

运用 XFDTD 设计穿戴式智慧装置之双频 MIMO 天线

简介

本案例演示一个纺织品材料制作，用于穿戴式装置的双频天线，基础天线本身是个矩形的贴片天线，内部是纺织品，外部由带状的导电胶带包覆，由于天线本身有弹性，故同时建立平放和弯曲两种状态的模型以便于了解形状改变对于天线性能的影响，也进一步做了关于人体的 SAR 值计算并且得到合格的结果，之后将这些贴片天线组成阵列，并且改变各种配置进行 MIMO 应用的仿真演示。

模型设计与仿真

平放的单体天线

第一阶段先建立平放的单体贴片天线模型，俯视和 45 度侧视如下图的 1a 以及 1b，天线本身为矩形，里面有一层 3mm 厚度的毛毡面料作为基板，外面用一层经过特殊处理的并且很薄的导电胶带覆盖使其适合作为天线单元在阵列中使用。

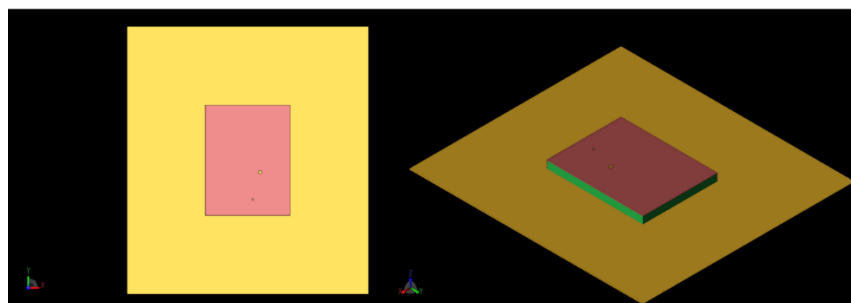
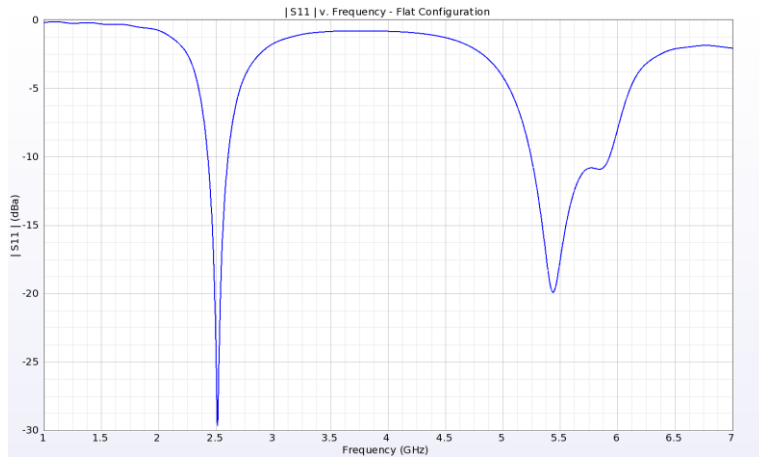
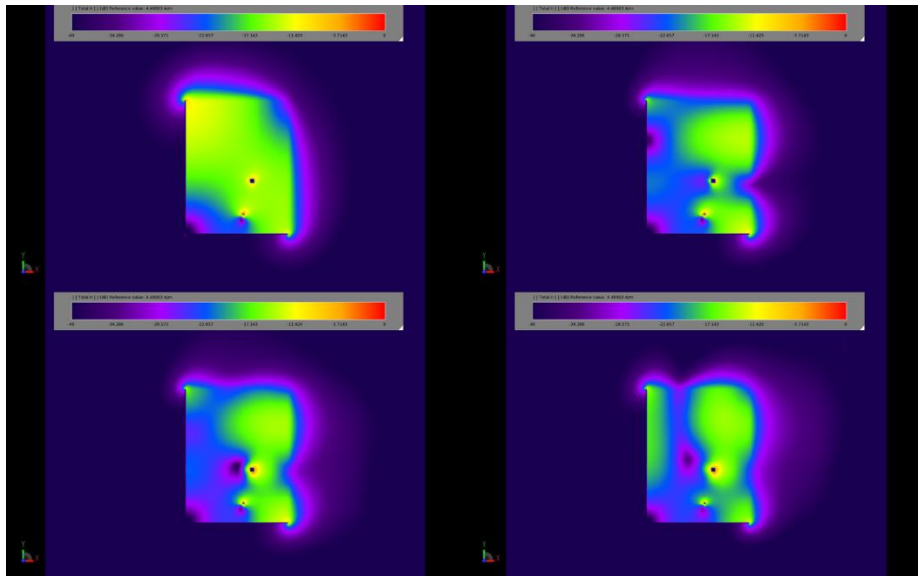


