

轻量化头盔共形天线及纺织柔性化研究进展

刘思浩 胡吉永 杨旭东
东华大学 纺织学院, 上海 201620

摘要:随着无线通信技术的快速发展,不同领域对无线通信的要求日益提高。可穿戴天线因其小型化、柔性化和利于携带等特点,成为研究的重点。其中,头盔天线作为可穿戴天线的主要组成部分,对于需要佩戴头盔的特种人群尤为重要。综述国内外头盔天线的研究进展,对目前主流的头盔天线形式进行分类探讨,并结合当下热门的可穿戴纺织柔性电子技术,总结头盔天线结构、集成、柔性化和发展方向,着重讨论头盔天线的性能现状及影响因素,分析头盔天线的现有问题,并展望头盔天线的纺织柔性化等未来发展方向。

关键词: 头盔天线; 头盔天线结构; 螺旋天线; 共形阵列天线; 研究进展

中图分类号: TN 828

文献标志码: A

文章编号: 1004-7093(2024)11-0009-09

Research progress of lightweight helmet conformal antennas and textile flexibility

Liu Sihao, Hu Jiyong, Yang Xudong

College of Textiles, Donghua University, Shanghai 201620, China

Abstract: With the rapid development of wireless communication technology, the requirements for wireless communication in different fields are increasing. Wearable antennas have become the focus of research because of their miniaturization, flexibility and portable-friendly features. Among them, helmet antenna, as a general component of wearable antennas, is of great significance especially for the special people who needs to wear helmets. The current mainstream helmet antenna forms were classified and discussed by summarizing the research progress of helmet antennas at home and abroad. And combined with the current popular wearable textile flexible electronic technology, the helmet antenna structure, integration, flexibility and development direction were summarized, and the performance status of helmet antennas and its influencing factors were mainly discussed, the existing problems of helmet antennas were analyzed and the future development direction such as the textile flexibility of helmet antennas was looked forward to.

Keywords: helmet antenna; helmet antenna structure; spiral antenna; conformal array antenna; research progress

基金项目: 上海市自然科学基金(22ZR1400800)

收稿日期: 2024-07-08

作者简介: 刘思浩, 男, 2000 年出生, 在读硕士研究生, 主要研究方向为可穿戴天线, 1030521509@qq.com

通信作者: 胡吉永, 教授, 研究方向为智能纺织品, hujy@dhu.edu.cn

无线通信技术的高速发展使得人类与外部实体间的信息传输更加稳定、高效,这极大地降低了复杂情形带来的负面影响。例如,为适应突发、随机且多变的工作情况,确保实时数据监测的精确性,军事和医疗等领域对可穿戴通信技术提出了更高的要求。具体而言,个体装备需兼具微型化、集成化、轻量化的特点,并实现可穿戴,以此减轻负担,解放双手,提升作战与工作的灵活性。因此,设计符合需求的可穿戴天线尤为重要^[1-3]。

如今,人体佩戴可穿戴天线已成为实现无线信号传输的主流解决方案。常见的天线类型包括鞭状天线、背心式天线及头盔天线等。其中,鞭状天线易受环境影响,且体积过大。以织物为基底的背心式天线需考虑与服装的集成性,以及穿着后人体的舒适性。此外,背心式天线结构与形状易受人体姿态变化影响,这将严重影响其辐射效果,且安全性难以保障^[4-8]。轻量化头盔共形天线的研究状况见图1。Wang等^[9]于1997年报道了首例智能宽带头盔天线方案,指出将可穿戴天线集成到刚性头盔上,是构建宽带、高效、高增益及全向辐射通信系统的主要解决方案。李建等^[2]综述了国内外头盔天线在控制辐射方向、扩展带宽、提高增益、抑制比吸收率(specific absorption rate, SAR)等方面的研究进展,但目前有关影响轻量化头盔共形天线性能的结构因素、实际工作环境条件及螺旋天线在其中的应用等,仍缺乏全面系统的总结。本文旨在回顾近年头盔天线的研究进展,展望其未来发展方向。

1 头盔天线的分类、制备与集成

1.1 头盔天线的分类

头盔天线,按带宽可分为宽带头盔天线和窄带头盔天线等,按天线形态可分为头盔贴片天线、头盔螺旋天线等,按天线单体数量可分为单体头盔天线和阵列头盔天线等。图2列举了典型头盔天线的加载方式。本文按照与头盔结合的常见天线类型,将头盔天线分为单/偶极子天线、微带天线、螺旋天线等。

