



(19) 中華民國智慧財產局

(12) 發明說明書公告本

(11) 證書號數：TW I859552 B

(45) 公告日：中華民國 113 (2024) 年 10 月 21 日

(21) 申請案號：111126590

(22) 申請日：中華民國 111 (2022) 年 07 月 15 日

(51) Int. Cl. : **G10L21/0208 (2013.01)****G10L25/48 (2013.01)****G10L25/18 (2013.01)**

(30) 優先權：2021/07/15 美國

63/222,370

2021/09/09 美國

17/471,012

(71) 申請人：美商博姆雲 3 6 0 公司 (美國) BOOMCLOUD 360 INC. (US)

美國

(72) 發明人：馬里吉利歐 喬瑟夫 安東尼 三世 MARIGLIO, JOSEPH ANTHONY, III (US)

(74) 代理人：陳長文

(56) 參考文獻：

TW 202107450A

TW 202110197A

US 11006216B2

US 2019/0200146A1

US 2021/0044898A1

審查人員：黃彥豪

申請專利範圍項數：24 項 圖式數：9 共 52 頁

(54) 名稱

聲頻處理系統、聲頻處理方法及用於執行其之非暫時性電腦可讀媒體

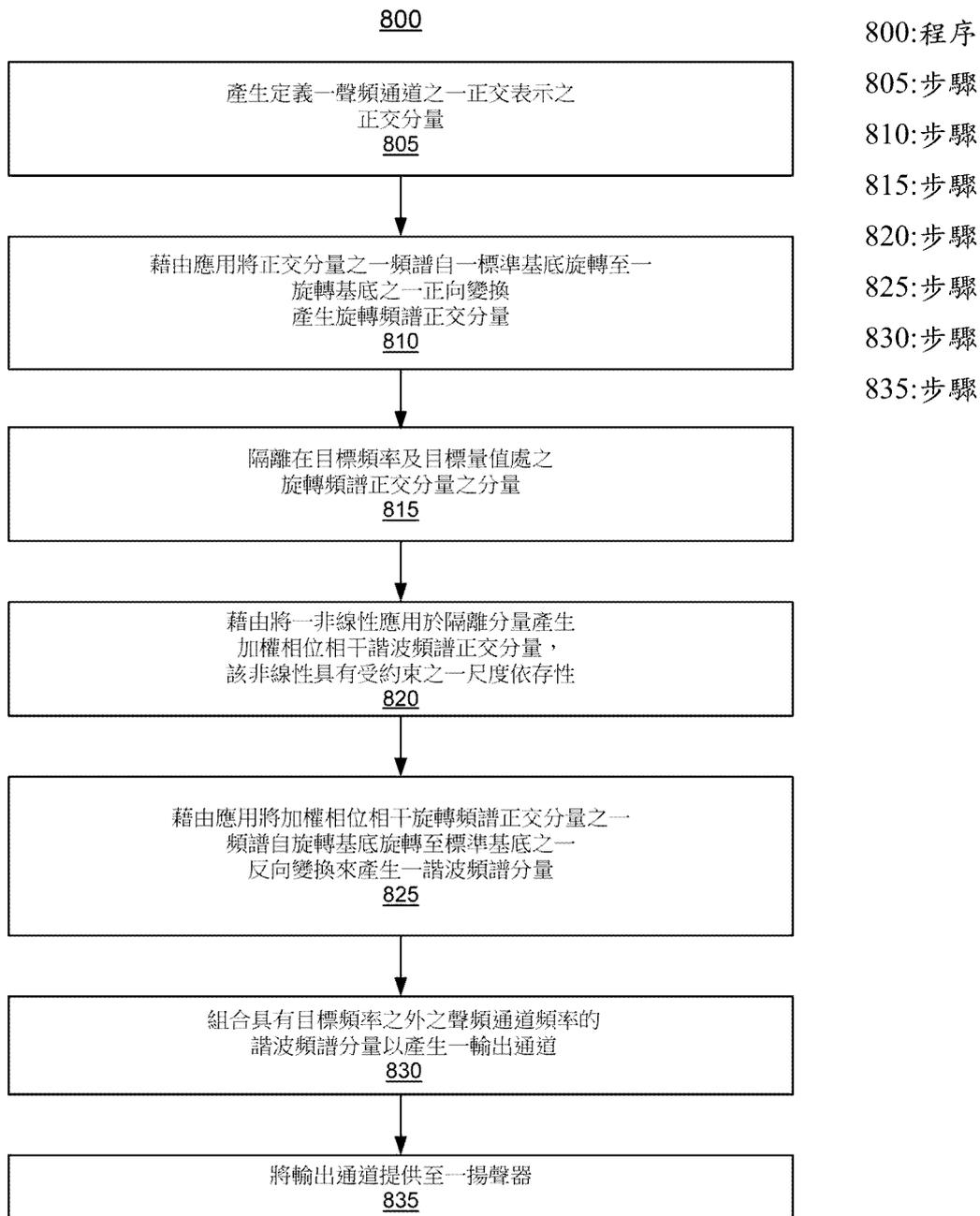
(57) 摘要

一種提供用於心理聲學頻率範圍擴展之系統。該系統自一聲頻通道產生正交分量，且藉由應用將該正交分量之一頻譜自一標準基底旋轉至一旋轉基底之一正向變換來產生旋轉頻譜正交分量。在該旋轉基底中，該系統隔離在目標頻率處之該旋轉頻譜正交分量之分量，且藉由將一非線性應用於該等隔離分量來產生加權相位相干諧波頻譜正交分量，該非線性具有受約束之一尺度依存性。該電路藉由應用一反向變換來產生一諧波頻譜分量，該反向變換將該加權相位相干諧波頻譜正交分量之一頻譜自該旋轉基底旋轉至該標準基底。該電路組合具有該目標頻率之外之該聲頻通道之頻率的該諧波頻譜分量以產生一輸出通道，且將該輸出通道提供至一揚聲器。

A system provides for psychoacoustic frequency range extension. The system generates quadrature components from an audio channel, and generates rotated spectral quadrature components by applying a forward transformation that rotates a spectrum of the quadrature components from a standard basis to a rotated basis. In the rotated basis, the system isolates components of the rotated spectral quadrature components at target frequencies, and generates weighted phase-coherent harmonic spectral quadrature components by applying a nonlinearity to the isolated components having a dependence on scale that is subject to constraints. The circuitry generates a harmonic spectral component by applying an inverse transformation that rotates a spectrum of the weighted phase-coherent harmonic spectral quadrature components from the rotated basis to the standard basis. The circuitry combines the harmonic spectral component with frequencies of the audio channel outside of the target frequencies to generate an output channel, and provides the output channel to a speaker.

指定代表圖：

符號簡單說明：



800:程序

805:步驟

810:步驟

815:步驟

820:步驟

825:步驟

830:步驟

835:步驟

【圖8】

**公告本**

I859552

【發明摘要】**【中文發明名稱】**

聲頻處理系統、聲頻處理方法及用於執行其之非暫時性電腦可讀媒體

【英文發明名稱】

AUDIO PROCESSING SYSTEM, AUDIO PROCESSING METHOD, AND NON-TRANSITORY COMPUTER READABLE MEDIUM FOR PERFORMING THE SAME

【中文】

一種提供用於心理聲學頻率範圍擴展之系統。該系統自一聲頻通道產生正交分量，且藉由應用將該正交分量之一頻譜自一標準基底旋轉至一旋轉基底之一正向變換來產生旋轉頻譜正交分量。在該旋轉基底中，該系統隔離在目標頻率處之該旋轉頻譜正交分量之分量，且藉由將一非線性應用於該等隔離分量來產生加權相位相干諧波頻譜正交分量，該非線性具有受約束之一尺度依存性。該電路藉由應用一反向變換來產生一諧波頻譜分量，該反向變換將該加權相位相干諧波頻譜正交分量之一頻譜自該旋轉基底旋轉至該標準基底。該電路組合具有該目標頻率之外之該聲頻通道之頻率的該諧波頻譜分量以產生一輸出通道，且將該輸出通道提供至一揚聲器。

【英文】

A system provides for psychoacoustic frequency range extension. The system generates quadrature components from an audio channel, and generates rotated spectral quadrature components by applying a forward

transformation that rotates a spectrum of the quadrature components from a standard basis to a rotated basis. In the rotated basis, the system isolates components of the rotated spectral quadrature components at target frequencies, and generates weighted phase-coherent harmonic spectral quadrature components by applying a nonlinearity to the isolated components having a dependence on scale that is subject to constraints. The circuitry generates a harmonic spectral component by applying an inverse transformation that rotates a spectrum of the weighted phase-coherent harmonic spectral quadrature components from the rotated basis to the standard basis. The circuitry combines the harmonic spectral component with frequencies of the audio channel outside of the target frequencies to generate an output channel, and provides the output channel to a speaker.

【指定代表圖】

圖8

【代表圖之符號簡單說明】

800:程序

805:步驟

810:步驟

815:步驟

820:步驟

825:步驟

830:步驟

835:步驟

【發明說明書】

【中文發明名稱】

聲頻處理系統、聲頻處理方法及用於執行其之非暫時性電腦可讀媒體

【英文發明名稱】

AUDIO PROCESSING SYSTEM, AUDIO PROCESSING METHOD,
AND NON-TRANSITORY COMPUTER READABLE MEDIUM FOR
PERFORMING THE SAME

【技術領域】

【0001】 本發明大體上關於聲頻處理，且更具體而言，關於產生超出一實體驅動器頻寬之頻率印象。

【先前技術】

【0002】 揚聲器、耳機及其他聲學致動器之頻寬通常限於人類聽覺系統頻寬之一子域。此通常係可聽頻譜之低頻區域(約為18 Hz至250 Hz)中之一問題。期望修改一聲頻信號以產生超出一實體驅動器頻寬之頻率印象。

【發明內容】

【0003】 一些實施例包含一系統，該系統包含為一揚聲器提供心理聲學頻率範圍擴展之一電路(例如，一個或多個處理器)。該電路自一聲頻通道產生正交分量，定義該聲頻通道之一正交表示，且藉由應用將該等正交分量之一頻譜自一標準基底旋轉至一旋轉基底之一正向變換來產生旋轉頻譜正交分量。在該旋轉基底中，該電路隔離在目標頻率處之該等旋轉頻譜正交分量之分量，且藉由將一非線性應用於該等隔離分量來產生加權相

位相干諧波頻譜正交分量，該非線性具有受約束之一尺度依存性。該電路藉由應用一反向變換來產生一諧波頻譜分量，該反向變換將該等加權相位相干諧波頻譜正交分量之一頻譜自該旋轉基底旋轉至該標準基底。該電路組合具有該等目標頻率之外之該聲頻通道之頻率的該諧波頻譜分量以產生一輸出通道，且將該輸出通道提供至該揚聲器。

【0004】 在一些實施例中，該非線性包含組成非線性之一加權混合。該等約束各包含對應用於一各自組成非線性之一輸入之一增益校正之一約束。

【0005】 在一些實施例中，該非線性包含該第一類切比雪夫多項式之一加權求和，其中量值在該等約束下被選擇性地分解。

【0006】 在一些實施例中，該電路進一步經組態以產生複數個諧波頻譜分量。各諧波頻譜分量使用該聲頻通道之一不同頻帶產生。該電路經組態以藉由組合該複數個諧波頻譜分量來產生該輸出通道。

【0007】 在一些實施例中，該電路經組態以串聯產生該複數個諧波頻譜分量，其中各下游諧波頻譜分量使用一上游諧波頻譜分量之一殘餘作為一輸入。

【0008】 在一些實施例中，該電路經組態以並行產生該複數個諧波頻譜分量。

【0009】 在一些實施例中，該電路進一步經組態以將一奇線性應用於該諧波頻譜分量。

【0010】 在一些實施例中，該諧波頻譜分量包含與該聲頻通道之該等目標頻率不同之頻率，且在由該揚聲器呈現時產生該等目標頻率之一心理聲學印象。

【0011】 在一些實施例中，該正向變換旋轉該等正交分量之該頻譜，使得將一目標頻率映射到0 Hz。該反向變換旋轉該等加權相位相干諧波頻譜正交分量之該頻譜，使得0 Hz映射到該目標頻率。

【0012】 在一些實施例中，該等目標頻率包含18 Hz至250 Hz之間的一頻率。

【0013】 在一些實施例中，該電路基於該揚聲器之一可再現範圍、降低該揚聲器之功率消耗或延長該揚聲器之壽命來判定該等目標頻率。

【0014】 在一些實施例中，該揚聲器係一行動裝置之一組件。

【0015】 在一些實施例中，該電路進一步經組態以使用一閘函數隔離在目標量值處之該等分量。在一些實施例中，該電路進一步經組態以將一平滑函數應用於該等隔離分量。

【0016】 一些實施例包含一種方法。該方法包含藉由一電路：自一聲頻通道產生正交分量，定義該聲頻通道之一正交表示；藉由應用將該等正交分量之一頻譜自一標準基底旋轉至一旋轉基底之一正向變換來產生旋轉頻譜正交分量；在該旋轉基底中：隔離在目標頻率處之該等旋轉頻譜正交分量之分量；及藉由將一非線性應用於該等隔離分量來產生加權相位相干諧波頻譜正交分量，該非線性具有受約束之一尺度依存性；藉由應用一反向變換來產生一諧波頻譜分量，該反向變換將該等加權相位相干諧波頻譜正交分量之一頻譜自該旋轉基底旋轉至該標準基底；組合具有該目標頻率之外之該聲頻通道之頻率的該諧波頻譜分量以產生一輸出通道；及將該輸出通道提供至一揚聲器。