图 1：俯视图(左,1a)，45 度角侧视图(右,1b)

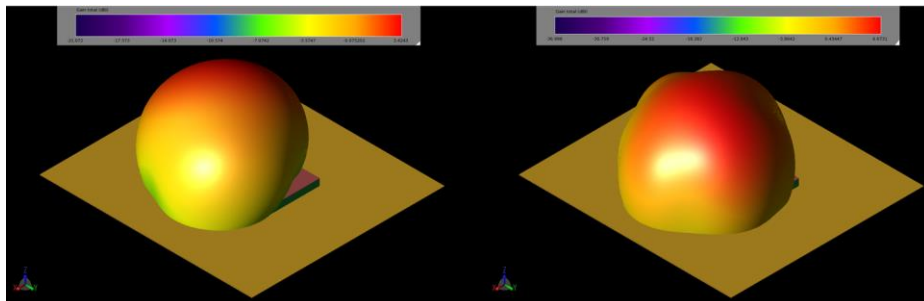
用 XFDTD 仿真这个最基本的天线模型，透过一个宽带的仿真，在 2.5GHz 和 5GHz 得到满意的 return loss(图二)，而图三则是在多个不同频点贴片表面的稳态磁场，分别是图 3a 为 2.45GHz，3b 为 5.2GHz，3c 为 5.5GHz，3d 为 5.8GHz，图四则是三维增益场型，在 2.45GHz 时为 3.4 dBi，5.5GHz 为 6.7dBi。



图二：仿真的 return loss 结果显示单体贴片天线在 2.5 GHz 以及 5.4 GHz 到 5.8 GHz 的区域有明显的 null，并且在高频段有更佳的操作空间。



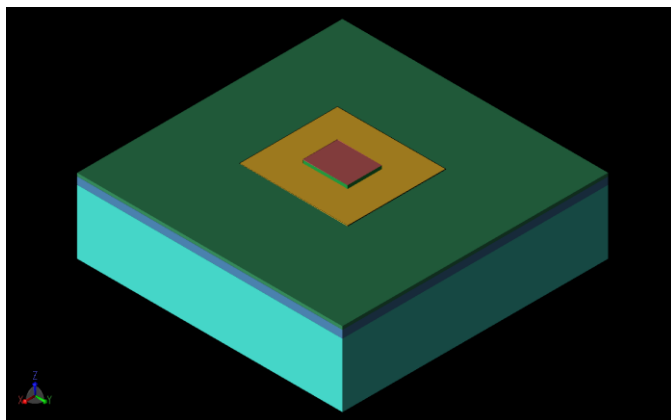
图三：不同频点的稳态磁场分布 3a(左上)为 2.45GHz, 3b(右上) 5.2GHz, 3c(左下)5.5 GHz, 3d(右下)5.8 GHz。



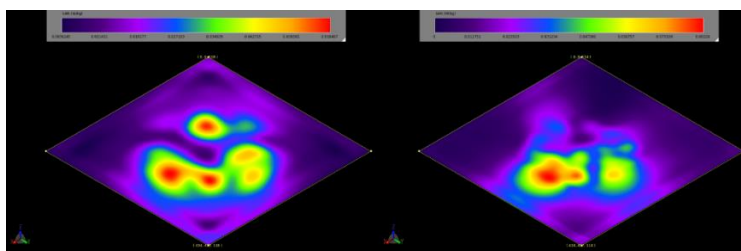
图四：不同频点的增益场型, 4a(左)2.45 GHz, 4b(右) 5.5 GHz。

