



(21)申請案號：110136416

(22)申請日：中華民國 110 (2021) 年 09 月 30 日

(51)Int. Cl. : G06F30/27 (2020.01)

G16H50/00 (2018.01)

A61B8/13 (2006.01)

(30)優先權：2020/12/29 美國

63/131,765

(71)申請人：財團法人工業技術研究院(中華民國) INDUSTRIAL TECHNOLOGY RESEARCH INSTITUTE (TW)

新竹縣竹東鎮中興路四段 195 號

(72)發明人：許柏安 HSU, PO-AN (TW)；張志吉 CHANG, CHIH-CHI (TW)；簡志偉 CHIEN, CHIH-WEI (TW)；李嘉濱 LI, CHIA-PIN (TW)；吳昆達 WU, KUN-TA (TW)；呂委整 LU, WEI-ZHENG (TW)

(74)代理人：葉璟宗；卓俊傑

(56)參考文獻：

TW 201941218A

CN 110364238A

CN 111565632A

US 2019/0117317A1

US 2019/0223958A1

審查人員：何偉權

申請專利範圍項數：11 項 圖式數：10 共 36 頁

(54)名稱

電腦輔助入針系統和電腦輔助入針方法

(57)摘要

提供一種電腦輔助入針系統和電腦輔助入針方法。電腦輔助入針方法包含：取得第一機器學習模型以及第二機器學習模型；取得電腦斷層攝影影像以及入針路徑，並且根據第一機器學習模型、電腦斷層攝影影像以及入針路徑產生建議入針路徑，指示針具接近目標的表面上入針點，其中入針點位於建議入針路徑；取得目標的呼吸訊號，根據第二機器學習模型以及呼吸訊號估計目標的未來呼吸狀態是否正常；以及響應於判斷未來呼吸狀態正常，根據呼吸訊號輸出建議入針時段。

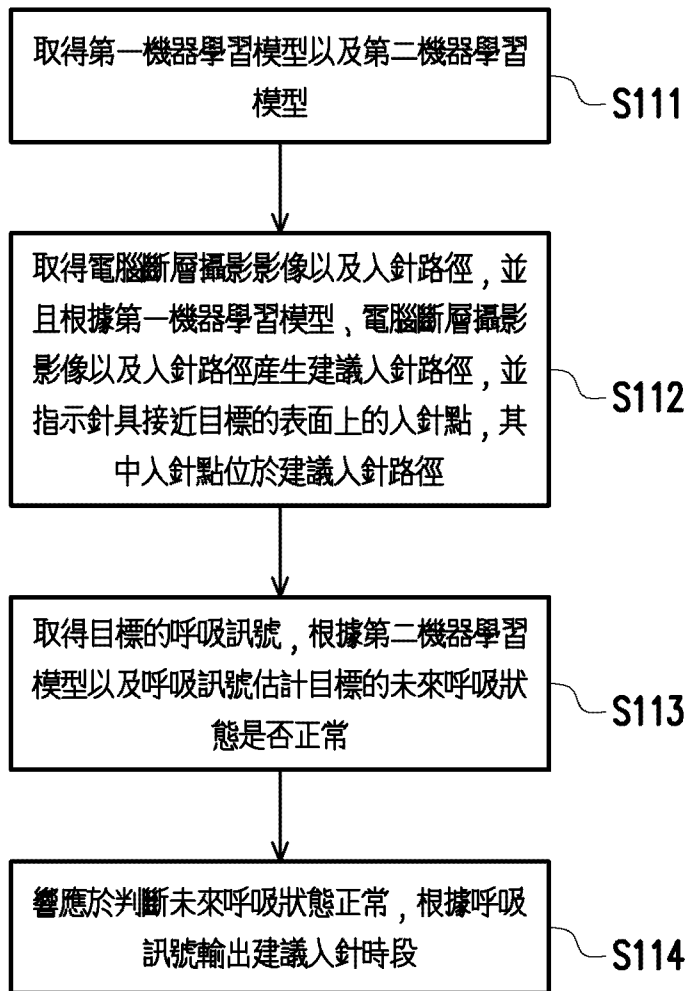
A computer-assisted needle insertion system and a computer-assisted needle insertion method are provided. The computer-assisted needle insertion method includes: obtaining a first machine learning (ML) model and a second ML model; obtaining a computed tomography (CT) image and a needle insertion path, and generating a suggest needle insertion path according to the first ML model, the CT image, and the needle insertion path, and indicating the needle to approach an insertion point on a skin of a target, wherein the insertion point is located on the suggest needle insertion path; obtaining a breath signal of the target and estimating whether a future breath state of the target is normal according to the second ML model and the breath signal; and outputting a suggested insertion period according to the breath signal in response to determining the future breath state is normal.

指定代表圖：

符號簡單說明：

S111、S112、S113、

S114:步驟



【圖10】



I792592

## 【發明摘要】

【中文發明名稱】電腦輔助入針系統和電腦輔助入針方法

【英文發明名稱】COMPUTER-ASSISTED NEEDLE INSERTION

SYSTEM AND COMPUTER-ASSISTED NEEDLE INSERTION  
METHOD

【中文】提供一種電腦輔助入針系統和電腦輔助入針方法。電腦輔助入針方法包含：取得第一機器學習模型以及第二機器學習模型；取得電腦斷層攝影影像以及入針路徑，並且根據第一機器學習模型、電腦斷層攝影影像以及入針路徑產生建議入針路徑，指示針具接近目標的表面上入針點，其中入針點位於建議入針路徑；取得目標的呼吸訊號，根據第二機器學習模型以及呼吸訊號估計目標的未來呼吸狀態是否正常；以及響應於判斷未來呼吸狀態正常，根據呼吸訊號輸出建議入針時段。

【英文】A computer-assisted needle insertion system and a computer-assisted needle insertion method are provided. The computer-assisted needle insertion method includes: obtaining a first machine learning (ML) model and a second ML model; obtaining a computed tomography (CT) image and a needle insertion path, and generating a suggest needle insertion path according to the first ML model, the CT image, and the needle insertion path, and indicating the needle to approach an insertion point on a skin of an target, wherein the

insertion point is located on the suggest needle insertion path; obtaining a breath signal of the target and estimating whether a future breath state of the target is normal according to the second ML model and the breath signal; and outputting a suggested insertion period according to the breath signal in response to determining the future breath state is normal.

【指定代表圖】圖 10。

【代表圖之符號簡單說明】

S111、S112、S113、S114:步驟

【特徵化學式】

無

## 【發明說明書】

【中文發明名稱】電腦輔助入針系統和電腦輔助入針方法

【英文發明名稱】COMPUTER-ASSISTED NEEDLE INSERTION

SYSTEM AND COMPUTER-ASSISTED NEEDLE INSERTION  
METHOD

【技術領域】

【0001】本揭露是有關於一種電腦輔助入針系統和電腦輔助入針方法。

【先前技術】

【0002】隨著科技的進步，電腦斷層攝影（computed tomography，CT）影像已普遍用於執行精準內臟入針或腫瘤消融術（ablation）等手術。然而，基於CT影像的手術存在一些缺點。舉例來說，在進行內臟入針手術時，施術者通常僅能憑著經驗估計初次入針的位置、角度或深度，而使的入針路徑不夠精準。因此，受術者可能需要被拍攝多張CT影像以供作為施術者校正入針路徑的參考。如此，受術者接受的輻射劑量可能超標。此外，受術者的呼吸動作可能影響施術者調整入針路徑，且施術者僅能根據經驗等無量化的指標來執行手術。手術的風險可能因上述的因素而增加。

【發明內容】

【0003】本揭露提供一種電腦輔助入針系統和電腦輔助入針方法，

可提供建議入針時段和建議入針路徑給入針的施術者。

**【0004】** 本揭露的一種電腦輔助入針系統，適用於控制針具。電腦輔助入針系統包含儲存媒體以及處理器。儲存媒體儲存第一機器學習模型以及第二機器學習模型。處理器耦接儲存媒體，其中處理器經配置以執行：取得電腦斷層攝影影像以及入針路徑，並且根據第一機器學習模型、電腦斷層攝影影像以及入針路徑產生建議入針路徑，並指示針具接近目標的表面上入針點，其中入針點位於建議入針路徑；取得目標的呼吸訊號，根據第二機器學習模型以及呼吸訊號估計目標的未來呼吸狀態是否正常；以及響應於判斷未來呼吸狀態正常，根據呼吸訊號輸出建議入針時段。

