

# 發明專利說明書 200627193

(本說明書格式、順序及粗體字，請勿任意更動，※記號部分請勿填寫)

※ 申請案號：9410176f

※ 申請日期：94-1-21

※IPC 分類：G06F 17/16

## 一、發明名稱：(中文/英文)

計算頭部轉移函數之方法 / Method for computing  
Head Related Transfer Functions

## 二、申請人：(共 1 人)

姓名或名稱：(中文/英文)

國立交通大學/NATIONAL CHIAO TUNG UNIVERSITY

代表人：(中文/英文) 張俊彥/CHUN-YEN CHANG

住居所或營業所地址：(中文/英文)

新竹市大學路 1001 號/NO. 1001, DASYUE RD., HSINCHU CITY, 300,  
TAIWAN (R. O. C.)

國 籍：(中文/英文) 中華民國/TW

## 三、發明人：(共 2 人)

姓 名：(中文/英文)

1. 白明憲 / BAI, MING-SIAN R.

2. 曹登傑 / TSAO, TENG-CHIEH

國 籍：(中文/英文) 中華民國/TW

#### 四、聲明事項：

主張專利法第二十二條第二項  第一款或  第二款規定之事實，其事實發生日期為： 年 月 日。

申請前已向下列國家（地區）申請專利：

【格式請依：受理國家（地區）、申請日、申請案號 順序註記】

有主張專利法第二十七條第一項國際優先權：

無主張專利法第二十七條第一項國際優先權：

主張專利法第二十九條第一項國內優先權：

【格式請依：申請日、申請案號 順序註記】

主張專利法第三十條生物材料：

須寄存生物材料者：

國內生物材料 【格式請依：寄存機構、日期、號碼 順序註記】

國外生物材料 【格式請依：寄存國家、機構、日期、號碼 順序註記】

不須寄存生物材料者：

所屬技術領域中具有通常知識者易於獲得時，不須寄存。

## 五、中文發明摘要：

一種計算 HRTF 之方法，其以一階層勢能定理來表示虛擬的聲場，並在進行離散化的處理以及使用適當的矩陣規則化之下，可以求出每一個方位上的聲壓值，進而可以建立完整的 HRTF 資料，如此即不需要進行實際的量測，亦可計算出相似的 HRTF。

## 六、英文發明摘要：

A method for computing Head Related Transfer Functions (HRTF) is developed. The method exploits a virtual source representation based on layer potential theory. Sound pressure level at an arbitrary direction can be obtained, with the aid of discretization and matrix regularization. A HRTF database can be constructed using the proposed numerical procedure in an efficient manner without resorting to tedious field measurements.

## 七、指定代表圖：

(一)本案指定代表圖為：圖( 1 )。

(二)本代表圖之元件符號簡單說明：

S101：以一第一數學方程式表示空間中任一位置之聲場

S103：在第一數學方程式所表示之聲場之法線方向上取梯度，以得到一第二數學方程式

S105：將第一數學方程式以及第二數學方程式進行一離散化動作，以得到第一離散數學方程式以及第二離散數學方程式

S107：將第一離散數學方程式以及第二離散數學方程式改寫成第一矩陣以及第二矩陣；

S109：求解第二矩陣中所包含之聲場的聲場強度

S111：將聲場強度代入第一矩陣中，求出第一矩陣中所包含之聲場之聲壓

## 八、本案若有化學式時，請揭示最能顯示發明特徵的化學式：

無

## 九、發明說明：

### 【發明所屬之技術領域】

本發明是有關於一種計算頭部轉移函數之方法，且特別是有關於一種不需進行實際量測，而可以利用數學方式推導即可求得頭部轉移函數之方法。

### 【先前技術】

典型的環繞音效系統係使用一些簡單的延遲電路及相位濾波器將左右聲道的資料混合處理，以模擬一立體聲效。然而，這種方式通常會因為混合處理使左右聲道的資料混淆，以致造成原始資料的失真。而在上述典型的環繞音效系統中亦無法從一聆聽者的前、後、上及下四個方向中產生立體音效，尤其是當聆聽者都不位在所謂的”甜點”(sweet spot)時。因此，上述系統需在前後音的位置上安裝濾波器，再提供一電性系統，以允許聆聽者轉頭 180 度從左轉至右時，可以經由前面的濾波器聽到前面的聲音並右轉至左時，可經由後面的濾波器聽到後面的聲音。根據數值分析所導出的統計資料，將定標器 (scaler) 用於濾波器的輸出入上，以調整音源產生的範圍及位置，以消除例如兩耳間聲音的密度差，然而，這需要大量的電路元件及濾波功率，以提供臨場音效。

