(19)中華民國智慧財產局
(12)發明說明書公開本 (11)公開編號：TW 201039653 A1
(43)公開日： 中華民國 99 (2010) 年 11 月 01 日

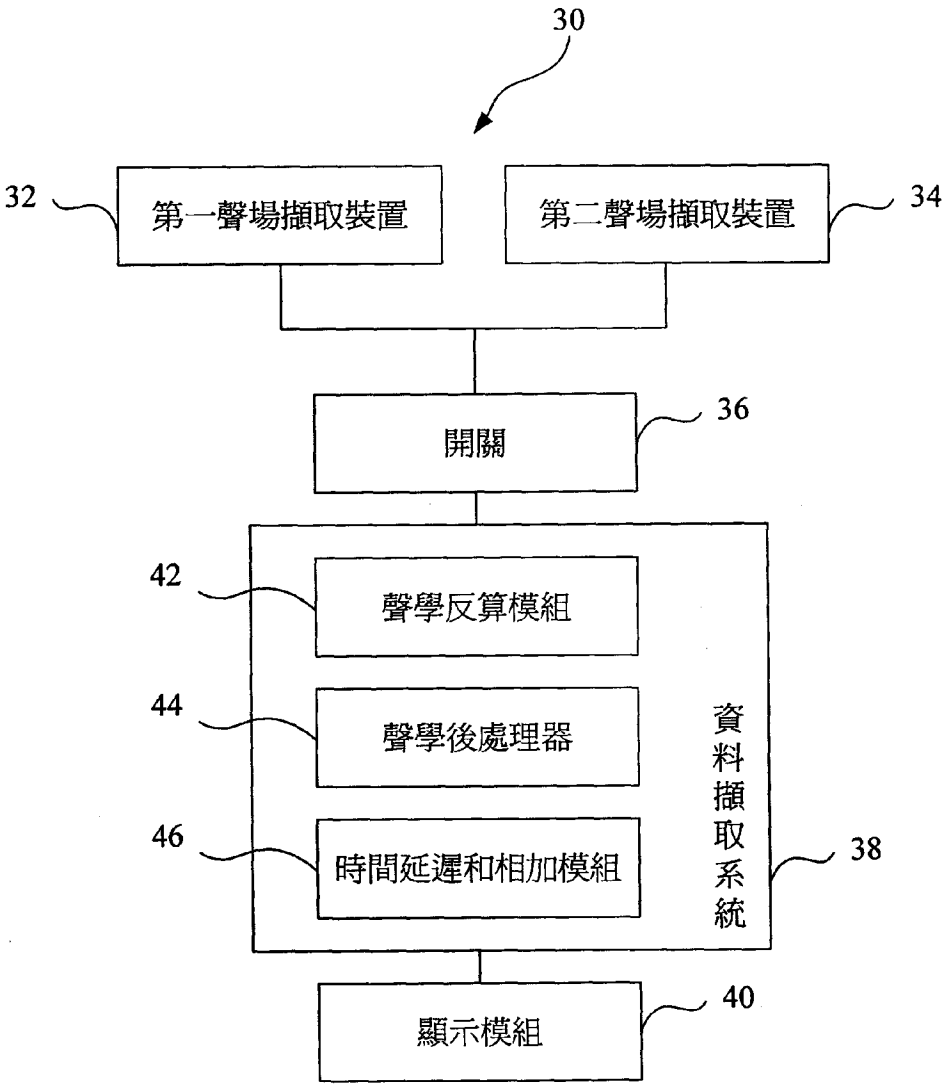
(21)申請案號：098113951 (22)申請日： 中華民國 98 (2009) 年 04 月 27 日
(51)Int. Cl.： *H04R1/40 (2006.01)*
(71)申請人：國立交通大學 (中華民國) NATIONAL CHIAO TUNG UNIVERSITY (TW)
新竹市大學路 1001 號
(72)發明人：白明憲 (TW) ；林家鴻 (TW) ；劉冠良 (TW)
(74)代理人：林火泉
申請實體審查：有 申請專利範圍項數：11 項 圖式數：29 共 56 頁

(54)名稱

聲學照相機

(57)摘要

本發明係提供一種聲學照相機，其上設有包括第一聲源擷取裝置、第二聲源擷取裝置以及開關，開關分別與第一聲源擷取裝置及第二聲源擷取裝置連接，利用開關選擇第一聲源擷取裝置或第二聲源擷取裝置後，以進行將被測物的聲源重建為聲場。其中第一聲源擷取裝置中的第一麥克風陣列係一種可用於近場聲場之等間距的麥克風陣列，第二聲源擷取裝置中的第二麥克風陣列係一種可用於遠場聲場之非等間距的麥克風陣列。



30：聲學照像機
32：第一聲源擷取裝置
34：第二聲源擷取裝置
36：開關
38：資料擷取系統
40：顯示模組
42：聲學反算模組
44：聲學後處理器
46：時間延遲和相加模組

201039653

發明專利說明書

（本說明書格式、順序，請勿任意更動，※記號部分請勿填寫）

※申請案號：98113951

※申請日：98.4.27　　※IPC 分類：H04R 1/40 (2006.01)

一、發明名稱：（中文/英文）

聲學照相機

二、中文發明摘要：

本發明係提供一種聲學照相機，其上設有包括第一聲源擷取裝置、第二聲源擷取裝置以及開關，開關分別與第一聲源擷取裝置及第二聲源擷取裝置連接，利用開關選擇第一聲源擷取裝置或第二聲源擷取裝置後，以進行將被測物的聲源重建為聲場。其中第一聲源擷取裝置中的第一麥克風陣列係一種可用於近場聲場之等間距的麥克風陣列，第二聲源擷取裝置中的第二麥克風陣列係一種可用於遠場聲場之非等間距的麥克風陣列。

三、英文發明摘要：

四、指定代表圖：

(一)本案指定代表圖為：第（ 1b ）圖。

(二)本代表圖之元件符號簡單說明：

30 聲學照像機

32 第一聲源擷取裝置

34 第二聲源擷取裝置

36 開關

38 資料擷取系統

40 顯示模組

42 聲學反算模組

44 聲學後處理器

46 時間延遲和相加模組

五、本案若有化學式時，請揭示最能顯示發明特徵的化學式：

六、發明說明：

【發明所屬之技術領域】

本發明係一種聲學照相機，其係特別關於一種利用最佳化配置的麥克風陣列來擷取被測物聲源的聲學照相機。

【先前技術】

振動是一個發展相當久的重要研究領域，無論在機器振動之分析，減振分析、振動控制及動態模擬都有相當多的研究，目前產業界在需要高精密高速度的要求下，對於結構之振動狀況愈來愈重要。

隨著科技的日益進步，人類對生活環境的要求亦日益增加。然而自然界中之結構振動所產生之噪音問題長年累月充斥在人類週遭的環境中，對於人類心理及生理皆會造成嚴重之影響。

聲學照相機技術對於汽車、電腦、機械及消耗性電子等產業而言，都能幫助工程人員很有效率地找出其產品(例如，渦輪機之振動、引擎振動)之噪音源及異音源位置。因此對於開發的產品在噪音診斷上幫助很大。

與聲學照相機技術有關之先前技術，如美國專利申請第 US2005/0225497A1 號之聲束合成陣列轉換器(Beam Forming Array of Transducers)，其係使用聲束合成陣列(beam forming array)識別『遠場聲場』，且此先前技術並無提供波數域之波束圖及最佳化的方法來證明其麥克風配置為最佳。

另外，如美國專利第 US6760449B1 號之麥克風陣列系統(Microphone Array System)，其係使用時間延遲總合(delay sum)法麥克風陣列來識別聲場，其特性如上述之第 US2005/0225497A1 號專利相同，但第 US6760449B1

號專利的缺點，係在高頻時會有鬼葉瓣(grating-lobe)之問題，會有鬼葉瓣問題的原因，同樣也是因為麥克風配置沒有最佳化的關係。

又，如美國專利第 US6958950B2 號之利用聲場全像技術讓獨特聲音源顯現聲場的方法(Method of Visualizing Sound Fields of Individual Sound Sources Using Acoustic Holography)，其係使用聲場全相(acoustical holography)技術來識別出平面上聲場分佈，由於美國專利第 US6958950B2 號之技術都是在頻率面上執行，所以無法執行即時聲場識別(即時識別出噪音源位置)。

又，如美國專利第 US5712805 號之噪音診斷系統(Noise Diagnostic System)，其係利用獨立方程式解出赫茲(Helmholtz equation)之解來計算出引擎上之聲場分佈，但美國專利第 US5712805 號對於平面之噪音源則誤差量大，且有必須使用大量的麥克風之缺點。

又，如美國專利第 US2007/0189550A1 號之平面聲場的檢查(Panel Acoustic Contributions Examination)，其係利用赫茲方程式最小均方(Helmholtz equation least squares)來識別出平面聲場分佈，但其缺點和第 US6958950B2 號相同，有必須使用大量的麥克風之缺點。

為此，本發明提出一種聲學照相機，以解決上述缺失。

【發明內容】

本發明之主要目的在提供一種聲學照相機，其係提出最佳化的麥克風陣列配置，使得聲學照相機於進行重建被測物聲源之聲場時，有良好的主葉瓣(main-lobe)、低的側葉瓣(side- lobe)以及不會有鬼葉瓣(grating-lobe)的問題。

本發明之另一目的在提供一種聲學照相機，其係提供兩組麥克風陣列供選擇，利用開關用以切換近場聲場模式或遠場聲場模式，使得聲學照相機能有效率的獲取(噪音源的)聲場影像。

本發明之又一目的在提供一種聲學照相機，其係以採用時間延遲相加模組及聲學反算模組來進行聲場影像處理，相較於先前技術，採用時間延遲相加模組及聲學反算模組可有效的降低運算量並能即時識別出噪音源位置。

本發明係提供一種聲學照相機，其上設有包括第一聲源擷取裝置、第二聲源擷取裝置以及開關，開關分別與第一聲源擷取裝置及第二聲源擷取裝置連接，利用開關選擇第一聲源擷取裝置或第二聲源擷取裝置後，以重建被測物聲源之聲場。其中第一聲源擷取裝置中的第一麥克風陣列係一種可用於近場聲場之等間距麥克風陣列，第二聲源擷取裝置中的第二麥克風陣列係一種可用於遠場聲場之非等間距麥克風陣列。本發明之聲學照相機以採用時間延遲相加模組、聲學反算模組及聲學後處理器來進行聲場影像重建處理，相較於先前技術，採用時間延遲相加模組及聲學反算模組可有效的降低運算量並能即時識別出噪音源位置。且由於第一麥克風陣列與第二麥克風陣列採用最佳化設計，因此使用以採用時間延遲相加模組、聲學反算模組及聲學後處理器來進行聲場影像重建處理，均可以得到聲場識別最佳化的效果。

本發明之聲學照相機提供兩組麥克風陣列供選擇，利用開關用以切換近場聲場模式或遠場聲場模式，使得聲學照相機能有效率的獲取(噪音源的)聲場影像。並提出最佳化的(遠場及近場)麥克風陣列配置，使得聲學照相機

於重建被測物聲源之聲場時，有良好的主葉瓣(main-lobe)、低的側葉瓣(side-lobe)以及不會有鬼葉瓣(grating-lobe)的問題。

底下藉由具體實施例配合所附的圖式詳加說明，當更容易瞭解本發明之目的、技術內容、特點及其所達成之功效。

【實施方式】

為能詳細說明本發明之聲學照相機 30，請參照第 1a~1d 圖。本發明之聲學照相機 30，包括一第一聲源擷取裝置 32 及一第二聲源擷取裝置 34，設於該聲學照相機 30 上，在本實施例中，第一聲源擷取裝置 32 係由複數個麥克風所組成之第一麥克風陣列，第二聲源擷取裝置 34 係由複數個麥克風所組成之第二麥克風陣列。

一個開關 36 分別與第一聲源擷取裝置 32 及第二聲源擷取裝置 34 連接，開關 36 係為人力機械式或為半自動/全自動電子式；其中，人力機械式係以人力切換開關 36，讓聲學照相機 30 選擇第一聲源擷取裝置 32 或第二聲源擷取裝置 34 以擷取被測物聲源；半自動式係可選擇以人力切換開關 36 或由聲學照相機 30 自行判斷，選擇第一聲源擷取裝置 32 或第二聲源擷取裝置 34 其中之一以擷取被測物聲源；全自動電子式係由聲學照相機 30 行判斷選擇第一聲源擷取裝置 32 或第二聲源擷取裝置 34，以擷取被測物聲源。

聲學照相機 30 自行判斷機制包括，利用一個麥克風擷取被測物的聲場，將由聲學照相機 30 的判斷機制判斷被測物的聲場為球面波或是平面波；如為球面波，則為聲學照相機 30 判斷被測物的聲場係近場聲場，聲學照相機 30 將選擇第一聲源擷取裝置 32 進行取像；如為平面波，則為聲學照相機 30 判斷被測物的聲場係遠場聲場，聲學照相機 30 將選擇第二聲源

擷取裝置 34 進行取像。當然，聲學照相機 30 可將判斷後的結果透果顯示模組 40 提供給使用者參考，以便使用者選擇第一聲源擷取裝置 32 或第二聲源擷取裝置 34 之用。

以下繼續說明本發明之遠場聲場重建技術以及近場聲場重建技術；在本實施例中，第一聲源擷取裝置 32（第一麥克風陣列）係用於擷取近場聲場模式；第二聲源擷取裝置 34（第二麥克風陣列）係用於擷取近場聲場模式。請注意近場聲場重建技術與遠場聲場重建技術的最佳化麥克風陣列配置是不一樣的；易言之，如果將本實施例中的第一聲源擷取裝置 32（用於近場聲場）來擷取遠場的噪音源聲場，有可能會出現辨識錯誤的問題！！以下將說明第一聲源擷取裝置 32 與第二聲源擷取裝置 34 中的第一麥克風陣列及第二麥克風陣列之不同處，以及原因。

首先說明，本發明之遠場聲學照相機 30 技術：

本發明以第二聲源擷取裝置 34 擷取被測物聲源後，將聲場輸出至資料擷取系統 38，利用該資料擷取系統 38 之時間延遲和相加模組 46 得到被測物聲源之聲音強度，將時間延遲和相加模組 46 處理後的結果輸出至顯示模組 40。其中，顯示模組 40 係為顯示螢幕。

遠場聲學照相機 30 技術，適合用於遠場較大面積的噪音源，遠場聲學照相機 30 技術為利用時間延遲和相加模組 46 中包含之時間延遲和相加法(delay-and-sum)來計算出被測物在選定的掃瞄面積上之聲源大小分佈影像，其主要假設較大面積的噪音源所產生的平面波從遠場傳入麥克風陣列。

如第 2 圖所示之時間延遲和相加法，主要是利用麥克風所擷取到的被測物聲源(聲音訊號)同步地做適當的時間延遲並相加，並產生輸出訊號

$y(t,\theta)$，輸出訊號 $y(t,\theta)$可由下列的方程式 1 獲得：

$$y(t,\theta)=\sum_{m-1}^{M}x_m(t+\Delta_m) \qquad \text{方程式 1；}$$

方程式 1 中的 $x_m(t)$為第 m 個麥克風所擷取到的時間域訊號、Δ_m 為麥克風陣列波束轉到 θ 角時第 m 個麥克風的波傳遞延遲。因此，由方程式 1 就可以得到麥克風陣列之波束所掃瞄過任何角度上的輸出訊號大小。

第 3 圖為寬頻噪音源(頻寬為 0~1.7 kHz)在角度(150, 30)，利用 30 支麥克風所組成之非等間距的麥克風陣列(第二麥克風陣列)來量測並計算出的遠場聲場分佈圖。由第 3 圖中可以很清楚看到寬頻噪音源位置。

再來說明本發明之近場聲學照相機 30 技術：

本發明以第一聲源擷取裝置 32 擷取被測物聲源後，將聲場輸出至該資料擷取系統 38，利用資料擷取系統 38 之聲學反算模組 42 得到被測物聲源之聲音強度，並利用資料擷取系統 38 之聲學後處理器 44 得到被測物聲源之聲壓、粒子速度、聲音密度及聲功率，將聲學反算模組 42 及聲學後處理器 44 處理後的結果輸出至該顯示模組 40。其中，顯示模組 40 係為顯示螢幕。

在近場聲學照相機 30 技術中，是利用聲學反算模組 42 中包含之聲學反算技術來計算出被測物上之聲音強度大小分佈圖，並利用聲學後處理器 44 來求得重建面上之聲壓(p)、粒子速度(u_n)、聲音密度(I_n)及聲功率(W)大小分佈圖。而在聲學反算技術中是使用聲學等效音源法來實現。如第 4 圖所示，麥克風陣列擷取到被測物聲源(虛擬聲源)發出的聲壓訊號可用方程式 2 表示為：

$$\mathbf{p}_{M\times 1}=\mathbf{G}_{M\times J}\mathbf{q}_{J\times 1} \qquad \text{方程式 2；}$$

方程式 2 中的 J 和 M 分別為虛擬聲源和麥克風的數量、 為 q 虛擬聲源強度、G 為虛擬聲源和麥克風之間的傳遞矩陣、p 為麥克風陣列所量測到的訊號。虛擬聲源強度可以使用反算濾波器測出來，如：$\mathbf{C}_{J\times M}\mathbf{G}_{M\times J}\approx\mathbf{I}$ ， I 為一個 $J\times J$ 的單一矩陣。而 G 傳遞矩陣的模型為球面波。因此，聲源強度 $\hat{\mathbf{q}}_{J\times 1}$ 可以利用下列方程式 3 得知：

$$\hat{\mathbf{q}}_{J\times 1}=\mathbf{C}_{J\times M}\mathbf{p}_{M\times 1}=\mathbf{C}_{J\times M}\mathbf{G}_{M\times J}\mathbf{q}_{J\times 1}\approx\mathbf{q}_{J\times 1}$$ 方程式 3；