1.2 典型头盔天线的结构与制备

1.2.1 单/偶极子天线

平面单极子天线及其变形,以结构简单、成本低、频带宽,以及具有全向辐射的方向图等为特

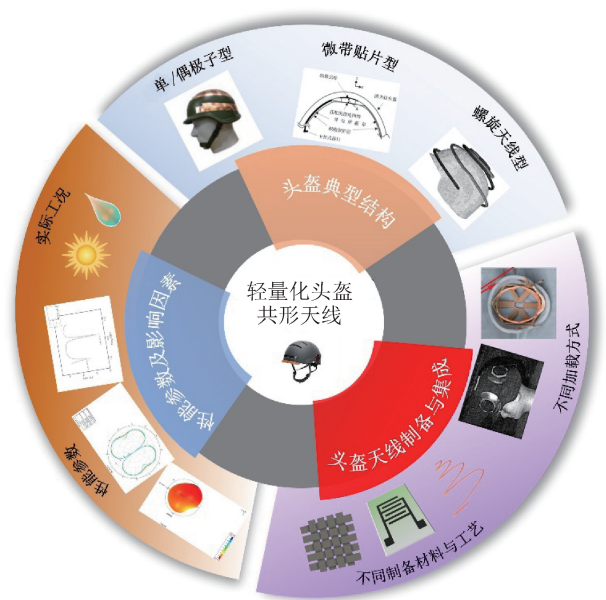


图1 轻量化头盔共形天线研究状况
Fig. 1 Research on conformal antennas for lightweight helmets



图2 典型头盔天线的加载方式
Fig. 2 Loading modes of typical helmet antennas

点^[10-11],在头盔天线宽带应用领域具有广阔的应用前景。圆极化(circular polarization, CP)天线具有低多径干扰、高系统灵敏度和极化匹配等优点,已广泛应用于全球定位系统及无线局域网、物联网等现代无线通信系统中。偶极子天线也因其结构简单和圆极化辐射机制而备受关注^[12]。Nguyen-Trong等^[13]设计了一种新型的低轮廓宽带单极子天线,并展示了其在头盔上的应用。该天线由1个正方形的单

面铜基片组成,距地面的高度为 h ,边缘辅以 4 根短路铜棒,使基片产生磁电流环辐射,并支撑基片。该天线在基片中心采用同轴连接器进行垂直馈电,整体集成于头盔的弯曲接地面,同时对材料部分进行了优化。研究显示,弯曲接地面改善了天线侧面的辐射特性,并进一步降低了天线高度。Shin 等^[14]设计了一种安装在作战头盔表面的多模通信 4 频天线。该天线结合了印刷折叠单极天线和反向 L 寄生元件,可补偿宽带匹配的阻抗,并可安装在头盔上。Matsubayashi 等^[15]采用特征模态分析方法,利用双半球形导体外壳[图 3a)],设计了一种头盔天线,其双半球壳最低模态的电流分布如图 3b) 所示。这种结构促成了折叠偶极头盔天线的诞生。

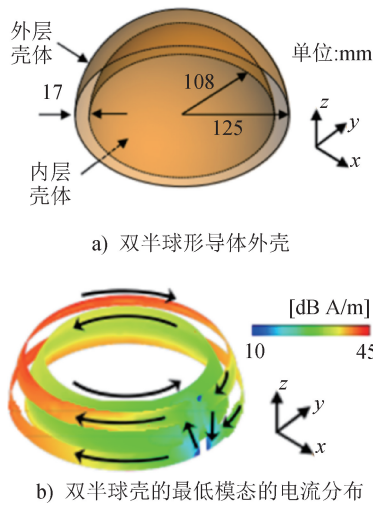


图 3 头盔天线的一种结构与设计

Fig. 3 A structure and design of helmet antennas

1.2.2 微带天线

微带天线具有尺寸小、剖面低、成本低和工艺简单等优点,可方便地实现线极化或圆极化以及双频工作,被广泛应用于通信、广播和航空航天等领域,是天线的专门分支^[16]。微带贴片天线作为微带天线的基础形式,由介质基板、接地板、导体贴片或微带线等组成。这种天线通常用微带线或同轴线馈电,在导体贴片与接地板之间激励起射频电磁场,并通过贴片四周与接地板之间的缝隙向外辐射。微带贴片天线的基板厚度远小于波长,实现了天线的一维小型化。

头盔天线作为可穿戴天线的分支,其基本设计要求与可穿戴天线相同,均采用导电织物作为与人

体形态相适应的辐射元件,以确保天线轻便且不妨碍穿戴者活动。而微带贴片天线的设计还需兼顾导电织物的耐用性、柔韧性,以便与服饰等集成。其中,导电织物需具有低且稳定的电阻(方阻应低于 1Ω),以尽量减少损耗。表 1 列举了常见导电织物的材料、结合方式及代表性样品。在实际设计中,柔韧且轻质的铜线和铜片常用作导电织物的替代品。但用于可穿戴天线设计的铜片厚度必须适中,以适应人体外形。

表 1 常见导电织物的材料、结合方式及代表性样品^[17]

Tab. 1 Materials, binding methods and representative samples of common conductive fabrics^[17]

导电材料	结合方式	代表性样品
不锈钢、银、铜	缝纫、编织	镀银织物、铜箔等
碳材料	浸涂、编织	石墨烯涂层织物等
导电高聚物	浸涂、沉积、聚合	聚吡咯涂层织物等
复合导电材料	浸涂、沉积、编织	沉积聚吡咯的碳纳米管涂覆的棉织物等

