



(21)申請案號：106135246

(22)申請日：中華民國 106 (2017) 年 10 月 13 日

(51)Int. Cl. : G05D1/02 (2006.01)

(30)優先權：2017/03/27 中國大陸 201710186581.6

(71)申請人：平安科技（深圳）有限公司（中國大陸）PING AN TECHNOLOGY (SHENZHEN) CO., LTD. (CN)

中國大陸

(72)發明人：周濤濤 ZHOU, TAO-TAO (CN)；周寶 ZHOU, BAO (CN)；肖京 XIAO, JING (CN)

(74)代理人：康清敬

(56)參考文獻：

TW 201540281A

審查人員：古文豪

申請專利範圍項數：9 項 圖式數：6 共 43 頁

(54)名稱

機器人之避障控制系統及方法

OBSTACLE AVOIDANCE CONTROL SYSTEM AND METHOD FOR A ROBOT

(57)摘要

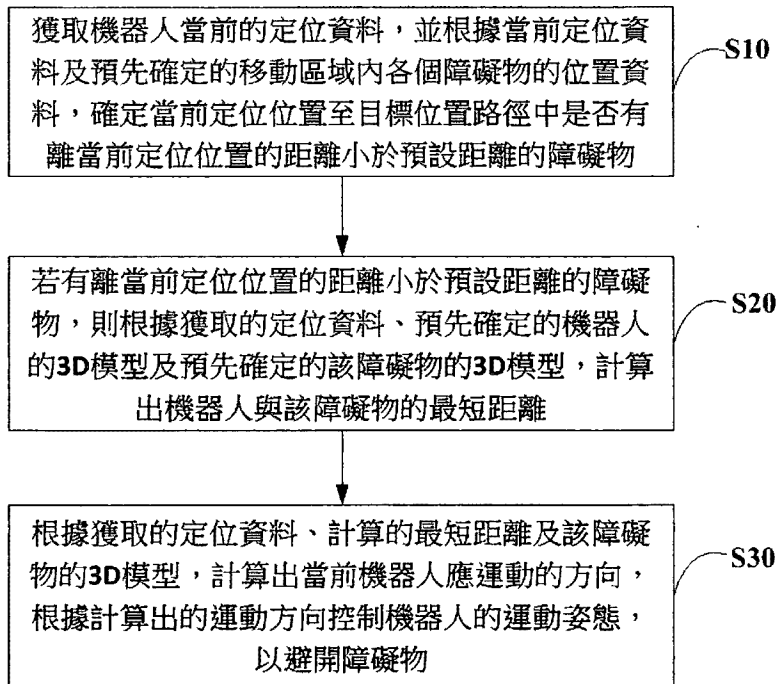
本揭示公開了一種機器人之避障控制系統及方法，該方法包括：獲取機器人當前的定位資料，並根據當前定位資料及預先確定的移動區域內各個障礙物的位置資料，確定當前定位位置至目標位置路徑中是否有離當前定位位置的距離小於預設距離的障礙物；若有離當前定位位置的距離小於預設距離的障礙物，則根據獲取的定位資料、預先確定的機器人的 3D 模型及預先確定的該障礙物的 3D 模型，計算出機器人與該障礙物的最短距離，進而計算出當前機器人應運動的方向，並依此控制機器人的運動姿態，以避開障礙物。本揭示能有效地控制機器人避障。

The present disclosure provides an obstacle avoidance control system and method for a robot, the method includes: acquiring a current position data of the robot, determining whether a distance between an obstacle on an object path and the current position is less than a predefined distance or not based on the current position data and each predetermined position data of each obstacle in a predetermined moving area, the object path is the path from the current position to an object position of the robot; calculating a minimum distance between an obstacle and the robot if the distance between the obstacle and the current position is less than the predefined distance based on the current position data, a predetermined 3D model of the robot, and a predetermined 3D model of the obstacle, thereby analyzing an effectual moving direction of the robot, and controlling movement postures of the robot according to the analyzed effectual moving direction, so that to keep the robot away from the obstacle. The invention can effectively control the robot to free move.

指定代表圖：

符號簡單說明：

S10~S30 . . . 步驟



第 1 圖

發明專利說明書

(本說明書格式、順序，請勿任意更動)

【發明名稱】(中文/英文)

機器人之避障控制系統及方法/ OBSTACLE AVOIDANCE CONTROL
SYSTEM AND METHOD FOR A ROBOT

【技術領域】

【0001】 本揭示是關於電腦技術領域，特別是關於一種機器人之避障控制系統及方法。

【先前技術】

【0002】 目前，自主移動機器人能夠廣泛應用於許多場景，比如擔任展覽館的導覽工作，帶領參觀者從一個展區介紹到另一個展區；餐廳的服務工作，主動歡迎客人，並帶領客人到空位上點餐；公共場所的引導、巡邏工作，沿著程式設定的路線移動，有人需要幫助停下回答提問等等。在這些場景下，如何避免機器人在運動中碰撞環境中的障礙物，是一個重要的技術問題。目前，自主移動機器人是依靠自身的感測器來定位及避障，業界通常的避障方案是：在機器人上安裝接近感測器（例如，超聲波、紅外、雷射等感測器），如果機器人檢測到距障礙物一定距離（比如10cm），則進行避障。

【0003】 習知的避障方案有以下缺點：第一、只能在感測器所在高度平面檢測到障礙物，對於四腿桌子等情況，假設感測器所在高度為30釐米，而桌面高度為60釐米，那麼感測器無法檢測到障礙物，最終會導致機器人撞上桌面；第二、只能在安裝有感測器的方向檢測到障礙物，假如機器人

後面沒有感測器，則後退會導致撞上障礙物。

【0004】 因此，如何在感測器無法全面偵測的情況下，有效控制機器人避障已經成爲一個極待解決的技術問題。

【發明內容】

【0005】 本揭示的主要目的在於提供一種機器人之避障控制系統及方法，旨在有效控制機器人避障。

【0006】 爲實現上述目的，本揭示提供的一種機器人之避障控制系統，該避障控制系統包括：

【0007】 確定模組，用於實時或者定時獲取機器人當前的定位資料，並根據當前定位資料及預先確定的移動區域內各個障礙物的位置資料，確定當前定位位置至目標位置路徑中是否有離當前定位位置的距離小於預設距離的障礙物；

【0008】 計算模組，用於若有離當前定位位置的距離小於預設距離的障礙物，則根據獲取的定位資料、預先確定的機器人的3D模型及預先確定的該障礙物的3D模型，計算出機器人與該障礙物的最短距離；

【0009】 控制模組，用於根據獲取的定位資料、計算的最短距離及該障礙物的3D模型，計算出當前機器人應運動的方向，根據計算出的運動方向控制機器人的運動姿態，以避開障礙物。

【0010】 較佳地，該計算模組還用於：

【0011】 對預先確定的機器人的3D模型及該障礙物的3D模型進行預處理，針對機器人的每一個關節，利用預先確定的算法找出包圍各個關節的最小凸多面體，以將機器人的非凸模型轉換爲凸體模型；對該障礙物3D

模型扇形均分，並對均分後的單個扇形進行凸分解；對獲取的定位資料、預處理後的機器人3D模型資料及預處理後的該障礙物3D模型資料，利用預先確定的距離計算規則計算出機器人與該障礙物的最短距離。

【0012】 較佳地，該計算模組還用於：

【0013】 建立待扇形均分的障礙物3D模型的球形包圍盒，找到球形包圍盒的球心；設定一經過該球心的初始扇形均分平面，將該初始扇形均分平面按預設的旋轉角繞該球心進行多次旋轉，以將球形包圍盒均分為 n 個扇形部分；該球形包圍盒的 n 個扇形部分作為障礙物3D模型的 n 個模型部分。

【0014】 較佳地，該預先確定的距離計算規則包括：

【0015】 根據機器人當前的定位資料及預先確定的篩選算法，對障礙物3D模型扇形均分後獲得的各個模型部分進行篩選，篩選出待進行距離計算的模型部分；

【0016】 對獲取的定位資料、篩選出的模型部分，利用預先確定的距離計算算法計算出機器人與篩選出的模型部分的最短距離，該最短距離為機器人與障礙物的最短距離；

【0017】 該預先確定的篩選算法包括：

【0018】 將障礙物3D模型的 n 個模型部分分別作為障礙物的 n 個節點，建立鍵值為相對於初始扇形均分平面的偏角的哈希表，以進行模型節點管理；

【0019】 對各個模型部分進行標號，根據標號，建立標號為 i 的模型部分的偏角映射關係，定義該偏角映射關係的哈希函數為：

【0020】 $Hash(i) = i * \left(\frac{360^\circ}{n} \right)$

【0021】 其中， $Hash(i)$ 代表標號為 i 的扇形模型部分與障礙物座標系的X軸正軸的偏角；

【0022】 建立機器人的運動學方程，根據建立的運動學方程計算出機器人各個關節的位姿，該運動學方程為：

$$【0023】 \quad T_i = A_0 A_1 A_2 \cdots A_{i-1} A_i$$

【0024】 其中， A_k ($k=1,2,\dots,i$) 為機器人關節座標系之間的齊次變換矩陣， A_0 為機器人當前位置矩陣， T_i 為第 i 個關節相對於機器人座標系的位姿；