請一併參照第 5 圖所示，當已知(噪音)聲源強度大小，可以利用聲學後處理器 44 及下列方程式 4，來求得重建面上之聲壓(p_r，p 代表聲壓，r 代表重建面)：

$$\mathbf{p}_r=\mathbf{G}_r\hat{\mathbf{q}}$$ 方程式 4；方程式 4 中的 G_r 為焦點面和重建面之間的傳遞矩陣其模型也為球面波、$\hat{q}$ 為被估測出的聲源強度大小。

根據尤拉方程式(Euler equation)利用利用方程式 5 級方程式 6，更可進一步求得法線上之粒子速度 u_n、聲音密度 I_n。

$$u_n(\mathbf{x},\omega)=\frac{-1}{j\rho\omega}\frac{\partial}{\partial n}p_r(\mathbf{x},\omega),$$ 方程式 5；

方程式 5 中的 X 為重建面上任一點的位標、$\omega=2\pi f$ 其中的 f 為頻率、n 為向外法線。

$$I_n(t)=p_r(t)u_n(t)$$ 方程式 6；

方程式 6 中的 p_r 為重建面上聲壓、t 為時間。

亦可以利用方程式 7 求得聲功率大小 w(t)

$$W(t)=\int_S I_n(t)\,dS\,.$$ 方程式 7；

方程式 7 中的 S 為面積。

再請一併參照第 6 圖~第 9 圖，其為利用 5×6 等間距之矩型麥克風陣列(第一麥克風陣列)來量測空氣壓縮機之實例，麥克風陣列所擷取到的聲音訊號經過近場聲學反算技術計算出的近場音源強度($\hat{q}$)、聲壓(p)、粒子速度(u_n)及聲音密度(I_n)的大小分佈圖。而重建聲場的聲功率 W(t)為 125.746 dB。

繼續說明本發明之遠場聲學照相機 30 技術之波束圖(beam pattern)及目標函式(cost function)：

在遠場的部份，請參照第 10 圖，其波數域(wave number domain)波束圖係可用下列方程式 8 計算出來：

$$b=\frac{1}{M}\sum_{m-1}^{M}e^{jk\bullet r_m}$$ 方程式 8；方程式 8 中的 k 為波數、r_m 為第 m 個麥克風之位置向量， k=-kx 為平面波借由單位向量(unit vector) 從某一方向傳來之波數向量及 M 為麥克風數量。在麥克風面上之笛卡兒(Cartesian)的位標系統內，因為在 z 方向為零，所以方程式 8 可以簡化成為方程式 9：

$$b=\frac{1}{M}\sum_{m=1}^{M}e^{j(k_x x_m+k_y y_m)}$$ 方程式 9；方程式 9 中的 k_x 和 k_y 分別為 x 和 y 方向之波數向量、x_m 和 y_m 分別為第 m 個麥克風在 x 及 y 的位標。接下來目標函式將被定義在最佳化麥克風配置發展中。首先在 k_x-k_y 平面的中心點定義出一個半徑為 $10m^{-1}$ 的圓形主葉瓣區域，而圓的外部都為側葉瓣(side-lobe)之區域，如第 11 圖所示。所以目標函式可寫成方程式 10：

$$Q=\frac{\tilde{m}}{\tilde{s}}$$ 方程式 10；其中方程式 10 中的 $\tilde{m}$ 和 $\tilde{s}$ 分別為最大的主葉瓣(main-lobe)和側葉瓣(side-lobe)。

再來說明本發明之近場聲學照相機 30 技術之波束圖(beam pattern)及目

標函式(cost function)：

在近場的部份，在麥克風陣列配置上主要是最大化多個主葉瓣(main-lobe)及防止主葉瓣(main-lobe)失焦。近場和遠場的波束圖最大的不同點在於近場的架構中系統有多個主葉瓣(main-lobe)，因此必需定義出適當的目標函式來找出多個主葉瓣(main-lobe)的區域。如第 12 圖所示，以下為計算近場波束圖之流程：

A、首先假設一個移動的測試聲源(球面波)放置於焦點面上的初始原點上 $z=0$，此移動聲源可沿著焦點面移動。

B、經過球面波的波傳遞被麥克風陣列擷取到 $\mathbf{p}$。

C、將麥克風陣列所擷取到的聲壓 $\mathbf{p}$ 經過反算矩陣 $\mathbf{C}$ 的運算後，即得到焦點面上所有虛擬聲源強度 $\hat{\mathbf{q}}$(如方程式 3)。

D、利用式(4)來求得重建面上之聲壓大小 $\mathbf{p}_r^z$，並將其 $\mathbf{p}_r^z$ 正規化到 0～1。

E、如 $z=Z$ 時則進行 G，得到波束圖。如 $z\neq Z$ 時，則進行 F 將 $z+1$，將測試球面波移動至下一個位置位標，再進行 B~D 之流程。其中，波束圖可由下列方程式 11 得知：

$$\mathbf{b}=\left[\sum_{z=1}^{Z}\left|p_r^z(1,1)\right| \quad \sum_{z=1}^{Z}\left|p_r^z(2,1)\right| \quad \cdots \quad \sum_{z=1}^{Z}\left|p_r^z(\Gamma,1)\right|\right]^T,\ z=0,1,\cdots,Z \qquad \text{方程式 11；}$$

方程式 11 中的 Γ 為重建面上的影像點，通常會選定 $Z>\Gamma$。

接下來目標函式被定義在最佳化麥克風配置發展中。如第 13 圖所示，首先在每一點焦點上都定義出一個半徑為 r_m 的圓，圓內為主葉瓣(main-lobe)之分佈區域。而第 j 點焦點上之最大的主葉瓣必需要在指定的圓內並大於 0.707(3 dB 衰減)。因此近場的目標函式即可定義為下列方程式 12：

$Q=\sum_{j=1}^{J} m_j$　　方程式 12；

方程式 12 中的 m 為最大的主葉瓣(main-lobe)、J 為焦點數。

所以 Q 值越大，表示麥克風的配置越好。

繼續說明本發明以內部方塊蒙特卡羅法 (Intra-Block Monte Carlo, IBMC)來證明本發明之麥克風陣列為最佳化配置。

首先，麥克風陣列的配置，最基本的方法為蒙特卡羅法，其為一種單純利用隨機取樣的方式來找出最佳的麥克風配置。而內部方塊蒙特卡羅法則是從蒙特卡羅法延伸出來的方法，主要的差別為隨機取樣必須在指定的區域內做取樣，如此一來即可改善蒙特卡羅法的隨機取樣效率，如第 14 圖所示。如第 15 圖所示，對於 M 個麥克風的內部方塊蒙特卡羅法設計流程如下：

A、在麥克風面上設定 $m \times n$ 個網格區塊及疊代數 I_{IBMC}。初始陣列配置為等間距矩形陣列(uniform rectangular arrays, URA)。計算出每一個麥克風的位置座標 $\mathbf{x}_i$、波束圖 $\mathbf{b}_i$ 及目標函式 Q_i。設定 M 個指定的取樣區域在麥克風面上(取樣區域的中心點為麥克風)。

B、令初始值的解為最佳解，即 $\mathbf{x}_{opt}=\mathbf{x}_i$, $\mathbf{b}_{opt}=\mathbf{b}_i$, $Q_{opt}=Q_i$。

C、接下來再對 M 個麥克風做隨機位置取樣，計算出 $\mathbf{x}$、$\mathbf{b}$ 和 Q，且記錄下來。

D、判斷 $Q>Q_{opt}$ 是否成立。若成立則進行 E，$\mathbf{x}_{opt}=\mathbf{x}$, $\mathbf{b}_{opt}=\mathbf{b}$, $Q_{opt}=Q$，然後進行 F，疊代數 I 增加一次；若不成立則進行 F，僅疊代數 I 增加一次。

接續進行G，判斷疊代數I是否大於I_{IBMC}，若成立則進行H，則整個流程停止，可得到最佳的麥克風的位置座標$\mathbf{x}_{opt}$、波束圖$\mathbf{b}_{opt}$及目標函式Q_{opt}；若不成立則進行，則回到C。

接下來將 IBMC 用於遠場麥克風陣列配置上，主要是用來最大化主葉瓣(main-lobe)及最小化和側葉瓣(side-lobe)，並消除高頻時之鬼葉瓣(grating-lobe)。首先把頻率設定在 7 kHz，先計算矩型麥克風陣列(初始陣列配置)之麥克風間矩為 10 公分(大約 2 倍波長)的波束圖。因此由第 16 圖的波束圖可以很清楚的看出矩型陣列在高頻時有很多鬼葉瓣(grating-lobe)出現，且Q只有 1.0366。使用 IBMC 後，可以由第 17 圖中看出其Q值會隨著疊代數增加而增加，代表著利用 IBMC 在遠場的麥克風陣列配置上能找到比矩型麥克風陣列更好的配置。第 18 圖為 IBMC 最後找到的最佳遠場麥克風陣列的配置圖，其Q為 2.7427(1.5 分鐘)。

第 19 圖為最佳遠場麥克風陣列的波束圖，可以看出在高頻時最佳遠場麥克風陣列並沒有鬼葉瓣(grating-lobe)產生，且在中間有一個很大的主葉瓣(main-lobe)。所以經過 IBMC 的最佳化後，可以證明在遠場時最好的麥克風陣列(第二麥克風陣列)配置為『隨機分布麥克風陣列』，如第 18 圖。

因此，本發明之第二麥克風陣列為符合上述遠場取像最佳化的設計，同樣將第二麥克風陣列採用『隨機分布麥克風陣列』，其中第二麥克風陣列(矩形陣列)的邊長係一第一邊長及一第二邊長，且第一邊長係小於或等於第二邊長。且在遠場聲場模式下，聲學照相機 30 所能接收到的最低的聲音頻率 f_{min}，須滿足下列方程式：

$f_{min} = \frac{c}{D}$，D 為該第一邊長，c 為波速(m/s)，f_{min} 最低的聲音頻率(HZ)。

再來把 IBMC 利用在近場麥克風陣列配置上，主要是最大化 multiple main-lobe 及防止主葉瓣(main-lobe)失焦。首先把頻率設定在 1.7 kHz，先計算等間距矩型麥克風陣列(初始陣列配置)之麥克風間矩為 60 公分(大約 3 倍波長)的波束圖，如第 20 圖。而第 21 圖為等間距矩形陣列的波束圖，由圖中可以看出其 multiple main-lobe 並沒失焦，Q 為 25.884。第 22 圖為 IBMC 在近場麥克風配置之學習曲線圖，可以很清楚看到最大的 Q 值是發生在初始值(矩型麥克風陣列)。而第 23 圖為 IBMC 在近場麥克風配置之較小 Q 值(Q 為 0)之波束圖。由第 22 圖和第 23 圖來比較，第 22 圖其 multiple main-lobe 都位於焦點上且又無失焦。但第 23 圖焦點上有些並沒有主葉瓣(main-lobe)，且很多主葉瓣(main-lobe)都失焦。所以經過 IBMC 的最佳化後，可以證明在近場時最好的麥克風配置為等間距矩型麥克風陣列，如第 20 圖。

根據上述理由，本實施例在為符合上述近場取像最佳化的設計，將第一麥克風陣列採用『均勻分布的麥克風陣列』，且在擷取近場聲場模式下，聲學照相機 30 所能接收到的最高的聲音頻率 f_{maz}，須滿足下列方程式：$f_{\max} = \frac{c}{2d}$，且 d 為每一麥克風間的距離(mm)，c 為波速(m/s)，f_{max} 最高的聲音頻率(HZ)。

本發明再以模擬退火法(Simulated Annealing，SA)來證明本發明之麥克風陣列為最佳化配置。模擬退火法為利用退火法的精神在做最佳化的隨機取樣。如第 24 圖所示，對於 M 個麥克風的模擬退火法設計流程如下：

A、在麥克風面上設定 $m \times n$ 個網格區塊。初始陣列配置為等間距矩形陣列。計算出每一個麥克風的位置座標 $\mathbf{x}_i$、波束圖 $\mathbf{b}_i$ 及目標函式 Q_i。設定 M 個指定的取樣區域在麥克風面上(取樣區域的中心點為麥克

風)。

B、設定初始溫度T_i、終止溫度T_f及退火係數$a(0<a<1)$。設定較高的初始溫度可以避免得到的解因落在區域的最佳解而找不到整個系統的最佳解。

C、執行退火$T=a\times T_i$。令初始值的解為最佳解，即$\mathbf{x}_{opt}=\mathbf{x}_i$, $\mathbf{b}_{opt}=\mathbf{b}_i$, $Q_{opt}=Q_i$。

D、對M個麥克風做隨機位置取樣並計算出T $\mathbf{x}$、$\mathbf{b}$及Q，且記錄下來。計算出此次的Q和最佳的Q值差：

$$\Delta Q=Q-Q_{opt} \tag{13}$$

E、判斷$T\le T_f$是否成立。若成立則進行F，整個流程停止；若不成立則進行G，則進一步判斷$\Delta Q>0$是否成立。若$\Delta Q>0$成立則進行H，則最佳的$\mathbf{x}_{opt}$, $\mathbf{b}_{opt}$及Q_{opt}被$\mathbf{x}$、$\mathbf{b}$及Q取代。

若$\Delta Q>0$不成立，意即$\Delta Q\le 0$則進行I，利用下式來計算可能被接受的解以避免得到的解因落在區域的最佳解而找不到整個系統的最佳解

$$P(\Delta Q,T)=e^{\Delta Q/T} \tag{14}$$

γ為範圍在$0\le\gamma\le 1$的隨機值。

當$P>\gamma$成立時則進行H，則最佳的$\mathbf{x}_{opt}$, $\mathbf{b}_{opt}$及Q_{opt}被$\mathbf{x}$、$\mathbf{b}$及Q取代。

其中，無論最佳解是否被取代，都會進行退火$T=a\times T$，並重複進行上述D以後之步驟。

如E中所述，整個流程在$T\le T_f$成立時停止，並可得到最佳的麥克風的位置座標$\mathbf{x}_{opt}$、波束圖$\mathbf{b}_{opt}$及目標函式Q_{opt}。

本發明將將SA用於遠場麥克風陣列配置(第二麥克風陣列配)上，主要

是用來最大化主葉瓣(main-lobe)及最小化側葉瓣(side-lobe)，並消除高頻時之鬼葉瓣(grating-lobe)。首先把頻率設定在 7 kHz，先計算矩型麥克風陣列(初始陣列配置)之麥克風間矩為 10 公分(大約 2 倍波長)的波束圖，如第 16 圖。使用 SA 後，可以由第 25 圖中看出其Q值會隨著疊代數增加而增加，代表著利用 SA 在遠場的麥克風陣列配置上能找到比矩型麥克風陣列更好的配置。第 26 圖為 SA 最後找到的最佳遠場麥克風陣列的配置圖，其Q為 2.7518。所以 SA(1 分鐘)能很有效率的地找出比 IBMC(1.5 分鐘)更好的麥克風配置。第 27 圖為最佳遠場麥克風陣列的波束圖，可以看出在高頻時最佳遠場麥克風陣列並沒有 grating-lobe 產生，且在中間有一個很大的 main-lobe。所以經過有效率地 SA 最佳化後，可以證明在遠場時最好的麥克風配置為隨機分布麥克風陣列(與 IMBC 的結果相同)，如第 26 圖。

因此，本發明之第二麥克風陣列為符合上述遠場取像最佳化的設計，同樣將第二麥克風陣列採用『隨機分布麥克風陣列』，其中第二麥克風陣列(矩形陣列)的邊長係包括第一邊長及第二邊長，且第一邊長係小於或等於第二邊長。且在遠場聲場模式下，聲學照相機 30 所能接收到的最低的聲音頻率 f_{min}，須滿足下列方程式：

$f_{min} = \frac{c}{D}$，D 為該第一邊長，c 為波速(m/s)，f_{min} 最低的聲音頻率(HZ)。

再來把 SA 利用在近場麥克風陣列配置上，主要是最大化 multiple main-lobe 及防止 main-lobe 失焦。首先把頻率設定在 1.7 kHz，先計算等間距矩型麥克風陣列(初始陣列配置)之麥克風間矩為 60 公分(大約 3 倍波長)的波束圖，如第 20 圖。而第 21 圖為等間距矩形陣列的波束圖，由圖中可以看出其 multiple main-lobe 並沒失焦，Q為 25.884。經過有效率地 SA 最佳

化後，由第 28 圖的學習曲線可以很清楚看出最大的Q值是發生在初始值(等間距矩型麥克風陣列)。而第 29 圖為 SA 在近場麥克風配置之較小Q值(Q為0)之波束圖。由第 22 圖和第 29 圖來比較，第 22 圖其 multiple main-lobe 都位於焦點上且又無失焦。但第 29 圖焦點上有些並沒有 main-lobe，且很多 main-lobe 都失焦。所以經過有效率之 SA 最佳化後，可以證明在近場時最好的麥克風配置仍為等間距矩型麥克風陣列，如第 20 圖。此結果同樣和 IBMC 相同。

根據上述理由，本實施例在為符合上述近場取像最佳化的設計，同樣將第一麥克風陣列採用『等間距的麥克風陣列』，且在擷取近場聲場模式下，聲學照相機 30 所能接收到的最高的聲音頻率 f_{maz}，須滿足下列方程式：$f_{\max} = \frac{c}{2d}$，且 d 為每一麥克風間的距離(m)，c 為波速(m/s)，f_{max} 最高的聲音頻率(HZ)。

