



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 106209284 A

(43)申请公布日 2016.12.07

(21)申请号 201610533739.8

(22)申请日 2016.07.07

(71)申请人 北京邮电大学

地址 100876 北京市海淀区西土城路10号

(72)发明人 王卫民 刘元安 李牧原 吴永乐

苏明 黎淑兰 于翠屏

(74)专利代理机构 北京柏杉松知识产权代理事

务所(普通合伙) 11413

代理人 项京 马敬

(51) Int. Cl.

H04B 17/391(2015.01)

H04B 17/00(2015.01)

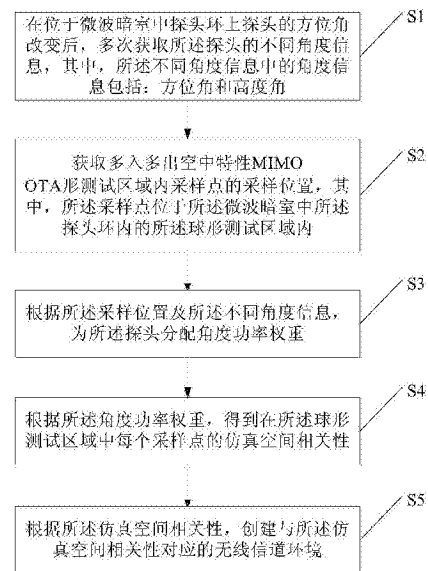
权利要求书3页 说明书11页 附图11页

(54)发明名称

一种MIMO OTA 信道的创建方法及装置

(57)摘要

本发明公开了一种MIMO OTA信道的创建方法及装置,其中创建方法包括:在位于微波暗室中探头环上探头的方位角改变后,多次获取探头的不同角度信息,其中,不同角度信息中的角度信息包括:方位角和高度角;获取多入多出空中特性MIMO OTA形测试区域内采样点的采样位置,其中,采样点位于所述微波暗室中探头环内的球形测试区域内;根据采样位置及不同角度信息,为探头分配角度功率权重;根据角度功率权重,得到在球形测试区域中每个采样点的仿真空间相关性;根据仿真空间相关性,创建与仿真空间相关性对应的无线信道环境。在基于微波暗室的MIMO OTA的测试时为多入多出MIMO测试设备创建一个准确真实且可重复的无线信道环境。



1. 一种MIMO OTA信道的创建方法,其特征在于,包括:

在位于微波暗室中探头环上探头的方位角改变后,多次获取所述探头的不同角度信息,其中,所述不同角度信息中的角度信息包括:方位角和高度角;

获取多入多出空中特性MIMO OTA测试区域内采样点的采样位置,其中,所述采样点位于所述微波暗室中所述探头环内的所述球形测试区域内;

根据所述采样位置及所述不同角度信息,为所述探头分配角度功率权重;

根据所述角度功率权重,得到在所述球形测试区域中每个采样点的仿真空间相关性;

根据所述仿真空间相关性,创建与所述仿真空间相关性对应的无线信道环境。

2. 如权利要求1所述的MIMO OTA信道的创建方法,其特征在于,所述根据所述采样位置及所述不同角度信息,为所述探头分配角度功率权重,包括:

根据所述采样位置及所述不同角度信息,根据凸优化算法,为所述探头分配角度功率权重。

3. 根据权利要求2所述的MIMO OTA信道的创建方法,其特征在于,所述根据所述采样位置及所述不同角度信息,根据凸优化算法,为所述探头分配角度功率权重,包括:

根据所述采样位置及所述不同角度信息,确定所述球形测试区域内所述采样点的理想空间相关性;

根据所述采样位置、所述不同角度信息及所述理想空间相关性,根据凸优化算法,为所述探头分配角度功率权重。

4. 根据权利要求3所述的MIMO OTA信道的创建方法,其特征在于,所述根据所述采样位置及所述不同角度信息,根据凸优化算法,为所述探头分配角度功率权重,包括:

在  $\min_{\omega(m)} \left\| \hat{\rho} - \rho \right\|_2^2$  时,根据凸优化算法,为所述探头分配角度功率权重;或

在  $\min_{\omega(m)} \max_j \left| \hat{\rho} - \rho \right|$  时,根据凸优化算法,为所述探头分配角度功率权重;

其中,  $\left| \hat{\rho} - \rho \right|$  是指仿真空间相关性与理想空间相关性之间的误差,  $\hat{\rho} = \sum_{m=1}^M \omega_m \exp \left[ jk (\vec{r}_u - \vec{r}_v) \cdot \vec{\phi}_m \right]$ ,

$\hat{\rho}$  为仿真空间相关性,  $\omega_m$  为第m个探头的角度功率权重, m的取值为正整数,  $\vec{r}_u$  和  $\vec{r}_v$  是所述球形测试区域上包含所述采样点的采样位置的向量,所述采样点为两个相对球形测试区域球心对称的球面上的采样点, j为欧拉公式中的虚数单位, k为波数, 满足  $k = \frac{2\pi}{\lambda}$ ,  $\lambda$  为波长,  $\vec{\phi}_m$  为第m个探头的方位角;

$\rho = \oint \exp \left[ jk (\vec{r}_u - \vec{r}_v) \cdot \vec{\Omega} \right] P(\Omega) d\Omega$ ,  $\rho$  为理想空间相关性,  $\vec{r}_u$  和  $\vec{r}_v$  为球形测试区域球面上包含位置信息的向量,所述采样点两个相对球形测试区域球心对称的球面上的采样点, j为欧拉公式中的虚数单位, k为波数, 满足  $k = \frac{2\pi}{\lambda}$ ,  $\lambda$  为波长,  $P(\Omega) = P(\theta)P(\phi) \cos\theta$ ,  $\theta$

为所述探头的高度角,  $\phi$  为所述探头的方位角。

5. 根据权利要求1所述的MIMO OTA信道的创建方法, 其特征在于, 所述根据所述探头的角度功率权重, 得到在所述球形测试区域中每个采样点的仿真空间相关性, 包括:

代入所述角度功率权重至公式:  $\hat{\rho} = \sum_{m=1}^M \omega_m \exp \left[ jk (\vec{r}_u - \vec{r}_v) \cdot \vec{\phi}_m \right]$  内, 计算得到在所述球形测试区域中每个采样点的仿真空间相关性;

其中,  $\hat{\rho}$  为仿真空间相关性,  $\omega_m$  为第m个探头的角度功率权重, m的取值为正整数,  $\vec{r}_u$  和  $\vec{r}_v$  是所述球形测试区域上包含所述采样点的采样位置的向量, 所述采样点为两个相对球形测试区域球心对称的球面上的采样点, j为欧拉公式中的虚数单位, k为波数, 满足  $k = \frac{2\pi}{\lambda}$ ,  $\lambda$  为波长,  $\vec{\phi}_m$  为第m个探头的方位角。

6. 一种MIMO OTA信道的创建装置, 其特征在于, 包括:

获取角度信息模块, 用于在位于微波暗室中探头环上探头的方位角改变后, 多次获取所述探头的不同角度信息, 其中, 所述不同角度信息中的角度信息包括: 方位角和高度角;

获取采样位置模块, 用于获取球形测试区域内采样点的采样位置, 其中, 所述采样点位于所述微波暗室中所述探头环内的所述球形测试区域内;

分配模块, 用于根据所述采样位置及所述不同角度信息, 为所述探头分配角度功率权重;

处理模块, 用于根据所述角度功率权重, 得到在所述球形测试区域中每个采样点的仿真空间相关性;

创建模块, 用于根据所述仿真空间相关性, 创建与所述仿真空间相关性对应的无线信道环境。

7. 如权利要求6所述的MIMO OTA信道的创建装置, 其特征在于, 所述分配模块, 包括:

第一分配子模块, 用于根据所述采样位置及所述不同角度信息, 根据凸优化算法, 为所述探头分配角度功率权重。

8. 根据权利要求7所述的MIMO OTA信道的创建装置, 其特征在于, 所述第一分配子模块, 包括:

确定子模块, 用于根据所述采样位置及所述不同角度信息, 确定所述球形测试区域内所述采样点的理想空间相关性;

第二分配子模块, 用于根据所述采样位置、所述角度信息及所述理想空间相关性, 根据凸优化算法, 为所述探头分配角度功率权重。

9. 根据权利要求8所述的MIMO OTA信道的创建装置, 其特征在于, 所述第二分配子模块进一步用于:

在  $\min_{\omega(m)} \left\| \hat{\rho} - \rho \right\|_2^2$  时, 根据凸优化算法, 为所述探头分配角度功率权重; 或

在  $\min_{\omega(m)} \max_j \left| \hat{\rho} - \rho \right|$  时, 根据凸优化算法, 为所述探头分配角度功率权重;

其中,  $\left| \hat{\rho} - \rho \right|$  是指仿真空间相关性与理想空间相关性之间的误差,

$\hat{\rho} = \sum_{m=1}^M \omega_m \exp \left[ jk \left( \vec{r}_u - \vec{r}_v \right) \cdot \vec{\phi}_m \right]$ ,  $\hat{\rho}$  为仿真空间相关性,  $\omega_m$  为第  $m$  个探头的角度功率权重,

$m$  的取值为正整数,  $\vec{r}_u$  和  $\vec{r}_v$  是所述球形测试区域上包含所述采样点的采样位置的向量, 所述采样点为两个相对球形测试区域球心对称的球面上的采样点,  $j$  为欧拉公式中的虚数单位,  $k$  为波数, 满足  $k = \frac{2\pi}{\lambda}$ ,  $\lambda$  为波长,  $\vec{\phi}_m$  为第  $m$  个探头的方位角;

$\rho = \oint \exp \left[ jk \left( \vec{r}_u - \vec{r}_v \right) \cdot \vec{\Omega} \right] P(\Omega) d\Omega$ ,  $\rho$  为理想空间相关性,  $\vec{r}_u$  和  $\vec{r}_v$  是所述球形测试区域上包含所述采样点的采样位置的向量, 所述采样点为两个相对球形测试区域球心对称的球面上的采样点,  $j$  为欧拉公式中的虚数单位,  $k$  为波数, 满足  $k = \frac{2\pi}{\lambda}$ ,  $\lambda$  为波长,  $P(\Omega) = P(\theta)P(\phi) \cos\theta$ ,  $\theta$  为所述探头的高度角,  $\phi$  为所述探头的方位角。

10. 根据权利要求6所述的MIMO OTA信道的创建装置, 其特征在于, 所述处理模块进一步用于:

代入所述角度功率权重至公式:  $\hat{\rho} = \sum_{m=1}^M \omega_m \exp \left[ jk \left( \vec{r}_u - \vec{r}_v \right) \cdot \vec{\phi}_m \right]$  内, 计算得到在所述球形测试区域中每个采样点的仿真空间相关性;