因此，進而又發展出目前常用於產生 3D 立體音效的頭部轉移函數(Head-related transfer function, HRTF)，此 HRTF 是使用一個人工頭(artificial head)或放置麥克風在人耳之間，每一個聲源必需在頻率範圍 20Hz~20KHz 之間來

量測，而結果就成為初步的 HRTF 資料庫，此資料庫內建在 360 度空間中測量每個既定位置上所發出的聲音傳送至兩耳時，耳朵及大腦感受到的頻率響應特性。利用一數位信號處理器將上述的頻率響應特性作運算，即可計算出具有立體音效特徵的音波，透過耳機裝置，此音波傳送至耳朵，就可以使大腦感受 360 度的真實感而產生立體的效果。

在前述的的說明中，資料庫的建立必需建立在一無響室(anechoic chamber)內，分別在 360 度(段)不同的座標空間的各聲源下執行雙耳測量，以記錄 48 或 44.1 KHz 取樣速率下頻率範圍為 20Hz~20KHz 的聲波。因為聲波傳送至兩耳間的標準時間差約為音波走 20 公分的時間，以致造成兩耳間聲音時間差，又因為不同人的頭、肩、臂會吸收不同的聲波能量，這時兩耳所聽到的大小聲音振幅是不同的，因而造成兩耳聲音密度差，如此，利用一單聲源分別對左右耳做 HRTF 測量及記錄，才得以完成 HRTF 資料庫的建立。

但是，這種方式如熟知此項技術的人士所熟知的，聲波碰到物體都會有反射的效應，經人軀體、肩、頭及外耳改變的不同的波長的音波會在外耳殼中產生繞射現象，進而使音鼓所感受到的聲音的頻率響應也是不同的，因此，記錄於 HRTF 資料庫中的這些變化不但隨著點聲源方位角、仰角、範圍及頻率而變，也會因人而易，因此若要建立這類 HRTF 的資料通常是相當辛苦的，一般來說，若再加上來回的調整，一套完整的 HRTF 參數必需要花費數個

月的時間才能完成，相當的費時。

### 【發明內容】

本發明的目的就是在提供一種計算頭部轉移函數(Head-related transfer function, HRTF)之方法，此方法可以利用數學推導的方式，來計算在一虛擬表面上之點聲源的聲壓，進而可求得完整的頭部轉移函數，以免除必需進行實際量測的麻煩。

本發明提出一種計算 HRTF 之方法，包括：以一第一數學方程式表示空間中任一位置之聲場；在第一數學方程式所表示之聲場之法線方向上取梯度，以得到一第二數學方程式；將第一數學方程式以及第二數學方程式進行離散化動作，以得到其所各自對應之第一離散數學方程式以及第二離散數學方程式；將第一離散數學方程式以及第二離散數學方程式改寫成第一矩陣以及第二矩陣；以一求解方式求得第二矩陣中所包含之聲場之聲場強度；以及將聲場強度代入第一矩陣中，求出第一矩陣中所包含之聲場之聲壓；其中，第一數學方程式係依據階層勢能定理計算得之。

依照本發明的較佳實施例所述計算 HRTF 之方法，上述之第一數學方程式係以積分型式呈現，而在此積分型式中包括一格林函數(Green's Function)。

依照本發明的較佳實施例所述計算 HRTF 之方法，上述之第一矩陣係表示出聲場之聲壓等於格林函數乘以聲場之聲場強度。而第二矩陣係表示出在聲場之法線方向上取梯度後之聲壓等於格林函數乘以聲場之法線方向上取梯度

後之聲場強度。

依照本發明的較佳實施例所述計算 HRTF 之方法，上述之求解方式係反矩陣求解方式。而此反矩陣求解方式係利用一 Tikhonov 規則化方式求解。

綜上所述，依據本發明所提出之計算 HRTF 之方法，此方法可以利用數學推導的方式，來計算在一虛擬表面上之聲場的聲壓，進而可求得完整的 HRTF，以免除必需進行實際量測的麻煩。

