及测试结果如图 7 所示,天线 1 与天线 2 的 3dB 轴比带宽仿真结果分别为 23.3 MHz (0.95%) 和 34.5 MHz (1.41%), 实测带宽分别为 22.6 MHz (0.92%) 和 35.4 MHz (1.44%), 实测与仿真的带宽展宽趋势相一致. 由于加工误差和介质的不均匀性,实测结果较仿真结果有所偏移. 天线 1 与天线 2 在中心频率处的实测增益分别为 3.12 dBi 和 3.92 dBi, 由于制作误差和材质损耗,实测增益低于仿真增益. 天线 2



(a) 正视图



(b) 背视图

图 4 天线 2 表面电流分布随相位变化图  
Fig. 4 The current-vector distribution with phase change of the antenna 2



图 5 天线 1 与天线 2 的实物图

Fig. 5 The prototypes of the antenna 1 and the antenna 2

的辐射贴片周围加载了 4 个 SRR,增加了天线的有效辐射面积,使得天线 2 的增益大于天线 1 的增益.在中心频率 2.45 GHz 时,天线 2 的归一化辐射方向图如图 8 所示,主极化方式为右旋圆极化,交叉极化电平为 -36.9 dB,半功率波瓣宽度大于 100°,辐

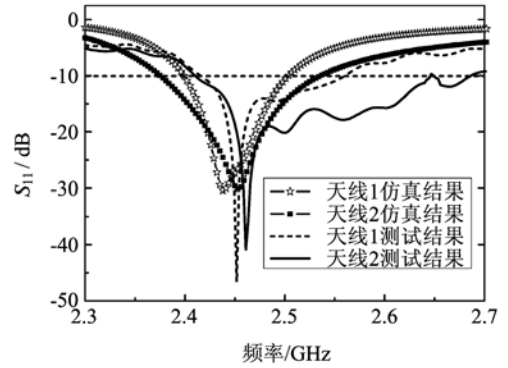
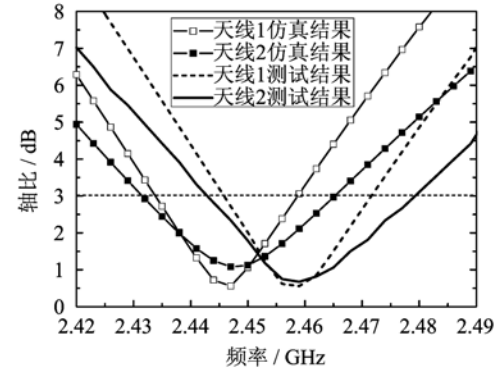


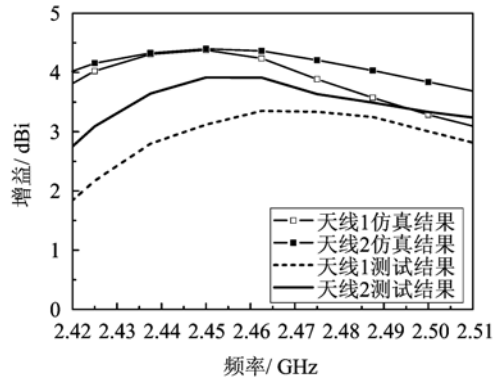
图 6 S<sub>11</sub> 的仿真与测试结果

Fig. 6 Simulated and measured results of S<sub>11</sub>

射特性良好.



