



# 5G 技术的电磁辐射及其评估

姓	名：田博松、白晓亮、姚弛
学	号：202111040246、202111040257、202111040251
专	业：电子科学与技术-2
年	级：2021
课 程 名 称	：电磁场理论

2023 年 5 月

# 目录

一、关于此话题的讨论原因 .....	1
二、实施要求 .....	2
三、具体内容 .....	2
1、5G 技术的应用领域与使用场景 .....	2
2、5G 技术的电磁辐射的测量及影响因素 .....	4
3、5G 技术对人体健康的影响及措施 .....	8
四、5G 信号波束赋形的 MATLAB 仿真 .....	9
五、心得体会 .....	12

## 一、关于此话题的讨论原因

作为一项全新的移动通信技术，5G 无疑具有巨大的潜力，将带动物联网、智能家居、自动驾驶等新兴应用领域的快速发展。但同时，随着数量更多的无线设备使用与更多的基站部署，越来越多的人对 5G 技术的电磁辐射、以及这种辐射可能带来的影响提出了质疑。本报告将会讨论 5G 技术的电磁辐射量，评估方法以及其对人体健康的影响。

首先我们需要明确一点，无论是 2G、3G、4G 还是 5G，无线通信都必须依靠电磁波这种方式实现。因此无疑，所有移动通信技术都会产生电磁辐射。但是在各种无线通信中，5G 是一种可能产生更高辐射量的技术，因为它使用的频率比传统的通信方式高得多。与此同时，5G 还需要更多的基站来支持其高速无线通信需求，这也使得 5G 产生的辐射量更高。

对于 5G 技术的电磁辐射，我们可以从以下几个方面进行评估。首先是 5G 技术的应用领域与使用场景，一般而言，在城市密集区域，基站的密度将更高，因为大量的无线终端需要快速连接。因此，在城市中，5G 的辐射量可能会更高。然而，在乡村和偏远地区，基站的密度将更低，这意味着 5G 的辐射量可能会相对较少。

其次是 5G 技术的影响因素。要对 5G 技术的电磁辐射进行评估，频率是一个非常重要的因素。5G 使用的高频波段具有短波长，产生的辐射量会更高，同时也更容易受到遮挡等因素的影响，导致信号覆盖范围更小，需要更多的基站密度来弥补这一缺陷。

最后是 5G 技术对人体健康的影响。目前已经进行过很多研究，但仍没有确凿的证据表明 5G 技术与人类健康问题有关。特别是在隐含着更高的信号强度之下，实际上对大部分人来说，5G 技术的不良影响可能是非常轻微的。但仍有一些普遍的关于电磁辐射的常见问题存在，如失眠、疲劳等。因此，对于某些特定人群（如重度使用无线电的维修人员等），评估 5G 技术的电磁辐射对他们健康的影响是非常重要的。

总的来说，5G 技术确实会带来更高的电磁辐射水平。这种技术的使用需要

基站的大量部署，这也意味着我们需要考虑 5G 技术对人类健康和环境的影响。但是，评估 5G 技术影响的过程仍处于不断发展的阶段，科学家们需要进一步研究，以便更全面、准确地确定与 5G 技术的辐射有关的健康风险。

## 二、实施要求

1. 收集 5G 技术的相关资料，包括频率、波长、功率等参数，以及 5G 技术的应用领域和使用场景，了解 5G 技术的电磁辐射特征。

2. 对 5G 技术的电磁辐射量进行定量评估。可以使用专业的电磁场测量仪等设备，通过测量不同地点和不同时间段的电磁场强度，获得 5G 技术在实际应用中产生的电磁辐射量。

3. 评估 5G 技术的电磁辐射量的方法有多种，包括计算、仿真和实测等。通过对 5G 技术的电磁辐射量进行多维度评估，可以得出更准确的结论，并为制定相应的防护措施提供依据。