透过仿真了解天线的基本特性后，进一步计算 SAR 值，将贴片天线置于由皮肤，脂肪，以及肌肉构成的多层 phantom 上 5mm 处进行仿真(图五)，透过仿真可知在当输入功率为 0.5 瓦

时 1 公克平均 SAR(1-gram averaged SAR)值的峰值在 2.45GHz 时为 0.113W/kg, 5.5 GHz 时为 0.18W/kg, 两者均低于工业标准允许的上限值, 同样的输入功率下, 10 公克平均 SAR 值为 2.45GHz 时为 0.058W/kg, 5.5GHz 时为 0.082W/kg, 也低于工业标准允许的上限值, 图六为在不同频点的 SAR 值分布。



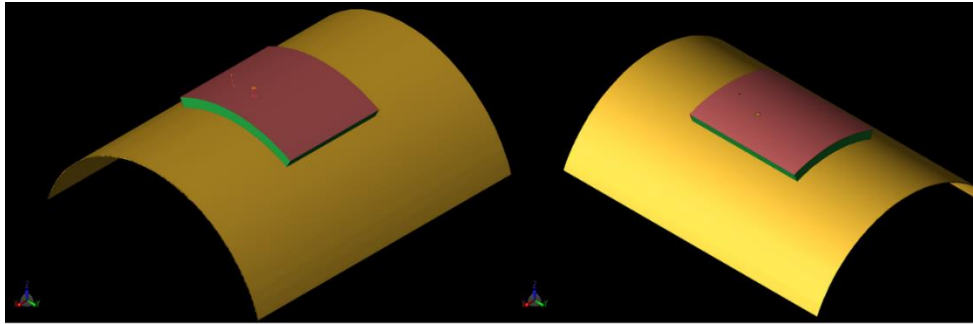
图五：将贴片天线模型置于相当于皮肤, 脂肪以及肌肉三层的生体组织模型上进行 SAR 仿真。



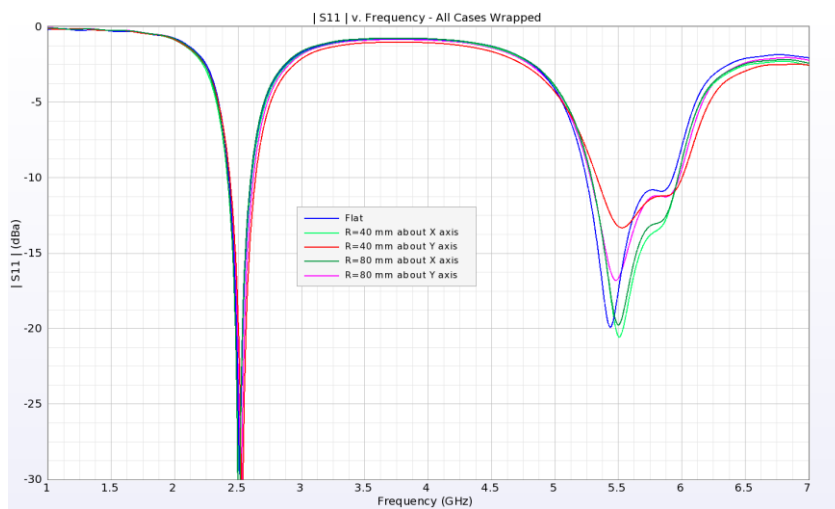
图六：输入功率为 0.5 瓦时, 10 公克平均 SAR 值场形图, 左图为 2.45GHz 时的 SAR 值分布, 右图为 5.5GHz 的 SAR 值分布。