Lee 等^[18]提出了一种用于智能头盔的双频紧凑型贴片 Wi-Fi 天线。该天线由 2 个负磁导率传输线(M μ -negative transmission line, MNG-TL)环路组成,尺寸紧凑。外部的 MNG-TL 环为两侧带间隙的环设计,内部的 MNG-TL 环为前侧带间隙的环设计。馈电点位于内环间隙之间,并采用差动馈电。馈电间隙通过倒角实现。位于前侧的 2 个环由 2 条平行线连接。该天线的带宽包括 Wi-Fi 的 2.4 GHz 和 5 GHz 频段。

Wang 等^[19]报道了一种基于螺旋微带(spiral-mode microstrip, SMM)天线和慢波(slow-wave, SW)天线的宽带头盔天线,其中的 SMM 天线和 SW 天线都是具有多倍频程带宽的行波天线。此头盔天线的辐射性能远超地面现场应用的传统谐振鞭状天线,具体体现在带宽更宽、连接更稳定方面。

Ávila-Navarro 等^[20]提出了一种适用于 2.45 GHz 和 5.5 GHz 频段 Wi-Fi 802.11n 协议的双频紧凑型天线,其由 2 个印刷偶极子和弯曲的带状线组成。该天线采用弯曲带状线的馈电方案和偶极子臂位于介电基板两侧的布局,避免了外部移相器的使用和对器件的辐射,并减小了天线尺寸。

Herold 等^[21]提出了一种头盔天线解决方案,所得天线频段覆盖范围在 750 MHz ~ 2.7 GHz。他们

使用导电油墨印刷技术将遗传算法优化后的天线印刷到平整的单片印刷电路板表面,使天线和接地面处于基板同一侧的同一平面上,由与天线底部相连的印刷微带线馈电。该解决方案将天线集成到头盔或士兵头部使用的其他设备中,实现了天线元件与它们的共形,且设备质量的增加可忽略不计。这些技术虽然能减少或消除当前工艺中的一些潜在挑战,但仍不具备将天线改造到现役头盔中的能力。

1.2.3 螺旋天线

对于特定波长而言,天线长度越长,则天线在该波长下的性能越好,但在头盔周围的小区域内布置长天线较困难^[22]。而将天线以螺旋式集成到头盔中,是实现高性能头盔天线的一种理想方式,因为螺旋天线能在实现较大带宽的同时,缩小天线廓形,满足在头盔中集成天线的要求。Zhong 等^[23]设计了一种新型纺织螺旋天线,并对其进行了保形性和承重性测试。这种天线及其接地面采用新型铜丝漆包线绣制,几何精度达 0.1 mm。该螺旋天线在宽带、保形和承重等方面具有极大的潜力,且灵活度高,能够无缝且隐蔽地融入服装及其他共形表面,故成为头盔共形天线的首选之一。Adler 等^[22]设计了一款用尼龙外壳封装的双臂阿基米德螺旋天线,并安装在标准的美军用凯夫拉头盔上,如图 4 所示。其最佳的设计方案为半圆锥形非对称结构,由 2 个“堆叠”的阿基米德螺旋组成,头盔顶部和底部的节距不同。2 个螺旋臂以 180° 旋转配置,每个螺旋由直径 1 cm 的同轴电缆组成。其馈电端口位于天线顶部,并通过焊接实现一个螺旋的中心导体与另一个螺旋的外导体连接。Adler 及其团队还通过进一步修改天线和反射器,最大化有效全向辐射功率和最小化 SAR,并通过调整尼龙外壳材质及在头盔内表面添加电阻布衬里降低 SAR。尽管减小螺旋天线的节距可增加螺旋天线匝数、延长天线长度,进而在低频段改善电压驻波比(standing wave rate, SWR),但这也会加剧螺旋臂间的电磁耦合,导致工作频带内出现驻波比超标现象。为此,Adler 及其团队采用尼龙外壳包裹天线以减小电磁波的传播速度。

1.3 头盔共形天线与头盔的集成

1.3.1 单/偶极子头盔天线

Nguyen-Trong 等^[13]将低剖面单/偶极子天线改进为可集成到曲面(如头盔)的设计。其将由铜带

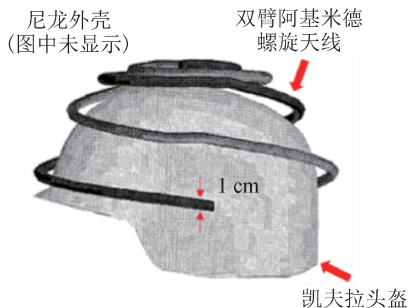


图 4 螺旋天线和头盔

Fig. 4 The spiral antenna and helmet

制成的接地面放入头盔内部(底层),以头盔材料为电介质,并进一步降低天线高度。为使接地面与头部之间有额外的间隔,在接地面下方增加了一层导体隔离层。该层可作为附加电子设备的平台。随后,对天线进行优化,天线总高度为 23 mm,其中头盔厚度为 7 mm。由于弧形地平面的锥度效应,该设计在不显著增大天线尺寸的情况下减小了天线高度,使天线高度小于平面构型的天线高度。