其中,  $\hat{\rho}$  为仿真空间相关性,  $\omega_m$  为第  $m$  个探头的角度功率权重,  $m$  的取值为正整数,  $\vec{r}_u$  和  $\vec{r}_v$  是所述球形测试区域上包含所述采样点的采样位置的向量, 所述采样点为两个相对球形测试区域球心对称的球面上的采样点,  $j$  为欧拉公式中的虚数单位,  $k$  为波数, 满足  $k = \frac{2\pi}{\lambda}$ ,  $\lambda$  为波长,  $\vec{\phi}_m$  为第  $m$  个探头的方位角。

## 一种MIMO OTA信道的创建方法及装置

### 技术领域

[0001] 本发明涉及MIMO(Multiple-Input Multiple-Output,多入多出)设备性能检测技术领域,特别涉及一种多入多出空中特性MIMO OTA(Multiple-Input Multiple-Output Over-the-Air,多入多出空中特性)信道的创建方法及装置。

### 背景技术

[0002] MIMO技术多个天线发射与接收的方式不仅可以成倍地增加信道容量,而且降低了误码率,提高信道容量,这些性能正好满足了近年来通信技术对高数据速率和高可靠性的需求,所以人们对验证MIMO终端设备性能的需求越来越强烈,而MIMO OTA技术作为针对多天线技术的测试方法逐渐受到了广泛的关注。

[0003] 基于微波暗室的MIMO OTA测试方案能够反映MIMO设备在真实环境下的性能,且不需要被测设备有特殊的接口,所以基于微波暗室的MIMO OTA测试方案是MIMO终端设备性能测试的一个优选的测试场景方案。在现有的基于微波暗室的MIMO OTA测试方案如图1所示的测试过程中,首先由基站仿真器发送信号给信道仿真器,通过信道仿真器计算处理所需要的信道环境,计算出经过该信道模型衰落后信号的功率、延时、到达角、角度扩展等信息,把这些信息反映到探头上,也就是给探头分配权重,通过探头发送信号,在被测设备周围创建一个模拟真实可重复的信道传播环境,进而完成对MIMO设备性能的测试。被测设备在这信道环境下的数据信息通过上行链路传送给处理终端即PC(Personal Computer,个人计算机)平台,完成吞吐量测试。其中,上行链路是信号从移动台到基站的物理通道,用来反馈统计下行接收被测设备的数据率。由此可看到,在基于微波暗室的MIMO OTA测试过程中,一个重点也是难点内容就是为MIMO终端设备在球形测试区域周围创建一个真实准确且可重复的无线信道环境,使得对MIMO终端地测试变得真正的可重复、可控制。

[0004] 基于微波暗室的MIMO OTA的测试方案,大多数的标准信道模型是二维信道模型,也就是只定义了方位角,而没有高度角的扩展。这些模型只是在入射角度功率谱的高度角扩展极窄且高度角近似为 $0^{\circ}$ 的情形下可以有效地应用。研究表明在传播环境中并不能忽视高度角扩展,当有高度角扩展存在时才能重现一个更为准确真实的信道传播环境,二维信道模型的假设并不足够重现真实的信道环境,所以为了更好地模拟真实的信道环境,需要将二维信道模型扩展为三维信道模型,而一个二维MIMO OTA测试方案要延伸为一个三维的测试方案,就需要放置在不同水平面的多个探头环,三维MIMO OTA测试方案可以在被测设备周围创建一个球形测试区域,基于微波暗室的三维MIMO OTA测试方案如图1所示,包括三个主要模块,即基站仿真器、信道仿真器及微波暗室,其中微波暗室包括多个探头,以及内壁上的吸波材料。然而现有的三维MIMO OTA物理配置上,如图2和图3所示,从图2和图3中可看出探头环之间的探头有一部分在方位角上是相同的,这就使得水平面上探头的分布并不均匀,进而使得探头物理配置不优化,而在基于微波暗室的MIMO OTA的测试方案时,探头的物理配置方案是一个前提条件,探头的配置方案是否优化直接影响到能否为MIMO被测设备创建一个准确真实且可重复的无线信道环境,而现有这种物理探头配置方案,使得在

基于微波暗室的MIMO OTA的测试时,为被测设备创建的无线信道环境的真实准确性还有待提高。

### 发明内容

[0005] 本发明实施例的目的在于提供一种MIMO OTA信道的创建方法及装置,在三维MIMO OTA测试方案测试时为被测MIMO设备创建一个准确且真实的无线信道环境。

[0006] 为达到上述目的,本发明实施例公开了一种MIMO OTA信道的创建方法,包括:

[0007] 在位于微波暗室中探头环上探头的方位角改变后,多次获取所述探头的不同角度信息,其中,所述不同角度信息中的角度信息包括:方位角和高度角;

[0008] 获取多入多出空中特性MIMO OTA测试区域内采样点的采样位置,其中,所述采样点位于所述微波暗室中所述探头环内的所述球形测试区域内;

[0009] 根据所述采样位置及所述不同角度信息,为所述探头分配角度功率权重;

[0010] 根据所述角度功率权重,得到在所述球形测试区域中每个采样点的仿真空间相关性;

[0011] 根据所述仿真空间相关性,创建与所述仿真空间相关性对应的无线信道环境。

[0012] 本发明实施例还公开了一种MIMO OTA信道的创建装置,包括:

[0013] 获取角度信息模块,用于在位于微波暗室中探头环上探头的方位角改变后,多次获取所述探头的不同角度信息,其中,所述不同角度信息中的角度信息包括:方位角和高度角;

[0014] 获取采样位置模块,用于获取球形测试区域内采样点的采样位置,其中,所述采样点位于所述微波暗室中所述探头环内的所述球形测试区域内;

[0015] 分配模块,用于根据所述采样位置及所述不同角度信息,为所述探头分配角度功率权重;

[0016] 处理模块,用于根据所述角度功率权重,得到在所述球形测试区域中每个采样点的仿真空间相关性;

[0017] 创建模块,用于根据所述仿真空间相关性,创建与所述仿真空间相关性对应的无线信道环境。

[0018] 本发明实施例通过获取位于微波暗室中探头环上探头的方位角和高度角;获取采样点的采样位置;根据采样位置及所述角度信息,为所述探头分配角度功率权重;根据所述角度功率权重,得到在所述球形测试区域中每个采样点的仿真空间相关性;根据所述仿真空间相关性,创建与所述仿真空间相关性对应的无线信道环境,为被测设备创建更加真实准确的无线信道环境。本发明实施例还通过改变探头的角度信息,使得探头分配更优化,进而在球形被测区域创建准确真实且可重复的无线信道环境,同时本发明的对物理探头角度信息的改变简便且易实现,不需要探头选择算法来选择某探头是否连接信道仿真器,且固定的探头物理分布,可以减少探头因移动造成的偏差。当然,实施本发明的任一产品或方法必不一定需要同时达到以上所述的所有优点。

### 附图说明

[0019] 为了更清楚地说明本发明实施例或现有技术中的技术方案,下面将对实施例或现

有技术描述中所需要使用的附图作简单地介绍,显而易见地,下面描述中的附图仅仅是本发明的一些实施例,对于本领域普通技术人员来讲,在不付出创造性劳动的前提下,还可以根据这些附图获得其他的附图。

[0020] 图1为本发明实施例的基于微波暗室的三维MIMO OTA测试方案示意图;

[0021] 图2为现有技术的三维MIMO OTA物理探头配置方案正视图;

[0022] 图3为现有技术图2的俯视图;

[0023] 图4为本发明实施例MIMO OTA信道的创建方法的流程图;

[0024] 图5为本发明实施例MIMO OTA球形测试区域示意图;

[0025] 图6为本发明实施例第一种物理探头配置方案正视图;

[0026] 图7为本发明实施例图6的俯视图;

[0027] 图8为现有技术的物理探头配置方案min-sum方法对应的空间相关性误差示意图;

[0028] 图9为现有技术的物理探头配置方案min-max方法对应的空间相关性误差示意图;

[0029] 图10为本发明实施例第一种物理探头配置方案min-sum方法对应的空间相关性误差示意图;

[0030] 图11为本发明实施例第一种物理探头配置方案min-max方法对应的空间相关性误差示意图;

[0031] 图12为本发明实施例第二种物理探头配置方案的正视图;

[0032] 图13为本发明实施例图12的俯视图;

[0033] 图14为本发明实施例第二种物理探头配置方案min-sum方法对应的空间相关性误差示意图;

[0034] 图15为本发明实施例第二种物理探头配置方案min-max方法对应的空间相关性误差示意图;

[0035] 图16为本发明实施例MIMO OTA信道的创建装置图。

### 具体实施方式

[0036] 下面将结合本发明实施例中的附图,对本发明实施例中的技术方案进行清楚、完整地描述,显然,所描述的实施例仅仅是本发明一部分实施例,而不是全部的实施例。基于本发明中的实施例,本领域普通技术人员在没有做出创造性劳动前提下所获得的所有其他实施例,都属于本发明保护的范围。

[0037] 结合附图中图4所示的本发明实施例MIMO OTA信道的创建方法的流程图,详细说明本发明实施例的方法,主要包括如下步骤:

[0038] 步骤S1,在位于微波暗室中探头环上探头的方位角改变后,多次获取所述探头的不同角度信息,其中,所述不同角度信息中的角度信息包括:方位角和高度角;

[0039] 本步骤S1,获取微波暗室中探头环上探头的方位角和高度角基于微波暗室的MIMO OTA的测试方案时,探头的物理配置方案是一个前提条件。所以在进行本发明实施例MIMO OTA信道的创建之前,首先需要在位于微波暗室中探头环上探头的方位角改变后,多次获取所述探头的不同角度信息,其中,所述不同角度信息中的角度信息包括:方位角和高度角。

[0040] 改变微波暗室中探头环上探头的方位角,保持现有探头配置方案中的高度角的角度不变,只定义方位角而没有高度角的扩展,只有在入射角度功率谱的高度角扩展极窄且

高度角近似为 $0^\circ$ 的情形下可以有效地应用,所以不能忽略高度角的存在。而本发明实施例不仅定义了方位角,也将角度的定义扩展到了高度角,这样使得探头可以模拟各个方向(簇)的信号到达角及各个方向(簇)的信号的角度扩展。在探头的方位角改变后,多次获取位于微波暗室中探头环上探头的不同角度信息。其中,角度信息包括方位角和高度角。

[0041] 步骤S2,获取MIMO OTA形测试区域内采样点的采样位置,其中,所述采样点位于所述微波暗室中所述探头环内的所述球形测试区域内;

[0042] 为测试设备在球形测试区域创建无线信道环境是通过再现球形测试区域的各个采样点的空间特性实现的,所以需要获取采样点的采样位置,其中,球形测试区域示意图如图5所示。

[0043] 步骤S3,根据所述采样位置及所述不同角度信息,为所述探头分配角度功率权重;

[0044] 步骤S4,根据所述角度功率权重,得到在所述球形测试区域中每个采样点的仿真空间相关性;