為讓本發明之上述和其他目的、特徵和優點能更明顯易懂，下文特舉較佳實施例，並配合所附圖式，作詳細說明如下。

#### 【實施方式】

在本發明所提出之計算頭部轉移函數(Head-related transfer function, HRTF)之方法，其最大之特徵就是以一階層勢能定理(layer potential theory)來表示虛擬的聲場，並在使用適當的矩陣規則化之下，以求出每一個方位上的 HRTF，進而可建立完整的 HRTF 資料庫，以避免需要在無響室內才得以建立 HRTF 資料的不方便性。

請參照圖 1，其繪示係依照本發明所提出之計算 HRTF 之方法的流程圖。如圖中所示，步驟 S101 中，係使用一階層勢能定理  $p(\mathbf{x}) = \int \sigma(\mathbf{x}_0)G(\mathbf{x}, \mathbf{x}_0)dS(\mathbf{x}_0)$  來表示一特定表面上的對外或對內之壓力值，在此將此表示式定義為第一數學方程式。而在本實施例中，此表面即是指一人工頭的表面。其中，上述所提及之第一數學方程式中， $G(\mathbf{x}, \mathbf{x}_0)$  內的



$\mathbf{x}$  和  $\mathbf{x}_0$  分別代表源點及場位置在自由空間中所對應到的格林函數(Green's Function)。此外，在第一數學方程式中的  $\sigma$ ，係表示在邊界上一個未知的聲源點強度。若再進一步解說上述之格林函數，此格林函數可直接解釋成  $G(\mathbf{x}, \mathbf{x}_0) = \frac{e^{-jkr}}{4\pi r}$ ，在此表示中， $r = |\mathbf{x} - \mathbf{x}_0|$ ，而  $k = \omega/c$ ，其中  $c$  是指聲音的傳播速度。

在步驟 S103 中，若此時對前述之第一數學方程式中的聲場法向量上取梯度運算，則可以得到此向量之法線方向的表面速度  $\frac{\partial p}{\partial n}(\mathbf{x}) = \alpha\sigma(\mathbf{x}) + \int_s \sigma(\mathbf{x}_0) \frac{\partial G}{\partial n}(\mathbf{x}, \mathbf{x}_0) dS(\mathbf{x}_0)$ ，在此，將此式定義為第二數學方程式。

在步驟 S105 中，對第一數學方程式進行離散化處理，其處理過程如下所述

$$\begin{aligned} p(\mathbf{x}) &= \int_S \sigma(\mathbf{x}_0) G(\mathbf{x}, \mathbf{x}_0) dS(\mathbf{x}_0) \approx \sum_{m=1}^M \int_{s_m} \sigma(\mathbf{x}_0) G(\mathbf{x}, \mathbf{x}_0) dS(\mathbf{x}_0) \\ &\approx \sum_{m=1}^M \sigma(\mathbf{s}_m) G(\mathbf{x}, \mathbf{s}_m) S_m = \sum_{m=1}^M (\sigma(\mathbf{s}_m) S_m) G(\mathbf{x}, \mathbf{s}_m) = \sum_{m=1}^M Q_m G(\mathbf{x}, \mathbf{s}_m) \end{aligned}$$

在離散化的處理之後，可以得到第一離散數學方程式，可將它視為為一個收集多點聲源後所形成的一個聲場，而整個聲源場的總量可以表示成如上述處理過程中所推的得最終結果  $p(\mathbf{x}) = \sum_{m=1}^M Q_m G(\mathbf{x}, \mathbf{s}_m)$ ，在此式中的格林函數  $G(\mathbf{x}, \mathbf{x}_0)$  內的  $\mathbf{x}$  和  $\mathbf{s}_m$  分別代表著場和源點，下標  $m$  是表示第  $m$  個虛擬源點，而  $M$  則是代表著虛擬源點的總數，這些虛擬源點是被分佈在一虛擬表面上。另外，式中的  $Q_m$  則是必需要由外加的一些條件，如速度、壓力梯度條件等來決定該值

的大小。

另外，在此步驟 S105 中，除了對第一數學方程式進行一離散化處理之外，對前述之第二數學方程式也同樣進行一離散化處理，可以得到一表示式為  $\frac{\partial p}{\partial n}(\mathbf{x}) = \sum_{m=1}^M Q_m \frac{\partial G}{\partial n}(\mathbf{x}, \mathbf{s}_m)$ ，在此將其定義為第二離散數學方程式，其中，上述之第二離散數學方程式是將第二數學方程式裡的  $\alpha\sigma(\mathbf{x})$  給予以忽略後所得的結果。