**【0005】** 在本揭露的一實施例中，上述的第一機器學習模型為深度 Q-學習模型。

**【0006】** 在本揭露的一實施例中，上述的電腦斷層攝影影像包含針具、目標的表面上標記以及目標物件。

**【0007】** 在本揭露的一實施例中，上述的 Q-學習模型的狀態集中的狀態包含：針具的針尖的第一座標、標記的第二座標以及目標物件的第三座標。

**【0008】** 在本揭露的一實施例中，上述的 Q-學習模型的獎勵關聯於下列的至少其中之一：第一座標與第三座標之間的第一距離；第一座標、第二座標和第三座標所形成的單位向量與入針路徑之間的夾角；單位向量與入針路徑之間的第二距離；第一座標停止更新的時間；以及第一座標與表面之間的第三距離。

【0009】 在本揭露的一實施例中，上述的電腦輔助入針系統更包含收發器。收發器耦接處理器，其中處理器通過收發器通訊連接至機械手臂，其中處理器通過收發器傳送指令至機械手臂以控制針具，其中 Q-學習模型的動作集合中的動作包含：機械手臂的關節動作。

【0010】 在本揭露的一實施例中，上述的處理器從動作集合中選出對應於 Q-學習模型的累積獎勵的最大期望值的動作，並且根據動作更新 Q-學習模型的狀態以訓練 Q-學習模型。

【0011】 在本揭露的一實施例中，上述的處理器根據更新的狀態決定建議入針路徑。

【0012】 在本揭露的一實施例中，上述的機械手臂包含固定針具的夾具，其中處理器通過收發器指示機械手臂在建議入針時段以外的時段鬆開夾具。

【0013】 在本揭露的一實施例中，上述的處理器更經配置以執行：根據歷史資料決定參考呼吸週期，並且根據參考呼吸週期決定取樣時段；根據取樣時段取樣心電圖訊號；以及將心電圖訊號轉換為呼吸訊號。

【0014】 在本揭露的一實施例中，上述的儲存媒體更儲存第三機器學習模型，其中處理器更經配置以執行：自呼吸訊號擷取出呼吸參數；取得第二座標的位移量，並根據位移量決定時域參數；對呼吸訊號執行短時傅立葉轉換以產生頻域參數；基於第三機器學習模型而根據呼吸參數、時域參數以及頻域參數判斷目標的長期呼

吸狀態是否正常；以及響應於長期呼吸狀態正常，估計目標的未來呼吸狀態是否正常。

**【0015】** 在本揭露的一實施例中，上述的標記包含對應於第一子座標的第一子標記以及對應於第二子座標的第二子標記，其中時域參數包含下列的至少其中之一：第一子座標在 X 軸的第一位移量；第一子座標在 Y 軸的第二位移量；第一子座標在 Z 軸的第三位移量；第一位移量、第二位移量以及第三位移量的第一總和；第二子座標在 X 軸的第四位移量；第二子座標在 Y 軸的第五位移量；第二子座標在 Z 軸的第六位移量；第四位移量、第五位移量以及第六位移量的第二總和；以及第一總和與第二總和的總和。

**【0016】** 在本揭露的一實施例中，上述的處理器更經配置以執行：基於第二機器學習模型而根據時域參數以及頻域參數估計目標的未來呼吸狀態是否正常。

**【0017】** 在本揭露的一實施例中，上述的處理器更經配置以執行：根據呼吸訊號判斷第二座標的位移量，並且根據位移量決定時域參數；根據時域參數產生特徵訊號；響應於特徵訊號在時段期間小於閾值，將時段設為呼吸停滯時段；以及根據呼吸停滯時段決定建議入針時段。

**【0018】** 在本揭露的一實施例中，上述的儲存媒體更儲存第三機器學習模型，其中處理器更經配置以執行：取得對應於呼吸停滯時段的第二呼吸訊號；自第二呼吸訊號擷取出第二呼吸參數；根據第二呼吸訊號判斷第二座標的第二位移量，並且根據第二位移量決

定第二時域參數；對第二呼吸訊號執行短時傅立葉轉換以產生頻域參數；基於第三機器學習模型而根據第二呼吸參數、第二時域參數以及頻域參數判斷目標的當前呼吸狀態是否正常；以及響應於當前呼吸狀態正常，將呼吸停滯時段設為建議入針時段。

**【0019】** 在本揭露的一實施例中，上述的處理器根據建議入針時段決定針具移動時間以及針具移動距離，並且輸出針具移動時間以及針具移動距離。

**【0020】** 本揭露的一種電腦輔助入針方法，適用於控制針具。電腦輔助入針方法包含：取得第一機器學習模型以及第二機器學習模型；取得電腦斷層攝影影像以及入針路徑，並且根據第一機器學習模型、電腦斷層攝影影像以及入針路徑產生建議入針路徑，並指示針具接近目標的表面上入針點，其中所述入針點位於所述建議入針路徑；取得目標的呼吸訊號，根據第二機器學習模型以及呼吸訊號估計目標的未來呼吸狀態是否正常；以及響應於判斷未來呼吸狀態正常，根據呼吸訊號輸出建議入針時段。

**【0021】** 基於上述，本揭露可使針具接近目標表面上的理想入針點。本揭露可根據機器學習技術判斷目標的呼吸狀態是否正常。本揭露還可根據目標的呼吸訊號判斷目標的呼吸停滯時段，並且建議施術者在呼吸停滯時段執行入針手術。

### **【圖式簡單說明】**

### **【0022】**

圖 1 根據本揭露的一實施例繪示一種電腦輔助入針系統的示意圖。

圖 2 根據本揭露的一實施例繪示對目標進行入針的示意圖。

圖 3 根據本揭露的一實施例繪示一種電腦輔助入針方法的流程圖。

圖 4 根據本揭露的一實施例繪示步驟 S320 的流程圖。

圖 5 根據本揭露的一實施例繪示步驟 S330 的流程圖。

圖 6 根據本揭露的一實施例繪示呼吸訊號的示意圖。

圖 7 根據本揭露的一實施例繪示標記的示意圖。

圖 8 根據本揭露的一實施例繪示特徵訊號的示意圖。

圖 9 根據本揭露的一實施例繪示步驟 S340 的流程圖。

圖 10 根據本揭露的一實施例繪示一種電腦輔助入針方法的流程圖。

### 【實施方式】

【0023】 為了使本發明之內容可以被更容易明瞭，以下特舉實施例作為本發明確實能夠據以實施的範例。另外，凡可能之處，在圖式及實施方式中使用相同標號的元件/構件/步驟，係代表相同或類似部件。

【0024】 圖 1 根據本揭露的一實施例繪示一種電腦輔助入針系統 100 的示意圖。電腦輔助入針系統 100 可用於控制針具，其中所述針具可固定於機械手臂。電腦輔助入針系統 100 可通過配置機械

手臂來控制針具。電腦輔助入針系統 100 可包含處理器 110、儲存媒體 120 以及收發器 130。

【0025】 處理器 110 例如是中央處理單元(central processing unit, CPU), 或是其他可程式化之一般用途或特殊用途的微控制單元 (micro control unit, MCU)、微處理器 (microprocessor)、數位信號處理器 (digital signal processor, DSP)、可程式化控制器、特殊應用積體電路 (application specific integrated circuit, ASIC)、圖形處理器 (graphics processing unit, GPU)、影像訊號處理器 (image signal processor, ISP)、影像處理單元 (image processing unit, IPU)、算數邏輯單元 (arithmetic logic unit, ALU)、複雜可程式邏輯裝置 (complex programmable logic device, CPLD)、現場可程式化邏輯閘陣列 (field programmable gate array, FPGA) 或其他類似元件或上述元件的組合。處理器 110 可耦接至儲存媒體 120 以及收發器 130, 並且存取和執行儲存於儲存媒體 120 中的多個模組和各種應用程式。

【0026】 儲存媒體 120 例如是任何型態的固定式或可移動式的隨機存取記憶體 (random access memory, RAM)、唯讀記憶體 (read-only memory, ROM)、快閃記憶體 (flash memory)、硬碟 (hard disk drive, HDD)、固態硬碟 (solid state drive, SSD) 或類似元件或上述元件的組合, 而用於儲存可由處理器 110 執行的多個模組或各種應用程式。在本實施例中, 儲存媒體 120 可儲存包含機器學習模型 121 (或稱為「第一機器學習模型」, 用於建議入針路徑)、機