4. 评估 5G 技术对人体健康的影响，需要从多个方面入手。例如，可以收集国内外相关研究成果，阅读与 5G 技术电磁辐射有关的论文和报告，了解 5G 技术可能对人体健康的影响；还可以对不同人群进行调查，了解他们在使用 5G 技术时所面临的健康问题和疑虑。

5. 根据以上评估结果，制定相应的应对措施。例如，可以在大型公共场所和住宅区域增设防护设施，对电磁辐射过大的地点进行封闭和隔离，采用有效的降低电磁辐射的技术和装备，有效缓解 5G 技术可能带来的电磁辐射风险。

5G 技术的电磁辐射量和对人体健康的影响是公众关注的焦点，这需要专业人士和相关研究机构进行全方位深入的评估和研究，以科学合理的方式应对 5G 技术所带来的潜在风险。

## 三、具体内容

### 1、5G 技术的应用领域与使用场景

随着 5G 技术的普及和发展，其应用领域和使用场景也在不断扩展和深化。在城市中，5G 技术可以应用于公共交通、网络安全、跨界商业等多个领域。

首先，5G 技术在公共交通领域的应用潜力巨大。通过 5G 技术的支持，公共交通可实现实时调度、周密安排，提高运行效率，使得城市交通更加便捷高效。例如，基于 5G 技术的实时交通指挥系统，可以通过区块链技术实现车辆调度、动态定价等功能；5G 技术的高速网络连接和实时数据传输，也能为公共交通提供更好的服务体验。

其次，5G 技术在网络安全领域也有重要的应用。高速、低延迟的 5G 网络连接能实现更快速、更可靠的数据传输和共享，但同时也带来了安全隐患和风险。因此，5G 技术的安全保护是必不可少的。为此，目前已经出现了许多基于 5G 技术的网络安全产品和服务，如 5G 网络安全监测和威胁防范、数据加密和访问控制等。

此外，5G 技术还在跨界商业领域发挥着作用。例如，在零售领域，5G 技术可以通过高清、全景等技术为消费者提供更好的购物体验，实现智慧零售；在娱乐领域，5G 技术可以使得游戏和视频等内容可以更快速、更流畅地传输，满足人们对于数字内容的需求。