1.3.2 微带头盔天线

Wang 等^[19]报道的将宽带头盔天线安装在头盔内部的方法,进一步降低了外界环境如日晒雨淋及运动磕碰等给天线带来的不良影响。Herold 等^[21]认为,将导电油墨印刷的共形天线集成到头盔内部仍存在一些挑战。现代弹道头盔一般由浸渍了改性酚醛树脂的芳纶织物在高温高压下固化而成。天线的集成应在头盔成型后、外壳涂装前进行,以免天线受头盔制造过程中高温高压的影响,但这对天线-涂料的兼容性和天线的耐久性等提出了更高的要求。其中,耐久性最为重要。下一代防弹头盔可考虑使用混合纤维,并将电磁屏蔽、接地面或其他电气特性等直接纳入头盔设计中,简化油墨印刷天线与头盔系统的集成工艺。

1.3.3 螺旋头盔天线

Adler 等^[22]将螺旋天线嵌入头盔外表面 1.5 cm 厚的尼龙外壳中,实现了天线整体与头盔的良好相容。

1.3.4 阵列头盔天线

为兼顾头盔天线的高增益、低 SAR 和辐射全向性,阵列天线成为了首选方案。利用方向图合成技术时,需关注单元天线的选择以及受限头盔体积下的馈电方案设计^[2]。螺旋天线是圆极化应用中最

具前景的一种天线类型。对圆极化天线单元进行简单的常规组阵, 能实现阵列的圆极化辐射, 但阵列的性能受天线单元自身阻抗带宽、轴比带宽和波束宽度等的限制, 且阵列带宽特别是轴比带宽一般小于天线单元的带宽。因此, 采用常规布阵设计的宽带圆极化天线阵列一般不具备宽带优势。目前, 宽带圆极化天线阵列主要采用顺序旋转布阵方式, 即通过有序旋转天线阵元进行放置, 并对每个单元提供一定的递进相位, 实现阵列的圆极化辐射。顺序旋转阵列相较于常规排布阵列可行性更高, 前者不受天线单元极化形式的限制, 且能依靠阵元间的相对旋转降低互耦效应, 提高阵列的整体性能。此外, 相比线极化天线作为阵元, 圆极化天线作为阵元可以利用其在组阵过程中主极化叠加增强、交叉极化抵消降低的特性, 提高阵列的圆极化纯度, 增加轴比带宽^[24]。Wang 等^[9]为避免个体骨骼位置不同以及包括多径衰落和人为干扰在内的传播干扰, 设计了一种具有方向图分集的“智能”天线, 其原理如图 5 所示。5 个阵列元件均为 SMM 天线, 具有低剖面 and 宽频带特性。该阵列可在所有可能的人体姿态及不稳定且快速变化的传播环境下, 实现全向辐射覆盖。

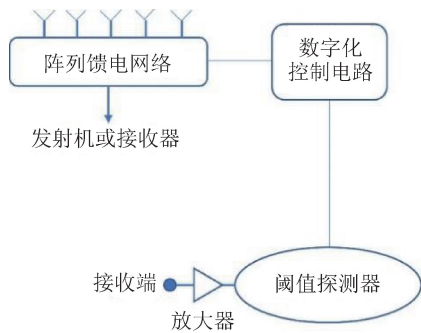


图 5 具有方向图分集的“智能”天线

Fig. 5 The “smart” antenna with directional map diversity

2 头盔天线性能参数及影响因素

头盔天线的性能涵盖物理性能、电性能及耐用安全性等 3 个方面。其中, 物理性能涉及天线的尺寸、质量等, 以确保实用性、穿戴舒适性及便携性; 电性能要求天线应满足特定谐振频率、带宽及工作模式, 并具备全向辐射性能, 以实现高效的阻抗匹配, 最大化天线增益和辐射效率。常见的天线性能参数

如驻波比、回波损耗、工作频段、辐射效率、方向图和增益等, 都适用于头盔天线。

2.1 驻波比

驻波比为传输线波腹电压与波谷电压幅度之比, 其理想值为 1, 通常要求小于 3, 以确保反射功率不超过 25%^[22]。驻波比的影响因素包括天线结构、馈电位置、天线安装位置及人体等。研究发现, 由折叠偶极子组成的头盔天线, 其狭缝对导体环的加载效应使得天线的驻波比增大^[25]; 当倒 F 天线安装在半球形导体表面时, 改变半球形导体底端到天线元件的距离会影响驻波比^[26]; 增加平面倒 F 形天线 (planar inverse F-shape antenna, PIFA) 元件在馈电点对面的高度可改善驻波比^[27]。