器學習模型 122（或稱為「第二機器學習模型」，用於估計目標的未來呼吸狀態是否正常）以及機器學習模型 123（或稱為「第三機器學習模型」，用於判斷目標的當前/長期呼吸狀態是否正常）等多個模組，其功能將於後續說明。

**【0027】** 收發器 130 以無線或有線的方式傳送及接收訊號。收發器 130 還可以執行例如低噪聲放大、阻抗匹配、混頻、向上或向下頻率轉換、濾波、放大以及類似的操作。處理器 110 可通過收發器 130 通訊連接至用以控制針具的機械手臂。

**【0028】** 圖 2 根據本揭露的一實施例繪示對目標（即：受術者）20 進行入針的示意圖。機械手臂 30 可包含用於固定針具 40 的夾具 31。電腦輔助入針系統 100 可輔助施術者控制機械手臂 30 以將針具 40 的針尖 41 插入目標物件 60。目標物件 60 例如是目標 20 體內的目標臟器。

**【0029】** 圖 3 根據本揭露的一實施例繪示一種電腦輔助入針方法的流程圖，其中所述電腦輔助入針方法可由如圖 1 所示的電腦輔助入針系統 100 實施。在步驟 S310 中，處理器 110 可執行術前程序。在步驟 S320 中，處理器 110 可執行術中程序。在步驟 S330 中，處理器 110 可執行針具控制程序。在步驟 S340 中，處理器 110 可執行針具控制校正程序。

**【0030】** 處理器 110 可執行術前程序（即：步驟 S310）以產生 CT 影像。具體來說，處理器 110 可通過收發器 130 通訊連接至 CT 影像攝影機，並且控制 CT 影像攝影機掃瞄目標 20 以產生 CT 影像。

CT 影像可包含目標 20、標籤 50 以及目標物件 60。處理器 110 可自 CT 影像攝影機接收 CT 影像。

**【0031】** 處理器 110 可執行術中程序（即：步驟 S320）以指示針具 40 接近目標 20 的表面 21 上的入針點。理想的入針點可位於建議入針路徑 15 與表面 21 的相交處。處理器 110 可通過收發器 130 輸出建議入針路徑 15 以供施術者參考。圖 4 根據本揭露的一實施例繪示步驟 S320 的流程圖。步驟 S320 可包含步驟 S321~S324。

**【0032】** 在步驟 S321 中，處理器 110 可通過收發器 130 接收 CT 影像以及入針路徑 10。舉例來說，處理器 110 可通過收發器 130 以自 CT 影像攝影機接收 CT 影像。舉例來說，施術者可操作終端裝置選擇入針路徑 10。處理器 110 可通過收發器 130 以自所述終端裝置接收入針路徑 10。

**【0033】** 在步驟 S322 中，處理器 110 可通過收發器 130 輸出 CT 影像以及入針路徑 10。具體來說，處理器 110 可通過收發器 130 通訊連接至顯示器以顯示 CT 影像供施術者參考。施術者可根據 CT 影像確認是否採用入針路徑 10，並可根據入針路徑 10 在目標 20 的表面 21 貼上標記 50，如圖 2 所示。舉例來說，施術者可在入針路徑 10 與表面 21 的相交處貼上標記 50。

**【0034】** 在步驟 S323 中，在標記 50 被貼上目標 20 後，處理器 110 可控制 CT 影像攝影機掃瞄目標 20 以取得包含目標 20、標籤 50 以及目標物件 60 的 CT 影像。處理器 110 可通過收發器 130 以自 CT 影像攝影機接收所述 CT 影像。在一實施例中，處理器 110

可通過收發器 130 將 CT 影像以及入針路徑 10 輸出至顯示器。顯示器可顯示 CT 影像以及入針路徑 10 以供施術者參考。

【0035】 在步驟 S324 中，處理器 110 可根據 CT 影像以及入針路徑 10 指示針具 40 的針尖 41 接近目標 20 的表面 21 上的入針點，其中所述入針點可位於標記 50 內。在一實施例中，處理器 110 可通過收發器 130 輸出提示資訊（例如：提示影像或提示音訊），其中所述提示資訊可提示施術者操作機械手臂 30 以使針具 40 的針尖 41 接近入針點。在一實施例中，處理器 110 可通過收發器 130 傳送指令至機械手臂 30 以控制針具 40，藉以使針具 40 的針尖 41 接近入針點。

【0036】 具體來說，處理器 110 可根據機器學習模型 121、CT 影像以及入針路徑 10 以產生建議入針路徑 15，並指示針具 40 的針尖 41 接近入針點，其中 CT 影像可包含目標 20、標籤 50 以及目標物件 60。入針點可位於建議入針路徑 15。機器學習模型 121 可以是強化學習（reinforcement learning）模型。在本實施例中，機器學習模型 121 是深度 Q-學習（deep Q-learning，DQN）模型。

【0037】 根據 Q-學習演算法，機器學習模型 121 的智慧型代理人（agent）可通過執行動作集合（set of actions）A 中的動作以從狀態集合（set of states）S 中的一個狀態轉移至狀態集合 S 中的另一個狀態。在一個特定的狀態下執行一個動作時，智慧型代理人可取得一個獎勵（reward）。機器學習模型 121 的智慧型代理人可由處理器 110 實施。

【0038】 機器學習模型 121 的狀態集合  $S$  中的狀態可包含針尖 41 的座標、標記 50 的座標、目標物件 60 的座標或時間戳記。狀態集合  $S$  中的狀態可對應於笛卡兒座標系 (Cartesian coordinate system) 或四元數 (quaternion)。機器學習模型 121 的動作集合  $A$  中的動作可包含機械手臂 30 的關節動作。若機械手臂 30 包含一或多個關節，則所述關節動作可控制機械手臂 30 的一或多個關節，藉以改變針尖 41 的座標。值得注意的是，為了避免特定的動作對機械手臂 30 造成損害，動作集合  $A$  可不包含對應於機械手臂 30 的奇異點 (singularity) 的關節動作。

【0039】 機器學習模型 121 所使用的演算法如方程式 (1) 和方程式 (2) 所示，其中  $s_t$  為對應於時間點  $t$  的狀態， $a_t$  為對應於時間點  $t$  的動作， $r_t$  為對應於時間點  $t$  的獎勵， $Q$  為期望累積獎勵 (expected cumulated reward) 函數。方程式 (1) 用於訓練時期，並且方程式 (2) 用於測試時期。獎勵  $r_t$  僅使用於訓練時期，測試時期是使用訓練好的期望累積獎勵函數  $Q$ 。在一實施例中，期望累積獎勵函數  $Q$  可為深度神經網路。處理器 110 可在收集到足夠的狀態  $s_t$ 、動作  $a_t$ 、獎勵  $r_t$ 、狀態  $s_{t+1}$  的樣本後，形成訓練集合  $TD$  ( $TD = \{(s_t, a_t, r_t, s_{t+1}), 1 \leq t \leq N\}$ )，並可根據訓練集合  $TD$  中的  $N$  個樣本 ( $N$  為正整數) 訓練機器學習模型 121 的期望累積獎勵函數  $Q$ ，如方程式 (1) 所示。

$$Q(s_t, a_t) = r_t + \max_{a \in A} Q(s_{t+1}, a) \quad \dots (1)$$

$$a_t = \max_{a \in A} Q(s_t, a) \quad \dots (2)$$

【0040】 處理器 110 可根據所述狀態決定建議入針路徑 15，其中建議入針路徑 15 可近似於入針路徑 10(施術者選擇的是入針路徑 10，建議入針路徑 15 會通過期望累積獎勵函數  $Q$  逼近入針路徑 10)，如圖 2 所示。具體來說，處理器 110 可根據方程式 (2) 最佳化針尖 41 的座標、標記 50 的座標或目標物件 60 的座標，以使針尖 41 接近目標 20 的表面 21 上的入針點。例如，狀態  $s_t$  可為針尖 41 的座標、標記 50 的座標或目標物件 60 的座標在時間點  $t$  時的函數。另一方面，針尖 41 的座標、標記 50 的座標或目標物件 60 的座標可為狀態  $s_t$  的函數。處理器 110 可根據狀態  $s_t$  決定一動作  $a_t$ ，從而最大化已訓練好的期望累積獎勵  $Q$ 。處理器 110 可根據動作  $a_t$  更新狀態  $s_t$  以產生狀態  $s_{t+1}$ 。再重複執行上述的步驟後，最終的狀態  $s_t$  將會達到最佳化。也就是說，針尖 41 的座標、標記 50 的座標或目標物件 60 的座標將達到最佳化。在完成針尖 41 的座標、標記 50 的座標或目標物件 60 的座標的最佳化後，處理器 110 可根據針尖 41 的最佳化座標、標記 50 的最佳化座標或目標物件 60 的最佳化座標決定建議入針路徑 15。舉例來說，針尖 41 的最佳化座標、標記 50 的最佳化座標或目標物件 60 的最佳化座標三者可組成建議入針路徑 15。

