文章编号: 1007 - 4252(2020) 06 - 0006 - 419

一种应用于 5G-FR1 的频率可重构端射天线

商锋[1], 张洪强[2,*]
(1. 西安邮电大学, 西安 710121; 2. 西安邮电大学, 西安 710121)

摘要: 文章介绍了一种应用于 5G-FR1 频段的新型频率可重构天线, 设计中将工作在状态 1(中心谐振频率为 3.5GHz) 的印刷八木天线和它的部分引向器通过开关进行结合来实现改变辐射器状态的目的, 从而构成了工作在状态 2(中心谐振频率为 4.9GHz) 的印刷对数周期天线。进一步, 通过开关使状态 1 下八木天线的部分引向器连接金属贴片改变引向器的谐振频率, 改善耦合效应对非工作频段的影响, 保证天线在两种状态下的工作均具有一定程度独立性。通过在电磁仿真软件中进行验证, 当天线工作在 3.5GHz 和 4.9GHz 时, S_{11} 在-10db 以下的天线相对阻抗带宽分别为 22% 和 23%, 中心频率处天线工作的最大增益分别为 7.02dBi 和 7.82dBi。

关键词: 频率可重构天线; 5G 天线; 可重构八木天线; 对数周期天线; 端射天线
中图分类号: TN828　　**文献标志码**: A

A Frequency Reconfigurable End-Fire Antenna for 5G-FR1 Application

SHANG Feng [1], ZHANG Hong-qiang[2,*]
(1. XI´AN University of Posts & Telecommunications, Xi´an 710121, China; 2. XI´AN University of Posts & Telecommunications, Xi´an 710121, China)

Abstract: This paper introduces a novel frequency reconfigurable antenna for 5G-FR1 band. In the design, the printed Yagi antenna working in state 1 (center resonant frequency is 3.5GHz) is combined with part of its director to change the state of the radiator to construct a printed log periodic antenna working in state 2 (with the central resonant frequency of 4.9ghz) .Furthermore, the switch makes part of the Yagi antenna´s director connected with metal patch under state 1 to change the resonant frequency of the director, so as to improve the influence of coupling effect on the non working frequency band and ensure that the antenna works independently in both States. Through the verification in the electromagnetic simulation software, when the antenna works at 3.5 GHz and 4.9 GHz, the relative impedance bandwidth with the S11< - 10 dB is 22% and 23%, and the maximum gain at the center frequency is 7.02 dBi and 7.82 dBi, respectively.

Key words: Frequency Reconfigurable Antenna, 5G antenna, Reconfigurable Yagi antenna, Log periodic antenna, End fire antenna

收稿日期: 2020-11-17;　　**修订日期**: 2020-12-02

作者简介: 商锋: 男, 教授, 西安邮电大学, 从事天线理论与工程的研究。(E-mail: 476436868@ qq.com) ; 张洪强: 男, 西安邮电大学硕士研究生, 研究方向为微波与天线工程。(E-mail: hema1395@ 163.com) .