【0017】 一些實施例包含一種非暫時性電腦可讀媒體，其包括儲存之指令，當由至少一個處理器執行時，將該至少一個處理器組態以：自一

聲頻通道產生正交分量，定義該聲頻通道之一正交表示；藉由應用將該等正交分量之一頻譜自一標準基底旋轉至一旋轉基底之一正向變換來產生旋轉頻譜正交分量；在該旋轉基底中：隔離在目標頻率處之該等旋轉頻譜正交分量之分量；及藉由將一非線性應用於該等隔離分量來產生加權相位相干諧波頻譜正交分量，該非線性具有受約束之一尺度依存性；藉由應用一反向變換來產生一諧波頻譜分量，該反向變換將該等加權相位相干諧波頻譜正交分量之一頻譜自該旋轉基底旋轉至該標準基底；組合具有該目標頻率之外之該聲頻通道之頻率的該諧波頻譜分量以產生一輸出通道；及將該輸出通道提供至一揚聲器。

【圖式簡單說明】

【0018】 圖1係根據一些實施例之一聲頻系統之一方塊圖。

【0019】 圖2係根據一些實施例之一諧波處理模組之一方塊圖。

【0020】 圖3係根據一些實施例之一正向變換模組之一方塊圖。

【0021】 圖4係根據一些實施例之一係數操作器模組之一方塊圖。

【0022】 圖5係根據一些實施例之一反向變換模組之一方塊圖。

【0023】 圖6係根據一些實施例之一組合器模組之一方塊圖。

【0024】 圖7係根據一些實施例之一濾波器組模組之一方塊圖。

【0025】 圖8係根據一些實施例之用於心理聲學頻率範圍擴展之一程序之一流程圖。

【0026】 圖9係根據一些實施例之一電腦之一方塊圖。

【0027】 圖式描繪各種實施例僅用於說明。習知技術者將易於自以下討論中認識到，在不背離本文描述之原理之情況下，可採用本文所繪示之結構及方法之替代實施例。

【實施方式】**【0028】**

相關申請案之交叉參考

本申請案主張2021年7月15日申請美國臨時申請案第63/222,370號，及2021年9月9日申請美國申請案第17/471,012號之優先權，該等案之揭示內容以引用方式併入本文中。

【0029】 圖式及以下描述關於較佳實施例，其僅藉由說明方式。應注意，自以下討論中，本文揭示之結構及方法之替代實施例將易於被認為係可行替代方案，可在不背離申請專利範圍之原則之情況下使用。

【0030】 現將詳細參考若干實施例，其實例如附圖所繪示。應注意，在可行情況下，可在圖式中使用類似或相同元件符號，且可指示類似或相同功能。圖式僅出於說明目的描繪所揭示之系統(或方法)之實施例。習知技術者將易於自以下描述中認識到，在不背離本文描述之原理之情況下，可採用本文所繪示之結構及方法之替代實施例。

【0031】 實施例關於提供心理聲學頻率範圍擴展。因為人類聽覺系統以一非線性方式回應提示，因此可使用心理聲學現象在實際刺激不可行之情況下創建一虛擬刺激。一聲頻系統可包含提供一自適應非線性濾波器組之一電路，該濾波器組使用具有受約束之一尺度依存性之一高度可調非線性。非線性用於自一聲頻通道之一個或多個次能帶產生加權相位相干諧波頻譜。非線性可包含組成非線性之一加權混合。約束可各者包含對應用於一各自組成非線性之一輸入之一增益校正之一約束。獨立約束可應用於定義非線性之一和中之各組成非線性，此容許在產生諧波之一選定子集中進行選擇性頻譜動畫。此容許實現一更自然之效果，此成功地推廣內容。

此外，其降低相互調變假影之感知顯著性，可容許使用數量較少、頻寬更寬之濾波器。在一些實施例中，非線性包含第一類切比雪夫多項式之一加權求和，其中量值在約束下被選擇性地分解。當次能帶之頻率超過一實體驅動器之頻寬時，一個或多個次能帶之相位相干諧波譜產生次能帶之印象。

【0032】 在一些實施例中，自適應非線性濾波器組可包含多個諧波處理器。各諧波處理器包含一非線性濾波器，該非線性濾波器分析聲頻信號內之一目標次能帶且利用一可組態頻譜變換重新合成次能帶之資料。諧波處理器各者使用一聲頻通道之一不同頻帶產生一諧波頻譜分量，且此等諧波頻譜分量被組合以產生一輸出通道。諧波頻譜分量可並聯或串聯產生。在串聯情況下，各下游諧波頻譜分量使用一上游諧波頻譜分量之一殘餘作為一輸入。並行情況雖然概念上很簡單，但偶爾會導致一困難調諧程序，諸如並行設計不約制所分析內容之功率頻譜時。藉由利用一串聯架構，其中後續濾波器僅作用於輸入信號之殘餘，總頻譜功率在濾波器組之輸入處得到保存。結果係一濾波器組架構之組成濾波器不受相長干涉。

【0033】 頻率範圍擴展之優點包含容許(例如，低品質)無法呈現特定頻率之揚聲器產生此等頻率之一心理聲學印象。因此，低成本揚聲器(諸如行動裝置上常見之此等揚聲器)可提供一高品質聽力體驗。心理聲學頻率範圍擴展係藉由處理聲頻信號、諸如藉由行動裝置中見到之處理電路來實現，且無需對揚聲器進行硬體修改。當在不採取增加一次佳次能帶中之實體能量之量的情況下實現頻率範圍擴展及頻率回應改善時，亦可用於改善揚聲器驅動器之功率消耗特性及壽命。

聲頻處理系統

【0034】圖1係根據一些實施例之一聲頻系統100之一方塊圖。聲頻系統100使用一非線性濾波器組模組120為一揚聲器110提供頻率範圍擴展。系統100包含：濾波器組模組120，其包含諧波處理模組104(1)、104(2)、104(3)及104(4)；一全通濾波器網路模組122；及一組合器模組106。聲頻系統100之一些實施例可包含與本文描述之此等組件不同之組件。

【0035】濾波器組模組120使用一高度可調非線性，該非線性具有受約束之一尺度依存性，以自一聲頻通道 $a(t)$ 產生相位相干諧波頻譜。在一些實施例中，諧波處理模組104可並聯連接，如圖所展示。一些實施例可包含濾波器組模組之一串聯實施方案，其中各上游諧波處理模組之殘餘被傳遞至一下游諧波處理模組。結合圖7更詳細地討論一串聯實施方案。系統100產生一輸出通道 $o(t)$ ，該輸出通道提供至揚聲器110用於呈現。濾波器組模組120之諧波處理模組104(1)至104(4)為超出揚聲器110之實體頻寬之聲頻通道 $a(t)$ 提供心理聲學頻率範圍擴展。

【0036】濾波器組模組120包含多個諧波處理模組104(n)，其產生諧波頻譜分量 $h(t)(n)$ 。在一些實施例中，各諧波處理模組104(1)至104(4)分析整個聲頻通道 $a(t)$ ，且合成一各自諧波頻譜分量 $h(t)(1)$ 至 $h(t)(4)$ 。在一些實施例中，各諧波處理模組可分析聲頻通道之一不同目標次能帶。各諧波頻譜分量 $h(t)(n)$ 係 $a(t)$ 中資料之一相位相干頻譜變換。各諧波頻譜分量 $h(t)(n)$ 具有加權相位相干諧波頻譜，包含與 $a(t)$ 之一各自目標次能帶中之資料頻率不同之頻率，且在由揚聲器110輸出時產生各自目標次能帶之頻率之心理聲學印象。可選擇一個或多個諧波處理模組104(n)以產生一諧波頻譜分量 $h(t)(n)$ ，以為揚聲器110提供心理聲學頻率範圍擴展。在一些

實施例中，目標次能帶之選擇可基於揚聲器110之能力，諸如揚聲器110之頻率回應。例如，若揚聲器110無法有效呈現低頻聲音，則一諧波處理模組104可經組態以針對與低頻相對應之一頻率次能帶分量，且此等可被轉換為一諧波頻譜分量 $h(t)(n)$ 。聲頻系統100可包含一個或多個諧波處理模組104。關於一諧波處理模組104之額外細節將結合圖2至圖5討論。

【0037】 全通濾波器網路模組122產生一濾波聲頻通道 $a(t)$ ，以確保聲頻通道 $a(t)$ 與濾波器組模組120之輸出保持相干。全通濾波器網路122藉由對輸入信號 $a(t)$ 應用一匹配相位變化來補償由於應用諧波處理模組104(n)而導致之相位變化。此容許在感知上與 $a(t)$ 不可區分但具有操縱相位之一信號與由濾波器組模組120產生之諧波頻譜分量 $h(t)(n)$ 之間發生相干求和。

【0038】 組合器模組106藉由組合來自全通濾波器網路模組122之濾波聲頻通道 $a(t)$ 及來自濾波器組模組120之一個或多個諧波頻譜分量 $h(t)(n)$ 來產生輸出通道 $o(t)$ 。組合器模組106向揚聲器110提供輸出通道 $o(t)$ 。在一些實施例中，組合器模組106對求和之諧波頻譜分量 $h(t)(n)$ 執行額外處理，如接合圖6更詳細地討論。

【0039】 圖2係根據一些實施例之一諧波處理模組104之一方塊圖。諧波處理模組104提供一非線性濾波器，該非線性濾波器分析一聲頻通道且利用一可組態之頻譜變換重新合成一目標次能帶之資料。諧波處理模組104包含一全通網路模組202、一正向變壓器模組204、一係數操作器模組206及一反向變壓器模組208。全通網路模組202將一對同相變換應用於聲頻通道 $x(t)$ 以產生正交分量。正向變壓器模組204對旋轉一整個頻譜之正交分量應用一正向變換，使得一所選頻率映射到0 Hz以產生旋轉之頻譜正

交分量。將所選頻率移位至0 Hz被稱為自一標準基底至一旋轉基底之一變化。所選頻率可為一目標次能帶之一中心頻率或其他頻率。係數操作器模組206在旋轉基底上執行操作，包含基於頻率、量值或相位選擇性地濾波資料，且藉由將一非線性應用於隔離分量來產生加權相位相干諧波頻譜正交分量，該非線性具有受約束之一尺度依存性。反向變壓器模組208應用一反向變換以旋轉加權相位相干旋轉頻譜正交分量之頻譜，使得0 Hz映射到所選頻率以產生一諧波頻譜分量 $\tilde{x}(t)$ 。將0 Hz移位至所選頻率被稱為自旋轉基底至標準基底之一變化。諧波頻譜分量 $\tilde{x}(t)$ 可包含與聲頻通道 $x(t)$ 之目標次能帶不同之頻率，但在由一揚聲器呈現時會產生聲頻通道 $x(t)$ 之目標次能帶之頻率之一心理聲學印象。

【0040】 在一些實施例中，輸入至諧波處理模組104之聲頻分量 $x(t)$ 可為一次能帶分量 $a(t)(n)$ 。在此實施例中，可跳過由係數操作器模組206選擇目標頻率之選擇性濾波。

【0041】 全通網路202將一聲頻通道 $x(t)$ 轉換為包含正交分量 $y_1(t)$ 及 $y_2(t)$ 之一向量 $y(t)$ 。正交分量 $y_1(t)$ 及 $y_2(t)$ 包含一 90° 相位關係。正交分量 $y_1(t)$ 及 $y_2(t)$ 及輸入信號 $x(t)$ 包含所有頻率之一單位量值關係。實值輸入信號 $x(t)$ 藉由匹配之一對全通濾波器H1及H2變成正交值。此操作可經由一連續時間原型定義，如方程式1所展示：

$$\mathcal{H}(x(t)) \equiv [\mathcal{H}(x(t))_1 \quad \mathcal{H}(x(t))_2] \equiv \left[\tilde{x}(t) \quad \frac{1}{\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{\tilde{x}(\tau)}{t-\tau} dt \right] \quad (1)$$

【0042】 一些實施例未必保證輸入(單聲道)信號與兩個(立體聲)正交分量 $y_1(t)$ 及 $y_2(t)$ 中之任一者之間的一相位關係，但會導致正交分量 $y_1(t)$ 及 $y_2(t)$ 包含 90° 相位關係且正交分量 $y_1(t)$ 及 $y_2(t)$ 及輸入信號 $x(t)$ 包含所有頻率之單位量值關係。

【0043】圖3係根據一些實施例之正向變壓器模組204之一方塊圖。正向變壓器模組204包含一旋轉矩陣模組302及一矩陣乘法器304。正向變壓器模組204接收正交分量 $y_1(t)$ 及 $y_2(t)$ ，且應用一正向變換以產生包含旋轉頻譜正交分量 $u_1(t)$ 與 $u_2(t)$ 之一向量 $u(t)$ 。藉由經由旋轉矩陣模組302產生一時變旋轉矩陣，且經由矩陣乘法器304將其應用於正交分量，來應用此變換，導致旋轉頻譜正交分量 $u(t)$ 。向量 $u(t)$ 係聲頻信號 $x(t)$ 之頻譜之一頻移形式，且定義一係數空間，其中在一不同時間 t 之各 u 被定義為一旋轉頻譜正交分量。由向量 $u(t)$ 定義之係數係旋轉 $x(t)$ 頻譜使得期望之中心頻率 θ_c 現位於0 Hz之結果。