弯曲状态单体贴片天线仿真

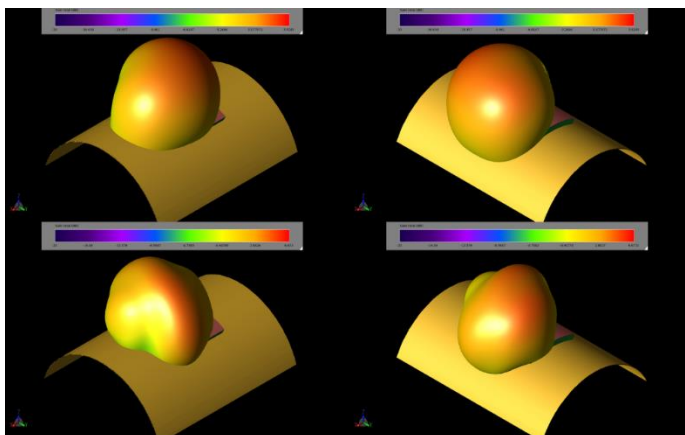
在完成平放的贴片天线仿真, 并得到满意的结果后, 进一步的将模型修改成更接近实际穿戴情况, 将原本平放的贴片天线修改成半径 40mm 和 80mm 的两个弧形模型(图七为半径 40mm 对 X 轴与 Y 轴弯曲的模型), 从仿真结果可以得知在低频 return loss 非常接近原本水平的版本, 而在高频 null 的深度以及频点则有变化(图八), 以弧形半径 40mm 的贴片天线为例, 在 2.45GHz 时, 和水平的贴片天线相比, 贴片对 X 轴弯曲时增益从 3.4dBi 降到 2.2dBi, 对 Y 轴弯曲时则降到 1.8dBi, 而在 5.5GHz 频点增益场型就变得不一致, 而最大增益相较于平放也降低了约 2dBi, 半径 80mm 的模型则增益和水平的贴片天线较为接近, 不过在 2.45GHz 时对 X 轴弯曲的贴片天线最大增益降至 2.8dBi, 对 Y 轴弯曲时则降低至 2.5dBi, 而在 5.5GHz 时则两者都大约降低 1dBi。



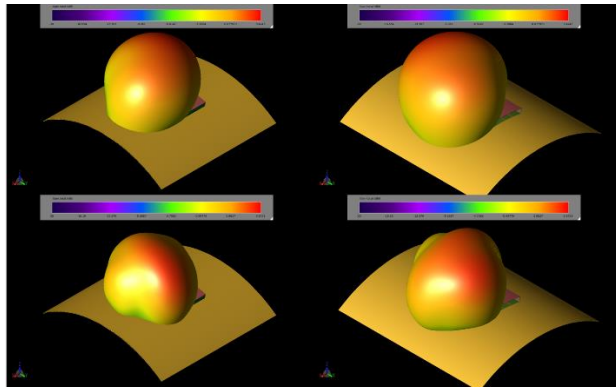
图七：原本水平的贴片天线被改成类似穿戴后的弧形，右图是对 X 轴弯曲，半径 40mm，左图是对 Y 轴弯曲，半径 40mm。



图八：对于各种不同配置(半径 40mm/80mm)的模型进行仿真并观察 return loss 的变化，在低频时和平放的情况较为一致，在高频则变化较大，不过工作区间都很接近。



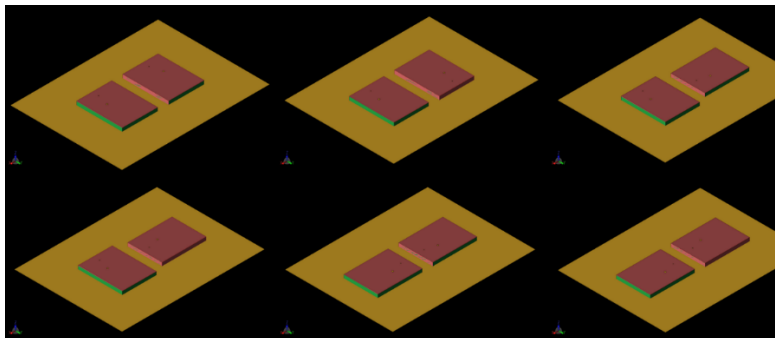
图九：弧形半径为 40mm 时不同配置的增益场型，左上为 2.45GHz 时对 X 轴弯曲的案例，右上为 2.45GHz 时对 Y 轴弯曲的案例，左下为 5.5GHz 时对 X 轴弯曲的案例，右下为 5.5GHz 时对 Y 轴弯曲的案例。



