

文章编号: 2096-1618(2019)05-0470-05

弧形宽带印刷偶极子 5G 天线的设计

李 蒙, 陈启兴

(成都信息工程大学通信工程学院, 四川 成都 610225)

摘要:提出了一种适用于第五代(5G)无线通信的宽带印刷偶极子天线辐射单元以及由该辐射单元组成的八单元阵列天线。该天线单元由折叠成“J”形的微带线与“Y”形缝隙槽组成巴伦馈电,采用地板开槽、曲流等技术,减小天线尺寸的同时降低微带天线 Q 值,从而增加天线的带宽。偶极子设计成倾斜 15°的圆弧形,以获得更加稳定的辐射特性。用 Ansoft HFSS15 电磁仿真软件对天线进行仿真,结果显示,单元天线的相对阻抗带宽为21.46% (27.33 ~ 33.90 GHz),增益为5.03 ~ 5.74 dBi。阵列天线的相对阻抗带宽为38.6% (24.5 ~ 36.2 GHz),最大增益为13.75 dBi,各性能均满足 5G 毫米波段天线设计要求,在同一类文献中,该天线结构简单、辐射参数稳定,可用于 5G 移动通信系统和该频段其他无线通信系统中,具有较高的工程实用价值。

关 键 词:弧形;印刷偶极子;巴伦馈电;阵列天线;5G 通信

中图分类号:TN821+.1 **文献标志码:**A

doi:10.16836/j.cnki.jcuit.2019.05.005

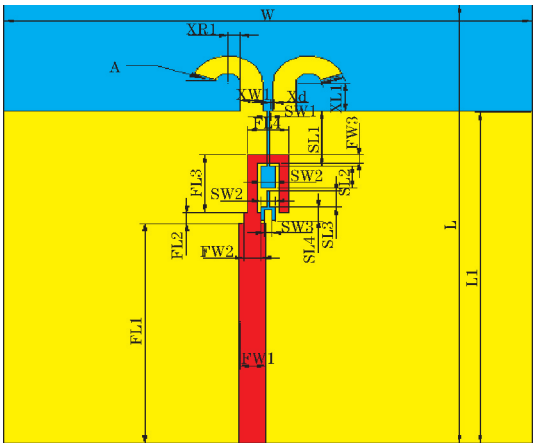
0 引言

移动行业快速发展,从 1G 到 4G 已经广泛用于商业用途^[1],第五代无线系统(5G)已经开始在市场上部署^[2-3]。5G 技术将提供用户从未体验过的更高的传输速率^[4]。与此同时,5G 技术面临许多挑战,例如小型化、高传输速率等^[5-6]。对于无线通信设备的小型化,需要尽可能减小天线尺寸^[7-8]。在满足天线参数的同时减小天线尺寸是一个艰巨的任务^[9-10]。在工程中减小天线尺寸的方法有:改变介电常数、加载技术(加载短路面、加载短路销钉、加载片),曲流技术,采用 PIF、PIL 结构等^[11-13]。最近,爱德客等提出了应用于 C 波段和 X 波段的蝴蝶结形状偶极子天线^[1],该天线虽有较宽的频带宽度,但结构过于复杂,且工作频率较低,不满足 5G 天线工作频段。文中设计了一种弧形宽带印刷偶极子天线,利用巴伦馈电和曲流技术在地板上开槽,增加频带宽度。在此单元结构上,设计了 8 单元的天线阵列,该阵列天线相对于同类研究论文,具有结构简单,并且在 24 ~ 40 GHz 可以产生较宽的工作频带和较高的增益。

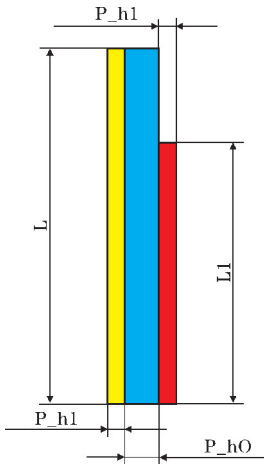
1 单元天线

图 1 显示了印刷在厚度为 0.17 mm 的基板上的偶极天线。基底材料是 Rogers RT/Duroid™ 5880 ($P_{h0}=0.17\text{ mm}$, $\epsilon_r=2.2$, $\tan\delta=0.0009$)。天线由两个相同的弧形臂组成,如图 1 所示(蓝色区域以 Rogers RT / Duroid™ 5880 为材料的基板,黄色区域为偶极子和接