[0045] 本步骤中,得到各个采样点处的仿真空间相关性,即球形测试区域中所需要创建的无线信道环境的仿真空间相关性。

[0046] 步骤S5,根据所述仿真空间相关性,创建与所述仿真空间相关性对应的无线信道环境。

[0047] 根据上述步骤S3中所述采样位置及所述不同角度信息确定理想空间相关性,其中,理想空间相关性是一个确定的值,根据所述仿真空间相关性,仿真空间相关性与理想空间相关性误差更小,说明能更好地再现信道空间特性,创建一个更真实的无线信道环境。

[0048] 步骤S1中在位于微波暗室中探头环上探头的方位角改变后,多次获取所述探头的不同角度信息,其中,所述不同角度信息中的角度信息包括:方位角和高度角。本发明实施例中,探头的方位角改变,可以实现对探头进行不同物理配置,具体有两种物理探头配置方案。

[0049] 其中,第一种探头物理配置方案相比较于图2所示的探头物理配置方案图中16个黑色圆点代表16个探头,中心灰色区域代表了MIMO OTA球形测试区域。16个探头的最初探头配置上中下三个探头环即第一探头环、第二探头环和第三探头环中探头数分别为4、8、4,各自方位角 $\phi_{1i} = -180^\circ + i \cdot 90^\circ, i \in [1, \dots, 4]$ ,  $\phi_{2i} = -180^\circ + i \cdot 45^\circ, i \in [1, \dots, 8]$ ,  $\phi_{3i} = -180^\circ + i \cdot 90^\circ, i \in [1, \dots, 4]$ ,如图3所示,改变探头方位角,保持高度角的角度不变,保持上探头环和下探头环中探头的位置不变,上探头环即第一探头环上的4个探头的方位角分别为 $\phi_{1i} = -180^\circ + i \cdot 90^\circ, i \in [1, \dots, 4]$ ,下探头环即第三探头环上的4个探头的方位角分别为 $\phi_{3i} = -180^\circ + i \cdot 90^\circ, i \in [1, \dots, 4]$ ;改变中间探头环即第二探头环上8个探头的方位角 $\phi$ ,整体移动 $22.5^\circ$ ,即中间探头环即第二探头环上的8个探头的方位角为 $\theta_{2i} = -180^\circ + 45^\circ / 2 + i \cdot 45^\circ, i \in [1, \dots, 8]$ ,高度角为 $\theta_1 = 15^\circ, \theta_2 = 0^\circ, \theta_3 = -15^\circ$ 。将中间探头环即第二探头环上的探头,上探头环和下探头环即第一探头环上和第三探头环上的探头的方位角交错开来,上探头环和下探头环上即第一探头环上,第三探头环上的探头的方位角保持还是完全重合的,上探头环和下探头环即第一探头环和第三探头环对称。具体更改后的物理探头配置方案如图6和图7所示。

[0050] 其中,第二种探头物理配置方案:相比较于图2所示的探头物理配置方案,改变一些探头方位角,保持高度角的角度不变。具体的为保持中间探头环即第二探头环上探头的



位置不变,中间探头环即第二探头环上的8个探头的方位角分别为 $\theta_{2i} = -180^\circ + i \cdot 45^\circ$ ,  $i \in [1, \dots, 8]$ ,改变上探头环和下探头环即第一探头环和第三探头环上探头的方位角,上探头环即第一探头环探头整体移动 $22.5^\circ$ ,下探头环即第三探头环上探头整体移动 $67.5^\circ$ (或 $-22.5^\circ$ ),上探头环即第一探头环上的4个探头的方位角分别为 $\phi_{1i} = -180^\circ + 45^\circ / 2 + i \cdot 90^\circ$ ,  $i \in [1, \dots, 4]$ ,下探头环即第三探头环上的4个探头的方位角分别为 $\phi_{3i} = -180^\circ + 45^\circ * 3 / 2 + i \cdot 90^\circ$ ,  $i \in [1, \dots, 4]$ 。将16个探头的方位角平均分配,将 $360^\circ$ 等分为16份,每隔 $22.5^\circ$ 就有一个探头相对应,即各自方位角分别为 $\phi_i = -180^\circ + i \cdot 22.5^\circ$ ,  $i \in [1, \dots, 16]$ ,高度角保持图2所示的探头物理配置方案中的高度角不变,具体为 $\theta_1 = 15^\circ$ ,  $\theta_2 = 0^\circ$ ,  $\theta_3 = -15^\circ$ ,具体的更改后的物理探头配置方案示意图如图12和图13所示。

[0051] 在探头的方位角改变后,多次获取位于微波暗室中探头环上探头的不同角度信息。本发明实施例两种方式分别改变三个探头环上探头的方位角使得探头的分配更优化。

[0052] 本发明实施例通过获取位于微波暗室中探头环上探头方位角和高度角;获取位于所述微波暗室中所述探头环内的球形测试区域内采样点的采样位置;根据采样位置及探头的方位角和高度角,为探头分配角度功率权重;根据角度功率权重,得到在所述球形测试区域中每个采样点的仿真空间相关性;根据仿真空间相关性,创建与仿真空间相关性对应的无线信道环境,创建的无线信道环境的仿真空间相关性与理想空间相关性之间的误差,为被测设备创建更加真实准确的无线信道环境。

[0053] 优选的,本发明实施例的MIMO OTA信道的创建方法中,所述步骤S1具体包括:根据所述采样位置及所述不同角度信息,根据凸优化算法,为所述探头分配角度功率权重。

[0054] 这里的凸优化算法中的凸优化是指求取最小值的目标函数为凸函数的一类优化。其中,目标函数为凸函数且定义域为凸集的优化问题称为无约束凸优化问题,而目标函数和不等式约束函数均为凸函数,等式约束函数为仿射函数,并且定义域为凸集的优化问题为约束优化问题,凸优化算法指将某个优化问题确认或者转化为凸优化问题,快速给出最优解的求解过程。

[0055] 优选的,本发明实施例的MIMO OTA信道的创建方法中,所述步骤S3包括:

[0056] 根据所述采样位置及所述不同角度信息,确定所述球形测试区域内所述采样点的理想空间相关性;

[0057] 根据所述采样位置、所述角度信息及所述理想空间相关性,根据凸优化算法,为所述探头分配角度功率权重。

[0058] 根据步骤S1中获得的探头的方位角 $\phi$ 和高度角 $\theta$ 确定球形测试区域功率谱模型。球形功率谱可以建模为高度角 $\theta$ 和方位角 $\phi$ 的函数:

$$[0059] \quad P(\theta, \phi) = P(\theta)P(\phi) \quad (1)$$

[0060] 公式(1)中 $P(\theta)$ 为PES(Power Angular Spectrum of Elevation,高度角角度功率谱), $P(\phi)$ 为PAS(Power Angular Spectrum of Azimuth,方位角角度功率谱)。 $p(\theta, \phi)$ 满足以下条件:

$$[0061] \quad \oint P(\Omega) d\Omega = \int_{-\pi}^{\pi} \int_{-\pi/2}^{\pi/2} P(\theta, \phi) \cos \theta d\theta d\phi = 1 \quad (2)$$

[0062] 公式(2)中, $P(\Omega)$ 为球形角度功率谱函数,要满足对 $\theta$ 与 $\phi$ 积分为1。

$$[0063] \quad P(\Omega) = P(\theta)P(\phi) \cos \theta \quad (3)$$

[0064] 公式(3)中,  $\Omega$  为一个表示立体角的单位向量,  $\theta$  为高度角,  $\phi$  为方位角。

[0065] PAS可以适用高斯分布、均匀分布、截断拉普拉斯分布, PES可以适用高斯分布和截断拉普拉斯分布。其中截断型拉普拉斯功率分布为:

$$[0066] \quad P(\varepsilon) = \frac{Q_L}{\sqrt{2\pi}\sigma} \exp\left(-\frac{\sqrt{2}|\varepsilon - \varepsilon_0|}{\sigma}\right) \quad (4)$$

[0067] 公式(4)中,  $Q_L$  为拉普拉斯分布的比例系数,  $\sigma$  为标准差。

[0068] 根据获得的探头的方位角和高度角确定球形测试区域功率谱模型。由获得的角度功率谱模型, 求取理想空间相关性, 如图5所示, 球面上的黑点代表了球形测试区域的各个采样点, 空间相关性指的是各个采样点处的空间相关性。

[0069] 理想空间相关性即要创建的无线信道环境的理想空间相关性, 理想空间相关性是一个确定的值, 具体的计算可通过下式(5):

$$[0070] \quad \rho = \oint \exp\left[jk(\vec{r}_u - \vec{r}_v) \cdot \vec{\Omega}\right] P(\Omega) d\Omega \quad (5)$$

[0071] 上式(5)中  $\vec{r}_u$  和  $\vec{r}_v$  为球形测试区域球面上包含位置信息的向量, 所述采样点是两个相对球形测试区域球心对称的球面上的采样点,  $j$  为欧拉公式中的虚数单位,  $k$  为波数, 满足  $k = \frac{2\pi}{\lambda}$ ,  $\lambda$  为波长,  $P(\Omega) = P(\theta)P(\phi)\cos\theta$ ,  $\theta$  为所述探头的高度角,  $\phi$  为所述探头的方位角。

[0072] 优选的, 根据采样位置、角度信息及理想空间相关性, 根据凸优化算法, 为探头分配角度功率权重, 包括:

[0073] 在  $\min_{\omega(m)} \left\| \hat{\rho} - \rho \right\|_2^2$  时, 根据凸优化算法, 为所述探头分配角度功率权重; 或

[0074] 在  $\min_{\omega(m)} \max_j \left| \hat{\rho} - \rho \right|$  时, 根据凸优化算法, 为所述探头分配角度功率权重;

[0075] 其中,  $\left| \hat{\rho} - \rho \right|$  是指仿真空间相关性与理想空间相关性之间的误差,  $\hat{\rho} = \sum_{m=1}^M \omega_m \exp\left[jk(\vec{r}_u - \vec{r}_v) \cdot \vec{\phi}_m\right]$ ,  $\hat{\rho}$  为仿真空间相关性,  $\omega_m$  为第  $m$  个探头的角度功率权重,  $m$  的取值为正整数,  $\vec{r}_u$  和  $\vec{r}_v$  是所述球形测试区域上包含所述采样点的采样位置的向量, 所述采样点为两个相对球形测试区域球心对称的球面上的采样点,  $j$  为欧拉公式中的虚数单位,  $k$  为波数, 满足  $k = \frac{2\pi}{\lambda}$ ,  $\lambda$  为波长,  $\vec{\phi}_m$  为第  $m$  个探头的方位角;

[0076]  $\rho = \oint \exp\left[jk(\vec{r}_u - \vec{r}_v) \cdot \vec{\Omega}\right] P(\Omega) d\Omega$ ,  $\rho$  为理想空间相关性,  $\vec{r}_u$  和  $\vec{r}_v$  为球形测试区域球面上包含位置信息的向量, 代表了两个相对球形测试区域球心对称的球面上的采样点,  $j$  为欧拉公式中的虚数单位,  $k$  为波数, 满足  $k = \frac{2\pi}{\lambda}$ ,  $\lambda$  为波长,  $P(\Omega) = P(\theta)P(\phi)\cos\theta$ ,  $\theta$  为所述探头的高度角,  $\phi$  为所述探头的方位角。