2.2 极化和极化轴比

极化分为线极化 (水平、垂直)、圆极化 (左旋、右旋) 及椭圆极化等。圆极化波的穿透和抗干扰能力强, 这使其在无线卫星通信中具有显著优势, 可通过修改螺旋天线的尺寸 (如螺旋周长和波长等结构参数) 或改变馈电方向获得圆极化波。在头盔共形天线的设计中, 有必要考虑人的头部效应, 以及天线产生的电磁辐射对人体大脑的影响, 需特别关注辐射效率、带宽、方向图和增益、比吸收率等性能指标。

2.2.1 辐射效率

辐射效率为天线辐射功率与输入功率的比值, 通过改变天线导体、加载寄生单元和使用螺旋天线等方法可有效提高天线的辐射效率。目前, 倒 L 型头盔天线的辐射效率已达 74%^[27], 折叠偶极子天线的辐射效率可达 44%^[25]。头盔天线中的螺旋天线还可通过增加节距来改善电尺寸小、辐射电阻小、辐射效率低等问题。

2.2.2 带宽

仿真和测试中常用散射参数 S_{11} 定义带宽。工程上 S_{11} 参数又称回波损耗, S_{11} 小于 -10 dB 代表天线在此频段内匹配良好, 反射损失较少, 故一般取 -10 dB 带宽表征天线带宽。通常, 少有天线架构能实现非常高的带宽, 如贴片天线的带宽通常只有百分之几^[21]。头盔天线的带宽一般在百分之几, 如工作频段在 450 MHz 的半波长印刷环形天线 (circular loop antenna, CLA) 的 -10 dB 带宽为 17.6 MHz (3.9%)^[28], 柔性织物和石墨烯/聚苯胺/聚二甲基硅氧烷 (polydimethylsiloxane, PDMS) 复合导电材料

头盔天线的-10 dB 带宽为 165 MHz(6.7%)^[29]。

影响带宽的因素有很多,包括元件耦合、加载狭缝、介质材料、环境湿度与温度等。增强寄生元件和辐射元件之间的耦合可扩展带宽^[27],而在导体环上加载狭缝将使相对带宽降低^[25]。当天线加载在介质材料(如头盔)上时,包括带宽在内的部分性能变化不大^[29],天线带宽也不依赖于天线单元的布置及馈电方向^[30]。但天线系统使用的材料影响带宽。当天线接地面导体的电导率减小时,带宽增加^[26];当天线靠近有介质损耗的材料时,在电压驻波比为 3 的条件下带宽会有所增加^[30];当环境的相对湿度、温度增加或当汗渍、盐水浸透无防护的天线时,天线材料的介电常数会增加,天线谐振频率降低^[31-32]。由于头盔天线追求小型化,但电小天线在高频和超高频下扩展带宽十分困难,故实现小型化的同时扩大带宽将是今后研究的重点方向^[2]。

2.2.3 方向图和增益

天线辐射方向图是天线发射或接收场强度的一种图形描述,其体现了增益与角度或方向的关系。在卫星通信领域,为获得最佳的卫星覆盖范围,天线仰角大于 10°时应具有几乎全向的辐射方向图^[22]。头盔天线主要面向水平面实现全向通信,已有许多学者^[9,19,28,33]提出全向通信覆盖的头盔天线概念,实现方式一般分为天线自身实现全向辐射(如螺旋天线法向工作模式)和组成天线阵列实现全向辐射。

天线是无源器件。这里的增益指天线在某辐射方向的天线辐射方向图强度与参考天线强度之比,一般用对数表示。在头盔天线的应用中,为达到高指向性的目的,需解决人体头部高介电损耗导致的增益降低问题,其影响因素包括天线与人体头部的距离等。头盔天线的增益主要在-4~0 dBi,具体取决于天线的设计和材料。在金属头盔上,工作频率为 150 MHz 的倒 L 天线在人体影响下最大增益为-3 dBi^[34]。Michishita 等^[26]提出的倒 F 天线最大增益达-2.6 dBi。此外,半波长印刷环形天线最大增益达-1.78 dBi^[28]。在折叠偶极子头盔天线中,导体环结构有、无狭缝的天线最大增益分别为-3.7 dBi 和-4.4 dBi^[25]。

影响天线增益的因素较多。通过优化天线的设计和布局,可显著提高天线的性能。具体而言,天线

导体环结构有狭缝^[25]对增益有显著影响,调整天线布置和馈电方向可有效提高天线增益^[34]。此外,介质材料也是影响天线方向图和增益的重要因素。当天线放置在靠近头盔和人体等介质材料的位置时,电磁波的传播速度和能量均受到影响。实际工况中,相对湿度和温度的增加会提高材料的介电常数,进而降低增益^[30,32,35-37]。因此,为提高天线增益,需抑制由人体头部高介电损耗引起的增益下降,策略之一就是调整天线高度^[26]。值得注意的是,将天线置于电介质上通常不会改变辐射模式。例如,平面折叠偶极子天线转变为球面结构后,其天线的方向图保持不变^[34]。全向性辐射实现较为容易,但其带宽和极化方式需特别调整与优化。但高增益往往伴随着比吸收率的增加,如何在二者之间取得平衡仍是一项挑战。

2.2.4 比吸收率(SAR)