地平面,红色区域为位于顶层的馈线),偶极子弧度 $A=15^\circ$,天线的参数见表 1。



(a) 偶极子天线的俯视图

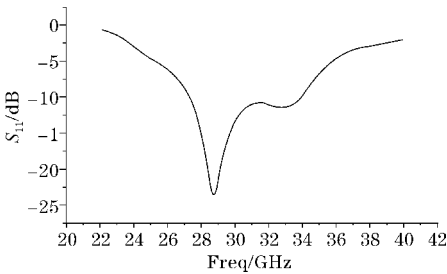


(b) 偶极子天线的左视图

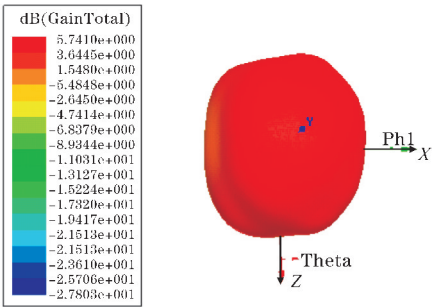
图 1 印刷偶极子天线的几何形状

表 1 天线参数表

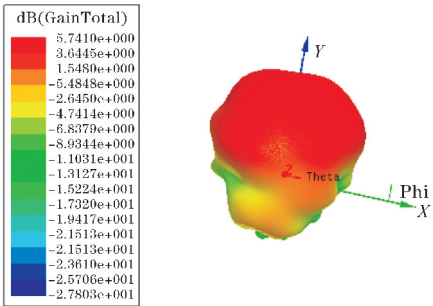
变量	长度	变量	长度	变量	长度	变量	长度	变量	长度
FL1	8	FW2	0.5	SL1	2.8	XW1	0.65	Xd	0.15
FL2	0.4	FW3	0.3	SL2	0.8	W	15	XL1	1
FL3	1.8	SW1	0.1	SL3	0.1	L	16	XR1	0.3
FL4	1.3	SW2	0.4	SL4	0.5	P_h0	0.17		
FW1	0.75	SW3	0.4	L1	12.1	P_h1	0.035		



(a) 天线回波损耗 S 曲线图

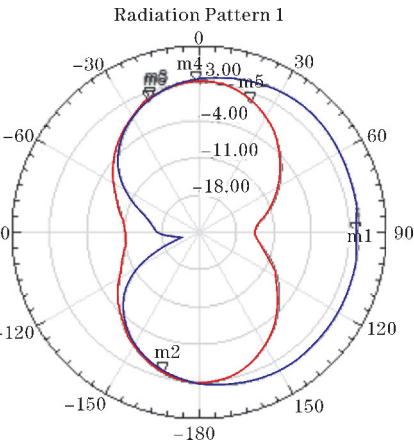


(b) 天线增益俯视图



(c) 天线增益左视图

Name	Theta	Theta	Mag
m1	90.0000	90.0000	4.8427
m2	-166.0000	-166.0000	1.8802
m3	-19.0000	-19.0000	1.9426
m4	0.0000	0.0000	3.5434
m5	22.0000	22.0000	1.4831
m6	-20.0000	-20.0000	1.5386



(d) 天线在 32 GHz 上的方向图

图 2 单个元素的仿真结果

天线由 $50\ \Omega$ 微带线馈电。馈线位于顶部基板上,偶极子和接地平面位于底层^[1]。根据曲流技术,将底板留有缝隙,使电路通过弯曲的微带表面增加天线的有效长度,使谐振频率点增加。当多个谐振频率点接近时,可以产生相对较宽的频带。并且底层留有缝隙,可以实现与顶层馈电结构更好的电磁耦合,达到提高天线增益的效果。天线的工作频率范围主要由弧形结构决定,增益由底部槽和弧形结构的组合决定。通过 HFSS 对天线进行仿真, S_{11} 曲线和方向图如图 2 所示。