[0077] 根据采样点的采样位置、探头的角度信息及理想空间相关性, 根据凸优化算法, 为

探头分配角度功率权重。计算每个采样点的理想空间相关性和仿真空间相关性的误差 $\left| \hat{\rho} - \rho \right|$ ，使理想空间相关性和仿真空间相关性的误差 $\left| \hat{\rho} - \rho \right|$ 最小，根据凸优化算法求解，获得最优解时的探头权重。因为根据得到的采样点的采样位置、探头的不同角度信息及理想空间相关性，仿真空间相关性是指实际创建的无线信道环境的空间相关性，由离散角度功率谱来确定。具体通过下式(6)计算：

$$[0078] \quad \hat{\rho} = \sum_{m=1}^M \omega_m \exp \left[ jk \left( \vec{r}_u - \vec{r}_v \right) \cdot \vec{\phi}_m \right] \quad (6)$$

[0079] 上式(6)中 $\hat{\rho}$ 为仿真空间相关性， $\omega_m$ 为第m个探头的角度功率权重，m的取值为正整数， $\vec{r}_u$ 和 $\vec{r}_v$ 是所述球形测试区域上包含所述采样点的采样位置的向量，所述采样点为两个相对球形测试区域球心对称的球面上的采样点，j为欧拉公式中的虚数单位，k为波数，满足 $k = \frac{2\pi}{\lambda}$ ， $\lambda$ 为波长， $\vec{\phi}_m$ 为第m个探头的方位角。

[0080] 由以上公式(6)可看到探头的功率权重是未知的，使理想空间相关性和仿真空间相关性的误差最小，根据凸优化算法求解，即可获得最优解时的探头权重，为探头分配角度功率权重。

[0081] 使各个采样点理想空间相关性和仿真空间相关性的误差最小可以通过各个采样点中min-sum(误差和的最小化)和采样点中min-max(最大误差的最小化)两种约束求取。min-sum(各个采样点误差和的最小化)计算公式如下式(7)所示：

$$[0082] \quad \min_{\omega(m)} \left\| \hat{\rho} - \rho \right\|_2^2, \quad 0 \leq \omega_m \leq 1, \forall m \in [1, M] \quad (7)$$

[0083] min-max(采样点中最大误差的最小化)计算公式如下式(8)所示：

$$[0084] \quad \min_{\omega(m)} \max_j \left| \hat{\rho} - \rho \right|, \quad 0 \leq \omega_m \leq 1, \forall m \in [1, M] \quad (8)$$

[0085] 优选的，本发明实施例的MIMO OTA信道的创建方法中，所述步骤S4，包括：

[0086] 代入所述角度功率权重至公式： $\hat{\rho} = \sum_{m=1}^M \omega_m \exp \left[ jk \left( \vec{r}_u - \vec{r}_v \right) \cdot \vec{\phi}_m \right]$ 内，计算得到

在所述球形测试区域中每个采样点的仿真空间相关性；

[0087] 其中， $\hat{\rho}$ 为仿真空间相关性， $\omega_m$ 为第m个探头的角度功率权重，m的取值为正整数， $\vec{r}_u$ 和 $\vec{r}_v$ 是所述球形测试区域上包含所述采样点的采样位置的向量，所述采样点为两个相对球形测试区域球心对称的球面上的采样点，j为欧拉公式中的虚数单位，k为波数，满足 $k = \frac{2\pi}{\lambda}$ ， $\lambda$ 为波长， $\vec{\phi}_m$ 为第m个探头的方位角。

[0088] 将得到的探头角功率权重代入仿真空间相关性计算公式(6)和理想空间相关性的

计算公式(5)中得到各个采样点的理想空间相关性和仿真空间相关性,计算各个采样点处仿真空间相关性与理想空间相关性的误差。

[0089] 对应于本发明实施例中第一种物理探头配置方案,通过min-sum这种方法计算得到的各个采样点处仿真空间相关性与理想空间相关性的误差,即所对应的空间相关性误差如图10所示;通过min-max这种方法计算得到的各个采样点处仿真空间相关性与理想空间相关性的误差,即所对应的空间相关性误差如图11所示;相比较于现有的物理探头配置方案得到的各个采样点处仿真空间相关性与理想空间相关性的误差,具体的通过min-sum这种方法计算得到的各个采样点处仿真空间相关性与理想空间相关性的误差,即所对应的空间相关性误差如图8所示;通过min-max这种方法计算得到的各个采样点处仿真空间相关性与理想空间相关性的误差,即所对应的空间相关性误差如图9所示。

[0090] 对应于本发明实施例中第二种物理探头配置方案,通过min-sum这种方法计算得到的各个采样点处仿真空间相关性与理想空间相关性的误差,即所对应的空间相关性误差如图14所示;通过min-max这种方法计算得到的各个采样点处仿真空间相关性与理想空间相关性的误差,即所对应的空间相关性误差如图15所示。

[0091] 比较图8、图9、图10、图11、图14及图15可看出,图8中各个采样点处空间相关性误差最高值为0.1,大部分采样点处的空间相关性误差在0.05以下,而图10中采样点处空间相关性误差最高值为0.045,大部分采样点处误差均在0.02以下,图14中各个采样点处相关性空间相关性误差最高值为0.085,大部分采样点处的相关性空间相关性误差均在0.04以下;图9中各个采样点处的相关性空间相关性误差整体在0.07以下,而图11中各个采样点处的空间相关性误差整体在0.035以下,图15中各个采样点处的空间相关性误差0.04以下的采样点居多。通过图8、图9、图10、图11、图14、图15的仿真实验结果,可得到通过更改后的物理配置方案,创建的无线信道环境的仿真空间相关性与理想空间相关性的误差相比较于通过原有的物理配置方案,创建的无线信道环境的仿真空间相关性与理想空间相关性的误差小,说明本实施例更改后的物理配置方案比现有的物理探头配置方案优化,相比较于通过现有物理探头配置方案创建的无线信道环境的仿真空间相关性更逼近理想空间相关性,创建的无线信道环境更真实准确且可重复。

[0092] 分析对应于本发明实施例中第一种物理探头配置方案和对应于本发明实施例中第二种物理探头配置方案的方法及仿真实验结果可得到,对应于本发明实施例中第一种物理探头配置方案这种上探头环和下探头环即第一探头环和第三探头环保持对称,没有水平方位角偏差的物理探头配置方案相比较,本发明实施例中第二种物理探头配置方案更优化,进而使得创建的无线信道环境仿真空间相关性与理想空间相关性的误差小,创建的无线信道环境的仿真空间相关性更逼近理想空间相关性,创建的无线信道环境更真实准确且可重复。

[0093] 本发明实施例通过在探头的方位角改变后,多次获取位于微波暗室中探头环上探头的不同角度信息即探头的方位角和高度角,根据探头的不同角度信息及采样点的位置,给探头分配权重,进而在测试区域创建无线信道环境。本发明实施例创建的无线信道环境的仿真空间特性与理想空间特性之间的误差相比较于现有技术创建的无线信道环境的仿真空间特性与理想空间特性之间的误差,也即本发明实施例创建的无线信道环境更逼近真实准确的无线信道环境。

[0094] 本发明实施例还公开了一种MIMO OTA信道的创建装置,应用如上述的MIMO OTA信道的创建方法。

[0095] 结合附图中图16所示的本发明实施例一种MIMO OTA信道的创建装置图,详细说明本发明实施例的装置,主要包括:

[0096] 获取角度信息模块101,用于在位于微波暗室中探头环上探头的方位角改变后,多次获取所述探头的不同角度信息,其中,所述不同角度信息中的角度信息包括:方位角和高度角;

[0097] 获取采样位置模块102,用于获取球形测试区域内采样点的采样位置,其中,所述采样点位于所述微波暗室中所述探头环内的所述球形测试区域内;

[0098] 分配模块103,用于根据所述采样位置及所述不同角度信息,为所述探头分配角度功率权重;

[0099] 处理模块104,用于根据所述角度功率权重,得到在所述球形测试区域中每个采样点的仿真空间相关性;

[0100] 创建模块105,用于根据所述仿真空间相关性,创建与所述仿真空间相关性对应的无线信道环境。

[0101] 本发明实施例通过获取位于微波暗室中探头环上探头方位角和高度角;获取位于所述微波暗室中所述探头环内的球形测试区域内采样点的采样位置;根据采样位置及探头的方位角和高度角,根据凸优化算法,为探头分配角度功率权重;根据角度功率权重,得到在所述球形测试区域中每个采样点的仿真空间相关性;根据仿真空间相关性,创建与仿真空间相关性对应的无线信道环境,创建的无线信道环境的仿真空间相关性与理想空间相关性之间的误差,为被测设备创建更加真实准确的无线信道环境。

[0102] 需要说明的是,本发明实施例的装置是应用上述MIMO OTA信道的创建方法的装置,则上述MIMO OTA信道的创建方法的所有实施例均适用于该装置,且均能达到相同或相似的有益效果。

[0103] 所述分配模块,包括:

[0104] 第一分配子模块,用于根据所述采样位置及所述不同角度信息,根据凸优化算法,为所述探头分配角度功率权重。

[0105] 优选的,所述第一分配子模块,包括:

[0106] 确定子模块,用于根据所述采样位置及所述不同角度信息,确定所述球形测试区域内所述采样点的理想空间相关性;

[0107] 第二分配子模块,用于根据所述采样位置、所述角度信息及所述理想空间相关性,根据凸优化算法,为所述探头分配角度功率权重。

[0108] 优选的,所述第二分配子模块进一步用于:

[0109] 在  $\min_{\omega(m)} \left\| \hat{\rho} - \rho \right\|_2^2$  时,根据凸优化算法,为所述探头分配角度功率权重;或

[0110] 在  $\min_{\omega(m)} \max_j \left| \hat{\rho} - \rho \right|$  时, 根据凸优化算法, 为所述探头分配角度功率权重;

[0111] 其中,  $\left| \hat{\rho} - \rho \right|$  是指仿真空间相关性与理想空间相关性之间的误差,  $\hat{\rho} = \sum_{m=1}^M \omega_m \exp \left[ jk (\vec{r}_u - \vec{r}_v) \cdot \vec{\phi}_m \right]$ ,  $\hat{\rho}$  为仿真空间相关性,  $\omega_m$  为第  $m$  个探头的角度功率权重,  $m$  的取值为正整数,  $\vec{r}_u$  和  $\vec{r}_v$  是所述球形测试区域上包含所述采样点的采样位置的向量, 所述采样点为两个相对球形测试区域球心对称的球面上的采样点,  $j$  为欧拉公式中的虚数单位,  $k$  为波数, 满足  $k = \frac{2\pi}{\lambda}$ ,  $\lambda$  为波长,  $\vec{\phi}_m$  为第  $m$  个探头的方位角;