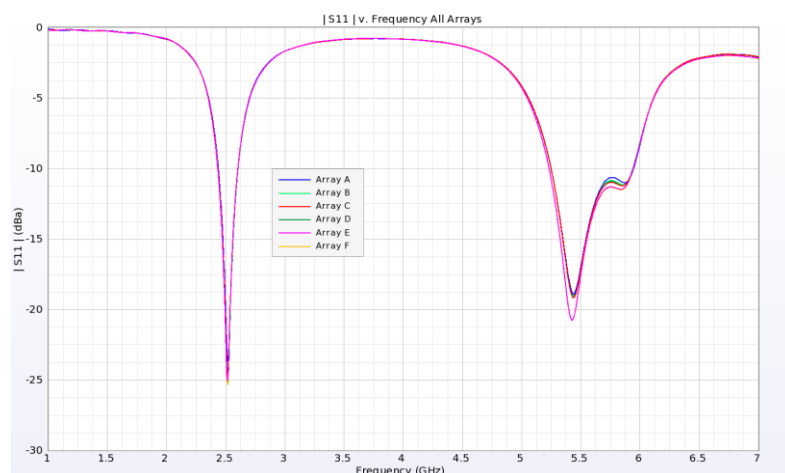
图十：弧形半径为 80mm 时不同配置的增益场型，左上为 2.45GHz 时对 X 轴弯曲的案例，右上为 2.45GHz 时对 Y 轴弯曲的案例，左下为 5.5GHz 时对 X 轴弯曲的案例，右下为 5.5GHz 时对 Y 轴弯曲的案例。

MIMO 天线阵列(水平放置)

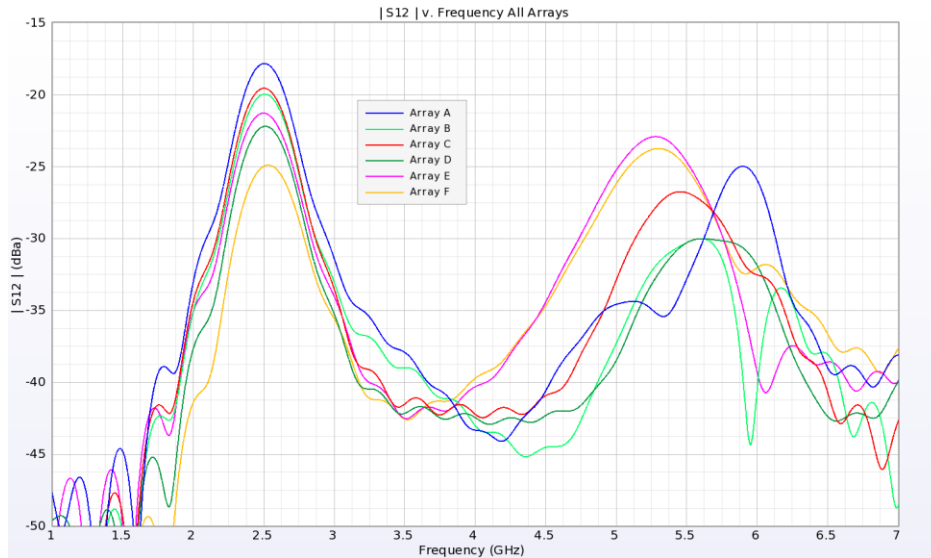
接下来我们把两个基本的贴片天线用不同的方式排列组成一个 1*2 的 MIMO 阵列，天线单元间隔为 10mm，中间施加良好的隔离确保天线的隔离度，并对 6 种不同的组合方式进行仿真，天线单元有时同时激发，有时候单独激发，仿真结果可以看出来不同的排列方式会得到很接近的 return loss，并且可以从 S12 看出来在工作频点天线之间保持有良好的隔离效果。