0 引言

在 5G 商用频谱中，目前国内通信运营商主流 5G 频段为 FR1 频段，因此 5G-FR1 频段相关无线设备的研究具有很大的意义。其中，频率可重构天线是一个热门研究方向，一方面频率可重构天线具有解决多个天线间互相兼容问题的优点，另外还具有节省空间，降低设备成本等众多优点。可重构天线最早于 1930 年被发现[1]。通常实现可重构天线的方法是通过加载如变容二极管、PIN 和 MEMS 等元件来改变辐射器的电流路径及分布，从而改变天线的工作状态，如工作频率、极化方式、辐射方向图等，以此满足天线在不同应用需求下的工作要求[2-7]。文献[8]利用分形天线技术结合天线加载开关，并对天线辐射器排布结构做了进一步的改进，使天线在 x 和 Ka 波段实现了频率可重构的功能，且天线在两个频段下均有良好的谐振和稳定的辐射方向图，利用分形技术对减小天线的尺寸可以带来明显的优点，但对加工精度和调谐提高了要求。文献[9]提出了一种将 CPS 结构馈电和多级带开关的引向器、阵子臂相结合的印刷频率可重构八木天线，改善了频率可重构八木天线的增益，但天线的尺寸会有增加。文章[10]利用 PIN 开关改变印刷八木天线阵子臂的辐射器长度，使天线的工作频率可以在多种状态间切换，该设计具有结构简单易调谐，效率高等优点，同时也非常便于后续偏置电路部分的设计和处理，但由于只用了一级不带开关并且较短的引向器，天线的增益仍可改善。文献[11]以缝隙天线为基础，在缝隙处连接 7 个利用铜片模拟的 PIN 二极管实现了天线 5 种状态下的频率可重构，这种设计具有易于实现多频的可重构的优点，并且该设计也很便于后期天线实物的调谐。文献[12]和[13]分别利用 SIW 馈电结合三阶印刷对数周期天线和寄生单元，阶梯耦合馈电结合八木天线的方法对印刷端射天线的增益、带宽带来优化和改善，同时文献[13]利用给截断的地板两端加以矩形枝节减小了八木天线的横向尺寸。

基于以上的研究，文章中设计了一种应用于 5G-FR1 频段，中心频率分别为 3.5GHz 和 4.9GHz 的印刷频率可重构天线。文章中将工作在 3.5GHz 的印刷八木天线的辐射器与引向器利用开关连接，形成工作在 4.9GHz 的印刷对数周期天线，在一定程度上提高了天线的阻抗带宽和增益，同时也充分利用了引向器所占用的空间，为了克服这种辐射器排布方式带来的影响，使两种状态下的天线工作尽量保持独立性，给部分引向器通过开关连接了矩形金属枝节。SIW 和 CPS 馈电可以带来很多优点，但是考虑到文中目标工作中心频率 3.5GHz 和 4.9GHz 相邻较近，该情况下拓展天线带宽的同时需考虑到天线在其中一个频段内工作时的独立性，因此采用了简单的 50Ω 微带线作为天线的馈电，同时也有利于加工的优点。最后，天线的设计结合了文献[13]所提出的地板枝节的设计，进一步实现了天线小型化的优点，这对天线具体应用时为其它部分节省避让空间和天线进行组阵时调节天线单元之间的间距都会带来一定程度的好处。利用八木天线与对数周期天线的有效结合为 5G 通信设备中的频率可重构天线提供了一种新的设计方法。

1 天线的结构设计与分析

文章中频率可重构天线的 3D 仿真模型如图 1 所示。天线在设计中，通过使 Switch1- Switch10 共计 10 个开关处于不同的导通与关闭状态，进一步改变了天线辐射体的结构，最终使天线实现了可在状态 1 与状态 2 间实现频率可重构的功能。如表 1 所示的开关状态与天线状态对应关系所示，当开关 Switch1-6 导通，Switch7-10 关闭时，天线切换至状态 1，此时天线工作的中心频率为 3.5GHz; 当开关 Switch1-6 关闭，Switch7-10 导通时，天线切换至状态 2，此时天线工作的中心频率为 4.9GHz。在电磁仿真环节中，文章中的频率可重构天线模型利用矩形理想金属的是否存在来模拟开关的两种状态，这种模拟方法的可行性已被前人在多处进行利用与验证[8]。