[0112]  $\rho = \oint \exp \left[ jk (\vec{r}_u - \vec{r}_v) \cdot \vec{\Omega} \right] P(\Omega) d\Omega$ ,  $\rho$  为理想空间相关性,  $\vec{r}_u$  和  $\vec{r}_v$  是所述球形测试区域上包含所述采样点的采样位置的向量, 所述采样点为两个相对球形测试区域球心对称的球面上的采样点,  $j$  为欧拉公式中的虚数单位,  $k$  为波数, 满足  $k = \frac{2\pi}{\lambda}$ ,  $\lambda$  为波长,  $P(\Omega) = P(\theta)P(\phi) \cos\theta$ ,  $\theta$  为所述探头的高度角,  $\phi$  为所述探头的方位角。

[0113] 优选的, 所述处理模块进一步用于:

[0114] 代入所述角度功率权重至公式:  $\hat{\rho} = \sum_{m=1}^M \omega_m \exp \left[ jk (\vec{r}_u - \vec{r}_v) \cdot \vec{\phi}_m \right]$  内, 计算得到在所述球形测试区域中每个采样点的仿真空间相关性;

[0115] 其中,  $\hat{\rho}$  为仿真空间相关性,  $\omega_m$  为第  $m$  个探头的角度功率权重,  $m$  的取值为正整数,  $\vec{r}_u$  和  $\vec{r}_v$  是所述球形测试区域上包含所述采样点的采样位置的向量, 所述采样点为两个相对球形测试区域球心对称的球面上的采样点,  $j$  为欧拉公式中的虚数单位,  $k$  为波数, 满足  $k = \frac{2\pi}{\lambda}$ ,  $\lambda$  为波长,  $\vec{\phi}_m$  为第  $m$  个探头的方位角。

[0116] 本发明实施例通过在探头的方位角改变后, 多次获取位于微波暗室中探头环上探头的不同角度信息即探头的方位角和高度角, 根据探头的不同角度信息及采样点的位置, 给探头分配权重, 进而在测试区域创建无线信道环境。本发明实施例创建的无线信道环境的仿真空间特性与理想空间特性之间的误差相比较于现有技术的创建的无线信道环境的仿真空间特性与理想空间特性之间的误差小, 也即本发明实施例创建的无线信道环境更逼近真实准确的无线信道环境。

[0117] 需要说明的是, 在本文中, 诸如第一和第二等之类的关系术语仅仅用来将一个实体或者操作与另一个实体或操作区分开来, 而不一定要求或者暗示这些实体或操作之间存在任何这种实际的关系或者顺序。而且, 术语“包括”、“包含”或者其任何其他变体意在涵盖非排他性的包含, 从而使得包括一系列要素的过程、方法、物品或者设备不仅包括那些要素, 而且还包括没有明确列出的其他要素, 或者是还包括为这种过程、方法、物品或者设备所固有的要素。在没有更多限制的情况下, 由语句“包括一个……”限定的要素, 并不排除在

包括所述要素的过程、方法、物品或者设备中还存在另外的相同要素。

[0118] 本说明书中的各个实施例均采用相关的方式描述,各个实施例之间相同相似的部分互相参见即可,每个实施例重点说明的都是与其他实施例的不同之处。尤其,对于系统实施例而言,由于其基本相似于方法实施例,所以描述的比较简单,相关之处参见方法实施例的部分说明即可。

[0119] 以上所述仅为本发明的较佳实施例而已,并非用于限定本发明的保护范围。凡在本发明的精神和原则之内所作的任何修改、等同替换、改进等,均包含在本发明的保护范围内。

