

## 【發明說明書】

【中文發明名稱】四維度聲波傳播分析系統

【英文發明名稱】ANALYSIS SYSTEM FOR 4D ACOUSTIC WAVES

### 【技術領域】

【0001】 本發明係有關於一種四維度聲波傳播分析系統，尤其是指一種藉由一具有平行處理架構的多維波數位濾波網路模型系統提供之快速且準確的偏微分方程式解，有效實現四維度聲波傳播行為分析與仿真模擬者。

### 【先前技術】

【0002】 物理系統的流體力學對工程和科學的研究是非常重要的，特別是在聲音的傳播、海洋的漲潮與退潮和薄膜的振動上，來觀察它們許多的物理現象。目前已經有發展出多維波動數位濾波器(MD-WDF)的模組為基礎的物理系統模擬器

【0003】 然而，模擬複雜的物理系統時，仍需要大量的運算資源以及運算時間。尤其，傳統的傳統離散數值近似方法因運算精準度低、建模程序繁瑣，以及需要消耗大量的電腦運算時間與儲存空間，而加重了系統結構分析的困難度等缺失。因此，目前急需要的是一種能進行平行性運算的架構以增加物理模擬運算的速度。

### 【發明內容】

【0004】 為解決上述傳統的傳統離散數值近似方法因運算精準度低、建模程序繁瑣，以及需要消耗大量的電腦運算時間與儲存空間，而加重了系統結構分析的困難度等缺失，本發明之目的在於提出一種四維度聲波傳播分析系統，有助於以平行計算處理架構減少四維度聲波傳播分析所需的電腦運算時間與儲存空間；同時，藉由一具有平行處理架構的多維波數位濾波網路模型系統，以提供之快速且準確的偏微分方程式解，有效實現四維度聲波傳播之動態行為分析與仿真模擬。

【0005】 為了達到上述實施目的，本發明提出一種四維度聲波傳播分析系統，其包含一輸入模組、一多維度數位訊號處理模組以及一輸出模組。輸入模組用以將一四維度聲波傳播系統轉換為一子系統。多維度數位訊號處理模組，係電性連接該輸入模組，該多維度數位訊號處理模組包括一串結電子電路、一多維度克希荷夫電路、一離散單元，以及一數位濾波器，其中該串結電子電路係用以表示該四維度聲波傳播系統於連續時間之物理行為，該多維度克希荷夫電路係提供該串結電子電路之複數個被動性數位電路元件，該離散單元係使該複數個被動性數位電路元件藉由位移域中的梯形法則或頻域中的雙線性變換規則達到離散近似的目的，該數位濾波器係確保該離散的多維度克希荷夫電路於每一埠具有被動性與演算法強健性。輸出模組電性連接該多維度數位訊號處理模組，使該多維度克希荷夫電路的每一個埠皆可轉換並合成一個完整的多維波數位濾波網路。

【0006】 較佳地，在四維度聲波傳播系統中定義並引入以下變數：聲波振

幅速率  $v_p = \frac{p}{r_0}$ ， $t = [x, t]'$ ， $v = [v_x, v_y, v_z]'$ ， $e_s = [e_{xt}, e_{yt}, e_{zt}]'$  以及  $e_{pt} = r_0 j_s$ ；則該四維度聲波

傳播系統係轉換為以網路運作方式的克希荷夫電路的方程式，係以下列關係式定義：

$$\begin{aligned}\rho_0 D_t(v_x(t)) + r_0 D_x(v_p(t)) &= e_x(t) \\ \rho_0 D_t(v_y(t)) + r_0 D_y(v_p(t)) &= e_y(t) \\ \rho_0 D_t(v_z(t)) + r_0 D_z(v_p(t)) &= e_z(t) \\ r_0(D_x(v_x(t)) + D_y(v_y(t)) + D_z(v_z(t))) + \frac{r_0^2}{\rho_0 c^2} D_t(v_p(t)) &= e_p(t)\end{aligned}$$

其中， $D_x$ 、 $D_y$ 、 $D_z$ 與 $D_t$ 係表示為空間座標 $x$ 、 $y$ 、 $z$ 與時間座標 $t$ 的偏微導數運算子， $r_0$ 係為一常數。