以下是我们小组在网络上找到的关于各大运营商 5G 基站在秦皇岛的分布：

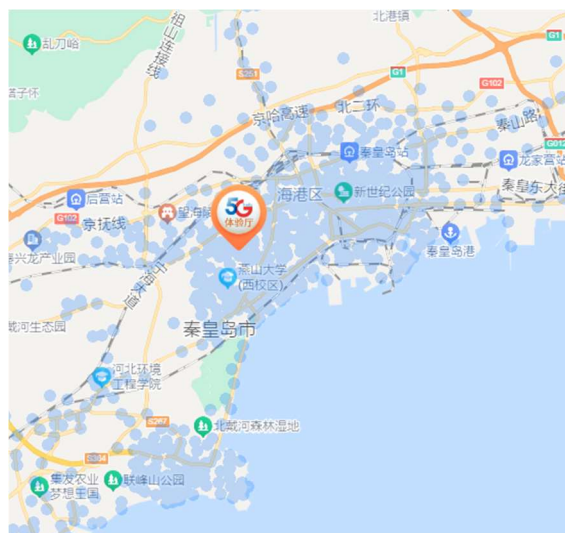


图 1 中国电信 5G 基站在秦皇岛的分布

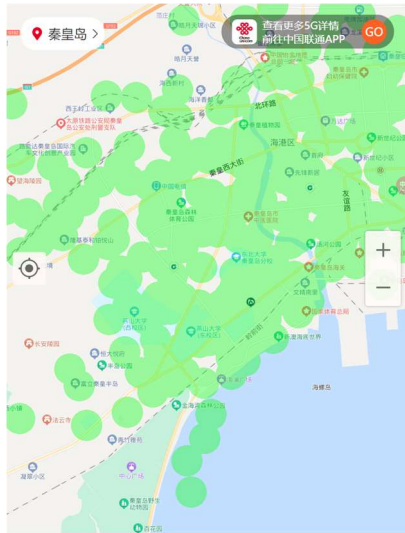


图 2 中国联通 5G 基站在秦皇岛的分布

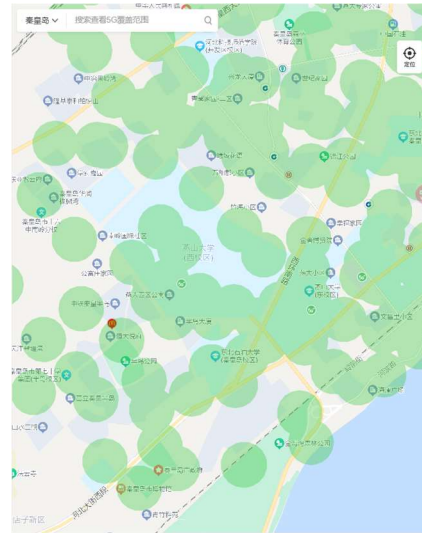


图 3 中国移动 5G 基站在秦皇岛的分布

随着 5G 技术的快速普及和发展，城市和农村的应用场景也逐渐呈现出不同的特点。由于城市中有大量的无线终端需要快速连接，因此需要更多的基站来进行信号覆盖和信号转发，这就使得城市中 5G 的辐射量相对较高。同时，城市中的大楼、道路和其他建筑物等会对信号的传输产生障碍，需要更多的基站来弥补信号的损失和弱化。因此，城市中的基站通常会比较密集，从而带来了一定程度的电磁辐射风险和安全隐患。

相比之下，乡村和偏远地区由于人口和设备密度相对较低，没有城市中那么强烈的需要，因此 5G 基站的密度相对较低，辐射量也相对较少。不过，由于一些基站安装在山林或偏远地带，这些区域对于基站的建设和维护都存在着很高的成本和技术难度，因此在这些区域，基础设施建设和网络覆盖的后劲相对较小。这也使得乡村和偏远地区的 5G 建设相对滞后，对于一些农村地区人口较多的区域或者重要的经济区域，5G 网络的覆盖程度依然需要进一步提高。

## 2、5G 技术的电磁辐射的测量及影响因素

第五代移动通信技术是具有超大带宽、超广连接和超低延时特点的新一代宽带移动通信技术。5G 将成为支撑经济社会数字化、网络化、智能化转型的新基石。5G 基站的技术优势包括大规模 MIMO (multiple-input multiple-output)

和 3D 波束赋形等。5G 基站采用大规模 MIMO 天线技术, 通道数量可达 64T64R; 而传统基站 (2G、3G 以及 4G) 通道数最大 8T8R; 传统基站信号类似从一个平面发射出去, 电磁辐射只能在水平方向传播, 而大规模 MIMO 天线

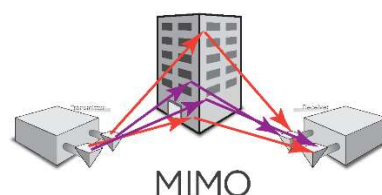


图 4 MIMO 示意图

技术使的信号可以在水平和垂直方向进行传播, 从而实现集中辐射于更小的空间区域内 (如图 1 所示), 从而使基站与终端 (手机等) 之间的射频传输链路上的能量效率更高, 并随用户位置的不同而不同, 将能量定向投放到用户位置, 相对传统宽波束天线可提升信号覆盖, 同时动态的波束赋形也造成基站产生的电磁辐射在基站周围环境中的非均匀分布情况更复杂, 变化更频繁。这些特点也决定了 5G 基站电磁辐射与传统基站有很大的不同。

