



(21)申請案號：108130161

(22)申請日：中華民國 108 (2019) 年 08 月 23 日

(51)Int. Cl. : G05D19/00 (2006.01)

G05B19/4061(2006.01)

G06F3/01 (2006.01)

G06F9/06 (2006.01)

(30)優先權：2018/08/23 美國

62/722,067

(71)申請人：美商即時機器人股份有限公司(美國) REALTIME ROBOTICS, INC. (US)
美國(72)發明人：佛洛伊德 瓊斯 威廉 湯瑪士 FLOYD-JONES, WILLIAM THOMAS (US)；莫瑞
尚恩 麥可 MURRAY, SEAN MICHAEL (US)；柯尼達瑞斯 喬治 迪米崔
KONIDARIS, GEORGE DIMITRI (ZA)；索倫 丹尼爾 傑若米 SORIN, DANIEL
JEREMY (US)

(74)代理人：陳長文

(56)參考文獻：

CN 102186638B

CN 108297059A

US 2008/0234864A1

US 2018/0029231A1

WO 2016/122840A1

審查人員：黃彥豪

申請專利範圍項數：58 項 圖式數：15 共 87 頁

(54)名稱

可用於針對機器人學的動作規劃中之碰撞偵測

(57)摘要

可用於針對機器人學的動作規劃之碰撞偵測有利地使用一機器人將操作所在的一環境中的機器人、永久障礙物及臨時障礙物之資料結構表示。資料結構可呈階層式資料結構((例如，八元樹、體積或方塊之組(例如，軸線對準周框方塊(AABB)之樹、定向(不軸線對準)周框方塊之樹，或球體樹))或非階層式資料結構(例如，歐幾里德距離場)之形式。此可使得計算有效率、降低記憶體要求且降低功率消耗。該碰撞偵測可呈一獨立功能之形式，從而提供可用於執行多種不同動作規劃演算法中之任一者中的一布林結果。

Collision detection useful in motion planning for robotics advantageously employs data structure representations of robots, persistent obstacles and transient obstacles in an environment in which a robot will operate. Data structures may take the form of hierarchical data structures ((e.g., octrees, sets of volumes or boxes (e.g., a tree of axis-aligned bounding boxes (AABBs), a tree of oriented (not axis-aligned) bounding boxes, or a tree of spheres)) or non-hierarchical data structures (e.g., Euclidean Distance Fields) Such can result in computational efficiency, reduce memory requirements, and lower power consumption. The collision detection can take the form as a standalone function, providing a Boolean result that can be employed in executing any of a variety of different motion planning algorithms.