在步驟 S107 中，是將第一離散數學方程式以及第二離散數學方程式再加以改寫，分別表示成如下列所示的第一矩陣以及第二矩陣，

$$\begin{bmatrix} p(\mathbf{x}_1) \\ p(\mathbf{x}_2) \\ \vdots \\ p(\mathbf{x}_N) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} G(\mathbf{x}_1, \mathbf{s}_1) & G(\mathbf{x}_1, \mathbf{s}_2) & \cdots & G(\mathbf{x}_1, \mathbf{s}_M) \\ G(\mathbf{x}_2, \mathbf{s}_1) & G(\mathbf{x}_2, \mathbf{s}_2) & \ddots & G(\mathbf{x}_2, \mathbf{s}_M) \\ \vdots & \ddots & \ddots & \vdots \\ G(\mathbf{x}_N, \mathbf{s}_1) & G(\mathbf{x}_N, \mathbf{s}_2) & \cdots & G(\mathbf{x}_N, \mathbf{s}_M) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Q_1 \\ Q_2 \\ \vdots \\ Q_M \end{bmatrix}$$

以及

$$\begin{bmatrix} \frac{\partial p(\mathbf{x}_1)}{\partial n} \\ \frac{\partial p(\mathbf{x}_2)}{\partial n} \\ \vdots \\ \frac{\partial p(\mathbf{x}_N)}{\partial n} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\partial G(\mathbf{x}_1, \mathbf{s}_1)}{\partial n} & \frac{\partial G(\mathbf{x}_1, \mathbf{s}_2)}{\partial n} & \cdots & \frac{\partial G(\mathbf{x}_1, \mathbf{s}_M)}{\partial n} \\ \frac{\partial G(\mathbf{x}_2, \mathbf{s}_1)}{\partial n} & \frac{\partial G(\mathbf{x}_2, \mathbf{s}_2)}{\partial n} & \ddots & \frac{\partial G(\mathbf{x}_2, \mathbf{s}_M)}{\partial n} \\ \vdots & \ddots & \ddots & \vdots \\ \frac{\partial G(\mathbf{x}_N, \mathbf{s}_1)}{\partial n} & \frac{\partial G(\mathbf{x}_N, \mathbf{s}_2)}{\partial n} & \cdots & \frac{\partial G(\mathbf{x}_N, \mathbf{s}_M)}{\partial n} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Q_1 \\ Q_2 \\ \vdots \\ Q_M \end{bmatrix}$$

為了簡化接下來的描述，將第一矩陣以及第二矩陣分別以  $p=Gq$  和  $p_n=G_nq$  來表示，其中，上述以簡化方式所表示的兩組矩陣中的  $q$ ，是代表著相同的點聲源的強度，在接下來的步驟中，只要利用反矩陣的方式求解出在  $p_n=G_nq$  之式中的  $q$  值，再將此  $q$  值代入  $p=Gq$  中，即可求出  $p=Gq$

此式中的點聲源聲壓  $p$ 。

在步驟 109 中，在解  $p_n=G_nq$  的過程時，由於在  $p_n=G_nq$  式中，已先設定了邊界條件(即  $p_n$ )，因此可視為是在求解一反矩陣問題( $Ax=b$ )，並利用  $\min_x\{\|Ax-b\|_2^2 + \beta^2 \|x\|_2^2\}$  來求解答案，在此求解過程中，是以 Tikhonov 規則化之方法來進行計算，最後可以求出點聲源的強度為  $x = \sum_{i=1}^n \frac{\sigma_i^2}{\sigma_i^2 + \beta^2} \frac{u_i^H b}{\sigma_i} v_i$ ，在上述之表示中， $u$ 、 $v$ 、 $\sigma$  為  $G_n$  做奇異值解(singular value decomposition ,SVD)時，所得到之左奇異向量(left singular vectors)、右奇異向量(right singular vectors)以及奇異值(singular value)。

在步驟 111 中，再以 L-曲線法則(L-curve criterion)進行選取最佳之權重  $\beta$ ，然後再將所求解得到之點聲源強度  $q$ ，代入  $p=Gq$  式中，以求出此式中的點聲源聲壓  $p$ ，利用此方式，即可以計算出空間中任一位置上聲壓，進而可建立完整的 HRTF 資料庫。

請參照圖 2，其繪示出經由實際量測所得之 HRFT 與使用本發明所計算而得之 HRTF 的比較圖。如圖中所示，曲線 201 係表示經由實際量測所得之 HRFT，而曲線 203 則是表示使用本發明所計算而得的 HRTF。經由比較圖中所繪示的兩條曲線，可以明顯的發現兩者間的差異並不大。