【0025】 通過 T_i 計算出機器人運動過程中各個關節在機器人座標系下的座標 $Q_i(x,y,z)$ ，並計算出機器人座標系變換到障礙物座標系的變換矩陣 T_r ，則機器人關節在障礙物座標系下的座標 $Q_i(x_i, y_i, z_i)$ 為：

$$【0026】 \quad Q_i(x_i, y_i, z_i) = T_r Q_i(x, y, z)$$

【0027】 通過如下公式得到關節在障礙物座標系下的偏角 α ：

$$【0028】 \quad \tan(\alpha) = \frac{y_i}{x_i}$$

【0029】 根據偏角 α 及哈希函數 $Hash(i)$ 計算得到對應標號的模型部分，並基於對應標號的模型部分篩選出待進行距離計算的模型部分。

【0030】 較佳地，該控制模組還用於：

【0031】 將機器人及該障礙物3D模型投影到同一座標系平面中；

【0032】 根據預先確定的投影分析規則及障礙物3D模型投影到該座標系平面的投影區域外輪廓各個點的座標，計算出該障礙物3D模型的投影相對於機器人的當前定位位置及目標位置有效遮擋區域的面積；

【0033】 根據計算的最短距離及有效遮擋區域的面積確定出第一預設類型避障參數，根據目標位置與機器人當前定位位置的距離確定出第二預設類型避障參數，根據該第一預設類型避障參數及該第二預設類型避障參數確定出機器人當前應運動的方向。

【0034】 較佳地，該預先確定的投影分析規則為：

【0035】 設定座標系平面的 P_1 位置點為機器人的當前定位位置， P_2 位置點為目標位置，投影區域 P_3 為障礙物3D模型在該座標系平面中的投影，並在該座標系平面中連接 $P_1 P_2$ ，得到直線 J ；

【0036】 若直線 J 與投影區域 P_3 沒有交點或者交點只有一個，則確定不存在有效遮擋區域；

【0037】 若直線 J 與投影區域 P_3 的交點個數大於1，則直線 J 將投影分割為兩部分；在投影區域 P_3 中任意找一點 P_s ，過 P_s 作直線 J 的垂線，設定垂線與直線 J 的交點為 P_j ，得到向量 $\overline{P_j P_s}$ ，計算最短距離的向量 \vec{d} 與向量 $\overline{P_j P_s}$ 的夾角 θ ；若判斷夾角 θ 是銳角，則確定 P_s 點所在區域是有效遮擋區域；若判斷夾角 θ 不是銳角，則確定 P_s 點所在區域不是有效遮擋區域。

【0038】 較佳地，該第一預設類型避障參數為虛擬斥力，該第二預設類型避障參數為虛擬引力，該控制模組還用於：

【0039】 根據計算的最短距離和有效遮擋區域的面積，利用第一計算規則計算出作用在機器人上的虛擬斥力；

【0040】 根據當前定位位置與目標點位置的距離，利用第二計算規則計算出作用在機器人上的虛擬引力；

【0041】 計算出該虛擬引力和虛擬斥力的合力方向作為機器人當前

應運動的方向。

【0042】 較佳地，該第一計算規則為：

【0043】 設定機器人與障礙物的最短距離的向量為 \vec{d} ，有效遮擋區域的面積為 S ，障礙物對機器人的虛擬斥力為 \vec{F}_r ，則計算公式如下：

$$\vec{F}_r = f(\vec{d}, S) = \begin{cases} 0 & d > d_0 \\ \frac{k_r}{d} + b_r & d \leq d_0, s \leq s_0 \\ \frac{k_r}{d} * \frac{s}{s_0} + b_r & d \leq d_0, s > s_0 \end{cases}$$

【0044】

【0045】 其中， k_r 、 b_r 為預設的虛擬斥力係數， s_0 為預設的有效遮擋區域面積閾值， d_0 為預設的距離閾值；虛擬斥力方向與最短距離方向相同。

【0046】 較佳地，該第二計算規則為：

【0047】 設定目標位置對機器人的虛擬引力為 \vec{F}_i ，則計算公式為：
 $\vec{F}_i = k_i * d_i$ ；其中， k_i 為預設的引力係數， d_i 為目標位置與機器人當前定位位置的距離， \vec{F}_i 方向朝向目標位置。

【0048】 此外，為實現上述目的，本揭示還提供一種機器人避障方法，該方法包括以下步驟：

【0049】 A1、實時或者定時獲取機器人當前的定位資料，並根據當前定位資料及預先確定的移動區域內各個障礙物的位置資料，確定當前定位位置至目標位置路徑中是否有離當前定位位置的距離小於預設距離的障礙物；

【0050】 A2、若有離當前定位位置的距離小於預設距離的障礙物，則根據獲取的定位資料、預先確定的機器人的3D模型及預先確定的該障礙

物的3D模型，計算出機器人與該障礙物的最短距離；

【0051】 A3、根據獲取的定位資料、計算的最短距離及該障礙物的3D模型，計算出當前機器人應運動的方向，根據計算出的運動方向控制機器人的運動姿態，以避開障礙物。

【0052】 本揭示提出的機器人之避障控制系統及方法，通過機器人當前的定位資料檢測到有離當前定位位置的距離小於預設距離的障礙物時，根據機器人當前的定位資料、預先確定的機器人的3D模型及預先確定的該障礙物的3D模型，計算出機器人與該障礙物在三維空間的最短距離，並計算出當前機器人應運動的方向，以控制機器人的運動姿態。由於能通過機器人與障礙物在三維空間的最短距離來控制機器人的運動方向，從而實現檢測並避開機器人在三維空間中各個方向的障礙物，有效地控制機器人避障。

【圖式簡單說明】

【0053】

第1圖為本揭示機器人避障方法一實施例的流程示意圖；

第2a圖為本揭示機器人避障方法一實施例中對障礙物3D模型扇形均分的示意圖；

第2b圖為本揭示機器人避障方法一實施例中標號為k的扇形模型部分的示意圖；

第3a圖為本揭示機器人避障方法一實施例中機器人與障礙物的3D模型示意圖；

第3b圖為本揭示機器人避障方法一實施例中對立方體障礙物模型進行

扇形均分的示意圖；

第3c圖為本揭示機器人避障方法一實施例中對模型部分的篩選示意圖；

第3d圖為本揭示機器人避障方法一實施例中計算最短距離向量的示意圖；

第4圖為本揭示機器人避障方法一實施例中確定有效遮擋區域的示意圖。

第5圖為本揭示避障控制系統10較佳實施例的運行環境示意圖；以及

第6圖為本揭示避障控制系統10較佳實施例的功能模組圖。

【0054】 本揭示目的的實現、功能特點及優點將結合實施例，參照所附圖式做進一步說明。

【實施方式】

【0055】 為了使本揭示所要解決的技術問題、技術方案及有益效果更加清楚、明白，以下結合所附圖式和實施例，對本揭示進行進一步詳細說明。應當理解，此處所描述的具體實施例僅僅用以解釋本揭示，並不用於限定本揭示。

【0056】 本揭示提供一種機器人避障方法。

【0057】 參照第1圖，第1圖為本揭示機器人避障方法一實施例的流程示意圖。

【0058】 在一實施例中，該機器人避障方法包括：

【0059】 步驟S10、機器人之避障控制系統實時或者定時（例如，每隔2秒）獲取機器人當前的定位資料（例如在室內的位置、姿態等），並根據當前定位資料及預先確定的移動區域內各個障礙物的位置資料，確定當

前定位位置至目標位置路徑中是否有離當前定位位置的距離小於預設距離的障礙物。例如，可依靠機器人自身的感測器來定位並判斷與預先確定的移動區域內各個障礙物的距離，如可在機器人上安裝接近感測器（例如，超聲波、紅外、雷射等感測器）來判斷機器人當前定位位置至目標位置路徑中是否有離當前定位位置的距離小於預設距離的障礙物。

【0060】 步驟S20、若有離當前定位位置的距離小於預設距離的障礙物，則根據獲取的定位資料、預先確定的機器人的3D模型及預先確定的該障礙物的3D模型，計算出機器人與該障礙物的最短距離。