如图 2(a) 所示,仿真的相对阻抗带宽 $S_{11} < -10\ \text{dB}$ 为 21.46% (27.33 ~ 33.90 GHz)。在 28.8 GHz 时回波损耗为 -24.7 dB。此外,在此频率区间内,天线产生小的增益变化,为 4.5 ~ 5.74 dBi。图 2(b)、(c) 显示天线在 36 GHz 时最大增益为 5.74 dBi。图 2(c) 显示,在 32 GHz 频点上天线 E 面和 H 面半功率波束宽度分别为 44° 和 213° 。

2 阵列天线

2.1 单元天线之间的互耦

基于上面设计的单元天线,设计了一种 8 单元线性阵列天线,用以实现较宽的带宽和较高的增益。天线阵列的尺寸为 $65\ \text{mm} \times 35\ \text{mm} \times 0.235\ \text{mm}$ 。在设计天线阵列时,阵元之间的相耦效应不可避免,而且天线的方向图不仅决定于天线阵元的个数,还取决于阵元之间的间距、阵元馈电幅度和相位。等间距放置单元,通过参数优化,中心间距为 5.5 mm (在 24 ~ 40 GHz 处为 $0.44\ \lambda \sim 0.73\ \lambda$),阵列天线结构如图 3 所示。

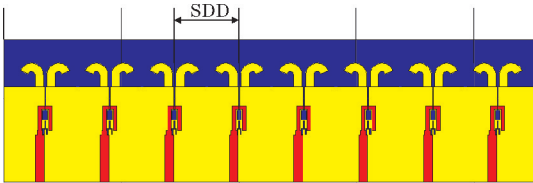
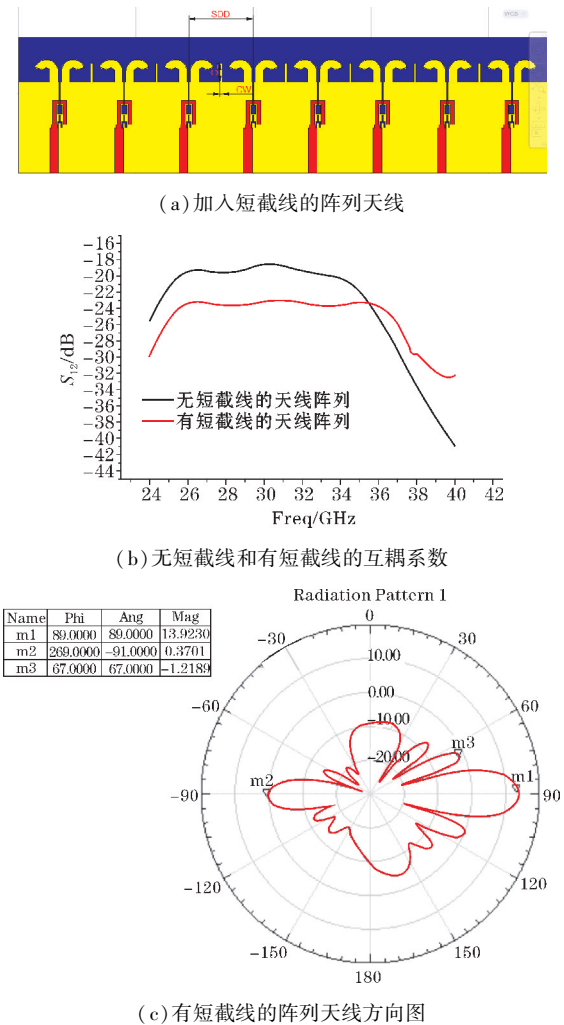
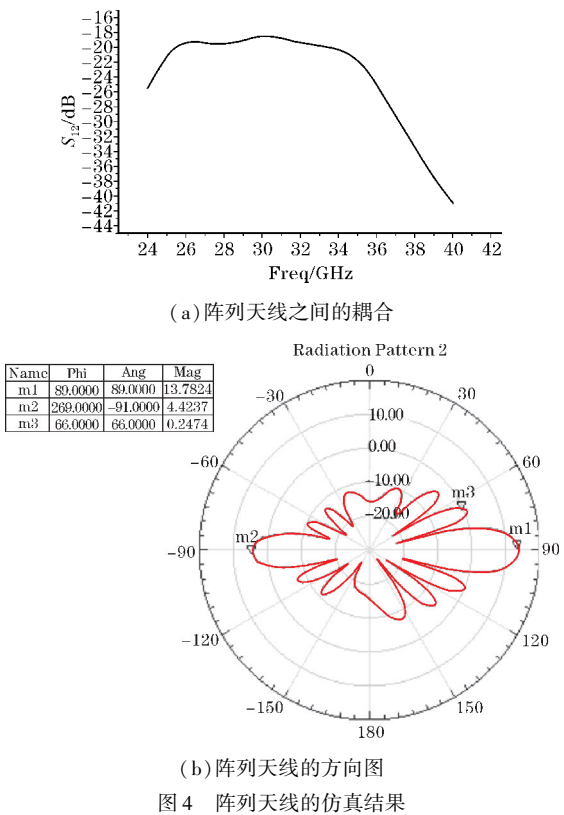