【0041】 在一實施例中，處理器 110 可通過收發器 130 輸出與機器學習模型 121 的狀態或動作相關的參考資訊給施術者。施術者可根據參考資訊操作機械手臂 30 以使針尖 41 接近入針點。在一實施例中，處理器 110 可通過收發器 130 傳送對應於機器學習模

型 121 的狀態或動作的指令至機械手臂 30，藉以控制機械手臂 30 移動針具 40 以使針尖 41 接近入針點。

【0042】 在一實施例中，機器學習模型 121 的獎勵可關聯於針尖 41 的座標與目標物件 60 的座標之間的距離。若所述距離越短，則獎勵 $r_t$ 的值越高。換句話說，機器學習模型 121 的獎勵 $r_t$ 可用於訓練期望累積獎勵函數  $Q$ ，其中所述期望累積獎勵函數  $Q$  可最小化針尖 41 與目標物件 60 之間的距離（或稱為「第一距離」）。

【0043】 在一實施例中，機器學習模型 121 的獎勵可關聯於特定單位向量與標記 50 的入針路徑 10 之間的夾角，其中所述特定向量可為針尖 41 的座標、標記 50 的座標與目標物件 60 的座標所形成的單位向量。若所述夾角越小，則獎勵的值越高。換句話說，機器學習模型 121 的獎勵可用於訓練期望累積獎勵函數  $Q$ ，其中所述期望累積獎勵函數  $Q$  可使針尖 41、座標 50 以及目標物件 60 所組成的線段與入針路徑 10 平行。在一實施例中，機器學習模型 121 的獎勵可關聯於所述特定單位向量與入針路徑 10 之間的距離（或稱為「第二距離」）。若所述距離越短，則獎勵的值越高。換句話說，機器學習模型 121 的獎勵可使針尖 41、座標 50 以及目標物件 60 所組成的線段逼近入針路徑 10。

【0044】 在一實施例中，機器學習模型 121 的獎勵可關聯於針尖 41 的座標停止更新的時間。若停止更新的時間越長（例如：針尖 41 靜止不動），則獎勵的值越低。換句話說，機器學習模型 121 的獎勵可用於訓練期望累積獎勵函數  $Q$ ，其中所述期望累積獎勵函

數 Q 可促使機械手臂 30 積極地移動針尖 41。

【0045】 在一實施例中，機器學習模型 121 的獎勵可關聯於針尖 41 的座標與表面 21 之間的距離（或稱為「第三距離」）。若所述距離小於閾值，則獎勵的值會大幅地降低。換句話說，機器學習模型 121 的獎勵可用於訓練期望累積獎勵函數 Q，其中所述期望累積獎勵函數 Q 可維持針尖 41 與表面 21 之間的距離，以避免針尖 41 與表面 21 接觸。因此，在施術者操作機械手臂 30 將針具 40 刺入表面 21 之前，機械手臂 30 都不會讓針具 40 與表面 21 接觸。

【0046】 處理器 110 可執行針具控制程序（即：步驟 S330）以根據目標 20 的呼吸訊號輸出建議入針時段供施術者參考。圖 5 根據本揭露的一實施例繪示步驟 S330 的流程圖，步驟 S330 可包含步驟 S331~S336。

【0047】 在步驟 S331 中，處理器 110 可通過收發器 130 取得目標 20 的呼吸訊號。具體來說，處理器 110 可根據歷史資料決定參考呼吸週期，其中所述歷史資料例如是分別對應於多位臨床受測者的多個呼吸訊號。處理器 110 可計算多個呼吸訊號的平均呼吸週期以產生參考呼吸週期，並可根據參考呼吸週期決定取樣時段。

【0048】 在決定取樣時段後，處理器 110 可通過收發器 130 接收目標 20 的心電圖（electrocardiography，ECG）的測量結果，並且根據取樣時段自測量結果取樣心電圖訊號。處理器 110 可將心電圖訊號轉換為目標 20 的呼吸訊號。舉例來說，處理器 110 可根據 R 尺寸（R size）方法或 RR 方法以將心電圖訊號轉換為呼吸訊號。

【0049】 在步驟 S332 中，處理器 110 可根據呼吸訊號判斷目標 20 的長期呼吸狀態是否正常。若目標 20 的長期呼吸狀態正常，則進入步驟 S333。若目標 20 的呼吸震幅或週期在所屬群體（例如：相同年齡或相同性別）的正常範圍內，則處理器 110 可將目標 20 的長期呼吸狀態判斷為正常。

【0050】 具體來說，處理器 110 可從呼吸訊號中擷取出呼吸參數，其中呼吸參數可包含呼吸起始時間點、呼吸結束時間點或平均呼吸週期等。圖 6 根據本揭露的一實施例繪示呼吸訊號 600 的示意圖。處理器 110 可從呼吸訊號 600 取得 N 個呼吸週期，並且根據 N 個呼吸週期計算平均呼吸週期，其中 N 可為任意的正整數。在本實施例中，假設 N 為 2。處理器 110 可自呼吸訊號 600 取得呼吸起始時間點 61 以及呼吸停止時間點 62。處理器 110 可根據呼吸停止時間點 62 與呼吸起始時間點 61 的差值計算呼吸週期 610。此外，處理器 110 可自呼吸訊號 600 取得呼吸起始時間點 63 以及呼吸停止時間點 64。處理器 110 可根據呼吸停止時間點 64 與呼吸起始時間點 63 的差值計算呼吸週期 620。處理器 110 可計算呼吸週期 610 與呼吸週期 620 的平均值以產生平均呼吸週期(單位:秒)。

【0051】 另一方面，處理器 110 通過收發器 130 取得標記 50 的座標的位移量，並且根據位移量決定時域參數。具體來說，處理器 110 可根據對應於呼吸訊號 600 的心電圖訊號判斷標記 50 的座標的位移量。處理器 110 可根據標記 50 的座標的位移量決定時域參數。在一實施例中，處理器 110 可先對呼吸訊號執行低通濾波程

序以產生經濾波的呼吸訊號。處理器 110 可根據經濾波的呼吸訊號判斷標記 50 的座標的位移量。

【0052】 時域參數可關聯於標記 50 的子標記。圖 7 根據本揭露的一實施例繪示標記 50 的示意圖。標記 50 可包含一或多個子標記。在本實施例中，標記 50 可包含子標記 51、子標記 52、子標記 53 以及子標記 54。

【0053】 在一實施例中，時域參數可為時間的函數。時域參數可包含子標記在各個座標軸上的位移量。舉例來說，時域參數可包含子標記 51 的座標（子標記的座標又稱為「子座標」）在 X 軸的位移量  $\Delta N_x^{51}$ 、子標記 51 的座標在 Y 軸的位移量  $\Delta N_y^{51}$ 、子標記 51 的座標在 Z 軸的位移量  $\Delta N_z^{51}$ 、子標記 52 的座標在 X 軸的位移量  $\Delta N_x^{52}$ 、子標記 52 的座標在 Y 軸的位移量  $\Delta N_y^{52}$ 、子標記 52 的座標在 Z 軸的位移量  $\Delta N_z^{52}$ 、子標記 53 的座標在 X 軸的位移量  $\Delta N_x^{53}$ 、子標記 53 的座標在 Y 軸的位移量  $\Delta N_y^{53}$ 、子標記 53 的座標在 Z 軸的位移量  $\Delta N_z^{53}$ 、子標記 54 的座標在 X 軸的位移量  $\Delta N_x^{54}$ 、子標記 54 的座標在 Y 軸的位移量  $\Delta N_y^{54}$  或子標記 54 的座標在 Z 軸的位移量  $\Delta N_z^{54}$  等多個時域特徵。

【0054】 在一實施例中，時域參數可包含子標記在各個座標軸上的位移量的總和。舉例來說，時域參數可包含子標記 51 的座標在 X 軸、Y 軸和 Z 軸上的位移量的總和  $\Delta N^{51}$  ( $\Delta N^{51} = \Delta N_x^{51} + \Delta N_y^{51} + \Delta N_z^{51}$ )。時域參數可包含子標記 52 的座標在 X 軸、Y 軸和 Z 軸上的位移量的總和  $\Delta N^{52}$  ( $\Delta N^{52} = \Delta N_x^{52} + \Delta N_y^{52} + \Delta N_z^{52}$ )。時域參數可包