【0044】正向變換可應用為對一正交信號之一時變二維旋轉，如方程式2所定義：

$$\mathbf{u}[t] = H_1(x[t]) \mathbf{R}_2(-\theta_c t) \quad (2)$$

其中 H_1 為一全通濾波器，旋轉 $\mathbf{R}_2(-\theta_c t)$ 具有一角頻率 θ_c ，且由方程式3定義：

$$\mathbf{R}_2(-\theta_c t) \equiv \begin{bmatrix} \cos(-\theta_c t) & -\sin(-\theta_c t) \\ \sin(-\theta_c t) & \cos(-\theta_c t) \end{bmatrix} \quad (3)$$

【0045】方程式2及3包含反覆呼叫三角函數。在 θ_c 恒定之一區間內，可藉由遞迴2D旋轉而非反覆呼叫三角函數來計算正向變換。當使用此最佳化策略時，僅當 θ_c 初始化或更改時才呼叫 \sin 及 \cos 。此最佳化遞迴地將各矩陣 $\mathbf{R}_2(-\theta_c t)$ 定義為一無窮小旋轉矩陣之連續冪，即： $\mathbf{R}_2(-\theta_c(t+1)) \equiv \mathbf{R}_2(-\theta_c t) \mathbf{R}_2(-\theta_c)$ 。由於在大多數架構上將兩個2乘2矩陣一起相乘係一高度最佳化計算，因此與方程式3中呈現之三角函數之反覆呼叫相比，此定義可具有效能優勢，但方程式3係等效的。

【0046】圖4係根據一些實施例之係數操作器模組206之一方塊圖。

係數操作器模組206包含一濾波器模組402、一量值模組404、一閘模組406、除法操作器408及410、一諧波產生器模組412、乘法操作器414及416，及一最大模組420。係數操作器模組206使用包含旋轉頻譜正交分量 $u_1(t)$ 及 $u_2(t)$ 之向量 $u(t)$ ，產生包含加權相位相干旋轉頻譜正交分量 $\tilde{u}_1(t)$ 及 $\tilde{u}_2(t)$ 之一旋轉頻譜 $\tilde{u}(t)$ 。

【0047】 在一些實施例中，濾波器模組402係一雙通道低通濾波器。在此情況下，諧波處理模組104經組態為於一頻寬對以 θ_c 為中心之一目標次能帶執行頻譜變換，該頻寬係濾波器模組402之截止頻率之兩倍。濾波器模組402可應用一低通濾波器 $F(x)$ ，其在反向變換之後產生一可調帶通濾波器。在此情況下， $F(x)$ 之截止頻率對應於非線性濾波器分析區域頻寬之一半。

【0048】 量值模組404判定2D向量之長度，其用作暫態量值之一量度，可使用除法操作器408及410選擇性地自濾波信號向量中分解。例如，除法操作器408可對 $u(t)$ 之 $u_1(t)$ 分量執行除法，且除法操作器410對 $u(t)$ 之 $u_2(t)$ 分量執行除法。由方程式9中之 $\max()$ 函式定義之尺度依存性約束由最大模組420應用，其有效地約束除法操作器408及410之動作。在一些實施例中，為了容許諧波產生器模組412基於其關係不依存於尺度之信號來提供諧波，可不考慮尺度而對量值進行分解。

【0049】 諧波產生器模組412產生一非線性，該非線性包含加權組成非線性之一和。非線性基於旋轉頻譜正交分量之目標次能帶提供一諧波頻譜。例如，諧波產生器模組412產生不同諧波之組成非線性，對組成非線性應用權重 a_n ，且將非線性產生為加權組成非線性之一和。

【0050】 接著再次使用由量值模組404提供之量值，此次通過閘模

組406。閘模組406產生一包絡，其暫態斜率受回轉限制器418限制。接著經由乘法操作器414及416將得到之回轉限制包絡應用於諧波產生器模組412之輸出。例如，乘法操作器416可對 $u(t)$ 之 $u_1(t)$ 分量執行乘法，且乘法操作器414可對 $u(t)$ 之 $u_2(t)$ 分量執行乘法。由加權諧波之一和定義之非線性與時變包絡相乘，以產生旋轉頻譜 $\tilde{u}(t)$ 。

【0051】 $u(t)$ 之係數可使用方程式4在極座標中表達：

$$\begin{aligned} \|u[t]\| &= \sqrt{u_1[t]^2 + u_2[t]^2} \\ \angle u[t] &= \text{atan2}(u_1[t], u_2[t]) \end{aligned} \quad (4)$$

其中，項 $\|u(t)\|$ 係係數信號之暫態量值，且 $\angle u(t)$ 係暫態相位。現可在反向變換階段之前操縱此等項。

【0052】 由 $u(t)$ 定義之係數基於其等暫態量值進行選擇性濾波。濾波可包含由閘模組406應用之一閘函數及由回轉限制器418應用之一回轉限制濾波器。基於一臨限值 n 之閘函數可由方程式5定義：

$$g(x) = \begin{cases} 1, & \text{if } x \geq n \\ 0, & \text{if } x < n \end{cases} \quad (5)$$

其中，在 $x \geq n$ 之情況下，導致保持係數，而在 $x < n$ 之情況下，導致移除係數。在一些實施例中，在 $x < n$ 之情況下，可交替導致係數之一衰減而非完全移除。因為閘函數對暫態量值之一估計進行操作，所以其通常比基於實值振幅之閘更具回應性，同時具有更少假影。

【0053】 時域平滑可經由回轉限制濾波器實現，以進一步調整非線性濾波器回應之包絡特性。一回轉限制濾波器係一非線性濾波器，其使一函數之最大(正)及最小(負)斜率飽和。可使用各種類型之回轉限制濾波器或元件，諸如對正飽和點及負飽和點具有獨立控制之一非線性濾波器，下

文記為 $S(x)$ 。對閘函數之輸出應用回轉限制導致一時變包絡： $S(G(\|\mathbf{u}[t]\|))$ 。此可用於雕刻係數之包絡。

【0054】 為了產生 $\hat{u}(t)$ 之相位相干諧波頻譜，諧波產生器模組412可使用第一類切比雪夫多項式，如方程式6所定義：

$$T_n(x) = \cos(n \cos^{-1}(x)) \quad (6)$$

【0055】 此等多項式藉由對其等輸出求和來提供受控之諧波產生，如方程式7或8定義之尺度無關非線性：

$$\begin{aligned} \hat{u}_1[t] &= S(G(\|\mathcal{F}(\mathbf{u}[t])\|)) \sum_{n=0}^N (a_n T_n(\mathcal{F}(\cos(\angle \mathbf{u}[t]))) \\ \hat{u}_2[t] &= S(G(\|\mathcal{F}(\mathbf{u}[t])\|)) \sum_{n=0}^N (a_n T_n(\mathcal{F}(\sin(\angle \mathbf{u}[t]))) \end{aligned} \quad (7)$$

或等效地：

$$\hat{\mathbf{u}}[t] = S(G(\|\mathcal{F}(\mathbf{u}[t])\|)) \sum_{n=0}^N \left(a_n T_n \left(\mathcal{F} \left(\frac{\mathbf{u}[t]}{\|\mathbf{u}[t]\|} \right) \right) \right) \quad (8)$$

其中 $\mathbf{a}_n=[a_0, a_1, a_2 \dots a_N]$ 係應用於相位相干諧波頻譜之各諧波 n 之諧波權重，且 N 係產生之最高諧波。在方程式7及8之兩種表示中，非線性(例如，由求和結果定義)與輸入尺度無關。此防止輸出頻譜隨輸入響度變化，且相反，只容許由頻譜權重 \mathbf{a} 判定之變化。權重通常配置為一衰減序列，模仿人類聽覺系統習慣之自然發生聲音之諧波序列。該系列權重與傳入聲頻通道之尺度無關。

【0056】 雖然方程式7係等效的，但其具有容許直接操縱輸出相位之益處，而方程式8省略潛在代價高的三角函數，僅對量值進行操作。

【0057】 在方程式7及8中，非線性之輸出頻譜不依據輸入係數量值

$\|u(t)\|$ 而變化。雖然此導致一嚴格控制及可預測之非線性，但此均勻性會產生在某些情況下聽起來不自然之紋理。此不可思議效果在某些輸入內容上尤其明顯，如口語及歌唱的聲音，且若低頻內容亦存在，此效果加劇。

【0058】 例如，電影內容通常可與對話同時採用低頻效果(LFE)內容。此LFE內容正係吾等希望使用該技術再現之內容類型，然而，由此產生之相互調變失真可影響語音之可理解性及真實性。

【0059】 為了解決此，可對非線性之各組成非線性應用不同程度之控制，容許使產生之諧波混合回應於輸入內容(例如，在某種程度上)動畫化。傳入量值被削減到單位量值之程度將判定頻譜之穩定程度。在量值低於單位量值之情況下，組成非線性之諧波貢獻將包含較低整數諧波之一混合。雖然偶數多項式將產生偶數整數諧波之混合，但奇數多項式將產生奇數整數諧波之混合。

【0060】 由於暫態量值計算直接應用於方程式8，吾等可簡單地修改演算法，以對其應用進行約束，如方程式9所定義：

$$\tilde{u}[t] = \mathcal{S}(\mathcal{G}(\|\mathcal{F}(u[t])\|)) \sum_{n=0}^N \left(a_n T_n \left(\mathcal{F} \left(\frac{u[t]}{\max(\|u[t]\|, b_n)} \right) \right) \right) \quad (9)$$

其中 $b_n=[b_0, b_1, b_2 \dots b_N]$ 定義用於相位相干諧波頻譜中各諧波 n 之量值校正因數之一最小值約束，由 $\max(\|u(t)\|, b_n)$ 定義，且 N 為產生之最高諧波。對於各諧波 n ，量值校正因數 $\max(\|u(t)\|, b_n)$ 定義對應用於一組成非線性之一輸入 $u(t)$ 之一增益校正之一約束，如方程式10所定義：

$$T_n \left(\mathcal{F} \left(\frac{u[t]}{\max(\|u[t]\|, b_n)} \right) \right) \quad (10)$$

【0061】 因此，由方程式11定義之非線性：

$$\sum_{n=0}^N \left(a_n T_n \left(\mathcal{F} \left(\frac{u(t)}{\max(|u(t)|, b_n)} \right) \right) \right) \quad (11)$$

包含不同諧波($n=0$ 到 N)之組成非線性之加權(例如，藉由 a_n)混合，其中組成非線性由方程式10定義。

【0062】 對於低於 b_n 之 $u(t)$ 量值，允許用於校正之信號量值波動。對於大於 b_n 之 $u(t)$ 量值，諧波含量定義為對應於多項式階數之諧波之和，如方程式8中所有可能量值之情況一樣。在 b 與 0 之間的 $u(t)$ 量值處，隨著量值減小，上諧波含量大致減小，但對於高階多項式混合，該關係可比簡單單調更複雜。

【0063】 例如，包含由方程式12定義之第三切比雪夫多項式之一轉移函數：

$$T_3(x) = 4x^3 - 3x \quad (12)$$

當 x 為一單位量值之餘弦波時，導致以下純第三諧波(及第一 $-\infty$ dB)，如方程式13所定義：

$$T_3(\cos(x)) = \cos(3x) \quad (13)$$

但當 x 為 -6 dB量值之一餘弦波時，將導致諧波之一混合，如方程式14所定義：

$$T_3\left(\frac{\cos(x)}{2}\right) = \frac{\cos(3x)}{8} - \frac{9\cos(x)}{8} \quad (14)$$

或通俗為 -18 dB之第三諧波及 $+1$ dB之第一(基波)諧波。此混合亦證明所有組成得到之諧波之奇異性。此外，第一諧波相對於輸入被放大，產生一正dB值。

【0064】 當應用於 -12 dB之一餘弦波時，相同轉移函數產生由方程

式15定義之一結果：

$$T_3\left(\frac{\cos(x)}{4}\right) = \frac{\cos(3x)}{64} - \frac{45\cos(x)}{64} \quad (15)$$

其包含一減小之第三諧波及第一諧波之非單調行為。

【0065】 藉由約束頻譜削減之程度，該演算法可跨內容更佳地進行推廣。此外，可需要計算潛在較少之頻帶，因為任何相互調變效應在感知上不太存在。

【0066】 相互調變效應係將一非線性轉移函數應用於具有超過一個頻率之信號的一典型副產品。通常，此等相互調變效應包含輸入信號頻率之和與差之頻率。在無約束之情況下，此等相互調變效應被賦予額外之權重及穩定性。藉由約束頻譜削減函數，得到之頻譜較不穩定，且在相互調變效應上更加強調主頻。

【0067】 因此，與使用一無約束方法相比，經由約束頻譜削減擴展頻率範圍可使用更少之分開之非線性濾波器，以實現一類比效果。此可導致運算效率之一提高。此外，由於諸多濾波器之間的交互作用有時難以管理，因此參數減少亦可導致一演算法更易於調整。

【0068】 如方程式14所展示，將第三切比雪夫多項式應用於量值-6 dB之一餘弦之處理可導致一放大，而非降級為衰減。事實上，再加上諧波混合之相對不直觀行為，若未小心避免，可導致削減。在一些實施例中，一奇數非線性可應用於由濾波器組模組120產生之諧波頻譜分量，以管理此結果動態，如結合圖6更詳細地討論。