图 3 阵列天线形状



由图 4(a)可知,在 24 ~ 40 GHz 时,阵列天线相邻两个阵元(端口 1 和端口 2)之间的隔离度小于 -18 dB。为了实现低互耦,在两个印刷偶极天线之间插入了一条微带短截线,短截线的功能类似于射频扼流圈,根据微带滤波器理论设计^[14]。阵列由具有相同相位的 8 个端口馈送。阵列由短截线长度为 $CL = 1.7\text{ mm}$,宽度为 $W = 0.2\text{ mm}$,如图 5 所示。

由图 5(b)可知,在 24 ~ 40 GHz,阵列天线相邻两个阵元(端口 1 和端口 2)之间的互耦小于 -23 dB,前后比为 14 dB,副瓣电平为 15 dB。由于较低的相互耦合相邻元素,具有短截线的阵列相比于没有短截线的天线阵列,具有更高的增益和更低的旁瓣电平(SLL)。

3.2 阵列天线的馈电网络

阵列天线的实现离不开馈电网络的设计,采用一分八馈电网络,在水平和垂直微带线的交叉处做切角处理,用于补偿微带线传输电磁波的不连续性^[14],馈电网络如图 6 所示,网络中的优化参数见表 2。

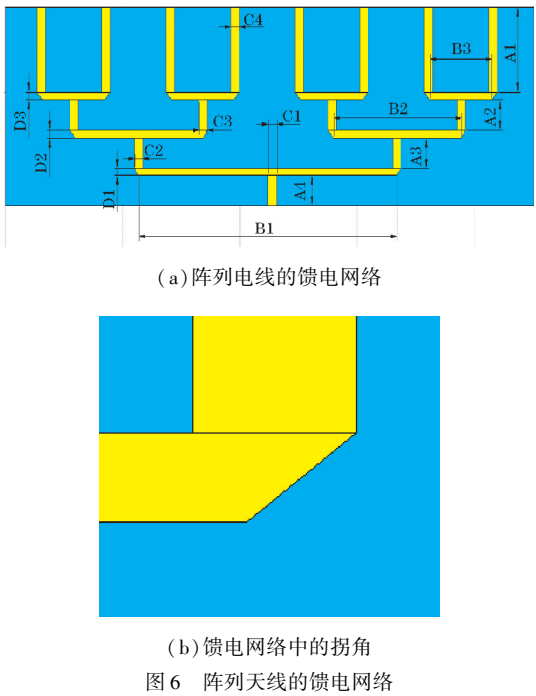
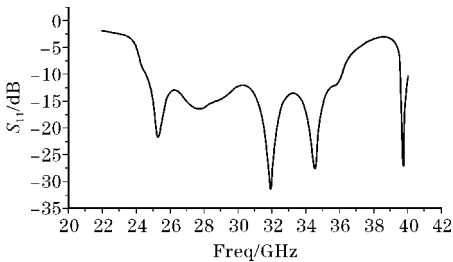
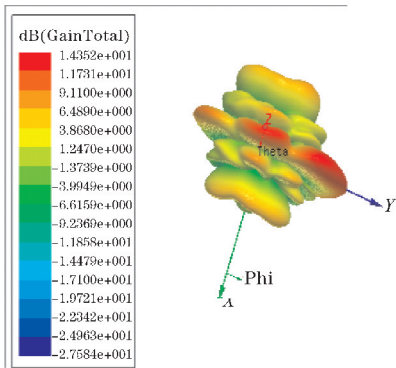