【0061】 在檢測到機器人的當前定位位置與預先確定的移動區域內各個障礙物的距離之後，若判斷沒有障礙物離當前定位位置的距離小於預設距離，則繼續沿目標位置路徑移動並實時或者定時檢測機器人與移動區域內各個障礙物的距離。若判斷有離當前定位位置的距離小於預設距離的障礙物，則根據獲取的定位資料、預先確定的機器人的3D模型及預先確定的該障礙物的3D模型計算出機器人與該障礙物的最短距離，以利用該最短距離來判斷在三維空間中機器人沿目標位置路徑移動時是否會碰撞到該障礙物，從而實現不僅能在機器人的感測器所在高度平面檢測到障礙物，還能檢測到三維空間中潛在的障礙物，以在機器人安裝有感測器的方向和機器人沒有安裝感測器的其他方向上均能檢測到三維空間中各個方向潛在的障礙物。其中，該預先確定的機器人的3D模型及移動區域內各個障礙物的3D模型可以預先儲存於機器人的儲存單元中，或者，可以由機器人通過無線通訊單元訪問物聯網系統伺服器獲取，在此不做限定。

【0062】 步驟S30、根據獲取的定位資料、計算的最短距離及該障礙

物的3D模型，計算出當前機器人應運動的方向，根據計算出的運動方向控制機器人的運動姿態，以避開三維空間中各個方向潛在的障礙物，有效控制機器人在沿目標位置路徑移動時的避障。

【0063】 本實施例通過機器人當前的定位資料檢測到有離當前定位位置的距離小於預設距離的障礙物時，根據機器人當前的定位資料、預先確定的機器人的3D模型及預先確定的該障礙物的3D模型，計算出機器人與該障礙物在三維空間的最短距離，並計算出當前機器人應運動的方向，以控制機器人的運動姿態。由於能通過機器人與障礙物在三維空間的最短距離來控制機器人的運動方向，從而實現檢測並避開機器人在三維空間中各個方向的障礙物，有效地控制機器人避障。

【0064】 進一步地，該步驟S20包括：

【0065】 步驟S201、對預先確定的機器人的3D模型及該障礙物的3D模型進行預處理。

【0066】 步驟S202、對獲取的定位資料、預處理後的機器人3D模型資料及預處理後的障礙物3D模型資料，利用預先確定的距離計算規則計算出機器人與障礙物的最短距離。

【0067】 例如，由於機器人和障礙物一般為非凸體，因此，可對機器人和障礙物的3D模型進行預處理如轉換為凸體，以便後續更加準確和快速地計算出最短距離。

【0068】 進一步地，該步驟S201中的機器人3D模型預處理包括：針對機器人的每一個關節，直接利用預先確定的算法（例如，QuickHull快速凸包算法）找出包圍各個關節的最小凸多面體，以將機器人非凸模型轉換

為凸體模型。通過上述凸處理的機器人3D模型在後續計算最短距離向量時能有效提高計算速度和計算精度。

【0069】 障礙物3D模型預處理的方式包括三種：第一種、構建非凸多面體的凸包圍盒使之轉換為凸體進行碰撞檢測；第二種、對非凸多面體進行凸分解，使非凸模型轉換為多個凸體進行碰撞檢測；第三種、對障礙物3D模型扇形均分（即扇形剖分），然後對均分後的單個扇形進行凸分解，這種先扇形均分再凸分解的方式相對於前兩種不僅計算速度更快，而且計算精度更高。

【0070】 進一步地，該對障礙物3D模型扇形均分的步驟包括：

【0071】 建立待扇形均分的障礙物3D模型的球形包圍盒，找到球形包圍盒的球心；

【0072】 設定一經過該球心的初始扇形均分平面，將該初始扇形均分平面按預設的旋轉角繞該球心進行多次旋轉，以將球形包圍盒均分為 n 個扇形部分；該球形包圍盒的 n 個扇形部分作為障礙物3D模型的 n 個模型部分。

【0073】 例如，在一種具體實施方式中，可包括如下步驟：

【0074】 X1、建立要扇形均分的障礙物3D模型 M 的球形包圍盒 B ，找到球形包圍盒 B 的球心 O ，然後在球心 O 處建立三維座標系 $Oxyz$ ；

【0075】 X2、過球心 O 做一條與三維座標系 $Oxyz$ 中 z 軸重合的直線 L ，則 xoz 平面即為初始扇形均分平面，設 xoz 平面為 α_1 ， α_1 將障礙物3D模型分為2部分；

【0076】 X3、將 α_1 繞直線 L 選擇一定角度 β （ β 代表相鄰扇形偏角）得到另外一個新平面 α_2 ，將新平面繼續旋轉 β 可以得到平面 α_3 ，旋轉 $m-1$ 次

可以得到第 m 個平面 α_n ；

【0077】 X4、設 $\beta = 180/m$ ，則 m 個平面可以把球形包圍盒 B 均分為 $2m$ 部分，障礙物3D模型即被分為 $2m$ 個模型部分。通過上述步驟可以完成對任意模型，包括非凸模型的簡單剖分，並通過哈希表進行管理剖分好的模型部分。

【0078】 進一步地，該對均分後的單個扇形進行凸分解的步驟包括：

【0079】 採用Delaunay三角剖分算法對障礙物3D模型進行表面三角剖分，產生三角面片（凸片）集合；並針對每一個三角面片構造與之對應的凸塊。例如，將厚度為零的三角面片在其平面法向量方向進行預設厚度的拉伸，變為凸塊。

【0080】 進一步地，該預先確定的距離計算規則包括：

【0081】 根據機器人當前的定位資料（如室內位置、姿態等）及預先確定的篩選算法，對障礙物3D模型扇形均分後獲得的各個模型部分進行篩選，篩選出待進行距離計算的模型部分；

【0082】 對獲取的定位資料、篩選出的模型部分，利用預先確定的距離計算算法（例如，GJK算法）計算出機器人與篩選出的模型部分的最短距離，該最短距離即為機器人與障礙物3D模型的最短距離。

【0083】 進一步地，如第2a圖、第2b圖所示，第2a圖為本揭示機器人避障方法一實施例中對障礙物3D模型扇形均分的示意圖。第2b圖為本揭示機器人避障方法一實施例中標號為 k 的扇形模型部分的示意圖。該預先確定的篩選算法包括：

【0084】 Y1、將障礙物3D模型扇形均分後獲得的 n 個模型部分分別作

為障礙物的 n 個節點，建立key-value鍵值分別是相對於初始扇形均分平面（即 xoz 平面）的旋轉角即偏角和模型幾何訊息資料的哈希表，以進行模型節點管理；

【0085】 Y2、對扇形均分獲得的各個模型部分進行標號，從1開始進行標號；均分的 n 個扇形模型部分，相鄰扇形偏角為 $\frac{360^\circ}{n}$ ，根據標號，建立於初始標號為 i 的扇形模型部分的偏角映射關係，代表該偏角映射關係的哈希函數為：

$$\text{【0086】 } Hash(i) = i * \left(\frac{360^\circ}{n}\right)$$

【0087】 其中， i 為標號為 i 的扇形模型部分， $Hash(i)$ 代表標號為 i 的扇形模型部分與障礙物座標系的 X 軸正軸的偏角；

【0088】 Y3、建立機器人的運動學，根據建立的運動學計算出機器人各個關節的位姿，從建立的哈希表中查詢出機器人附近的障礙物扇形區域。如下圖2所示；當機器人在運動過程中，通過機器人運動學，運動學方程為：

$$\text{【0089】 } T_i = A_0 A_1 A_2 \cdots A_{i-1} A_i$$

【0090】 其中， A_k ($k=1,2,\dots,i$) 為機器人關節座標系之間的齊次變換矩陣（可以通過機器人各關節的D-H參數確定）， A_0 表示機器人當前位置矩陣（與機器人當前定位資料對應）， T_i 為第 i 個關節相對於機器人座標系的位姿；