图十一：1x2MIMO 阵列的六种不同排列方式。



图十二：六种不同配置方式的 return loss，都非常接近。

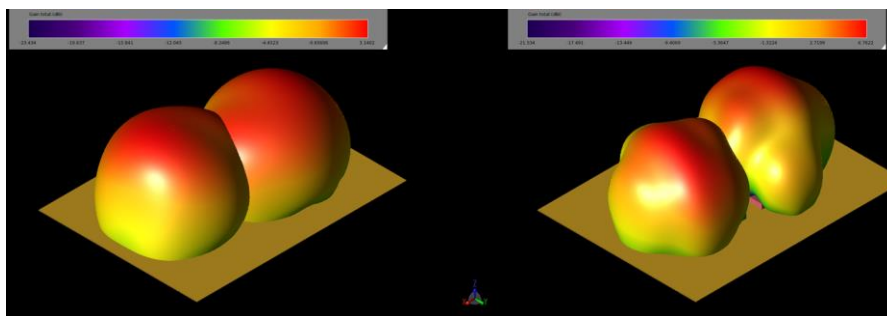


图十三：用 S12 值来检视两个天线单元之间的隔离度，所有的配置都显示可以达到或优于-17dB。

进一步对图十一中的各种配置做仿真并求得增益场型，从结果得知都有相似的增益场型以及峰值(图十四)，同时进一步的计算远场包络系数(Envelope Correlation Coefficient, ECC)以及复相关系数(Complex Correlation Coefficient)来判断这个阵列是不是能保证良好的分集增益，可以从图表一得知这个指标值都远低于 0.5，代表这个天线阵列有良好的表现。

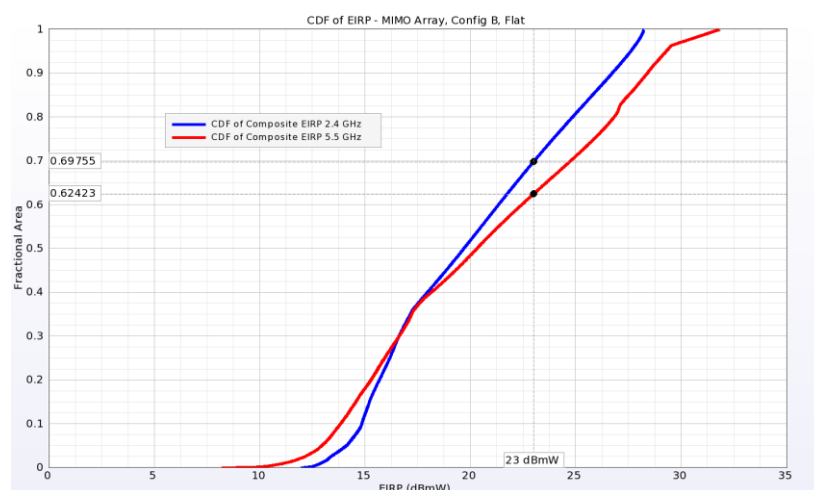
	Array A	Array B	Array C	Array D	Array E	Array F
Env Cor 2.45	8.77e-2	5.01e-2	5.4e-2	2.87e-2	3.12e-2	1.37e-2
Env Cor 5.5	2.41e-5	3.99e-4	6.83e-4	2.01e-4	4.67e-4	2.42e-4
Comp Cor 2.45	2.96e-1	2.24e-1	2.32e-1	1.69e-1	1.7e-1	1.17e-1
Comp Cor 5.5	4.91e-3	2.0e-2	2.61e-2	1.42e-2	2.16e-2	1.56e-2