綜上所述，依據在本發明所提出之計算 HRTF 之方法，其以一階層勢能定理來表示虛擬的聲場，並在進行離散化的處理以及使用適當的矩陣規則化之下，可以求出每一個方位上的聲壓值，進而可以建立完整的 HRTF 資料，

如此即不需要進行實際的量測，即可計算出相似的 HRTF。

雖然本發明已以較佳實施例揭露如上，然其並非用以限定本發明，任何熟習此技藝者，在不脫離本發明之精神和範圍內，當可作些許之更動與潤飾，因此本發明之保護範圍當視後附之申請專利範圍所界定者為準。

#### 【圖式簡單說明】

圖 1 繪示係依照本發明所提出之計算 HRTF 之方法的流程圖。

圖 2 繪示係比較實際量測之 HRFT 與使用本發明所計算而得之 HRTF 的比較圖。

#### 【主要元件符號說明】

S101：以一第一數學方程式表示空間中任一位置之一聲場

S103：在第一數學方程式所表示之聲場之法線方向上取梯度，以得到一第二數學方程式

S105：將第一數學方程式以及第二數學方程式進行一離散化動作，以得到第一離散數學方程式以及第二離散數學方程式

S107：將第一離散數學方程式以及第二離散數學方程式改寫成第一矩陣以及第二矩陣；

S109：求解第二矩陣中所包含之聲場的聲場強度

S111：將聲場強度代入第一矩陣中，求出第一矩陣中所包含之聲場之聲壓

201、203：曲線

## 十、申請專利範圍：

1. 一種計算頭部轉移函數 (Head-related transfer function, HRTF) 之方法，包括：

以一第一數學方程式表示空間中任一位置之一聲場；  
在該第一數學方程式所表示之該聲場之法線方向上取  
梯度，以得到一第二數學方程式；

將該第一數學方程式以及該第二數學方程式進行一離  
散化動作，以得到其所各自對應之一第一離散數學方程式  
以及一第二離散數學方程式；

將該第一離散數學方程式以及該第二離散數學方程式  
改寫成一第一矩陣以及一第二矩陣；

以一求解方式求得該第二矩陣中所包含之該聲場之一  
聲場強度；以及

將該聲場強度代入該第一矩陣中，求得該第一矩陣中  
所包含之該聲場之一聲壓；

其中，該第一數學方程式係依據一階層勢能定理計算  
得之。

2. 如申請專利範圍第 1 項所述之計算 HRTF 之方法，  
其中該第一數學方程式係以一積分型式呈現。

3. 如申請專利範圍第 2 項所述之計算 HRTF 之方法，  
其中該積分型式中包括一格林函數 (Green's Function)。

4. 如申請專利範圍第 3 項所述之計算 HRTF 之方法，  
其中該第一矩陣係表示該聲場之該聲壓等於該格林函數乘  
以該聲場之該聲場強度。

5.如申請專利範圍第 3 項所述之計算 HRTF 之方法，其中該第二矩陣係表示在該聲場之法線方向上取梯度後之該聲壓等於該格林函數乘以該聲場之法線方向上取梯度後之該聲場強度。