【0007】 較佳地，四維度聲波傳播系統係以該多維度克希荷夫電路實現網路操作，係以下列關係式定義：

$$\begin{aligned}L_x D_t(v_x) - 1/2 Z''_{xt}(v_p - v_x) + 1/2 Z'_{xt}(v_p + v_x) &= e_x(t) \\ 1/2 Z'_{yt}(v_p + v_y) - 1/2 Z''_{yt}(v_p - v_y) + L_y D_t(v_y) &= e_y(t) \\ L_z D_t(v_z) - 1/2 Z''_{zt}(v_p - v_z) + 1/2 Z'_{zt}(v_p + v_z) &= e_z(t) \\ 1/2 Z'_{xt}(v_p + v_x) + 1/2 Z''_{xt}(v_p - v_x) + 1/2 Z''_{yt}(v_p - v_y) \\ + 1/2 Z'_{yt}(v_p + v_y) + 1/2 Z'_{zt}(v_p + v_z) + 1/2 Z''_{zt}(v_p - v_z) + L_p D_t(v_p) &= e_p(t) \\ L_j &= \rho_0 - \delta_j, j = x, y, z \\ L_p &= \frac{r_0^2}{\rho_0 c^2} - (\delta_x + \delta_y + \delta_z)\end{aligned}$$

其中， $Z'_j$ 以及 $Z''_j$ 為空間時間座標 $j$ 的偏微導數運算子，其中 $j$ 包含空間時間座標 $xt$ 、 $yt$ 以及 $zt$ ，其定義如下：

$$\begin{aligned}Z'_{jt} &= (\delta_j D_t + r_0 D_j), j = x, y, z \\ Z''_{jt} &= (\delta_j D_t - r_0 D_j), j = x, y, z ;\end{aligned}$$

$$\delta_j > 0, j = x, y, z ;$$

其中  $\delta_j$  為一輔助常數。

【0008】 較佳地，多維度數位訊號處理模組係以連續性多維時間分配技術處理該多維波數位濾波網路電路，達到改變多維數據流圖之延遲時間以完成平行運算，其中該多維數據流圖係以下列關係式定義：

$$S = \{s : d(e) \cdot s \geq 0, \forall e \in E\};$$

其中， $s$  為多維數據流圖之排定空間， $s$  為排定元素，包含  $C1$ 、 $C3$ 、 $C5$ 、 $C2$ 、 $C4$ 、 $C6$ 、 $Cs1$ 、 $Cs2$ 、 $Cs3$ 、 $Cs4$ 、 $D1$ 、 $D3$ 、 $D5$ 、 $D2$ 、 $D4$ 、 $D6$ 、 $Ds1$ 、 $Ds2$ 、 $Ds3$ 、 $Ds4$ 、 $E1$ 、 $E3$ 、 $E5$ 、 $E2$ 、 $E4$ 、 $E6$ 、 $Es1$ 、 $Es2$ 、 $Es3$ 、 $Es4$ 、 $F1$ 、 $F2$ 、 $F3$ 、 $F4$ 、 $G1$ 、 $G3$ 、 $G5$ 、 $G2$ 、 $G4$ 、 $G6$ 、 $Gs1$ 、 $Gs2$ 、 $Gs3$ 、 $Gs4$ 、 $H1$ 、 $H3$ 、 $H5$ 、 $H2$ 、 $H4$ 、 $H6$ 、 $Hs1$ 、 $Hs2$  以及  $Hs3$  運算點。

【0009】 較佳地， $D1$ 、 $D2$ 、 $D3$ 、 $D5$ 、 $Ds1$ 、 $Ds2$ 、 $E1$ 、 $E2$ 、 $E3$ 、 $E5$ 、 $Es1$ 、 $Es2$ 、 $F1$ 、 $F2$ 、 $G1$ 、 $G2$ 、 $G3$ 、 $G5$ 、 $Gs1$ 、 $Gs2$ 、 $H1$ 、 $H2$ 、 $H3$ 、 $H5$ 、 $Hs1$ 、 $Hs2$  運算點係形成一可平行運算處理的執行迴圈。

【0010】 較佳地， $D4$ 、 $Ds3$ 、 $E4$ 、 $Es3$ 、 $F3$ 、 $G4$ 、 $Gs3$ 、 $H4$  以及  $Hs3$  運算點係形成一可平行運算處理的執行迴圈。