本發明係提供一種聲學照相機 30，其上設有包括第一聲源擷取裝置 32、第二聲源擷取裝置 34 以及開關 36，開關 36 分別與第一聲源擷取裝置 32 及第二聲源擷取裝置 34 連接，利用開關 36 選擇第一聲源擷取裝置 32 或第二聲源擷取裝置 34 後，以進行被測物聲源之聲場重建。其中第一聲源擷取裝置 32 中的第一麥克風陣列係一種可用於近場聲場重建之等間距的麥克風陣列，第二聲源擷取裝置 34 中的第二麥克風陣列係一種可用於遠場聲場重建之非等間距的麥克風陣列。本發明之聲學照相機 30 以採用時間延遲相加模組、聲學反算模組 42 及聲學後處理器 44 來進行聲場影像處理，相較於先前技術，採用時間延遲相加模組及聲學反算模組 42 可有效的降低運算量。且由於第一麥克風陣列與第二麥克風陣列採用最佳化設計，因此使用

以採用時間延遲相加模組、聲學反算模組 42 及聲學後處理器 44 來進行聲場影像處理，均可以得到最佳化的效果。本發明之聲學照相機 30 提供兩組麥克風陣列供選擇，利用開關 36 用以切換近場聲場模式或遠場聲場模式，使得聲學照相機 30 能有效率的獲取(噪音源的)聲場影像。並提出最佳化的(遠場及近場)麥克風陣列配置，使得聲學照相機 30 於進行聲場重建時，有良好的主葉瓣(main-lobe)、低的側葉瓣(side-lobe)以及不會有鬼葉瓣(grating-lobe)的問題。

本專利使用最佳化的方法來實施，遠場技術部份，主要是利用麥克風陣列所擷取到的聲壓訊號做適當的時間延遲和相加(delay-and-sum)，最後求得掃瞄面積上之聲場影像。近場的聲場影像為利用聲學反算法來求得。

唯以上所述者，僅為本發明之較佳實施例而已，並非用來限定本發明實施之範圍。故即凡依本發明申請範圍所述之形狀、構造、特徵及精神所為之均等變化或修飾，均應包括於本發明之申請專利範圍內。

【圖式簡單說明】

第 1a 圖係本發明之立體結構示意圖。

第 1b 圖係本發明之方塊示意圖。

第 1c~1d 圖係本發明之第一麥克風陣列與第二麥克風陣列之示意圖。

第 2 圖係本發明之時間延遲和相加法的實施示意圖。

第 3 圖係本發明之遠場聲場分佈圖。

第 4 圖係本發明之聲學等效音源法的實施示意圖。

第 5 圖係本發明之麥克風陣列的實施架構圖。

第 6 圖係本發明之聲源強度大小分佈圖。

第 7 圖係本發明之聲壓分佈圖。

第 8 圖係本發明之粒子速度分佈圖。

第 9 圖係本發明之聲音密度分佈圖。

第 10 圖係本發明之遠場之平面波傳入麥克風陣列的示意圖。

第 11 圖係本發明之遠場之主葉瓣及側葉瓣圖。

第 12 圖係本發明之近場之波束圖計算流程圖。

第 13 圖係本發明之近場之主葉瓣圖。

第 14 圖係本發明之指定的取樣區域之示意圖。

第 15 圖係本發明之內部方塊蒙特卡羅法之實施流程。

第 16 圖係本發明之遠場之等間距矩型麥克風陣列波束圖。

第 17 圖係本發明之遠場之 IBMC 學習曲線圖。

第 18 圖係本發明之遠場之利用 IBMC 所找出的最佳麥克風陣列配置圖。

第 19 圖係本發明之遠場之利用 IBMC 所找出的最佳麥克風陣列之波束圖。

第 20 圖係本發明之近場之 5x6 等間距矩型麥克風陣列配置圖。

第 21 圖係本發明之近場之等間距矩型麥克風陣列波束圖。

第 22 圖係本發明之近場之 IBMC 學習曲線圖。

第 23 圖係本發明之近場之利用 IBMC 所找出的最差麥克風陣列之波束圖。

第 24 圖係本發明之模擬退火法的實施流程。

第 25 圖係本發明之遠場之 SA 學習曲線圖。

第 26 圖係本發明之遠場之利用 SA 所找出的最佳麥克風陣列配置圖。

第 27 圖係本發明之遠場之利用 SA 所找出的最佳麥克風陣列之波束圖。

第 28 圖係本發明之近場之 SA 學習曲線圖。

第 29 圖係本發明之近場之利用 SA 所找出的最差麥克風陣列之波束圖。

【主要元件符號說明】

30 聲學照像機

32 第一聲源擷取裝置

34 第二聲源擷取裝置

36 開關

38 資料擷取系統

40 顯示模組

42 聲學反算模組

44 聲學後處理器

46 時間延遲和相加模組

七、申請專利範圍：

1. 一種聲學照相機，包括：

一第一聲源擷取裝置及一第二聲源擷取裝置，設於該聲學照相機上，用來擷取被測物聲源；

一開關，分別與該第一聲源擷取裝置及該第二聲源擷取裝置連接，利用該開關選擇該第一聲源擷取裝置或該第二聲源擷取裝置後，以擷取被測物聲源；以及

一資料擷取系統，與該第一聲源擷取裝置及該第二聲源擷取裝置連接，該資料擷取系統係接收被測物聲源後進行處理，並將處理後的結果輸出至一顯示模組。

2. 如申請權利範圍第 1 項所述之聲學照相機，其中該資料擷取系統包括一聲學反算模組、一時間延遲和相加模組及一聲學後處理器。

3. 如申請權利範圍第 2 項所述之聲學照相機，其中當聲學照相機該第一聲源擷取裝置適用於擷取近場聲場模式。

4. 如申請權利範圍第 3 項所述之聲學照相機，其中該第一聲源擷取裝置係包括複數個麥克風組成之第一麥克風陣列。

5. 如申請權利範圍第 4 項所述之聲學照相機，其中在擷取近場聲場模式下，該聲學照相機所能接收到的最高的聲音頻率 f_{max}，須滿足下列方程式，$f_{\max} = \frac{c}{2d}$，且 d 為每一麥克風間的距離(m)，c 為波速(m/s)，f_{max} 最高的聲音頻率(HZ)。

6. 如申請權利範圍第 3 項所述之聲學照相機，其中在擷取近場聲場時，該第一聲源擷取裝置擷取被測物聲源後，將聲場輸出至該資料擷取系統，

利用該資料擷取系統之聲學反算模組得到被測物聲源之聲音強度，並利用該資料擷取系統之聲學後處理器得到被測物聲源之聲壓、粒子速度、聲音密度及聲功率，將聲學反算模組及聲學後處理器處理後的結果輸出至該顯示模組。

7. 如申請權利範圍第 2 項所述之聲學照相機，其中當聲學照相機該第二聲源擷取裝置適用於擷取遠場聲場模式。

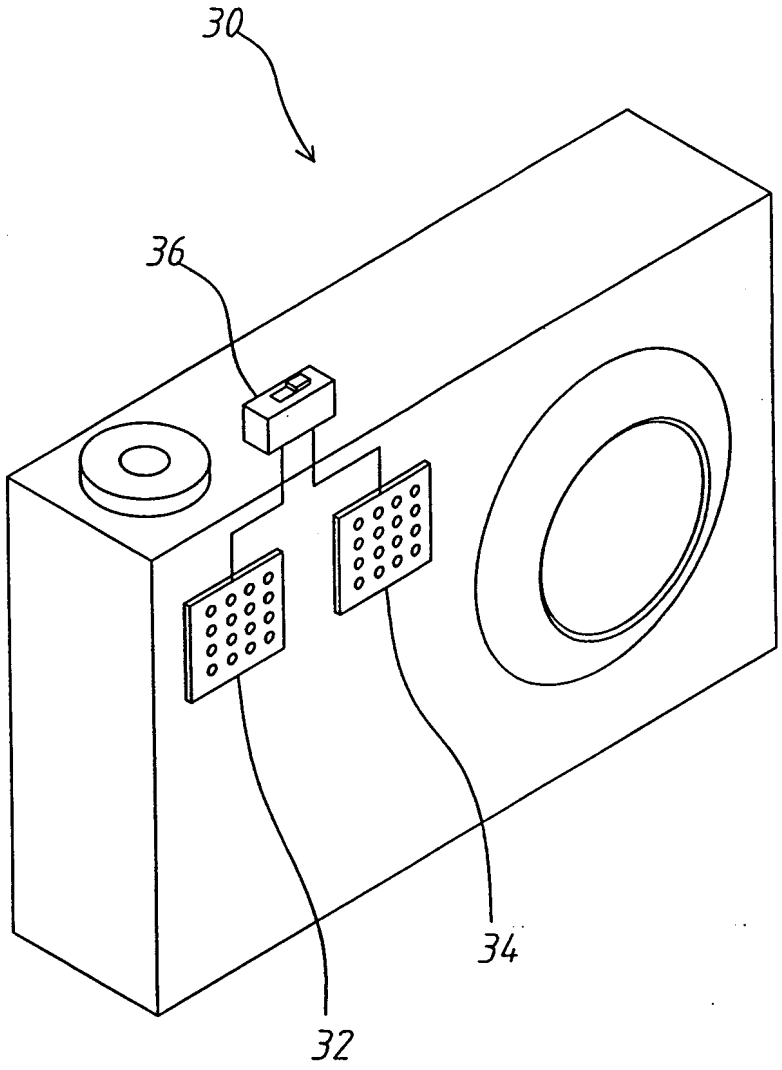
8. 如申請權利範圍第 7 項所述之聲學照相機，其中該第二聲源擷取裝置係包括複數個麥克風組成之第二麥克風陣列，該第二麥克風陣列(矩形陣列)的邊長係一第一邊長及一第二邊長，且該第一邊長係小於或等於該第二邊長。

9. 如申請權利範圍第 8 項所述之聲學照相機，其中在擷取遠場聲場模式中，該聲學照相機所能接收到的最低的聲音頻率 f_{min}，須滿足下列方程式，$f_{min}=\frac{c}{D}$，D 為該第一邊長，c 為波速(m/s)，f_{min} 最低的聲音頻率(HZ)。

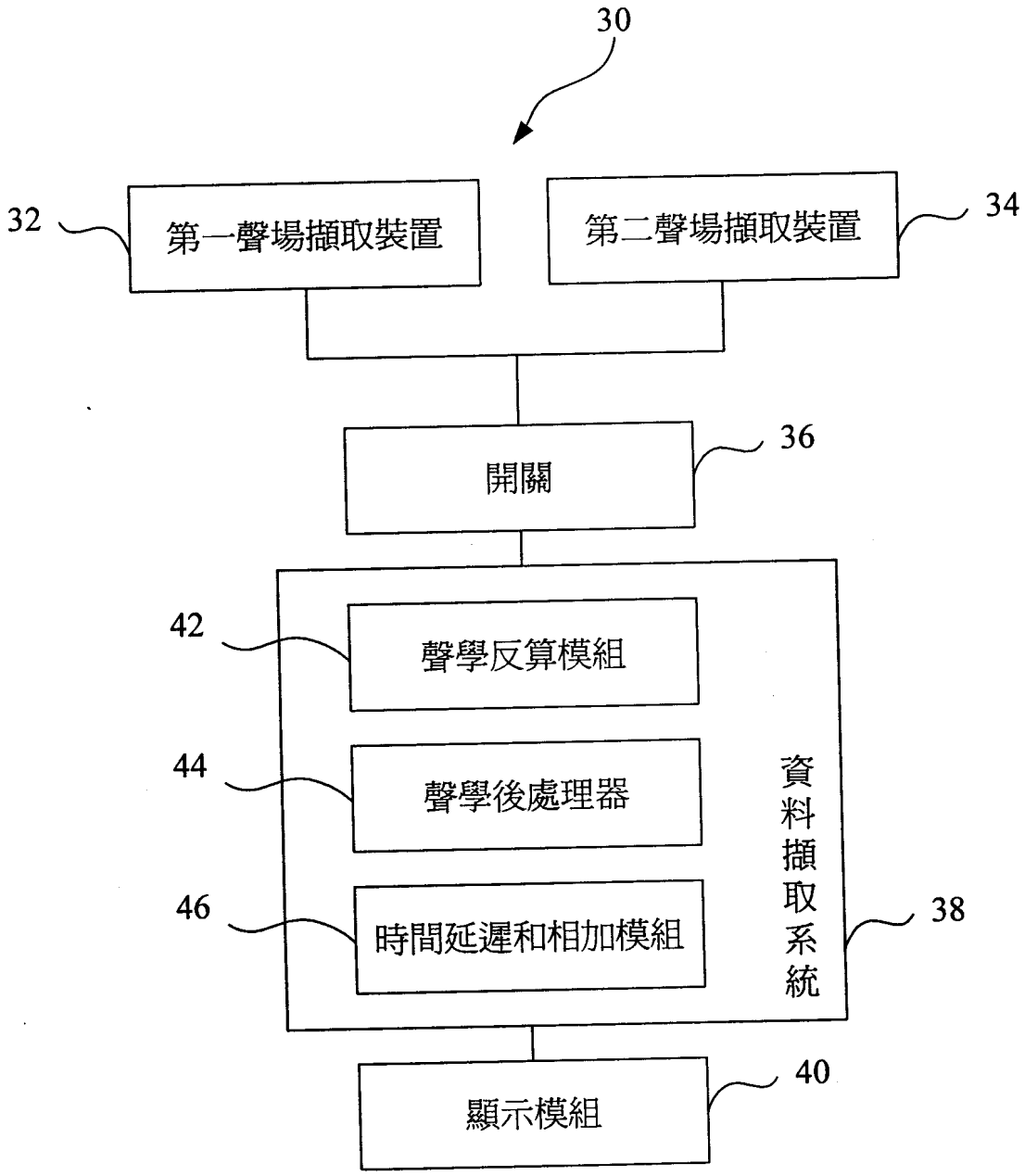
10. 如申請權利範圍第 7 項所述之聲學照相機，其中在擷取遠場聲場時，該第二聲源擷取裝置擷取被測物聲源後，將聲場輸出至該資料擷取系統，利用該資料擷取系統之時間延遲和相加模組得到被測物聲源之聲音強度，將時間延遲和相加模組處理後的結果輸出至該顯示模組。

