

(12) 按照专利合作条约所公布的国际申请

(19) 世界知识产权组织
国际局

(43) 国际公布日
2021年6月10日 (10.06.2021)



(10) 国际公布号
WO 2021/109847 A1

(51) 国际专利分类号:
G01R 33/381 (2006.01)

(21) 国际申请号: PCT/CN2020/128976

(22) 国际申请日: 2020年11月16日 (16.11.2020)

(25) 申请语言: 中文

(26) 公布语言: 中文

(30) 优先权:
201911235512.5 2019年12月5日 (05.12.2019) CN

(71) 申请人: 湖南迈太科医疗科技有限公司 (HUNAN MAGTECH MEDICAL TECHNOLOGY CO., LTD.) [CN/CN]; 中国湖南省长沙市长沙县星沙街道凉塘路与东升路(107国道)交汇处长沙县商务写字楼二号楼一楼, Hunan 410000 (CN)。

(72) 发明人: 赵华炜 (ZHAO, Huawei); 中国湖南省长沙市长沙县星沙街道凉塘路与东升路(107国道)交汇处长沙县商务写字楼二号楼一楼, Hunan 410000 (CN)。 史永凌 (SHI, Yongling); 中国湖南省长沙市长沙县星沙街道凉塘路与东升路(107国道)交汇处长沙县商务写字楼二号楼一楼, Hunan 410000 (CN)。

(74) 代理人: 广州华进联合专利商标代理有限公司 (ADVANCE CHINA IP LAW OFFICE); 中国广东省广州市天河区珠江东路6号4501房 (部位: 自编01-03和08-12单元) (仅限办公用途), Guangdong 510623 (CN)。

(81) 指定国(除另有指明, 要求每一种可提供的国家保护): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB,

(54) Title: SHIMMING CONTROL METHOD, DEVICE, AND SYSTEM FOR MAGNETIC RESONANCE IMAGING

(54) 发明名称: 磁共振成像的匀场控制方法、装置和系统

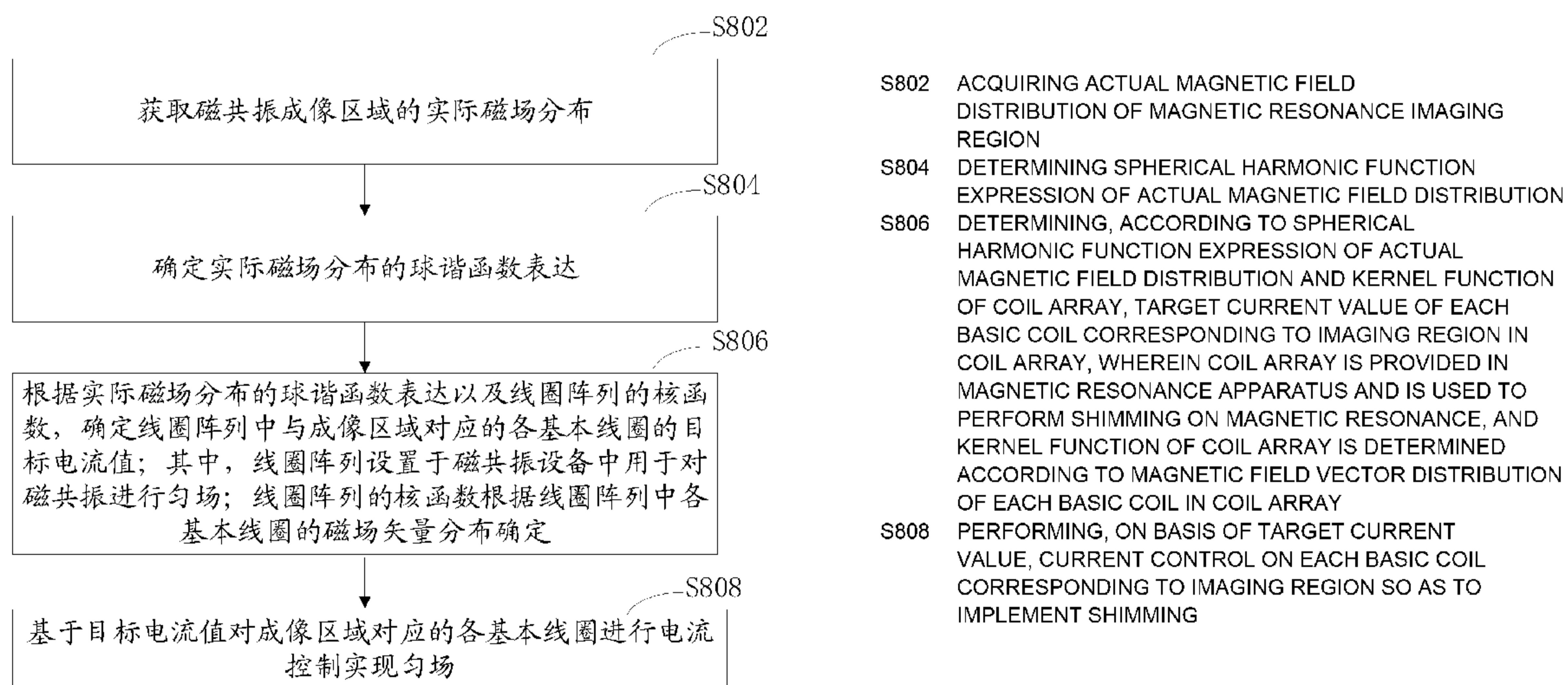


图 8

(57) Abstract: A shimming control method, device, and system for magnetic resonance imaging. The shimming control method for magnetic resonance imaging comprises: acquiring an actual magnetic field distribution of a magnetic resonance imaging region (S802); determining a spherical harmonic function expression of the actual magnetic field distribution (S804); determining, according to the spherical harmonic function expression of the actual magnetic field distribution and a kernel function of a coil array (102), a target current value of each basic coil corresponding to the imaging region in the coil array (102), wherein the coil array (102) is provided in a magnetic resonance apparatus and is used to perform shimming on the magnetic resonance, and the kernel function of the coil array (102) is determined according to a magnetic field vector distribution of each basic coil in the coil array (102) (S806); and performing, on the basis of the target current value, current control on each basic coil corresponding to the imaging region so as to implement shimming

GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, IT, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, WS, ZA, ZM, ZW。

(84) 指定国(除另有指明, 要求每一种可提供的地区保护): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), 欧亚 (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), 欧洲 (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG)。

本国际公布:

— 包括国际检索报告(条约第21条(3))。

(S808). By using the shimming control method for magnetic resonance imaging, the target current value determined according to the spherical harmonic function expression of the actual magnetic field distribution and the kernel function of the coil array (102) is applied to the basic coil corresponding to the imaging region in the coil array (102) so as to implement shimming, such that a high-order shimming requirement is met without increasing the number of coils and the space thereof.

(57) 摘要: 一种磁共振成像的匀场控制方法、装置和系统。磁共振成像的匀场控制方法包括: 获取磁共振成像区域的实际磁场分布(S802); 确定实际磁场分布的球谐函数表达(S804); 根据实际磁场分布的球谐函数表达以及线圈阵列(102)的核函数, 确定线圈阵列(102)中与成像区域对应的各基本线圈的目标电流值; 其中, 线圈阵列(102)设置于磁共振设备中用于对磁共振进行匀场; 线圈阵列(102)的核函数根据线圈阵列(102)中各基本线圈的磁场矢量分布确定(S806); 基于目标电流值对成像区域对应的各基本线圈进行电流控制实现匀场(S808)。磁共振成像的匀场控制方法对线圈阵列(102)中成像区域对应的基本线圈施加根据实际磁场分布的球谐函数表达与线圈阵列(102)的核函数确定的目标电流值实现匀场, 从而无需在空间上叠加线圈数量即可满足高阶匀场要求。

磁共振成像的匀场控制方法、装置和系统

技术领域

本申请涉及磁共振技术领域，特别是涉及一种磁共振成像的匀场控制方法、
5 装置和系统。

背景技术

现代磁共振成像(MRI)中最大的工程挑战之一是在成像区提供一个超强的、
高度均匀的磁场。为了避免在信号采集过程中由于自旋相位变化而造成信号的
10 损失或丢失，MRI序列可能需要整个成像区的谱线宽度低至40hz左右。这相当
于对1.0TMRI的 $\Delta B \approx 1\text{ppm}$ 场变化，3.0TMRI的 $\Delta B \approx 1/3\text{ppm}$ 场变化，7.0TMRI
的 $\Delta B \approx 1/7\text{ppm}$ 场变化。由于结构公差，这种均匀性几乎不可能在超导磁体制
造时实现。超导磁体本身产生的原磁场的非均匀度一般在几百个ppm(化学位移)
15 通常这部分可通过被动匀场技术，采用铁磁性材料进行匀场。由于病人身
体磁化率变化引起的扰动磁场，将不可避免地导致病人身体产生非均匀场从而
造成图像失真，而此类非均匀场的变化不但与病人个体相关，而且与人体的不
同部位和器官组织也息息相关，所以非均匀场的变化是动态的。

一阶匀场通常利用梯度线圈来完成。一般MRI提供6个二阶匀场线圈，工
程上称它们为X2、Y2、Z2、X-Y、Y-Z、Z-X。然而，在实践中，由于空间的限
20 制、可加入球谐函数线圈的数量是有限的。但在高场，特别是超高场MRI成像
中，高阶球谐函数项的匀场变得越来越重要，而传统的动态匀场技术难以满足
此种高阶匀场要求。

发明内容

25 基于此，有必要针对上述技术问题，提供一种能够满足高阶匀场要求的磁
共振成像的匀场控制方法、装置和系统。

一种磁共振成像的匀场控制方法，所述方法包括：

获取磁共振成像区域的实际磁场分布；

确定所述实际磁场分布的球谐函数表达;

根据所述实际磁场分布的球谐函数表达以及线圈阵列的核函数, 确定线圈阵列中与所述成像区域对应的各基本线圈的目标电流值; 其中, 所述线圈阵列设置于磁共振设备中用于对磁共振进行匀场; 所述线圈阵列的核函数根据所述
5 线圈阵列中各基本线圈的磁场矢量分布确定

基于所述目标电流值对所述成像区域对应的各基本线圈进行电流控制实现匀场。

一种磁共振成像的匀场控制装置, 包括:

测量模块, 用于获取磁共振成像区域的实际磁场分布;

10 分解模块, 用于确定所述实际磁场分布的球谐函数表达;

目标电流确定模块, 用于根据所述实际磁场分布的球谐函数表达以及线圈阵列的核函数, 确定线圈阵列中与所述成像区域对应的各基本线圈的目标电流值; 其中, 所述线圈阵列设置于磁共振设备中用于对磁共振进行匀场; 所述线圈阵列的核函数根据所述线圈阵列中各基本线圈的磁场矢量分布确定;

15 控制模块, 用于基于所述目标电流值对所述成像区域对应的各基本线圈进行电流控制实现匀场。

一种计算机设备, 包括存储器、处理器及存储在存储器上并可在处理器上运行的计算机程序, 其特征在于, 所述处理器执行所述计算机程序时实现上述任一项所述方法的步骤。

20 一种计算机可读存储介质, 其上存储有计算机程序, 其特征在于, 所述计算机程序被处理器执行时实现上述任一项所述的方法的步骤。

一种磁共振成像系统, 包括: 磁共振设备、线圈阵列、与所述线圈阵列中各基本线圈对应的线圈电流控制器以及上述的计算机设备;

所述线圈阵列安装在所述磁共振设备的磁极表面;

25 各所述线圈电流控制器的输入端与所述计算机设备连接, 输出端与所述线圈阵列中对应的所述基本线圈连接;

所述磁共振设备与所述计算机设备连接。

上述的磁共振成像的匀场控制方法, 对于实际测试的实际磁场分布, 利用

其对应的实际磁场分布的球谐函数表达与线圈阵列的核函数，确定线圈阵列中
成像区域对应的各基本线圈的目标电流值，而线圈阵列的核函数是根据线圈阵
列中各基本线圈的磁场矢量分布确定的，在对超高场 MRI 成像中高阶球谐函数
项的匀场时，对线圈阵列中成像区域对应的基本线圈施加根据实际磁场分布的
5 球谐函数表达与线圈阵列的核函数确定的目标电流值实现匀场，从而无需在空
间上叠加线圈数量即可满足高阶匀场要求。

附图说明

- 图 1 为一个实施例中磁共振系统的组成部分示意图；
- 10 图 2 为一个实施例中线圈阵列的横截面示意图；
- 图 3 为图 2 所示的线圈阵列的竖截面示意图；
- 图 4 为图 2 所示的线圈阵列的俯视图；
- 图 5 为另一个实施例中线圈阵列的横截面示意图；
- 图 6 为图 5 所示的线圈阵列的竖截面示意图；
- 15 图 7 为图 5 所示的线圈阵列的俯视图；
- 图 8 为一个实施例中磁共振成像的匀场控制方法的流程示意图；
- 图 9 为一个实施例中 Z-X 线圈的示意图；
- 图 10 为一个实施例中 X-Y 线圈的示意图；
- 图 11 为一个实施例中的基本线圈的结构示意图；
- 20 图 12 为图 11 所示的基本线圈在空间产生的矢量场图；
- 图 13 为一个实施例中阵列线圈 24X17 的电流分布情况；
- 图 14 为图 13 阵列线圈的电流分布产生的在球面场的分布；
- 图 15 为图 13 阵列线圈的电流分布产生的场和球谐函数项产生的场的差别；
- 图 16 为一个实施例中阵列线圈 24X21 的电流分布情况；
- 25 图 17 为图 16 阵列线圈的电流分布产生的在球面场的分布；
- 图 18 为图 16 阵列线圈的电流分布产生的场和球谐函数项产生的场的差别；
- 图 19 为另一个实施例中阵列线圈 24X21 的电流分布情况；
- 图 20 为图 19 阵列线圈电流分布产生的在球面场的分布；

图 21 为图 19 阵列线圈的阵列线圈的电流分布产生的场和球谐函数项产生的场的差别;

图 22 为一个实施例中磁共振成像的匀场控制装置的结构框图;

图 23 为一个实施例中计算机设备的内部结构图。

5

具体实施方式

为了使本申请的目的、技术方案及优点更加清楚明白，以下结合附图及实施例，对本申请进行进一步详细说明。应当理解，此处描述的具体实施例仅仅用以解释本申请，并不用于限定本申请。

10 本申请提供的磁共振成像的匀场控制方法，可以应用于如图 1 所示的磁共振成像系统中，该系统包括磁共振设备 101，线圈阵列 102，与线圈阵列 102 中各基本线圈对应的线圈电流控制器 103，以及计算机设备 104。其中，线圈阵列 102 安装在磁共振设备 101 的磁极表面，各线圈电流控制器 103 的输入端与计算机设备 104 连接，输出端与线圈阵列 102 中对应的基本线圈连接，计算机设备
15 104 还与磁共振设备 101 连接。其中，每个基本线圈有独立的线圈电流控制器 103 为其供电，线圈电流控制器 103 为线圈阵列 102 中对应基本线圈提供直恒流稳定电流源。计算机设备实施磁共振成像的匀场控制，确定需要施加在线圈阵列上的电流值，并控制线圈电流控制器 103 向线圈阵列 102 对应的基本线圈施加该电流值，以实现动态匀场，最后计算机设备 104 根据磁共振的数据成像。

20 本申请的线圈阵列由 S 个基本线圈 C 组成一个线圈阵列，如图 2-4 所示，排列成一个阵列分布在可分布的空间里，对所有需要消除的球谐函数项所产生的非均匀场进行动态调整。而基于本申请的磁共振成像的匀场控制方法，线圈阵列的基本线圈分布可以根据需要任意分布，一个实施例的线圈阵列如图 5-7 所示。

25 如 8 所示，计算机设备执行一种磁共振成像的匀场控制方法，包括以下步骤：
步骤：

S802: 获取磁共振成像区域的实际磁场分布。

其中，成像区域是指医护人员根据受检者的检查部位所设置的磁共振感兴

趣区域。例如，受检者的检查部位为心脏，则医护人员将心脏对应的磁共振区域作为成像区域。实际磁场分布是指测量得到的磁共振所产生的该成像区域的磁场分布。具体地，可使用测量仪器测量成像区域的主磁场分布。

S804，确定实际磁场分布的球谐函数表达。

- 5 对于测量得到的成像区域的主磁场分布，将其在球坐标系下进行勒让德多项式展开，得到实际磁场分布的球谐函数表达，展开的多项式为：

$$B(r, \theta, \phi) = \sum_{n=0}^{\infty} \sum_{m=0}^n r^n \left[a_{(n,m)} \cos(m\phi) + b_{(n,m)} \sin(m\phi) \right] P_{(n,m)}(\cos \theta) \quad (1)$$

其中， B 是在球坐标系 (r, θ, ϕ) 下的磁场、 $P_{(n,m)}(\cos \theta)$ 是勒让德多项式、 $a_{(n,m)}$ 和 $b_{(n,m)}$ 是球谐函数项系数。传统动态匀场是通过对每个球谐函数项 $B_{n,m}$ 设计专门的基本线圈。这里

10

$$B_{n,m}(r, \theta, \phi) = r^n \left[a_{(n,m)} \cos(m\phi) + b_{(n,m)} \sin(m\phi) \right] P_{(n,m)}(\cos \theta) \quad (2)$$

有 $B_{0,0}$ 线圈，其目的是调节中心频率。一阶匀场通常利用梯度线圈来完成。一般MRI提供6个二阶基本线圈，工程上称它们为X2、Y2、Z2、X-Y、Y-Z、Z-X。典型的Z-X如图9所示，典型的X-Y线圈如图10所示。

- 15 通过将测量得到的磁场分布，利用上式，将其有球坐标系下进行勒让德多项式展开，得到实际磁场分布的球谐函数表达，实际磁场分布的球谐函数表达表示实际测量的磁场分布情况。

S806，根据实际磁场分布的球谐函数表达以及线圈阵列的核函数，确定线圈阵列中与成像区域对应的各基本线圈的目标电流值；其中，线圈阵列设置于磁共振设备中用于对磁共振进行匀场；线圈阵列的核函数根据线圈阵列中各基本线圈的磁场矢量分布确定。

具体地，考虑一个基本线圈C，如图11所示，其厚度为h、宽度为w、长度为l。线圈导线绕制成图11形状，根据需要可单层，也可多层，形成总匝数为 n 匝的基本线圈C。根据毕奥-萨伐尔定律给出其在空间产生的矢量场如图12所示。