【0011】 較佳地， $D6$ 、 $Ds4$ 、 $E6$ 、 $Es4$ 、 $F4$ 、 $G6$ 、 $Gs4$ 、 $H6$  以及  $Hs4$  運算點係形成一可平行運算處理的執行迴圈。

【0012】 較佳地， $C1$ 、 $C2$ 、 $C3$ 、 $C4$ 、 $C5$ 、 $C6$ 、 $Cs1$ 、 $Cs2$ 、 $Cs3$  以及  $Cs4$  運算點係形成一可平行運算處理的執行迴圈。

### 【圖式簡單說明】

【0013】 本發明之上述及其他特徵及優勢將藉由參照附圖詳細說明其例示性實施例而變得更顯而易知，其中：

第1圖是本發明之四維度聲波傳播分析系統之一較佳實施例之系統架構示意圖。

第2圖是本發明之四維度聲波傳播分析系統之一較佳實施例之多維度克希荷夫電路圖。

第3A圖是本發明之四維度聲波傳播分析系統之一較佳實施例之基於被動性數位電路元件和相對應數位濾波網路的定義示意圖。

第3B圖是本發明之四維度聲波傳播分析系統之一較佳實施例之多維波數位濾波網路電路圖。

第4圖是本發明之四維度聲波傳播分析系統之較佳實施例之多維度數據流量(MDFG)示意圖。

第5A圖是本發明之四維度聲波傳播分析系統之較佳實施例之多維度數據流量(MDFG)之執行排程表。

第5B圖是本發明之四維度聲波傳播分析系統之較佳實施例之多維度數據流量(MDFG)之執行迴圈程式。

第6圖是本發明之四維度聲波傳播分析系統之較佳實施例之經過時間重分配的多維度數據流量(MDFG)示意圖。

第7A圖是本發明之四維度聲波傳播分析系統之較佳實施例之經過時間重分配的多維度數據流量(MDFG)之執行排程表。

第7B圖~第7D圖是本發明之四維度聲波傳播分析系統之較佳實施例之經過時間重分配的多維度數據流量(MDFG)之執行迴圈程式。

## 【實施方式】

【0014】 於此使用，詞彙“與/或”包含一或多個相關條列項目之任何或所有組合。當“至少其一”之敘述前綴於一元件清單前時，係修飾整個清單元件而非修飾清單中之個別元件。

【0015】 請參閱第1圖、第2圖，其為本發明之四維度聲波傳播分析系統之一較佳實施例之系統架構示意圖與多維度克希荷夫電路圖。本發明之四維度聲波傳播分析系統係藉由一具有平行處理架構的多維波數位濾波網路模型系統提供之快速且準確的偏微分方程式解，有效地實現四維度聲波傳播之動態行為分析與仿真模擬。本發明之四維度聲波傳播分析系統包含一輸入模組11、一多維度數位訊號處理模組20以及一輸出模組30。

【0016】 輸入模組11用以將一四維度聲波傳播系統10轉換為一子系統。在此實施例中，輸入模組11係為一隨時間變化之偏微分方程式，以使該四維度聲波傳播系統10表示為下列方程式(A)：

$$\begin{aligned} \rho_0 \frac{\partial}{\partial t} \mathbf{v}(\mathbf{x}, t) + \text{grad } p(\mathbf{x}, t) &= \mathbf{e}_s(\mathbf{x}, t) \\ \frac{1}{\rho_0 c^2} \frac{\partial}{\partial t} p(\mathbf{x}, t) + \text{div } \mathbf{v}(\mathbf{x}, t) &= j_s(\mathbf{x}, t) \end{aligned} \quad \dots(A)$$

【0017】 其中，t係為時間，x、y以及z係為空間的座標，p係為聲波的大氣壓力，v係為聲波傳播的速度， $\rho_0$ 係為空氣密度，c係為聲波的速率。

【0018】 多維度數位訊號處理模組20係電性連接輸入模組11。多維度數位訊號處理模組20包括一串結電子電路21、一多維度克希荷夫電路22、一離散單元23以及一數位濾波器24。串結電子電路21係用以表示四維度聲波傳播系統10於連續時間之物理行為，而多維度克希荷夫電路22係提供串結電子電路21之複數個被動性數位電路元件。離散單元23係使複數個被動性數位電路元件藉由位