11. 如申請權利範圍第 1 項所述之聲學照相機，其中該顯示模組係一顯示螢幕。

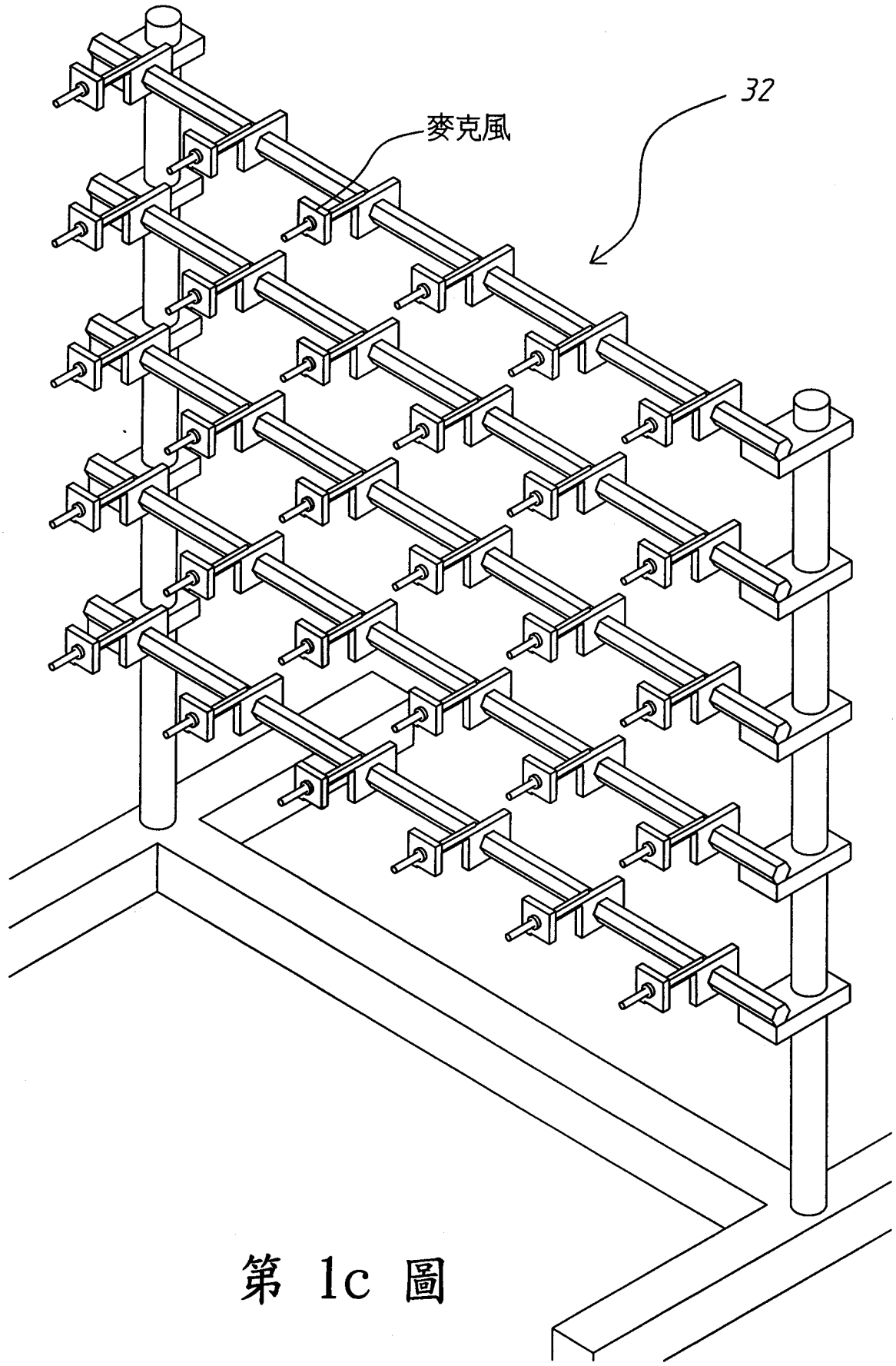
八、圖式：



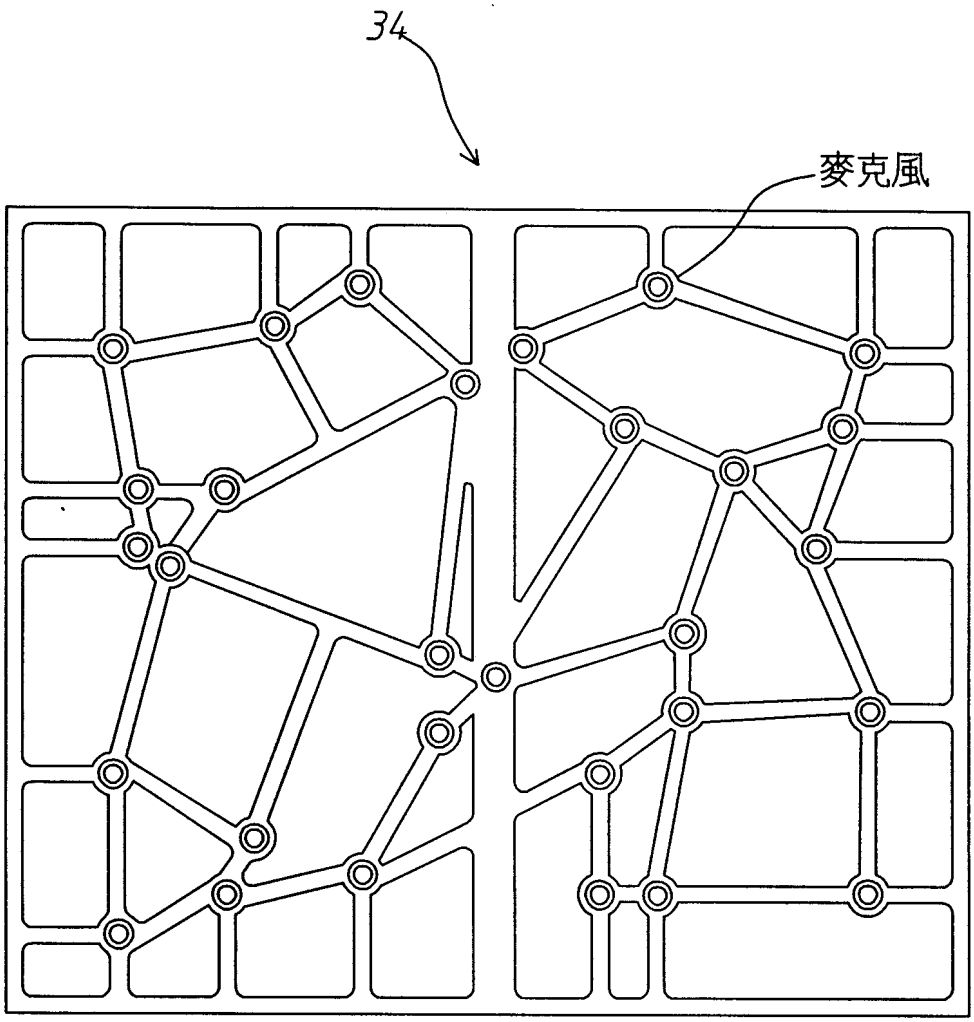
第 1a 圖


30
32
第一聲場擷取裝置
第二聲場擷取裝置
34
開關
36
42
聲學反算模組
44
聲學後處理器
46
時間延遲和相加模組
資料擷取系統
38
顯示模組
40