图表一：六个不同配置的 MIMO 阵列在 2.45 GHz 和 5.5 GHz 的 Envelope Correlation 与 Complex Correlation Coefficients。



图十四：相同配置的天线增益场型(一次激发一个天线体，同时显示两个独立天线体的增益场型)，左图为 2.45 GHz 的场型，右图为 5.5 GHz 的场型。

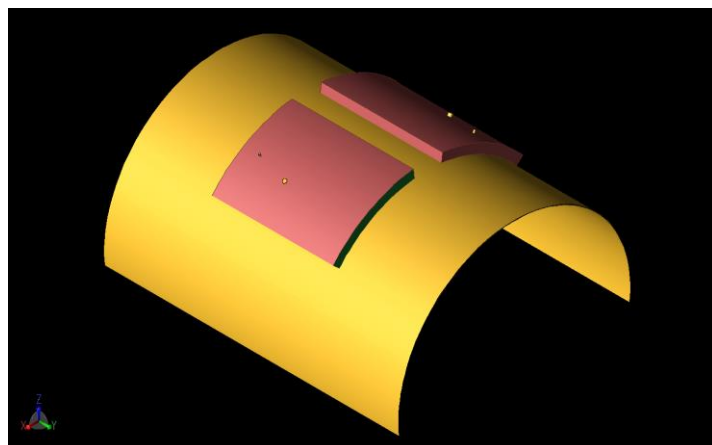
接着我们可以透过累积分布函数来看等效全向辐射功率(equivalent/effective isotropic radiated power EIRP)这个指标来评估阵列天线的性能，概念上可以视为看这个配置的阵列天线在整个全球面的范围内达到设计指标的涵盖范围占多少比例，从图十五可以看出以图十一中的配置 B 为例，频率在 2.45GHz 时可以达到在 30.2%的球面有输入功率 23 dBmW 的涵盖率，而同样的输入功率在 5.5GHz 时则有 37.6%的涵盖，而六种不同的配置在 2.45GHz 时，同样的输入功率平均涵盖率为 28.6%，5.5GHz 时则为 38.3%。



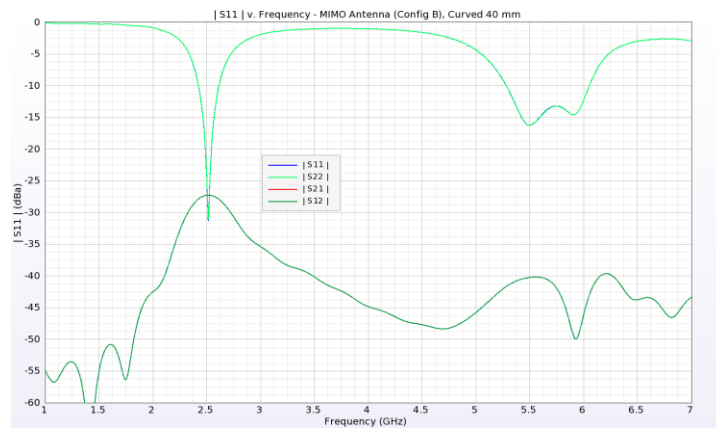
图十五：EIRP 的累积分布函数图，可以标示图十一的阵列配置 B 在两个频点(2.45 GHz, 5.5 GHz)的涵盖率，在输入功率为 23 dBmW 时，2.45 GHz 有 30.2%而 5.5 GHz 时为 37.6%。

MIMO 天线阵列 (弯曲)