25

$$\mathbf{B}_c(\mathbf{r}') = \frac{\mu_0}{4\pi} \oint_c \frac{I d\mathbf{l} \times \mathbf{R}}{R^3} \quad (3)$$

这里， \mathbf{r}_0 是在 p 点线圈 C 的位置、 \mathbf{r}' 是 q 点场的坐标、 $\mathbf{R}=\mathbf{r}'-\mathbf{r}_0$ 。图 12 展示的是单个基本线圈 C 周围的磁场矢量分布。在 MRI 成像时只考虑 B^z 分量磁场。而对线圈阵列 S 中某个线圈 C 来讲，其电流 I 是没有变化的。所以从公式 (3) 可得到

$$5 \quad B_c^z(\mathbf{r}_c, \mathbf{r}') = K_c(\mathbf{r}_c, \mathbf{r}') I_c \quad (4)$$

这里，

$$K_c(\mathbf{r}_c, \mathbf{r}') = \frac{\mu_0}{4\pi} \oint_c \frac{d\mathbf{l} \times \mathbf{R}}{R^3} \quad (5)$$

是核函数，它表明了空间场源和场点的关系。对线圈阵列 S 而言，在 \mathbf{r}' 处的场 $B_s^z(\mathbf{r}')$ 有如下数学关系

$$10 \quad B_s^z(\mathbf{r}') = \sum_{i=1}^s K_i(\mathbf{r}_i, \mathbf{r}') I_i \quad (6)$$

这里， $i=1 \dots s$ ， B_s^z 场是所有线圈产生的场在 \mathbf{r}' 点的总和。要调整的某个球谐函数项的目标场可达成

$$\hat{B}_{\nu\tau}^z(r, \theta, \phi) = r^\nu g_{(\nu,\tau)} \cos(\tau\phi) P_{(\nu,\tau)}(\cos\theta) \quad (7)$$

其动态匀场的目标函数是

$$15 \quad \Phi = B_s^z + \hat{B}_{\nu\tau}^z \quad (8)$$

同样如果要调整的是多个某球谐函数项的目标场时，公式 (8) 可达成

$$\Phi = B_s^z + \sum_{\nu,\tau} \hat{B}_{\nu\tau}^z \quad (9)$$

通过对公式 (8) 或 (9) 进行优化找到最小 $\Phi_{\min} \rightarrow 0$ 。公式 (9) 也可转换成下列关系直接求解获得电流

$$20 \quad B_s^z = -\sum_{\nu,\tau} \hat{B}_{\nu\tau}^z \quad (10)$$

结合公式 (6) 可得到

$$\sum_{i=1}^s K_i(\mathbf{r}_i, \mathbf{r}') I_i = -\sum_{\nu,\tau} \hat{B}_{\nu\tau}^z \quad (11)$$

通常对与 s 个线圈的阵列有 s 个未知电流 I_i ， $i=1 \dots s$ 。在空间选择 t 个目标

磁场点 $B_{\nu\tau}^{zj}$, $j=1\cdots t$ 。这样公式 (11) 可变成

$$\mathbf{A}\mathbf{I} = \hat{\mathbf{B}} \quad (12)$$

这里,

$$\mathbf{A} = \begin{bmatrix} K_{11} & \cdots & K_{1i} & \cdots & K_{1s} \\ \vdots & \ddots & \vdots & & \vdots \\ K_{j1} & \cdots & K_{ji} & \cdots & K_{js} \\ \vdots & & \vdots & \ddots & \vdots \\ K_{t1} & \cdots & K_{ti} & \cdots & K_{ts} \end{bmatrix}, \quad \mathbf{I} = \begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \\ \vdots \\ I_s \end{bmatrix}, \quad \hat{\mathbf{B}} = \begin{bmatrix} \hat{B}_1 \\ \hat{B}_2 \\ \vdots \\ \hat{B}_t \end{bmatrix} \quad (13)$$

5 其中 \mathbf{A} 为 $t \times s$ 矩阵, \mathbf{I} 为 s 维未知电流向量, $\hat{\mathbf{B}}$ 为 t 维目标磁场向量。一般来说, 方程(12)的数值求解是一项困难的工作, 因为该问题是由 Fredholm 第一类积分方程来表示的。它属于所谓病态问题的范畴。为了使系统自然松弛, 选择(12)式为超定方程组, 即 $t \geq s$ 。为了解决这一问题, 考虑了一种正则化方法, 它将病态问题(11)变换为适定问题:

$$10 \quad (\mathbf{A}^* \mathbf{A} + \alpha \Lambda) \mathbf{I} = \mathbf{A}^* \hat{\mathbf{B}} \quad (14)$$

这里, \mathbf{A}^* 是 \mathbf{A} 共轭矩阵, $\mathbf{A}^* \mathbf{A}$ 是 $s \times s$ 方阵, Λ 是 $s \times s$ 单位矩阵。 α 是一个很小的数, 当 $\alpha \rightarrow 0$ 时, \mathbf{I} 趋近于真解。线性算子 $\alpha \Lambda$ 的选择通常有助于抑制函数 \mathbf{I} 中的剧烈振荡, 采用标准的 LU 分解方法来快速求解方程 (14), 从而得到各基本线圈的目标电流值。

15 为提高动态匀场的响应速度, 在 MRI 特定成像 δ 区域可预先对应并提前算好每个正规化的球谐函数场的动态匀场电流, 一旦获得目标成像 δ 区的场就可立刻完成场的动态调节。

具体地, 根据所述实际磁场分布的球谐函数表达以及线圈阵列的核函数, 确定线圈阵列中与所述成像区域对应的各基本线圈的目标电流值, 包括:

20 根据预先获取的所述成像区域的标准化磁场分布的球谐函数表达与所述实际磁场分布的球谐函数表达, 确定比例系数;

根据所述比例系数对预计算的线圈阵列中所述成像区域对应的各基本线圈标准化电流值进行调整, 确定与实际磁场分布对应的各基本线圈的目标电流值; 其中, 预计算的线圈阵列中所述成像区域对应的各基本线圈标准化电流值根据

所述线圈阵列的核函数确定。

其中，比例系数为标准化磁场分布的球谐函数表达与实际磁场分布的球谐函数表达的比值。标准化磁场分布为标准化电流值所产生的磁产分布，标准化磁场分布的球谐函数表达，即为标准化电流所产生的磁产分布的球谐函数表达。
5 标准化电流值和标准化磁场分布的球谐函数表达都通过预计算存储在数据库中。

具体地，标准化磁场分布的球谐函数表达可预先根据超导磁体本身产生的原磁场的非均度所需的标准电流所产生的理论磁场分布，将其在有球坐标系下进行勒让德多项式展开，得到标准化磁场分布的球谐函数表达。

10 具体地，成像区域 δ 的比例系数 $\beta_{n,m}$ 为 $\{\beta_{n,m} = -B_{n,m} / \tilde{B}_{n,m}\}_{\delta}$ 。其中， $B_{n,m}$ 为实际磁场分布的球谐函数表达， $\tilde{B}_{n,m}$ 为标准化磁场分布的球谐函数表达。

其中，标准化电流值为超导磁体本身产生的原磁场的非均度所需的标准电流，由系统预先计算得到。在实际应用中，利用实际磁场分布与标准化情况下的比例系数，对标准化电流值进行调整，得到与实际磁场分布相应的各基本线圈的目标电流值。
15

而由于标准化电流值和标准化磁场分布的球谐函数表达是预先计算得到的，在实际应用时，省去了计算时间，提高了磁共振匀场的响应速度。

具体地，该磁共振成像的匀场控制方法还包括：预先确定标准化电流值 $\tilde{I}_{n,m}$ 及标准化磁场分布的球谐函数表达 $\tilde{B}_{n,m}$ ，标准化磁场分布为标准化电流值所产生磁场分布
20

其中，预先确定标准化电流值及标准化磁场分布的球谐函数表达，包括：预先确定标准化磁场分布的球谐函数表达，及基于所述线圈阵列的核函数预先确定标准化电流值，包括：基于毕奥-萨伐尔定律确定基本线圈在空间产生的磁场矢量分布；根据线圈阵列中各基本线圈的磁场矢量分布，确定线圈阵列的核函数；
25 根据核函数确定线圈阵列中各成像区域的对应的磁场分布；根据磁场分布确定各球谐函数项匀场的目标函数；根据各球谐函数项匀场的目标函数，确定标准化电流值及标准化磁场分布的球谐函数表达。

具体地，线圈阵列中所述成像区域对应的各基本线圈标准化电流值的预计

算采用与前面对实际磁场分布的电流计算方法相同，此处不再赘述。

具体地，根据比例系数对预计算的线圈阵列中成像区域对应的各基本线圈标准化电流值进行调整，确定与实际磁场分布对应的各基本线圈的目标电流值，包括：根据各球谐函数项的比例系数与线圈阵列中成像区域对应的各基本线圈
5 标准化电流值，确定基本线圈的各球谐函数项的电流值；对基本线圈的各球谐函数项的电流值进行累加，得到基本线圈的目标电流池。

$$I_i = \sum_n \sum_m \beta_{n,m} \tilde{I}_{n,m}^i, \quad i=1 \cdots s$$

从算法本身来看，阵列线圈的基本线圈分布可以根据需要任意分布。整个
10 动态匀场步骤是一样的，只要根据基本线圈的空间分布用公式（5）计算核函数就好。

S808，基于目标电流值对成像区域对应的各基本线圈进行电流控制实现匀场。

具体地，向成像区域各基本线圈对应的线圈控制器发送目标电流值，由线
15 圈控制器向基本线圈施加对应的目标电流值，以对所述成像区域进行匀场。

上述的磁共振成像的匀场控制方法，对于实际测试的实际磁场分布，利用其对应的实际磁场分布的球谐函数表达与线圈阵列的核函数，确定线圈阵列中成像区域对应的各基本线圈的目标电流值，而线圈阵列的核函数是根据线圈阵列中各基本线圈的磁场矢量分布确定的，在对超高场 MRI 成像中高阶球谐函数
20 项的匀场时，对线圈阵列中成像区域对应的基本线圈施加根据实际磁场分布的球谐函数表达与线圈阵列的核函数确定的目标电流值实现匀场，从而无需在空间上叠加线圈数量即可满足高阶匀场要求。

进一步地，利用其对应的实际磁场分布的球谐函数表达与标准化磁场分布的球谐函数表达确定比例系数，从而根据比例系数对各基本线圈标准化电流值
25 进行调整，得到与实际磁场分布相应的各基本线圈的目标电流值。而由于标准化电流值和标准化磁场分布的球谐函数表达是预先计算得到的，在实际应用时，省去了计算时间，提高了磁共振匀场的响应速度。

现在结合实际算例，对本申请的磁共振成像的匀场控制方法进行说明。

在对 MRI 成像区匀场时，通常球谐函数的 zonal（带状）项相比较容易匀，tesseral（田形）项调整起来十分困难，而对高价 tesseral 项的调整更是极具挑战性。在这里通过两个阵列线圈来展示该动态匀场方法的强大能力。

5 首先选择线圈阵列为 24X17，也就是在圆周均布 24 个、在轴向均布 17 个线圈。从表一可以看到所列的是一些在传统方法下非常困难的球谐函数项，并且对每个球谐函数项所产生的场的峰-峰值在匀场前都是 5ppm。一直到球谐函数项 ($n=5, m=5$)，该阵列线圈匀场后的均匀度都小于 1ppm，其调整率都在 90% 左右，而阵列线圈内的峰值电流都小于 5 安培。随着球谐函数项变化增大，该
10 阵列线圈在球谐函数项 ($n=6, m=6$) 时基本开始失效。表二给出了当球谐函数项 ($n=8, m=1\cdots 6$) 的匀场情况。同样一直到球谐函数项 ($n=8, m=5$)，该阵列线圈动态匀场的表现都非常不错，匀场后的均匀度都小于 1ppm，其调整率都在 90%左右，而阵列线圈内的峰值电流都小于 5 安培。该阵列线圈在球谐函数项 ($n=8, m=6$) 时基本开始失效。可以看出该阵列线圈不但对 zonal 场是非常
15 有效的，而且对 tesseral 场也能在 $m \leq 5$ 非常有效。

表一

球谐函数项 (n)	球谐函数项 (m)	匀场后 (p-p ppm)	调整率 (%)	阵列线圈中 I_{max} (A)	阵列线圈中 I_{min} (A)
2	2	0.53	89.5	2.046078	-3.31865
3	3	0.21	95.7	0.761816	-0.71394
4	4	0.30	93.9	2.329802	-2.19104
5	5	0.82	83.5	4.35823	-4.01073
6	6	2.62	47.5	7.355964	-4.08327

表二

球谐函数项 (n)	球谐函数项 (m)	匀场后 (p-p ppm)	调整率 (%)	阵列线圈中 I_{max} (A)	阵列线圈中 I_{min} (A)
8	1	0.09	98.2	0.446399	-0.4552
8	2	0.25	95.0	0.696092	-2.20112
8	3	0.13	97.4	0.691513	-0.63967
8	4	0.35	93.1	3.644909	-1.6413
8	5	0.77	84.6	2.551055	-2.79787
8	6	2.88	42.5	9.341917	-11.3319

下面的例子为线圈阵列为 24X21，即在圆周均布 24 个、在轴向均布 21 个线圈。同样对每个球谐函数项所产生的场的峰-峰值在匀场前都是 5ppm。从表三可以看出除球谐函数项 ($n=6, m=6$) 只调整了 60%，球谐函数项 ($n=7, m=7$) 调整了 80%，其余的球谐函数项的场在该阵列线圈匀场后的均匀度都小于 1ppm，其调整率都超过 90%。而阵列线圈内的峰值电流都小于 5 安培。随着球谐函数项变化增大，该阵列线圈在球谐函数项 ($n=8, m=8$) 时基本开始失效。表四给出了当球谐函数项 ($n=11, m=1\cdots 6$) 的匀场情况。同样一直到球谐函数项 ($n=11, m=5$)，该阵列线圈动态匀场的表现都非常不错，匀场后的均匀度都小于 1ppm，其调整率都在 90%左右。该阵列线圈在球谐函数项 ($n=11, m=6$) 时基本开始失效。可以看出该阵列线圈对高阶 zonal 和 tesseral 场都是非常有效的。

表三

球谐函数项 (n)	球谐函数项 (m)	匀场后 (p-p ppm)	调整率 (%)	阵列线圈中 I_{max} (A)	阵列线圈中 I_{min} (A)
2	2	0.16	96.9	2.190184	-2.34469

3	3	0.26	94.8	3.96937	-4.4294
4	4	0.41	91.8	5.419736	-4.86365
5	5	0.44	91.2	4.47136	-4.14976
6	6	1.96	60.8	6.440381	-6.51094
7	7	1.00	80.1	5.117088	-2.43561
8	8	4.00	20.9	29.47384	-21.8309

表四

球谐函数项 (n)	球谐函数项 (m)	匀场后 (p-p ppm)	调整率 (%)	阵列线圈中 I_{max} (A)	阵列线圈中 I_{min} (A)
11	1	0.22	95.6	1.896374	-1.62471
11	2	0.21	95.9	1.881761	-1.86367
11	3	0.24	95.2	2.118233	-2.9864
11	4	0.51	89.9	2.525646	-2.25723
11	5	0.68	86.3	4.322967	-7.13148
11	6	2.44	51.1	44.56441	-52.5471

图 13 至图 15 展示了阵列线圈 24X17 对球谐函数偶数项 ($n=8, m=4$) 具体的匀场情况。图 13 展现的是阵列线圈的电流分布情况,由于球谐函数项($n=8, m=4$) 是对称的,可以看出对该单一球谐函数项阵列线圈的电流分布也是对称的。图 14 展现的是由阵列线圈的电流分布产生的在球面场的分布,而图 15 给出了阵列线圈的电流分布产生的场和球谐函数项产生的场的差别。如前所述,原球谐函数项产生的场的峰-峰值为 5ppm,用该阵列线圈匀场后的峰-峰值为 0.35ppm,其调整率达到了 93%。

图 16-18 展示了阵列线圈 24X21 对球谐函数奇数项 ($n=11, m=1$) 具体的

匀场情况。图 16 展现的是阵列线圈的电流分布情况。图 17 展现的是由阵列线圈的电流分布产生的在球面场的分布，而图 18 给出了阵列线圈的电流分布产生的场和球谐函数项产生的场的差别。在这里原球谐函数项产生的场的峰-峰值为 5ppm，用该阵列线圈匀场后的峰-峰值为 0.22ppm，其调整率达到了 96%。

5 图 19-21 展示了阵列线圈 24X21 对高阶球谐函数奇数项 ($n=11$, $m=3$) 具体的匀场情况。图 19 展现的是阵列线圈的电流分布情况。图 20 展现的是由阵列线圈的电流分布产生的在球面场的分布，而图 21 给出了阵列线圈的电流分布产生的场和球谐函数项产生的场的差别。如前所述，原球谐函数项产生的场的峰-峰值为 5ppm，用该阵列线圈匀场后的峰-峰值为 0.24ppm，其调整率达到了
10 95%。

如图 22 所示，本申请还提供一种磁共振成像的匀场控制装置，包括：

测量模块 2201，用于获取磁共振成像区域的实际磁场分布。

分解模块 2202，用于确定所述实际磁场分布的球谐函数表达。

15 目标电流确定模块 2203，用于根据所述实际磁场分布的球谐函数表达以及线圈阵列的核函数，确定线圈阵列中与所述成像区域对应的各基本线圈的目标电流值；其中，所述线圈阵列设置于磁共振设备中用于对磁共振进行匀场；所述线圈阵列的核函数根据所述线圈阵列中各基本线圈的磁场矢量分布确定。

控制模块 2204，用于基于所述目标电流值对所述成像区域对应的各基本线圈进行电流控制实现匀场。
20

在另一个实施例中，目标电流确定模块，包括：

比例确定模块，用于根据预先获取的所述成像区域的标准化磁场分布的球谐函数表达与所述实际磁场分布的球谐函数表达，确定比例系数。

25 电流计算模块，用于根据所述比例系数对预计算的线圈阵列中所述成像区域对应的各基本线圈标准化电流值进行调整，确定与实际磁场分布对应的各基本线圈的目标电流值；其中，预计算的线圈阵列中所述成像区域对应的各基本线圈标准化电流值根据所述线圈阵列的核函数确定。