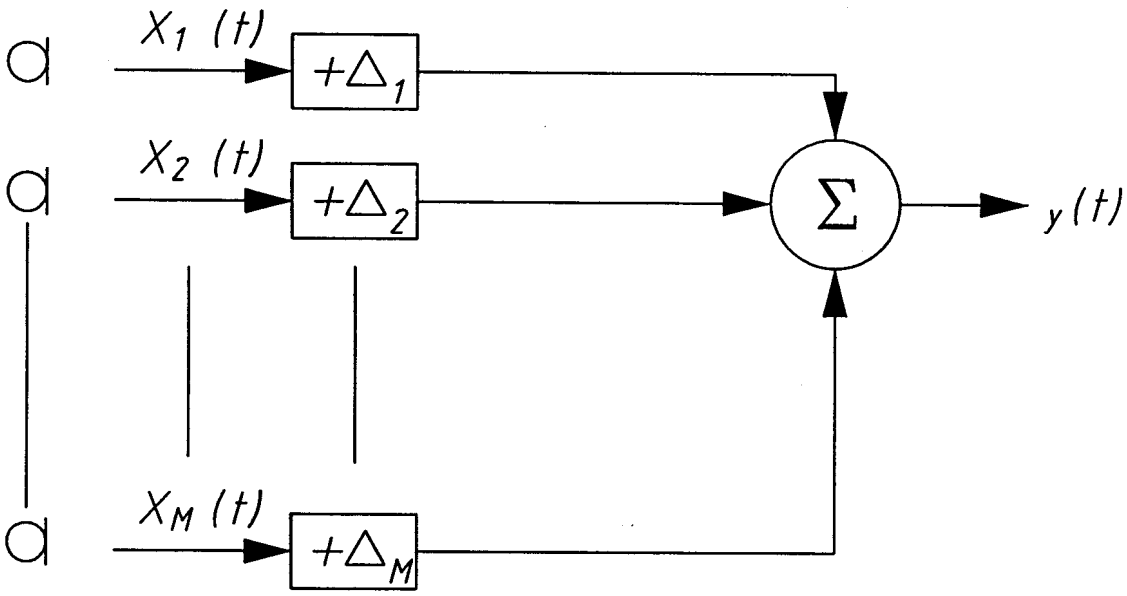
第 1b 圖



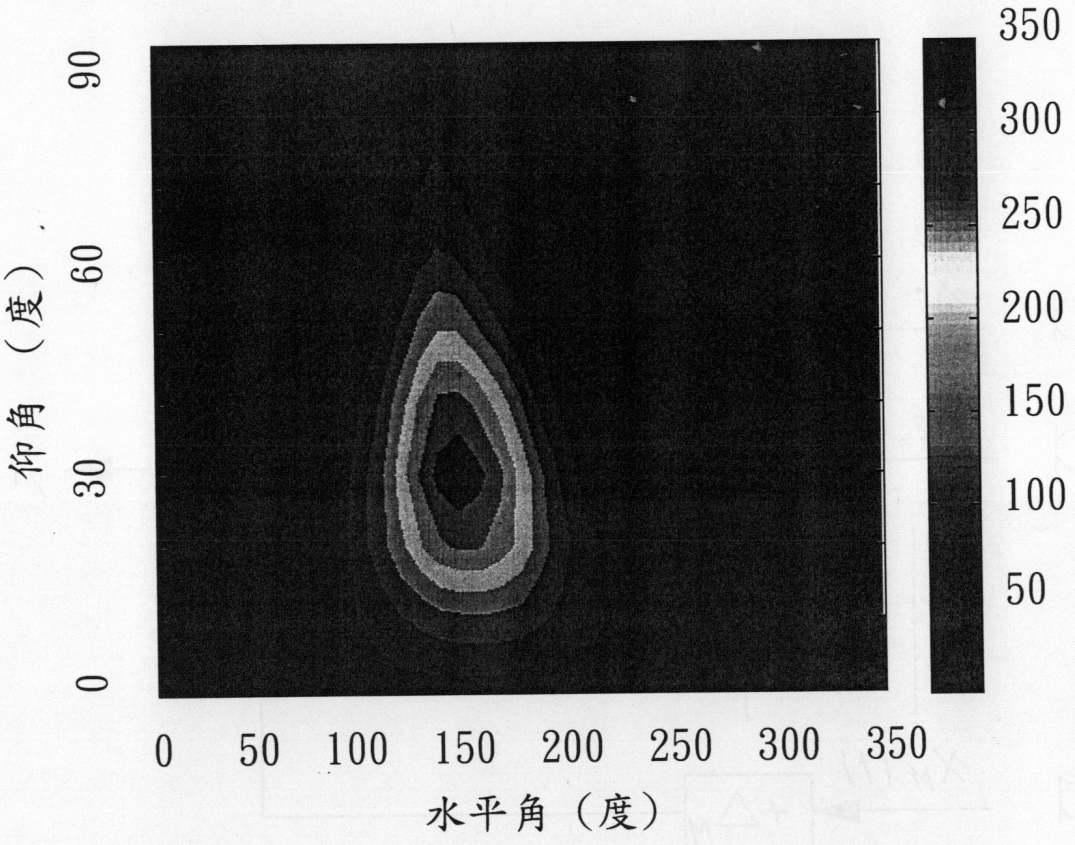
第 1c 圖



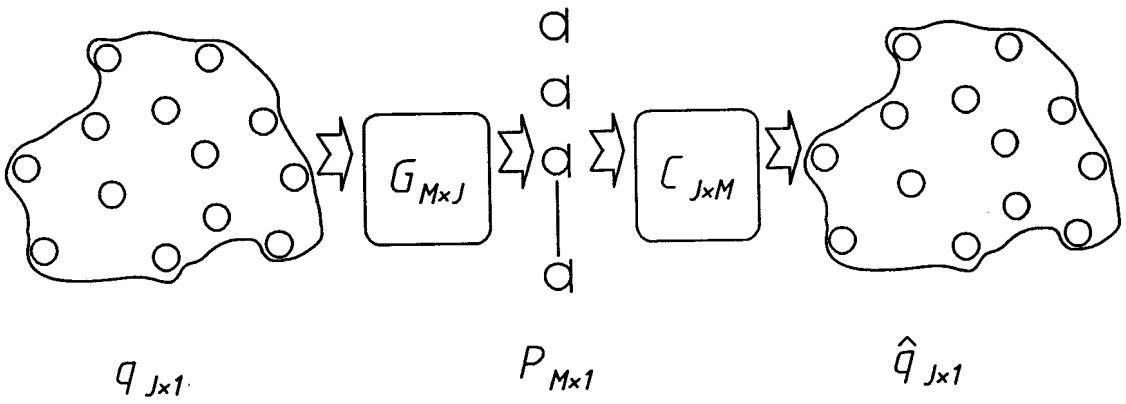
第 1d 圖



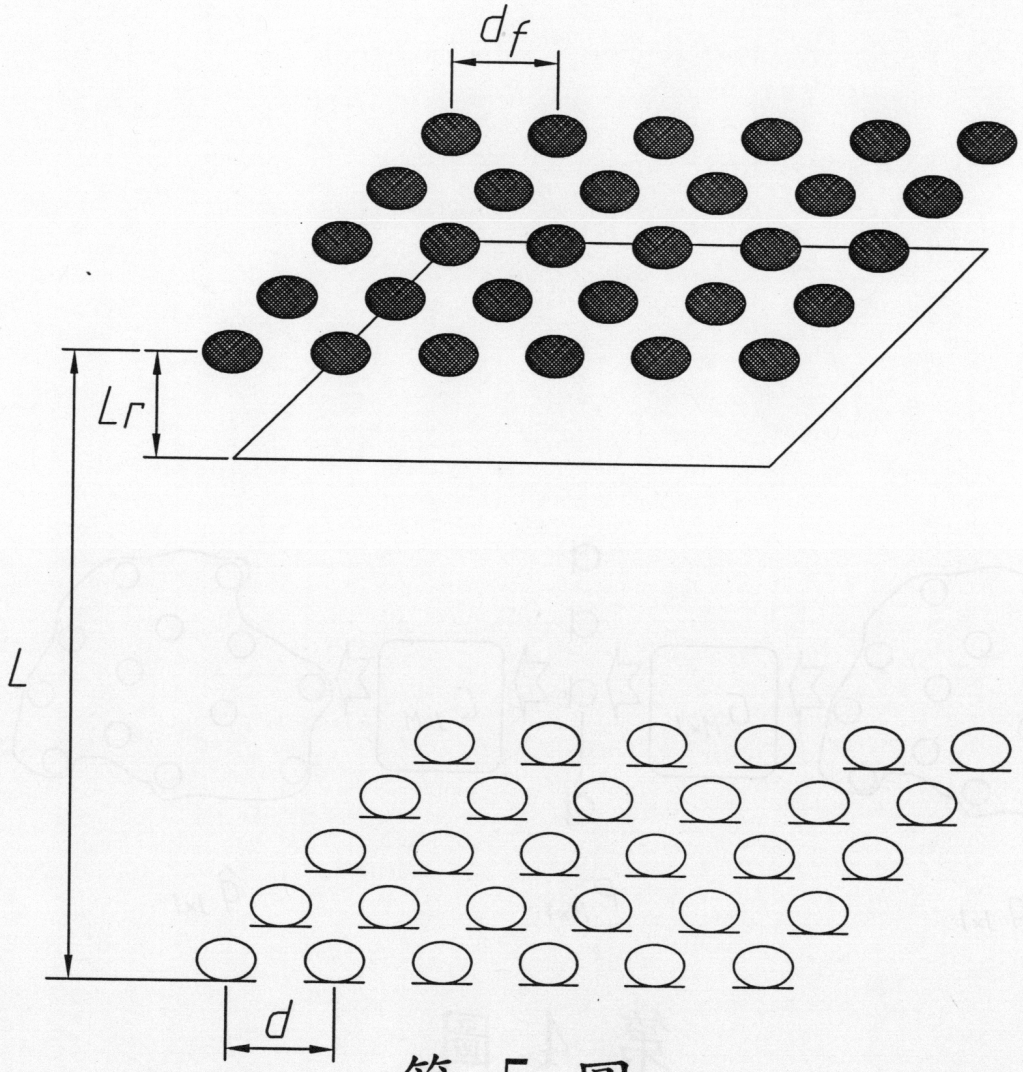
第 2 圖


350
300
250
200
150
100
50
90
60
30
0
仰角（度）
0
50
100
150
200
250
300
350
水平角（度）

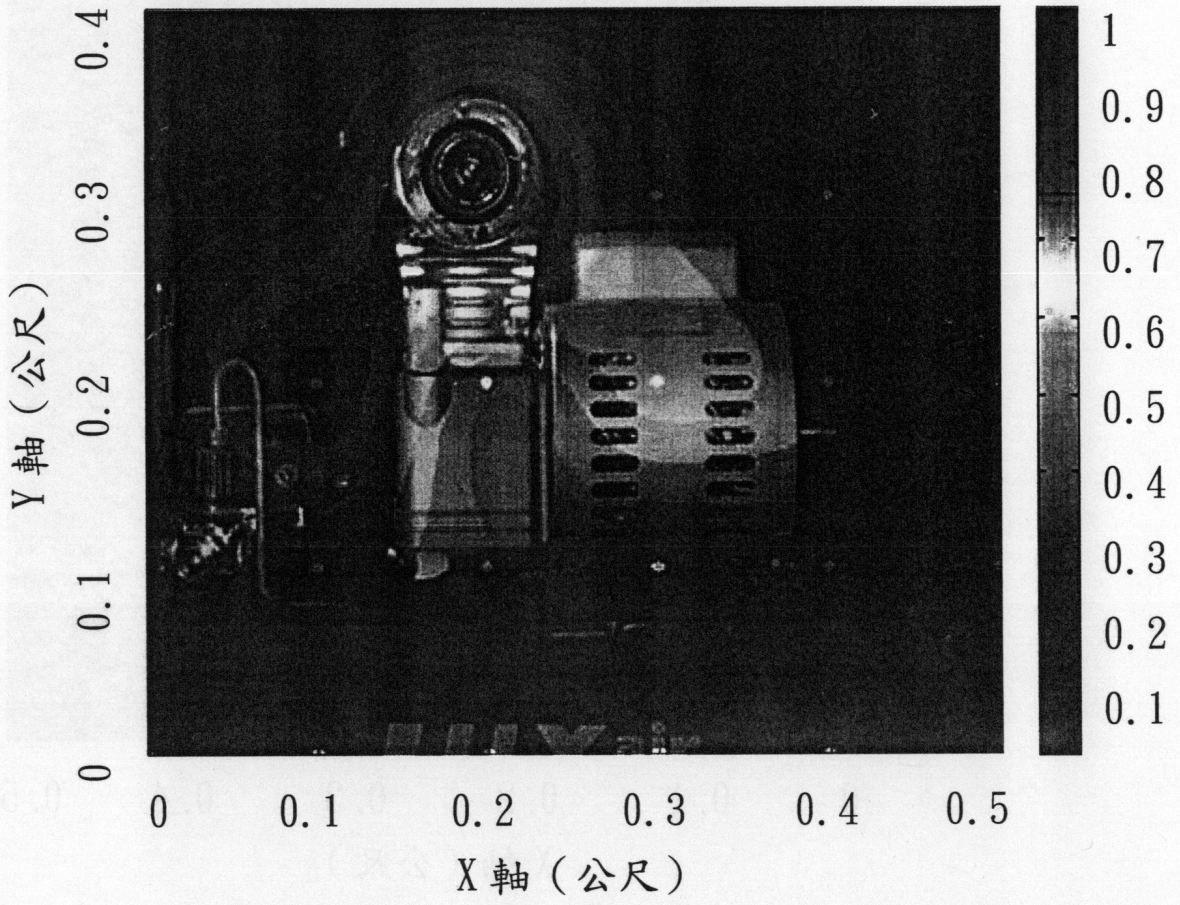
第 3 圖



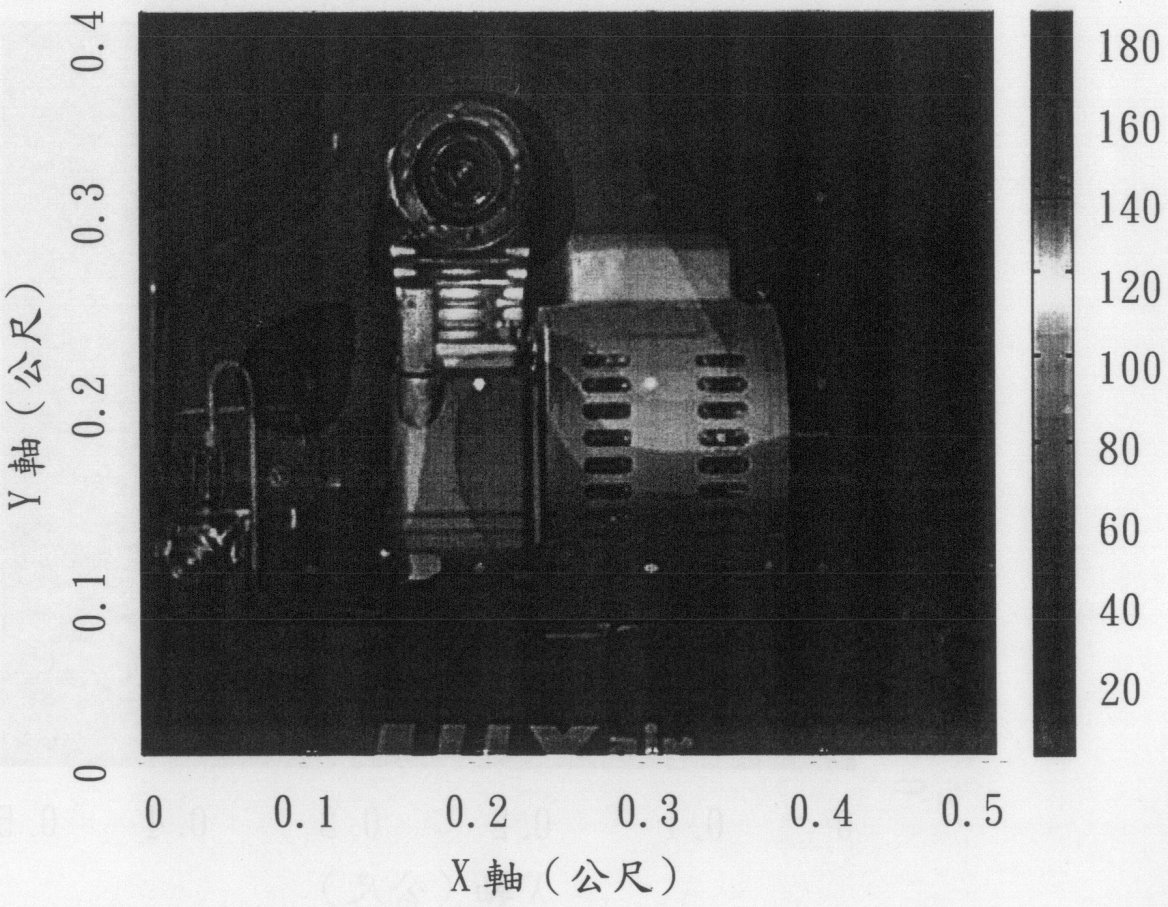
第 4 圖



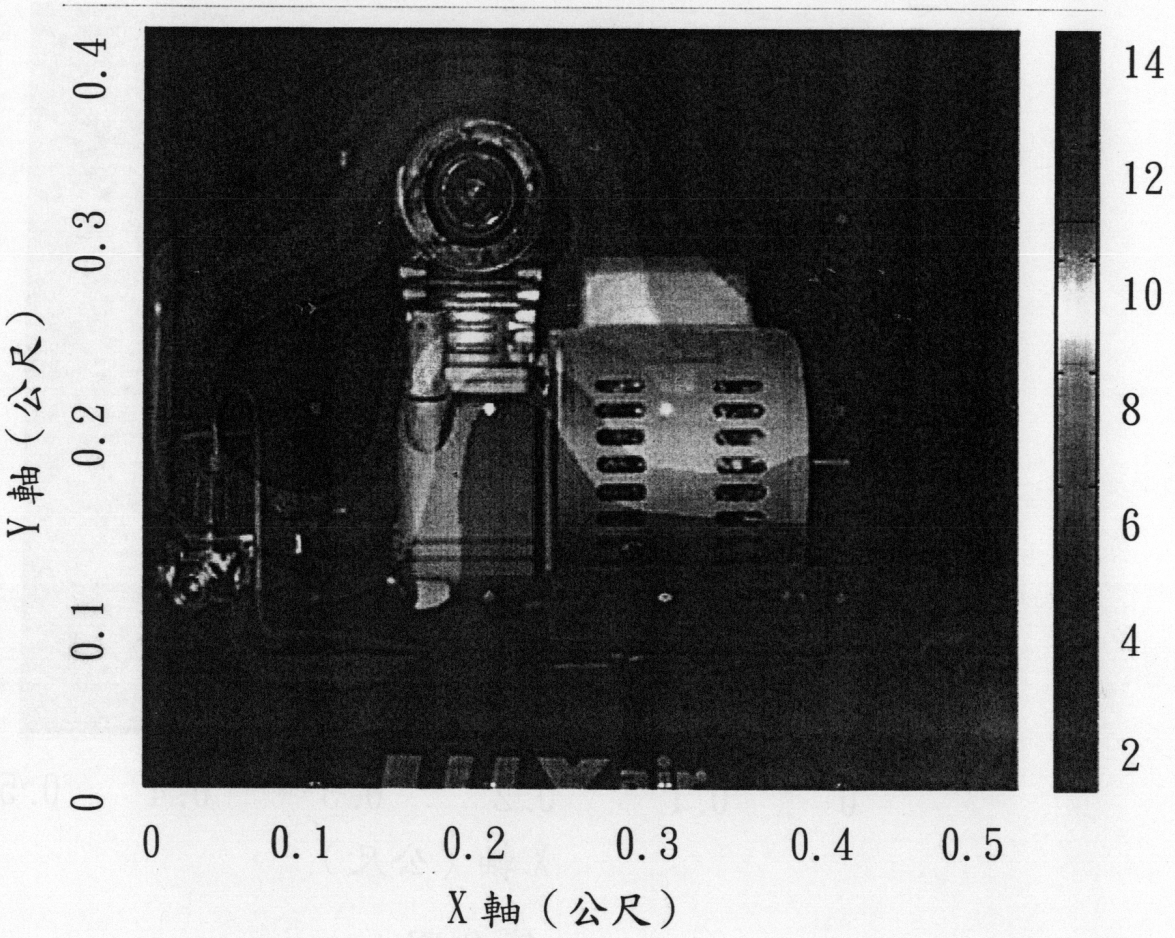
第 5 圖



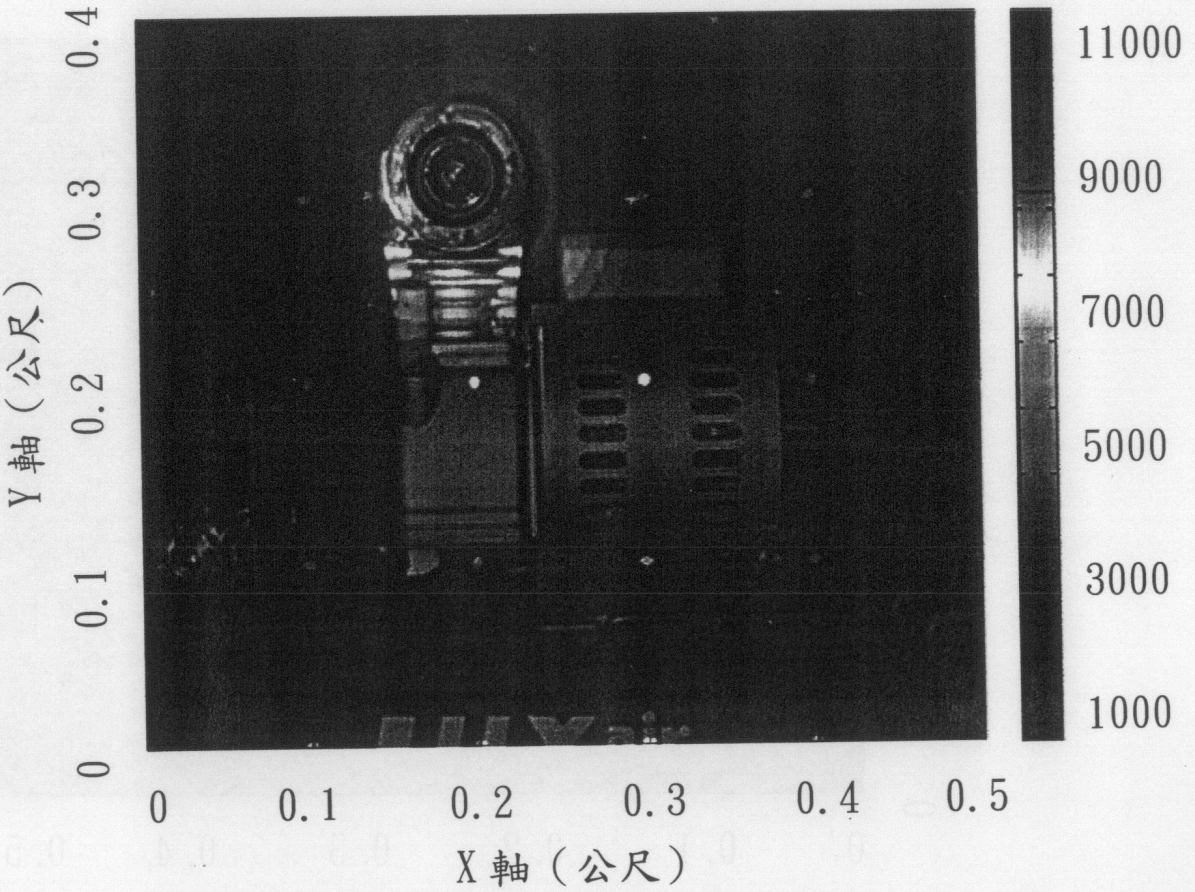
第6圖


Y軸（公尺）
0
0.1
0.2
0.3
0.4
0
0.1
0.2
0.3
0.4
0.5
X軸（公尺）
180
160
140
120
100
80
60
40
20