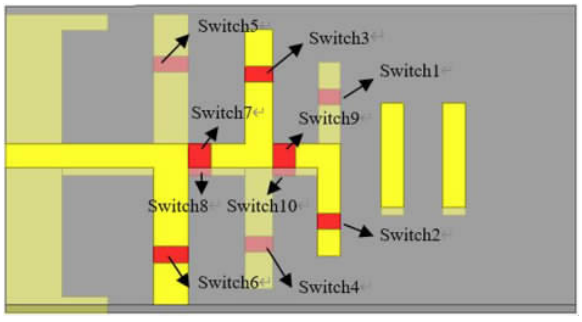


图 1 天线仿真模型

Fig. 1 Simulation Model of the Antenna

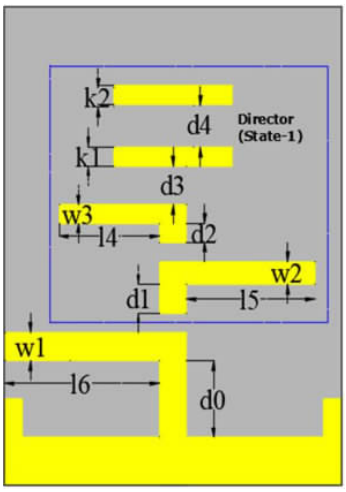
表 1　频率可重构天线的工作状态与开关状态对应关系

Table 1 The corresponding relationship between the working state and the switch state of the frequency reconfigurable antenna

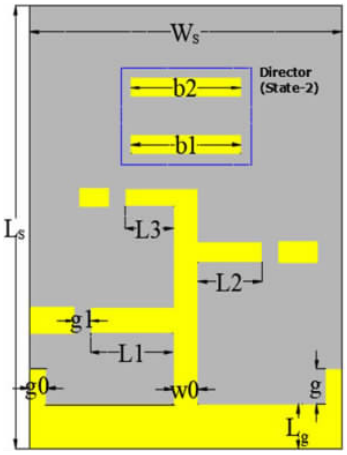
天线的工作状态	Switch 1-6	Switch 7-10
状态 1	导通	关闭
状态 2	关闭	导通

根据八木天线和对数周期天线的基本理论公式计算,同时通过设计经验对参数进行调整优化,可以得到初步确定的尺寸为: LS = 50mm, WS = 37.2mm, Lg = 5mm, g = 4mm, g0 = 2mm, g1 = 2mm, d0 = 8mm, d1 = 3mm, d2 = 2mm, d3 = 3.5mm, d4 = 3.3mm, w0 = 3mm, w1 = 3mm, w2 = 2.4mm, w3 = 1.9mm, l1 = 9.8mm, l2 = 7.6mm, l3 = 5.8mm, l4 = 11.1mm, l5 = 14.2mm, l6 = 17.1mm, b1 = 13mm, b2 = 12mm, k1 = 2mm, k2 = 1.8mm,以上参数与模型尺寸对应关系在图 2 中已标出。介质板选择为 Rogers 5880,介电常数为 2.2,损耗角正切为 0.0009,介质板的厚度设定为 1mm。

图 2-a 为状态 1 下天线模型的底部平面图(中心频率为 3.5GHz) 。该状态下天线的整体结构形式是端射印刷八木天线,结构底面图中起到引向作用的部分在图 2-a 中被蓝色框线勾选示意。当天线工作在高频状态 2(中心频率为 4.9GHz) 时,天线的整体结构为端射印刷对数周期天线,此时状态下天线模型的底部平面图如图 2-b 所示。对数周期天线的结构一方面可以改善阻抗带宽,另一方面也可以增加辐射器相对面积,一定程度上改善天线增益。



(a)



(b)

图 2　天线在两种工作状态下工作的结构底部平面图(a) 当天线结构为状态 1 下时,(b) 当天线结构为状态 2 下时

Fig. 2 bottom plan of antenna working in two working states (a) when antenna works in state-1, (b) when antenna works in state-2

图 3 是改进前天线的 3D 模型图,将图 1 与图 3 进行对比,可以看到最终的模型在图三中进一步增加了 4 个开关和与其相连接的矩形金属枝节,原因是当图 3 中的模型处于低频工作状态时,为了兼顾高频状态对数周期天线的辐射器长度要求,低频八木天线的前两级引向器相比最佳尺寸过短,一方面影响了低频状态时天线的增益,另一方面导致在低频工作状态时,由于耦合作用,使天线在高频4.9 GHz 处仍有一定的辐射与接收的能力,为了使这种可重构天线在两种状态下尽可能独立工作,减小后续滤波环节的设计要求,因此通过开关改变了部分引向器长度。