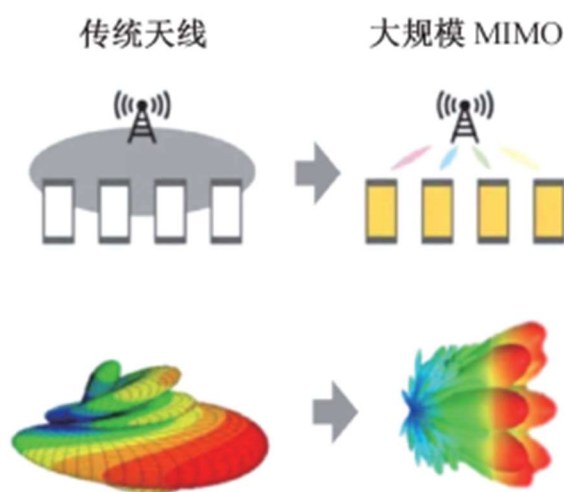


图 5 传统基站和 5G 基站电磁辐射示意图

确定最大电磁辐射的一种测量方法就是所谓电磁场 (EAF) 测量。根据《5G 移动通信基站电磁辐射环境监测方法 (试行)》(H1151-2020) 的要求, 测量 5G 移动通信基站电磁辐射环境时应使用选频式电磁辐射监测仪, 监测仪器的检波方式为方均根检波方式。这种监测方式基于功率监测 (dBm, 通过天线系数 (dB/) 和 /或天线孔径 ( $\text{m}^2$ ), 可以将功率测量结果转换为功率密度 ( $\text{W}/\text{m}^2$ ) 或电场强度 ( $\text{V}/\text{m}$ )。

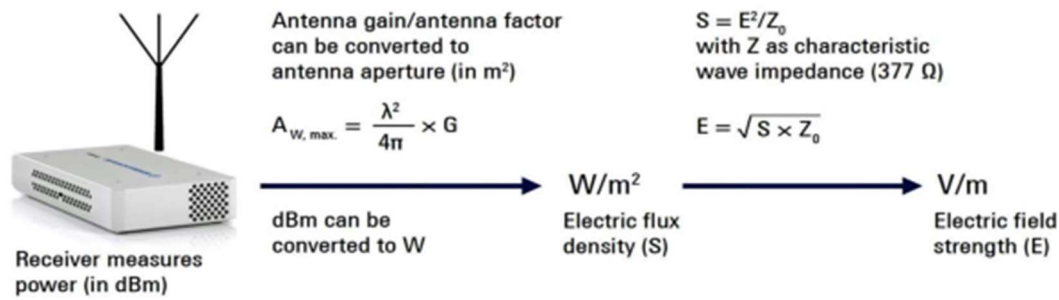


图 6 功率、功率密度和电场强度的关系

若要检测各运营商的功率密度，即坡印廷矢量，要先确定运营商的 5G 信号工作的频段范围，经查可得：

表 1 运营商基站工作频率

基站	频段 (MHz)
2G、4G	800-2500
电信 5G	3400-3500

在该通信基站附近进行了两次监测，基站监测时，5G 终端采用数据传输场景，基站周围没有其他 5G 终端使用 5G 网络，测试终端上网速率为 900M/s，基本占用整个 5G 基站的带宽资源。第一次监测选取基站附近的 3 个监测点位分别进行监测，主要探究 5G 通信基站与 4G 通信基站的辐射环境情况对比，以及 5G 通信基站电磁辐射值在基站附近空间上的分布规律；第二次监测选取该基站附近的某一个固定测点(距离天线的水平距离为 48m，高差为 17m)进行监测，主要探究基站处于不同工作模式时的电磁辐射环境情况。

表 2 第一次监测结果

监测点位	水平距离(m)	高差(m)	监测仪器	监测结果(W/m²)		
				未使用 5G 终端	5G 终端数据传输	5G 终端离开测点 10 m
1	13	2	SEM-600	0.0821	1.2642	/
			SRM-3006	0.0011	0.8658	
2	/	/	SEM-600	0.1163	0.2084	/
			SRM-3006	0.0017	0.0523	
3	53	18	SEM-600	0.0051	0.3487	0.2273
			SRM-3006	0.0010	0.2311	0.1182