含子標記 53 的座標在 X 軸、Y 軸和 Z 軸上的位移量的總和  $\Delta N^{53}$  ( $\Delta N^{53} = \Delta N_x^{53} + \Delta N_y^{53} + \Delta N_z^{53}$ )。時域參數可包含子標記 54 的座標在 X 軸、Y 軸和 Z 軸上的位移量的總和  $\Delta N^{54}$  ( $\Delta N^{54} = \Delta N_x^{54} + \Delta N_y^{54} + \Delta N_z^{54}$ )。

**【0055】** 在一實施例中，時域參數可包含多個子標記在不同座標軸上的位移量的總和。舉例來說，時域參數可包含總和  $\Delta N^{51}$ 、總和  $\Delta N^{52}$ 、總和  $\Delta N^{53}$  以及總和  $\Delta N^{54}$  等四個參數的總和  $\Delta N$  ( $\Delta N = \Delta N^{51} + \Delta N^{52} + \Delta N^{53} + \Delta N^{54}$ )。

**【0056】** 另一方面，處理器 110 可對呼吸訊號執行短時傅立葉轉換 (short-time Fourier transform, STFT) 以產生頻域參數。舉例來說，處理器 110 可對呼吸訊號 600 執行解析度為 128 的短時傅立葉轉換，藉以產生包含 128 個頻率特徵的頻域參數。

**【0057】** 在取得呼吸參數、時域參數以及頻域參數後，處理器 110 可基於機器學習模型 123 而根據呼吸參數、時域參數以及頻域參數判斷目標 20 的長期呼吸狀態是否正常。具體來說，處理器 110 可將分別對應於多個時間點的多個呼吸參數、多個時域參數以及多個頻域參數輸入至機器學習模型 123，以產生分別對應於多個時間點的多筆輸出資料，其中所述多筆輸出資料的每一者可代表當前呼吸狀態正常或當前呼吸狀態異常，多個當前呼吸狀態資料則累積為長期呼吸狀態。處理器 110 可根據所述多筆輸出資料判斷目標 20 的長期呼吸狀態是否正常。機器學習模型 123 例如是遞歸類神經網路 (recurrent neural network, RNN) 模型。在一實施例

中，機器學習模型 123 可為監督式機器學習模型。處理器 110 可收集多個歷史呼吸參數、多個歷史時域參數以及多個歷史頻域參數來訓練機器學習模型 123。訓練好的機器學習模型 123 可依據根據呼吸參數、時域參數以及頻域參數判斷目標 20 的呼吸狀態是否正常。

**【0058】** 在步驟 S333 中，處理器 110 根據機器學習模型 122 以及呼吸訊號估計目標 20 的未來呼吸狀態是否正常。若目標 20 的未來呼吸狀態正常，則進入步驟 S334。

**【0059】** 具體來說，處理器 110 可基於機器學習模型 122 而根據與呼吸訊號 600 相關的時域參數或頻率參數（例如：步驟 S332 所述的時域參數或頻率參數）估計目標 20 的未來呼吸狀態（例如：估計時間  $t+1$ 、 $t+2$  或  $t+3$  的呼吸狀態）。處理器 110 可將時域參數或頻率參數輸入至機器學習模型 122。機器學習模型 122 可根據輸入資料輸出代表未來呼吸狀態正常或未來呼吸狀態異常的輸出資料。機器學習模型 122 例如是遞歸類神經網路模型。在一實施例中，機器學習模型 122 可為監督式機器學習模型。處理器 110 可收集多個歷史時域參數以及多個歷史頻域參數來訓練機器學習模型 122。訓練好的機器學習模型 122 可依據根據時域參數以及頻域參數估計目標 20 的未來呼吸狀態是否正常。

**【0060】** 在步驟 S334 中，處理器 110 可根據呼吸訊號判斷目標 20 的呼吸停滯時段。具體來說，處理器 110 可根據對應於呼吸訊號 600 的時域參數（例如：步驟 S332 所述的時域參數）產生特徵訊

號。處理器 110 可響應於特徵訊號在特定時段期間小於閾值而將所述特定時段設為設為呼吸停滯時段。在一實施例中，特徵訊號可為標記 50 的子標記在各個座標軸上的位移量的特徵。

**【0061】** 圖 8 根據本揭露的一實施例繪示特徵訊號 700 的示意圖。假設時段 710 對應於呼吸週期 610，並且時段 720 對應於呼吸週期 620。處理器 110 可響應於特徵訊號 700 在時段 810 或時段 820 期間小於閾值 800 而將時段 810 或時段 820 設為目標 20 的呼吸停滯時段。在呼吸停滯時段期間為目標 20 執行入針可大幅地降低手術風險。

**【0062】** 在步驟 S335 中，處理器 110 可根據呼吸停滯時段決定建議入針時段。舉例來說，處理器 110 可選擇時段 810 以及時段 820 的至少其中之一以作為建議入針時段。

**【0063】** 在一實施例中，處理器 110 可根據目標 20 的當前呼吸狀態決定建議入針時段。具體來說，處理器 110 可通過收發器 130 取得對應於呼吸停滯時段的呼吸訊號（或稱為「第二呼吸訊號」、「呼吸停滯訊號」）。舉例來說，處理器 110 可通過收發器 130 接收對應於呼吸停滯時段的目標 20 的心電圖訊號，並且將所述心電圖訊號轉換為呼吸停滯訊號。處理器 110 可根據 R 尺寸方法或 RR 方法以將心電圖訊號轉換為呼吸停滯訊號。

**【0064】** 接著，處理器 110 可根據呼吸停滯訊號產生時域參數以及頻率參數。舉例來說，處理器 110 可根據與步驟 S332 相似的方式產生對應於呼吸停滯訊號時域參數以及頻率參數。處理器 110 可

基於機器學習模型 123 而根據時域參數以及頻域參數判斷目標 20 的當前呼吸狀態是否正常。處理器 110 可將時域參數以及頻域參數輸入至機器學習模型 123。機器學習模型 123 可根據輸入資料輸出代表當前呼吸狀態正常或當前呼吸狀態異常的輸出資料。處理器 110 可響應於當前狀態正常而將對應於呼吸停滯訊號的呼吸停滯時段設為建議入針時段。

**【0065】** 在步驟 S336 中，處理器 110 可通過收發器 130 輸出建議入針時段。

**【0066】** 在一實施例中，為了避免目標 20 受到傷害，處理器 110 可通過收發器 130 指示機械手臂 30 在建議入針時段以外的時段鬆開夾具 31，藉以使針具 40 能隨著目標 20 的呼吸起伏移動。

**【0067】** 在一實施例中，處理器 110 可根據建議入針時段決定針具 40 的針具移動時間以及針具移動距離。處理器 110 可通過收發器 130 輸出針具移動時間以及針具移動距離。舉例來說，處理器 110 可決定針具移動時間（或針具移動距離）與建議入針時段的長度成正比。

**【0068】** 處理器 110 可執行控制校正程序（即：步驟 S340）以確保入針手術順利地執行。圖 9 根據本揭露的一實施例繪示步驟 S340 的流程圖，其中步驟 S340 可包含步驟 S341~343。在步驟 S341 中，處理器 110 可取得目標 20 在入針手術期間的 CT 影像。CT 影像可包含目標 20、針具 40、標籤 50 以及目標物件 60。在步驟 S342 中，處理器 110 可根據 CT 影像判斷針具 40 的當前路徑是否符合

建議入針路徑 15。在步驟 S343 中，處理器 110 可根據針具 40 的當前路徑調整機械手臂 30。具體來說，若針具 40 的當前路徑與建議入針路徑 15 相符，則處理器 110 可維持機械手臂 30 的原先配置。若針具 40 的當前路徑與建議入針路徑 15 不相符，則處理器 110 可根據針具 40 的當前路徑更新建議入針路徑，並且通過收發器 130 輸出更新的建議入針路徑。