【0091】 通過 T_i 計算出機器人運動過程中各個關節局部座標系原點座標的實時更新值 $Q_i(x,y,z)$ ，進一步可以得到關節在障礙物座標系下的偏角 α ：

$$\text{【0092】 } \alpha = f(Q_i(x, y, z))$$

【0093】 其中， $Q_i(x, y, z)$ 表示機器人關節在機器人座標系下的座標；

T_r 表示機器人座標系變換到障礙物座標系的變換矩陣（為4*4的矩陣，機器人座標系和障礙物座標系已確定，該矩陣可以直接計算出來），則機器人關節在障礙物座標系下的座標 $Q_i(x_t, y_t, z_t)$ 為：

$$\text{【0094】 } Q_i(x_t, y_t, z_t) = T_r Q_i(x, y, z)$$

【0095】 假定障礙物座標系Z軸正向朝上，遵循右手座標系，設關節在障礙物座標系下的偏角為 α ，則

$$\text{【0096】 } \tan(\alpha) = \frac{y_t}{x_t}$$

【0097】 向求解三角函數即可得到關節在障礙物座標系下的偏角為 α ，獲取到偏角 α 之後，即可根據代表該偏角映射關係的哈希函數 $Hash(i)$ 計算得到對應標號的扇形模型部分，並基於對應標號的模型部分篩選出待進行距離計算的模型部分。例如，計算得到的扇形模型部分的標號為 k ，則可選取標號在 $[k - M, k + N]$ 範圍內的扇形模型部分進行最短距離計算。其中 M 、 N 為一預設數值，以選取標號為 k 的扇形模型部分附近的多個扇形模型部分作為待進行最短距離計算的模型部分。

【0098】 如第3a圖所示，第3a圖為本揭示機器人避障方法一實施例中機器人與障礙物的3D模型示意圖。在一種具體實施方式中，機器人採用只有底盤的運動、沒有手臂等其他運動關節的機器人，機器人3D模型採用高為1500mm，運動底盤半徑為320mm的機器人3D模型，障礙物3D模型採用一個簡單立方體模型，尺寸為2200mm*2200mm*1000mm，在障礙物模型座

標系下機器人當前的座標為(1800,-100)。

【0099】 第3b圖為本揭示機器人避障方法一實施例中對立方體障礙物模型進行扇形均分的示意圖。對障礙物模型進行預處理中，預處理主要是對障礙物模型進行扇形均分，如第3b圖所示，障礙物模型被扇形均分為32份，從X軸逆時針對扇形均分的模型部分進行編號，1,2，...，15,16，...，31,32；每一個模型塊的夾角為： $360/32=11.25$ 度，可以看出，編號1模型塊與X軸正向偏角11.25度，編號2模型塊與X軸正向偏角 $11.25*2=22.5$ 度，編號為i的模型塊與X軸正向偏角： $i*(360/32)$ 。

【0100】 第3c圖為本揭示機器人避障方法一實施例中對模型部分的篩選示意圖。在對模型部分的篩選過程中，因本實施例採用的機器人只有底盤的運動，沒有手臂等其他運動關節，所以底盤位姿代表機器人的整體位姿，當前機器人的位置為(1800，-100)（相對於障礙物座標系下座標），可以計算出機器人與障礙物座標系的X軸正軸的偏角為354度；進而電腦器人對應扇形模型部分的標號為 $354/11.25=31.5$ ，向上取整得到32，所以待進行距離計算的對應扇形塊編號32，也就是說機器人離編號為32的障礙物塊最近。接下來選取K=32附近的障礙物塊，採用GJK計算與機器人之間的最短距離及最短距離點；選取M=1，N=2，則得到障礙物塊範圍是[31,34]，編號超過32的需要做簡單轉換，33轉換為對應編號為1的障礙物塊，34轉換為對應編號為2的障礙物塊；如第3c圖所示，最終選取編號是31,32,1,2的障礙物塊進行最短距離計算。

【0101】 第3d圖為本揭示機器人避障方法一實施例中計算最短距離向量的示意圖。在計算最短距離時，通過上述處理，已縮小障礙物塊的範圍(1,2,31,32)，直接採用GJK算法計算出機器人與障礙物間的最短距離點，

如第3d圖所示，分別為障礙物上的點 $(x_1, y_1, z_1) = (1100, -100, -235)$ ，機器人上的點 $(x_2, y_2, z_2) = (1477, -100, -235)$ ；則機器人與障礙物之間的最短距離向量 $\vec{d} = (x_2 - x_1, y_2 - y_1, z_2 - z_1) = (377, 0, 0)$ 。

【0102】 進一步地，該步驟S30包括：

【0103】 機器人之避障控制系統根據計算的最短距離分析是否需要避障；如若計算的最短距離大於預設距離閾值，則確定不需要避障，或者，若計算的最短距離小於或者等於預設距離閾值，則確定需要避障。若確定需要避障，則機器人之避障控制系統根據獲取的定位資料、計算的最短距離及該障礙物的3D模型，計算出當前機器人應運動的方向，並根據計算出的運動方向控制機器人的運動姿態。

【0104】 進一步地，該根據獲取的定位資料、計算的最短距離及該障礙物的3D模型，計算出當前機器人應運動的方向的步驟包括：

【0105】 將機器人及該障礙物投影到同一座標系平面中；

【0106】 根據預先確定的投影分析規則及障礙物3D模型投影到該座標系平面的投影區域外輪廓各個點的座標，計算出該障礙物的投影相對於機器人當前位置及目標位置有效遮擋區域的面積；

【0107】 根據計算的最短距離及有效遮擋區域的面積確定出第一預設類型避障參數（例如，虛擬斥力），根據目標點位置與機器人當前定位位置的距離確定出第二預設類型避障參數（例如，虛擬引力），根據第一預設類型避障參數及第二預設類型避障參數確定出機器人當前應運動的方向。

【0108】 進一步地，如第4圖所示，第4圖為本揭示機器人避障方法一實施例中確定有效遮擋區域的示意圖。該預先確定的投影分析規則為：

【0109】 設座標系平面的 P_1 位置點表示機器人所在位置即當前定位位置， P_2 位置點表示目標點所在位置即目標位置，投影區域 P_3 表示障礙物

3D模型在座標系平面中的投影，並在座標系平面中連接 $P_1 P_2$ ，得到一條直線 J ；

【0110】 若直線 J 與投影區域 $P3$ 沒有交點或者交點只有一個，則確定不存在有效遮擋區域；

【0111】 若直線 J 與投影區域 $P3$ 的交點個數大於1，則直線 J 將投影分割為兩部分（如第4圖所示的 S_1 區域和 S_2 區域），在投影區域 $P3$ （例如 S_1 或 S_2 區域中）中任意找一點 P_s ，過 P_s 作直線 J 的垂線，垂線與直線 J 的交點為 P_j ，進而得到向量 $\overrightarrow{P_j P_s} = P_j - P_s$ ，計算最短距離的向量 \vec{d} 與向量 $\overrightarrow{P_j P_s}$ 的夾角 θ ，若 θ 是銳角，則確定 P_s 點所在區域為有效遮擋區域（例如，第4圖中有效遮擋投影區域 S_2 ），或者，若 θ 不是銳角，則確定 P_s 點所在區域不是有效遮擋區域。

【0112】 進一步地，該第一預設類型避障參數為虛擬斥力，該第二預設類型避障參數為虛擬引力，該根據計算的最短距離及有效遮擋區域的面積確定出第一預設類型避障參數，根據目標位置與機器人當前定位位置的距離確定出第二預設類型避障參數，根據該第一預設類型避障參數及該第二預設類型避障參數確定出機器人當前應運動的方向的步驟包括：

【0113】 對計算的最短距離和有效遮擋投影區域的面積，利用第一計算規則計算出作用在機器人上的一個虛擬斥力；

【0114】 對當前定位位置與目標點位置的距離，利用第二計算規則計算出作用在機器人上的一個虛擬引力；

【0115】 計算出該虛擬引力和虛擬斥力的合力方向，該合力方向即為機器人當前應運動的方向。

【0116】 進一步地，該第一計算規則為：

【0117】 設定機器人與障礙物的最短距離的向量為 \vec{d} ，有效遮擋區域

的面積用符號 s 表示， \vec{F}_r 是障礙物對機器人的虛擬斥力， \vec{F}_r 通過最短距離向量 \vec{d} 和有效遮擋面積 s 計算，計算公式如下：

$$\text{【0118】 } \vec{F}_r = f(\vec{d}, s)$$

【0119】 $f(\vec{d}, s)$ 表示最短距離向量和有效遮擋區域的面積轉換為障礙物對機器人虛擬排斥力的關係式。該關係式的實現可以有多种方法，在一種可選的實施例中，該關係式為：

$$\text{【0120】 } F_r = f(d, s) = \begin{cases} 0 & d > d_0 \\ \frac{k_r}{d} + b_r & d \leq d_0, s \leq s_0 \\ \frac{k_r}{d} * \frac{s}{s_0} + b_r & d \leq d_0, s > s_0 \end{cases}$$

【0121】 其中， k_r 、 b_r 表示預設的虛擬斥力係數， s_0 表示預設的有效遮擋區域面積閾值， $s_0 > 0$ ； d_0 表示預設的距離閾值， $d_0 > 0$ ；虛擬斥力方向與最短距離方向相同。