该装置还包括预处理模块，用于先确定标准化磁场分布的球谐函数表达，

及基于所述线圈阵列的核函数预先确定标准化电流值，所述标准化磁场分布为标准化电流值所产生磁场分布。

在另一个实施例中，预处理模块，用于基于毕奥-萨伐尔定律确定所述基本线圈在空间产生的磁场矢量分布，根据所述线圈阵列中各基本线圈的磁场矢量分布，确定所述线圈阵列的核函数，根据所述核函数确定所述线圈阵列中各成像区域的对应的磁场分布，根据所述磁场分布确定各球谐函数项匀场的目标函数，根据各球谐函数项匀场的目标函数，确定标准化电流值及标准化磁场分布的球谐函数表达。

在另一个实施例中，电流计算模块，用于根据各球谐函数项的所述比例系数与所述线圈阵列中所述成像区域对应的各基本线圈标准化电流值，确定基本线圈的各球谐函数项的电流值，对所述基本线圈的各球谐函数项的电流值进行累加，得到所述基本线圈的目标电流池。

在另一个实施例中，控制模块，用于向所述成像区域各基本线圈对应的线圈控制器发送所述目标电流值，由所述线圈控制器向所述基本线圈施加对应的所述目标电流值，以对所述成像区域进行匀场。

上述的磁共振成像的匀场控制装置，对于实际测试的实际磁场分布，利用其对应的实际磁场分布的球谐函数表达与线圈阵列的核函数，确定线圈阵列中成像区域对应的各基本线圈的目标电流值，而线圈阵列的核函数是根据线圈阵列中各基本线圈的磁场矢量分布确定的，在对超高场 MRI 成像中高阶球谐函数项的匀场时，对线圈阵列中成像区域对应的基本线圈施加根据实际磁场分布的球谐函数表达与线圈阵列的核函数确定的目标电流值实现匀场，从而无需在空间上叠加线圈数量即可满足高阶匀场要求。

进一步地，对于实际测试的实际磁场分布，利用其对应的实际磁场分布的球谐函数表达与标准化磁场分布的球谐函数表达确定比例系数，从而根据比例系数对各基本线圈标准化电流值进行调整，得到与实际磁场分布相应的各基本线圈的目标电流值。而由于标准化电流值和标准化磁场分布的球谐函数表达是预先计算得到的，在实际应用时，省去了计算时间，提高了磁共振匀场的响应速度。

关于磁共振成像的匀场控制装置的具体限定可以参见上文中对于磁共振成像的匀场控制方法的限定，在此不再赘述。上述磁共振成像的匀场控制装置中的各个模块可全部或部分通过软件、硬件及其组合来实现。上述各模块可以硬件形式内嵌于或独立于计算机设备中的处理器中，也可以以软件形式存储于计算机设备中的存储器中，以便于处理器调用执行以上各个模块对应的操作。

在一个实施例中，提供了一种计算机设备，该计算机设备可以是终端，其内部结构图可以如图 23 所示。该计算机设备包括通过系统总线连接的处理器、存储器、网络接口、显示屏和输入装置。其中，该计算机设备的处理器用于提供计算和控制能力。该计算机设备的存储器包括非易失性存储介质、内存储器。该非易失性存储介质存储有操作系统和计算机程序。该内存储器为非易失性存储介质中的操作系统和计算机程序的运行提供环境。该计算机设备的网络接口用于与外部的终端通过网络连接通信。该计算机程序被处理器执行时以实现一种磁共振成像的匀场控制方法。该计算机设备的显示屏可以是液晶显示屏或者电子墨水显示屏，该计算机设备的输入装置可以是显示屏上覆盖的触摸层，也可以是计算机设备外壳上设置的按键、轨迹球或触控板，还可以是外接的键盘、触控板或鼠标等。

本领域技术人员可以理解，图 23 中示出的结构，仅仅是与本申请方案相关的部分结构的框图，并不构成对本申请方案所应用于其上的计算机设备的限定，具体的计算机设备可以包括比图中所示更多或更少的部件，或者组合某些部件，或者具有不同的部件布置。

在一个实施例中，提供了一种计算机设备，包括存储器和处理器，存储器中存储有计算机程序，该处理器执行计算机程序时实现上述各实施例的磁共振成像的匀场控制方法。

在一个实施例中，提供了一种计算机可读存储介质，其上存储有计算机程序，计算机程序被处理器执行时实现上述各实施例的磁共振成像的匀场控制方法。

本领域普通技术人员可以理解实现上述实施例方法中的全部或部分流程，是可以通过计算机程序来指令相关的硬件来完成，所述的计算机程序可存储于一非易失性计算机可读取存储介质中，该计算机程序在执行时，可包括如上述各方法的实施例的流程。其中，本申请所提供的各实施例中所使用的对存储器、5 存储、数据库或其它介质的任何引用，均可包括非易失性和/或易失性存储器。非易失性存储器可包括只读存储器（ROM）、可编程 ROM（PROM）、电可编程 ROM（EPROM）、电可擦除可编程 ROM（EEPROM）或闪存。易失性存储器可包括随机存取存储器（RAM）或者外部高速缓冲存储器。作为说明而非局限，RAM 以多种形式可得，诸如静态 RAM（SRAM）、动态 RAM（DRAM）、同步 10 DRAM（SDRAM）、双数据率 SDRAM（DDRSDRAM）、增强型 SDRAM（ESDRAM）、同步链路（Synchlink）DRAM（SLDRAM）、存储器总线（Rambus）直接 RAM（RDRAM）、直接存储器总线动态 RAM（DRDRAM）、以及存储器总线动态 RAM（RDRAM）等。

以上实施例的各技术特征可以进行任意的组合，为使描述简洁，未对上述 15 实施例中的各个技术特征所有可能的组合都进行描述，然而，只要这些技术特征的组合不存在矛盾，都应当认为是本说明书记载的范围。

以上所述实施例仅表达了本申请的几种实施方式，其描述较为具体和详细，但并不能因此而理解为对发明专利范围的限制。应当指出的是，对于本领域的普通技术人员来说，在不脱离本申请构思的前提下，还可以做出若干变形和改进，20 这些都属于本申请的保护范围。因此，本申请专利的保护范围应以所附权利要求要求为准。

权利要求书

1、一种磁共振成像的匀场控制方法，所述方法包括：

获取磁共振成像区域的实际磁场分布；

确定所述实际磁场分布的球谐函数表达；

根据所述实际磁场分布的球谐函数表达以及线圈阵列的核函数，确定线圈阵列中与所述成像区域对应的各基本线圈的目标电流值；其中，所述线圈阵列设置于磁共振设备中用于对磁共振进行匀场；所述线圈阵列的核函数根据所述线圈阵列中各基本线圈的磁场矢量分布确定；

基于所述目标电流值对所述成像区域对应的各基本线圈进行电流控制实现匀场。

2、根据权利要求1所述的方法，其特征在于，根据所述实际磁场分布的球谐函数表达以及线圈阵列的核函数，确定线圈阵列中与所述成像区域对应的各基本线圈的目标电流值，包括：

根据预先获取的所述成像区域的标准化磁场分布的球谐函数表达与所述实际磁场分布的球谐函数表达，确定比例系数；

根据所述比例系数对预计算的线圈阵列中所述成像区域对应的各基本线圈标准化电流值进行调整，确定与实际磁场分布对应的各基本线圈的目标电流值；其中，预计算的线圈阵列中所述成像区域对应的各基本线圈标准化电流值根据所述线圈阵列的核函数确定。

3、根据权利要求2所述的方法，其特征在于，所述方法还包括：预先确定标准化磁场分布的球谐函数表达，及基于所述线圈阵列的核函数预先确定标准化电流值，所述标准化磁场分布为标准化电流值所产生磁场分布。

4、根据权利要求3所述的方法，其特征在于，预先确定标准化磁场分布的球谐函数表达，及基于所述线圈阵列的核函数预先确定标准化电流值，包括：

基于毕奥-萨伐尔定律确定所述基本线圈在空间产生的磁场矢量分布；

根据所述线圈阵列中各基本线圈的磁场矢量分布，确定所述线圈阵列的核函数；

根据所述核函数确定所述线圈阵列中各成像区域的对应的磁场分布；

根据所述磁场分布确定各球谐函数项匀场的目标函数；

根据各球谐函数项匀场的目标函数，确定准化电流值及标准化磁场分布的球谐函数表达。

5、根据权利要求2所述的方法，其特征在于，根据所述比例系数对预计算的所述线圈阵列中所述成像区域对应的各基本线圈标准化电流值进行调整，确定与实际磁场分布对应的各基本线圈的目标电流值，包括：

根据各球谐函数项的所述比例系数与所述线圈阵列中所述成像区域对应的各基本线圈标准化电流值，确定基本线圈的各球谐函数项的电流值；

对所述基本线圈的各球谐函数项的电流值进行累加，得到所述基本线圈的目标电流池。

6、根据权利要求1所述的方法，其特征在于，基于所述目标电流值对所述成像区域对应的各基本线圈进行电流控制实现匀场，包括：

向所述成像区域各基本线圈对应的线圈控制器发送所述目标电流值，由所述线圈控制器向所述基本线圈施加对应的所述目标电流值，以对所述成像区域进行匀场。

7、一种磁共振成像的匀场控制装置，包括：

测量模块，用于获取磁共振成像区域的实际磁场分布；

分解模块，用于确定所述实际磁场分布的球谐函数表达；

目标电流确定模块，用于根据所述实际磁场分布的球谐函数表达以及线圈阵列的核函数，确定线圈阵列中与所述成像区域对应的各基本线圈的目标电流值；其中，所述线圈阵列设置于磁共振设备中用于对磁共振进行匀场；所述线圈阵列的核函数根据所述线圈阵列中各基本线圈的磁场矢量分布确定；

控制模块，用于基于所述目标电流值对所述成像区域对应的各基本线圈进行电流控制实现匀场。

8、一种计算机设备，包括存储器、处理器及存储在存储器上并可在处理器上运行的计算机程序，其特征在于，所述处理器执行所述计算机程序时实现权利要求1至6中任一项所述方法的步骤。

9、一种计算机可读存储介质，其上存储有计算机程序，其特征在于，所述计算机程序被处理器执行时实现权利要求1至6中任一项所述的方法的步骤。

10、一种磁共振成像系统，包括：磁共振设备、线圈阵列、与所述线圈阵列中各基本线圈对应的线圈电流控制器以及如权利要求 8 所示的计算机设备；
所述线圈阵列安装在所述磁共振设备的磁极表面；
各所述线圈电流控制器的输入端与所述计算机设备连接，输出端与所述线圈阵列中对应的所述基本线圈连接；
所述磁共振设备与所述计算机设备连接。