移域中的梯形法則或頻域中的雙線性變換規則達到離散近似的目的。數位濾波器係確保離散的多維度克希荷夫電路於每一埠具有被動性與演算法強健性。

【0019】 在此實施例之目的係尋找一個多維度的串結集總電子網路來代表此四維度聲波傳播系統於連續時間的物理行為，因此，定義並引入以下變數：

聲波振幅速率  $v_p = \frac{p}{r_0}$ ， $t = [x, t]'$ ， $v = [v_x, v_y, v_z]'$ ， $e_s = [e_x, e_y, e_z]'$  以及  $e_{pt} = r_0 j_s$ ；則四維度聲波傳播系統10於方程式(A)可轉換為以網路運作方式的克希荷夫電路的方程式，係以下列方程式(B)定義：

$$\begin{aligned} \rho_0 D_t(v_x(t)) + r_0 D_x(v_p(t)) &= e_x(t) \\ \rho_0 D_t(v_y(t)) + r_0 D_y(v_p(t)) &= e_y(t) \\ \rho_0 D_t(v_z(t)) + r_0 D_z(v_p(t)) &= e_z(t) \\ r_0 (D_x(v_x(t)) + D_y(v_y(t)) + D_z(v_z(t))) + \frac{r_0^2}{\rho_0 c^2} D_t(v_p(t)) &= e_p(t) \dots(B) \end{aligned}$$

【0020】 其中， $D_x$ 、 $D_y$ 、 $D_z$ 與 $D_t$ 係表示為空間座標 $x$ 、 $y$ 、 $z$ 與時間座標 $t$ 的偏微導數運算子， $r_0$ 係為一常數。

【0021】 根據克希荷夫電路理論，方程式(B)可改寫為下列形式之方程式(C)以實現多維度克希荷夫電路之網路操作：

$$\begin{aligned} L_x D_t(v_x) - 1/2 Z''_{xt}(v_p - v_x) + 1/2 Z'_{xt}(v_p + v_x) &= e_x(t) \\ 1/2 Z'_{yt}(v_p + v_y) - 1/2 Z''_{yt}(v_p - v_y) + L_y D_t(v_y) &= e_y(t) \\ L_z D_t(v_z) - 1/2 Z''_{zt}(v_p - v_z) + 1/2 Z'_{zt}(v_p + v_z) &= e_z(t) \\ 1/2 Z'_{xt}(v_p + v_x) + 1/2 Z''_{xt}(v_p - v_x) + 1/2 Z''_{yt}(v_p - v_y) \\ + 1/2 Z'_{yt}(v_p + v_y) + 1/2 Z'_{zt}(v_p + v_z) + 1/2 Z''_{zt}(v_p - v_z) + L_p D_t(v_p) &= e_p(t) \end{aligned}$$

...(C)

【0022】 其中，電感參數 $L$ 的定義如下：

$$L_j = \rho_0 - \delta_j, j = x, y, z$$

$$L_p = \frac{r_0^2}{\rho_0 c^2} - (\delta_x + \delta_y + \delta_z).$$

【0023】 其中， $Z'_j$  以及  $Z''_j$  為空間時間座標 $j$ 的偏微導數運算子，其中 $j$ 包含空間時間座標 $x_t$ 、 $y_t$ 以及 $z_t$ ，其定義如下：

$$Z'_{jt} = (\delta_j D_t + r_0 D_j), j = x, y, z$$

$$Z''_{jt} = (\delta_j D_t - r_0 D_j), j = x, y, z$$

$$\delta_j > 0, j = x, y, z$$

【0024】 輸出模組30係電性連接多維度數位訊號處理模組20，使多維度克希荷夫電路22的每一個埠(port)皆可轉換並合成一個完整的多維波數位濾波網路。

【0025】 在本發明其一較佳實施例中，在穩態(Steady state)條件下，根據多維波數位濾波理論，第2圖之多維度克希荷夫電路的每一個埠皆可轉換並合成一個完整的多維波數位濾波網路，請參閱第3A圖以及第3B圖，其為本發明四維度聲波傳播分析系統之一較佳實施例之基於被動性數位電路元件和相對應數位濾波網路的定義示意圖，以及一多維波數位濾波網路電路圖，以解決四維度聲波傳播系統的複雜問題。