【0122】 依據上述關係式，當機器人與障礙物距離較遠，超過設定的距離閾值 d_0 時不進行避障， \vec{F}_r 的大小為 0；進入避障距離範圍內（最短距離小於 d_0 ），當有效遮擋區域的面積 s 比較大，超過設定的值 s_0 時， $\frac{s}{s_0} > 1$ ，會使 \vec{F}_r 變大，距離較遠時就可以進行避障，提前避障，以繞開較大的障礙物。

【0123】 進一步地，該第二計算規則為：

【0124】 \vec{F}_i 是目標位置對機器人的虛擬引力， \vec{F}_i 大小計算公式為： $F_i = k_i * d_i$ ，其中 k_i 表示預設的引力係數， d_i 表示目標位置與機器人當前定位位置的距離， \vec{F}_i 方向朝向目標位置。

【0125】 本揭示進一步提供一種機器人之避障控制系統。

【0126】 請參閱第 5 圖，是本揭示避障控制系統 10 較佳實施例的運行環境示意圖。

【0127】 在本實施例中，所述的避障控制系統10安裝並運行於機器人1中。該機器人1可包括，但不僅限於，儲存器11、處理器12及顯示器13。第1圖僅示出了具有組件11-13的機器人1，但是應理解的是，並不要求實施所有示出的組件，可以替代的實施更多或者更少的組件。

【0128】 該儲存器11在一些實施例中可以是該機器人1的內部儲存單元，例如該機器人1的硬碟或記憶體。該儲存器11在另一些實施例中也可以是該機器人1的外部儲存設備，例如該機器人1上配備的插接式硬碟，智慧型儲存卡（Smart Media Card, SMC），安全數位（Secure Digital, SD）卡，閃卡（Flash Card）等。進一步地，該儲存器11還可以既包括該機器人1的內部儲存單元也包括外部儲存設備。該儲存器11用於儲存安裝於該機器人1的應用軟體及各類資料，例如該避障控制系統10的程式代碼等。該儲存器11還可以用於暫時地儲存已經輸出或者將要輸出的資料。

【0129】 該處理器12在一些實施例中可以是一中央處理器（Central Processing Unit, CPU），微處理器或其他資料處理晶片，用於運行該儲存器11中儲存的程式代碼或處理資料，例如執行該避障控制系統10等。

【0130】 該顯示器13在一些實施例中可以是LED顯示器、液晶顯示器、觸控式液晶顯示器以及OLED（Organic Light-Emitting Diode，有機發光二極體）觸控裝置等。該顯示器13用於顯示在該機器人1中處理的訊息以及用於顯示可視化的用戶介面，例如應用菜單介面、應用圖標介面等。該機器人1的部件11-13通過系統總線相互通訊。

【0131】 請參閱第6圖，是本揭示避障控制系統10較佳實施例的功能模組圖。在本實施例中，所述的避障控制系統10可以被分割成一個或多個模組，該一個或者多個模組被儲存於該儲存器11中，並由一個或多個處理器（本實施例為該處理器12）所執行，以完成本揭示。例如，在第6圖中，

該避障控制系統10可以被分割成確定模組01、計算模組02、控制模組03。本揭示所稱的模組是指能夠完成特定功能的一系列電腦程式指令段，比程式更適合於描述該避障控制系統10在該機器人1中的執行過程。以下描述將具體介紹該確定模組01、計算模組02、控制模組03的功能。

【0132】 該確定模組01，用於實時或者定時（例如，每隔2秒）獲取機器人當前的定位資料（例如在室內的位置、姿態等），並根據當前定位資料及預先確定的移動區域內各個障礙物的位置資料，確定當前定位位置至目標位置路徑中是否有離當前定位位置的距離小於預設距離的障礙物。例如，可依靠機器人自身的感測器來定位並判斷與預先確定的移動區域內各個障礙物的距離，如可在機器人上安裝接近感測器（例如，超聲波、紅外、雷射等感測器）來判斷機器人當前定位位置至目標位置路徑中是否有離當前定位位置的距離小於預設距離的障礙物。

【0133】 該計算模組02，用於若有離當前定位位置的距離小於預設距離的障礙物，則根據獲取的定位資料、預先確定的機器人的3D模型及預先確定的該障礙物的3D模型，計算出機器人與該障礙物的最短距離。

【0134】 在檢測到機器人的當前定位位置與預先確定的移動區域內各個障礙物的距離之後，若判斷沒有障礙物離當前定位位置的距離小於預設距離，則繼續沿目標位置路徑移動並實時或者定時檢測機器人與移動區域內各個障礙物的距離。若判斷有離當前定位位置的距離小於預設距離的障礙物，則根據獲取的定位資料、預先確定的機器人的3D模型及預先確定的該障礙物的3D模型計算出機器人與該障礙物的最短距離，以利用該最短距離來判斷在三維空間中機器人沿目標位置路徑移動時是否會碰撞到該障礙物，從而實現不僅能在機器人的感測器所在高度平面檢測到障礙物，還能檢測到三維空間中潛在的障礙物，以在機器人安裝有感測器的方向和機

器人沒有安裝感測器的其他方向上均能檢測到三維空間中各個方向潛在的障礙物。其中，該預先確定的機器人的3D模型及移動區域內各個障礙物的3D模型可以預先儲存於機器人的儲存單元中，或者，可以由機器人通過無線通訊單元訪問物聯網系統伺服器獲取，在此不做限定。

【0135】 該控制模組03，用於根據獲取的定位資料、計算的最短距離及該障礙物的3D模型，計算出當前機器人應運動的方向，根據計算出的運動方向控制機器人的運動姿態，以避開三維空間中各個方向潛在的障礙物，有效控制機器人在沿目標位置路徑移動時的避障。

【0136】 本實施例通過機器人當前的定位資料檢測到有離當前定位位置的距離小於預設距離的障礙物時，根據機器人當前的定位資料、預先確定的機器人的3D模型及預先確定的該障礙物的3D模型，計算出機器人與該障礙物在三維空間的最短距離，並計算出當前機器人應運動的方向，以控制機器人的運動姿態。由於能通過機器人與障礙物在三維空間的最短距離來控制機器人的運動方向，從而實現檢測並避開機器人在三維空間中各個方向的障礙物，有效地控制機器人避障。

【0137】 進一步地，上述計算模組02還用於：

【0138】 對預先確定的機器人的3D模型及該障礙物的3D模型進行預處理；對獲取的定位資料、預處理後的機器人3D模型資料及預處理後的障礙物3D模型資料，利用預先確定的距離計算規則計算出機器人與障礙物的最短距離。

【0139】 例如，由於機器人和障礙物一般為非凸體，因此，可對機器人和障礙物的3D模型進行預處理如轉換為凸體，以便後續更加準確和快速地計算出最短距離。

【0140】 進一步地，上述計算模組02還用於：針對機器人的每一個關

節，直接利用預先確定的算法（例如，QuickHull快速凸包算法）找出包圍各個關節的最小凸多面體，以將機器人非凸模型轉換為凸體模型。通過上述凸處理的機器人3D模型在後續計算最短距離向量時能有效提高計算速度和計算精度。

【0141】 障礙物3D模型預處理的方式包括三種：第一種、構建非凸多面體的凸包圍盒使之轉換為凸體進行碰撞檢測；第二種、對非凸多面體進行凸分解，使非凸模型轉換為多個凸體進行碰撞檢測；第三種、對障礙物3D模型扇形均分（即扇形剖分），然後對均分後的單個扇形進行凸分解，這種先扇形均分再凸分解的方式相對於前兩種不僅計算速度更快，而且計算精度更高。

【0142】 進一步地，上述計算模組02還用於：

【0143】 建立待扇形均分的障礙物3D模型的球形包圍盒，找到球形包圍盒的球心；設定一經過該球心的初始扇形均分平面，將該初始扇形均分平面按預設的旋轉角繞該球心進行多次旋轉，以將球形包圍盒均分為 n 個扇形部分；該球形包圍盒的 n 個扇形部分作為障礙物3D模型的 n 個模型部分。

【0144】 例如，在一種具體實施方式中，可包括如下步驟：

【0145】 X1、建立要扇形均分的障礙物3D模型 M 的球形包圍盒 B ，找到球形包圍盒 B 的球心 O ，然後在球心 O 處建立三維座標系 $Oxyz$ ；

【0146】 X2、過球心 O 做一條與三維座標系 $Oxyz$ 中 z 軸重合的直線 L ，則 xoz 平面即為初始扇形均分平面，設 xoz 平面為 α_1 ， α_1 將障礙物3D模型分為2部分；