(a) 轴比仿真与测试结果

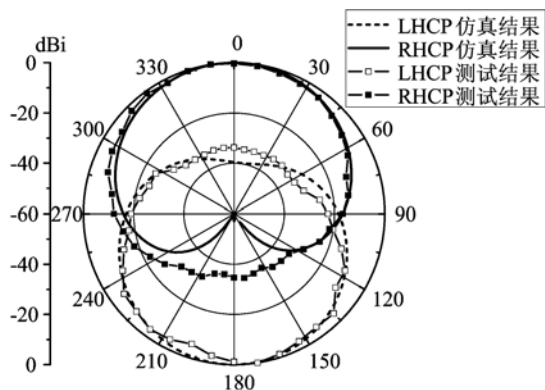


(b) 增益仿真与测试结果

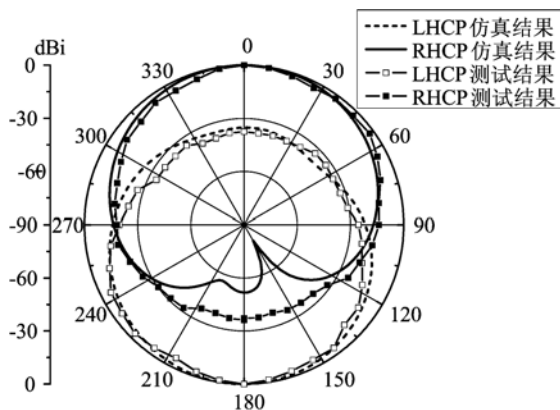
图 7 轴比与增益的仿真与测试结果

Fig. 7 Simulated and measured results of axial ratio and gain

参数  $L_1$  和  $R_1$  的变化对天线 2  $S_{11}$  的影响如图 9 所示.由图 9(a)可知,谐振频率随  $L_1$  的增加向低频段偏移,但带宽变化甚小;由图 9(b)可知,天线的谐振频率随  $R_1$  的增大向低频段偏移,同时带宽也随之变宽.  $R_1=7\text{mm}$  的阻抗带宽略宽于  $R_1=6\text{mm}$  时的带宽,但中心频率处的轴比值较大,综合考虑轴比带



(a) xoz 面



(b) yoz 面

图 8 天线 2 的归一化辐射方向图

Fig. 8 The normalized radiation patterns of the antenna 2

宽和阻抗带宽,取  $R_i=6\text{mm}$  较合适.

本文与文献[5]的天线性能比较如表 4 所示.文献[5]通过在贴片天线周围加载 EBG 结构获得轴比带宽和增益的提高,但阻抗带宽并没有得到展宽.此外,天线采用的二次分形结构较复杂,增加了加工难度和性能对结构参数的敏感度;本文设计的天线同时提高了阻抗带宽和轴比带宽,且尺寸小、易于加工和调节.

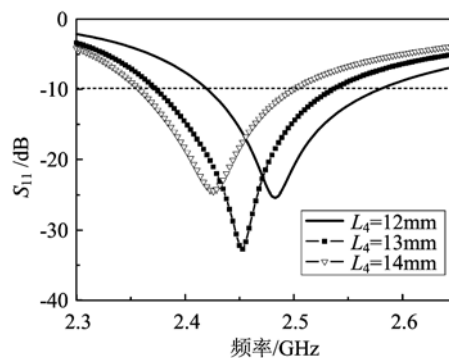
表 4 本文天线与文献[5]的天线性能比较

Tab. 4 The performance of the proposed antenna comparing with Ref. [5]

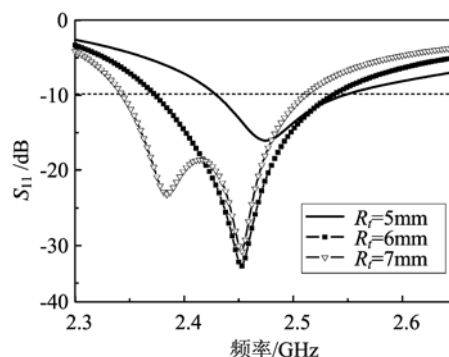
方法	天线尺寸/ $\lambda^3$	中心频率 /GHz	阻抗带宽 增加比/%	轴比带宽 增加比/%
文献[5]	$0.42 \times 0.42 \times 0.01$	1.575	—	60
本文方法	$0.29 \times 0.29 \times 0.026$	2.45	68.2	56.6

### 3 结论

本文提出了一种新型展宽圆极化微带天线带宽



(a)  $L_4$  变化对  $S_{11}$  的影响



(b)  $R_i$  变化对  $S_{11}$  的影响

图 9  $L_4$  和  $R_i$  变化对  $S_{11}$  的影响

Fig. 9 The influence of changing  $L_4$  and  $R_i$  on  $S_{11}$

的设计方法.在没有增加天线尺寸的情况下,通过加

载 SRR 和采用 DGS 使得圆极化微带天线的阻抗带宽和轴比带宽明显提高.该方法为改善小型圆极化微带天线的带宽性能提供了思路,具有良好的实用性.