【0026】 頻域的順向波量 $A_\nu$ 以及逆向波量 $B_\nu$ 可由以下方程式表示：

$$A_\nu = P_\nu + R_\nu V_\nu, \quad B_\nu = P_\nu - R_\nu V_\nu \quad \dots(D1)$$

其中 $R_\nu$ 為埠電阻，其唯一正常數。定義聲波的瞬時值為 $a_\nu = a_\nu(t)$ ，以及 $b_\nu = b_\nu(t)$ ，

且瞬時值與瞬時波壓 $p_\nu = p_\nu(t)$ 以及 $v_\nu = v_\nu(t)$ 的關係如方程式(D2)所示：

$$a_\nu = p_\nu + R_\nu v_\nu, \quad b_\nu = p_\nu - R_\nu v_\nu \quad \dots(D2)$$



【0027】 請接續參閱第3A圖之(a)以及(b)部分，其分別為一雙埠對稱網路之離散化系統(discretized system)示意圖以及連續系統(continuous system)示意圖。首先考量上支路之散射量 $S'_{xt}$ 以及 $S''_{xt}$ 可用方程式(D3)表示：

$$\begin{aligned} S'_{xt} &= \frac{Z'_{xt} - R_0}{Z'_{xt} + R_0} \\ S''_{xt} &= \frac{Z''_{xt} - R_0}{Z''_{xt} + R_0} \end{aligned} \quad \dots(D3)$$

其中 $R_0$ 為埠電阻值。

【0028】 同樣地，電感的瞬時跨電壓 $\bar{p}(t)$ 以及電流 $\bar{v}(t)$ 也可由方程式(D4)表示：

$$\bar{p}(t) = \bar{P}e^{\varphi't}, \quad \bar{v}(t) = \bar{V}e^{\varphi't} \quad \dots(D4)$$

其中 $\varphi = [\varphi_x, \varphi_y, \varphi_z, \varphi_t]'$ 為複數常數(complex constant)的向量。

【0029】 因此，可根據方程式(D5)推導出阻抗 $Z'_{xt}$ 以及 $Z''_{xt}$ ：

$$\begin{aligned} Z'_{xt} &\leftarrow \frac{\bar{P}}{\bar{V}} = r_1 \frac{1 - e^{-(\varphi_t T_t - \varphi_x T_x)}}{1 + e^{-(\varphi_t T_t - \varphi_x T_x)}} = r_1 \tanh \frac{1}{2}(\varphi_t T_t - \varphi_x T_x) \triangleq r_1 \psi'_{xt} \\ Z''_{xt} &\leftarrow \frac{\bar{P}}{\bar{V}} = r_1 \frac{1 - e^{-(\varphi_t T_t + \varphi_x T_x)}}{1 + e^{-(\varphi_t T_t + \varphi_x T_x)}} = r_1 \tanh \frac{1}{2}(\varphi_t T_t + \varphi_x T_x) \triangleq r_1 \psi''_{xt} \end{aligned} \quad \dots(D5)$$

其中 $r_1 = R_0$ 。

【0030】 同時，可推導出方程式(D6)：

$$\begin{aligned} -e^{-(\varphi_t T_t - \varphi_x T_x)} &\triangleq -z_t^{-1} z_x \\ -e^{-(\varphi_t T_t + \varphi_x T_x)} &\triangleq -z_t^{-1} z_x^{-1} \end{aligned} \quad \dots(D6)$$

【0031】 根據方程式(D6)，從第3A圖之(b)部分可獲得其穩態波動(steady-state wave)的表示方程式(D7)：

$$\begin{aligned}
 D_1(z) &= S'_{xt}(z)C_1(z) = -z_t^{-1}z_x C_1(z) \\
 D_2(z) &= S''_{xt}(z)C_2(z) = -z_t^{-1}z_x^{-1}C_2(z) \quad \dots(D7)
 \end{aligned}$$

其中  $\mathbf{z}$  為  $[z_x, z_y, z_z, z_t]'$

【0032】 將方程式(D7)進行Z反轉換，可得到方程式(D8):

$$\begin{aligned}
 d_1(l, m, n, k) &= -c_1(l+1, m, n, k-1) \\
 d_2(l, m, n, k) &= -c_2(l-1, m, n, k-1) \quad \dots(D8)
 \end{aligned}$$