指定代表圖：

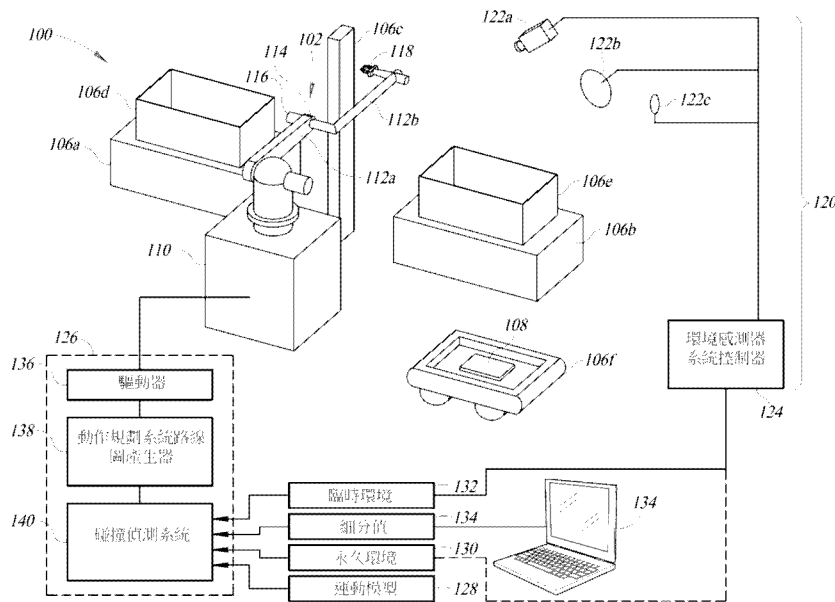


圖1

符號簡單說明：

100:操作環境

102:機器人

106a:障礙物

106b:障礙物

106c:障礙物

106d:障礙物

106e:障礙物

106f:障礙物

108:目標物件

110:底座

112a:連桿

112b:連桿

114:接頭

116:致動器

118:末端執行器

120:環境感測器系統

122a:數位相機

122b:運動感測器或雷達

122c:麥克風

124:環境感測器系統控制器

126:機器人控制系統

128:運動模型

130:永久障礙物

132:臨時障礙物

134:電腦或終端機

136:驅動器

138:動作規劃系統

140:碰撞偵測系統



公告本

【發明摘要】

I853831

【中文發明名稱】

可用於針對機器人學的動作規劃中之碰撞偵測

【英文發明名稱】

COLLISION DETECTION USEFUL IN MOTION PLANNING FOR ROBOTICS

【中文】

可用於針對機器人學的動作規劃之碰撞偵測有利地使用一機器人將操作所在的一環境中的機器人、永久障礙物及臨時障礙物之資料結構表示。資料結構可呈階層式資料結構((例如，八元樹、體積或方塊之組(例如，軸線對準周框方塊(AABB)之樹、定向(不軸線對準)周框方塊之樹，或球體樹))或非階層式資料結構(例如，歐幾里德距離場)之形式。此可使得計算有效率、降低記憶體要求且降低功率消耗。該碰撞偵測可呈一獨立功能之形式，從而提供可用於執行多種不同動作規劃演算法中之任一者中的一布林結果。

【英文】

Collision detection useful in motion planning for robotics advantageously employs data structure representations of robots, persistent obstacles and transient obstacles in an environment in which a robot will operate. Data structures may take the form of hierarchical data structures ((*e.g.*, octrees, sets of volumes or boxes (*e.g.*, a tree of axis-aligned bounding boxes (AABBs), a tree of oriented (not axis-aligned) bounding boxes, or a tree of spheres)) or non-hierarchical data structures (*e.g.*, Euclidean Distance Fields) Such can result in computational efficiency, reduce memory requirements, and lower power consumption. The collision detection can

take the form as a standalone function, providing a Boolean result that can be employed in executing any of a variety of different motion planning algorithms.

【指定代表圖】

圖1

【代表圖之符號簡單說明】

- 100 操作環境
- 102 機器人
- 106a 障礙物
- 106b 障礙物
- 106c 障礙物
- 106d 障礙物
- 106e 障礙物
- 106f 障礙物
- 108 目標物件
- 110 底座
- 112a 連桿
- 112b 連桿
- 114 接頭
- 116 致動器
- 118 末端執行器
- 120 環境感測器系統
- 122a 數位相機
- 122b 運動感測器或雷達

- 122c 麥克風
- 124 環境感測器系統控制器
- 126 機器人控制系統
- 128 運動模型
- 130 永久障礙物
- 132 臨時障礙物
- 134 電腦或終端機
- 136 驅動器
- 138 動作規劃系統
- 140 碰撞偵測系統

【發明說明書】

【中文發明名稱】

可用於針對機器人學的動作規劃中之碰撞偵測

【英文發明名稱】

COLLISION DETECTION USEFUL IN MOTION PLANNING FOR
ROBOTICS

【技術領域】

【0001】 本發明大體上係關於機器人動作規劃，且詳言之，係關於經由處理器電路執行碰撞偵測以產生動作計劃來驅動機器人等的系統及方法。

【先前技術】

【0002】 動作規劃為機器人控制及機器人學中的基本問題。動作計劃完全指定機器人自開始狀態至目標狀態可遵循的路徑，通常不與操作環境中的任何障礙物碰撞或與操作環境中的任何障礙物碰撞之可能性減小。動作規劃之挑戰涉及以極快速度，甚至隨著環境之特性改變而執行動作規劃之能力。舉例而言，諸如環境中的一或多個障礙物之位置或形狀之特性可能隨時間推移而改變。亦舉例而言，諸如機器人本身的一部分之位置或形狀的特性可能隨時間推移而改變，例如手臂工具之末端執行器或末端可具有抓取組態及未抓取組態。挑戰進一步包括使用相對較低成本的設備、以相對較低的能量消耗且以有限量的儲存器(例如，例如在處理器晶片電路上之記憶體電路)執行動作規劃。

【發明內容】

【0003】 多種演算法用來解決動作規劃問題。此等演算法中之每一者通常需要能夠判定機器人之給定姿勢或自一個姿勢至另一姿勢之動作是否導致與機器人本身或與環境中之障礙物的碰撞。