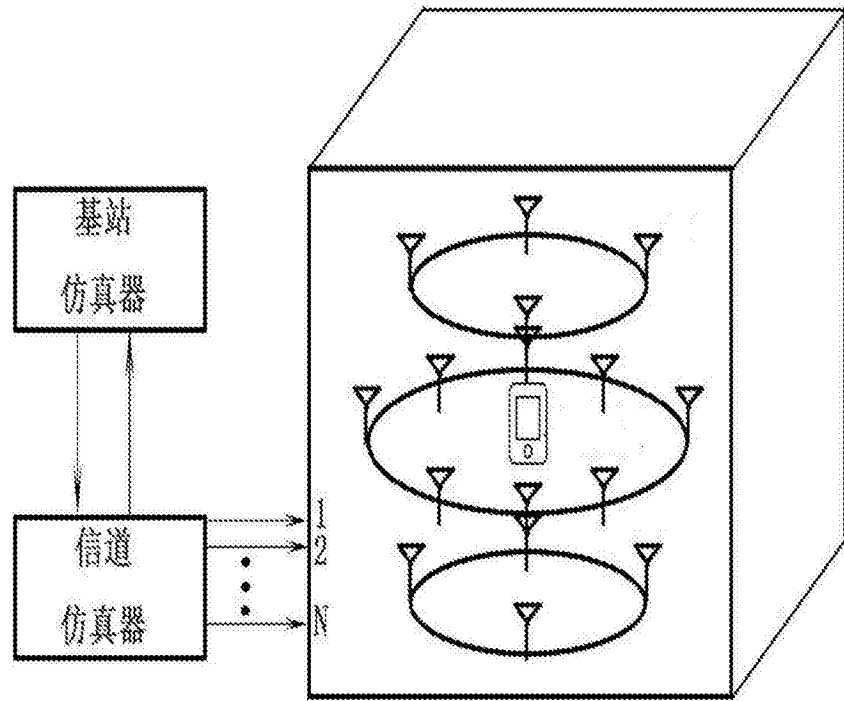


图1

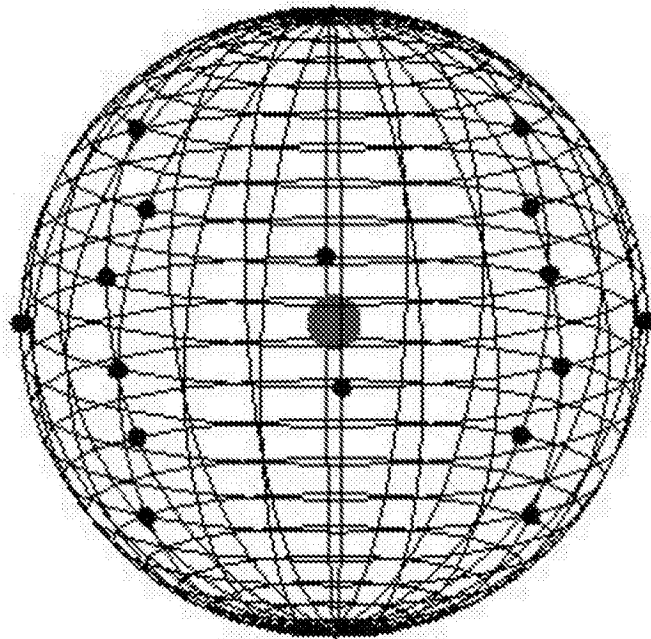


图2



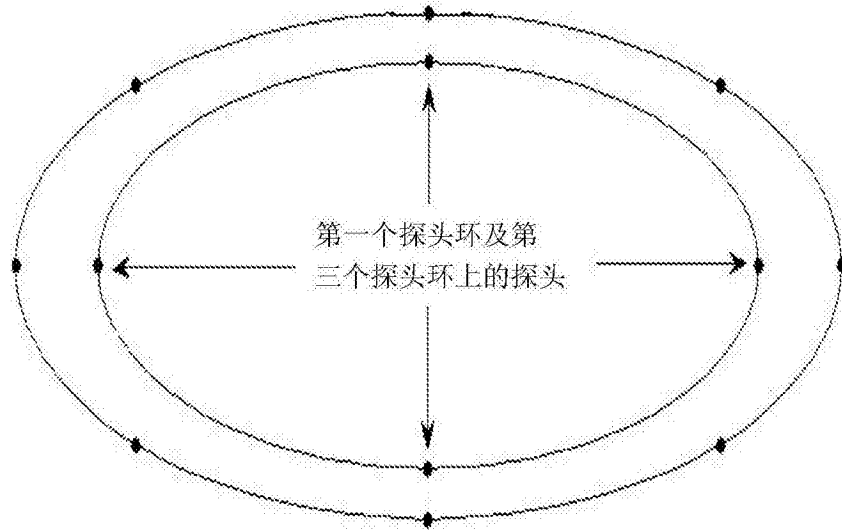


图3

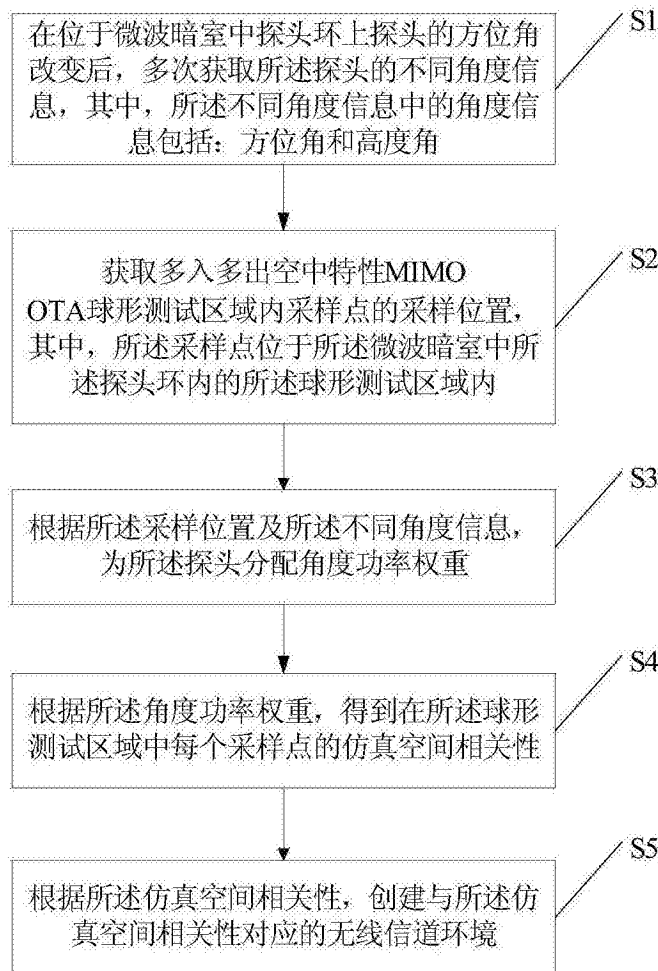


图4

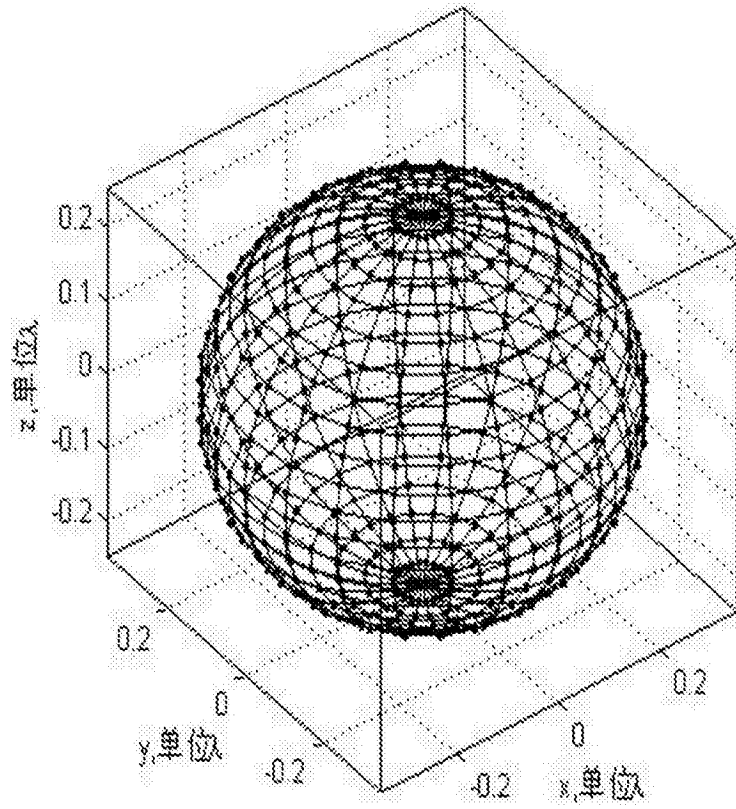


图5

