

宽频带双波段双极化合成孔径雷达天线阵列单元设计

孔令兵 钟顺时 孙 竹

上海大学通信与信息工程学院, 上海 200072

tanran2006@163.com

摘要: 本文介绍了一种新颖的应用于合成孔径雷达 (SAR) 的 L/S 双波段双极化共用孔径天线阵 S 波段双极化单元的设计。它利用层叠结构以增加天线单元的带宽, 而对下层有源贴片采用简单的探针馈电方式; 为了改善天线单元的隔离度, 在下层贴片上开非对称十字型隔离缝隙; 并在阵列中运用成对反相馈电技术。实测的阵列隔离度优于-45dB, 相对带宽达 16%; 阵列水平极化端口实测交叉极化电平在 3dB 波束宽度内低达-30dB, 垂直极化端口优于-28dB。

关键词: 宽频带, 十字型隔离缝隙, 双极化天线, 隔离度, 微带天线阵, 合成孔径雷达

Design of a Broadband DBDP SAR Array Element

KONG Ling-bing, ZHONG Shun-shi, and SUN Zhu

(School of Communication and Information Engineering, Shanghai University, Shanghai, 200072)

Abstract: A new S-band element design of S/L-band DBDP shared-aperture array antenna for SAR applications is introduced, where the stacked patch structure is used to achieve broadband characteristics and the simple coaxial feed is used for the lower driven patch; in addition, the “in pairs anti-phase feeding” technique is applied in the array. The measured array isolation is better than -45dB and its measured bandwidth is 16.0%, while the measured array cross-polarization level in 3dB beamwidth of -30dB for vertical polarization and that of -28dB for horizontal polarization are achieved.

Keywords: broadband; crossed-slots; dual-polarized antenna; isolation; microstrip array; SAR

1 引言

双极化双波段共用孔径天线阵是现代合成孔径雷达系统倍受青睐的新颖天线形式。其双极化单元的两个正交端口需具备高隔离度和低交叉极化等特性。由于具有几何对称形状, 方形和圆形等微带贴片经常应用于双极化单元设计^{[1][2]}, 此时方形贴片两个正交端口将分别激励起 TM_{01} 和 TM_{10} 简并模而形成一对正交极化场。对于馈电方式, 口径耦合馈电与其他馈电方式相比, 由于其馈线与辐射贴片间由地板相互隔离,

口径耦合馈电方式可以获得更为优良的端口隔离度。文献[3]与文献[4]分别采用了“C”型和“H”型缝隙作为口径耦合馈电的缝隙形状。不幸的是, 这些缝隙的后向辐射会减小方向图的前后比, 从而不可避免要加金属反射板来减小背瓣, 这样必然增加天线的厚度、层数及加工的复杂度。

本文为了简化结构, 直接采用同轴探针馈电的方式, 而利用层叠结构来实现宽频带特性。文中介绍了一款 S 波段双极化微带单元的设计, 同轴探针穿过下层有源贴片的介质层与一段微带枝节线相连, 对该单元馈电, 这样天线的结构、体积与口径耦合馈电相比都有明显的改善。但这种设计的端口隔离度不够理想, 为本文中采用在底层有源贴片上刻非对称“十”字型隔离缝隙来改进单元的电场分

基金项目: 国家自然科学基金 (No.60871030); 国家高技术发展研究 (863) 计划课题 (No.2007AA12Z125)

布, 以改善正交极化端口的隔离度。此外, 在组阵时运用成对反向馈电技术^[5]来改善双极化阵列的交叉极化特性。下面详细介绍设计方案及实验结果, 仿真与实测结果将说明该方案的实用性。

2 天线设计

本文建议的双波段双极化阵列 S 波段双极化单元结构如图 1 所示。这是探针馈电层叠微带天线, 由两层介电常数为 2.94 的基板构成, 两层基板之间用泡沫层隔开, 有源贴片与寄生贴片分别贴附在下层基板的上方和上层基板的下方。为了获得两个相近的谐振点以增加单元的阻抗带宽, 经电磁仿真软件 HFSS 优化, 有源贴片要略小于寄生贴片。同时在有源贴片的两个相邻正交边分别有两段 50 欧姆短枝节微带线, 50 欧姆同轴线的内导体 (探针) 穿过底层基板与短枝节线连接对单元进行馈电。同时在有源贴片上刻“十”字型非对称隔离缝隙以改善隔离度。该非对称正交缝隙的两段缝隙长度不等, 且正交隔离缝隙的交叉点与有源贴片的几何中心略有偏差, 这样经优化后两个正交极化端口的隔离度会得到显著改善, 这已由实验结果 (见后) 得到验证。