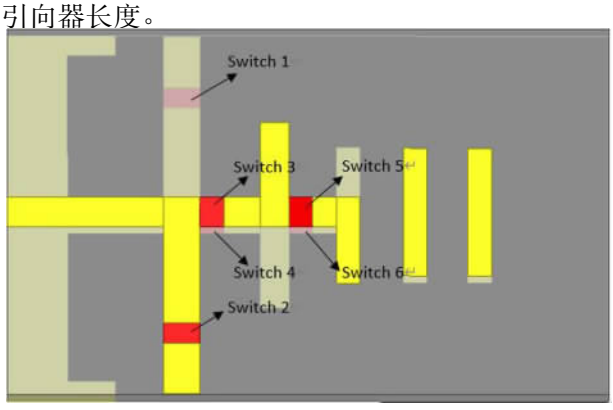


图 3　改进前天线的 3D 模型

Fig. 3 3D model of antenna before improvement

2 天线仿真结果与分析

通过进一步调整对数周期天线阵子臂间距、矩形枝节长度、地板与辐射器的距离等一系列参数，优化天线的相关数据和性能，最终经过在电磁仿真软件中验证，可以表明该可重构天线在两种工作状态下均有良好的辐射特性。状态 1 与状态 2 下天线 S_{11} 仿真结果如图 4 所示。当天线工作在状态 1 和状态 2 时，中心频率(3.5GHz 和 4.9GHz) 处的 S_{11} 值分别为−26.78dB 和−35.17dB，S_{11} 值在−10dB 以下的相对阻抗带宽分别为 22%和 23%。