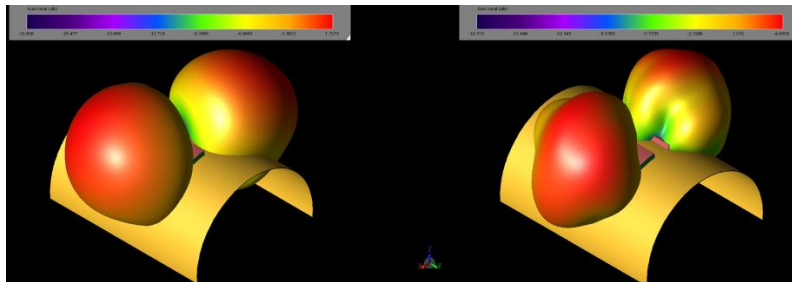
接着把平放的贴片天线(阵列)弯曲到半径 40 mm 的弧度，进一步做更接近实际情况的仿真，从仿真的结果可以得知 return loss 和隔离度(-27dB)都有良好的表现(图十七)，而个别天线体在 2.45 GHz 和 5.5 GHz 的增益场型和平放时类似但是增益值减低，远场包络系数也显示良好的性能，在 2.45 GHz 为 $6.0e-3$ ，在 5.5GHz 时为 $5.1e-5$ ，复相关系数在这两个频点为 $7.8e-2$ 和 $7.1e-3$ ，而 EIRP 分析则显示在 2.45 GHz 时 23 dBmW 输入功率的覆盖率可达 32.2%，5.5GHz 时则为 48.1%。



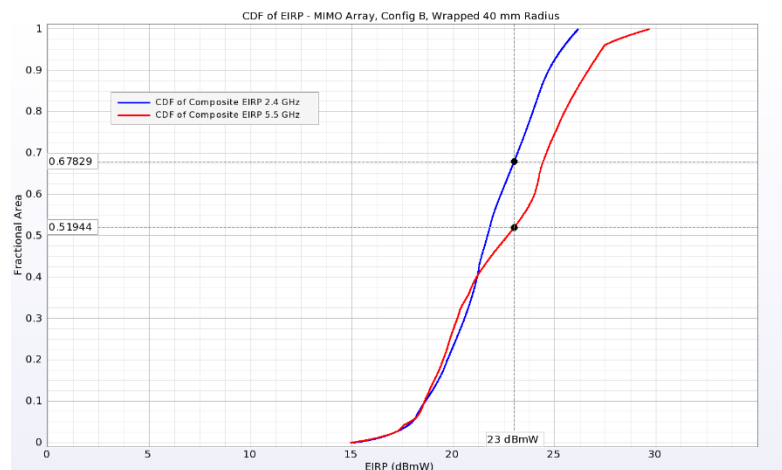
图十六：将图十一的配置 B 修改成对 Y 轴弯曲 40 mm 的弧形。



图十七：半径 40mm 弧形 MIMO 天线阵列的 return loss 和隔离度，可以看出在 2.5 GHz 以及在 5.3~5.6 GHz 有良好的表现。



图十八：弧形 MIMO 阵列的单天线增益场型。



图十九：弧形 MIMO 天线的 EIRP 累积分布函数，23 dBmW 在 2.45 GHz 有 32.2%的涵盖范围，5.5GHz 时有 48.1%的涵盖范围。

结论

这个范例演示了用 XFDTD 建立一个以纺织物制作，用于穿戴式装置的双频 MIMO 阵列天线，从单体的贴片天线开始不断增加复杂度，最后完成了一个有良好性能表现的 MIMO 阵列天线。

本文翻译/改写自 Remcom 原厂网站原文“Wearable Dual-Band MIMO Antenna”一文，参考文献为“S. Yan, P. J. Soh, and G. A. E. Vandenbosch, “Dual-Band Textile MIMO Antenna Based on Substrate Integrated Waveguide (SIW) Technology,” IEEE Trans. Antennas and Propagation, vol. 63, no. 11, p. 4640-4647, Nov. 2015.”

如果需要进一步的询问各种信息，或是寻求技术支援服务或询价可以拜访我们的网站或是透过 QQ 或微信联系我们

微信公众号：Remcom 仿真模拟世界



Q 群名称：REMCOM 仿真软件信息

QQ 群号：439531441

Wechat ID：CAEsoftware0822

或是来电：18411033831 或 13524674000