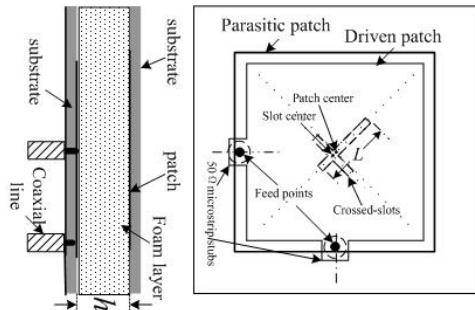


图 1 S 波段单元几何外形图

3 仿真与实测结果

本文设计的带非对称“十”字型隔离缝隙的 S 波段双极化单元已利用基于有限元法的 Ansoft 商用软件 HFSS 10.0 作了仿真计算。无缝隙时和不同长度 L 时仿真的 S 波段双极化单元隔离度结果如图 2a 所示。可见, 无缝隙时隔离度不是很理想, 而当长缝隙的长度 L=9.5mm, 端口隔离度在设计频带内可优于-30dB。与此同时, 在设计频带范围内阻抗

特性亦得到了改善, 如图 2b 所示。

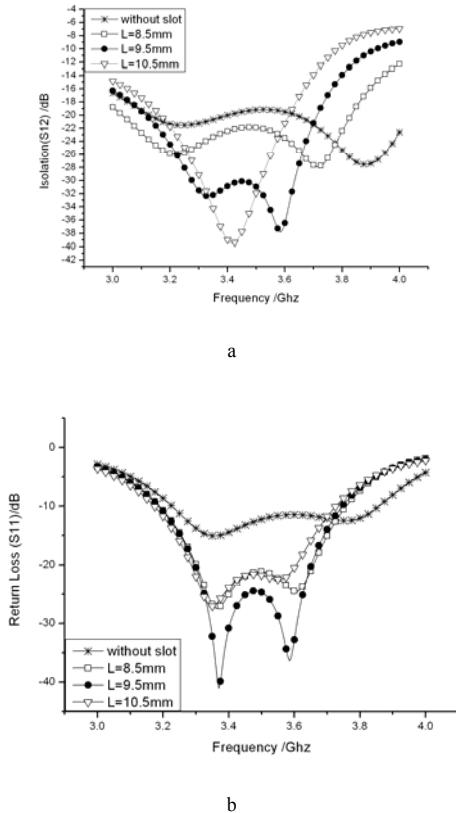


图 2 S 波段单元不同条件下的 S 参数曲线

我们已用该方法设计了一副 L/S 双波段双极化共口径阵列, 并进行了加工和测试, 以验证该单元设计方法的有效性。图 3a 是该阵列样阵照片, 图 3b 是其几何结构图, 由 8×3 元 S 波段单元与 L 波段单元构成。相邻 S 波段单元间距为 $0.62\lambda_0$ (λ_0 —设计频带中心频率自由空间波长); L 波段由交错排列的微带振子组成。为使整个 L 波段阵面几何对称, 水平极化子阵由 2×1 元振子单元构成, 而垂直极化子阵由 3×1 元振子单元构成。在设计 S 波段阵列时, 将每个单元的连接头与移相器等 T/R 组件相连构成“成对反向馈电”以改善阵列的隔离度和交叉极化特性。

采用 Agilent 8722ES 网络分析仪测量阵列的驻波与隔离度, 而辐射方向图的测试是在远场暗室中进行, 暗室内配备了以色列 ORBIT/FR 公司的测试转台系统, 所用射频仪器是 Agilent 85301B 天线分析仪。在测试过程中, 我们应用不同长度的 50 欧姆同轴线对阵列进行配相, 如图 3c 所示。所有的器件插损如线缆和功分器的损耗均经实测, 并在数据后处理时予以补偿。