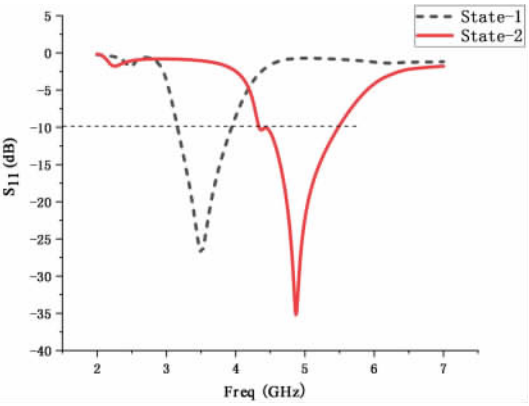


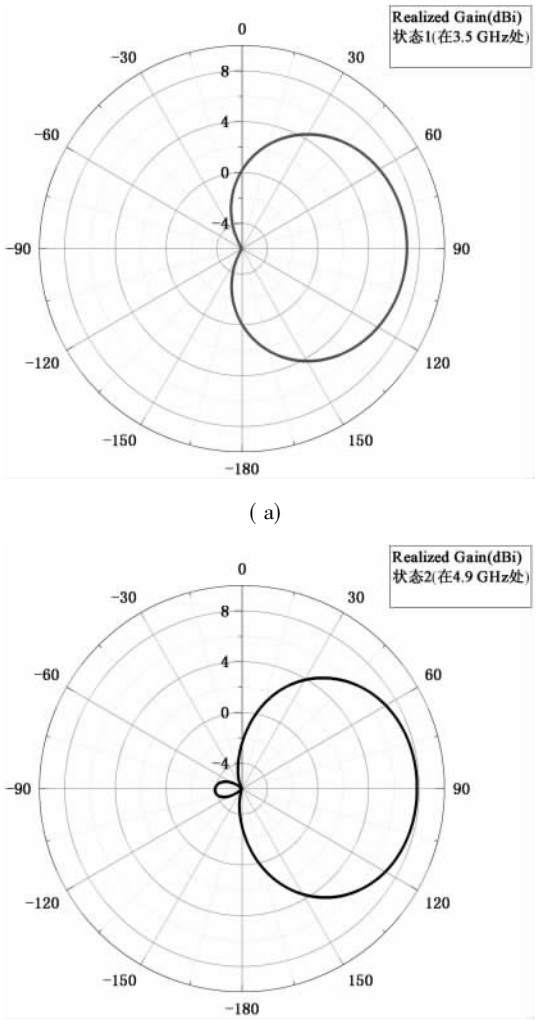
图 4 天线在两种工作状态下对应的 S_{11} 仿真结果

Fig.4 Simulation results of S11 antenna in two states

天线辐射方向图仿真结果如图 5 所示，表明该天线具有明显的端射特性。天线工作在中心频率谐振点 3.5GHz 或 4.9GHz 时，辐射方向图正前方的最大增益分别为 7.02dBi 和 7.82dBi。图 6-a 为文章中的可重构天线在状态 1 下时的 4.9GHz 处的方向图，图 6-b 为文章中的可重构天线在状态 2 下时的 3.5GHz 处的方向图，从图 6 可以看出，当天线工作在两种状态的其中一个谐振点时，另一个谐振点处的天线方向图在一定程度上已经变差，提高了天线可以在单个频段单独工作的特性要求，减小了滤波要求。

3 结论

文章介绍了一种结构新颖的应用于 5G-FR1 频段的频率可重构天线。印刷八木天线与印刷对数周期天线相结合结构新颖，可以改善天线的阻抗带宽和增益，充分利用了辐射器的空间，采用带枝节的地板进一步减小了天线尺寸。此外通过开关加载金属



(a)

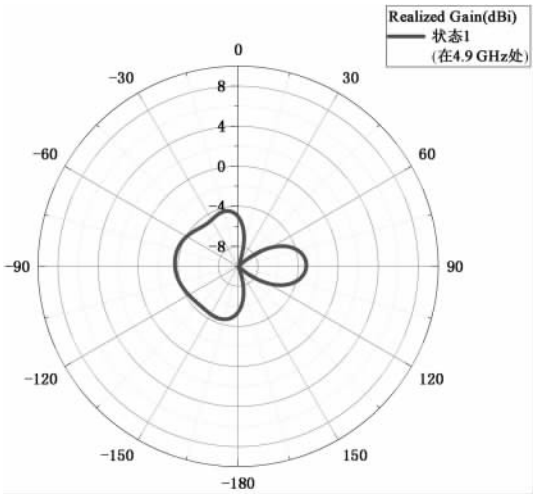
(b)

图 5 3.5GHz 和 4.9GHz 处天线的辐射方向图(a) 状态 1 下，天线工作在 3.5GHz 处，(b) 状态 2 下，天线工作在4.9GHz 处

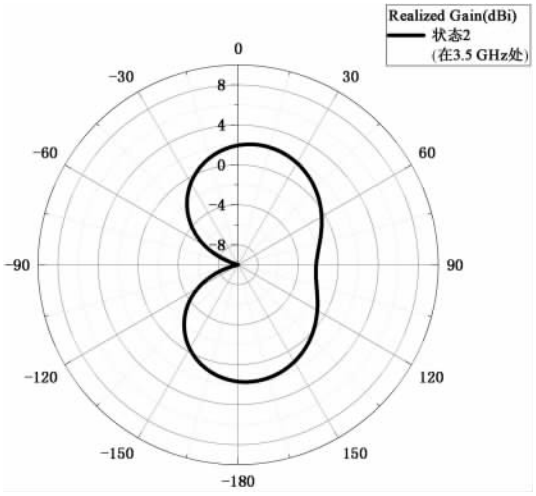
Fig. 5 Radiation Pattern of the Antenna at 3.5 GHz and 4.9 GHz (a) In state-1, the antenna operates at 3.5GHz, (b) In state-2, the antenna operates at 4.9GHz