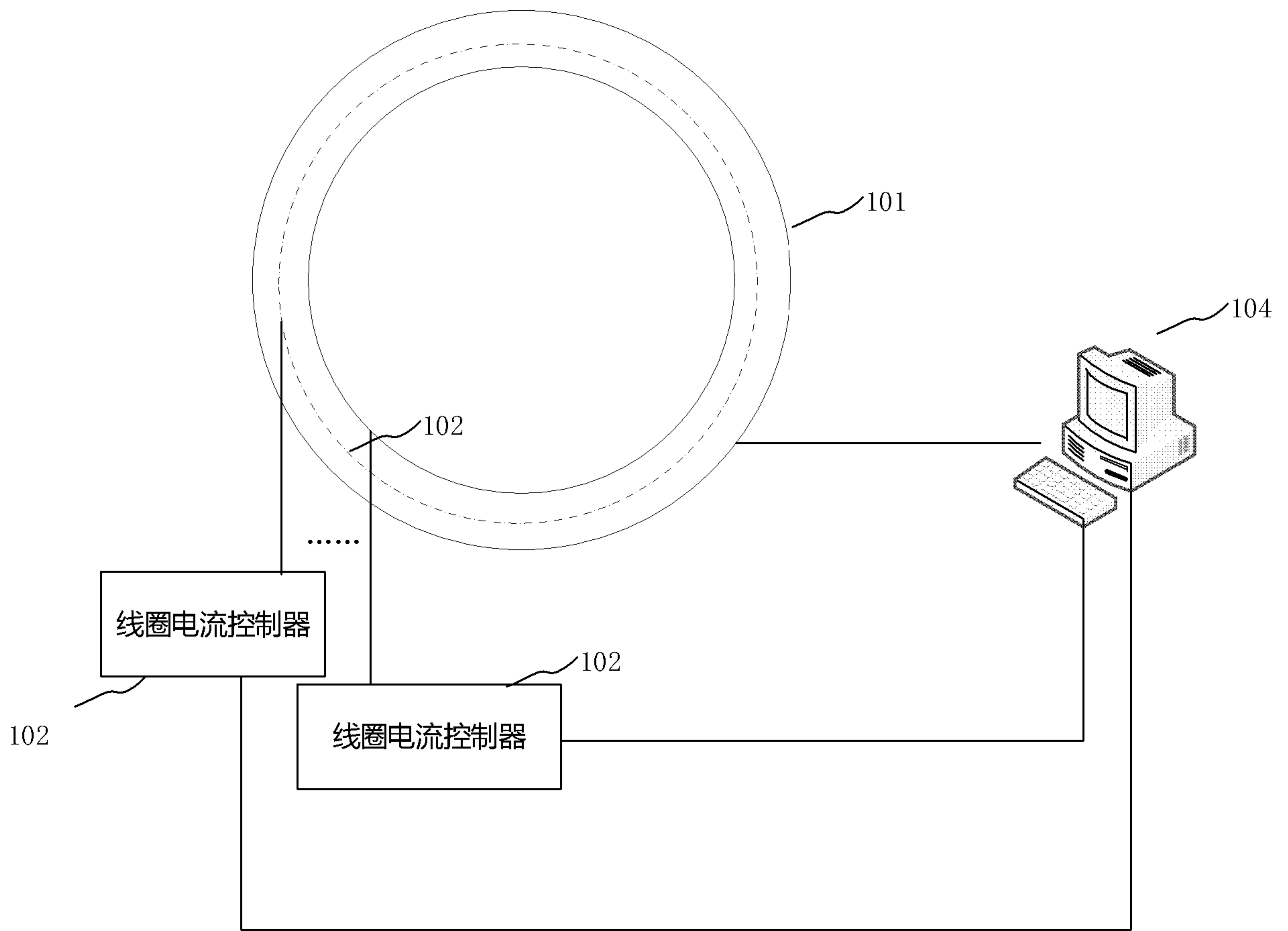


图 1

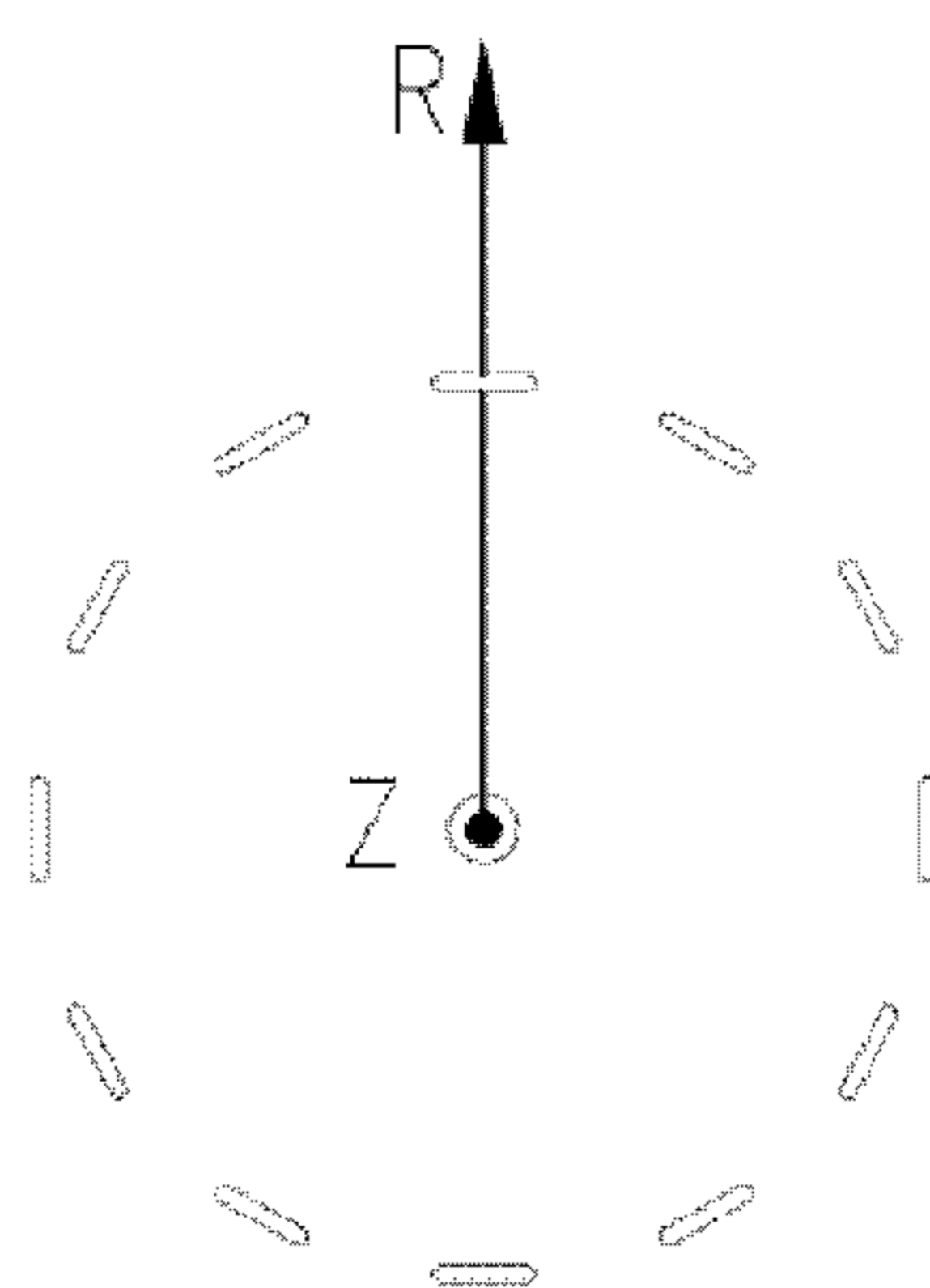


图 2

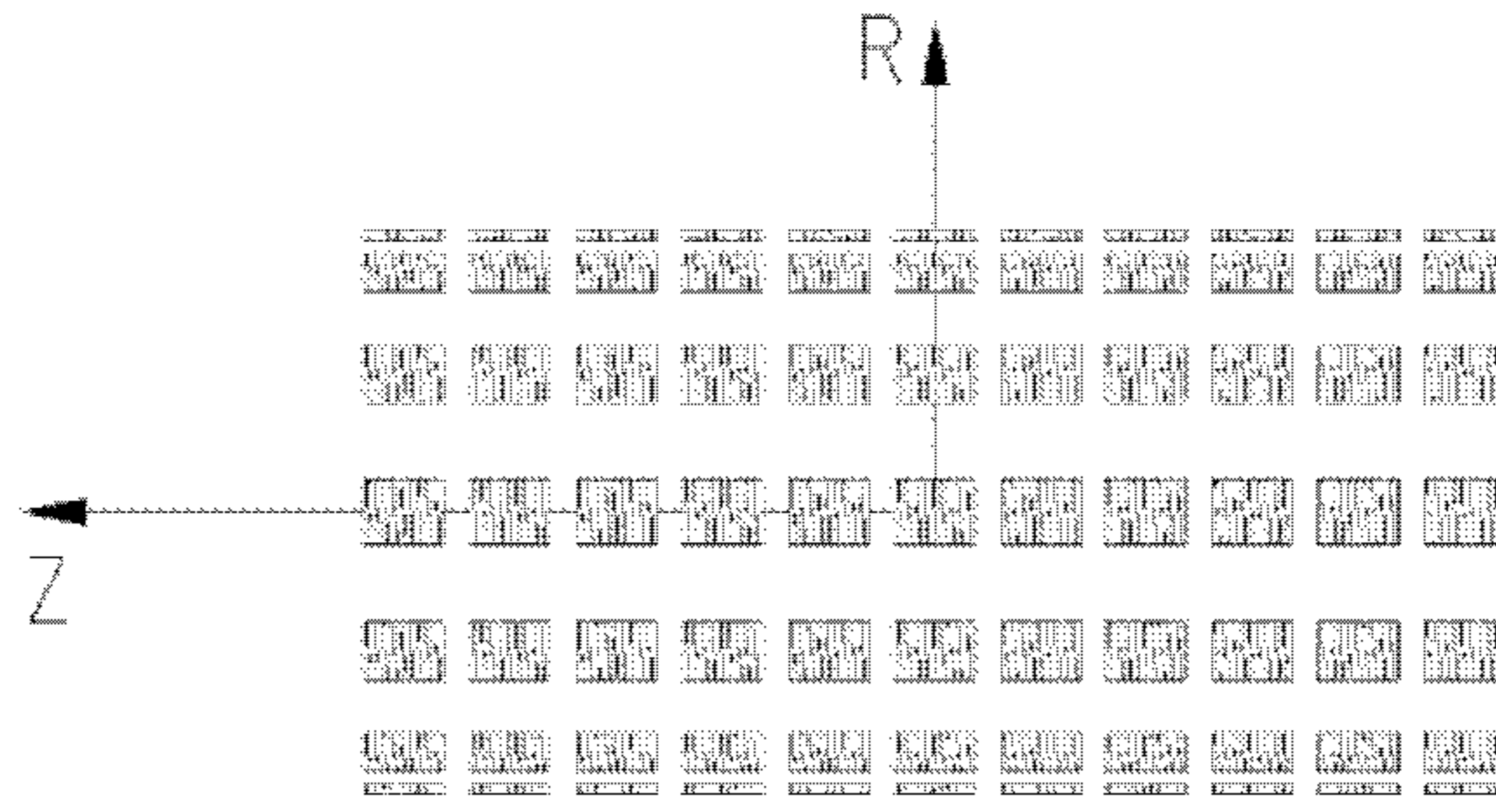


图 3

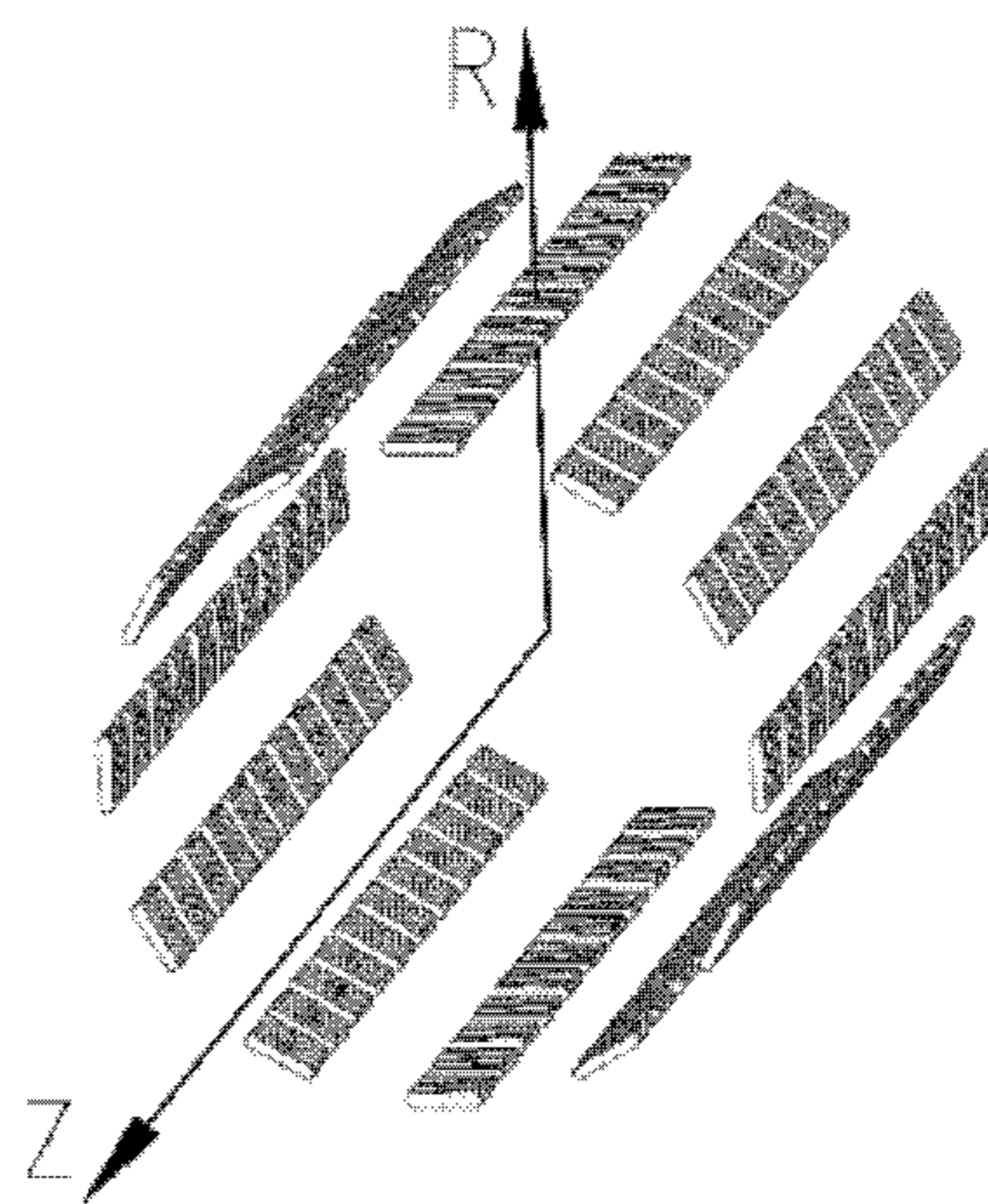


图 4

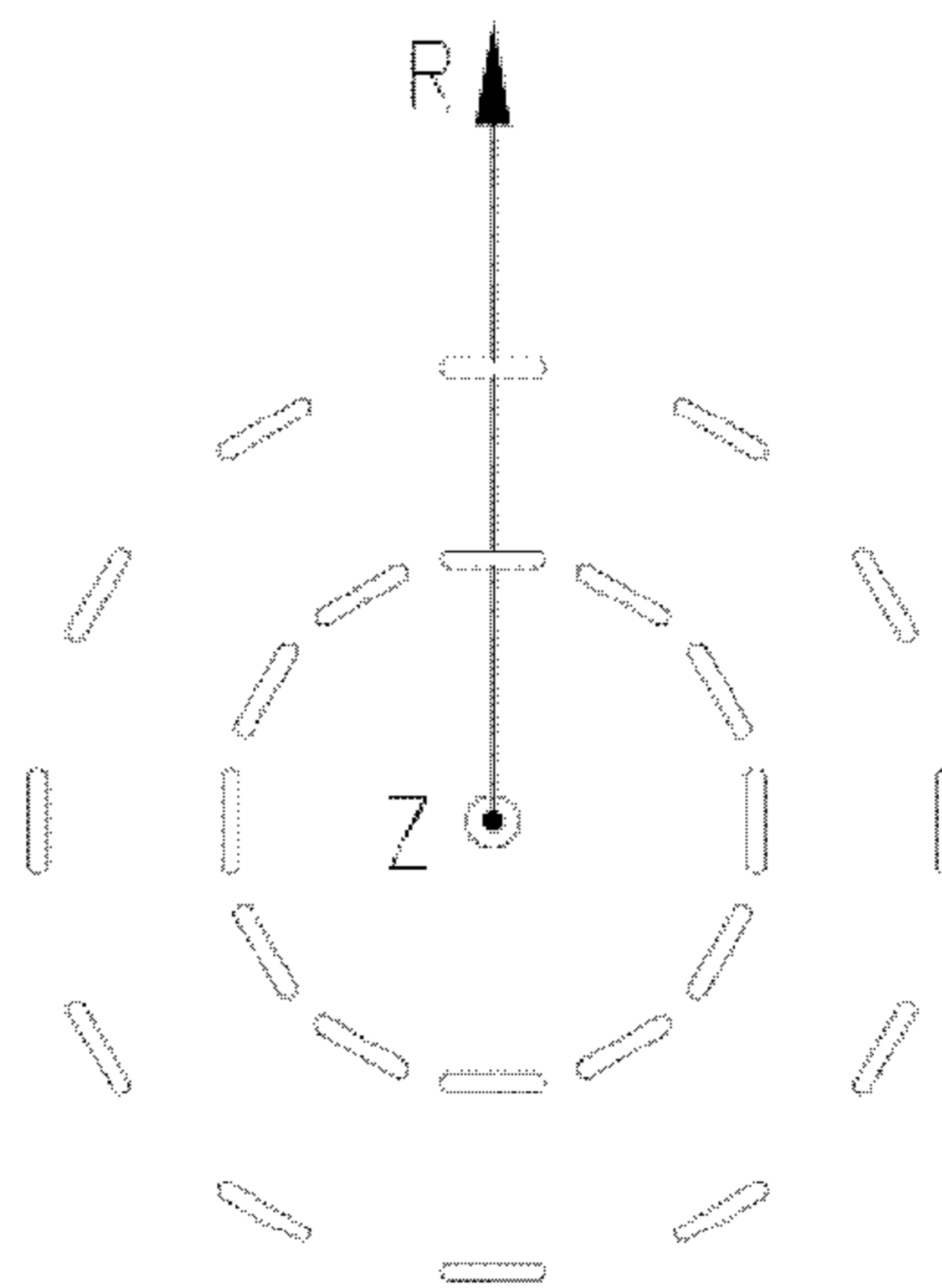


图 5

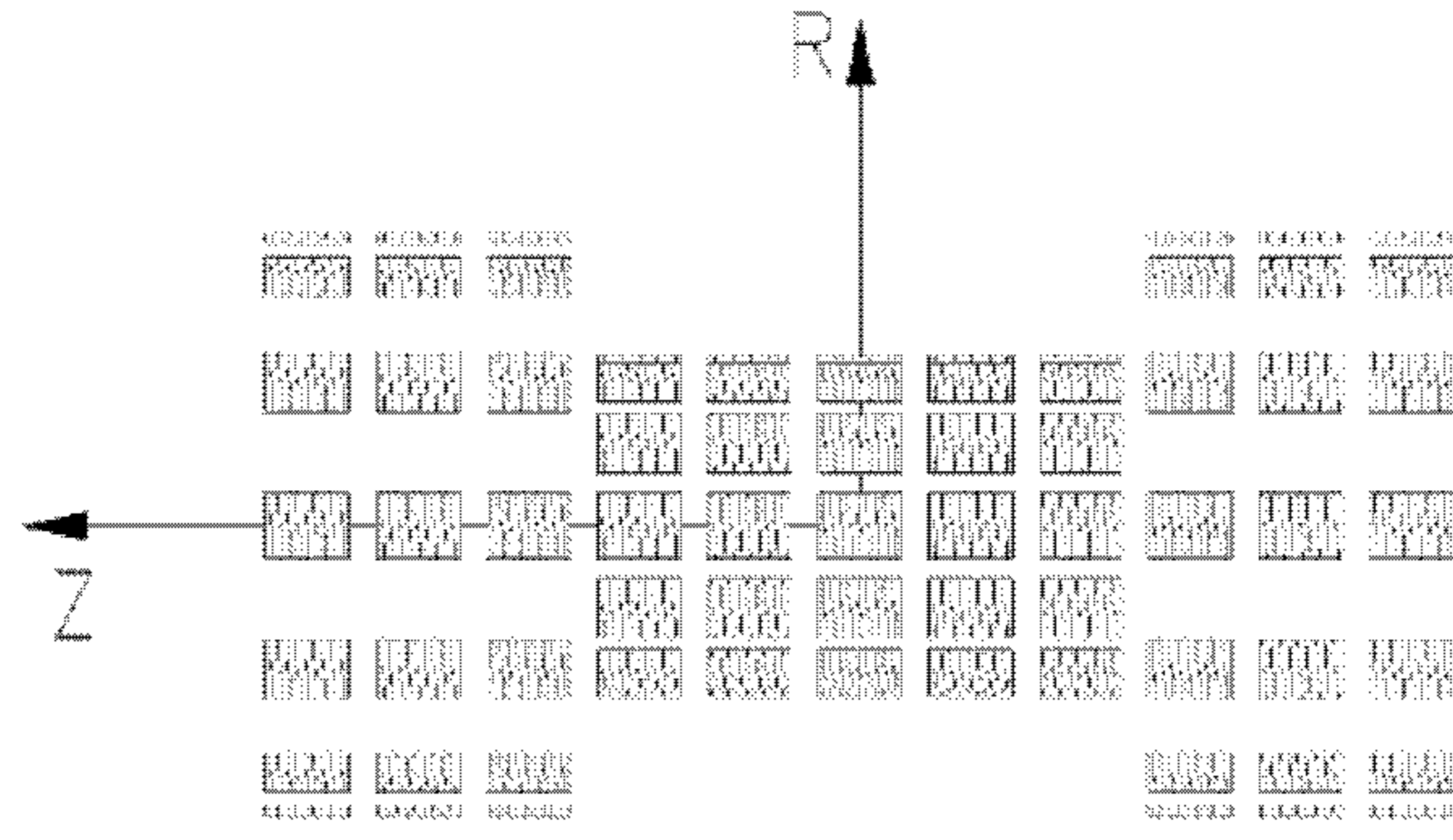


图 6

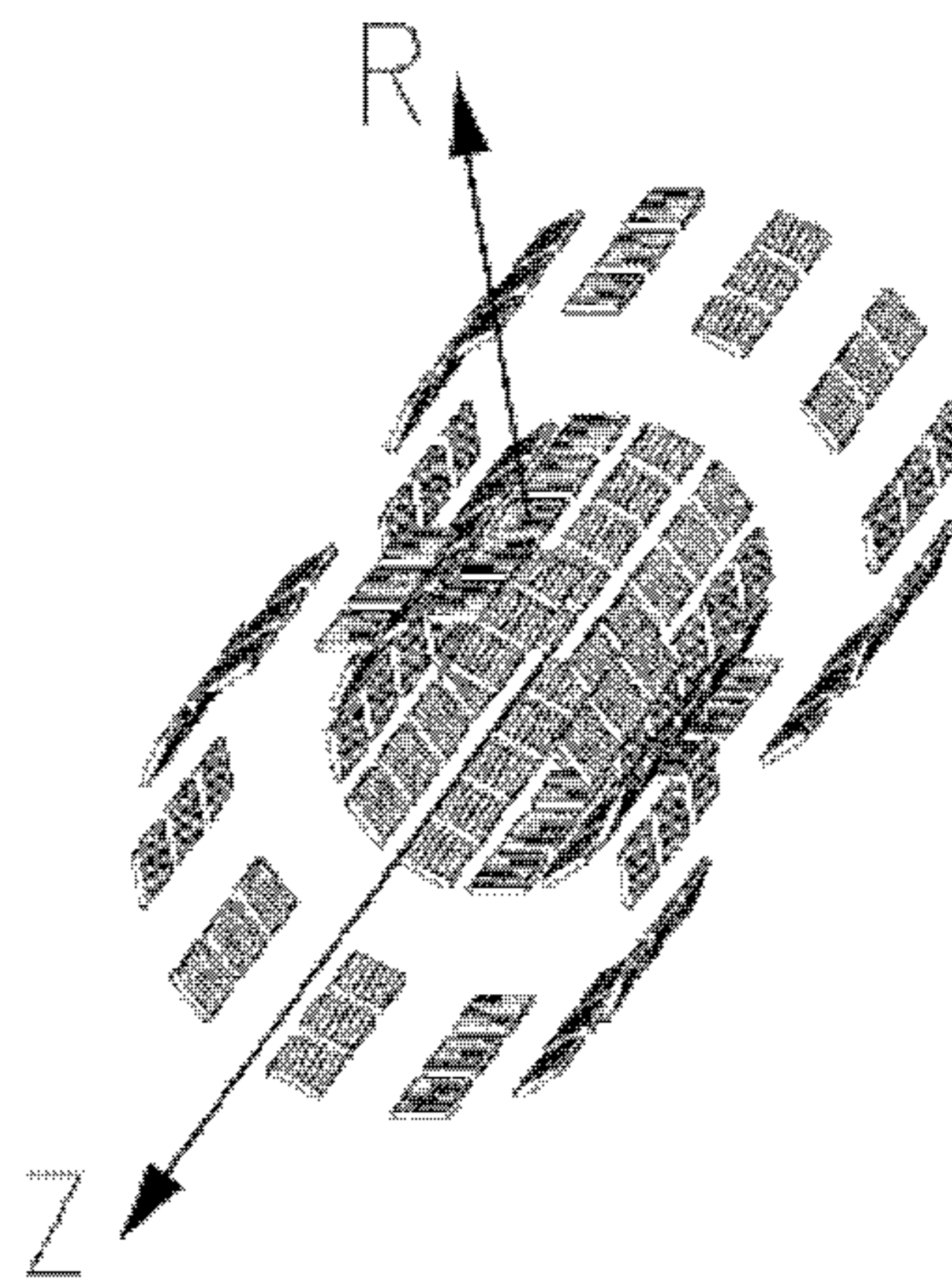


图 7

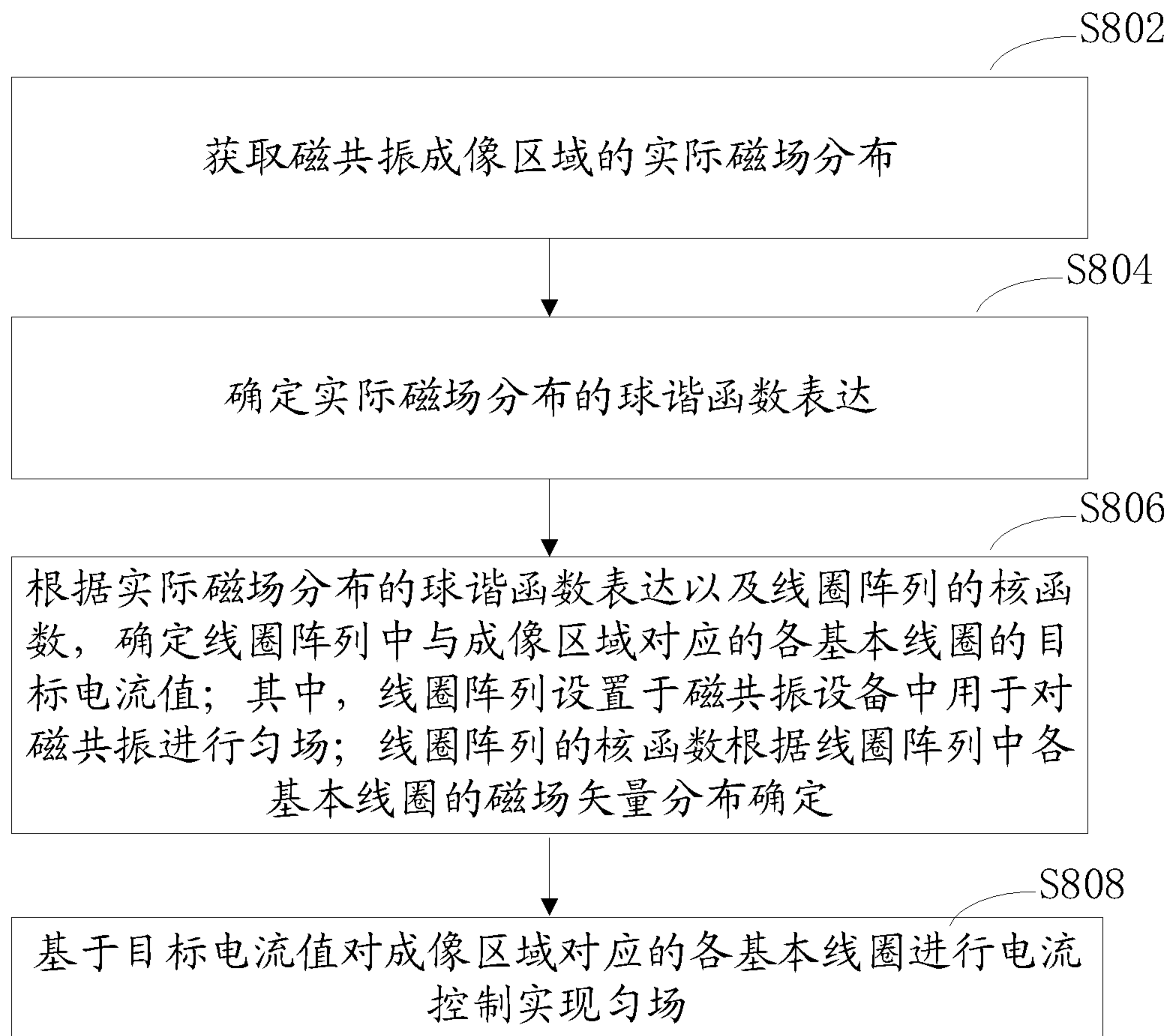


图 8

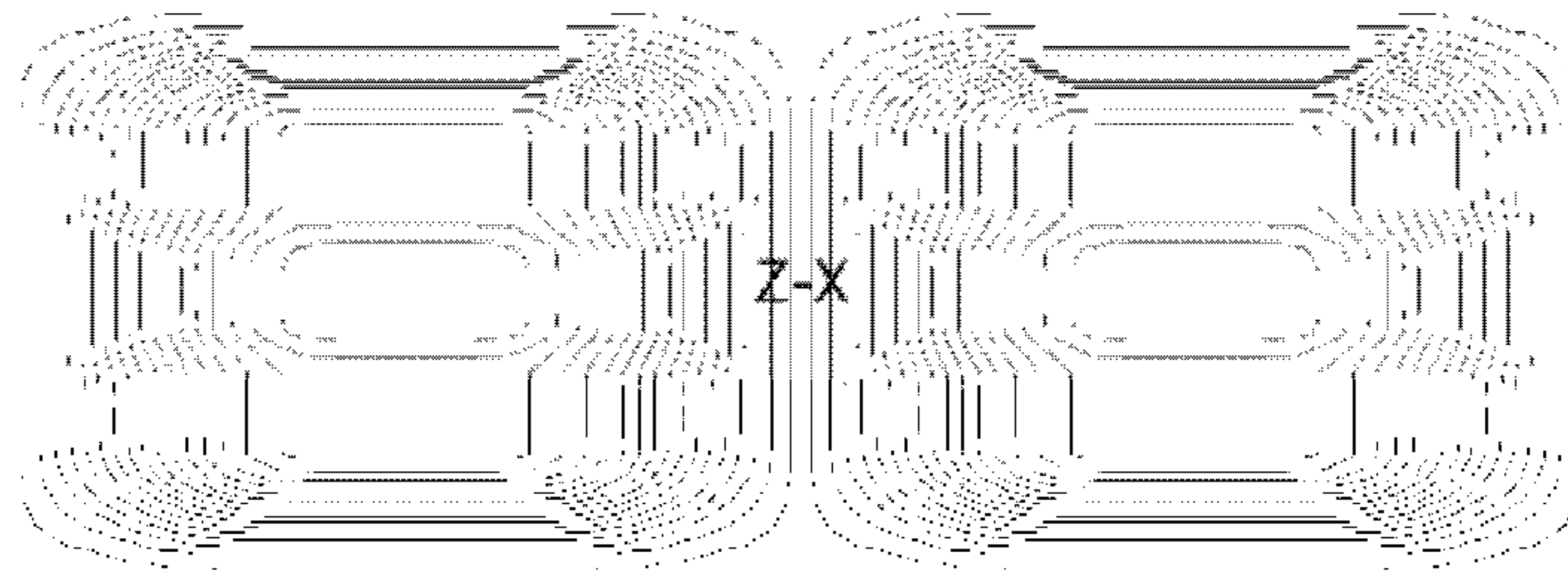


图 9

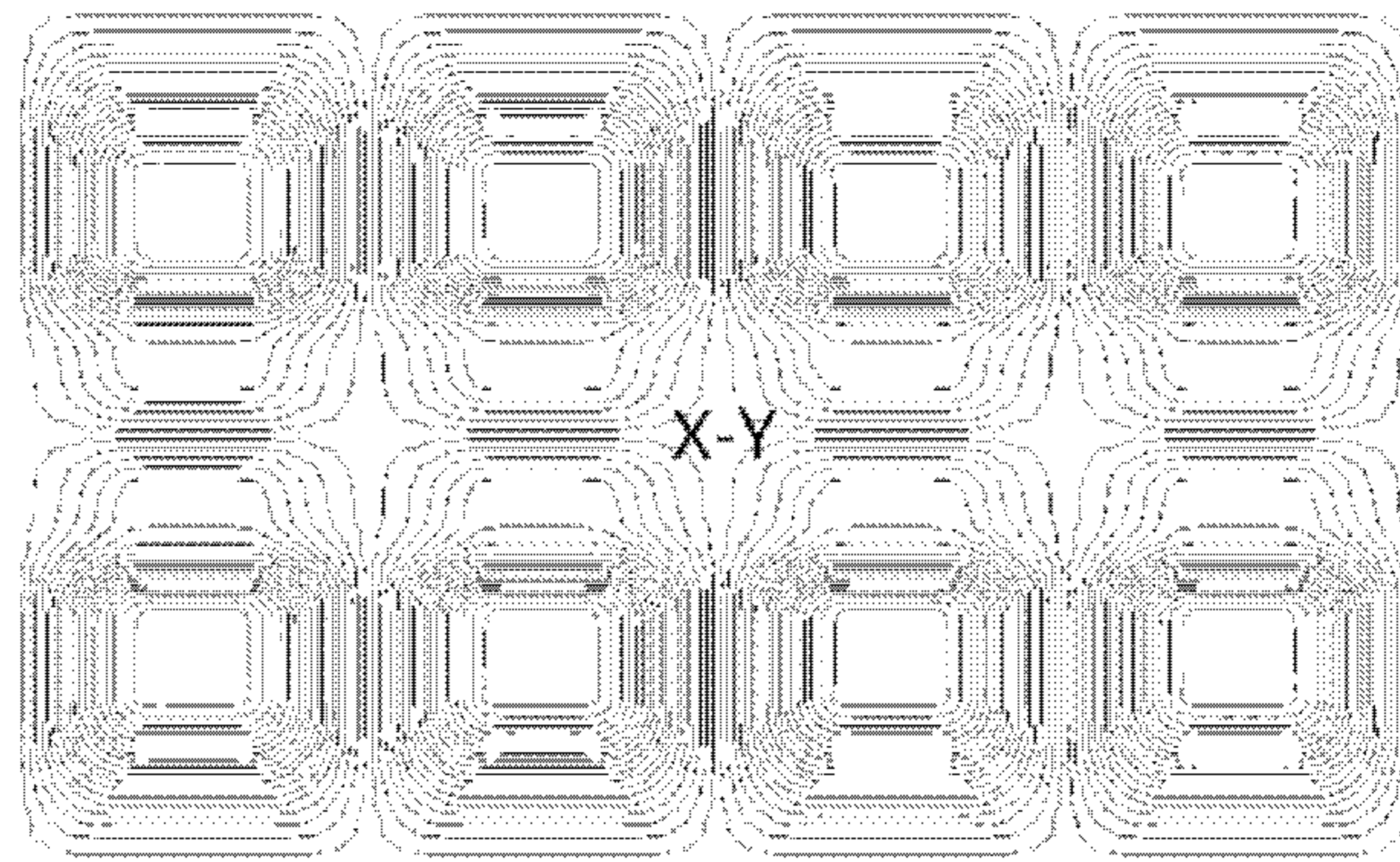


图 10

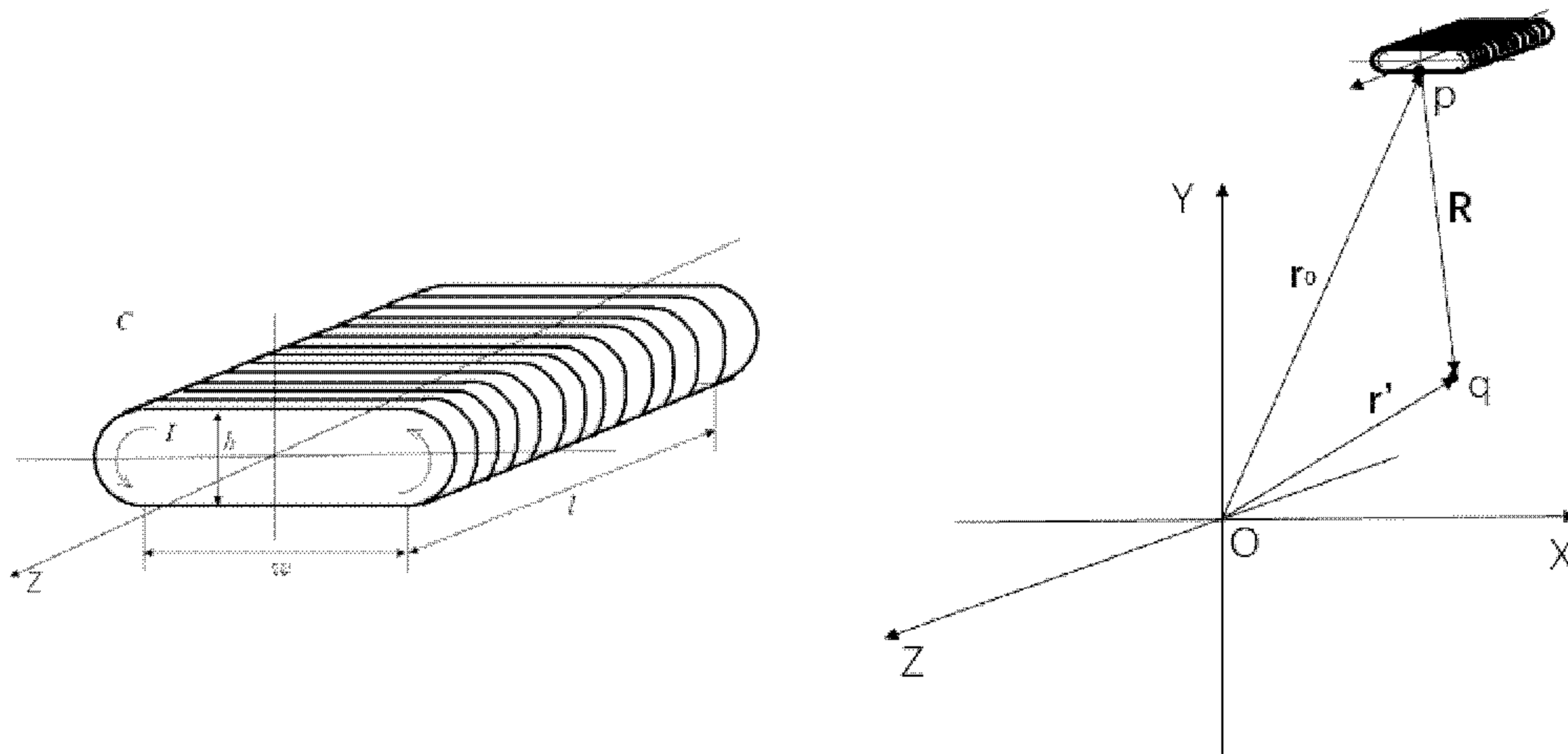


图 11

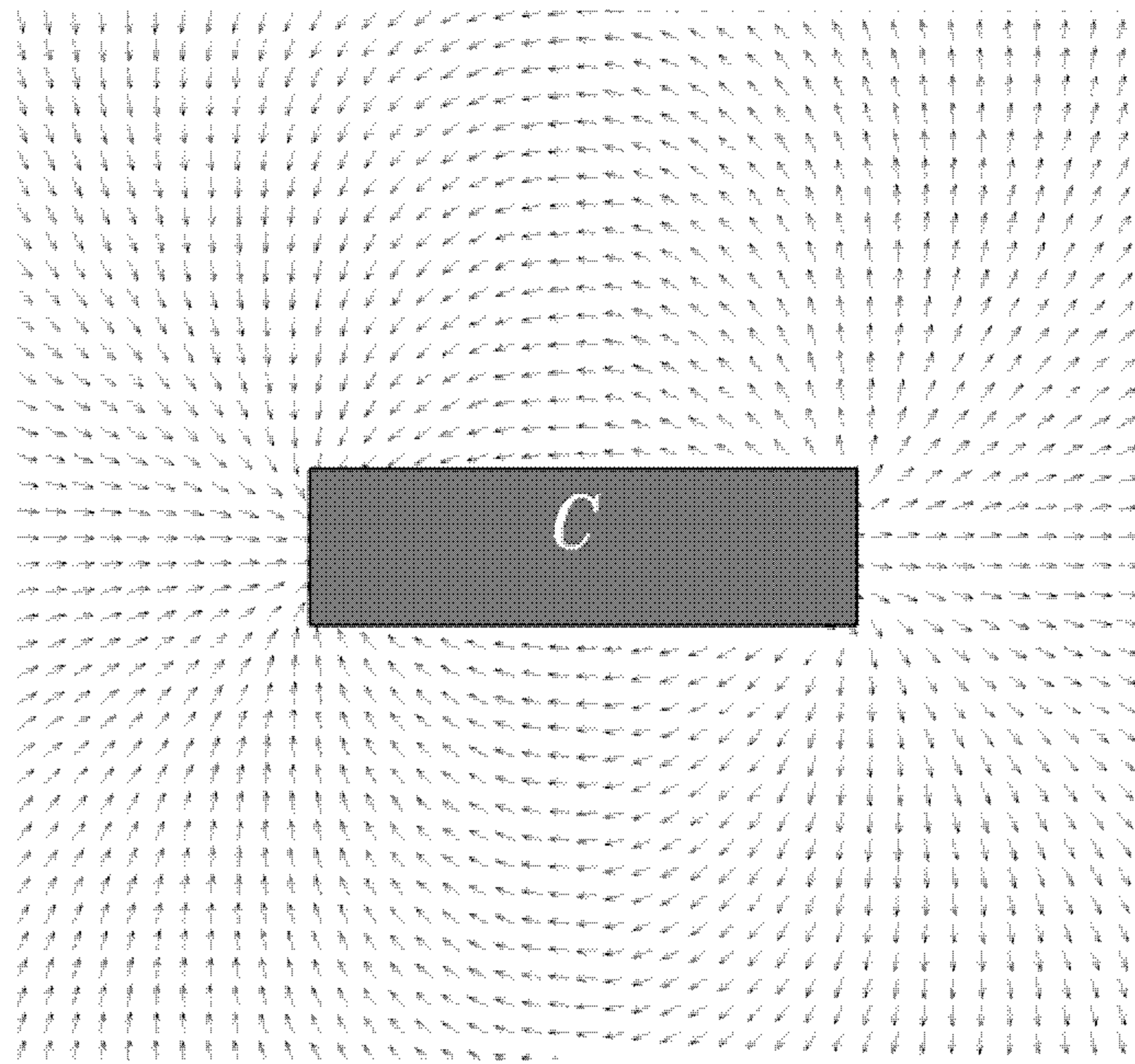


图 12

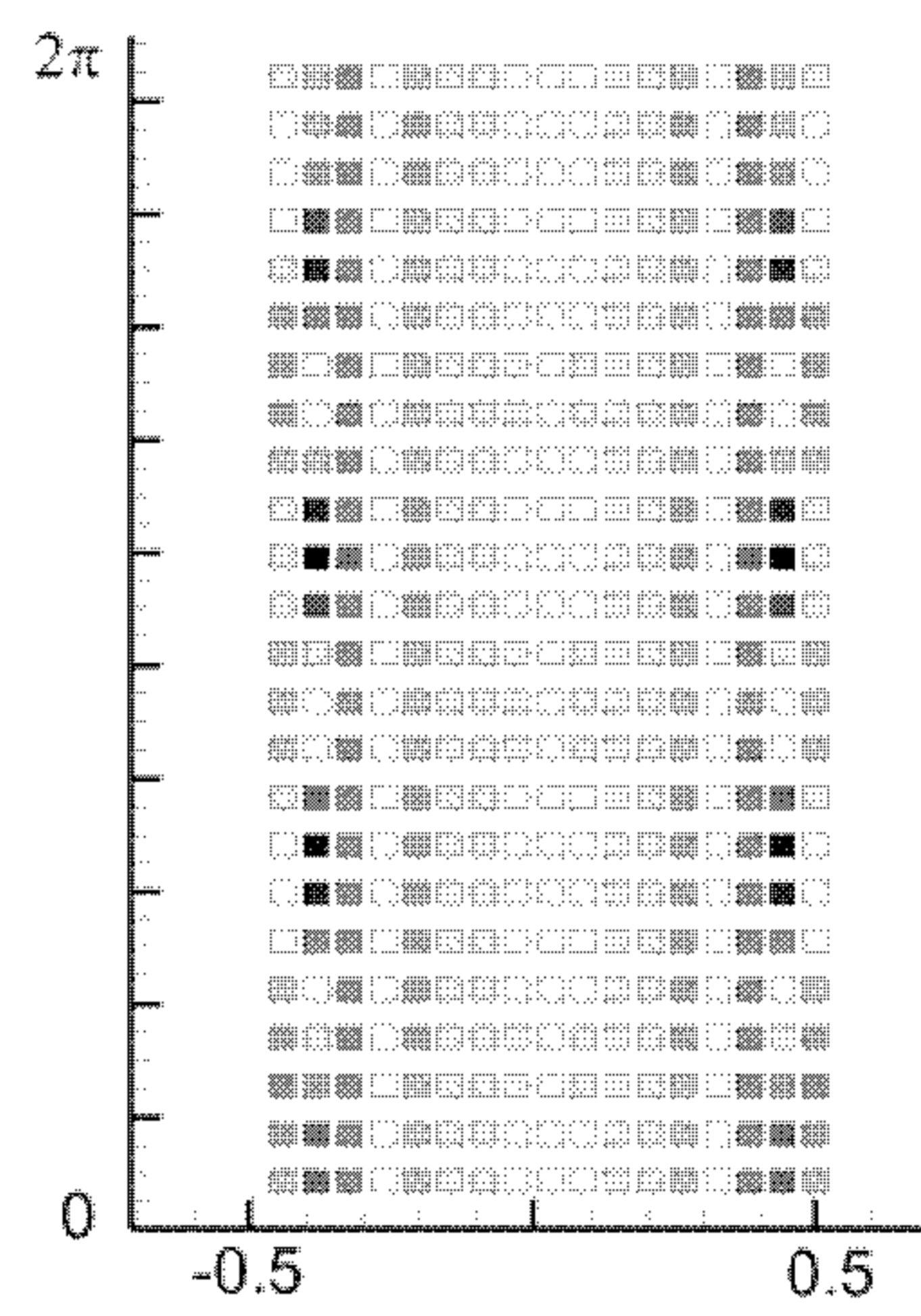


图 13

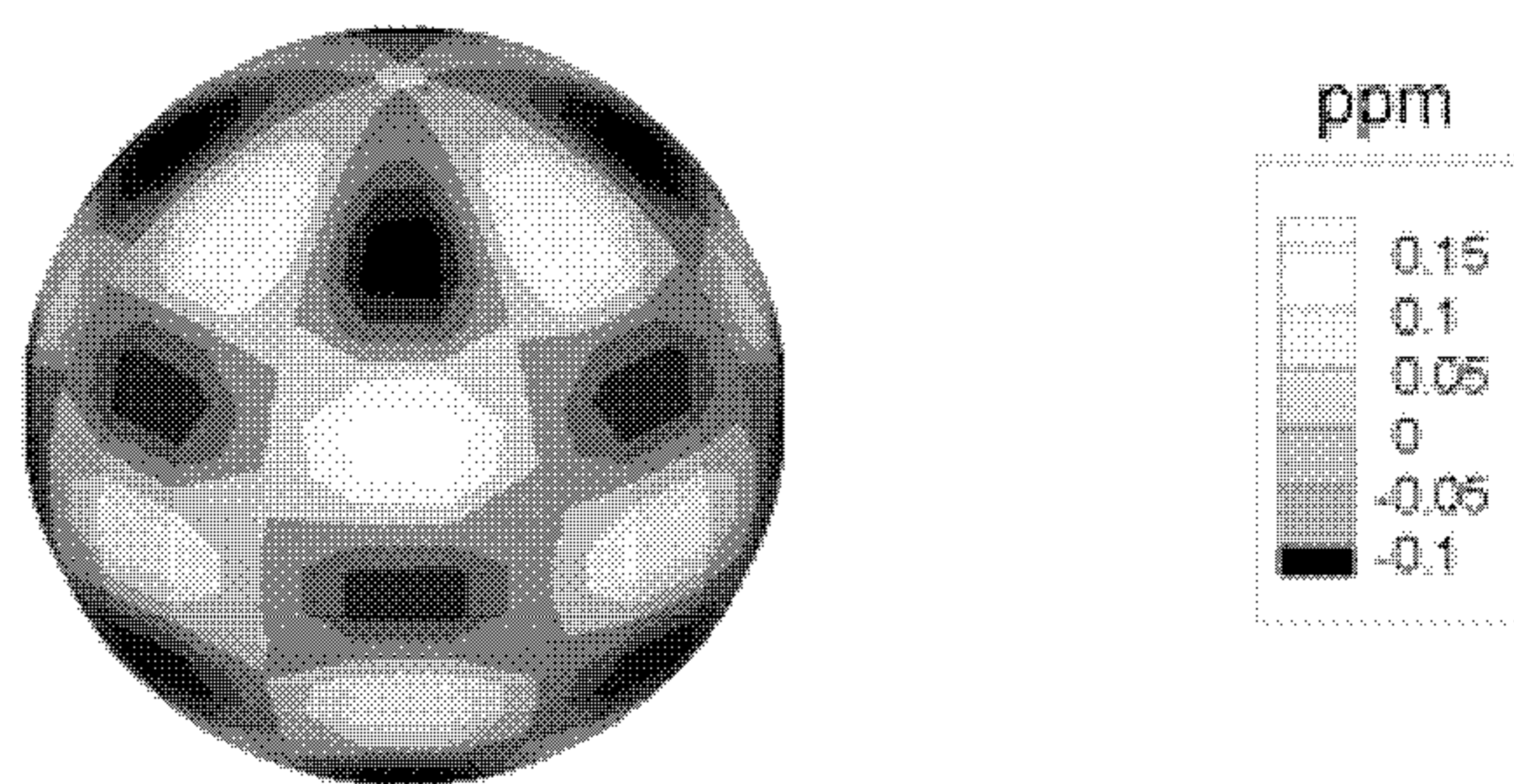


图 14

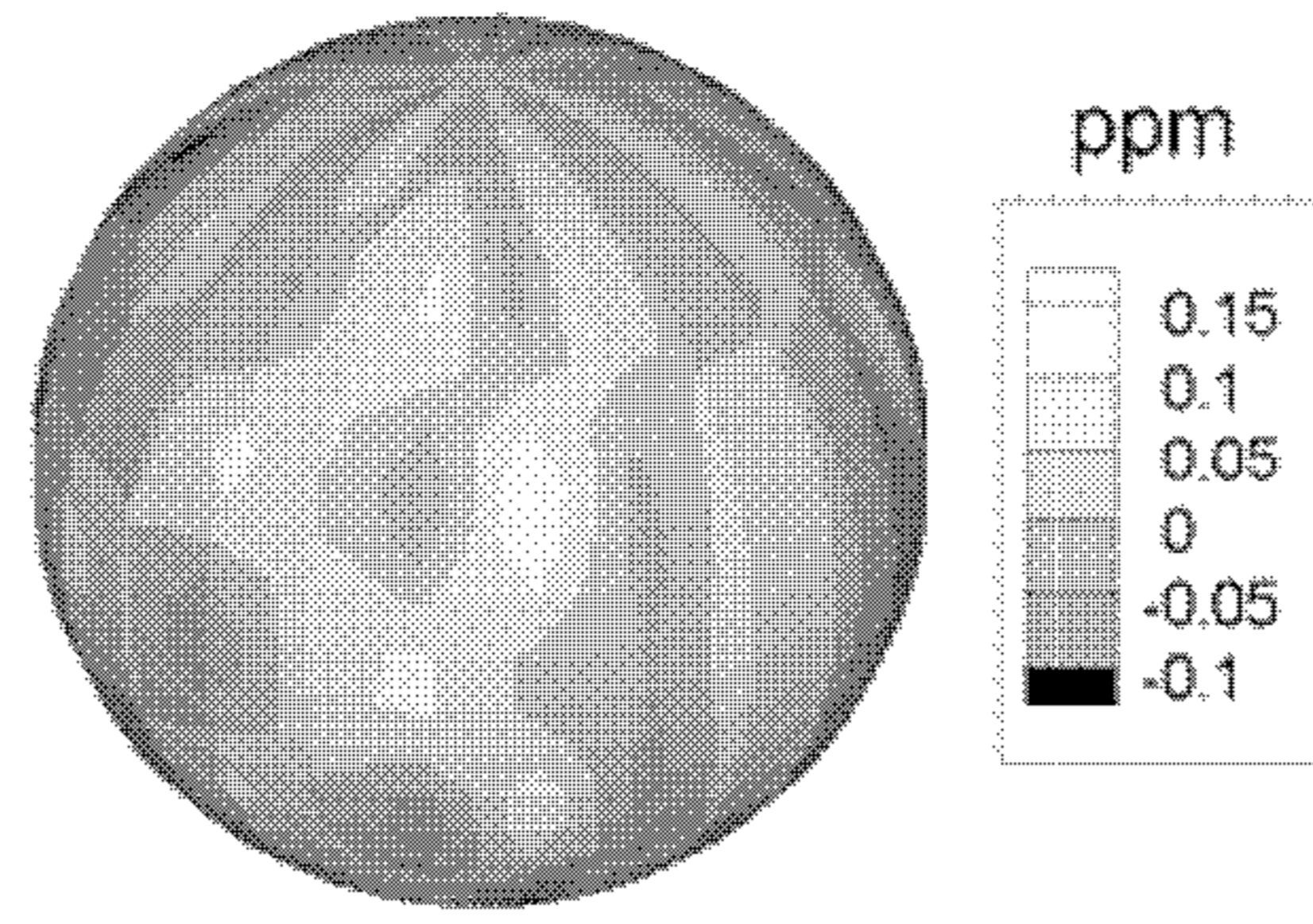


图 15

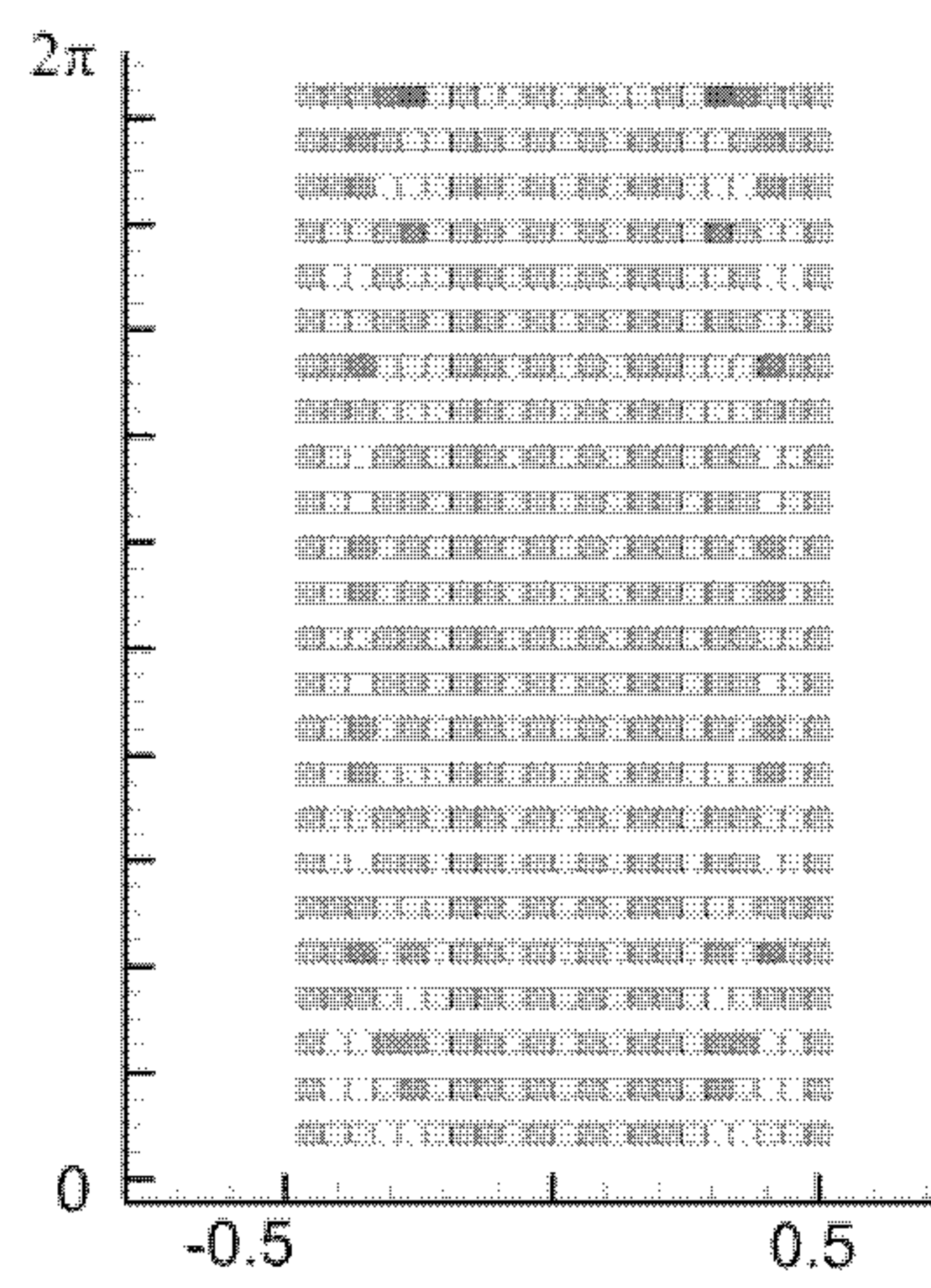


图 16

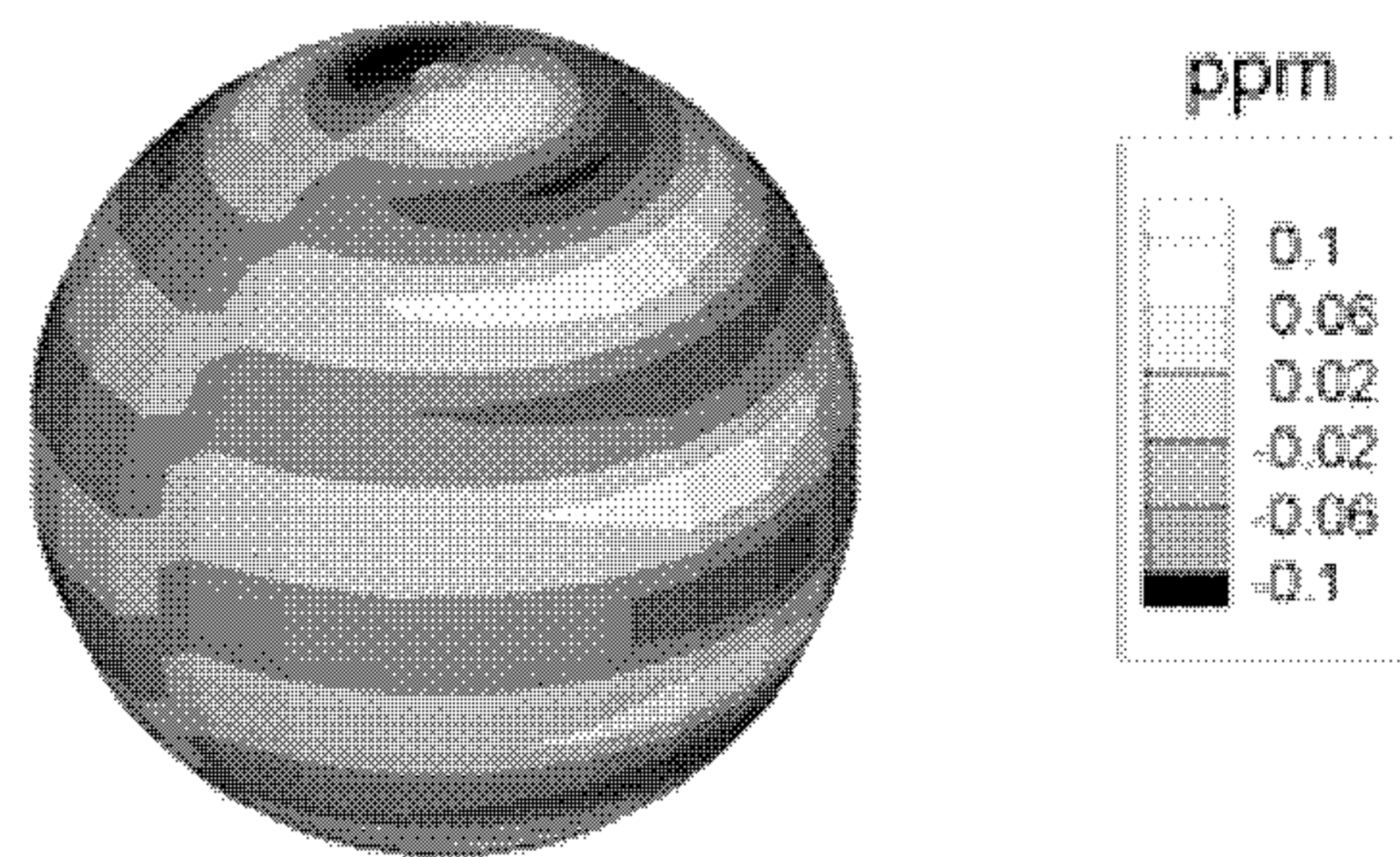


图 17

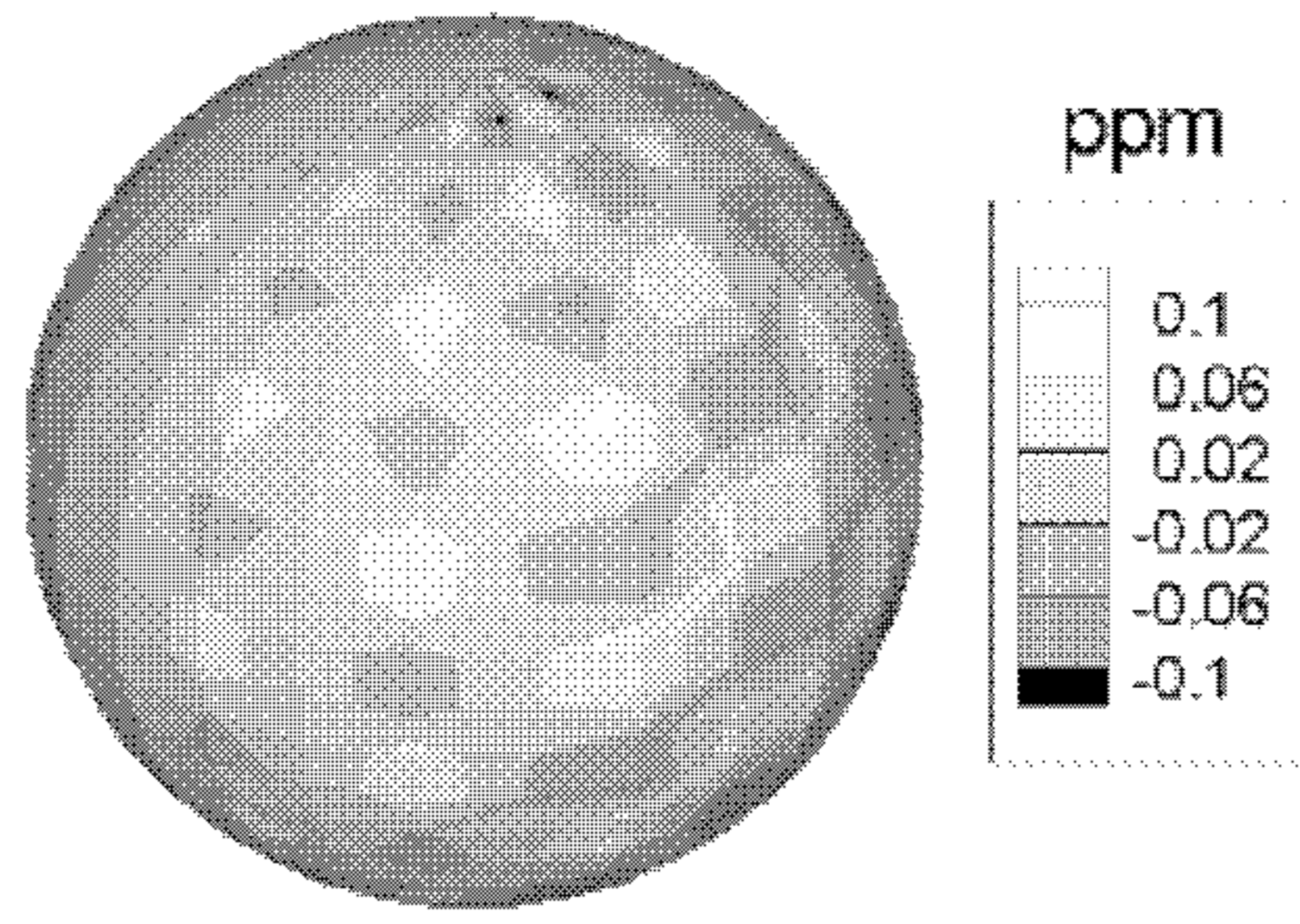


图 18

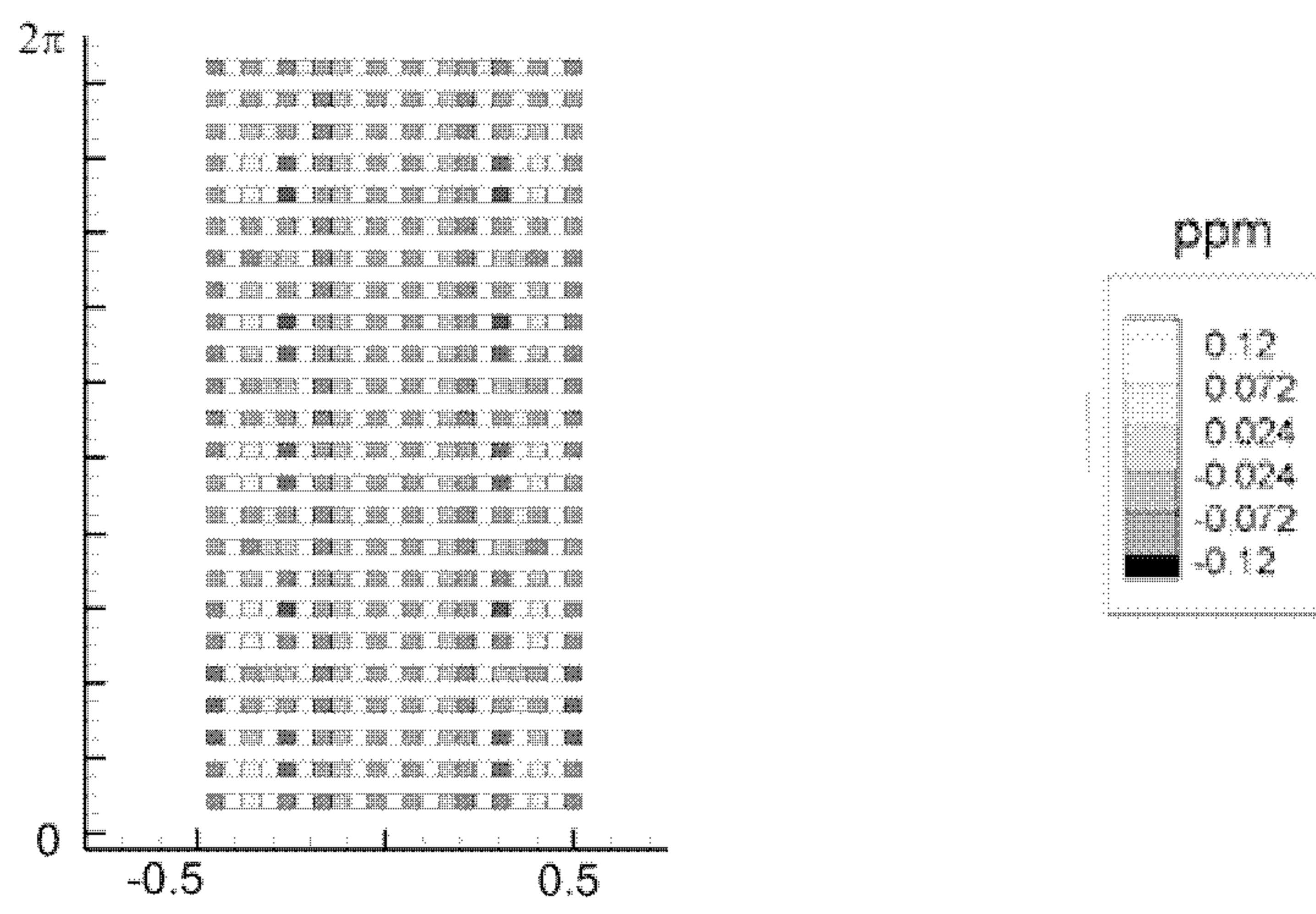


图 19

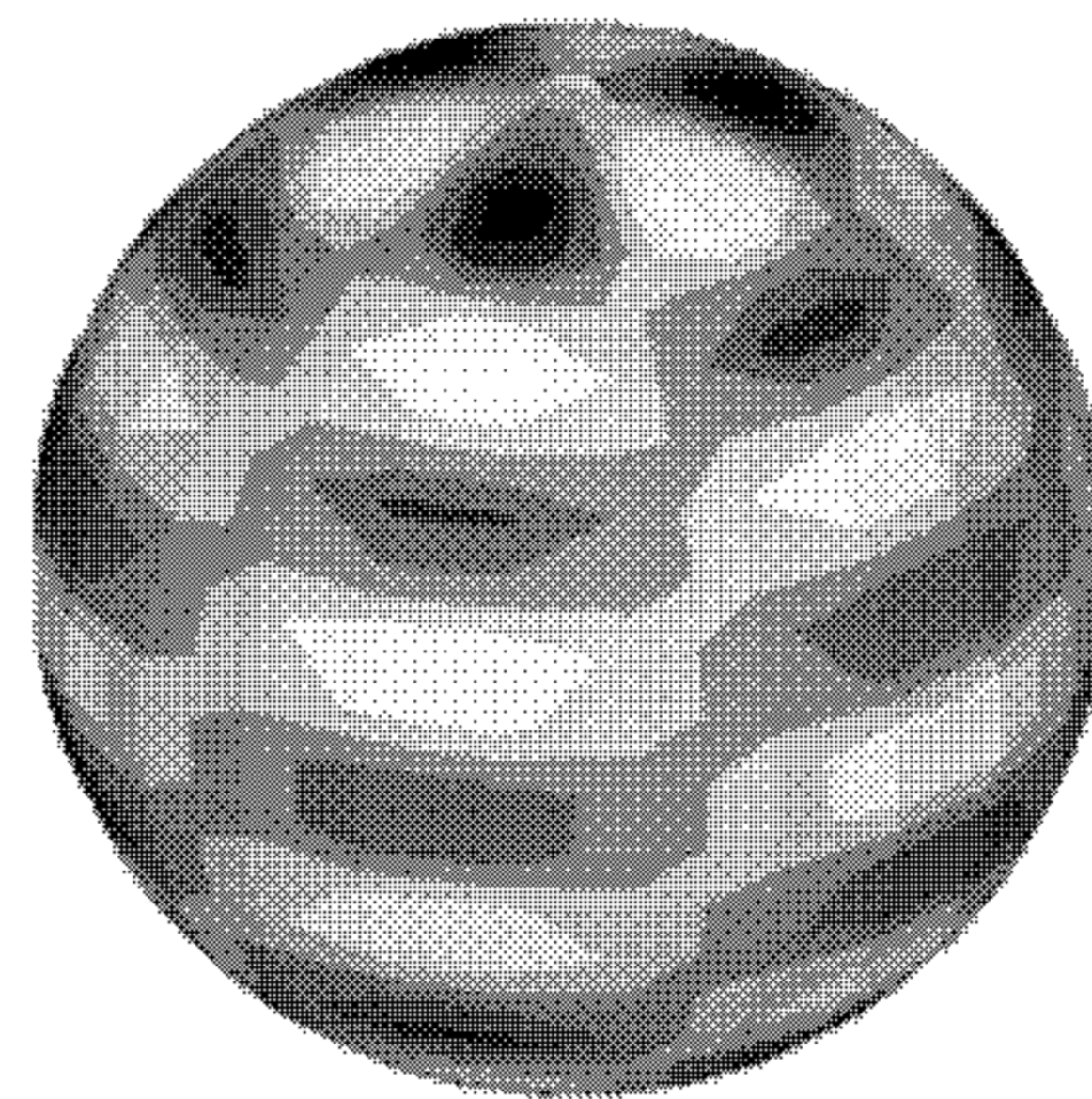


图 20

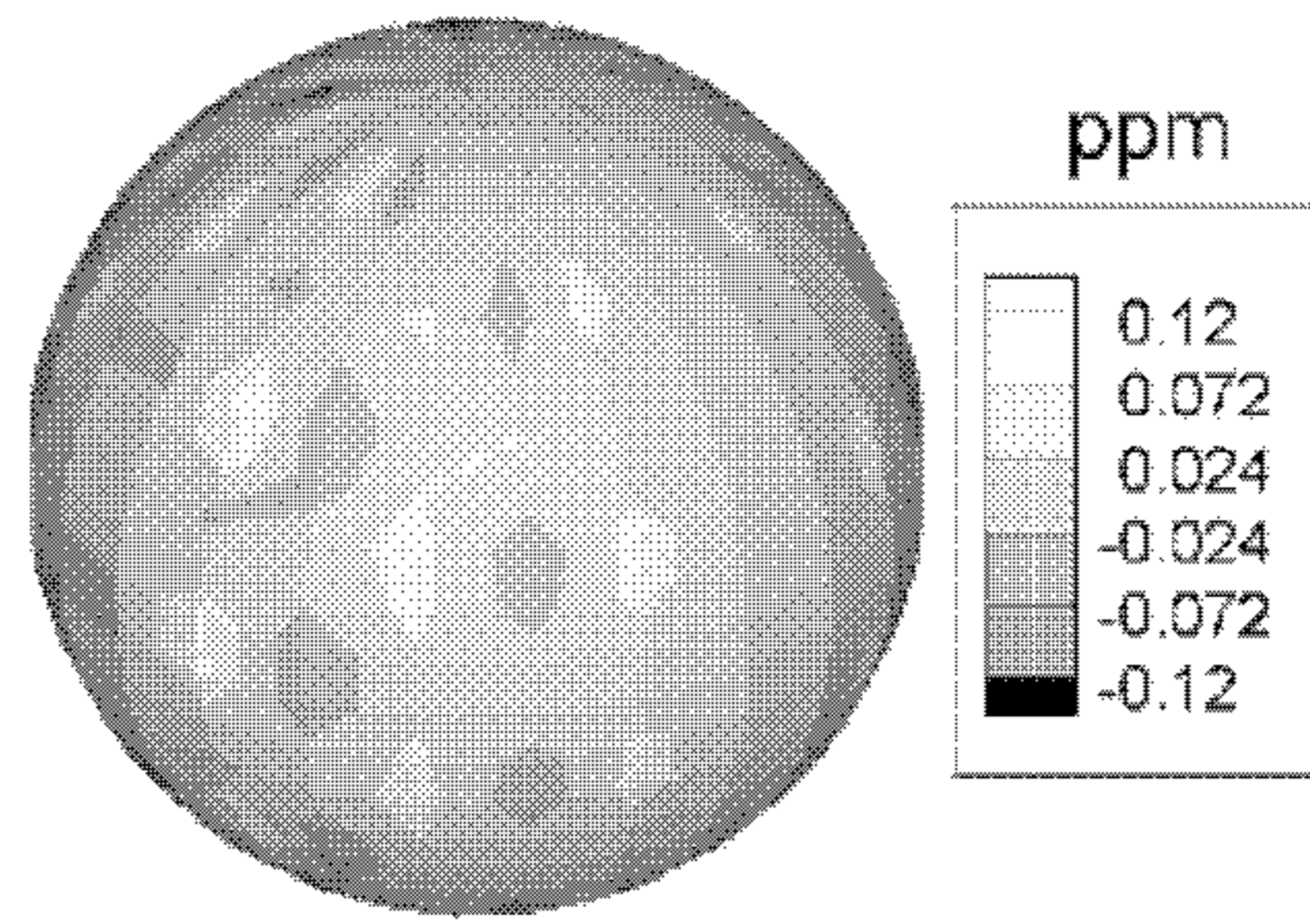


图 21

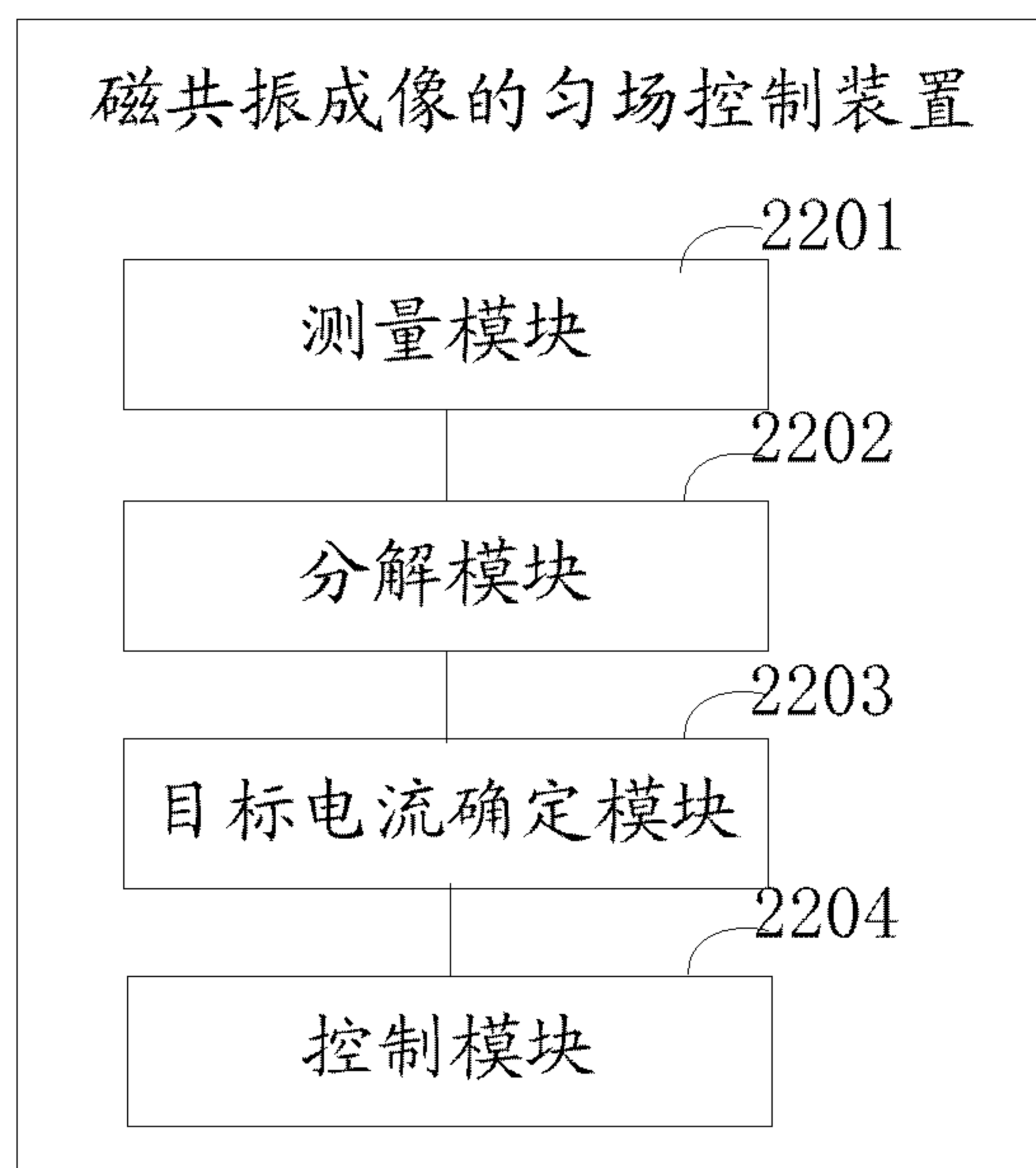


图 22

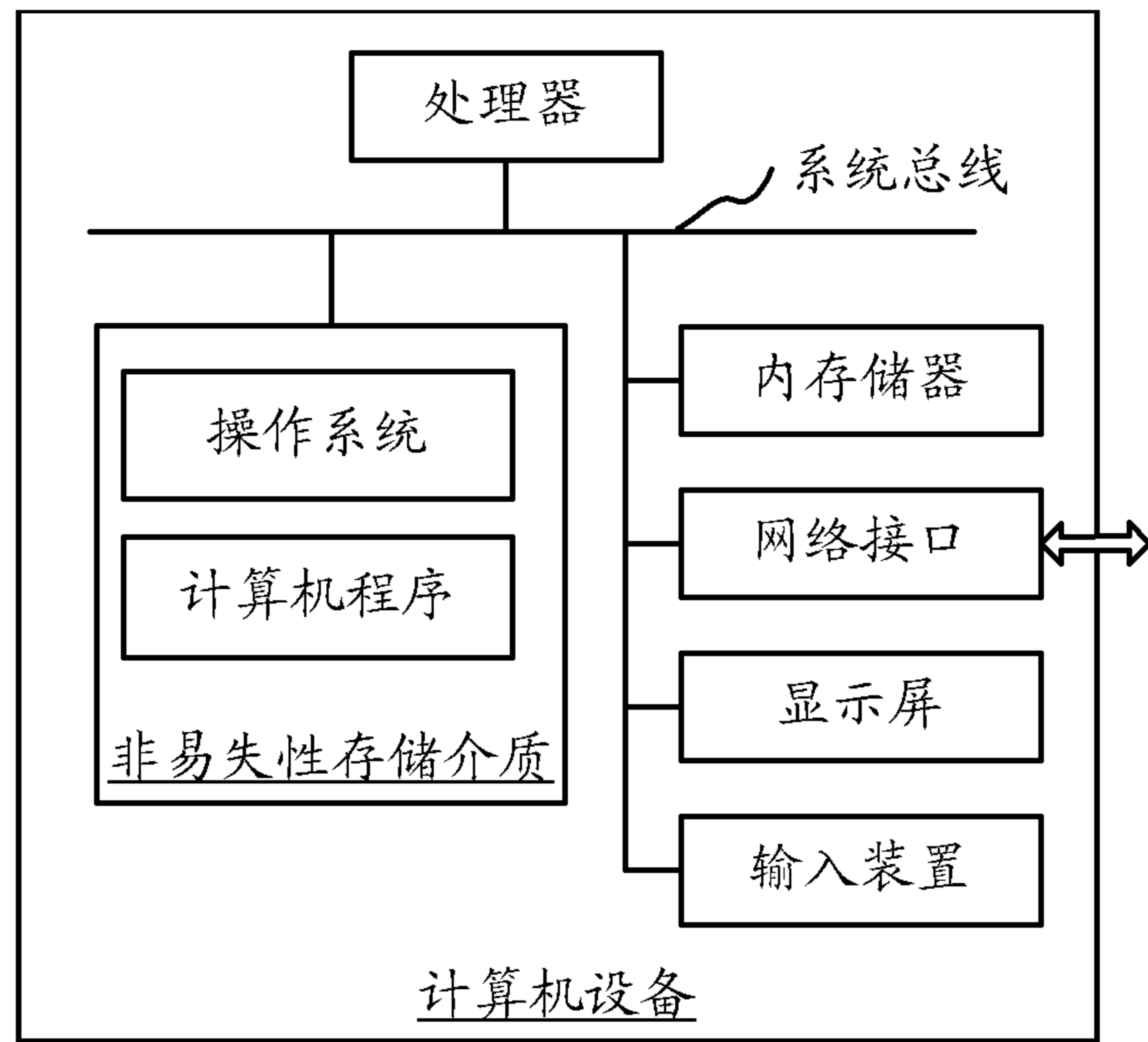


图 23

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/CN2020/128976

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER G01R 33/381(2006.01)i According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC		
B. FIELDS SEARCHED Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) G01R 33/- Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used) CNPAT, CNKI, WPI, EPODOC: 目标电流, 动态电流, 矩阵, 阵列, 球谐函数, 匀场, 电流, 湖南迈太科医疗科技有限公司, 核函数, 均匀静态磁场, 勒让德多项式, 核心函数, 比例系数, 均匀磁场, 萨伐尔定律, 球谐, 线圈, 主动匀场, shim, harmonics, function, coil?, kernel, spherical		
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
PX	CN 110927642 A (HUNAN MAITAIKE MEDICAL TECHNOLOGY CO., LTD.) 27 March 2020 (2020-03-27) claims 1-10, description, paragraphs [0046]-[0137], figures 1-23	1-10
X	US 2019246939 A1 (HITACHI, LTD.) 15 August 2019 (2019-08-15) description, paragraphs [0043], [0045],[0052], [0059],[0064], [0065], [0072], figures 1-13	1, 6-10
A	CN 107110922 A (SYNAPTIVE MEDICAL (BARBADOS) INC.) 29 August 2017 (2017-08-29) entire document	1-10