**【0069】** 圖 10 根據本揭露的一實施例繪示一種電腦輔助入針方法的流程圖。電腦輔助入針方法適用於控制針具，並且電腦輔助入針方法可由如圖 1 所示的電腦輔助入針系統 100 實施。在步驟 S111 中，取得第一機器學習模型以及第二機器學習模型。在步驟 S112 中，取得電腦斷層攝影影像以及入針路徑，並且根據第一機器學習模型、電腦斷層攝影影像以及入針路徑產生建議入針路徑，並指示針具接近目標的表面上入針點，其中入針點位於建議入針路徑。在步驟 S113 中，取得目標的呼吸訊號，根據第二機器學習模型以及呼吸訊號估計目標的未來呼吸狀態是否正常。在步驟 S114 中，響應於判斷未來呼吸狀態正常，根據呼吸訊號輸出建議入針時段。

**【0070】** 綜上所述，本揭露可在入針手術執行前根據深度學習技術固定針具的位置，使針具接近目標表面上的理想入針點。施術者可根據入針點精準地將針具插入目標物件。此外，本揭露可根據機器學習技術判斷目標的呼吸狀態是否正常，藉以避免施術者在目標呼吸狀態異常的情況下執行入針手術，導致入針手術受到干擾。再者，本揭露還可根據目標的呼吸訊號判斷目標的呼吸停滯時段，

並且建議施術者在呼吸停滯時段執行入針手術，藉此將目標的呼吸對入針手術的影響降到最低。在非呼吸停滯時段期間，電腦輔助入針系統可控制機械手臂鬆開用以固定針具的夾具，降低針具對使用者身體的損害。

### 【符號說明】

#### 【0071】

- 10:入針路徑
- 100:電腦輔助入針系統
- 110:處理器
- 120:儲存媒體
- 121、122、123:機器學習模型
- 130:收發器
- 15:建議入針路徑
- 20:目標
- 21:表面
- 30:機械手臂
- 31:夾具
- 40:針具
- 41:針尖
- 50:標記
- 51、52、53、54:子標記

60:目標物件

600:呼吸訊號

61、63:呼吸起始時間點

610、620:呼吸週期

62、64:呼吸停止時間點

700:特徵訊號

710、720、810、820:時段

800:閾值

S111、S112、S113、S114、S310、S320、S321、S322、S323、  
S324、S330、S331、S332、S333、S334、S335、S336、S340、S341、  
S342、S343:步驟

## 【發明申請專利範圍】

【請求項1】 一種電腦輔助入針系統，適用於控制針具，包括：

儲存媒體，儲存第一機器學習模型、第二機器學習模型以及第三機器學習模型，其中所述第一機器學習模型為深度 Q-學習模型；以及

處理器，耦接所述儲存媒體，其中所述處理器經配置以執行：

取得電腦斷層攝影影像以及入針路徑，並且根據所述第一機器學習模型、所述電腦斷層攝影影像以及所述入針路徑產生建議入針路徑，並指示所述針具接近目標的表面上入針點，其中所述入針點位於所述建議入針路徑，其中所述電腦斷層攝影影像包括所述針具、所述目標的所述表面上的標記以及目標物件，所述 Q-學習模型的狀態集中的狀態包括所述針具的針尖的第一座標、所述標記的第二座標以及所述目標物件的第三座標；

取得所述目標的呼吸訊號，根據所述第二機器學習模型以及所述呼吸訊號估計所述目標的未來呼吸狀態是否正常；以及響應於判斷所述未來呼吸狀態正常，根據所述呼吸訊號輸出建議入針時段，包括：

根據所述呼吸訊號判斷所述第二座標的位移量，根據所述位移量決定時域參數；

根據所述時域參數產生特徵訊號；

響應於所述特徵訊號在時段期間小於閾值，將所述

時段設為呼吸停滯時段；以及

根據所述呼吸停滯時段決定所述建議入針時段，包括：

取得對應於所述呼吸停滯時段的第二呼吸訊號；

自所述第二呼吸訊號擷取出呼吸參數；

根據所述第二呼吸訊號判斷所述第二座標的第二位移量，並且根據所述第二位移量決定第二時域參數；

對所述第二呼吸訊號執行短時傅立葉轉換以產生頻域參數；

基於所述第三機器學習模型而根據所述呼吸參數、所述第二時域參數以及所述頻域參數判斷所述目標的當前呼吸狀態是否正常；以及

響應於所述當前呼吸狀態正常，將所述呼吸停滯時段設為所述建議入針時段。

**【請求項2】** 如請求項1所述的電腦輔助入針系統，其中所述Q-學習模型的獎勵關聯於下列的至少其中之一：

所述第一座標與所述第三座標之間的第一距離；所述第一座標、所述第二座標和所述第三座標所形成的單位向量與所述入針路徑之間的夾角；所述單位向量與所述入針路徑之間的第二距離；所述第一座標停止更新的時間；以及所述第一座標與所述表面之間的第三距離。

【請求項3】 如請求項1所述的電腦輔助入針系統，更包括：

收發器，耦接所述處理器，其中所述處理器通過所述收發器通訊連接至機械手臂，其中所述處理器通過所述收發器傳送指令至所述機械手臂以控制所述針具，其中所述 Q-學習模型的動作集合中的動作包括：所述機械手臂的關節動作。

【請求項4】 如請求項3所述的電腦輔助入針系統，其中所述處理器從所述動作集合中選出對應於所述Q-學習模型的累積獎勵的最大期望值的所述動作，並且根據所述動作更新所述Q-學習模型的所述狀態以訓練所述Q-學習模型。

【請求項5】 如請求項4所述的電腦輔助入針系統，其中所述處理器根據更新的所述狀態決定所述建議入針路徑。

【請求項6】 如請求項3所述的電腦輔助入針系統，其中所述機械手臂包括固定所述針具的夾具，其中所述處理器通過所述收發器指示所述機械手臂在所述建議入針時段以外的時段鬆開所述夾具。

【請求項7】 如請求項1所述的電腦輔助入針系統，其中所述處理器更經配置以執行：

根據歷史資料決定參考呼吸週期，並且根據所述參考呼吸週期決定取樣時段；

根據所述取樣時段取樣心電圖訊號；以及

將所述心電圖訊號轉換為所述呼吸訊號。

【請求項8】 如請求項1所述的電腦輔助入針系統，其中所述處理器更經配置以執行：

自所述呼吸訊號擷取出第二呼吸參數；

對所述呼吸訊號執行短時傅立葉轉換以產生第二頻域參數；

基於所述第三機器學習模型而根據所述第二呼吸參數、所述時域參數以及所述第二頻域參數判斷所述目標的長期呼吸狀態是否正常；以及

響應於所述長期呼吸狀態正常，估計所述目標的所述未來呼吸狀態是否正常。

【請求項9】 如請求項8所述的電腦輔助入針系統，其中所述標記包括對應於第一子座標的第一子標記以及對應於第二子座標的第二子標記，其中所述時域參數包括下列的至少其中之一：

所述第一子座標在 X 軸的第一位移量；所述第一子座標在 Y 軸的第二位移量；所述第一子座標在 Z 軸的第三位移量；所述第一位移量、所述第二位移量以及所述第三位移量的第一總和；所述第二子座標在所述 X 軸的第四位移量；所述第二子座標在所述 Y 軸的第五位移量；所述第二子座標在所述 Z 軸的第六位移量；所述第四位移量、所述第五位移量以及所述第六位移量的第二總和；以及所述第一總和與所述第二總和的總和。

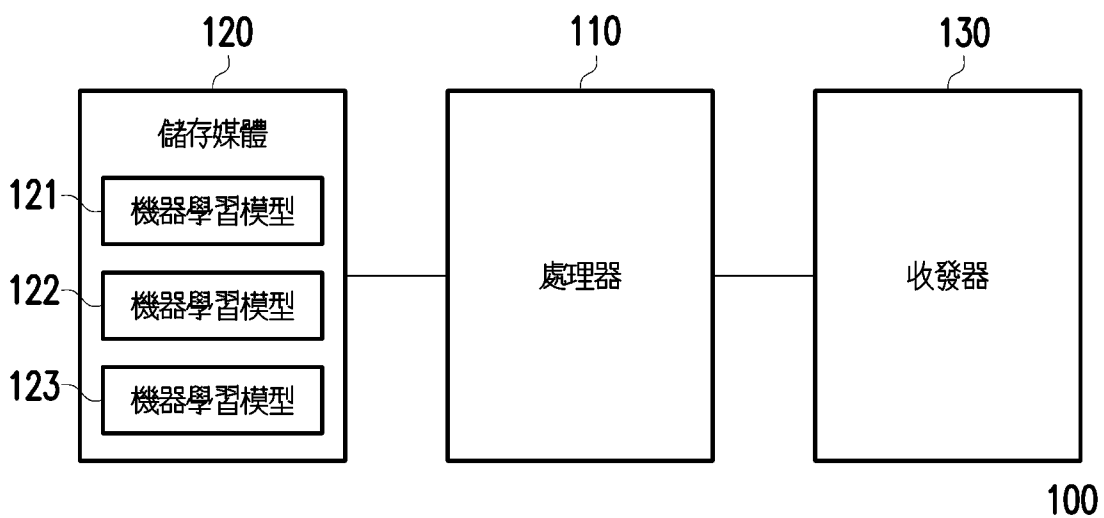
【請求項10】 如請求項8所述的電腦輔助入針系統，其中所述處理器更經配置以執行：