当使用 5G 终端上网时，相对未使用 5G 终端进行数据传输，基站电磁辐射



的测值明显升高，该现象出现在所有测点的监测数据中，且与所使用的监测仪器无关。因此可以得出，基站在进行 5G 通信时的电磁辐射值比基站进行 4G 通信时要高。

表 3 第二次监测结果

监测仪器	工作模式				
	未使用 5G 终端	使用 1 个 5G 终端数据传输	使用 2 个 5G 终端数据传输	使用 1 个 5G 终端视频交互	使用 2 个 5G 终端视频交互
SEM-600	0.0065	0.0136	0.0125	0.0068	0.0057
SRM-3006	0.0005	0.0052	0.0059	0.0009	0.0012

根据监测结果可以看出，无论在何种工作模式下，当两台 5G 终端同时工作时，基站的带宽资源要分享给两个用户使用，两个用户共享 900Mb/s 的网速，电磁辐射测值与一个 5G 终端工作时的测值没有明显变化。

对比未使用 5G 终端，在视频交互场景下电磁辐射测值升高不明显，而在数据传输场景时的电磁辐射测值升高比较明显。主要是 5G 终端在视频交互场景下的网络资源占用相对数据传输场景下较少，网络速率通常为 2-5Mb/s，而 5G 终端在数据传输场景下的网络资源占用较高，网络速率可以达到 900Mb/s 的峰值。因此，可以得出 5G 基站的电磁辐射和网络资源占用成正相关，这一特性与 4G 通信基站不同。

上文通过对 4G 和 5G 系统之间相似性与差异性，分析了 5G 通信基站的工作特性对于测量其电磁辐射最大值的影响，总结了在不同条件下 5G 通信基站电磁辐射环境的变化规律。得出以下结论：

①相比于 4G 通信技术，5G 通信技术在频率带宽、正交频分复用技术和物理资源结构等方面有了明显提升。5G 通信系统主要采用时分双工模式，其中下行链路和上行链路传输共享相同的载波频率，由严格的时间表来进行区分。并且，5G 通信基站采用有源天线实现了波束扫描和波束赋形技术，提高了通信基站对用户设备传输数据的效率。

②在各个监测点位，当使用 5G 终端上网时，相对未使用 5G 终端进行数据传输，基站电磁辐射的测值明显升高，该现象与所使用的监测仪器无关。

③4G 通信基站的电磁辐射值在基站所处位置最高，而后随着与基站的水平距离增大而逐渐减小；而 5G 通信基站的电磁辐射值在近场区较小，而在远场区，电磁辐射值随着与基站水平距离增大而逐渐减小。

④相对 2G 和 4G 基站，5G 基站的电磁辐射方向性更强，能够针对终端的具体位置调整电磁波的波束方向，这就是 5G 通信系统的波束赋形技术。

⑤当两台 5G 终端同时工作时，基站的带宽资源要分享给两个用户使用，两个用户共享 900Mb/s 的网速，电磁辐射测值与一个 5G 终端工作时的测值没有明显变化。

⑥对比未使用 5G 终端，在视频交互场景下电磁辐射测值升高不明显，而在数据传输场景时的电磁辐射测值升高比较明显，所以，5G 基站的电磁辐射和网络资源占用成正相关。

⑦由于 5G 通信系统的 TDD(时分双工)技术，当 5G 终端进行下载(数据从基站到终端)时，电磁辐射值增大，当 5G 终端进行上传(数据从终端到基站)时，电磁辐射值和未使用 5G 终端时的测值相当。

### 3、5G 技术对人体健康的影响及措施

5G 技术的广泛应用和大规模建设，引起了人们对于电磁辐射和健康的担忧。所以，在 5G 技术发展的同时，也需要重视其对人体健康可能产生的影响，并采取相应的防护措施。

首先，5G 技术应用的特点决定了它相较于 4G 更有可能对人体造成更大的电磁辐射影响。为了减缓电磁辐射的影响，我们应该注意调整使用设备的时间和频率。此外，在市区建设 5G 基站时，应在严格的规划、管理和监控下设置基站，尽可能远离居民区和工作区。