### 参考文献 (References)

[1] Tseng C F, Huang C L. Compact 2.5 GHz circularly polarized antenna using high permittivity substrate [C]// Proceedings of Asia-Pacific Microwave Conference. 2005, 4: 1-2.

[2] Wu S B, J J, Yang X, Yin Y Z, et al. Wideband operations for compact single-fed circularly polarized microstrip antenna [J]. Microwave and Optical Technology Letters, 2013, 55(6): 1254-1257.

[3] Lam K Y, Luk K M, Lee K F, et al. Small circularly polarized U-slot wideband patch antenna [J]. IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters, 2011, 10: 87-90.

[4] Khidre A, Lee K F, Yang F, et al. Wideband circularly

- polarized E-shaped patch antenna for wireless applications [J]. IEEE Antennas and Propagation Magazine, 2010, 52(5): 219-229.
- [5] Bao X L, Ruvio G, Ammann M J, et al. A novel GPS patch antenna on a fractal hi-impedance surface substrate[J]. IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters, 2006, 5(1): 323-326.
- [6] Deng Z B, Jiang W, Gong S X, et al. A new method for broadening bandwidths of circular polarized microstrip antennas by using DGS & parasitic split-ring resonators[J]. Progress in Electromagnetics Research, 2013, 136: 739-751.
- [7] Lin Q W, Wong H, Zhang X Y, et al. Printed meandering probe-fed circularly polarized patch antenna with wide bandwidth[J]. IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters, 2014, 13: 654-657.
- [8] Tang X H, Wong H, Long Y L, et al. Circularly polarized shorted patch antenna on high permittivity substrate with wideband [J]. IEEE Transactions on Antennas and Propagation, 2012, 60(3): 1588-1592.
- [9] Wu J J, Yin, Y Z, Wang Z D, et al. Broadband circularly polarized patch antenna with parasitic strips [J]. IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters, 2015, 14: 559-562.
- [10] Baena J D, Bonache J, Martin F, et al. Equivalent-circuit models for split-ring resonators and complementary split-ring resonators coupled to planar transmission lines [J]. IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, 2005, 53(4): 1451-1461.
- [11] 宋海, 华光, 洪伟. 一种基于 DGS 的宽带双极化三角元微带天线[J]. 微波学报, 2005, 21(4): 27-30.  
Song H, Hua G, Hong W. A broadband dual-polarized triangle patch antenna with DGS [J]. Journal of Microwaves, 2005, 21(4): 27-30.

#### 勘误说明:

2014年1月第44卷第1期

第一作者姓名:俞昭华

稿件题名:基于目标相对位置的多传感器数据关联及传感器偏差估计

Article ID:0253-2778(2014)01-0034-09

1. 修改位置: 41页, 3.3部分, 第3句话;原句“Other conditions are consistent with section 3.1”,  
修改为: The detection probability is set to 0.95, and other conditions are consistent with section 3.1.
2. 修改位置: 41页, 3.4部分, 第3句话;原句“Other conditions are consistent with section 3.1”,  
修改为: The detection probability is set to 0.95, and other conditions are consistent with section 3.1.
3. 修改位置: 41页, 3.5部分, 第3句话;原句“Other conditions are consistent with section 4.1”,  
修改为: Other conditions are consistent with section 3.1.
4. 修改位置: 42页, 3.6部分, 第3句话;原句“Other conditions are consistent with section 4.1”,  
修改为: Other conditions are consistent with section 3.1.