SAR 用于度量人体组织吸收的射频能量。国际科学界 SAR 值通用标准为:以时间为 6 min 计,每千克脑组织吸收的电磁辐射能量不得超过 2 W。不同地区的 SAR 值标准也存在差异^[2]。现有研究中,SAR 值远低于相关标准,基本保持在 0.2~0.4 W/kg。例如,在 Nishiyama 等^[25]的设计中,10 g 人体组织的局部平均 SAR 值为 0.22 W/kg。Michishita 等^[26]设计的倒 F 天线在 150 MHz 时,局部 SAR 值为 0.07 W/kg。许德成等^[29]建立了 3 层人体组织模型,测试了天线与人体不同间距时 1 g 人体组织的最大 SAR 值,发现在间距为 1、3、5 mm 时,最大 SAR 值分别为 0.295、0.286、0.271 W/kg,均低于 2 W/kg 的标准。

研究发现,天线位置、材料、结构和载体介电性质等对 SAR 影响较大。增加天线元件的高度可增加头部和天线元件之间的距离,降低 SAR^[29]。降低天线中接地面的电导率可降低最大 SAR^[26]。在导体环上加载狭缝可在提高辐射效率的同时降低 SAR^[25]。此外,天线微波与人体相互作用时会产生热量,天线谐振频率越高,SAR 和热效应越小^[38]。当天线加载在介质如凯夫拉头盔上时,“解耦”效应会降低辐射对人体的影响^[39]。对于天线阵列,Rahimi 等^[40]利用宽带自接地碟型天线构件,通过多通道配置,提高了目标体积内的射频功率沉积。相比传统环形射频阵列,该设计的最大 SAR_{10g} 值约增

大了 10%~30%,且高 SAR_{10g} 值目标区域覆盖范围有所增加。

3 结语及展望

头盔天线近来成为可穿戴天线领域热门的研究对象,主流设计包括单/偶极子天线、微带贴片天线和螺旋天线。将这些天线安置在头盔内外不同位置,可实现多样化的效能。目前,已有研究重点关注头盔天线的全向辐射性能、带宽/小型化性能,以及高增益/低 SAR 性能,并取得了一定的成效。

大多数头盔天线仅依赖于集成的单一天线单元,故难以实现头盔天线的全向辐射性能,也不能满足系统对天线的增益、方向图等性能指标的要求。此外,天线单元与头盔载体的共形方案还有待研究和优化。许多设计方案最终导致头盔的廓形增大,天线设计中所用纯金属材料的柔韧性,材料与头盔的贴合度,以及头盔内部的空间利用率,都有待提升。目前,可穿戴柔性化集成是头盔天线研究的重要方向之一,已有许多织物替代了天线原有的刚性材料,并取得了良好的性能表现,但织物基天线在形变、磨损及实际工况下的性能与稳定性,仍面临较大考验。最后,天线自身尺寸、带宽、增益之间的相互制约问题仍有待解决。

头盔天线中,共形阵列天线是实现全向辐射的有效方案,且研究已证明其具备良好的应用基础,但天线单元的选择、排布和馈电方式等仍需做进一步的研究。当前文献多采用仿真测试,结果与实际存在差异,如何减小误差也是下一步的研究重点。未来,天线发展将致力于突破材料和结构的限制,实现宽带、小型化、全向辐射、高增益和低 SAR。超材料等手段被尝试用于打破尺寸、质量、带宽和增益的限制;纺织柔性化技术有望在未来解决头盔天线的集成和舒适性问题;阵列天线尤其是圆极化阵列天线,因抗干扰能力强而特别适用于卫星导航通信,其宽带化技术也是重要的研究方向。阵列头盔天线设计中,螺旋天线的应用较少,但螺旋天线能显著缩小尺寸并辐射圆极化波,其与阵列形式结合有望提升卫星通信天线的性能和应用表现。



期刊采编平台



中国知网下载

参考文献

- [1] 高国平. 无线体域网(WBAN)中超宽带及可穿戴天线的研究[D]. 兰州:兰州大学, 2016.
- [2] 李建, 晚雷天, 鲜承伟, 等. 单兵通信系统头盔天线研究进展[J]. 电子与信息学报, 2023, 45(7): 2375-2385.
- [3] 郑聪, 邹艳玲, 胡吉永, 等. 可穿戴 NFC 织物天线及能量传输的研究进展[J]. 东华大学学报(自然科学版), 2021, 47(5): 37-46.
- [4] 吴强. 可穿戴微带共形天线阵的研究[D]. 西安:西安电子科技大学, 2010.
- [5] JIANG Z H, BROCKER D E, SIEBER P E, et al. A compact, low-profile metasurface-enabled antenna for wearable medical body-area network devices[J]. IEEE Transactions on Antennas and Propagation, 2014, 62(8): 4021-4030.
- [6] ALI U, BASIR A, ZADA M, et al. Performance improvement of a dual-band textile antenna for on-body through artificial magnetic conductor[J]. IEEE Access, 2023, 11: 72316-72331.
- [7] FIRDAUSI A, HENDRANTORO G, SETIJADI E, et al. Dual mode on-body off-body microstrip antenna franklin for wearable device over 5G application [C] // Proceedings of the IEEE Microwaves, Antennas, and Propagation Conference (MAPCON). New York: IEEE, 2022: 1999-2004.
- [8] WONG K L, CHANG H J, WANG C Y, et al. Very-low-profile grounded coplanar waveguide-fed dual-band WLAN slot antenna for on-body antenna application[J]. IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters, 2020, 19(1): 213-217.
- [9] WANG J J H, TILLERY J K, BOHANNAN K E, et al. Helmet-mounted smart array antenna [C] // Proceedings of the IEEE Antennas and Propagation Society International Symposium 1997. New York: IEEE, 1997: 410-413.
- [10] HOU Y C, SU D L, MA J P. Analysis and design of ultra wide band planar monopole antenna [C] // Proceedings of the 8th International Symposium on