基於所述第二機器學習模型而根據所述時域參數以及所述第

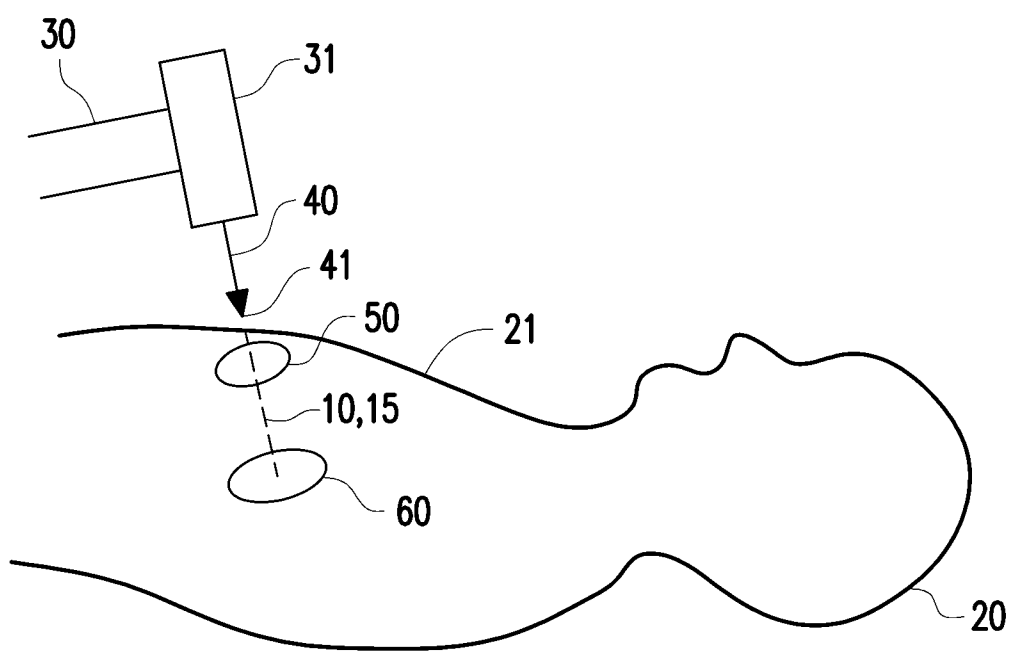
二頻域參數估計所述目標的所述未來呼吸狀態是否正常。

【請求項11】 如請求項1所述的電腦輔助入針系統，其中所述處理器根據所述建議入針時段決定針具移動時間以及針具移動距離，並且輸出所述針具移動時間以及所述針具移動距離。