【0147】 X3、將 α_1 繞直線 L 選擇一定角度 β （ β 代表相鄰扇形偏角）得到另外一個新平面 α_2 ，將新平面繼續旋轉 β 可以得到平面 α_3 ，旋轉 $m-1$ 次可以得到第 m 個平面 α_n ；

【0148】 X4、設 $\beta = 180/m$ ，則m個平面可以把球形包圍盒B均分為2m部分，障礙物3D模型即被分為2m個模型部分。通過上述步驟可以完成對任意模型，包括非凸模型的簡單剖分，並通過哈希表進行管理剖分好的模型部分。

【0149】 進一步地，上述計算模組02還用於：

【0150】 採用Delaunay三角剖分算法對障礙物3D模型進行表面三角剖分，產生三角面片（凸片）集合；並針對每一個三角面片構造與之對應的凸塊。例如，將厚度為零的三角面片在其平面法向量方向進行預設厚度的拉伸，變為凸塊。

【0151】 進一步地，該預先確定的距離計算規則包括：

【0152】 根據機器人當前的定位資料（如室內位置、姿態等）及預先確定的篩選算法，對障礙物3D模型扇形均分後獲得的各個模型部分進行篩選，篩選出待進行距離計算的模型部分；

【0153】 對獲取的定位資料、篩選出的模型部分，利用預先確定的距離計算算法（例如，GJK算法）計算出機器人與篩選出的模型部分的最短距離，該最短距離即為機器人與障礙物3D模型的最短距離。

【0154】 進一步地，如第2a圖、第2b圖所示，該預先確定的篩選算法包括：

【0155】 Y1、將障礙物3D模型扇形均分後獲得的n個模型部分分別作為障礙物的n個節點，建立key-value鍵值分別是相對於初始扇形均分平面（即xoz平面）的旋轉角即偏角和模型幾何訊息資料的哈希表，以進行模型節點管理；

【0156】 Y2、對扇形均分獲得的各個模型部分進行標號，從1開始進行標號；均分的n個扇形模型部分，相鄰扇形偏角為 $360/n$ ，根據標號，建

立於初始標號為*i*的扇形模型部分的偏角映射關係，代表該偏角映射關係的哈希函數為：

$$\text{【0157】 } Hash(i) = i * \left(\frac{360^\circ}{n} \right)$$

【0158】 其中，*i*為標號為*i*的扇形模型部分， $Hash(i)$ 代表標號為*i*的扇形模型部分與障礙物座標系的X軸正軸的偏角；

【0159】 Y3、建立機器人的運動學，根據建立的運動學計算出機器人各個關節的位姿，從建立的哈希表中查詢出機器人附近的障礙物扇形區域。如下圖2所示；當機器人在運動過程中，通過機器人運動學，運動學方程為：

$$\text{【0160】 } T_i = A_0 A_1 A_2 \cdots A_{i-1} A_i$$

【0161】 其中， A_k ($k=1,2,\dots,i$) 為機器人關節座標系之間的齊次變換矩陣（可以通過機器人各關節的D-H參數確定）， A_0 表示機器人當前位置矩陣（與機器人當前定位資料對應）， T_i 為第*i*個關節相對於機器人座標系的位姿；

【0162】 通過 T_i 計算出機器人運動過程中各個關節局部座標系原點座標的實時更新值 $Q_i(x,y,z)$ ，進一步可以得到關節在障礙物座標系下的偏角 α ：

$$\text{【0163】 } \alpha = f(Q_i(x,y,z))$$

【0164】 其中， $Q_i(x,y,z)$ 表示機器人關節在機器人座標系下的座標； T_r 表示機器人座標系變換到障礙物座標系的變換矩陣（為4*4的矩陣，機器人座標系和障礙物座標系已確定，該矩陣可以直接計算出來），則機器人關節在障礙物座標系下的座標 $Q_i(x_t, y_t, z_t)$ 為：

$$\text{【0165】 } Q_i(x_t, y_t, z_t) = T_r Q_i(x, y, z)$$

【0166】 假定障礙物座標系Z軸正向朝上，遵循右手座標系，設關節

在障礙物座標系下的偏角為 α ，則

$$\text{【0167】} \quad \tan(\alpha) = \frac{y_t}{x_t}$$

【0168】 向求解三角函數即可得到關節在障礙物座標系下的偏角為 α ，獲取到偏角 α 之後，即可根據代表該偏角映射關係的哈希函數 $Hash(i)$ 計算得到對應標號的扇形模型部分，並基於對應標號的模型部分篩選出待進行距離計算的模型部分。例如，計算得到的扇形模型部分的標號為 k ，則可選取標號在 $[k-M, k+N]$ 範圍內的扇形模型部分進行最短距離計算。其中 M 、 N 為一預設數值，以選取標號為 k 的扇形模型部分附近的多個扇形模型部分作為待進行最短距離計算的模型部分。

【0169】 如第3a圖所示，在一種具體實施方式中，機器人採用只有底盤的運動、沒有手臂等其他運動關節的機器人，機器人3D模型採用高為1500mm，運動底盤半徑為320mm的機器人3D模型，障礙物3D模型採用一個簡單立方體模型，尺寸為2200mm*2200mm*1000mm，在障礙物模型座標系下機器人當前的座標為(1800,-100)。

【0170】 對障礙物模型進行預處理中，預處理主要是對障礙物模型進行扇形均分，如第3b圖所示，障礙物模型被扇形均分為32份，從X軸逆時針對扇形均分的模型部分進行編號，1,2, ..., 15,16, ..., 31,32；每一個模型塊的夾角為： $360/32=11.25$ 度，可以看出，編號1模型塊與X軸正向偏角11.25度，編號2模型塊與X軸正向偏角 $11.25*2=22.5$ 度，編號為 i 的模型塊與X軸正向偏角： $i*(360/32)$ 。

【0171】 在對模型部分的篩選過程中，因本實施例採用的機器人只有底盤的運動，沒有手臂等其他運動關節，所以底盤位姿代表機器人的整體位姿，當前機器人的位置為(1800, -100)（相對於障礙物座標系下座標），可以計算出機器人與障礙物座標系的X軸正軸的偏角為354度；進而電腦器

人對應扇形模型部分的標號為 $354/11.25=31.5$ ，向上取整得到32，所以待進行距離計算的對應扇形塊編號32，也就是說機器人離編號為32的障礙物塊最近。

【0172】 接下來選取 $K=32$ 附近的障礙物塊，採用GJK計算與機器人之間的最短距離及最短距離點；選取 $M=1$ ， $N=2$ ，則得到障礙物塊範圍是 $[31,34]$ ，編號超過32的需要做簡單轉換，33轉換為對應編號為1的障礙物塊，34轉換為對應編號為2的障礙物塊；如第3c圖所示，最終選取編號是31,32,1,2的障礙物塊進行最短距離計算。

【0173】 在計算最短距離時，通過上述處理，已縮小障礙物塊的範圍 $(1,2,31,32)$ ，直接採用GJK算法計算出機器人與障礙物間的最短距離點，如第3d圖所示，分別為障礙物上的點 $(x_1, y_1, z_1)=(1100, -100, -235)$ ，機器人上的點 $(x_2, y_2, z_2)=(1477, -100, -235)$ ；則機器人與障礙物之間的最短距離向量 $\vec{d} = (x_2 - x_1, y_2 - y_1, z_2 - z_1) = (377, 0, 0)$ 。

【0174】 進一步地，上述控制模組03還用於：

【0175】 根據計算的最短距離分析是否需要避障；如若計算的最短距離大於預設距離閾值，則確定不需要避障，或者，若計算的最短距離小於或者等於預設距離閾值，則確定需要避障。若確定需要避障，則根據獲取的定位資料、計算的最短距離及該障礙物的3D模型，計算出當前機器人應運動的方向，並根據計算出的運動方向控制機器人的運動姿態。

【0176】 進一步地，上述控制模組03還用於：

【0177】 將機器人及該障礙物投影到同一座標系平面中；

【0178】 根據預先確定的投影分析規則及障礙物3D模型投影到該座標系平面的投影區域外輪廓各個點的座標，計算出該障礙物的投影相對於機器人當前位置及目標位置有效遮擋區域的面積；

【0179】 根據計算的最短距離及有效遮擋區域的面積確定出第一預設類型避障參數（例如，虛擬斥力），根據目標點位置與機器人當前定位位置的距離確定出第二預設類型避障參數（例如，虛擬引力），根據第一預設類型避障參數及第二預設類型避障參數確定出機器人當前應運動的方向。

【0180】 進一步地，如第4圖所示，該預先確定的投影分析規則為：

【0181】 設座標系平面的 P_1 位置點表示機器人所在位置即當前定位位置， P_2 位置點表示目標點所在位置即目標位置，投影區域P3表示障礙物3D模型在座標系平面中的投影，並在座標系平面中連接 $P_1 P_2$ ，得到一條直線 J ；