- Antennas, Propagation and EM Theory. New York; IEEE, 2008: 244-247.
- [11] JUNG J, CHOI W, CHOI J. A small wideband microstrip-fed monopole antenna[J]. IEEE Microwave and Wireless Components Letters, 2005, 15(10): 703-705.
- [12] HE Y J, HE W, WONG H. A wideband circularly polarized cross-dipole antenna[J]. IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters, 2014, 13: 67-70.
- [13] NGUYEN-TRONG N, PIOTROWSKI A, KAUFMANN T, et al. Low-profile wideband monopolar UHF antennas for integration onto vehicles and helmets [J]. IEEE Transactions on Antennas and Propagation, 2016, 64(6): 2562-2568.
- [14] SHIN J Y, WOO J M. Military antennas [C] // 2018 International Symposium on Antennas and Propagation. New York; IEEE. 2018: 1-2.
- [15] MATSUBAYASHI K, MICHISHITA N, MORISHITA H. A study of helmet antennas [C] // Proceedings of the IEEE International Workshop on Electromagnetics: Applications and Student Innovation Competition (iWEM). New York; IEEE, 2018: 1.
- [16] MISHRA R. An overview of microstrip antenna [J]. HCTL Open International Journal of Technology Innovations and Research (IJTIR), 2016, 21(2): 39-55.
- [17] 邹玲玲, 王晓云, 李雅芳, 等. 柔性电加热织物的研究进展[J]. 材料科学与工艺, 2021, 29(6): 74-88.
- [18] LEE H, YANG H, MYEONG S, et al. Dual-band MNG patch antenna for smart helmet[J]. Electronics Letters, 2018, 54(19): 1101-1102.
- [19] WANG J J H. Broadband omnidirectional helmet antennas [C] // Proceedings of the IEEE Antennas and Propagation Society International Symposium. New York; IEEE, 2006: 2129-2132.
- [20] ÁVILA-NAVARRO E, CAYUELAS C, REIG C. Dual-band printed dipole antenna for Wi-Fi 802.11n applications [J]. Electronics Letters, 2010, 46(21): 1421-1422.
- [21] HEROLD D, GRIFFITHS L, FUNG T Y. Lightweight, high-bandwidth conformal antenna system for ballistic helmets [C] // Proceedings of the MILCOM 2007 – IEEE Military Communications Conference. New York; IEEE, 2007: 1-6.
- [22] ADLER R W, GIBBS D S, LEBARIC J E, et al. Helmet mounted UHF antenna for mobile user objective system (MUOS) [C] // Proceedings of the MILCOM. New York; IEEE, 2002: 311-315.
- [23] ZHONG J N, KIOURTI A, SEBASTIAN T, et al. Conformal load-bearing spiral antenna on conductive textile threads [J]. IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters, 2016, 16: 230-233.
- [24] 冯桂荣. 面向无线通信的宽带天线技术研究 [D]. 西安: 西安电子科技大学, 2020.
- [25] NISHIYAMA N, MICHISHITA N, MORISHITA H. SAR reduction of helmet antenna composed of folded dipole with slit-loaded ring [C] // Proceedings of the International Symposium on Antennas and Propagation (ISAP). New York; IEEE, 2015: 1-2.
- [26] MICHISHITA N, SAITA Y, MORISHITA H, et al. Helmet-mounted inverted-F antenna at VHF band [J]. Journal of Advanced Simulation in Science and Engineering, 2020, 7(2): 291-299.
- [27] ONO Y, OKANO Y. Development of VHF-band antenna mounted on the helmet [C] // 2013 International Symposium on Antennas & Propagation. New York; IEEE; 2013: 584-587.
- [28] PARK J Y, RYU H K, WOO J M. Helmet installed antenna using a half-wavelength circular loop antenna [C] // Proceedings of the IEEE Antennas and Propagation Society International Symposium. New York; IEEE, 2007: 4176-4179.
- [29] 许德成, 田小建, 郭小辉, 等. 2.45 GHz 柔性可穿戴织物天线的设计与研究 [J]. 东北师大学报(自然科学版), 2016, 48(4): 88-91.
- [30] SAITA Y, ITO T, MICHISHITA N, et al. Low-frequency inverted-F antenna on hemispherical ground plane [C] // Proceedings of the International Symposium on Antennas and Propagation Conference Proceedings. New York; IEEE, 2014: 183-184.
- [31] LILJA J, SALONEN P. Textile material characterization for SoftWear antennas [C] // Proceedings of the MILCOM 2009–2009 IEEE Military Communications Conference. New York; IEEE, 2009: 1-7.
- [32] LILJA J, SALONEN P, KAIJA T, et al. Design and manufacturing of robust textile antennas for harsh environments [J]. IEEE Transactions on Antennas and Propagation, 2012, 60(9): 4130-4140.
- [33] TILLERY J K, THOMPSON G T, WANG J J H. Low-power low-profile multifunction helmet-mounted smart