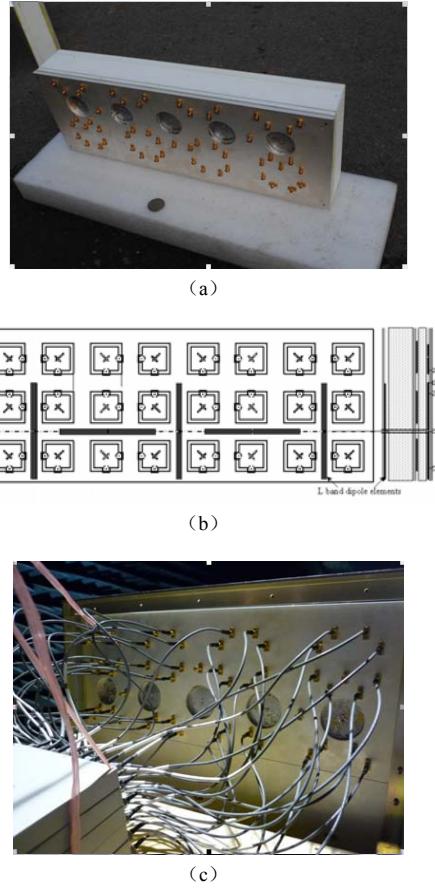


图 3 L/S 双波段双极化天线阵的照片与外形图

图 4 给出了阵列的驻波测试结果, 由于每个单元都是对称的方形结构, 所以两个端口的驻波比一致性很好; 图 4 还包括 S 单元的仿真驻波曲线, 仿真曲线与实测曲线同样显示了良好的一致性。驻波比优于 2 的单元仿真带宽从 3.185 GHz 到 3.75 GHz, 相对带宽为 16.1%, 而阵列的测试带宽范围为 3.24GHz 至 3.8GHz, 相对带宽为 16.0%。

实测的阵列隔离度曲线如图 5 所示, 在整个带宽内阵列隔离度优于-45dB; 同时图 5 还给出了仿真的单个单元的隔离度, 可见, 组阵后的阵列隔离度要优于单元隔离度。这正是采用了“成对反向馈电”技术的结果。

整个阵列实测的主极化和交叉极化方向图画在图 6 中, 可见在主极化 3dB 波束宽度范围内, 水平极化的交叉极化电平为-28dB, 而垂直极化的交叉极化电平不高于-30dB。图 6 中也给出了仿真的单元方向图结果, 单元两个正交端口的交叉极化电平在 3dB 波束宽度范围内仅达到-20dB。这表明, 正如文献[5]介绍的那样, “成对反向馈电”不但改善了阵列的隔离度, 而且有利于降低交叉极化电平。既然阵

列的方向图是单元方向图与阵因子的乘积, 我们对 S 波段单元仿真归一化方向图与阵列实测归一化方向图进行比较, 也可佐证上述分析的合理性。

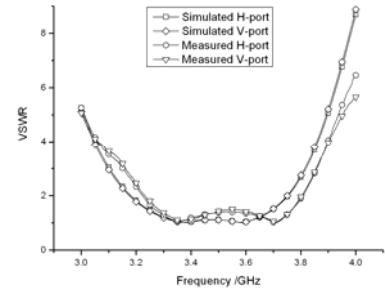


图 4 实测与仿真驻波比曲线

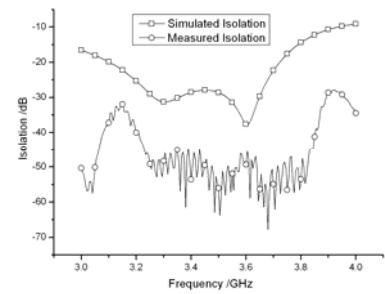
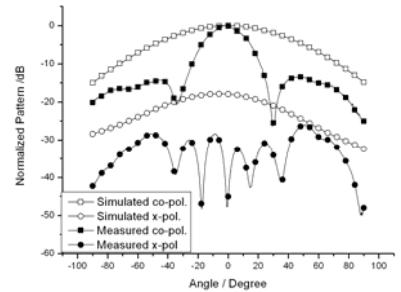
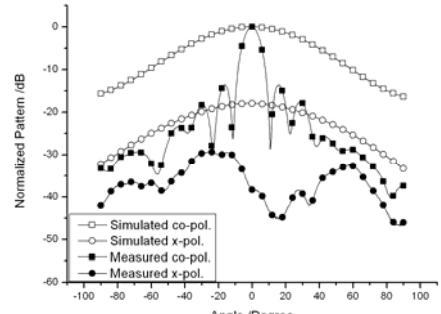