【0069】 圖5係根據一些實施例之反向變壓器模組208之一方塊圖。反向變壓器模組208包含一旋轉矩陣模組502、一矩陣乘法器504、一投影

操作器506及一矩陣轉置操作器508。反向變壓器模組208自包含相位相干旋轉頻譜正交分量 $\tilde{u}_1(t)$ 及 $\tilde{u}_2(t)$ 之旋轉頻譜 $\tilde{u}(t)$ 產生一諧波頻譜分量 $\tilde{x}(t)$ 。旋轉矩陣模組502產生與矩陣模組302產生之旋轉矩陣相同之一旋轉矩陣。由旋轉矩陣模組502產生之矩陣由矩陣轉置操作器508轉置，且由矩陣乘法器504應用於相位相干旋轉頻譜正交分量 $\tilde{u}_1(t)$ 及 $\tilde{u}_2(t)$ 之傳入2D向量。得到之2D向量藉由投影操作器506投射至一單一維度。

【0070】 為了執行自旋轉基底回至標準基底之反向變換，輸出頻譜被移位，使得0 Hz返回其原始位置 θ_c ，如方程式16所定義：

$$\tilde{x}[t] = \tilde{u}[t] \mathbf{R}_2(\theta_c t) \mathbf{P} \quad (16)$$

其中 \mathbf{P} 係自二維實係數空間到一單一維度之投影，如方程式17所定義：

$$\mathbf{P} = \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix} \quad (17)$$

【0071】 因為正向變換 $\mathbf{R}_2(-\theta_c t)$ 包含正交正規化旋轉，所以反向變換係轉置。此代數結構允許緩存正向變換矩陣，且藉由簡單地改變係數相乘順序將其反轉。從此意義上而言，圖3中之旋轉矩陣模組302及圖5中之旋轉矩陣模組502係相同的。諧波頻譜分量 $\tilde{x}(t)$ 係諧波頻譜分量 $h(t)(n)$ 之一實例，且因此可為一較大濾波器組中一非線性濾波器之回應。

【0072】 圖6係根據一些實施例之組合器模組106之一方塊圖。組合器模組106對來自濾波器組模組120之諧波頻譜分量 $h(t)(n)$ 執行進一步處理，組合諧波頻譜分量 $h(t)(n)$ 以產生一組合分量 $z(t)$ ，對組合分量 $z(t)$ 執行進一步處理，且將組合分量 $z(t)$ 與來自全通濾波器網路模組122之濾波聲頻通道 $a(t)$ 組合以產生輸出通道 $o(t)$ 。

【0073】 組合器模組106包含分量處理器602(1)至602(4) (單獨稱為

分量處理器602或602(n))、一諧波頻譜分量組合器604、一組合分量處理器606及一輸出組合器608。分量處理器602(1)至602(4)分別對諧波頻譜分量 $h(t)(1)$ 至 $h(t)(n)$ 進行處理。組合器模組106可包含用於濾波器組模組120之各諧波處理模組104之一分量處理器602。如上文所討論，濾波器組模組120可選擇性地產生一個或多個諧波頻譜分量 $h(t)(n)$ ，其中各諧波頻譜分量 $h(t)(n)$ 使用聲頻通道 $a(t)$ 之一不同頻帶 n 產生。

【0074】對於如方程式10中定義之約束非線性，可導致之輸出位準之更大可變性表明可採用更多措施來限制暫態峰值位準。在產生一諧波頻譜分量 $h(t)(n)$ (或如方程式16所定義之 $\tilde{x}(t)$)之後，分量處理器602(n)對信號施加一非線性，該非線性將其約束在範圍 $(-1,1)$ 。此非線性可為一奇線性，諸如一S形函數。此非線性通常可保持符號，且向範圍之任一極值緩慢傾斜。具有一尺度因數 ζ 之雙曲正切係此一函數之一個實例，如方程式18所定義：

$$\tilde{\hat{r}}[l] = \frac{\tanh(\zeta \tilde{\hat{r}}[l])}{\tanh(\zeta)} \quad (18)$$

【0075】當用於降低峰值時，此非線性亦可將奇次諧波加至諧波頻譜分量 $h(t)(n)$ 。此等奇次諧波將與諧波頻譜分量 $h(t)(n)$ 之諧波同相。此階段之奇次諧波以尊重常見人類響度聽覺提示之一方式將整體振幅之變化移位為音色之變化。

【0076】當與一峰值限制器組合時，峰值限制臨限值可設定為少量低於方程式18中之臨限值，使得限制函數之諧波特徵由更具感知意義之雙曲正切而非一峰值限制器之尖銳轉角。

【0077】在一些實施例中，一個或多個分量處理器602(n)可衰減(例

如，使用獨立調諧)其等各自諧波頻譜分量 $h(t)(n)$ ，以實現組合分量 $z(t)$ 之期望非線性特性。

【0078】 諧波頻譜分量組合器604組合諧波頻譜分量 $h(t)(n)$ ，諸如諧波頻譜分量 $h(t)(1)$ 至 $h(t)(n)$ ，以產生組合分量 $z(t)$ 。

【0079】 組合分量處理模組606處理組合分量 $z(t)$ 。組合分量處理模組606亦可應用各種類型之處理，諸如高通濾波、動態範圍處理(例如，限制或壓縮)等。

【0080】 輸出組合器608將組合分量 $z(t)$ 與來自全通濾波器網路模組122之濾波聲頻通道 $a(t)$ 組合，以產生輸出通道 $o(t)$ 。在一些實施例中，輸出組合器608可在組合之前使濾波聲頻通道 $a(t)$ 或組合分量 $z(t)$ 衰減。

【0081】 圖7係根據一些實施例之一濾波器組模組700之一方塊圖。濾波器組模組700係濾波器組模組120之一實施例。濾波器組模組700使用一串聯實施方案，其中使用一上游諧波頻譜分量之一殘餘作為輸入來產生各下游諧波頻譜分量。雖然並行應用獨立濾波器之濾波器組模組之構造相對直觀，但調整此一濾波器組模組可為一項複雜任務。此困難係失去功率譜守恆之結果。在實踐中，具有問題之功率譜守恆之濾波器組調諧通常在低頻中產生一短延遲或梳形濾波器之印象，破壞聽眾判定時機之能力。其會發生係因為衝擊低頻內容之包絡通常同時在振幅及基頻上下降。因此，功率譜中之不連續性導致先前僅存在一個之多個暫時性之感知。

【0082】 在一串聯範例中，濾波器組模組700之各濾波器在要分析之一頻帶與傳入內容之殘餘之間分叉信號。此藉由用一2頻帶交叉網路替換低通濾波器 $F(x)$ 來實現。注意，在某些情況下，此可簡單藉由在低通操作之前立即自寬頻信號中減去低通信號來實施。接著，隨後之濾波器僅對

殘餘高通信號進行操作，而忽略先前由上游濾波器作用之頻譜資料。結果，由濾波器組模組700分析之總頻譜能量與輸入處之總頻譜能源相同。

【0083】與並行情況一樣，各串聯濾波器使用一獨立正向變換及反向變換。此可以多種方式完成。在一第一實例中，各濾波器之正向變換及反向變換在移動至下游濾波器之正向及反向變換之前應用等等。在一第二實例中，使用一錐體演算法，其中變換後續濾波器正向變換之座標，其包含使用上游濾波器之頻移 θ_{cn-1} 與下一個 θ_{cn} 之頻移之間的差來計算變換矩陣。在應用所有正向變換之後，可按相反順序應用反向變換，從最下游濾波器開始，且向上移動序列。此容許在正向與反向步驟之間緩存頻率增量。

【0084】濾波器組模組700使用正向變換及反向變換之錐體演算法。在此實例中，一聲頻通道 $a(t)$ 之 N 個次能帶自次能帶1至次能帶 N 串聯處理。方塊 $op1$ 718、 $op2$ 734及 opM 752分別對第一、第二及第 N 個次能帶執行係數操作。 $op1$ 718、 $op2$ 734及 opM 752中之各者可執行如本文針對係數操作器模組206所討論之係數操作。

【0085】方塊 R 704、 $R720$ 及 $R736$ 各者執行右側上一2維信號與一時變旋轉矩陣 R_2 之乘法，如本文針對旋轉矩陣模組302所討論。方塊 H 702指示方程式1中描述之一正交濾波器操作，其中方塊 H 及 R 一起執行方程式2所定義之操作。

【0086】方塊 F 706、 F 708、 F 722、 $F724$ 、 $F740$ 及 $F742$ 各者執行一低通濾波器操作 $F(x)$ ，諸如本文針對濾波器模組402所討論。

【0087】方塊 $*(-1)$ 710、 $*(-1)$ 712、 $*(-1)$ 726、 $*(-1)$ 728、 $*(1)$ 744及 $*(-1)$ 746反轉接收之輸入。方塊 $+$ 714、 $+$ 716、 $+$ 730、 $+$ 732、 $+$ 748、

+ 750、+ 774及+ 776組合接收之輸入以產生一輸出。

【0088】方塊 $R^{-1} 754$ 、 $R^{-1} 756$ 、 $R^{-1} 762$ 、 $R^{-1} 766$ 、 $R^{-1} 764$ 及 $R^{-1} 772$ 執行 R 方塊之反向變換。例如，方塊 $R 704$ 及 $R^{-1} 772$ 及 $R^{-1} 766$ 使用 $-(\theta_{c1}t)$ 之一旋轉。方塊 $R 720$ 及 $R^{-1} 764$ 及 $R^{-1} 762$ 使用 $-(\theta_{c2}-\theta_{c1})t$ 之一旋轉。方塊 $R 736$ 及 $R^{-1} 754$ 及 $R^{-1} 756$ 使用 $-(\theta_{cN}-\theta_{c(N-1)})t$ 之一旋轉。

【0089】方塊 $P778$ 執行方程式17中描述之1維投影操作。

【0090】注意：並非使用角頻率 θ_c ，而是使用相鄰 θ_{cn} 值之間的差。對於 θ_{cn} 之某些選擇，錐體演算法可藉由限制計算旋轉 $R_2(-\theta_{c,t})$ 之次數，提供一運算效率更高之實施方案。用於 θ_{cn} 分佈之一特別運算有效之選擇為線性的(其中相鄰濾波器之 θ_c 之間的差保持恆定)，因此完全最小化重新計算 $R_2(-\theta_{c,t})$ ，因為矩陣彼此相同。

【0091】最終殘餘含有不受整個濾波器組影響之資料，消除受影響與未受影響信號之間的相長或相消干涉之可能性。此殘餘信號之轉移函數將與濾波器組分析區域完美符合。此未必意味著輸出信號功率譜之一完美重建，因為係數操作可導致動態行為之修改或全新內容之合成。在諸多情況下，可完全丟棄此最終殘餘，且可使用 $H702$ 之輸出將未受影響之內容混合回最終求和。

【0092】濾波器組模組700使用一上游諧波頻譜分量之一殘餘作為一輸入來產生各下游諧波頻譜分量。在此情況下，含有 M 個總非線性濾波器之濾波器組拓撲可描述為一串聯架構。因此，非線性濾波器可由具有自1至 M 之值之一索引 m 定義。例如，方塊+714及+716輸出第一諧波頻譜分量之一殘餘(例如， $m=1$)，其用於產生第二諧波頻譜分量(例如， $m=2$)。此處，第一諧波頻譜分量之殘餘係指由方塊 $F 706$ 及 $F 708$ 濾波掉之聲頻通

道部分，且因此未被方塊Op1 718處理。此等殘餘部分係藉由反轉方塊*(-1) 710及*(-1) 712之濾波部分且將反轉之濾波部分與方塊+714及+716之濾波部分相加來產生。進一步下游處理以一類似方式工作。例如，方塊+ 730及+ 732輸出第二諧波頻譜分量之一殘餘，其用於產生第三諧波頻譜分量(例如， $m=3$)，等等。

實例程序

【0093】 圖8係根據一些實施例之用於心理聲學頻率範圍擴展之一程序800之一流程圖。圖8所展示之程序可由一聲頻系統(例如聲頻系統100)之分量執行。在其他實施例中，其他實體可執行圖8中之一些或所有步驟。實施例可包含不同及/或額外步驟，或以不同順序執行步驟。

【0094】 聲頻系統產生805定義一聲頻通道之一正交表示之正交分量。聲頻通道可為一多通道聲頻信號之一通道，諸如一立體聲頻信號之一左通道或一右通道。正交分量包含一 90° 相位關係。正交分量及聲頻通道包含所有頻率之一單位量值關係。在一些實施例中，實值輸入信號藉由匹配之一對全通濾波器變為正交值。

【0095】 聲頻系統藉由應用將正交分量之一頻譜(例如，一整個頻譜)自一標準基底旋轉至一旋轉基底之一正向變換產生810旋轉頻譜正交分量。標準基底係指旋轉前之輸入聲頻通道之頻率。旋轉可導致一目標頻率映射到0 Hz。此目標頻率可為諧波處理模組之分析區域之中心，諸如用於心理聲學範圍擴展之一目標次能帶之中心頻率。可使用如方程式3所定義對三角函數之反覆呼叫或使用一等效遞迴2D旋轉來計算正向變換。

【0096】 聲頻系統隔離815在目標頻率及目標量值處之旋轉頻譜正交分量之分量。隔離分量可在旋轉基底上執行。例如，可使用一濾波器

$F(x)$ 隔離目標頻率，其中 x 包含由 $u(t)$ 定義之分量。在一些實施例中，濾波器移除一臨限值以上之頻率，且此具有隔離一目標次能帶之效果，該次能帶跨越臨限值之兩倍，對稱於正向變換被調諧到之中心頻率 θ_c 。在一些實施例中，聲頻系統基於諸如揚聲器之一可再現範圍、揚聲器之功率消耗之降低或揚聲器壽命之增加等因素來判定目標頻率。