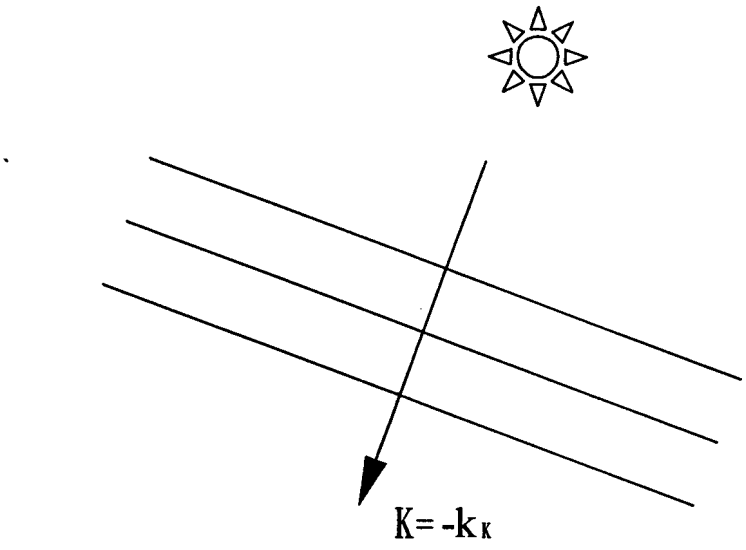
第7圖

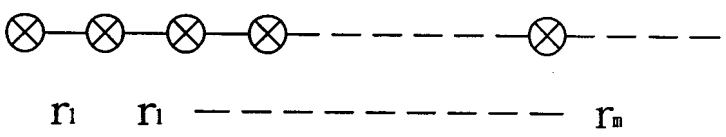


第 8 圖

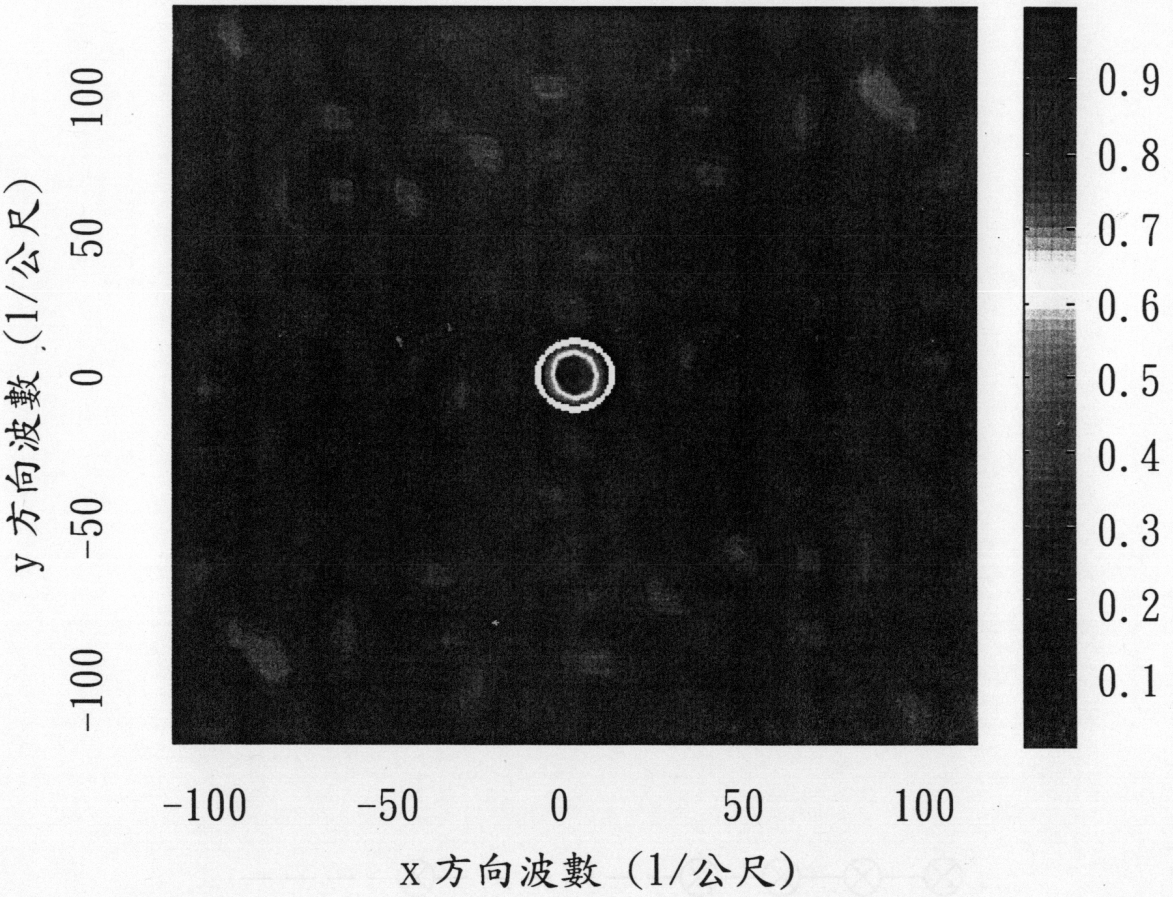


第9圖

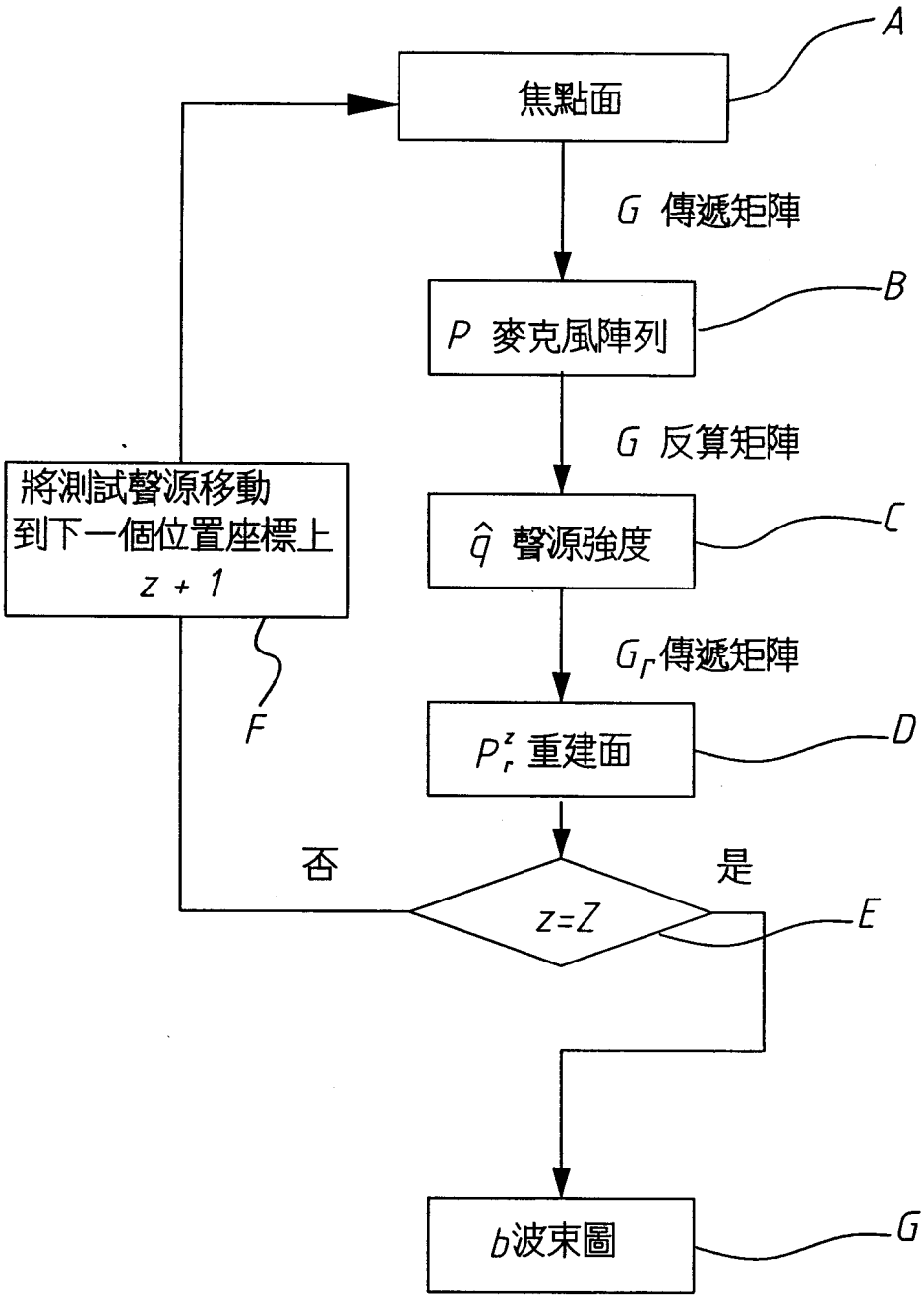




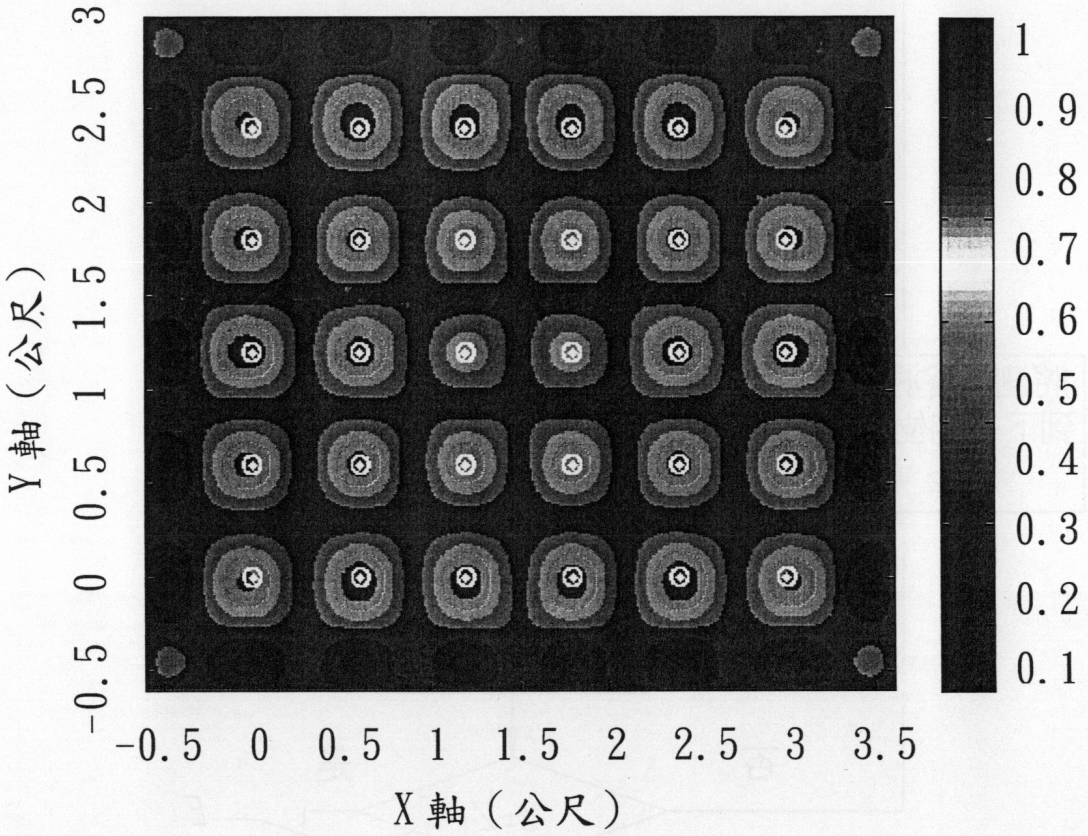
第 10 圖


y 方向波數（1/公尺）
100
50
0
-50
-100
-100
-50
0
50
100
x 方向波數（1/公尺）
0.9
0.8
0.7
0.6
0.5
0.4
0.3
0.2
0.1

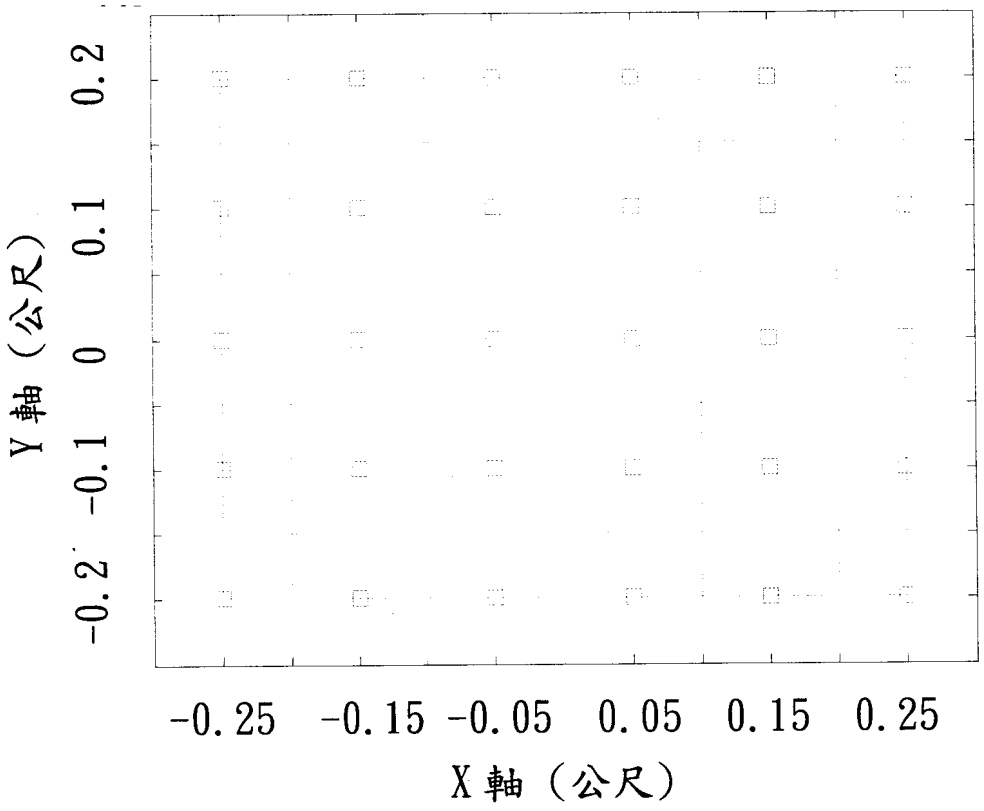
第 11 圖


A
焦點面
G 傳遞矩陣
B
P 麥克風陣列
G 反算矩陣
C
$\hat{q}$ 聲源強度
G_r 傳遞矩陣
D
P_r^z 重建面
否
是
z=Z
E
將測試聲源移動
到下一個位置座標上
z + 1
F
b波束圖
G

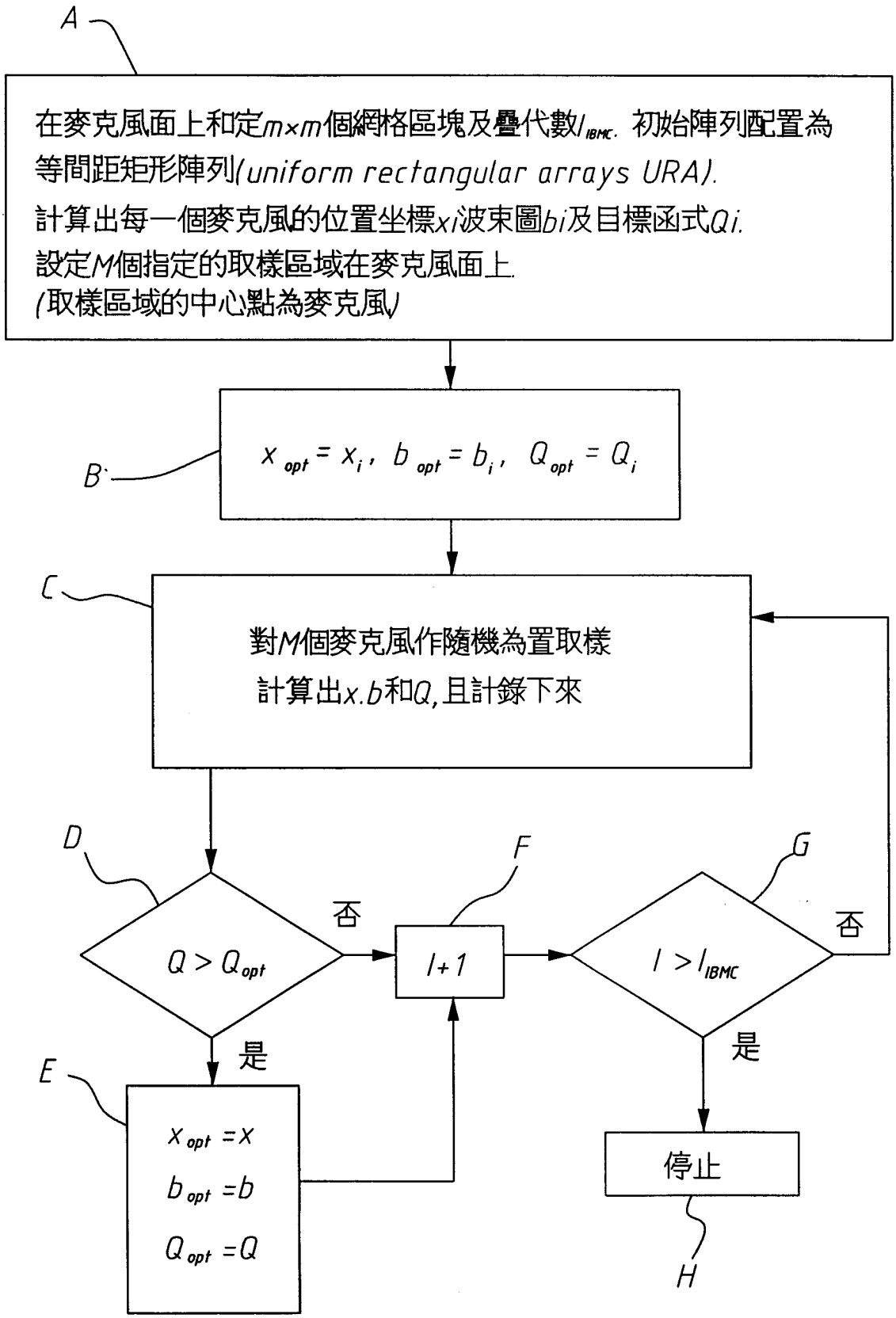
第 12 圖


Y軸（公尺）
3
2.5
2
1.5
1
0.5
0
-0.5
X軸（公尺）
-0.5
0
0.5
1
1.5
2
2.5
3
3.5
1
0.9
0.8
0.7
0.6
0.5
0.4
0.3
0.2
0.1

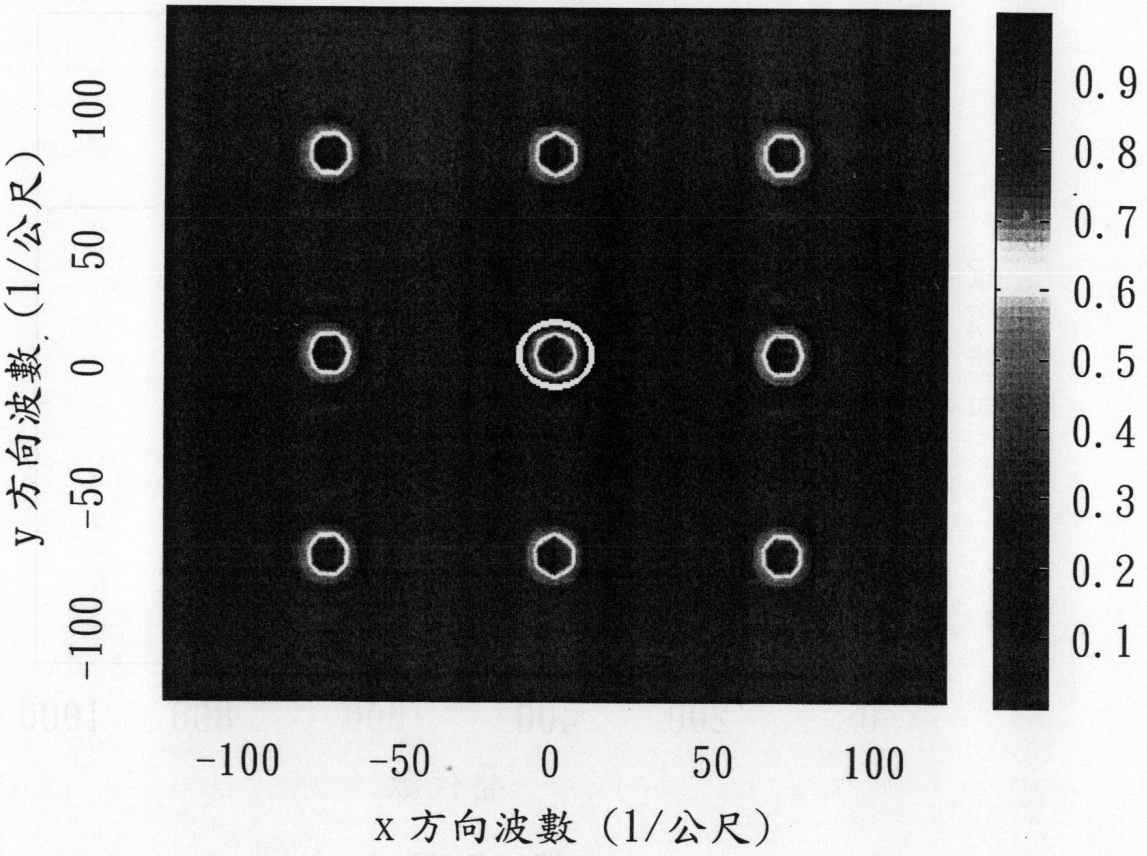
第 13 圖



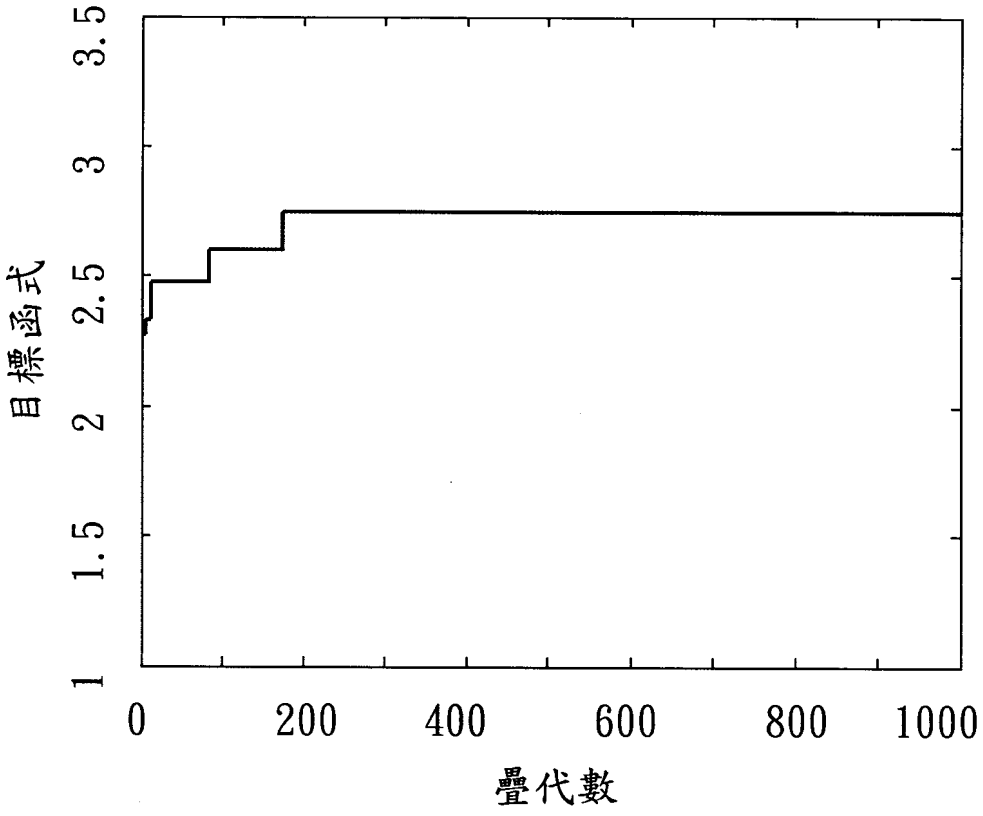
第 14 圖


A
在麥克風面上和定m×m個網格區塊及疊代數I_{IBMC}. 初始陣列配置為
等間距矩形陣列(uniform rectangular arrays URA).
計算出每一個麥克風的位置坐標xi波束圖bi及目標函式Qi.
設定M個指定的取樣區域在麥克風面上.
(取樣區域的中心點為麥克風)
B
$x_{opt} = x_i$, $b_{opt} = b_i$, $Q_{opt} = Q_i$
C
對M個麥克風作隨機為置取樣
計算出x.b和Q,且計錄下來
D
$Q > Q_{opt}$
否
是
F
I+1
G
$I > I_{IBMC}$
否
是
E
$x_{opt} = x$
$b_{opt} = b$
$Q_{opt} = Q$
停止
H