贴片有效地减小了两种状态下的相互影响。通过电磁仿真结果表明，当天线工作在 3.5GHz 或 4.9GHz 时，S_{11} < − 10db 的相对阻抗带宽分别达到 22% 和 23%，中心频率谐振点处的最大增益分别达到7.02 dBi 和 7.82dBi。本文提出的频率可重构天线具有易于集成、小型化，在可重构中的两个状态中其中一个频段下相对独立工作的特点，是 5G 无线通信设备中天线设计的一种新思路。

参考文献:



(a)



(b)

图 6 3.5GHz 和 4.9GHz 处天线的辐射方向图(a) 状态 1 下,在 4.9GHz 处,(b) 状态 2 下,在 3.5GHz 处

Fig.6 Radiation Pattern of the Antenna at 3.5 GHz and 4.9 GHz (a) In state-1, the antenna operates at 4.9GHz, (b) In state-2, the antenna operates at 3.5GHz

[1]S. M. Mahmood and T. A.Denidni, "Reconfigurable antenna using novel active frequency selective surface," 2014 IEEE Antennas and Propagation Society International Symposium (APSURSI) , Memphis, TN, 2014, pp. 1236-1237.

[2]Cai, Y. , Guo, Y. J. , &Weily, A. R. . (2010) . A frequency-reconfigurable quasi-yagi dipole antenna. IEEE Antennas & Wireless Propagation Letters, 9, 883-886.

[3]Qin, P. Y. ,Weily, A. R. , Guo, Y. J. , & Liang, C. H. . (2010) . A reconfigurable quasi-Yagi folded dipole antenna. IEEE Antennas & Propagation Society International Symposium. IEEE.

[4]Yang Y , Cai Y , Chan K Y , et al. MEMS-loadedmillimeter wave frequency reconfigurable quasi-Yagi dipole antenna [C]// Microwave Conference. IEEE, 2011.

[5]Li, T. ,Zhai, H. , Wang, X. , Li, L. , & Liang, C. . (2015) . Frequency - reconfigurable bow - tie antenna for bluetooth, wimax, and wlan applications. IEEE Antennas & Wireless Propagation Letters, 14, 171-174.

[6]帅亮, 丰励, 杨辉,等. 方向图可重构印刷小型天线的设计与实现[J]. 华侨大学学报(自然科学版) , 2019, 40 (6) : 806-811.

[7]尚子仲, 冯甘霖, 何冠平,等. 基于超表面的极化可重构缝隙天线[C]// 2019 年全国天线年会. 0.

[8]张祖存 吴素云. 一种 X 和 Ka 波段频率可重构 Koch 分形振子天线研究[J]. 微波学报, 2013, 29(3) : 10-13.

[9]Cai, Y. , Guo, Y. J. , & Bird, T. S. . (2012) . A frequency reconfigurable printedyagi-uda dipole antenna for cognitive radio applications. IEEE Transactions on Antennas & Propagation, 60(6) , 2905-2912.

[10]Hmouda, Abdurahman A. , and T. A. Denidni . " Frequency-Reconfigurable Quasi-Yagi Antenna." 2018 IEEE International Symposium on Antennas and Propagation & USNC/URSI National Radio Science Meeting IEEE, 2018.

[11]商锋, 杨立博, 董闯. 一种频率可重构缝隙天线的设计[J]. 西安邮电大学学报, 2018, 023(006) : P.63-67.

[12]Li, X. R. , Ye, M. , & Chu, Q. X. . (2016) . Novel high gain printed log-periodic dipole antenna.IEEE International Symposium on Antennas & Propagation. IEEE.

[13]Wu, J. , Zhao, Z. ,Nie, Z. , & Liu, Q. H. . (2014) . Bandwidth enhancement of a planar printed quasi-yagi antenna with size reduction. IEEE Transactions on Antennas & Propagation, 62(1) , 463-467.