【0097】 聲頻系統亦可諸如藉由使用一閘函數將目標量值之分量與旋轉頻譜正交分量隔離。閘函數可經組態以丟棄次能帶中不需要之資訊，或保留振幅包絡。閘函數可進一步包含一回轉限制濾波器或類似之平滑函數。

【0098】 聲頻系統藉由將一非線性應用於隔離分量產生820加權相位相干諧波頻譜正交分量，該非線性具有受約束之一尺度依存性。可在旋轉基底上產生加權相位相干旋轉之頻譜正交分量。此旋轉基底非常適合於產生設計者頻譜，因為其將一標準基底信號表示為一2維向量，且因為其將目標頻率居中於零左右。接著可將向量進一步分解為極座標，如方程式4所見，此類似於在一短時傅立葉轉換(STFT)中運算一單一頻率組之量值及輻角，此係關於一特定頻率之資訊之一自然描述符。與STFT表示相比，此實施方案具有若干明顯優點。第一優點係，僅根據需要計算頻率組資訊，而非針對一整個頻譜。另一優點係，結果以正確表示暫時性資料所需之一時間解析度計算。此外，與STFT技術中之視窗函數類似地操作之濾波器為了將目標頻譜內容與其殘餘分開而方便地進行調諧，且在多個諧波處理模組之情況下，可具有非均勻調諧。

【0099】 非線性(其功能主要係在給定旋轉頻譜正交分量中之相位資訊之情況下產生相位相干頻譜)可具有受約束之一尺度依存性，如方程式

11所定義。非線性包含組成非線性之一加權混合，各組成非線性由方程式10定義，且對應於不同諧波 n 。將非線性應用於隔離分量由方程式9定義。對於各諧波 n ，量值校正因數 $\max(\|u(t)\|, b_n)$ 定義對應用於一組成非線性之一輸入 $u(t)$ 之一增益校正之一約束。尺度係指輸入分量 $u(t)$ 之量值，如由 $\|u(t)\|$ 所定義，表示時間 t 時信號中存在之能量。不同諧波 n 可包含不同最小值約束 b_n 。例如，較低諧波(例如，基波 $n=1$)可不受約束(例如， $b_n=0$)，而較高諧波可受較高 b_n 值之較大約束。

【0100】 非線性本身可包含第一類切比雪夫多項式之一加權求和，其中量值根據約束被選擇性地分解。非線性之各組成非線性可由一預定義諧波權重 a_n 加權，如方程式9所定義。

【0101】 聲頻系統藉由應用一反向變換產生625一諧波頻譜分量，反向變換將加權相位相干旋轉頻譜正交分量之一頻譜自旋轉基底旋轉至標準基底。此反向變換可旋轉頻譜，使得0 Hz映射到目標頻率。諧波頻譜分量包含與目標頻率不同之頻率，但在由揚聲器呈現時產生目標頻率之一心理聲學印象。諧波頻譜分量之頻率可在揚聲器之頻寬內，而次能帶頻率可在揚聲器之頻寬外。在一些實施例中，次能帶頻率低於諧波頻譜分量之頻率。在一些實施例中，次能帶頻率包含18 Hz與250 Hz之間的一頻率。在一些實施例中，目標次能帶或頻率可在揚聲器之可再現範圍內，但可出於特定應用之原因進行選擇，例如，降低聲頻系統之功率消耗或提高揚聲器之壽命。

【0102】 聲頻系統組合830具有目標頻率之外之聲頻通道頻率的諧波頻譜分量以產生一輸出通道，且將輸出通道提供835至揚聲器。在一些實施例中，聲頻系統藉由將諧波頻譜分量與原始聲頻通道組合來產生輸出

通道，且將輸出通道提供至揚聲器。在一些實施例中，聲頻系統過濾聲頻通道或聲頻通道之其他次能帶分量(例如，排除用於頻率範圍擴展之(若干)次能帶分量)，以確保聲頻通道或其他次能帶分量與諧波頻譜分量保持相干，且將濾波聲頻通道或其他次能帶分量與諧波頻譜分量組合以產生揚聲器之輸出通道。在一些實施例中，濾波或原始聲頻通道及諧波頻譜分量之組合可用例如均衡、壓縮等進一步處理，以產生用於揚聲器之輸出通道。

【0103】 在步驟805至825中，對於聲頻通道之一頻帶產生一諧波頻譜分量。在一些實施例中，產生且組合830多個諧波頻譜分量，其中諧波頻譜分量之各者使用聲頻通道之一不同頻帶產生。可藉由組合諧波頻譜分量之目標頻率之外之聲頻通道之頻率來產生輸出通道。諧波頻譜分量可並聯或串聯產生。對於串聯情況，可使用一上游諧波頻譜分量之一殘餘作為一輸入來產生各下游諧波頻譜分量。在一些實施例中，不同揚聲器可具有不同可用頻寬或頻率回應。例如，一行動裝置(例如，行動電話)可包含不平衡揚聲器。不同次能帶分量可用於不同揚聲器之頻率範圍擴展。

實例電腦

【0104】 圖9係根據一些實施例之一電腦900之一方塊圖。電腦900係實施一聲頻系統及其組件(諸如聲頻系統100或濾波器組模組120或濾波器組模組700)之電路之一實例。繪示耦合至一晶片組904之至少一個處理器902。晶片組904包含一記憶體控制器集線器920及一輸入/輸出(I/O)控制器集線器922。一記憶體906及一圖形配接器912耦合至記憶體控制器集線器920，且一顯示裝置918耦合至圖形配接器912。一儲存裝置908、鍵盤910、指標裝置914及網路配接器916耦合至I/O控制器集線器922。電腦

900可包含各種類型之輸入或輸出裝置。電腦900之其他實施例具有不同架構。例如，在一些實施例中，記憶體906直接耦合至處理器902。

【0105】 儲存裝置908包含一個或多個非暫時性電腦可讀儲存媒體，諸如一硬碟、唯讀光碟記憶體(CD-ROM)、DVD或一固態記憶體裝置。記憶體906保存處理器902使用之程式碼(包括一個或多個指令)及資料。程式碼可對應於參考圖1至圖8描述之處理態樣。

【0106】 指標裝置914與鍵盤910結合使用，以將資料輸入電腦系統900。圖形配接器912在顯示裝置918上顯示影像及其他資訊。在一些實施例中，顯示裝置918包含用於接收使用者輸入及選擇之一觸控螢幕功能。網路配接器916將電腦系統900耦合至一網路。電腦900之一些實施例具有不同於圖9所展示之組件及/或其他組件。

【0107】 電路可包含一個或多個處理器，該等處理器執行儲存在一非暫時性電腦可讀媒體中之程式碼，程式碼在由一個或多個處理器執行時組態一個或多個處理器以實施一聲頻處理系統或聲頻處理系統之模組。實施一聲頻處理系統或聲頻處理系統之模組之電路之其他實例可包含一積體電路，諸如一專用積體電路(ASIC)、場可程式化閘陣列(FPGA)或其他類型之電腦電路。

額外考慮

【0108】 所揭示組態之實例益處及優點包含容許揚聲器有效呈現超出揚聲器實體能力之(例如，較低)頻率。藉由處理如本文討論之一聲頻信號，呈現之聲音產生超出實體驅動器頻寬之頻率印象。

【0109】 在此說明書中，複數個例項可實施描述為一單數例項之組件、操作或結構。雖然一個或多個方法之分開之操作被繪示且描述為分開

之操作，但一個或多個分開之操作可同時執行，且沒有什麼要求以所繪示之順序執行操作。在實例組態中呈現為分開之組件之結構及功能可實施為一組合結構或組件。類似地，呈現為一單一組件之結構及功能可作為分開之組件實施。此等及其他變化、修改、增添及改良落於本文標的之範疇內。

【0110】 本文將某些實施例描述為包含邏輯或多個組件、模組、方塊或機制。模組可構成軟體模組(例如體現在一機器可讀媒體或一傳輸信號中之代碼)或硬體模組。一硬體模組係能夠執行特定操作之有形單元，且可依一特定方式組態或配置。在實例實施例中，一個或多個電腦系統(例如，一獨立、用戶端或伺服器電腦系統)或一電腦系統之一個或多個硬體模組(例如，一處理器或處理器群組)可由軟體(例如，一應用程式或應用程式部分)組態為一硬體模組，來操作以執行如本文描述之某些操作。

【0111】 本文描述之實例方法之各種操作可至少部分地由一個或多個處理器執行，該等處理器經臨時組態(例如，藉由軟體)或永久組態以執行相關操作。無論係臨時或永久組態，此等處理器可構成處理器實施模組，該等模組操作以執行一個或多個操作或功能。在一些實例實施例中，本文提及之模組可包括處理器實施模組。

【0112】 類似地，本文描述之方法可至少部分處理器實施。例如，一方法之至少一些操作可由一個或多個處理器或處理器實施硬體模組執行。某些操作之效能可分佈在一個或多個處理器之間，不僅駐留在單一機器內，且部署在多個機器上。在一些實例實施例中，一個或多個處理器可位於一單一位置(例如，在家庭環境、一辦公室環境中或作為一伺服器場)，而在其他實施例中處理器可分佈在多個位置。

【0113】 除非另有明確闡述，本文使用用語諸如「處理」、「運算」、「計算」、「判定」、「呈現」、「顯示」或其類似者之討論可指一機器(例如一電腦)之動作或程序，該機器在一個或多個記憶體(例如，揮發性記憶體、非揮發性記憶體或其一組合)、暫存器或接收、儲存、傳輸或顯示資訊之其他機器組件內操縱或轉換表示為實體(例如，電子、磁性或光學)量之資料。

【0114】 如本文所用，「一個實施例」或「一實施例」之任何引用意謂著結合實施例描述之一特定元件、特徵、結構或特性包含在至少一個實施例中。在說明書中之各個地方出現之短語「在一個實施例中」未必全部指相同實施例。

【0115】 可使用表達「耦合」及「連接」及其等衍生物來描述一些實施例。應瞭解，此等術語不意在作為彼此之同義詞。例如，可使用術語「連接」來描述一些實施例，以指示兩個或多個元件彼此直接實體或電接觸。在另一實施例中，可使用術語「耦合」來描述一些實施例，以指示兩個或多個元件直接實體或電接觸。然而，術語「耦合」亦可意謂著兩個或多個元件彼此不直接接觸，但仍彼此相互合作或相互作用。實施例不限於此上下文。

【0116】 如本文所用，術語「包括(comprises/comprising)」、「包含(includes/including)」、「具有(has/having)」或其任何其他變體意在涵蓋一非排他性包含。例如，包括元件之一清單之一程序、方法、物品或設備未必僅限於該等元件，但可包含未明確列出之或此等程序、方法、物品或設備固有之其他元件。此外，除非另有明確闡述，「或」係指一包含之或，而非一排他之或。例如，一條件A或B由以下任一項滿足：A為真(或存在)

且B為假(或不存在)，A為假(或不存在)且B為真(或存在)，且A及B均為真(或存在)。

【0117】此外，使用「一(a/an)」來描述本文實施例之元件及組件。此做法僅係為了方便且給出本發明之一般意義。此描述應解讀為包含一個或至少一個，且單數亦包含複數，除非其明顯另有含義。

【0118】此描述之一些部分在資訊操作之演算法及符號表示方面描述實施例。此等演算法描述及表示通常由資料處理領域之技術人員使用，以將其等工作之實質有效地傳達給習知技術者。此等操作雖然在功能上、運算上或邏輯上進行描述，但應理解為藉由電腦程式或等效電路、微碼或其類似者實施。此外，在不失通用性之情況下，有時將此等操作之配置稱為模組亦被證明係方便的。所描述之操作及其等相關模組可體現在軟體、韌體、硬體或其任何組合中。

【0119】本文描述之任何步驟、操作或程序可單獨或與其他裝置組合使用一個或多個硬體或軟體模組執行或實施。在一個實施例中，一軟體模組由包括含有電腦程式碼之一電腦可讀媒體之一電腦程式產品實施，該電腦程式碼可由一電腦處理器執行，用於執行所描述之任何或所有步驟、操作或程序。

【0120】實施例亦可關於用於執行本文操作之一設備。此設備可為所需目的專門構造，及/或其可包括由儲存在電腦中之一電腦程式選擇性地啟動或重新組態之一通用運算裝置。此一電腦程式可儲存在一非暫時性、有形之電腦可讀儲存媒體中，或適合於儲存電子指令之任何類型之媒體中，此等媒體可耦合至一電腦系統匯流排。此外，本說明書中提及之任何運算系統可包含一單一處理器，或可為採用多個處理器設計用於提高運

算能力之架構。

【0121】 實施例亦可關於藉由本文描述之一運算程序產生之一產品。此一產品可包括由一運算程序產生之資訊，其中資訊儲存在一非暫時、有形之電腦可讀儲存媒體上，且可包含本文描述之一電腦程式產品或其他資料組合之任何實施例。

【0122】 閱讀本發明後，習知技術者透過本文所揭示之原理將明白系統及程序之額外替代結構及功能設計。因此，雖然已繪示及描述特定實施例及應用程式，但應瞭解，所揭示之實施例不限於本文揭示之精確構造及組件。在不背離隨附申請專利範圍中定義之精神及範疇之情況下，可對本文揭示之方法及設備之配置、操作及細節進行各種修改、改變及變化，此對習知技術者而言將係明白的。