A	CN 109856575 A (WEIFANG XINLI SUPERCONDUCTING MAGNETIC TECHNOLOGY CO., LTD.) 07 June 2019 (2019-06-07) entire document	1-10
A	CN 102356330 A (KONINKL PHILIPS ELECTRONICS NV.) 15 February 2012 (2012-02-15) entire document	1-10
A	CN 103442635 A (HITACHI MEDICAL CORPORATION) 11 December 2013 (2013-12-11) entire document	1-10
<input checked="" type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C. <input checked="" type="checkbox"/> See patent family annex.		
<p>* Special categories of cited documents:</p> <p>“A” document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance</p> <p>“E” earlier application or patent but published on or after the international filing date</p> <p>“L” document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)</p> <p>“O” document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means</p> <p>“P” document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed</p> <p>“T” later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention</p> <p>“X” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone</p> <p>“Y” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art</p> <p>“&” document member of the same patent family</p>		
Date of the actual completion of the international search 13 January 2021		Date of mailing of the international search report 28 January 2021
Name and mailing address of the ISA/CN China National Intellectual Property Administration (ISA/CN) No. 6, Xitucheng Road, Jimenqiao, Haidian District, Beijing 100088 China Facsimile No. (86-10)62019451		Authorized officer Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/CN2020/128976

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	CN 110308411 A (BEIJING LIMECHO TECHNOLOGY CO., LTD.) 08 October 2019 (2019-10-08) entire document	1-10
.....		

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/CN2020/128976

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)	Publication date (day/month/year)	
CN	110927642	A	27 March 2020	None		
US	2019246939	A1	15 August 2019	JP	6643110 B2	12 February 2020
				WO	2017131070 A1	03 August 2017
				US	10512418 B2	24 December 2019
				JP	2017131359 A	03 August 2017