其次，在高电磁辐射度的区域中，应严格按照相关规定，配备相应的电磁辐射防护设施。例如，可以使用金属吸波材料进行外壳封装，或在较高的电磁辐射区域安装隔离墙等物理防护设备来降低电磁辐射的强度。

人们在使用 5G 终端时，也应注意适当控制其使用时间和频率，同时在使用

时要保持 5G 终端的距离，这样能够有效地减少电磁辐射影响的程度。特别是对于儿童和孕妇等易受电磁辐射危害的人群，应尽量避免使用 5G 设备，或控制使用时间和频率。

当然，5G 技术虽然可能带来一定的电磁辐射危害，但我们也不能忽视其带来的诸多优势。为了更好地发挥 5G 技术的优势，并更好地保障人们的健康，我们要积极采取有效的保护措施，不断优化 5G 技术建设，进一步深化公众对于电磁辐射风险的认识，对电磁辐射的监测和防护要层层加码，确保 5G 技术的安全性与可持续性。

此外，在保障健康的同时，数字科技的用户也应该尽可能地利用好这些科技所提供的便利。所以，在使用 5G 技术的过程中，我们应该控制使用时间，注意设备的频率和距离，同时合理安排生活，积极参加娱乐活动，保持身体健康。

#### 四、5G 信号波束赋形的 MATLAB 仿真

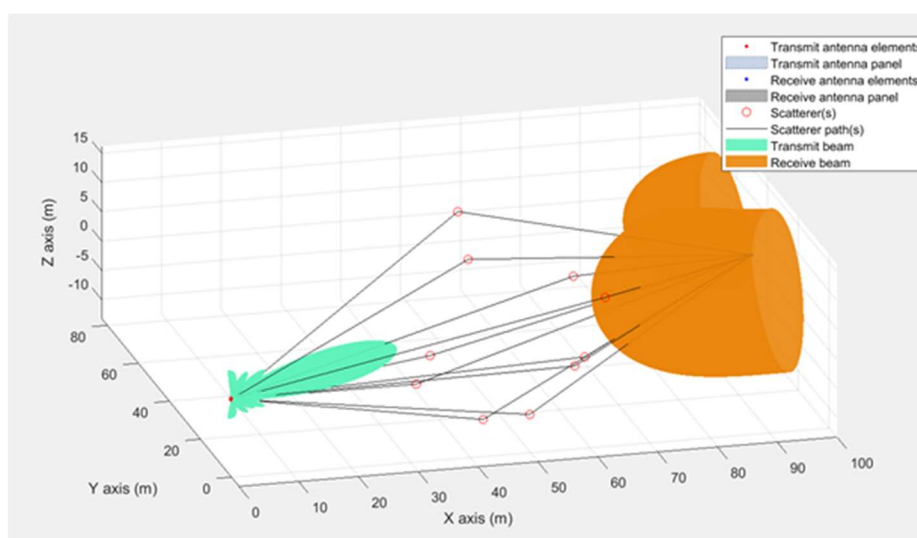


图 7 5G 信号在 MATLAB 的空间视景仿真

图 7 示出了使用 MATLAB 模拟的 3D 空间场景，其包括了一部分的所选波束。随着信道条件的增加，引入了多个散射体。这种方法给出了模拟场景的更真实的视图。

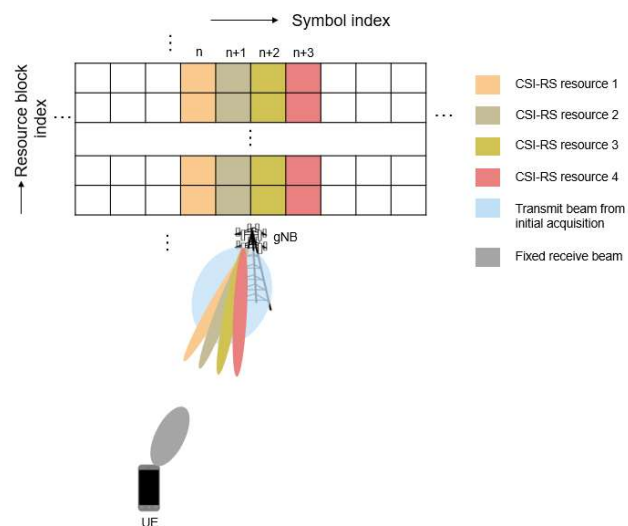