【0123】 最後，說明書中使用之語言主要係為了可讀性及教學目的而選擇，且可不係為了刻劃或限定專利權而選擇。因此，意在專利權之範疇不受此詳細描述之限制，而係受在基於此之一申請書上發佈之任何申請專利範圍限制。因此，實施例之本發明意在說明但不限制以下申請專利範圍中闡述之專利權之範疇。

【符號說明】

【0124】

100:聲頻系統

104:諧波處理模組

104(1):諧波處理模組

104(2):諧波處理模組

104(3):諧波處理模組

- 104(4):諧波處理模組
- 106:組合器模組
- 110:揚聲器
- 120:濾波器組模組
- 122:全通濾波器網路模組
- 202:全通網路模組
- 204:正向變壓器模組
- 206:係數操作器模組
- 208:反向變壓器模組
- 302:旋轉矩陣模組
- 304:矩陣乘法器
- 402:濾波器模組
- 404:量值模組
- 406:閘模組
- 408:除法操作器
- 410:除法操作器
- 412:諧波產生器模組
- 414:乘法操作器
- 416:乘法操作器
- 418:回轉限制器
- 420:最大模組
- 502:旋轉矩陣模組
- 504:矩陣乘法器

506:投影操作器
508:矩陣轉置操作器
602(1):分量處理器
602(2):分量處理器
604:諧波頻譜分量組合器
606:組合分量處理模組
608:輸出組合器
700:濾波器組模組
800:程序
805:步驟
810:步驟
815:步驟
820:步驟
825:步驟
830:步驟
835:步驟
900:電腦系統
902:處理器
904:晶片組
906:記憶體
908:儲存裝置
910:鍵盤
912:圖形配接器

914:指標裝置
916:網路配接器
918:顯示裝置
920:記憶體控制器集線器
922:輸入/輸出(I/O)控制器集線器
a(t):聲頻通道
F706:方塊
F708:方塊
F722:方塊
F724:方塊
F740:方塊
F742:方塊
h(t)(1):諧波頻譜分量
h(t)(2):諧波頻譜分量
h(t)(3):諧波頻譜分量
h(t)(4):諧波頻譜分量
H702:方塊
o(t):輸出通道
Op1 718:方塊
Op2 734:方塊
OpM 752:方塊
P778:方塊
R⁻¹754:方塊

$R^{-1}756$:方塊

$R^{-1}762$:方塊

$R^{-1}764$:方塊

$R^{-1}766$:方塊

$R^{-1}772$:方塊

$R704$:方塊

$R720$:方塊

$R736$:方塊

$u(t)$:向量

$\tilde{u}(t)$:旋轉頻譜

$\tilde{u}_1(t)$:加權相位相干旋轉頻譜正交分量

$u_1(t)$:旋轉頻譜正交分量

$\tilde{u}_2(t)$:加權相位相干旋轉頻譜正交分量

$u_2(t)$:旋轉頻譜正交分量

$\tilde{x}(t)$:諧波頻譜分量

$x(t)$:聲頻通道

$y(t)$:向量

$y_1(t)$:正交分量

$y_2(t)$:正交分量

$z(t)$:組合分量

$*(-1)710$:方塊

$*(-1)712$:方塊

$*(-1)726$:方塊

*(-1)728:方塊

*(-1)744:方塊

*(-1)746:方塊

+714:方塊

+716:方塊

+730:方塊

+732:方塊

+748:方塊

+750:方塊

+774:方塊

+776:方塊

【發明申請專利範圍】

【請求項1】

一種聲頻處理系統，其包括：

一電路，其經組態以：

自一聲頻通道產生正交分量，定義該聲頻通道之一正交表示；

藉由應用將該等正交分量之一頻譜自一標準基底旋轉至一旋轉基底之一正向變換來產生旋轉頻譜正交分量；

在該旋轉基底中：

隔離在目標頻率處之該旋轉頻譜正交分量之分量；及

藉由將一非線性應用於該等隔離分量來產生加權相位相干諧波頻譜正交分量，該非線性具有受約束之一尺度依存性；

藉由應用一反向變換來產生一諧波頻譜分量，該反向變換將該等加權相位相干諧波頻譜正交分量之一頻譜自該旋轉基底旋轉至該標準基底；

組合具有該目標頻率之外之該聲頻通道之頻率的該諧波頻譜分量以產生一輸出通道；及

將該輸出通道提供至一揚聲器。

【請求項2】

如請求項1之系統，其中：

該非線性包含組成非線性之一加權混合；

該等約束各包含對應用於一各自組成非線性之一輸入之一增益校正之一約束。

【請求項3】

如請求項2之系統，其中該非線性包含該第一類切比雪夫多項式之一加權求和，其中量值在該等約束下被選擇性地分解。

【請求項4】

如請求項1之系統，其中該電路進一步經組態以產生複數個諧波頻譜分量，各諧波頻譜分量使用該聲頻通道之一不同頻帶產生，且其中該電路經組態以藉由組合該複數個諧波頻譜分量來產生該輸出通道。