CN	107110922	A	29 August 2017	GB	201710589 D0	16 August 2017
				CA	2928850 A1	09 June 2016
				US	2018102215 A1	12 April 2018
				US	9842689 B2	12 December 2017
				JP	6481037 B2	13 March 2019
				CA	2928850 C	13 June 2017
				GB	2549424 B	05 September 2018
				GB	2549424 A	18 October 2017
				US	10658109 B2	19 May 2020
				JP	2018501854 A	25 January 2018
				CN	107110922 B	24 March 2020
				US	2016178718 A1	23 June 2016
				WO	2016090454 A1	16 June 2016
				HK	1237414 A0	13 April 2018
CN	109856575	A	07 June 2019	CN	109856575 B	01 November 2019
CN	102356330	A	15 February 2012	EP	2409170 A1	25 January 2012
				JP	2012520722 A	10 September 2012
				EP	2230530 A1	22 September 2010
				WO	2010106513 A1	23 September 2010
				US	9081070 B2	14 July 2015
				EP	2409170 B1	07 August 2019
				CN	102356330 B	17 September 2014
				US	2012098541 A1	26 April 2012
				JP	5715116 B2	07 May 2015
				IN	201107462 P4	21 June 2013
CN	103442635	A	11 December 2013	US	2014009152 A1	09 January 2014
				CN	103442635 B	20 January 2016
				JP	5943355 B2	05 July 2016
				US	9588200 B2	07 March 2017
				WO	2012132911 S	28 July 2014
CN	110308411	A	08 October 2019	None		

<p>A. 主题的分类</p> <p>G01R 33/381(2006.01) i</p> <p>按照国际专利分类(IPC)或者同时按照国家分类和IPC两种分类</p>																										
<p>B. 检索领域</p> <p>检索的最低限度文献(标明分类系统和分类号)</p> <p>G01R 33/-</p> <p>包含在检索领域中的除最低限度文献以外的检索文献</p> <p>在国际检索时查阅的电子数据库(数据库的名称, 和使用的检索词(如使用))</p> <p>CNPAT, CNKI, WPI, EPODOC: 目标电流, 动态电流, 矩阵, 阵列, 球谐函数, 匀场, 电流, 湖南迈太科医疗科技有限公司, 核函数, 均匀静态磁场, 勒让德多项式, 核心函数, 比例系数, 均匀磁场, 萨伐尔定律, 球谐, 线圈, 主动匀场, shim, harmonics, function, coil?, kernel, spherical</p>																										
<p>C. 相关文件</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>类型*</th> <th>引用文件, 必要时, 指明相关段落</th> <th>相关的权利要求</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>PX</td> <td>CN 110927642 A (湖南迈太科医疗科技有限公司) 2020年 3月 27日 (2020 - 03 - 27) 权利要求1-10、说明书第[0046]-[0137]段、图1-23</td> <td>1-10</td> </tr> <tr> <td>X</td> <td>US 2019246939 A1 (HITACHI, LTD.) 2019年 8月 15日 (2019 - 08 - 15) 说明书第[0043], [0045], [0052], [0059], [0064], [0065], [0072]段、图1-13</td> <td>1, 6-10</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>CN 