图 8 5G 基于 CSI-RS 的发送端波束细化

在建立初始波束之后，获得具有高方向性和高增益的单播数据传输需要比 SSB 波束精细得多的波束。因此，通过使用来自初始获取过程的波束的角度范围内的更精细波束，在不同方向上配置和发送一组参考信号资源。然后，UE 通过用固定的接收波束捕获信号来测量所有这些波束。最后，基于所有发射波束上的 RSRP 测量来选择最佳发射波束。

该过程集中于发送端波束细化，其中通过保持接收波束固定，在发送端发生波束扫描。该过程基于用于下行链路发送端波束细化的非零功率 CSI-RS 和用于上行链路发送端波束细化的 SRS。

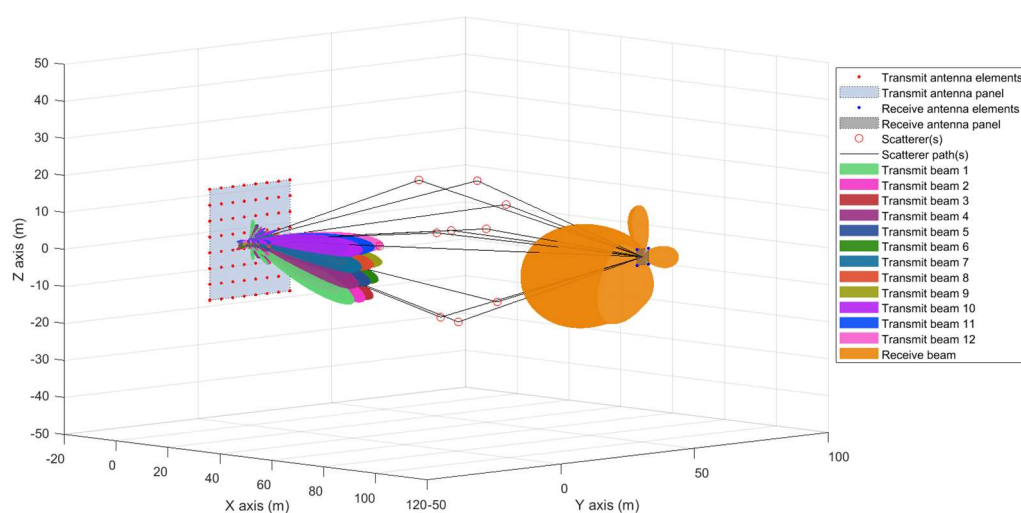


图 9 在 MATLAB 的空间视景仿真 MATLAB

图 9 描绘了使用 MATLAB 模拟的 3D 散射 MIMO 场景。这包括发射和接收天线阵列波束图案、多个散射体位置及其路径。



图 10 实际空间中 5G 信号在 MATLAB 中的仿真

由图 10 电磁辐射在实际场景中的仿真，可以验证 5G 信号电磁辐射的以下特点：

1. 高频率：5G 信号的频率较高，可达到毫米波段（mmWave）范围内，通常在 24GHz 或以上。这种高频信号的电磁波在传输时会更容易受到大气或建筑物的干扰，从而限制了传输距离和传输速率。

2. 窄波束：为实现更高的数据传输速率和更广的覆盖范围，5G 信号通常会使用定向天线的形式，形成较窄的波束。这种技术可以使信号更加集中地传输，但也会增加电磁波的密度，在高功率传输时可能对人体造成更高的辐射风险。