【請求項5】

如請求項4之系統，其中該電路經組態以串聯產生該複數個諧波頻譜分量，其中各下游諧波頻譜分量使用一上游諧波頻譜分量之一殘餘作為一輸入。

【請求項6】

如請求項4之系統，其中該電路經組態以並行產生該複數個諧波頻譜分量。

【請求項7】

如請求項1之系統，其中該電路進一步經組態以將一奇非線性應用於該諧波頻譜分量。

【請求項8】

如請求項1之系統，其中該諧波頻譜分量包含與該聲頻通道之該等目標頻率不同之頻率，且在由該揚聲器呈現時產生該等目標頻率之一心理聲學印象。

【請求項9】

如請求項1之系統，其中：

該正向變換旋轉該正交分量之該頻譜，使得一目標頻率映射到0

Hz；及

該反向變換旋轉該等加權相位相干諧波頻譜正交分量之該頻譜，使得0 Hz映射到該目標頻率。

【請求項10】

如請求項1之系統，其中該等目標頻率包含18 Hz至250 Hz之間的一頻率。

【請求項11】

如請求項1之系統，其中該電路進一步經組態以基於以下至少一項判定該等目標頻率：

該揚聲器之一可再現範圍；

降低該揚聲器之功率消耗；或

增加該揚聲器之壽命。

【請求項12】

如請求項1之系統，其中該揚聲器係一行動裝置之一組件。

【請求項13】

如請求項1之系統，其中該電路進一步經組態以使用一閘函數隔離在目標量值處之該等分量。

【請求項14】

如請求項1之系統，其中該電路進一步經組態以將一平滑函數應用於該等隔離分量。

【請求項15】

一種用於執行一聲頻處理方法之非暫時性電腦可讀媒體，該非暫時性電腦可讀媒體包括儲存之指令，當由至少一個處理器執行時，將該至少

一個處理器組態以：

自一聲頻通道產生正交分量，定義該聲頻通道之一正交表示；

藉由應用將該等正交分量之一頻譜自一標準基底旋轉至一旋轉基底之一正向變換來產生旋轉頻譜正交分量；

在該旋轉基底中：

隔離在目標頻率處之該等旋轉頻譜正交分量之分量；及

藉由將一非線性應用於該等隔離分量來產生加權相位相干諧波頻譜正交分量，該非線性具有受約束之一尺度依存性；

藉由應用一反向變換來產生一諧波頻譜分量，該反向變換將該等加權相位相干諧波頻譜正交分量之一頻譜自該旋轉基底旋轉至該標準基底；

組合具有該目標頻率之外之該聲頻通道之頻率的該諧波頻譜分量以產生一輸出通道；及

將該輸出通道提供至一揚聲器。

【請求項16】

如請求項15之非暫時性電腦可讀媒體，其中：

該非線性包含組成非線性之一加權混合；

該等約束各包含對應用於一各自組成非線性之一輸入之一增益校正之一約束。

【請求項17】

如請求項16之非暫時性電腦可讀媒體，其中該非線性包含該第一類切比雪夫多項式之一加權求和，其中量值在該等約束下被選擇性地分解。

【請求項18】

如請求項15之非暫時性電腦可讀媒體，其中：

該等指令進一步組態該至少一個處理器以產生複數個諧波頻譜分量，各諧波頻譜分量使用該聲頻通道之一不同頻帶產生；