107110922 A (圣纳普医疗巴巴多斯公司) 2017年 8月 29日 (2017 - 08 - 29) 全文</td> <td>1-10</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>CN 109856575 A (潍坊新力超导磁电科技有限公司) 2019年 6月 7日 (2019 - 06 - 07) 全文</td> <td>1-10</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>CN 102356330 A (皇家飞利浦电子股份有限公司) 2012年 2月 15日 (2012 - 02 - 15) 全文</td> <td>1-10</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>CN 103442635 A (株式会社日立医疗器械) 2013年 12月 11日 (2013 - 12 - 11) 全文</td> <td>1-10</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>CN 110308411 A (北京青檬艾柯科技有限公司) 2019年 10月 8日 (2019 - 10 - 08) 全文</td> <td>1-10</td> </tr> </tbody> </table>			类型*	引用文件, 必要时, 指明相关段落	相关的权利要求	PX	CN 110927642 A (湖南迈太科医疗科技有限公司) 2020年 3月 27日 (2020 - 03 - 27) 权利要求1-10、说明书第[0046]-[0137]段、图1-23	1-10	X	US 2019246939 A1 (HITACHI, LTD.) 2019年 8月 15日 (2019 - 08 - 15) 说明书第[0043], [0045], [0052], [0059], [0064], [0065], [0072]段、图1-13	1, 6-10	A	CN 107110922 A (圣纳普医疗巴巴多斯公司) 2017年 8月 29日 (2017 - 08 - 29) 全文	1-10	A	CN 109856575 A (潍坊新力超导磁电科技有限公司) 2019年 6月 7日 (2019 - 06 - 07) 全文	1-10	A	CN 102356330 A (皇家飞利浦电子股份有限公司) 2012年 2月 15日 (2012 - 02 - 15) 全文	1-10	A	CN 103442635 A (株式会社日立医疗器械) 2013年 12月 11日 (2013 - 12 - 11) 全文	1-10	A	CN 110308411 A (北京青檬艾柯科技有限公司) 2019年 10月 8日 (2019 - 10 - 08) 全文	1-10
类型*	引用文件, 必要时, 指明相关段落	相关的权利要求																								
PX	CN 110927642 A (湖南迈太科医疗科技有限公司) 2020年 3月 27日 (2020 - 03 - 27) 权利要求1-10、说明书第[0046]-[0137]段、图1-23	1-10																								
X	US 2019246939 A1 (HITACHI, LTD.) 2019年 8月 15日 (2019 - 08 - 15) 说明书第[0043], [0045], [0052], [0059], [0064], [0065], [0072]段、图1-13	1, 6-10																								
A	CN 107110922 A (圣纳普医疗巴巴多斯公司) 2017年 8月 29日 (2017 - 08 - 29) 全文	1-10																								
A	CN 109856575 A (潍坊新力超导磁电科技有限公司) 2019年 6月 7日 (2019 - 06 - 07) 全文	1-10																								
A	CN 102356330 A (皇家飞利浦电子股份有限公司) 2012年 2月 15日 (2012 - 02 - 15) 全文	1-10																								
A	CN 103442635 A (株式会社日立医疗器械) 2013年 12月 11日 (2013 - 12 - 11) 全文	1-10																								
A	CN 110308411 A (北京青檬艾柯科技有限公司) 2019年 10月 8日 (2019 - 10 - 08) 全文	1-10																								
<p><input type="checkbox"/> 其余文件在C栏的续页中列出。 <input checked="" type="checkbox"/> 见同族专利附件。</p>																										