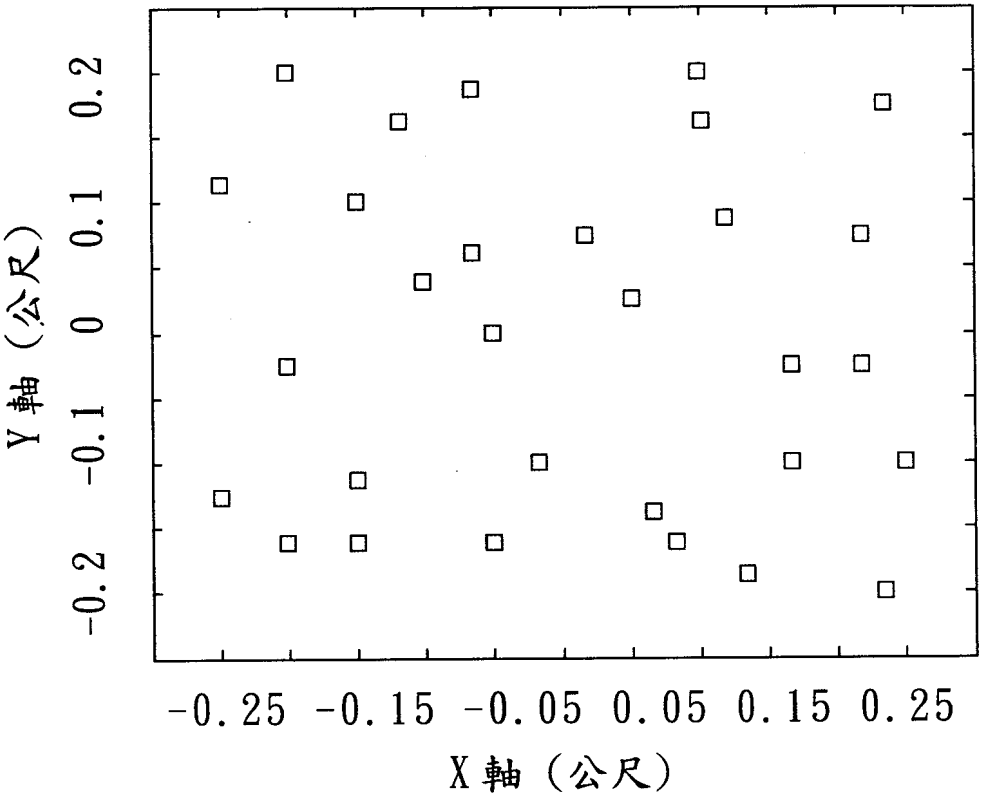
第 15 圖


y 方向波數（1/公尺）
100
50
0
-50
-100
-100
-50
0
50
100
x 方向波數（1/公尺）
0.9
0.8
0.7
0.6
0.5
0.4
0.3
0.2
0.1

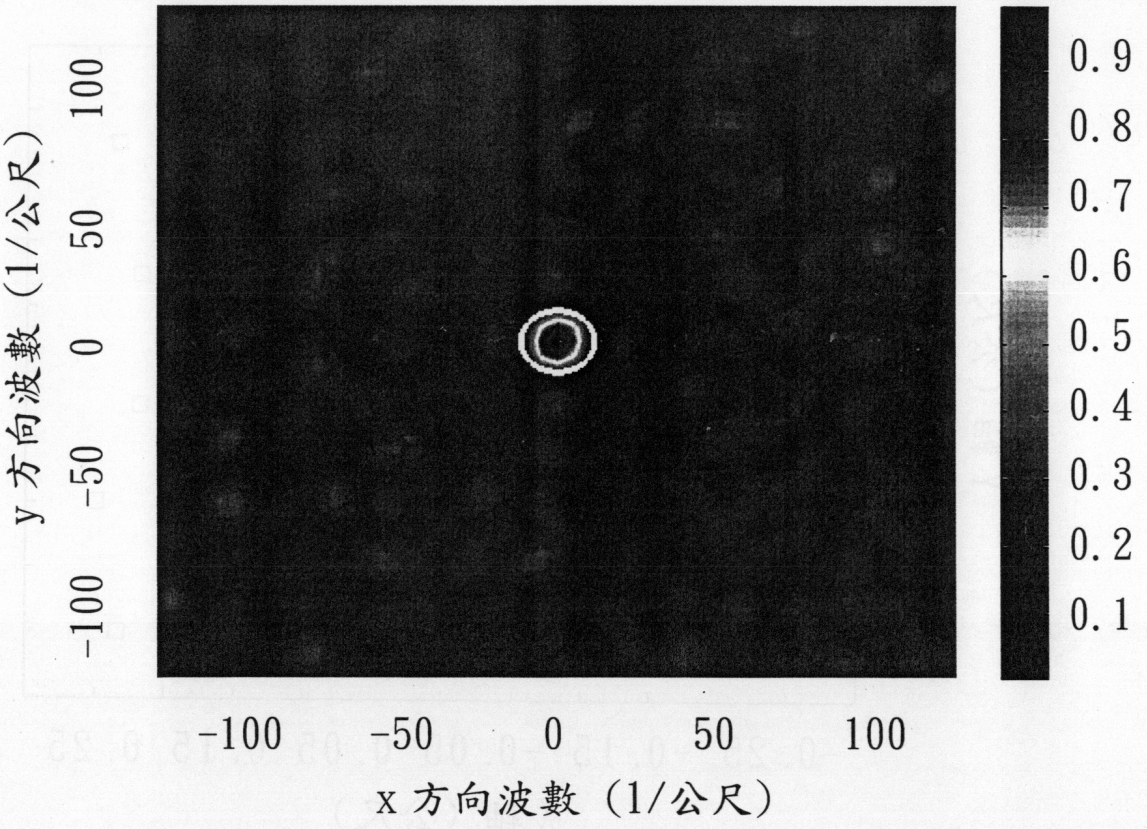
第 16 圖



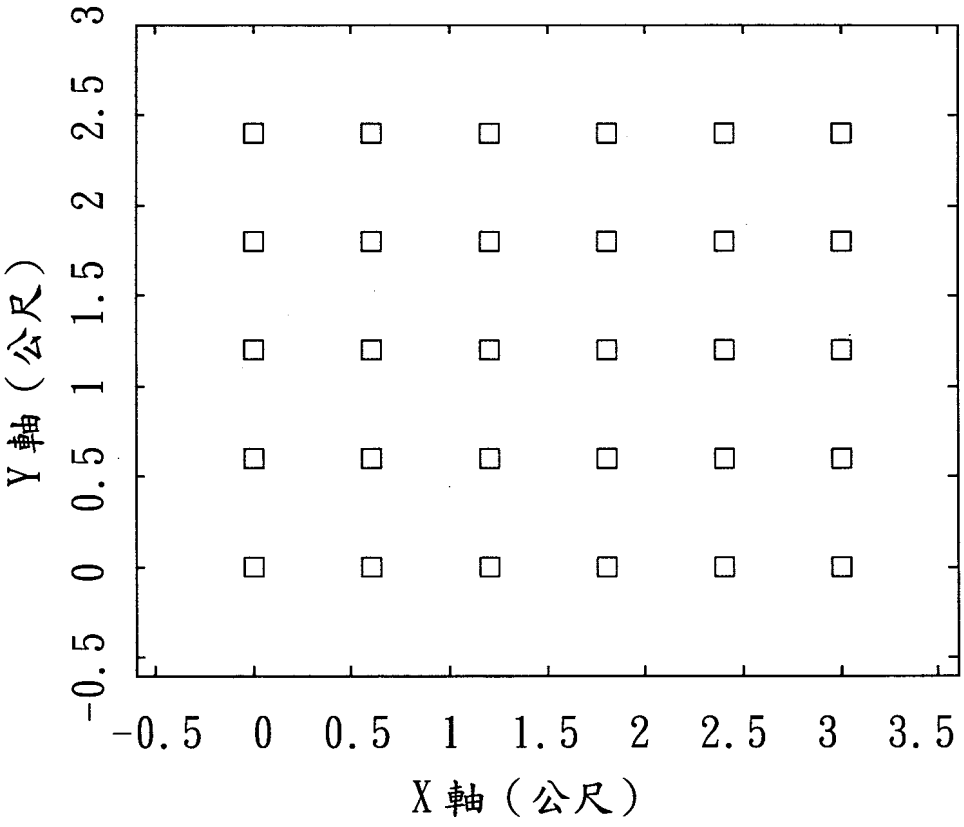
第 17 圖



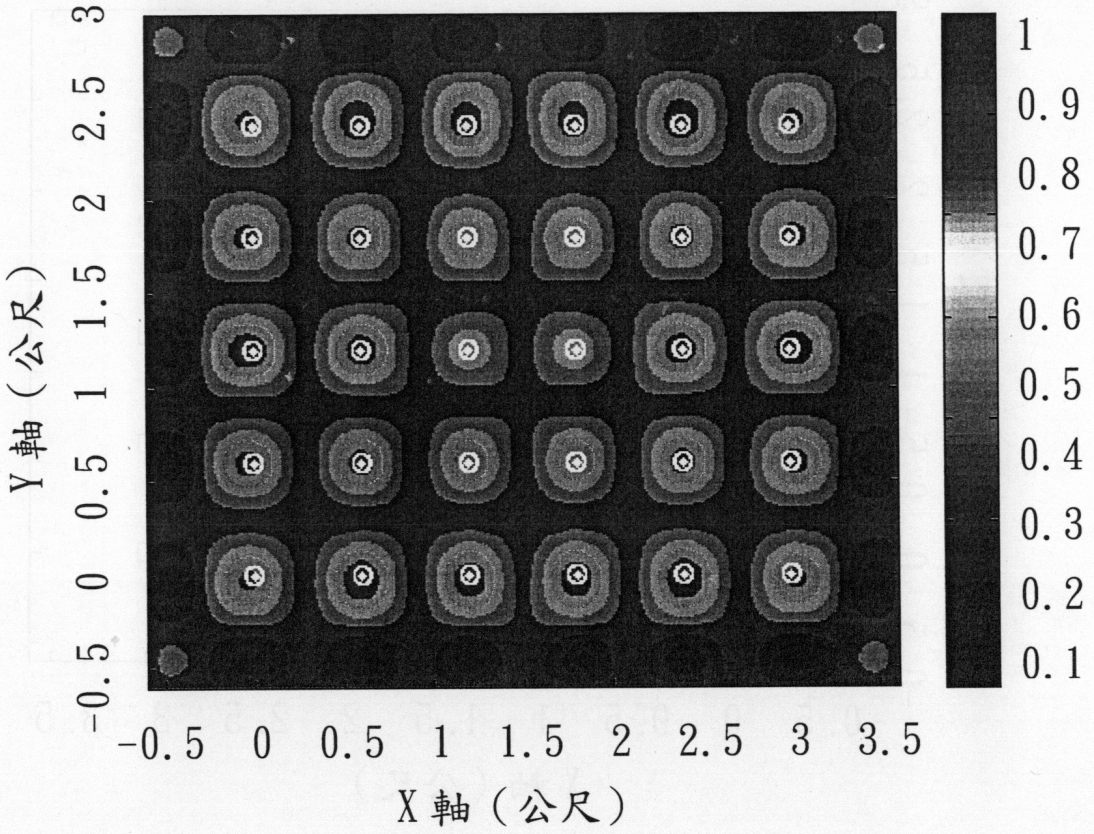
第 18 圖


y 方向波數（1/公尺）
100
50
0
-50
-100
-100
-50
0
50
100
x 方向波數（1/公尺）
0.9
0.8
0.7
0.6
0.5
0.4
0.3
0.2
0.1

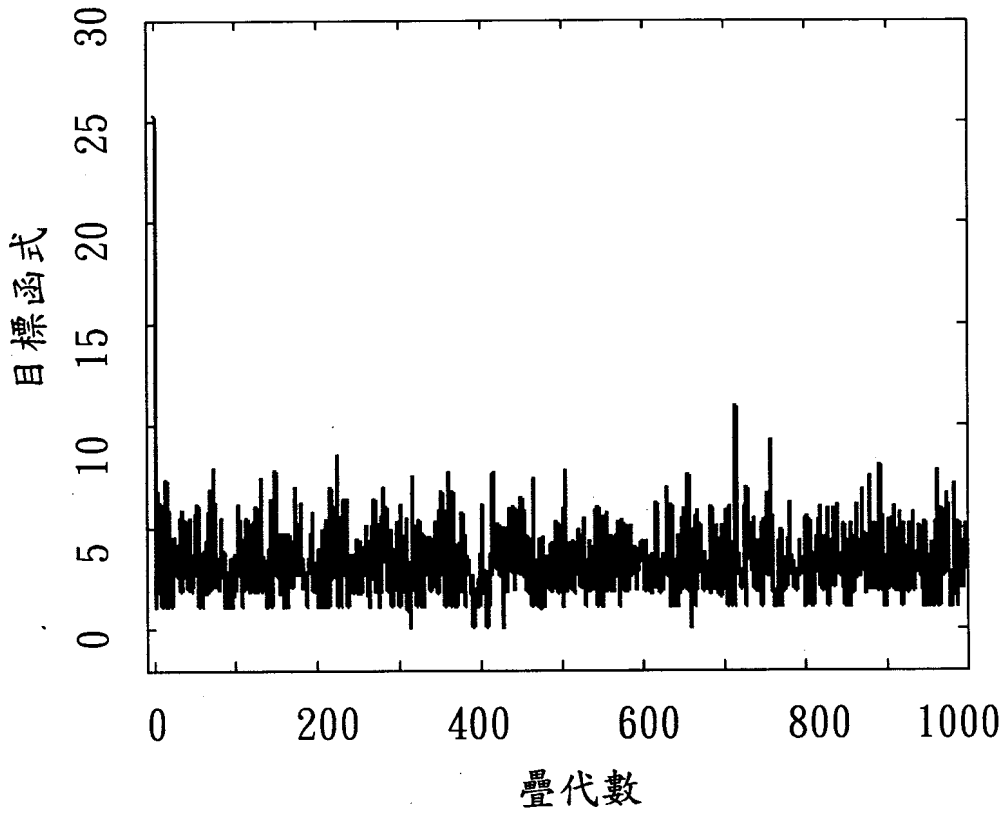
第 19 圖



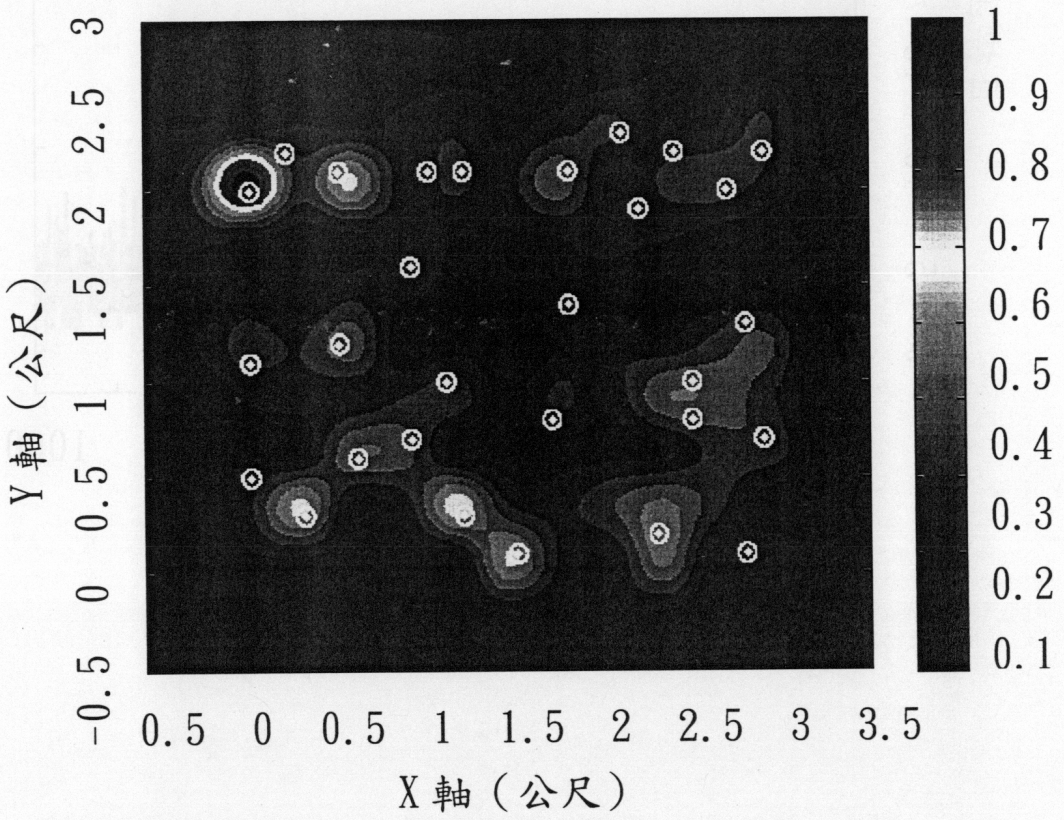
第 20 圖


Y軸（公尺）
3
2.5
2
1.5
1
0.5
0
-0.5
X軸（公尺）
-0.5
0
0.5
1
1.5
2
2.5
3
3.5
1
0.9
0.8
0.7
0.6
0.5
0.4
0.3
0.2
0.1