藉由組合該複數個諧波頻譜分量來產生該輸出通道；及

串聯產生該複數個諧波頻譜分量，其中各下游諧波頻譜分量使用一上游諧波頻譜分量之一殘餘作為一輸入。

【請求項19】

如請求項15之非暫時性電腦可讀媒體，其中該等指令進一步組態該至少一個處理器以將一奇非線性應用於該諧波頻譜分量。

【請求項20】

一種聲頻處理方法，其包括藉由一電路：

自一聲頻通道產生正交分量，定義該聲頻通道之一正交表示；

藉由應用將該等正交分量之一頻譜自一標準基底旋轉至一旋轉基底之一正向變換來產生旋轉頻譜正交分量；

在該旋轉基底中：

隔離在目標頻率處之該等旋轉頻譜正交分量之分量；及

藉由將一非線性應用於該等隔離分量來產生加權相位相干諧波頻譜正交分量，該非線性具有受約束之一尺度依存性；

藉由應用一反向變換來產生一諧波頻譜分量，該反向變換將該等加權相位相干諧波頻譜正交分量之一頻譜自該旋轉基底旋轉至該標準基底；

組合具有該等目標頻率之外之該聲頻通道之頻率的該諧波頻譜分量以產生一輸出通道；及

將該輸出通道提供至一揚聲器。

【請求項21】

如請求項20之方法，其中：

該非線性包含組成非線性之一加權混合；

該等約束各包含對應用於一各自組成非線性之一輸入之一增益校正之一約束。

【請求項22】

如請求項21之方法，其中該非線性包含該第一類切比雪夫多項式之一加權求和，其中量值在該等約束下被選擇性地分解。

【請求項23】

如請求項20之方法，其進一步包括藉由該電路產生複數個諧波頻譜分量，各諧波頻譜分量使用該聲頻通道之一不同頻帶產生，且其中：

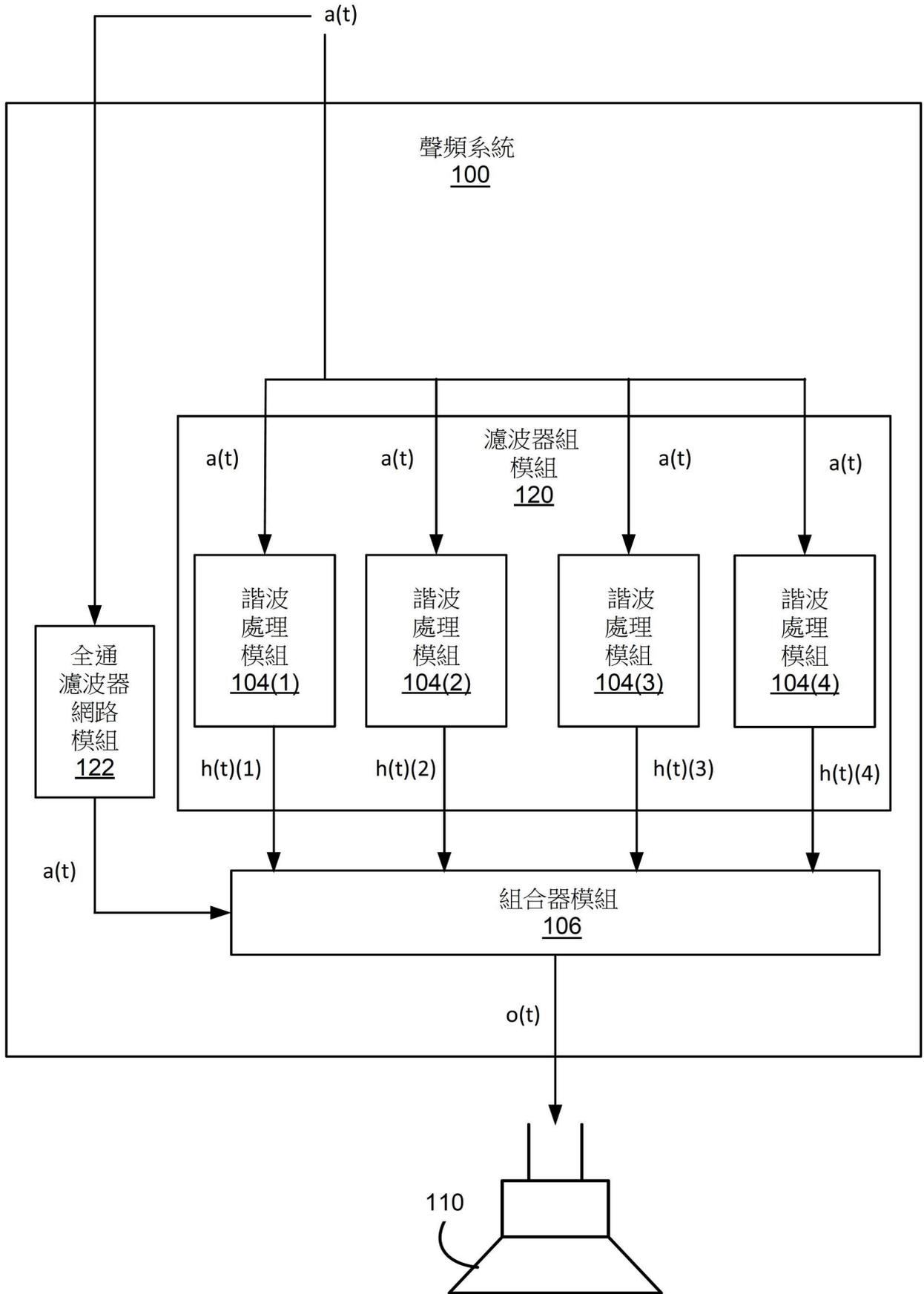
藉由組合該複數個諧波頻譜分量來產生該輸出通道；及

串聯產生該複數個諧波頻譜分量，其中各下游諧波頻譜分量使用一上游諧波頻譜分量之一殘餘作為一輸入。

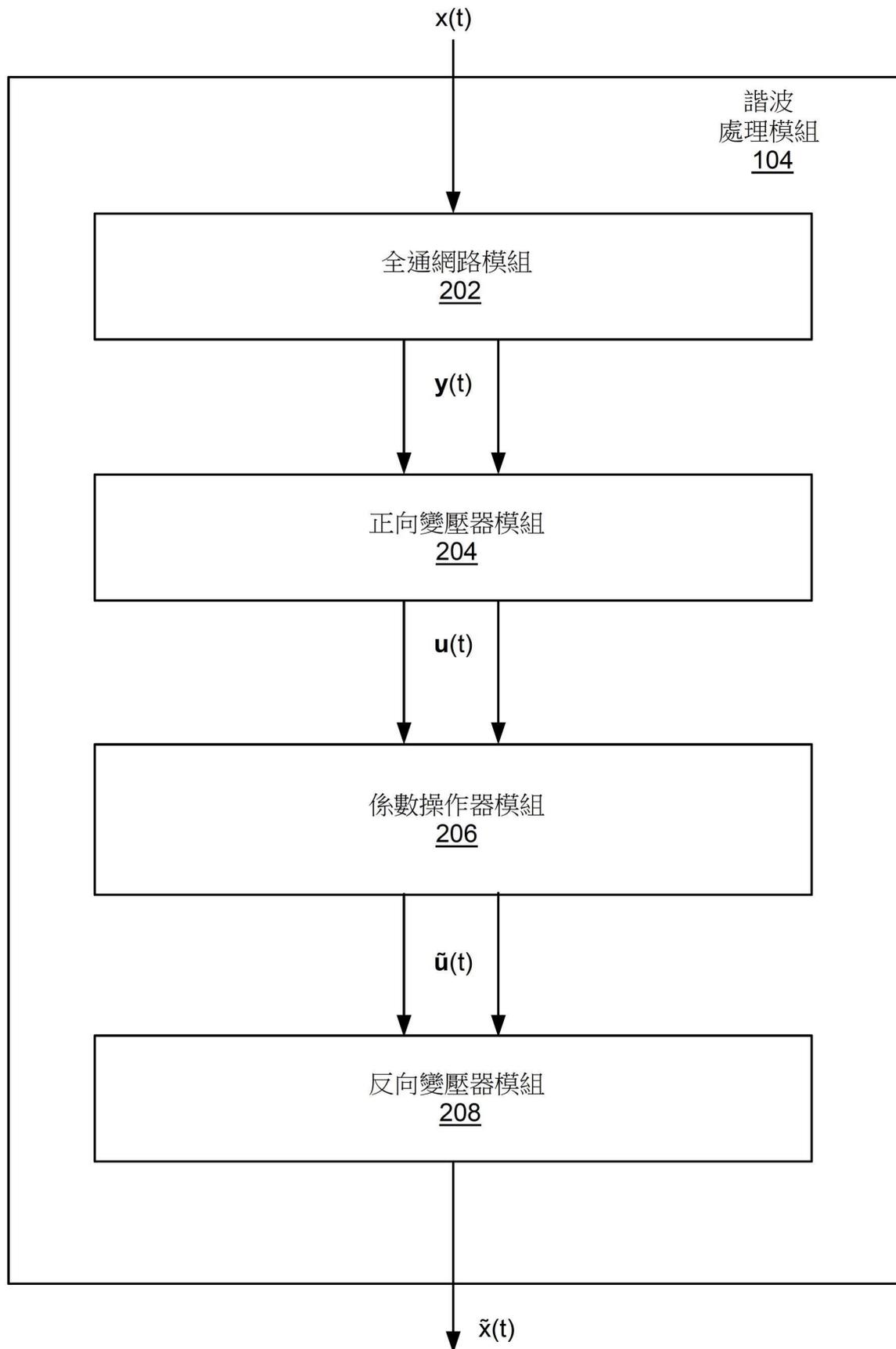
【請求項24】

如請求項20之方法，其進一步包括藉由該電路將一奇非線性應用於該諧波頻譜分量。

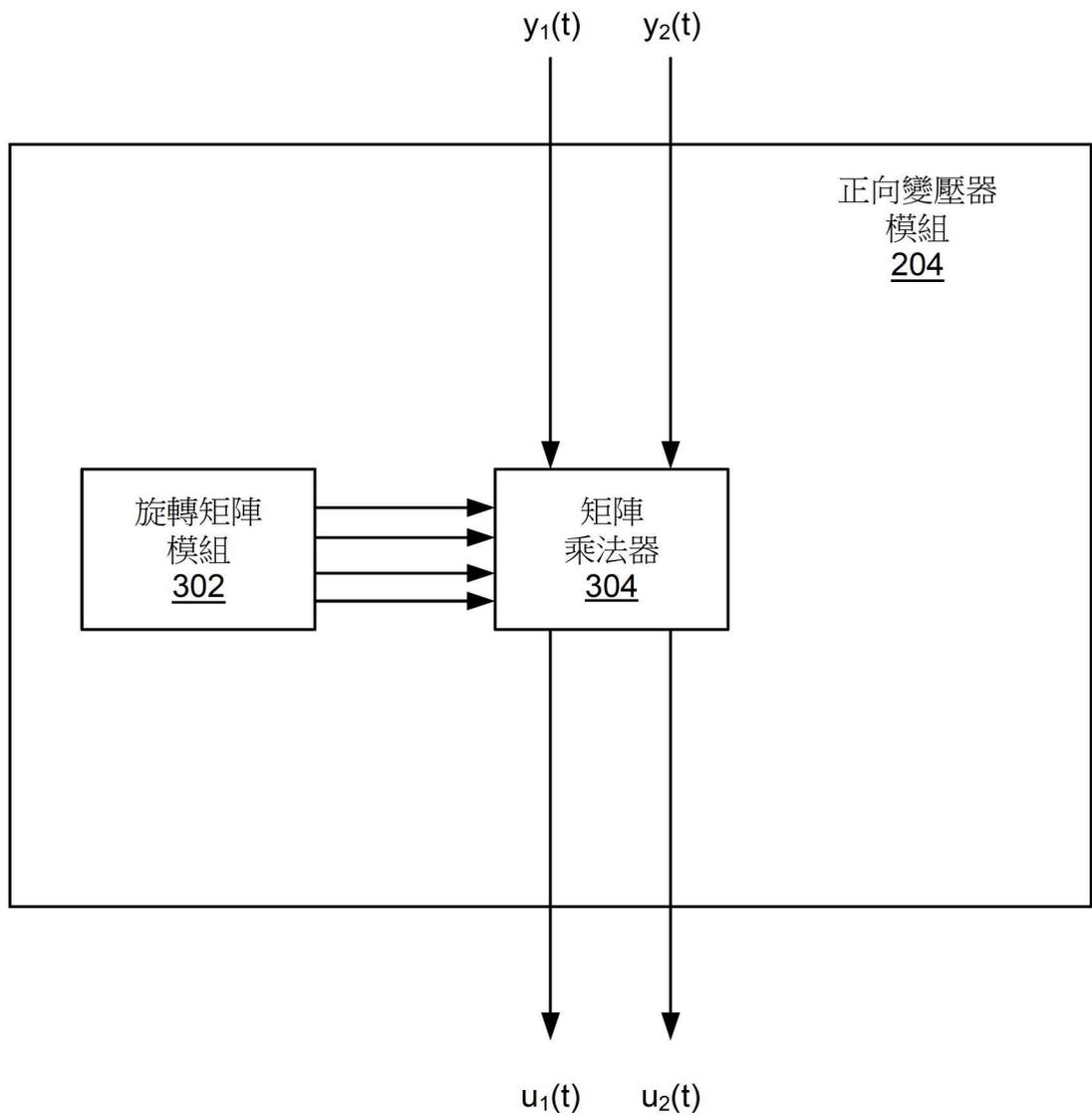
【發明圖式】



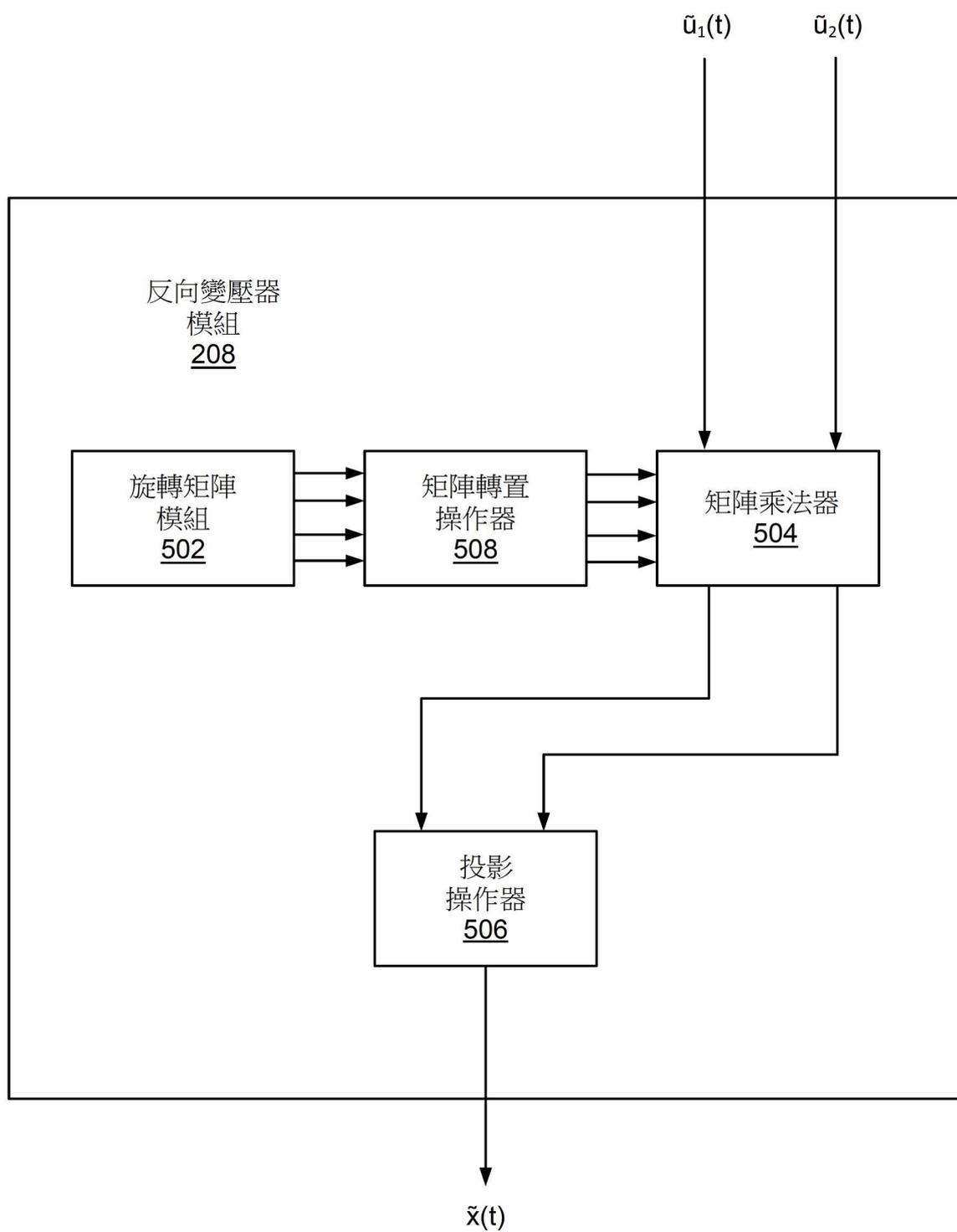
【圖1】



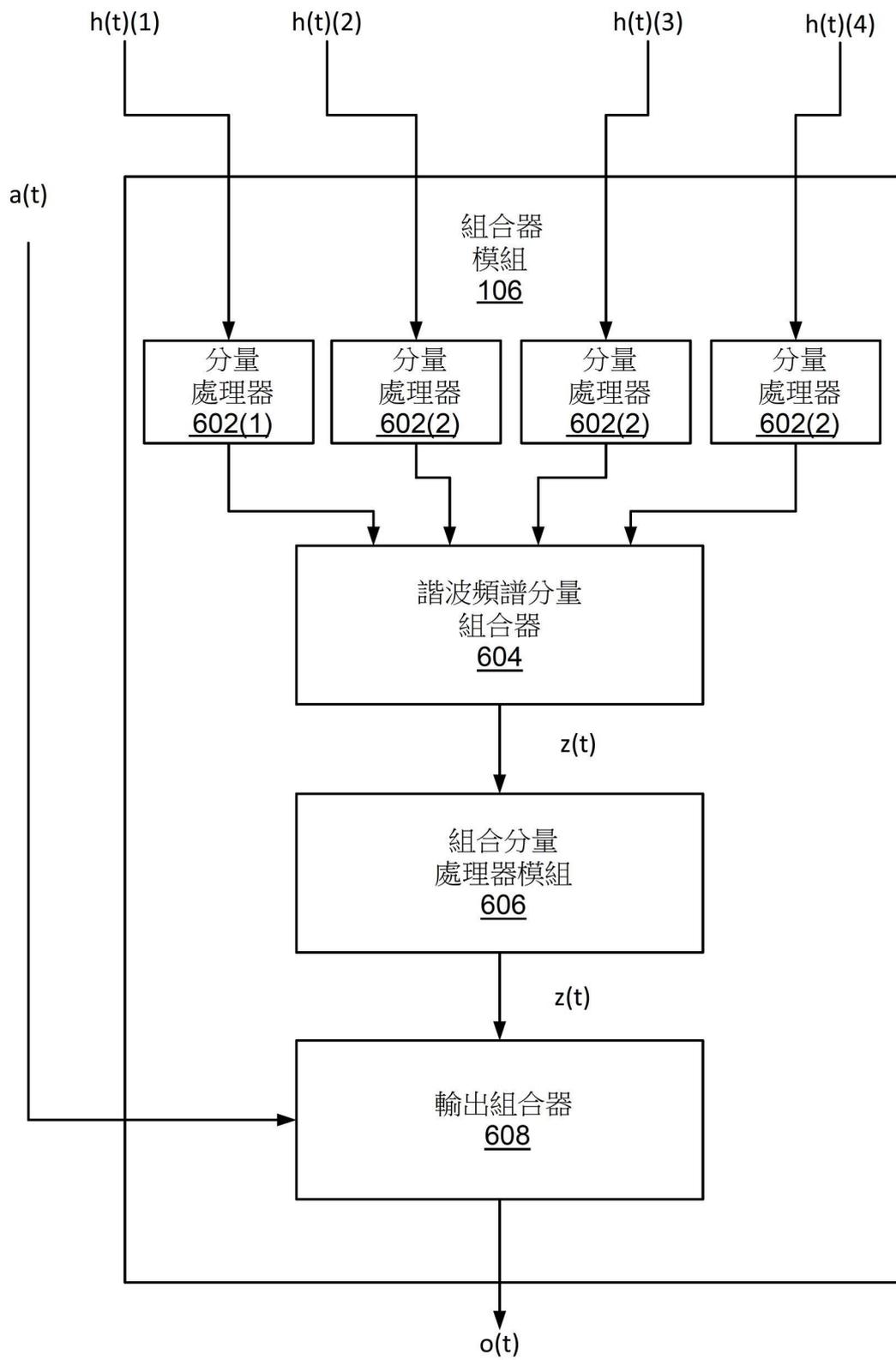
【圖2】



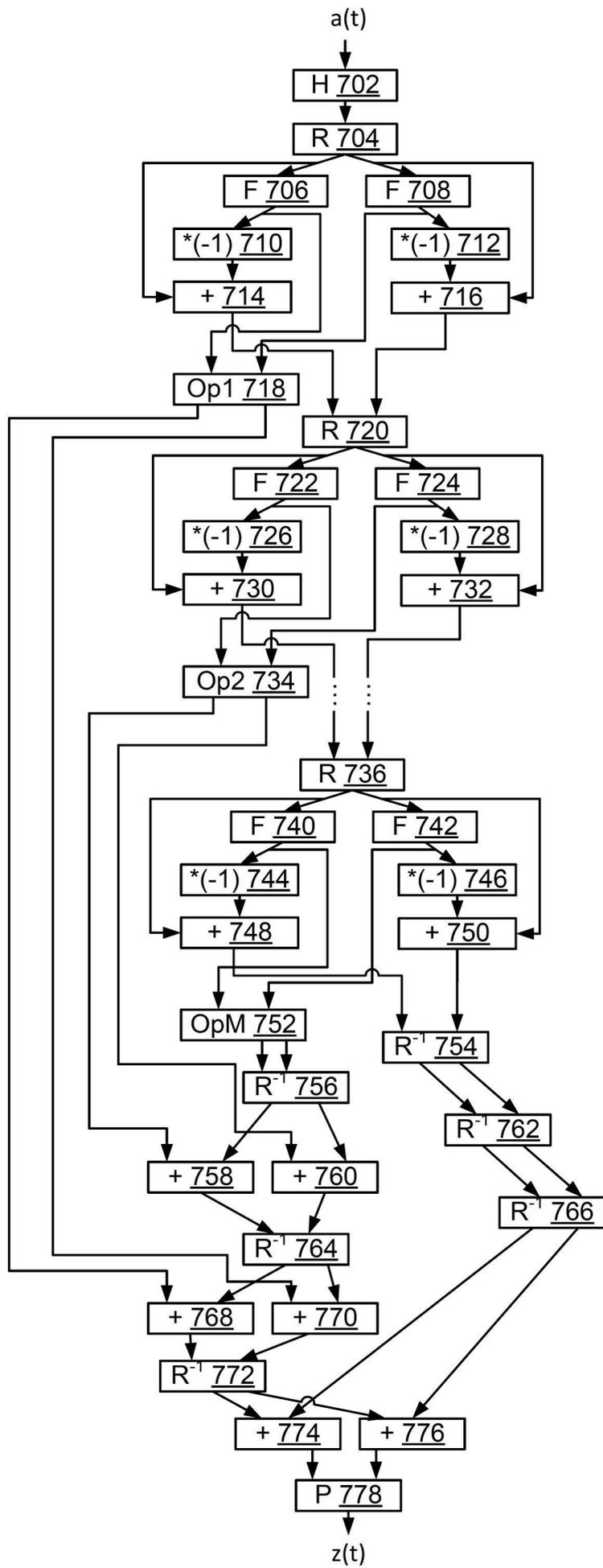
【圖3】



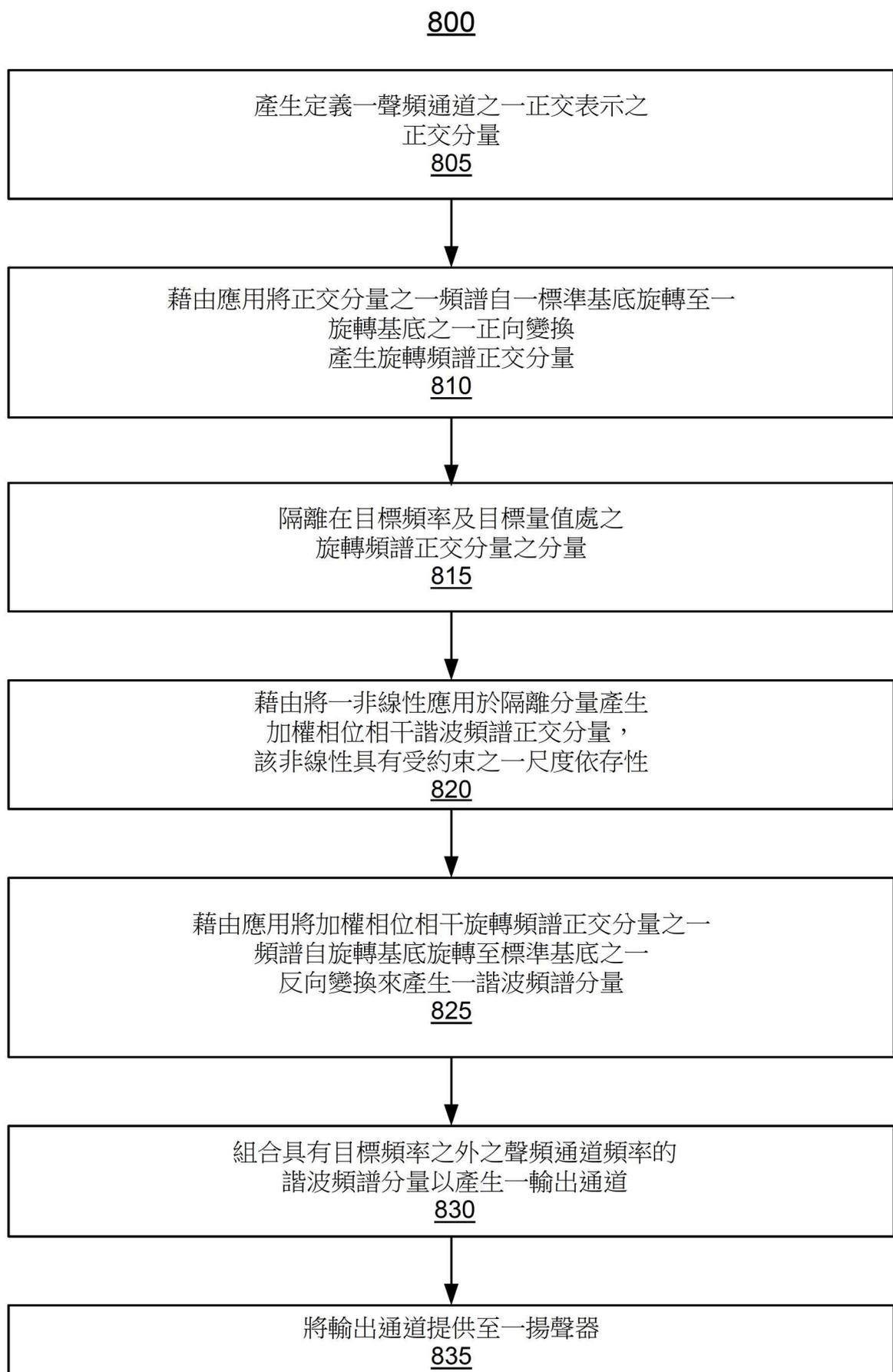
【圖5】



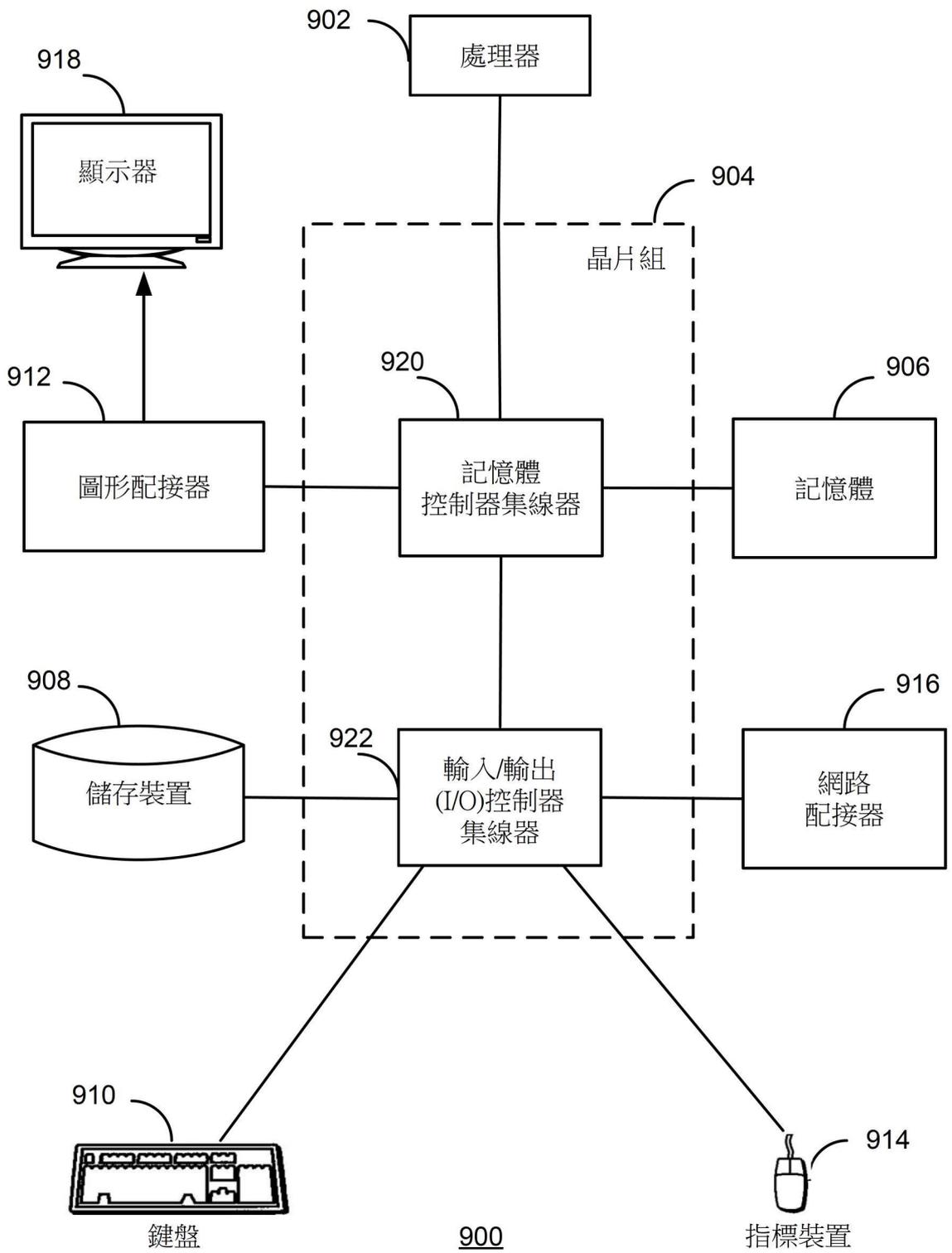
【圖6】



【圖7】



【圖8】



【圖9】