3. 大功率：为了达到更高的传输速率，5G 信号通常需要大功率传输。这种高功率传输在较短的时间内会产生更大的辐射剂量，从而增加了人体受到伤害的风险。

4. 扩散性较强：5G 信号的辐射通常会弥散至周围，透过围墙达到室内，从而增加了人体暴露在电磁辐射下的时间和范围，进一步增加健康风险。

以下是其中一部分 MATLAB 代码：

```
% Calculate the steering vectors for all active CSI-RS resources
wT = zeros(nTx,numBeams);
for beamIdx = 1:numBeams
```

```

    tempW = txArrayStv(fc,csirsBeamAng(:,beamIdx));
    wT(:,beamIdx) = tempW;
end

%% Apply digital beamforming
ports = csirs.NumCSIRSPorts(1);           % Number of CSI-RS
antenna ports
activeRes = find(logical(csirsTransmitted)); % Get the active NZP-
CSI-RS resource indices
bfGrid = nrResourceGrid(carrier,nTx);      % Initialize the
beamformed grid
for resIdx = 1:numNZPRes
    % Initialize carrier resource grid for one slot and map NZP-CSI-RS
symbols onto grid
    txSlotGrid = nrResourceGrid(carrier,ports);
    txSlotGrid(csirsInd{resIdx}) = db2mag(powerCSIRS)*csirsSym{resIdx};
    reshapedSymb = reshape(txSlotGrid,[],ports);

    % Get the transmit beam index
    beamIdx = find(activeRes == resIdx);

    % Apply digital beamforming using the determined weights
    if ~isempty(beamIdx)
        bfSymb = reshapedSymb * wT(:,beamIdx)';
        bfGrid = bfGrid + reshape(bfSymb,size(bfGrid));
    end
end
end

```

## 五、心得体会

经过小组成员的讨论，我深刻地认识到了 5G 技术对电磁辐射的影响及其评估的重要性。

在 5G 技术的发展过程中，其更广泛的频段和更高的带宽意味着更强的电磁辐射可能会对人们的健康产生潜在的影响风险。针对这种情况，我们需要对电磁辐射进行评估和监测，采取一系列的防护措施，以降低其对人们的健康所造成的潜在风险与危害。

在电磁辐射的评估方面，我们需要采用一些现代化的电磁辐射监测技术，对 5G 基站的电磁辐射值以及场强的变化、分布等多个方面的指标进行测量和评估。最终得到的各种电磁辐射参数将会为我们提供大量的数据，以便我们能够

更加精确地了解 5G 技术在不同条件下对人体的辐射程度。

除了对 5G 基站的监测和评估，我们还可以采取多种有效的防护措施来降低电磁辐射对人体的潜在影响风险。例如，采用金属吸波材料进行外壳封装、隔离墙的设置、较为开阔或者偏远的位置等防护措施。此外，还可以通过控制使用时间和频率、保持 5G 终端的距离、保持生活方式的多样性和良好的健康习惯等个人行为上控制其对人体的影响。

总的来说，每一项新的科技都将会对整个社会产生重要的影响，其可能捕获和激发的热情是不能被忽视的。因此，不仅要重视 5G 技术的好处，也不应忽视其可能产生的潜在危害。作为一个有远见的社会成员，我们需要了解其正面和负面影响，并采取各种措施来确保 5G 技术的安全和稳健发展。

参考文献:

- [1] 吴少旭, 张晓东, 贝新宇. 5G通信基站工作特性及其电磁辐射问题研究. 工业北京地质研究院, 北京 2021, 11(3), 94-101
- [2] 张保增, 杜喜臣, 马晓. 5G移动通信基站电磁辐射测量评价. 核工业北京地质研究院, 北京 2022, 5(3), 42-3
- [3] 通往5G之路: 无线系统的仿真和原型实现 视频 - MATLAB (mathworks.com)
- [4] Understanding 5G Beam Management-MATLAB & Simulink (mathworks.com)
- [5] <https://www.youtube.com/watch?v=NZtMrEPjpQ4>
- [6] [https://www.sohu.com/a/452022857\\_169228](https://www.sohu.com/a/452022857_169228)