其中  $d_i(l, m, n, k) = d_i(lT_x, mT_y, nT_z, kT_t)$  ,

$$c_i(l \pm 1, m, n, k-1) = c_i((l \pm 1)T_x, mT_y, nT_z, (k-1)T_t)$$

【0033】 根據上述同樣的方式，可獲得其他維度的方程式(D8)，以及其相對應的離散空間/離散時間波量方程式(D9):

$$\begin{aligned}
 S'_{yt} &\leftarrow -e^{-(\varphi_t T_t - \varphi_y T_y)} \triangleq -z_t^{-1}z_y \\
 S''_{yt} &\leftarrow -e^{-(\varphi_t T_t + \varphi_y T_y)} \triangleq -z_t^{-1}z_y^{-1} \\
 S'_{zt} &\leftarrow -e^{-(\varphi_t T_t - \varphi_z T_z)} \triangleq -z_t^{-1}z_z \\
 S''_{zt} &\leftarrow -e^{-(\varphi_t T_t + \varphi_z T_z)} \triangleq -z_t^{-1}z_z^{-1} \quad \dots(D8)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 d_3(l, m, n, k) &= -c_3(l, m+1, n, k-1) \\
 d_4(l, m, n, k) &= -c_4(l, m-1, n, k-1) \\
 d_5(l, m, n, k) &= -c_5(l, m, n+1, k-1) \\
 d_6(l, m, n, k) &= -c_6(l, m, n-1, k-1) \quad \dots(D9)
 \end{aligned}$$

【0034】 請續參閱第3A圖之(c)、(d)以及(e)部分。第3A圖之(c)部分為單埠電感網路示意圖，電感的阻抗 $L_t D_t$ 以 $\psi_\nu R_\nu$ 表示，且當 $R_\nu$ 設定為 $\frac{2L_\nu}{T_t}$ 時，根據上述同樣的方式，可將第3A圖之(c)部分轉換成(d)以及(e)部分。

【0035】 根據第3A圖的數位濾波網路單元，第2圖所示的多維度克希荷夫電路圖可轉換成第3B圖所示的多維波數位濾波網路電路圖。

【0036】 本發明之多維度波數位訊號處理模組20可利用以連續性多維時間分配(retimed)技術達到改變多維數據流量圖之延遲時間以完成平行運算，以下將會詳細說明。

【0037】 請參閱第4圖，其為本發明之四維度聲波傳播分析系統之較佳實施例之多維度數據流量(MDFG)圖。根據第3圖所示之多維波數位濾波網路電路，可轉換得到第4圖所示之多維度數據流量圖；其轉換技術為此領域之技術者所熟知，故在此不再贅述。第4圖之多維度數據流量圖係以下列關係式定義：

$$S = \{s : d(e) \cdot s \geq 0, \forall e \in E\};$$

其中， $s$  為多維度數據流量圖之排定空間， $s$  為排定元素。

【0038】 實際應用時，多維度數據流量圖之每一個排定空間係表示由一處理單元執行的運算點。如第5A圖所示，在第一時脈週期，處理單元P0執行D1、D3、D5、D2、D4、D6、Ds1、Ds2、Ds3與Ds4運算點；接著，在第二時脈週期，處理單元P0執行E1、E3、E5、E2、E4、E6、Es1、Es2、Es3與Es4運算點；接著，在第三時脈週期，處理單元P0執行F1、F2、F3、與F4運算點；接著，在第四時脈週期，處理單元P0執行G1、G3、G5、G2、G4、G6、Gs1、Gs2、Gs3與Gs4運算點；接著，在第五時脈週期，處理單元P0執行H1、H3、H5、H2、H4、H6、Hs1、Hs2、Hs3與Hs4運算點；接著，在第六時脈週期，處理單元P0執行C1、C3、C5、C2、C4、C6、Cs1、Cs2、Cs3與Cs4運算點。第5B圖是本發明之四維度聲波傳播分析系統之較佳實施例之多維度數據流量(MDFG)之執行迴圈程式。

【0039】 為了加速運算速度，可使用連續性多維時間分配(Chained Multidimensional Retiming)技術來改變多維度數據流量之延遲時間，使其能利用多個協同處理單元進行運算，加速運算速度。