<p>* 引用文件的具体类型:</p> <p>“A” 认为不特别相关的表示了现有技术一般状态的文件</p> <p>“E” 在国际申请日的当天或之后公布的在先申请或专利</p> <p>“L” 可能对优先权要求构成怀疑的文件, 或为确定另一篇引用文件的公布日而引用的或者因其他特殊理由而引用的文件(如具体说明的)</p> <p>“O” 涉及口头公开、使用、展览或其他方式公开的文件</p> <p>“P” 公布日先于国际申请日但迟于所要求的优先权日的文件</p> <p>“T” 在申请日或优先权日之后公布, 与申请不相抵触, 但为了解发明之理论或原理的在后文件</p> <p>“X” 特别相关的文件, 单独考虑该文件, 认定要求保护的发明不是新颖的或不具有创造性</p> <p>“Y” 特别相关的文件, 当该文件与另一篇或者多篇该类文件结合并且这种结合对于本领域技术人员为显而易见时, 要求保护的发明不具有创造性</p> <p>“&” 同族专利的文件</p>																										
<p>国际检索实际完成的日期</p> <p>2021年 1月 13日</p>		<p>国际检索报告邮寄日期</p> <p>2021年 1月 28日</p>																								
<p>ISA/CN的名称和邮寄地址</p> <p>中国国家知识产权局(ISA/CN) 中国北京市海淀区蓟门桥西土城路6号 100088</p> <p>传真号 (86-10)62019451</p>		<p>授权官员</p> <p>陈飞</p> <p>电话号码 86-(10)-53962394</p>																								

国际检索报告
关于同族专利的信息

国际申请号

PCT/CN2020/128976

检索报告引用的专利文件			公布日 (年/月/日)	同族专利			公布日 (年/月/日)
CN	110927642	A	2020年 3月 27日	无			
US	2019246939	A1	2019年 8月 15日	JP	6643110	B2	2020年 2月 12日
				WO	2017131070	A1	2017年 8月 3日
				US	10512418	B2	2019年 12月 24日
				JP	2017131359	A	2017年 8月 3日
CN	107110922	A	2017年 8月 29日	GB	201710589	D0	2017年 8月 16日
				CA	2928850	A1	2016年 6月 9日
				US	2018102215	A1	2018年 4月 12日
				US	9842689	B2	2017年 12月 12日
				JP	6481037	B2	2019年 3月 13日
				CA	2928850	C	2017年 6月 13日
				GB	2549424	B	2018年 9月 5日
				GB	2549424	A	2017年 10月 18日
				US	10658109	B2	2020年 5月 19日
				JP	2018501854	A	2018年 1月 25日
				CN	107110922	B	2020年 3月 24日
				US	2016178718	A1	2016年 6月 23日
				WO	2016090454	A1	2016年 6月 16日
				HK	1237414	A0	2018年 4月 13日
CN	109856575	A	2019年 6月 7日	CN	109856575	B	2019年 11月 1日
CN	102356330	A	2012年 2月 15日	EP	2409170	A1	2012年 1月 25日
				JP	2012520722	A	2012年 9月 10日
				EP	2230530	A1	2010年 9月 22日
				WO	2010106513	A1	2010年 9月 23日
				US	9081070	B2	2015年 7月 14日
				EP	2409170	B1	2019年 8月 7日
				CN	102356330	B	2014年 9月 17日
				US	2012098541	A1	2012年 4月 26日
				JP	5715116	B2	2015年 5月 7日
				IN	201107462	P4	2013年 6月 21日
CN	103442635	A	2013年 12月 11日	US	2014009152	A1	2014年 1月 9日
				CN	103442635	B	2016年 1月 20日
				JP	5943355	B2	2016年 7月 5日
				US	9588200	B2	2017年 3月 7日
				WO	2012132911	S	2014年 7月 28日
CN	110308411	A	2019年 10月 8日	无			