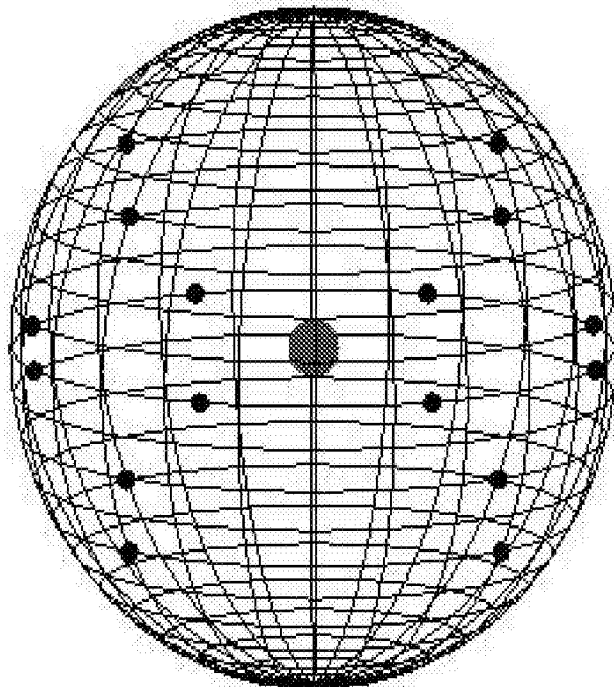


图6

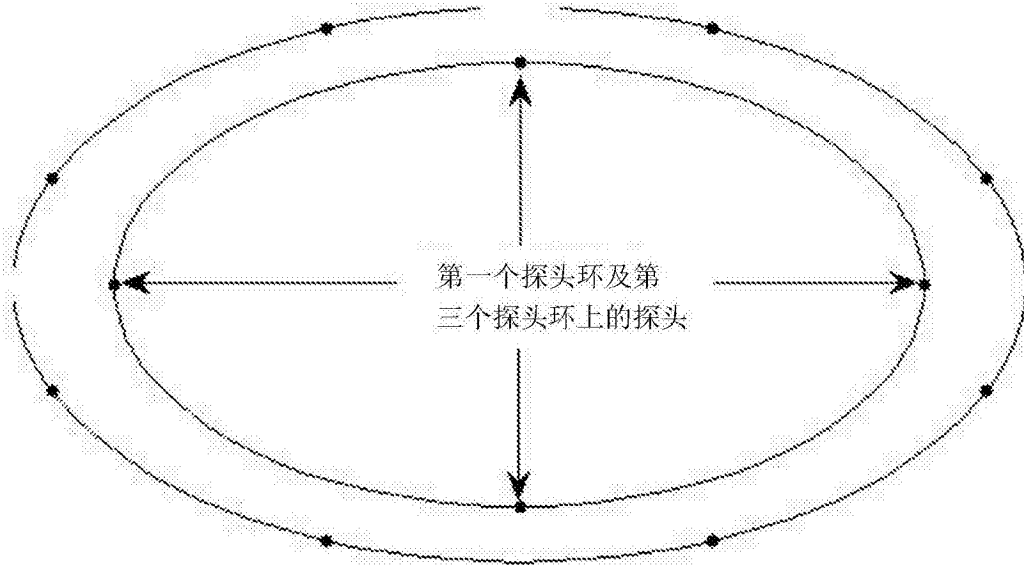


图7

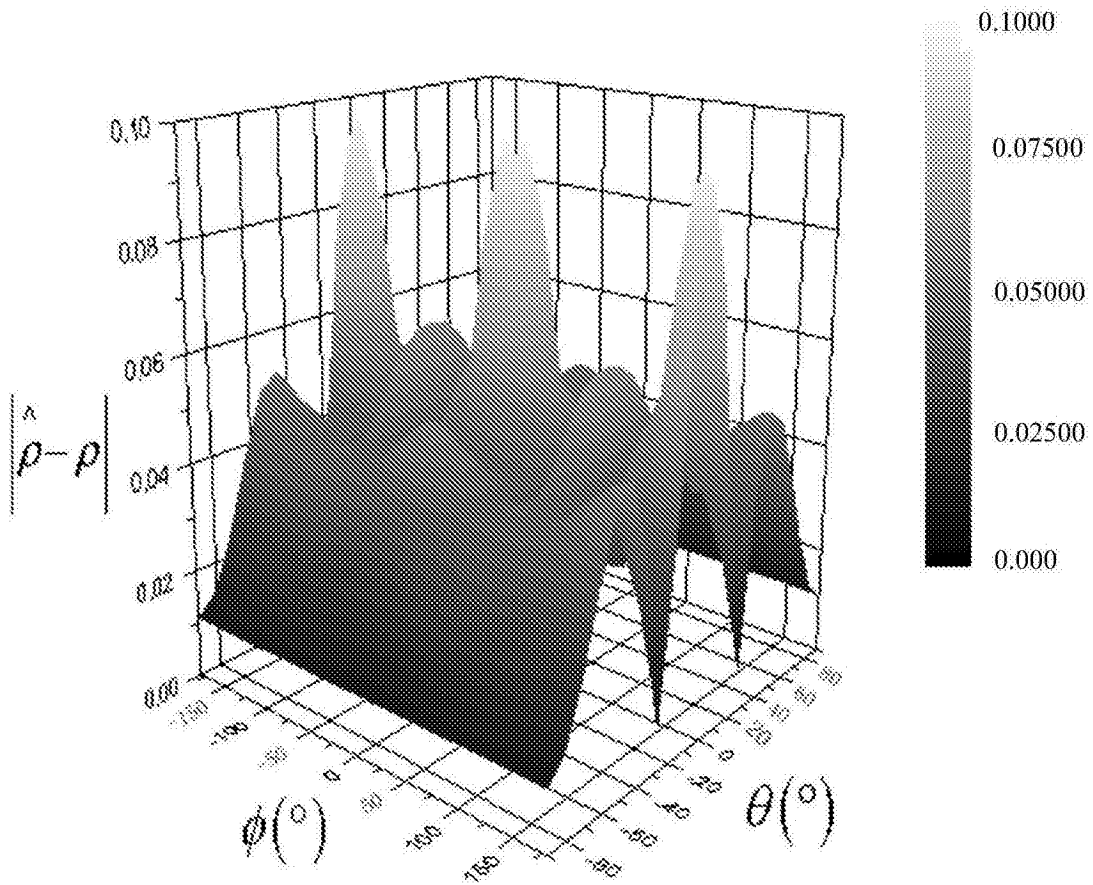


图8

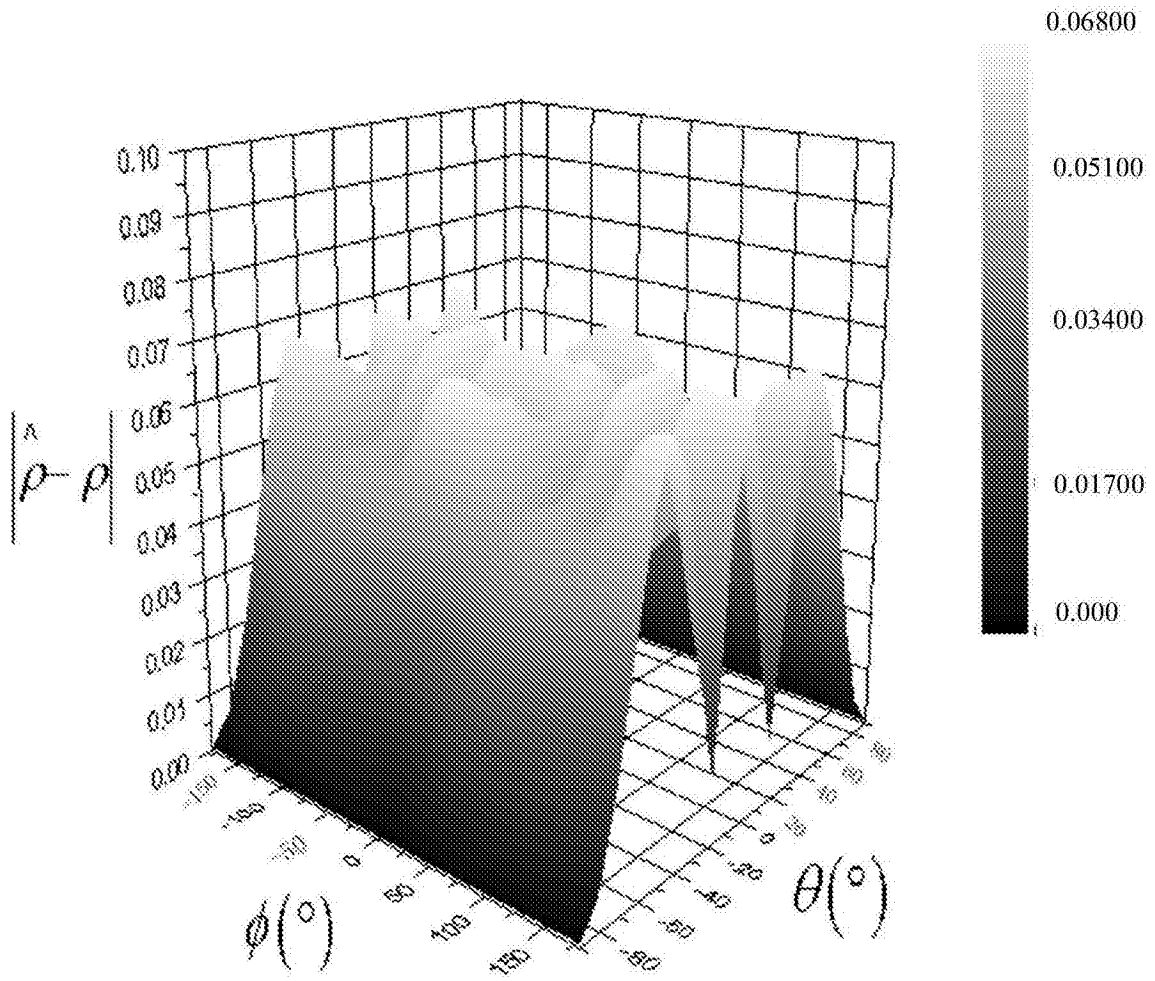


图9

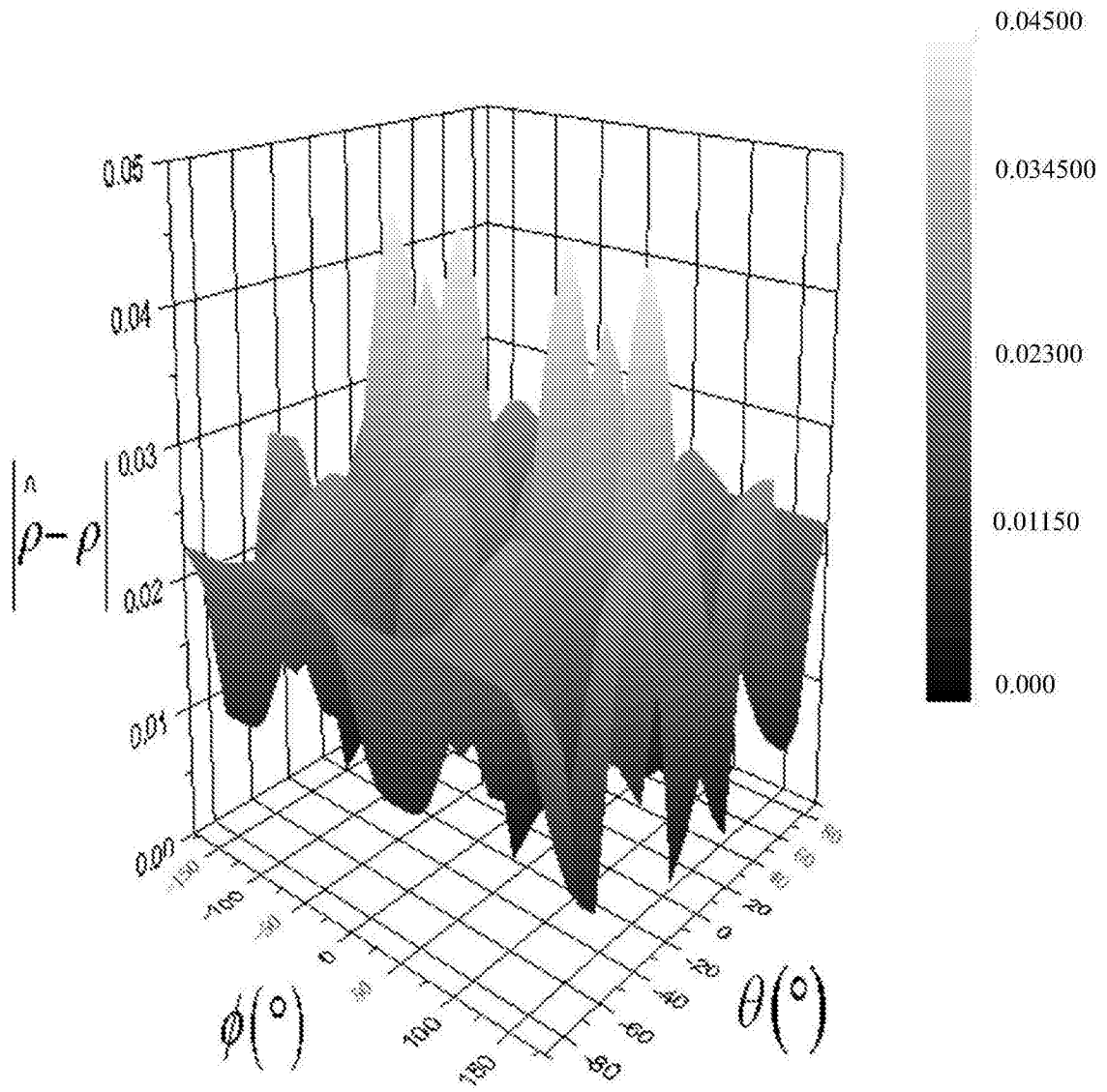


图10

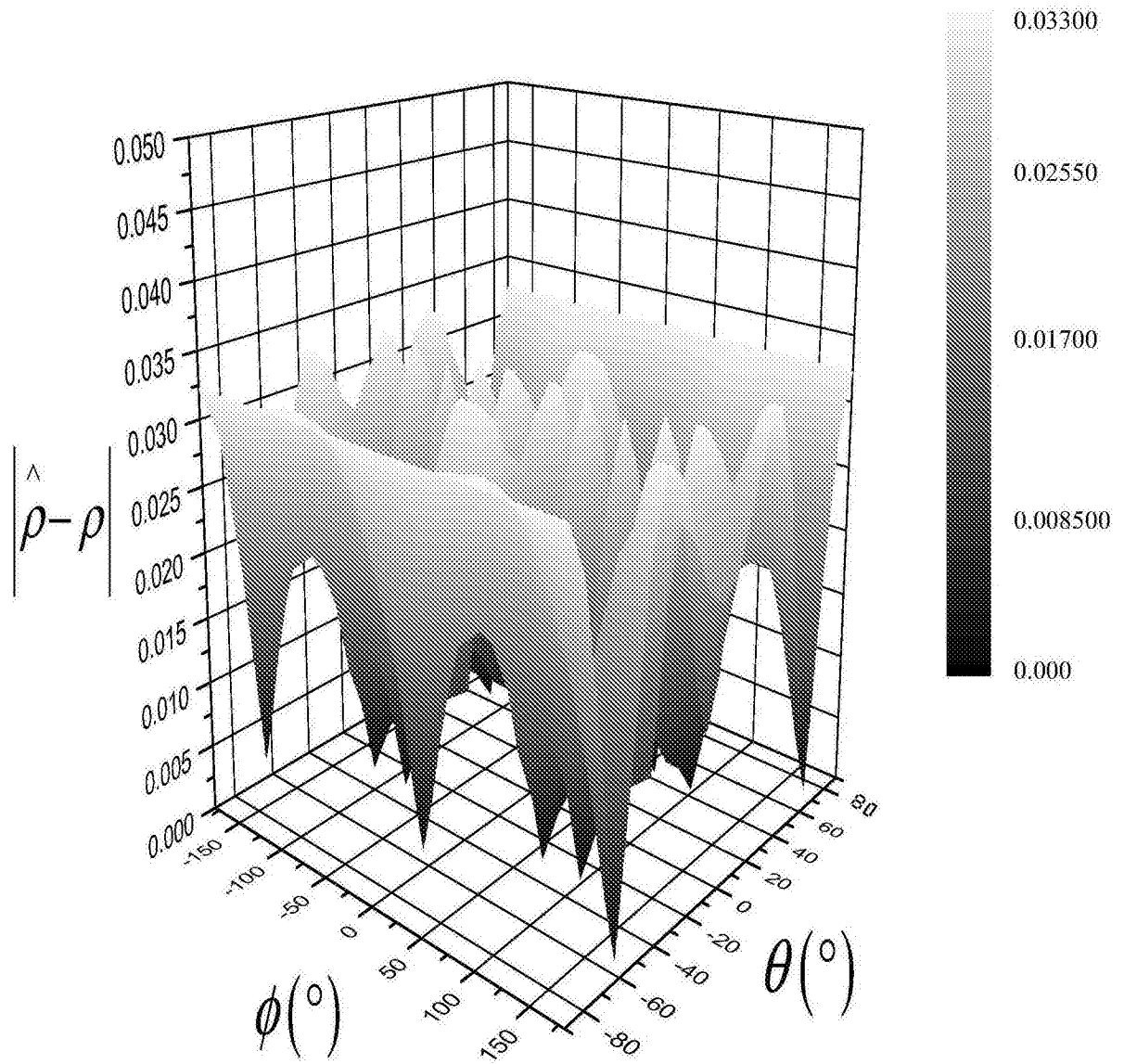