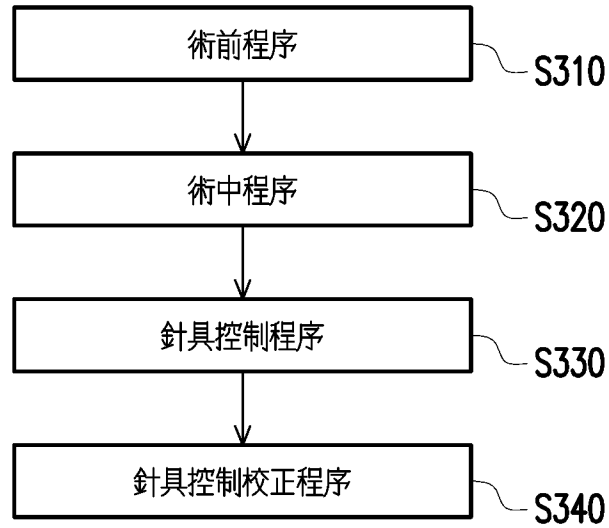
【發明圖式】



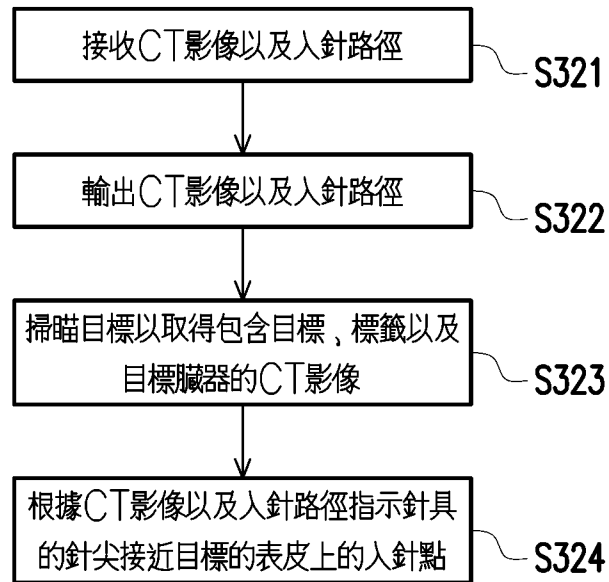
【圖1】



【圖2】

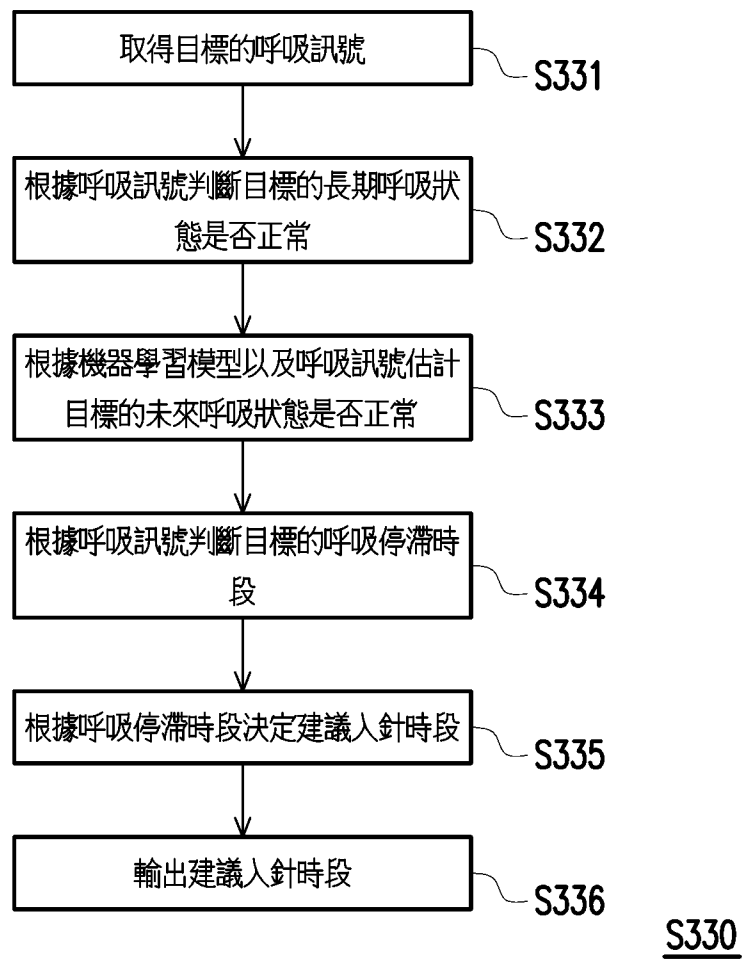


【圖3】

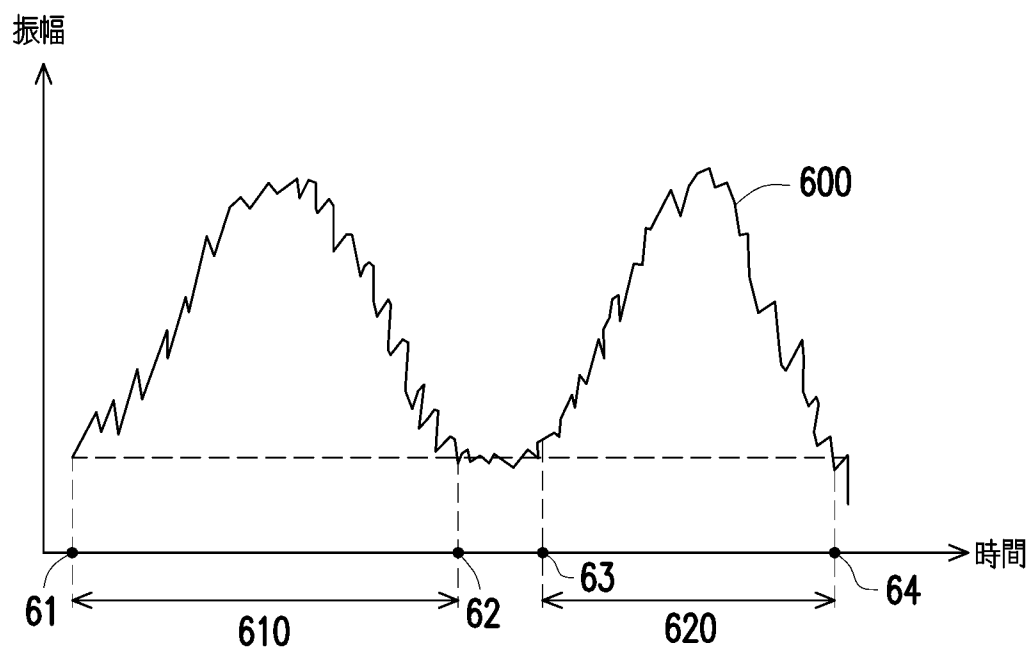


S320

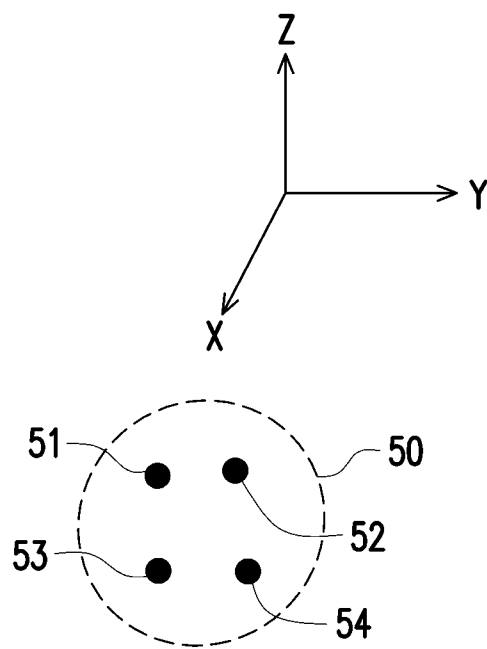
【圖4】



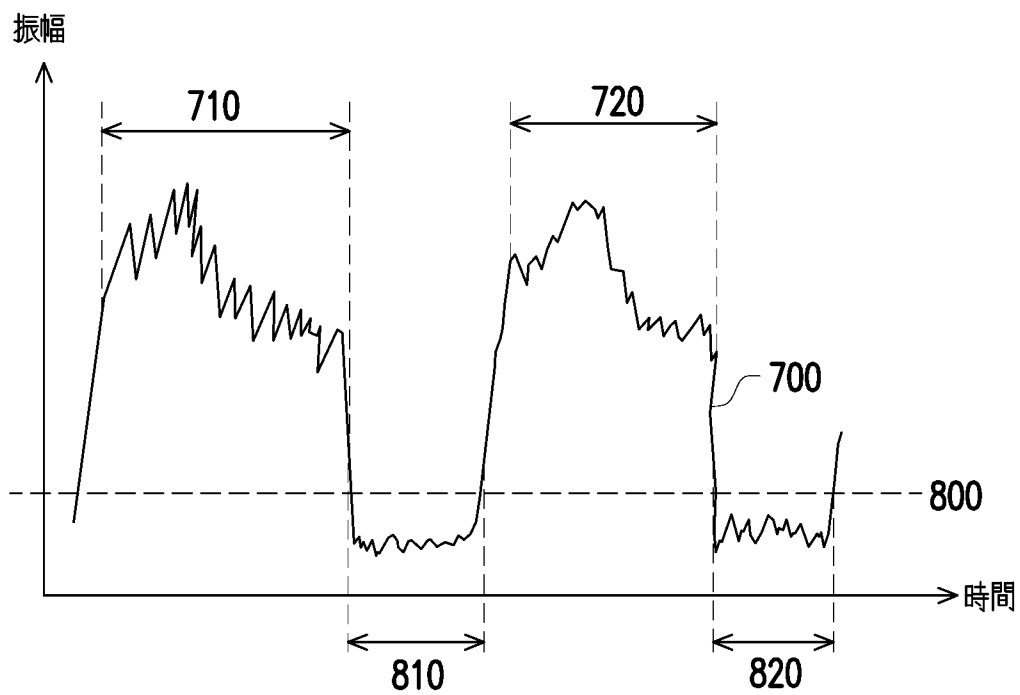
【圖5】



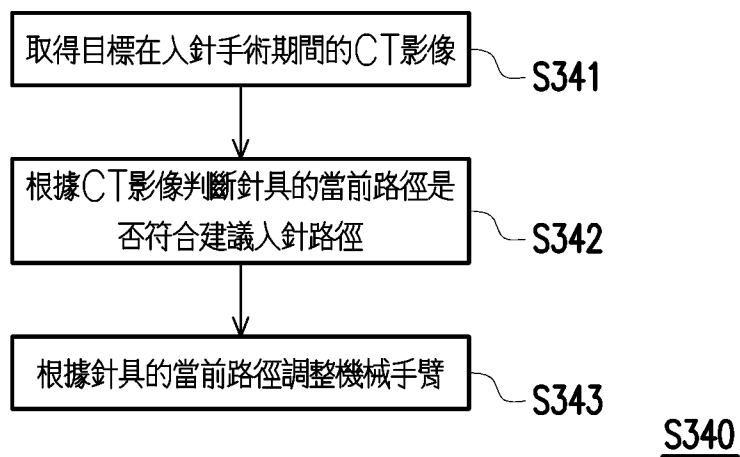
【圖6】



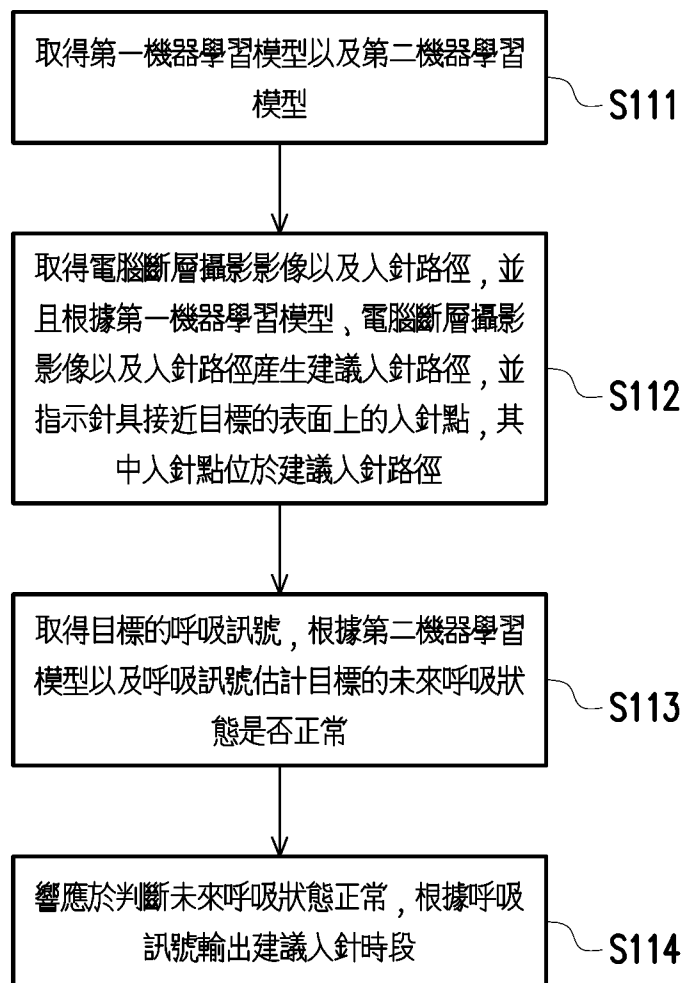
【圖7】



【圖8】



【圖9】



【圖10】