6.如申請專利範圍第 1 項所述之計算 HRTF 之方法，其中該求解方式係一反矩陣求解方式

7.如申請專利範圍第 6 項所述之計算 HRTF 之方法，其中該反矩陣求解方式係利用一 Tikhonov 規則化方式求解。

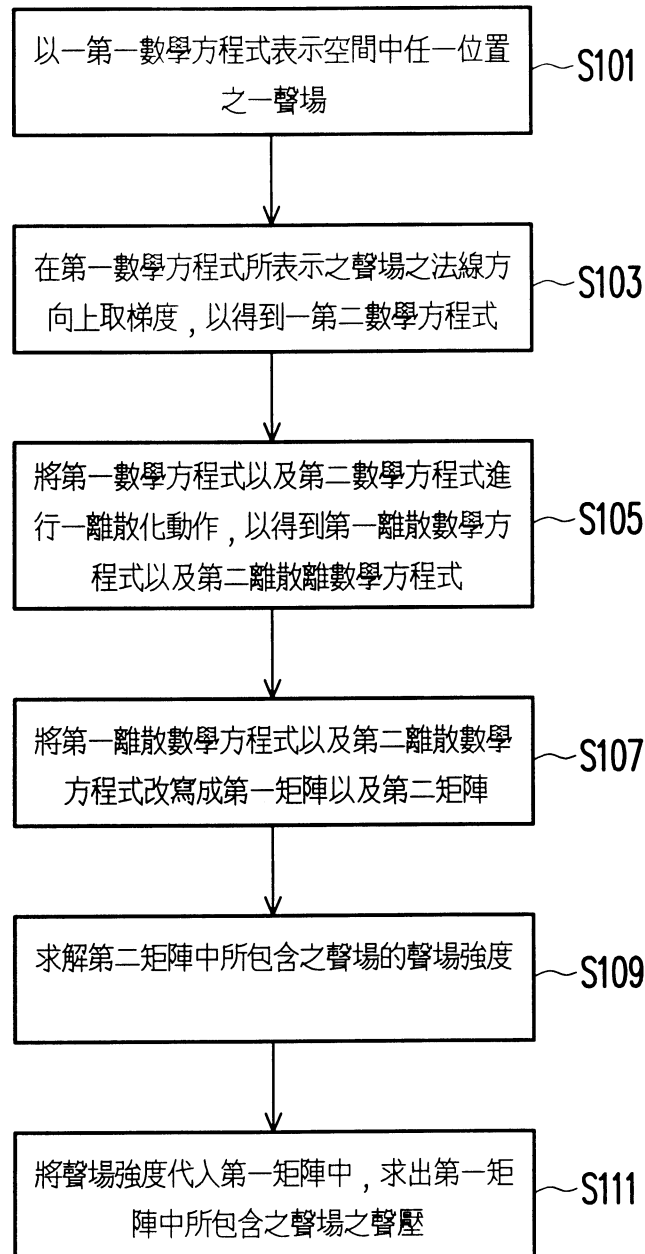


圖 1

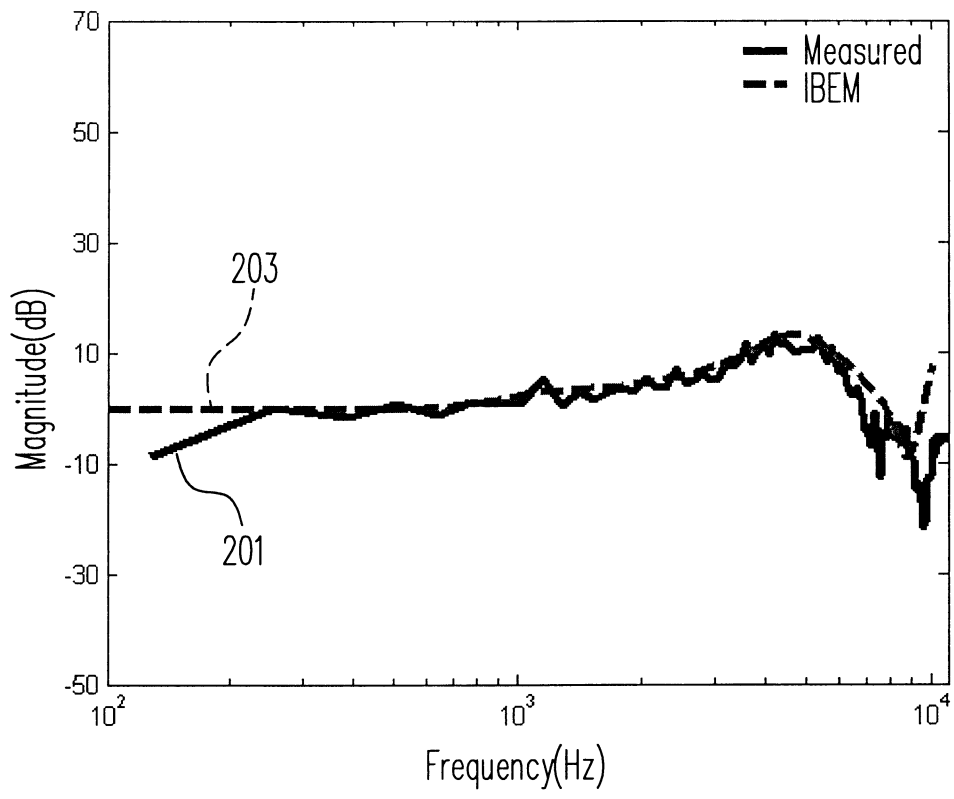


圖 2