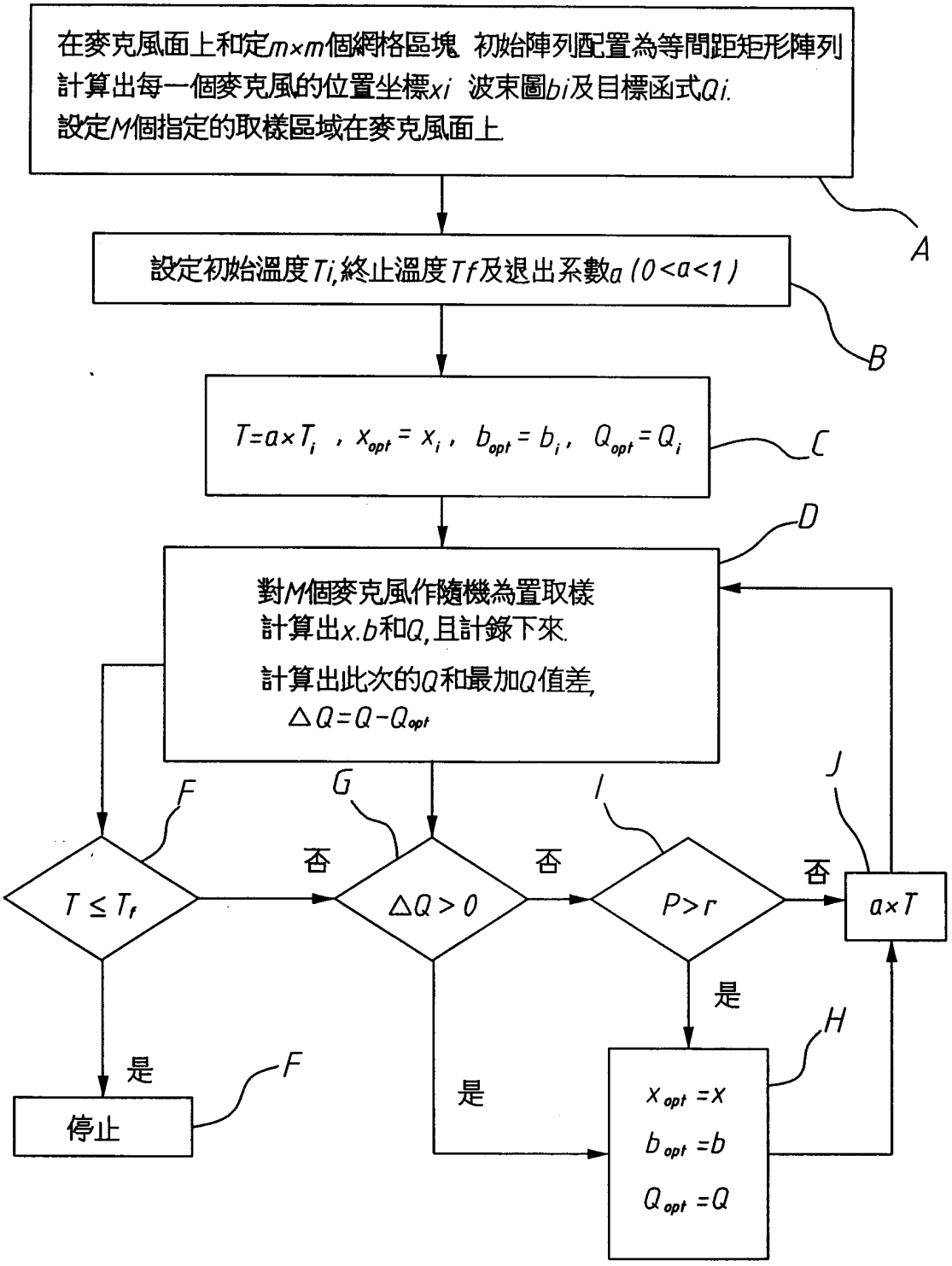
第 21 圖



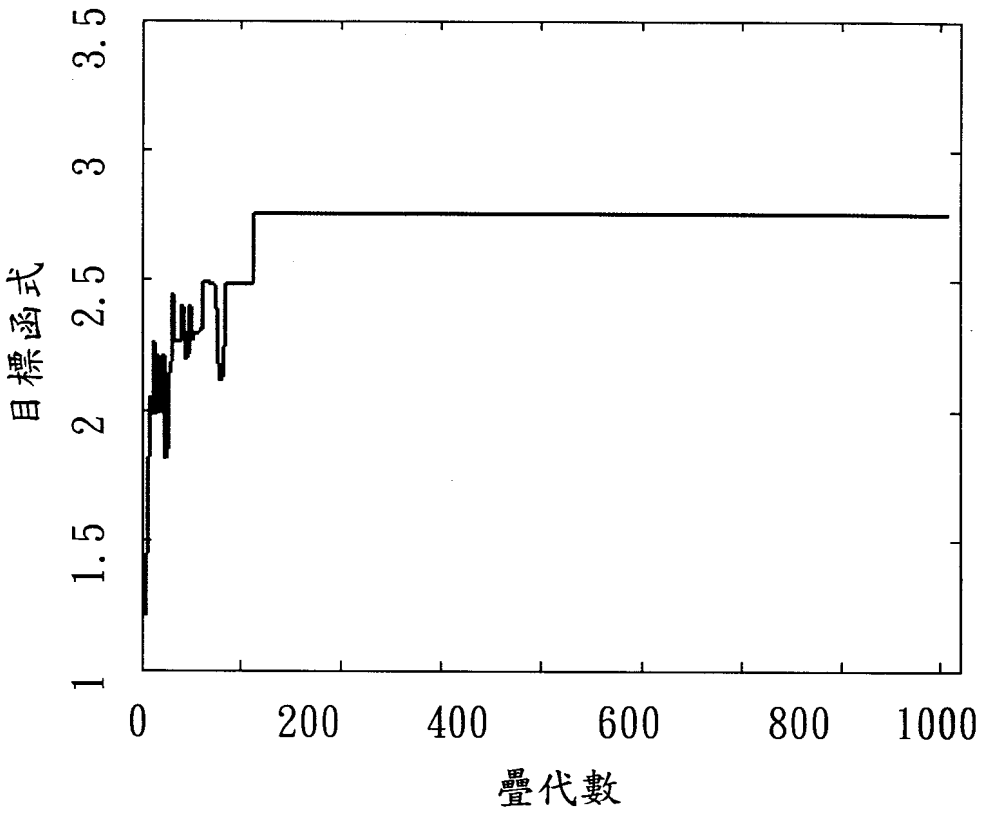
第 22 圖


Y軸（公尺）
3
2.5
2
1.5
1
0.5
0
-0.5
X軸（公尺）
0.5
0
0.5
1
1.5
2
2.5
3
3.5
1
0.9
0.8
0.7
0.6
0.5
0.4
0.3
0.2
0.1

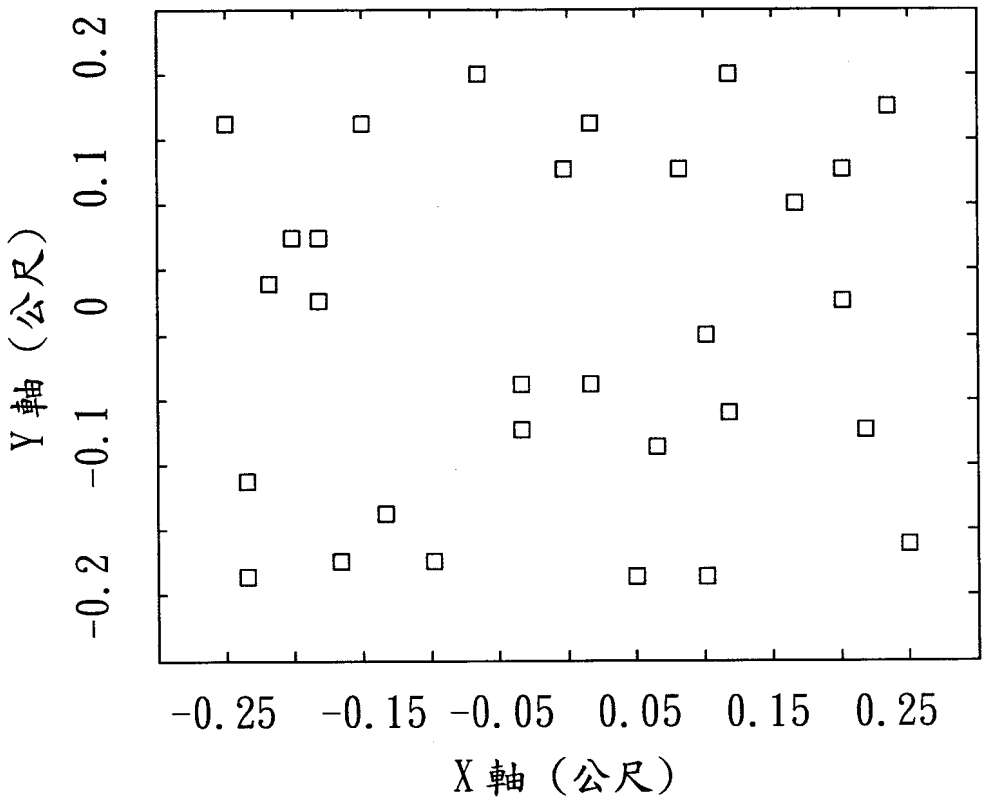
第 23 圖


在麥克風面上和定m×m個網格區塊 初始陣列配置為等間距矩形陣列
計算出每一個麥克風的位置坐標xi 波束圖bi及目標函式Qi.
設定M個指定的取樣區域在麥克風面上
A
設定初始溫度Ti,終止溫度Tf及退出系數a (0<a<1)
B
T=a×T_i , x_opt = x_i , b_opt = b_i , Q_opt = Q_i
C
D
對M個麥克風作隨機為置取樣
計算出x.b和Q,且計錄下來.
計算出此次的Q和最加Q值差,
△Q=Q-Q_opt
F
G
I
J
T ≤ T_f
否
△Q > 0
否
P>r
否
a×T
是
是
是
H
F
停止
x_opt =x
b_opt =b
Q_opt =Q

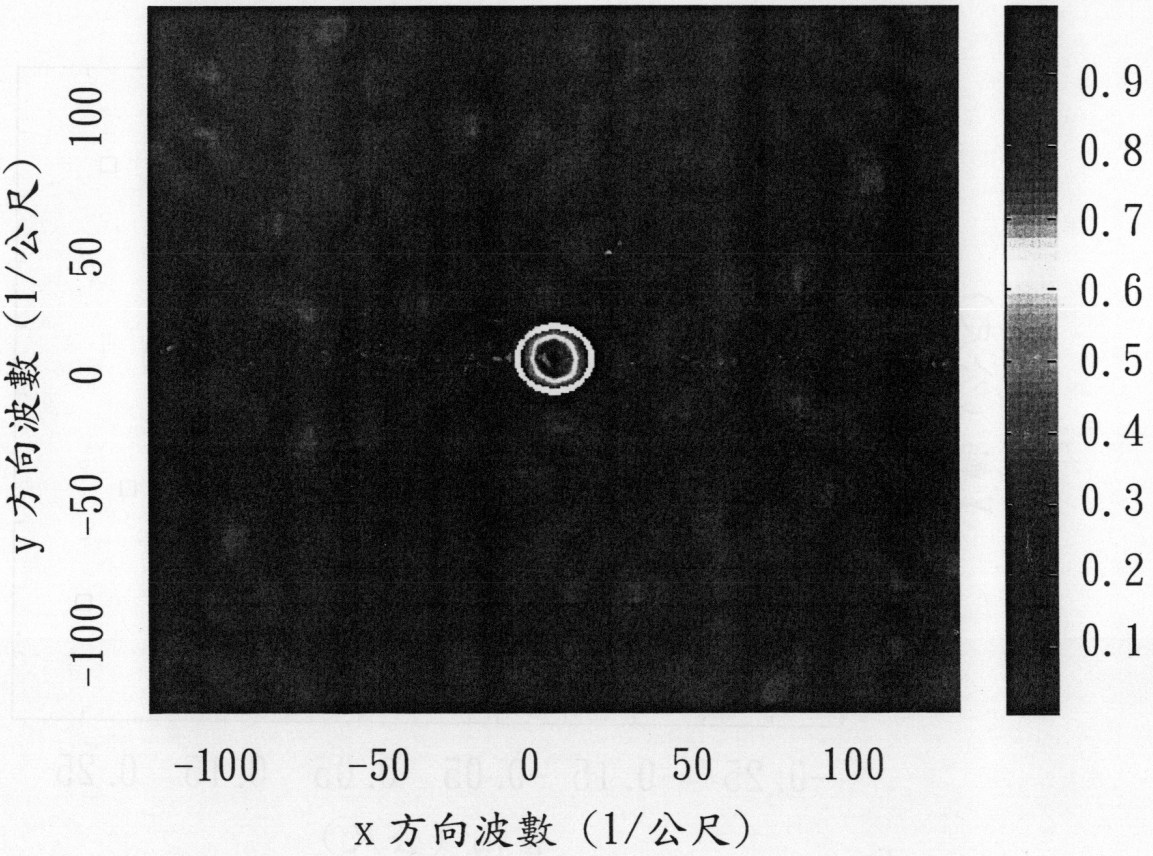
第 24 圖



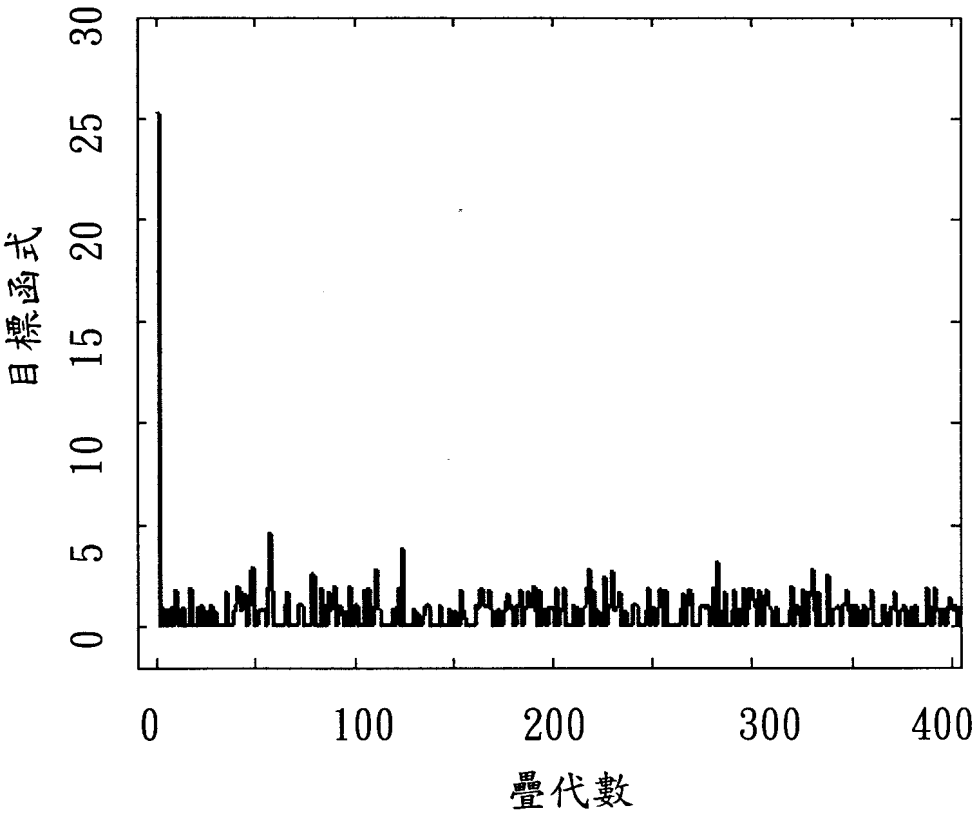
第 25 圖



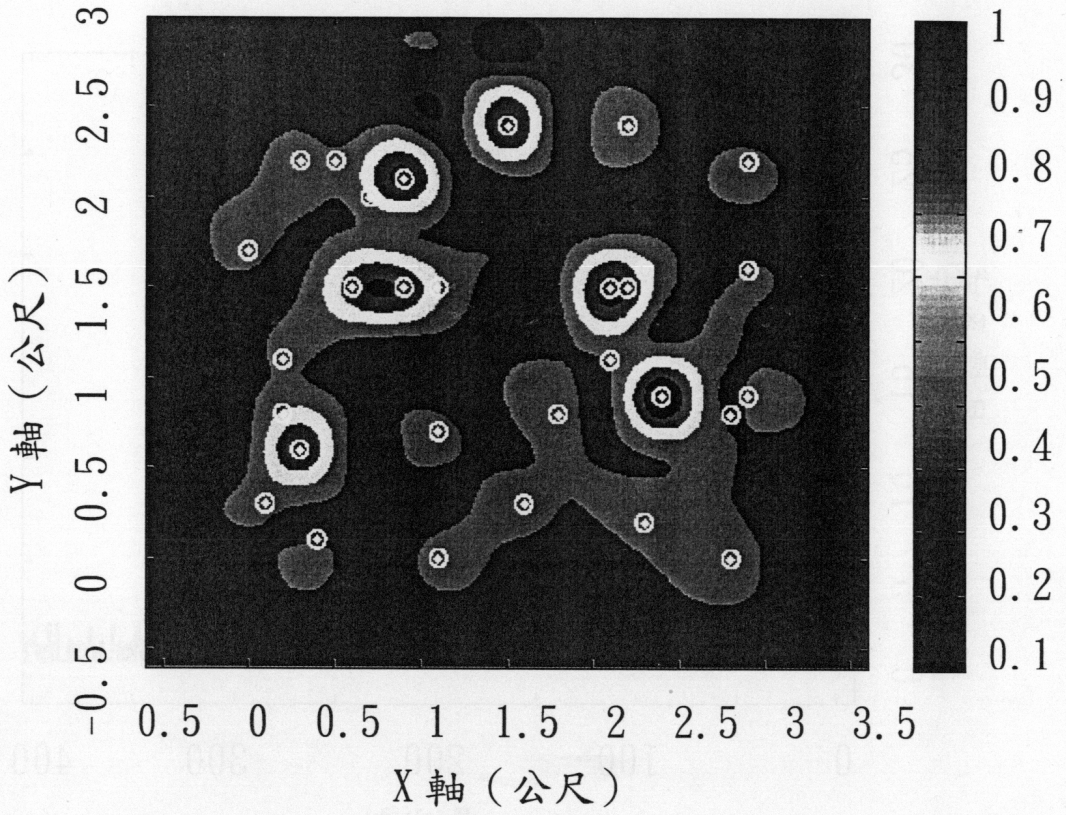
第 26 圖


y 方向波數（1/公尺）
100
50
0
-50
-100
-100
-50
0
50
100
x 方向波數（1/公尺）
0.9
0.8
0.7
0.6
0.5
0.4
0.3
0.2
0.1

第 27 圖



第 28 圖


Y軸（公尺）
3
2.5
2
1.5
1
0.5
0
-0.5
X軸（公尺）
0.5
0
0.5
1
1.5
2
2.5
3
3.5
1
0.9
0.8
0.7
0.6
0.5
0.4
0.3
0.2
0.1

第 29 圖