图11

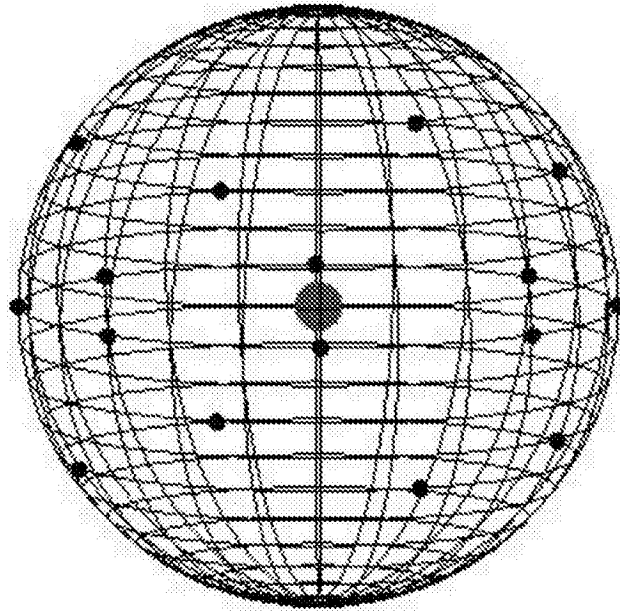


图12

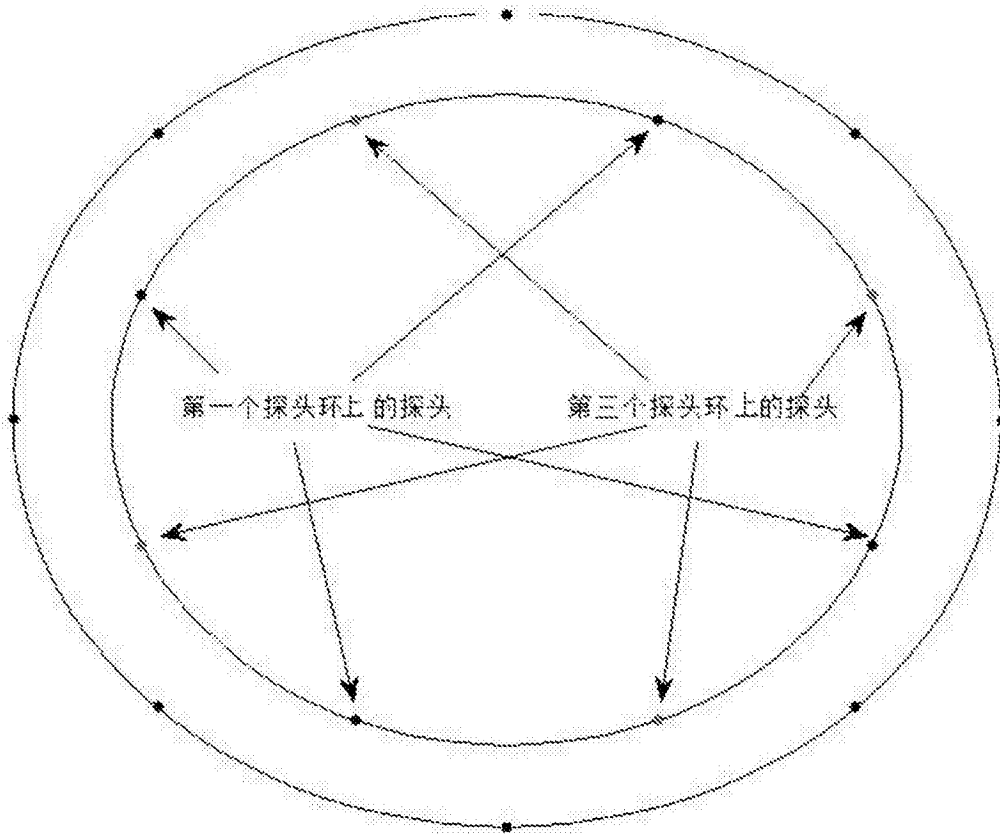


图13

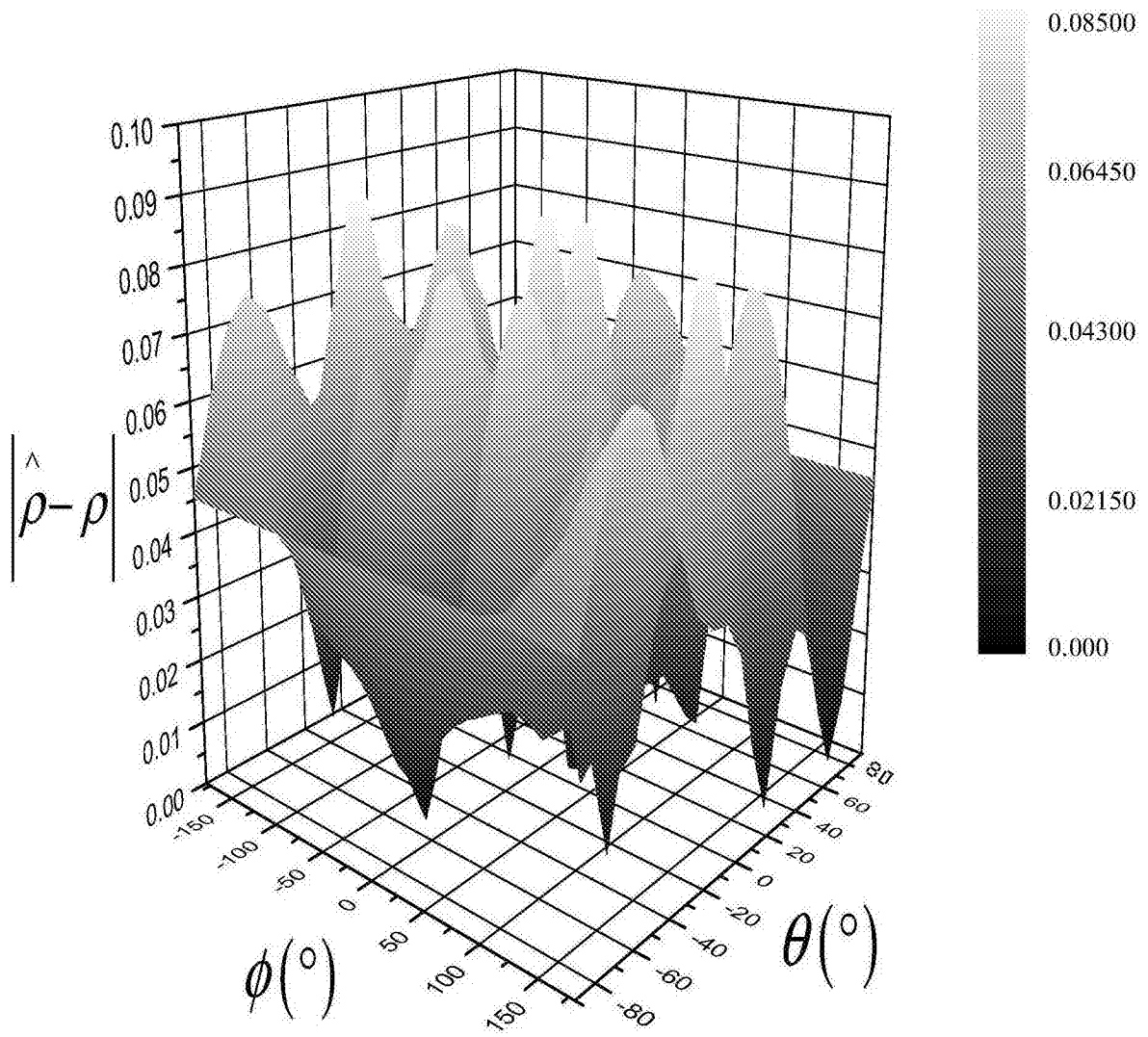


图14



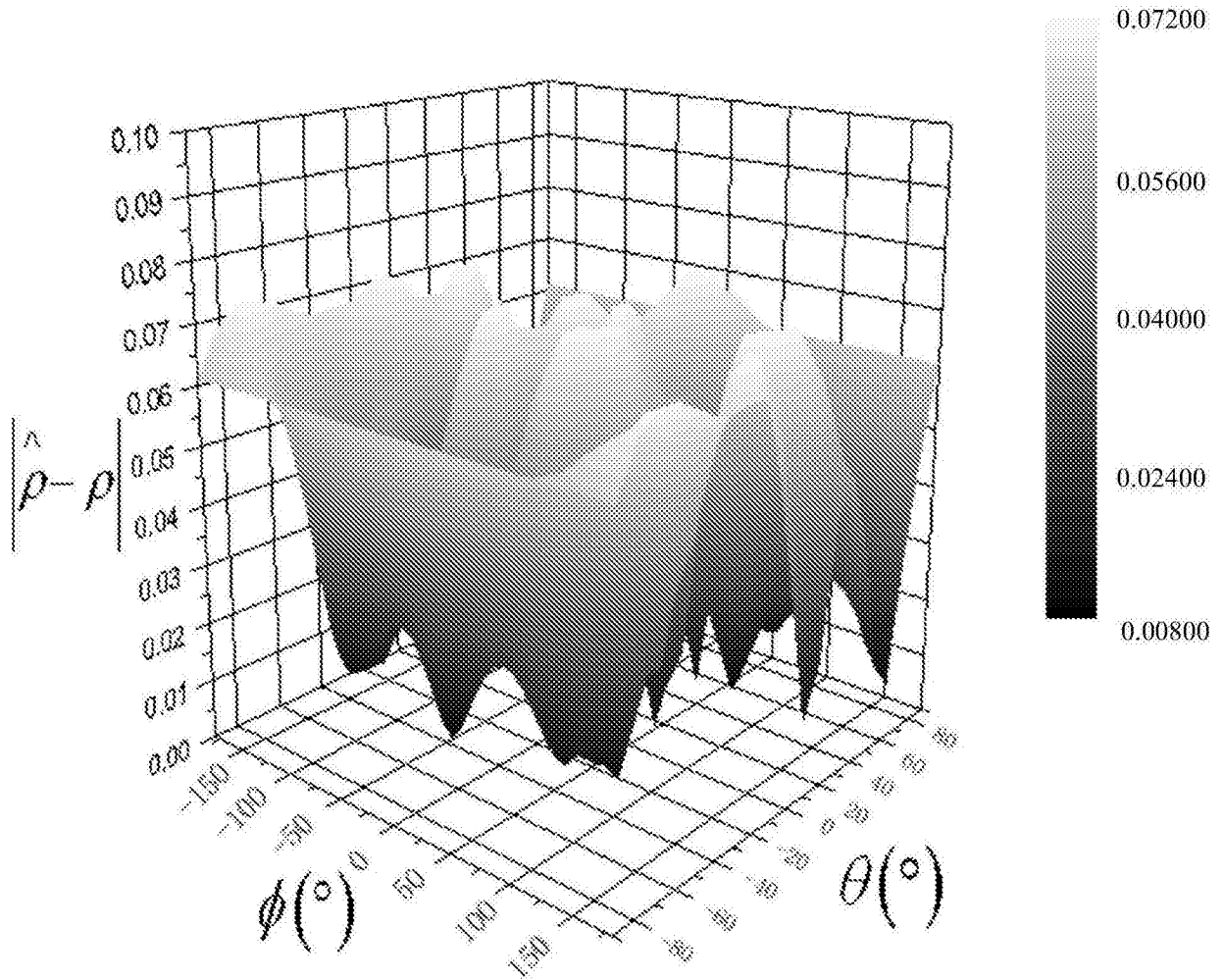


图15

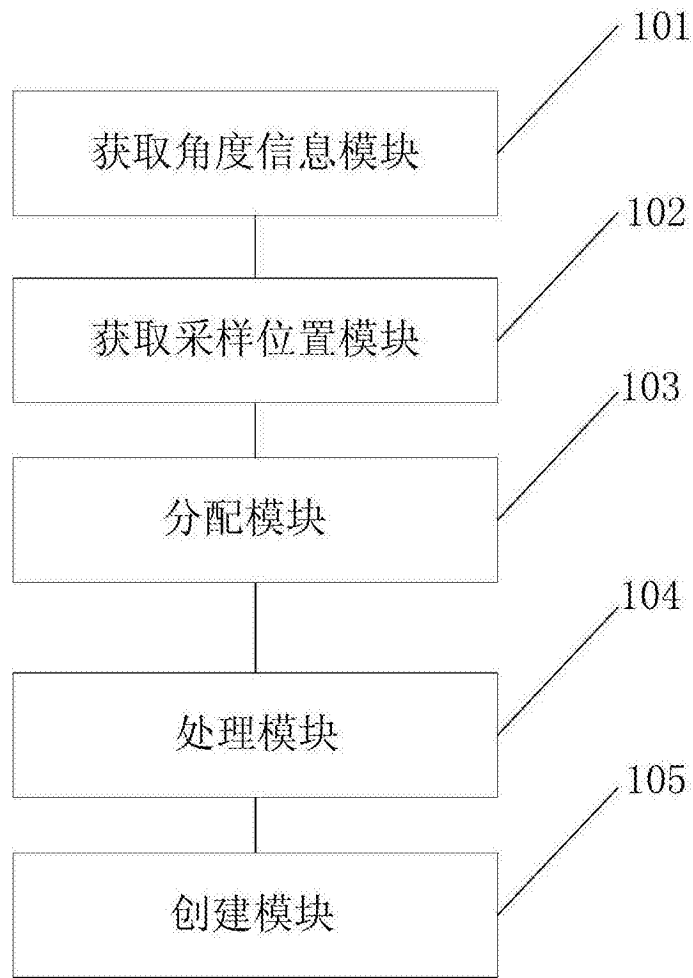


图16