【0182】 若直線 J 與投影區域P3沒有交點或者交點只有一個，則確定不存在有效遮擋區域；

【0183】 若直線 J 與投影區域P3的交點個數大於1，則直線 J 將投影分割為兩部分（如第4圖所示的 S_1 區域和 S_2 區域），在投影區域P3（例如 S_1 或 S_2 區域中）中任意找一點 P_s ，過 P_s 作直線 J 的垂線，垂線與直線 J 的交點為 P_j ，進而得到向量 $\overrightarrow{P_j P_s} = P_j - P_s$ ，計算最短距離的向量 \vec{d} 與向量 $\overrightarrow{P_j P_s}$ 的夾角 θ ，若 θ 是銳角，則確定 P_s 點所在區域為有效遮擋區域（例如，第4圖中有效遮擋投影區域 S_2 ），或者，若 θ 不是銳角，則確定 P_s 點所在區域不是有效遮擋區域。

【0184】 進一步地，該第一預設類型避障參數為虛擬斥力，該第二預設類型避障參數為虛擬引力，上述控制模組03還用於：

【0185】 對計算的最短距離和有效遮擋投影區域的面積，利用第一計算規則計算出作用在機器人上的一個虛擬斥力；

【0186】 對當前定位位置與目標點位置的距離，利用第二計算規則計算出作用在機器人上的一個虛擬引力；

【0187】 計算出該虛擬引力和虛擬斥力的合力方向，該合力方向即為機器人當前應運動的方向。

【0188】 進一步地，該第一計算規則為：

【0189】 設定機器人與障礙物的最短距離的向量為 \vec{d} ，有效遮擋區域的面積用符號 S 表示， \vec{F}_r 是障礙物對機器人的虛擬斥力， \vec{F}_r 通過最短距離向量 \vec{d} 和有效遮擋面積 S 計算，計算公式如下：

$$\text{【0190】 } \vec{F}_r = f(\vec{d}, S)$$

【0191】 $f(\vec{d}, S)$ 表示最短距離向量和有效遮擋區域的面積轉換為障礙物對機器人虛擬排斥力的關係式。該關係式的實現可以有多種方法，在一種可選的實施例中，該關係式為：

$$\text{【0192】 } F_r = f(d, s) = \begin{cases} 0 & d > d_0 \\ \frac{k_r}{d} + b_r & d \leq d_0, s \leq s_0 \\ \frac{k_r}{d} * \frac{s}{s_0} + b_r & d \leq d_0, s > s_0 \end{cases}$$

【0193】 其中， k_r 、 b_r 表示預設的虛擬斥力係數， s_0 表示預設的有效遮擋區域面積閾值， $s_0 > 0$ ； d_0 表示預設的距離閾值， $d_0 > 0$ ；虛擬斥力方向與最短距離方向相同。

【0194】 依據上述關係式，當機器人與障礙物距離較遠，超過設定的距離閾值 d_0 時不進行避障， \vec{F}_r 的大小為0；進入避障距離範圍內（最短距離小於 d_0 ），當有效遮擋區域的面積 s 比較大，超過設定的值 s_0 時， $\frac{s}{s_0} > 1$ ，會使 \vec{F}_r 變大，距離較遠時就可以進行避障，提前避障，以繞開較大的障礙物。

【0195】 進一步地，該第二計算規則為：

【0196】 \vec{F}_i 是目標位置對機器人的虛擬引力， \vec{F}_i 大小計算公式為： $F_i = k_i * d_i$ ，其中 k_i 表示預設的引力係數， d_i 表示目標位置與機器人當前定位

位置的距離， \vec{F}_i 方向朝向目標位置。

【0197】 需要說明的是，在本文中，術語「包括」、「包含」或者任何其他變體意在涵蓋非排他性的包含，從而使得包括一系列要素的過程、方法、物品或者裝置不僅包括那些要素，而且還包括沒有明確列出的其他要素，或者是還包括為這種過程、方法、物品或者裝置所固有的要素。在沒有更多限制的情況下，由語句「包括一個……」限定的要素，並不排除在包括該要素的過程、方法、物品或者裝置中還存在另外的相同要素。

【0198】 通過以上的實施方式的描述，所屬領域具有通常知識者可以清楚地瞭解到上述實施例方法可借助軟體加必需的通用硬體平臺的方式來實現，當然也可以通過硬體來實現，但很多情況下前者是更佳的實施方式。基於這樣的理解，本揭示的技術方案本質上或者說對習知技術做出貢獻的部分可以以軟體產品的形式體現出來，該電腦軟體產品儲存在一個儲存介質（如ROM/RAM、磁碟、光碟）中，包括若干指令用以使得一台終端設備（可以是手機，電腦，伺服器，空調器，或者網路設備等）執行本揭示各個實施例所述的方法。

【0199】 以上參照所附圖式說明了本揭示的較佳實施例，並非因此局限本揭示的權利範圍。上述本揭示實施例序號僅僅為了描述，不代表實施例的優劣。另外，雖然在流程圖中示出了邏輯順序，但是在某些情況下，可以以不同於此處的順序執行所示出或描述的步驟。

【0200】 所屬領域具有通常知識者不脫離本揭示的範圍和實質，可以有各種變型方案實現本揭示，比如作為一個實施例的特徵可用於另一實施例而得到又一實施例。凡在運用本揭示的技術構思之內所作的任何修改、等同替換和改進，均應在本揭示的申請專利範圍之內。

【符號說明】

【0201】

S10~S30 步驟

1、2、3、4、8、16、24、31、32、 $i-1$ 、 i 、 $i+1$ 、 $i+2$ 、 $n-2$ 、 $n-1$ 、 n 扇形模型部分的對應標號

X、Y、Z 座標

O 座標系原點

 S_1 、 S_2 面積

J 直線

 P_1 、 P_2 、 (x_1, y_1, z_1) 、 (x_2, y_2, z_2) 點 \vec{d} 向量

1 機器人

10 避障控制系統

11 儲存器

12 處理器

13 顯示器

01 確定模組

02 計算模組

03 控制模組

 α 偏角

I662388

發明摘要

※ 申請案號：106135246

※ 申請日：106/10/13

※IPC 分類：

G05D 1/02 (2006.01)

【發明名稱】(中文/英文)

機器人之避障控制系統及方法/ OBSTACLE AVOIDANCE CONTROL
SYSTEM AND METHOD FOR A ROBOT

【中文】

本揭示公開了一種機器人之避障控制系統及方法，該方法包括：獲取機器人當前的定位資料，並根據當前定位資料及預先確定的移動區域內各個障礙物的位置資料，確定當前定位位置至目標位置路徑中是否有離當前定位位置的距離小於預設距離的障礙物；若有離當前定位位置的距離小於預設距離的障礙物，則根據獲取的定位資料、預先確定的機器人的3D模型及預先確定的該障礙物的3D模型，計算出機器人與該障礙物的最短距離，進而計算出當前機器人應運動的方向，並依此控制機器人的運動姿態，以避開障礙物。本揭示能有效地控制機器人避障。

【英文】

The present disclosure provides an obstacle avoidance control system and method for a robot, the method includes: acquiring a current position data of the robot, determining whether a distance between an obstacle on an object path and the current position is less than a predefined distance or not based on the current position data and each predetermined position data of each obstacle in a

predetermined moving area, the object path is the path from the current position to an object position of the robot; calculating a minimum distance between an obstacle and the robot if the distance between the obstacle and the current position is less than the predefined distance based on the current position data, a predetermined 3D model of the robot, and a predetermined 3D model of the obstacle, thereby analyzing an effectual moving direction of the robot, and controlling movement postures of the robot according to the analyzed effectual moving direction, so that to keep the robot away from the obstacle. The invention can effectively control the robot to free move.