【0040】 在本發明的一實施例中，其中該延遲時間係由以下之方程式定義：

$$d_r(e_j) = \begin{cases} d(e_j) + r(u) & \text{所有輸出從} u \text{到} e_j ; \\ d(e_j) - r(u) & \text{所有輸入從} e_j \text{到} u \end{cases}$$

其中， $r(u)$ 係一時間分配向量， $r(u) = (K_n - i) \cdot r$ 。

【0041】 當該排定元素向量  $s \in S^+$ ， $S^+$  係正方向的排定空間，其定義如下列方程式：

$$S^+ = \{s \in S : d(e) \cdot s \geq 0, \forall d(e) \neq (0, \dots, 0), e \in E\}。$$

【0042】 請參閱第6圖以及第7A圖，其是本發明之四維度聲波傳播分析系統之較佳實施例之經過時間重分配的多維度數據流量(MDFG)示意圖及其執行排程表。

【0043】 如第7A圖所示，經過時間重分配後，協同處理單元P1執行D1、D3、D5、D2、D4、D6、Ds1、Ds2、Ds3與Ds4運算點的同時，協同處理單元P2可執行E1、E3、E5、E2、E4、E6、Es1、Es2、Es3與Es4運算點，協同處理單元P3可執行F1、F2、F3、與F4運算點，協同處理單元P4可執行G1、G3、G5、G2、G4、G6、Gs1、Gs2、Gs3與Gs4運算點，協同處理單元P5可執行H1、H3、H5、H2、H4、H6、Hs1、Hs2、Hs3與Hs4運算點，協同處理單元P0可執行C1、C3、C5、C2、C4、C6、Cs1、Cs2、Cs3與Cs4運算點。第7B圖至第7D圖是本發明之四維度聲波傳播分析系統之較佳實施例之經過時間重分配的多維度數據流量(MDFG)之執行迴圈程式。

【0044】 其中，D1、D2、D3、D5、Ds1、Ds2、E1、E2、E3、E5、Es1、Es2、F1、F2、G1、G2、G3、G5、Gs1、Gs2、H1、H2、H3、H5、Hs1、Hs2 運算點可形成一可平行運算處理的執行迴圈，如第7B圖所示。D4、Ds3、E4、Es3、F3、G4、Gs3、H4、Hs3運算點係形成一可平行運算處理的執行迴圈，如第7C圖所示。D6、Ds4、E6、Es4、F4、G6、Gs4、H6以及Hs4運算點可形成一可平行運算處理的執行迴圈，而 C1、C3、C5、C2、C4、C6、Cs1、Cs2、Cs3 以及Cs4運算點亦可形成一可平行運算處理的執行迴圈，如第7D圖所示。

【0045】 藉此，本發明之四維度聲波傳播分析系統之執行所需的週期數可有效降低。

【0046】 由上述之實施說明可知，本發明之四維度聲波傳播分析系統與現有技術相較之下，本發明具有以下優點：

【0047】 1.本發明之四維度聲波傳播分析系統係藉由一具有平行處理架構的多維波數位濾波網路模型系統提供之快速且準確的偏微分方程式解，可有效地實現四維度聲波傳播行為之分析與仿真模擬。

【0048】 2.本發明之四維度聲波傳播分析系統係基於多維波數位濾波網路本質上存在的平行程序，得使用當前分散式系統之雲端計算或VLSI技術之ASIC或FPGA架構，以開發一個新穎的全平行架構，來精確且快速實現多維波數位濾波網路之最佳化數值運算。

【0049】 除此之外，當各種所繪示及討論的元件被放置在不同的位置時，可以理解的是，各種元件的相對位置可以改變，且同時此處仍保有上述所提及的功能。可以設想到的是，各種組合、具體特徵和實施例之子集合係可以被進行，且此子集合仍然落入本說明書的範圍之內。各種特徵和所公開的實施例可

以彼此結合或進行取代，而所有這些修改和改變都將落入本發明之所附權利要求所限定的範圍之內。

**【符號說明】**

**【0050】**

- 10: 四維度聲波傳播系統
- 11: 輸入模組
- 20: 多維度數位訊號處理模組
- 21: 串結電子電路
- 22: 多維度克希荷夫電路；
- 23: 離散單元
- 24: 數位濾波器
- 30: 輸入模組