表 2 优化参数				mm
变量	长度	变量	长度	
A1	6.95	C2	0.7	
A3	1.6	C4	0.75	
B1	22.7	D1	0.34	
B2	11.7	D2	0.45	
B3	5.5	D3	0.4	
C1	0.8			

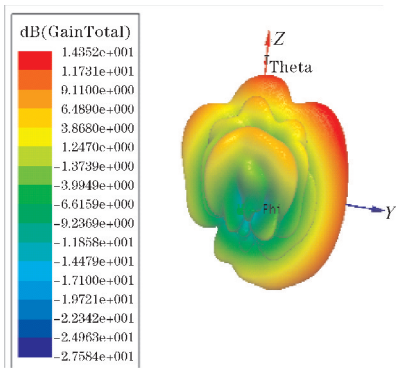
根据设计的阵列天线,得到阻抗带宽 $S_{11} < -10$ dB (24.5 ~ 36.2 GHz) 相对阻抗带宽为 38.6%, 在 38 GHz 时,增益最大为 13.75 dBi。图 7(c) 所示天线 E 面和 H 面的半功率波束宽度分别为 14° 和 141° 。



(a) 有短截线的天线阵列的回波损耗 S_{11}

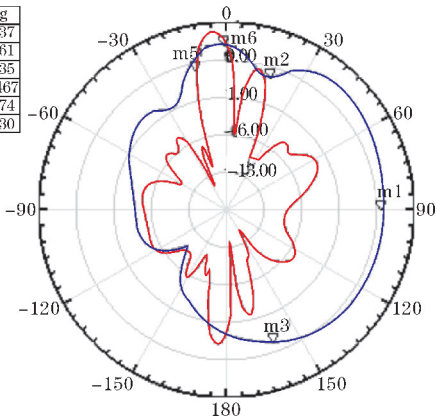


(b) 有短截线的阵列天线增益俯视图



(c) 有短截线的阵列天线增益左视图

Name	Theta	Ang	Mag
m1	90.0000	90.0000	9.3637
m2	19.0000	19.0000	6.2861
m3	160.0000	160.0000	6.3135
m4	0.0000	0.0000	10.9467
m5	-12.0000	-12.0000	6.7374
m6	2.0000	2.0000	7.7930



(d) 阵列天线的方向图

图 7 32 GHz 时有短截线阵列天线的方向图

3 结束语

提出了一种适用于 5G 移动通信的宽带印刷偶极子天线,具有结构简单紧凑,电路参数和辐射参数稳定,辐射效率高等优点。仿真结果显示,单元天线产生的相对阻抗带宽为 21.46% (27.33 ~ 33.90 GHz),增益为 5.03 ~ 5.74 dBi。同时还采用这种弧形宽带印刷偶极子 5G 天线为单元天线,设计了 8 单元线性天线阵列,并在相邻单元之间插入短截线以减少阵元之间的互耦对阵列天线性能的影响。仿真结果显示,该阵列天线得到阻抗带宽 $S_{11} < -10$ dB (24.5 ~ 36.2 GHz) 相对阻抗带宽为 38.6%, 在 38 GHz 时,增益最大为 13.75 dBi。具有更宽的工作频带和更高的增益。

参考文献:

[1] Ta S X, Choo H, Park I. Broadband Printed-Dipole Antenna and Its Arrays for 5G Applications[J]. IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters, 2017(99):1-1.

[2] A. Aryaputra, N. Bhuvaneshwari, Arefi R, et al. 5G-The Future of Mobile Network[J]. World Congress on Engineering, 2011, 5(2):90-96.

[3] Li X, Gani A, Salleh R, et al. The Future of Mobile Wireless Communication Networks[J]. Communication Software and Networks, IEEE, 2009, 4(2):34-35.