图 5 S 波段阵列的实测曲线与单元的仿真曲线



(a)



(b)

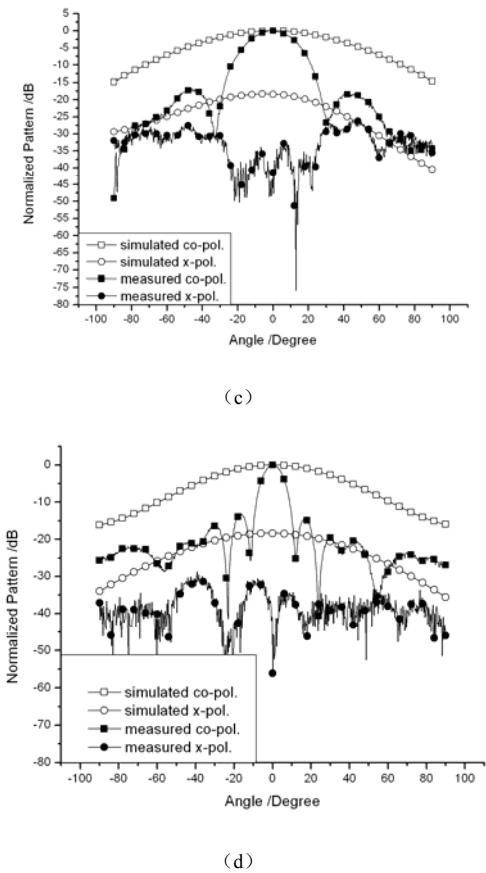


图 6 实测的阵列方向图和仿真的单元方向图

4 结论

本文介绍了 L/S 双波段双极化共用口径天线阵 S 波段双极化单元的一种新设计。该单元通过应用层叠结构以增加频带；而对下层有源贴片采用简单的探针馈电方式，尤其是在下层贴片上刻制了非对称“十”字型隔离缝隙，改善了该天线单元的隔离度；同时，在阵列中采用成对反向馈电技术，使天线的交叉极化特性得到了显著改进。

该天线阵列隔离度在设计带宽内优于-45dB，阵列的实测 $VSWR \leq 2$ 阻抗带宽达 16.0%；在 3dB 波束宽度内实测的交叉极化电平，垂直极化端口要优于-30dB，水平极化端口优于-28dB。该 S 波段单元和阵列结构简单，性能优良，对于双波段双极化共口径天线阵的应用来说，是颇有吸引力的。

参 考 文 献

- [1] Shun-Shi Zhong, Xue-Xia Yang, Shi-Chang Gao and Jun-Hai Cui, Corner-fed microstrip antenna element and arrays for dual-polarization operation, *IEEE Transactions on antennas and propagation*, 50 (2002), 1473-1480.
- [2] Shih-Hsun Hsu, Yu-Jiun Ren, and Kai Chang, A dual-polarized planar-array antenna for S-band and X-band airborne applications, *IEEE Antennas and Propag. Magazine*, 51 (2009), 70-78.
- [3] S.K. Padhi, N.C. Karmakar Sr., C.L.Law, S. Aditya Sr., A dual polarized aperture coupled circular patch antenna using a C-Shaped coupling slot, *IEEE Transactions on antennas and propagation*, 51 (2003), 3295-3298.
- [4] S.C. Gao, L.W. Li, P. Gardner and P.S. Hall, Dual-polarised wideband microstrip antenna, *Electronics Letters*, 18 (1992), 1785-1787.
- [5] Xian-Ling Liang, Shun-Shi Zhong, and Wei Wang, Cross-polarization suppression of dual-polarization linear microstrip antenna arrays, *Microwave and Opt. Tech. Lett.*, 42 (2004), 448-551

作者简介：

孔令兵，男，博士生，主要研究领域为现代天线理论与技术等；钟顺时，男，教授，博士生导师，主要研究领域为现代天线理论与技术，微波技术与电磁理论等；孙竹，男，博士生，主要研究领域为现代天线理论与技术等。