【代表圖】

【本案指定代表圖】：第（ 1 ）圖。

【本代表圖之符號簡單說明】：

S10~S30 步驟

【本案若有化學式時，請揭示最能顯示發明特徵的化學式】：

申請專利範圍

1、一種機器人之避障控制系統，包括：

一確定模組，用於實時或者定時獲取一機器人之一當前定位資料，並根據該當前定位資料及一預先確定的移動區域內各個障礙物的位置資料，確定一當前定位位置至一目標位置路徑中是否有離該當前定位位置的距離小於一預設距離的障礙物；

一計算模組，用於若有離該當前定位位置的距離小於該預設距離的該障礙物，則根據一獲取的定位資料、預先確定的該機器人的 3D 模型及預先確定的該障礙物的 3D 模型，計算出該機器人與該障礙物的一最短距離；

一控制模組，用於根據該獲取的定位資料、計算的該最短距離及該障礙物的 3D 模型，計算出當前該機器人應運動的方向，根據計算出的運動方向控制該機器人的運動姿態，以避開該障礙物，其中該計算模組還用於：

對該預先確定的該機器人的 3D 模型及該障礙物的 3D 模型進行預處理，針對該機器人的每一個關節，利用預先確定的算法找出包圍各個關節的最小凸多面體，以將該機器人的一非凸模型轉換為一凸體模型；對該障礙物 3D 模型扇形均分，並對均分後的單個扇形進行凸分解；對該獲取的定位資料、預處理後的機器人 3D 模型資料及預處理後的該障礙物 3D 模型資料，利用預先確定的距離計算規則計算出該機器人與該障礙物的該最短距離。

2、如申請專利範圍第 1 項所述的機器人之避障控制系統，其中該計算模組還用於：

建立一待扇形均分的該障礙物 3D 模型的球形包圍盒，找到該球形包圍盒的球心；設定一經過該球心的一初始扇形均分平面，將該初始扇形均分平面按一預設的旋轉角繞該球心進行多次旋轉，以將該球形包圍盒均分為 n 個扇形部分；該球形包圍盒的該 n 個扇形部分作為該障礙物 3D 模型的 n 個

模型部分。

3、如申請專利範圍第 1 項或第 2 項其中之一項所述的機器人之避障控制系統，其中該預先確定的距離計算規則包括：

根據該機器人之該當前定位資料及預先確定的篩選算法，對該障礙物 3D 模型扇形均分後獲得的各個模型部分進行篩選，篩選出待進行距離計算的模型部分；

對該獲取的定位資料、篩選出的模型部分，利用預先確定的距離計算法計算出該機器人與該篩選出的模型部分的最短距離，該最短距離為該機器人與該障礙物的最短距離；

該預先確定的篩選算法包括：

將該障礙物 3D 模型的 n 個模型部分分別作為該障礙物的 n 個節點，建立鍵值為相對於初始扇形均分平面的偏角的哈希表，以進行模型節點管理；

對各個模型部分進行標號，根據標號，建立標號為 i 的模型部分的偏角映射關係，定義該偏角映射關係的哈希函數為：

$$Hash(i) = i * \left(\frac{360^\circ}{n} \right)$$

其中， $Hash(i)$ 代表標號為 i 的扇形模型部分與障礙物座標系的 X 軸正軸的偏角；

建立該機器人的運動學方程，根據建立的該運動學方程計算出該機器人各個關節的位姿，該運動學方程為：

$$T_i = A_0 A_1 A_2 \cdots A_{i-1} A_i$$

其中， A_k ($k=1,2,\dots,i$) 為機器人關節座標系之間的齊次變換矩陣， A_0 為機器人當前位置矩陣， T_i 為第 i 個關節相對於機器人座標系的位姿；

通過 T_i 計算出機器人運動過程中各個關節在該機器人座標系下的座標 $Q_i(x, y, z)$ ，並計算出該機器人座標系變換到該障礙物座標系的變換矩陣 T_r ，則機器人關節在該障礙物座標系下的座標 $Q_i(x_r, y_r, z_r)$ 為：

$$Q_i(x_i, y_i, z_i) = T_i Q_i(x, y, z)$$

通過如下公式得到關節在該障礙物座標系下的偏角 α :

$$\tan(\alpha) = \frac{y_i}{x_i}$$

根據偏角 α 及哈希函數 $Hash(i)$ 計算得到對應標號的模型部分，並基於該對應標號的模型部分篩選出待進行距離計算的模型部分。

4、如申請專利範圍第 1 項所述的機器人之避障控制系統，其中該控制模組還用於：

將該機器人及該障礙物 3D 模型投影到同一座標系平面中；

根據預先確定的投影分析規則及該障礙物 3D 模型投影到該座標系平面的投影區域外輪廓各個點的座標，計算出該障礙物 3D 模型的投影相對於該機器人的該當前定位位置及該目標位置有效遮擋區域的面積；

根據計算的該最短距離及該有效遮擋區域的面積確定出一第一預設類型避障參數，根據該目標位置與該機器人之該當前定位位置的距離確定出一第二預設類型避障參數，根據該第一預設類型避障參數及該第二預設類型避障參數確定出該機器人當前應運動的方向。

5、如申請專利範圍第 4 項所述的機器人之避障控制系統，其中該預先確定的投影分析規則為：

設定該座標系平面的 P_1 位置點為該機器人之該當前定位位置， P_2 位置點為該目標位置，投影區域 P_3 為該障礙物 3D 模型在該座標系平面中的投影，並在該座標系平面中連接 P_1 位置點和 P_2 位置點，得到直線 J ；

若該直線 J 與該投影區域 P_3 沒有交點或者交點只有一個，則確定不存在該有效遮擋區域；

若該直線 J 與該投影區域 P_3 的交點個數大於 1，則該直線 J 將投影分割為兩部分；在該投影區域 P_3 中任意找一點 P_s ，過 P_s 作該直線 J 的垂線，設

定該垂線與該直線 J 的交點為 P_j ，得到向量 $\overrightarrow{P_j P_s}$ ，計算最短距離的向量 \vec{d} 與該向量 $\overrightarrow{P_j P_s}$ 的夾角 θ ；若判斷該夾角 θ 是銳角，則確定該 P_s 點所在區域是該有效遮擋區域；若判斷該夾角 θ 不是銳角，則確定該 P_s 點所在區域不是該有效遮擋區域。

6、如申請專利範圍第 4 項或第 5 項其中之一項所述的機器人之避障控制系統，其中該第一預設類型避障參數為虛擬斥力，該第二預設類型避障參數為虛擬引力，該控制模組還用於：

根據計算的該最短距離和該有效遮擋區域的面積，利用第一計算規則計算出作用在該機器人上的該虛擬斥力；

根據該當前定位位置與該目標位置的距離，利用第二計算規則計算出作用在該機器人上的該虛擬引力；

計算出該虛擬引力和該虛擬斥力的合力方向作為該機器人當前應運動的方向。

7、如申請專利範圍第 6 項所述的機器人之避障控制系統，其中該第一計算規則為：

設定該機器人與該障礙物的該最短距離的向量為 \vec{d} ，該有效遮擋區域的面積為 S ，該障礙物對該機器人的該虛擬斥力為 \vec{F}_r ，則計算公式如下：

$$\vec{F}_r = f(\vec{d}, S) = \begin{cases} 0 & d > d_0 \\ \frac{k_r}{d} + b_r & d \leq d_0, s \leq s_0 \\ \frac{k_r}{d} * \frac{s}{s_0} + b_r & d \leq d_0, s > s_0 \end{cases}$$

其中， k_r 、 b_r 為預設的虛擬斥力係數， s_0 為預設的有效遮擋區域面積閾值， d_0 為預設的距離閾值；該虛擬斥力之方向與該最短距離之方向相同。

8、如申請專利範圍第 6 項所述的機器人之避障控制系統，其中該第二計算規則為：

設定該目標位置對該機器人的該虛擬引力為 \vec{F}_i ，則計算公式為： $F_i = k_i * d_i$ ；其中， k_i 為預設的引力係數， d_i 為該目標位置與該機器人當前定位位置的距離， \vec{F}_i 方向朝向該目標位置。

9、一種機器人避障方法，包括以下步驟：

A1、實時或者定時獲取一機器人之一當前定位資料，並根據該當前定位資料及預先確定的移動區域內各個障礙物的位置資料，確定一當前定位位置至一目標位置路徑中是否有離該當前定位位置的距離小於一預設距離的障礙物；

A2、若有離該當前定位位置的距離小於該預設距離的該障礙物，則根據獲取的定位資料、預先確定的該機器人的 3D 模型及預先確定的該障礙物的 3D 模型，計算出該機器人與該障礙物的一最短距離；

A3、根據該獲取的定位資料、計算的該最短距離及該障礙物的 3D 模型，計算出當前該機器人應運動的方向，根據計算出的運動方向控制該機器人的運動姿態，以避開該障礙物，

其中該步驟 A2 還包含：對該預先確定的該機器人的 3D 模型及該障礙物的 3D 模型進行預處理，針對該機器人的每一個關節，利用預先確定的算法找出包圍各個關節的最小凸多面體，以將該機器人的一非凸模型轉換為一凸體模型；對該障礙物 3D 模型扇形均分，並對均分後的單個扇形進行凸分解；對該獲取的定位資料、預處理後的機器人 3D 模型資料及預處理後的該障礙物 3D 模型資料，利用預先確定的距離計算規則計算出該機器人與該障礙物的該最短距離。