- array antenna [C] // Proceedings of the IEEE Antennas and Propagation Society International Symposium. New York: IEEE, 1999: 1554-1557.
- [34] NAKAO T, HUNG N T, NAGATOSHI M, et al. Fundamental study on curved folded dipole antenna [C] // Proceedings of the 2012 IEEE International Symposium on Antennas and Propagation. New York: IEEE, 2012: 1-2.
- [35] 万照辉, 曹群生, 王彬, 等. 环境温度对天线罩电性能的影响分析[J]. 微波学报, 2022, 38(3): 27-32.
- [36] LILJA J, SALONEN P, DE MAAGT P. Environmental characterization of industrial fabric for SoftWearAntenna [C] // 2009 IEEE Antennas and Propagation Society International Symposium. New York: IEEE, 2009: 1-4.
- [37] HERTLEER C, VAN LAERE A, ROGIER H, et al. Influence of relative humidity on textile antenna performance [J]. Textile Research Journal, 2010, 80(2): 177-183.
- [38] KARTHIK V, RAMA RAO T. Investigations on SAR and thermal effects of a body wearable microstrip antenna [J]. Wireless Personal Communications, 2017, 96(3): 3385-3401.
- [39] LEBARIC J, TAN A T. Ultra-wideband conformal helmet antenna [C] // Proceedings of the Asia-Pacific Microwave Conference. New York: IEEE, 2000: 1477-1481.
- [40] RAHIMI F, BERANGI M, EIGENTLER T W, et al. Radiofrequency antenna helmet array for thermal magnetic resonance of brain tumours at 297 MHz [C] // Proceedings of the 3rd URSI Atlantic and Asia Pacific Radio Science Meeting (AT-AP-RASC). New York: IEEE, 2022: 1-3.

欢迎订阅《针织工业》

《针织工业》是国家新闻出版广电总局批准的国内外公开发行的针织专业科技期刊,创刊于1973年,由天津市针织技术研究所、中国纺织信息中心联合主办,由全国针织科技信息中心出版发行。

《针织工业》为全国中文核心期刊,曾多次获得部、市级奖励,现已入编“纺织领域高质量科技期刊分级目录(2022版)”T2级、科技期刊世界影响力指数(WJCI)报告(2022)、JST日本科学技术振兴机构数据库(日)(2022)、中国学术期刊网络出版总库、CNKI系列数据库(已开通优先数字出版)、中国核心期刊(遴选)数据库、万方数据、维普资讯全文数据库等,在国内外具有广泛影响。

《针织工业》主要报道针织行业前沿科技成果与加工实践经验,推广针织、染整及成衣方面的新技术、新工艺,在学术性、创新性、前瞻性方面质量水平高,具有深远的学术影响力。同时,依托广大院校教授、重点企业资深专家等的支持,编辑部每年举办时尚科技、针织技术、原料创新、针织染整等技术交流会议和高端论坛,有效助力科技成果的转化与应用,推动行业技术的传播与进步,促进针织产业的转型升级,贴近行业,服务行业,具有广泛的行业影响力。

《针织工业》主要栏目有针织技术、新型纺织材料、印染技术、制衣技术、检测与标准、行业新闻眼等,其技术性强、信息量大、知名度高、发行覆盖面广。

《针织工业》为月刊,大16开,全部进口铜版纸精印,国内外公开发行。国际标准连续出版物号ISSN 1000-4033,国内统一连续出版物号CN 12-1119/TS。邮发代号6-24。国内定价15.00元/期,全年12期,共计180.00元(含邮费)。读者可在当地邮政局订阅,亦可向编辑部直接订阅。

电话:022-60365364(稿件查询)

022-60365363(合作与订阅)

022-60365362(信息中心)

传真:022-60116367

E-mail:zzgy1973@163.com(稿件查询)

zzgygb@163.com(合作与订阅)

网站:www.knittingpub.com(针织工业)

购书网店:http://zhenzhishuwu.taobao.com

官方微信:zzgy1973

地址:天津市空港经济区东九道6号(300308)



《针织工业》官微



购书微店

弘扬社会正气

倡导文明新风