[4] Li, Xichun, O. Zaharial,. The Future of Mobile Wireless Communication Network[J]. Microwave & Telecommunication Technology. IEEE, 2009, 2(8):107-112.

[5] El-Hameed A S A, Barakat A, Abdel-Rahman A B, et al. Broadband printed-dipole antenna for future 5G applications and wireless communication[J]. Antennas and Wireless Propagation Letters, IEEE, 2017, 23(2):106-108.

[6] Hall P S, Vetterlein S J. Review of radio frequency beamforming techniques for scanned and multiple beam antennas[J]. Proceedings H-Microwaves, Antennas and Propagation, IEEE, 1990, 137(5):239.

[7] Parker D, Zimmermann D C. Phased arrays-part 1: theory and architectures[J]. Microwave Theory & Techniques Transactions on, IEEE, 2002, 50(3):678-687.

- [8] Parker D, Zimmermann D C. Phased arrays-part II: implementations, applications, and future trends [J]. Transactions on Microwave Theory and Techniques, IEEE, 2002, 50(3): 688–698.
- [9] Chen X P, Wu K, Han L, et al. Low-Cost High Gain Planar Antenna Array for 60-GHz Band Applications [J]. Transactions on Antennas and Propagation, IEEE, 2010, 58(6): 2126–2129.
- [10] Biglarbegian B, Fakharzadeh M, Busuioc D, et al. Optimized Microstrip Antenna Arrays for Emerging Millimeter-Wave Wireless Applications [J]. Transactions on Antennas and Propagation, IEEE, 2011, 59(5): 1742–1747.
- [11] Lee H. A Pair Dipole Antenna with Double Tapered Microstrip Balun for Wireless Communications [J]. Journal of Electrical Engineering & Technology, 2015, 40(4): 1081–1085.
- [12] Zheng G, Kishk A A, Glisson A W, et al. Simplified feed for modified printed Yagi antenna [J]. Electronics Letters, 2004, 40(8): 464.
- [13] Zheng G, Kishk A A, Yakovlev A B, et al. A broad band printed bow-tie antenna with a simplified feed [J]. Antennas & Propagation Society International Symposium. IEEE, 2004, 5(6): 23–24.
- [14] Lim S, Choi W C, Yoon Y J. Miniaturized Radio Frequency Choke Using Modified Stubs for High Isolation in MIMO Systems [J]. Journal of Electromagnetic Engineering & Science, 2015, 57(6): 219–223.
- [15] 任盛海, 吴志忠. 遗传算法在阵列天线方向图综合设计中的应用 [J]. 电波科学学报, 1996(4): 62–67.

Design of Arc-broadband Printed Dipole 5G Antenna

LI Meng, CHEN Qixing

(College of Communication Engineering, Chengdu University of Information Technology, Chengdu 610225, China)

Abstract: This paper proposes a broadband printed dipole antenna radiating element suitable for fifth-generation (5G) millimeter-wave wireless communication and an eight-element array antenna composed of the radiating element. The antenna unit is composed of a micro-belt line folded into a "J" shape and a "Y"-shaped slot groove to form a balun feed, and adopts technologies such as floor slotting and meandering to reduce the size of the antenna and reduce the Q value of the microstrip antenna. Thereby increasing the bandwidth of the antenna. Thereby increasing the bandwidth of the antenna. The dipole is designed to be inclined by 15° to obtain more stable radiation characteristics. The antenna was simulated with Ansoft HFSS15 electromagnetic simulation software. The result is displayed, The relative impedance bandwidth of the unit antenna is 21.46% (27.33–33.90 GHz) and the gain is 5.03–5.74 dBi. The relative impedance bandwidth of the array antenna is 38.6% (24.5–36.2 GHz) and the maximum gain is 13.75 dBi. Each performance satisfies the 5G millimeter-wave band antenna design requirements. In the same kind of literature, the antenna has simple structure and stable radiation parameters, and can be used in 5G millimeter-wave mobile communication systems and other wireless communication systems in the frequency band, so it has comparatively high engineering practical value.

Keywords: arc; printed dipole; Balun feed; array antenna; 5G communication