【0004】 本文中所描述的碰撞偵測硬體、軟體及/或韌體可判定或計算單一機器人姿勢或自一個姿勢(例如，開始姿勢)至另一姿勢(例如，結束姿勢)之機器人動作是否造成機器人與本身或與機器人的當前操作環境中的任何障礙物碰撞。環境可能包括障礙物，該等障礙物為存在碰撞風險之物件(例如，無生命物件、包括人及其他動物之有生命物件)。環境可能或可能不包括為機器人將與之接合之物件之一或多個目標物件。對於障礙物中的一些，由該等障礙物佔用之各別體積在組態動作規劃器之模型或計算電路之時間(命名為組態時間之時間)處係已知的，且預期貫穿機器人操作(命名為運行時間之時間)保持固定或不變。此等障礙物由於障礙物佔用的體積在組態時間期間為已知而被命名為永久障礙物，且預期貫穿運行時間保持固定或不變。對於其他障礙物，障礙物佔用的各別體積在組態時間係未知的，且僅在運行時間判定。此等障礙物由於障礙物佔用之體積在組態時間期間未知而命名為臨時障礙物。由此等暫時性障礙物中之一或多者佔用的各別體積可隨時間推移而固定或不移動或不改變，且命名為靜態障礙物。由此等暫時性障礙物中之一或多者佔用的各別體積可隨時間推移而移動或改變，且命名為動態障礙物。

【0005】 本文中所描述的碰撞偵測硬體、軟體及/或韌體可實施為次常式或函式，其可由各種不同的動作規劃演算法調用或叫用，例如概率路線圖(PRM)、快速探索隨機樹(RRT)、RRT*、雙向RRT等演算法。本文中所描述的碰撞偵測硬體、軟體及/或韌體亦可用以藉由快速地評估許多候選抓取姿勢而加速抓取規劃。

【0006】 本文中所描述各種實施通常使用兩個或三個組態時間輸入：i) 機器人之運動模型；ii) 環境中永久障礙物之表示，該等障礙物在組態時間在環境中佔用的體積係已知的；以及視情況選用的動作細分粒度值或規範。機器人

之運動模型包括對機器人接頭數目、自機器人之每一連桿至機器人之各別母代連桿之變換、機器人之每一接頭之軸線及機器人之每一連桿之幾何佈置的規範中之任一者的約束(例如，彎管接頭之最小及最大角度)。

【0007】 本文中所描述之各種實施通常使用兩個或三個運行時間輸入：a) 開始姿勢；b) 在正評估動作的情況下視情況選用的結束姿勢；以及環境中臨時障礙物之表示，該等臨時障礙物在運行時間在環境中佔用的體積係已知的，且在組態時間，其在環境中佔用的體積係未知的。臨時障礙物可為靜態的(即，在相關或運行時間週期期間固定或不移動或不改變形狀)或動態的(即，在相關或運行時間週期的至少一部分期間移動或改變形狀)。對於具有數目 D 個自由度的機器人，姿勢可指定為 D 元組，其中該元組之每一元素指定該自由度(接頭)之位置或旋轉。

【0008】 可經由謹慎地選擇資料結構以表示物件、姿勢及/或動作來實現用於碰撞偵測的有效硬體之實施。良好選擇的資料結構可有利地減少儲存所需要的記憶體量、碰撞偵測所需要的硬體量、執行碰撞偵測之延時及功率消耗。本文中描述數個可能合適的例示性資料結構，但熟習此項技術者將認識到，可基於本文中之教示使用其他結構。存在多種選項，每一選項與碰撞偵測之延時、建構資料結構之延時及資料結構表示物件幾何佈置之適合性之間的各別取捨相關聯。

【0009】 一種操作可用於針對機器人學的動作規劃中之一基於處理器的系統之至少一個組件的方法可概述為包括：對於一機器人之至少第一數目個姿勢中之每一者，藉由至少一組電路至少部分地基於該機器人之資料結構表示判定該機器人之任何部分是否將與該機器人之另一部分碰撞；對於該機器人之至少第二數目個姿勢中之每一者，藉由至少一組電路至少部分地基於該機器人操

作所在的一環境中之一組永久障礙物之一資料結構表示判定該機器人之任何部分是否將與該環境中之任何永久障礙物碰撞，該資料結構表示包括第一數目個障礙物之一表示，對於該第一數目個障礙物，由該第一數目個障礙物中之該等障礙物中之每一者佔用的該環境中的一各別體積在一組態時間係已知的；對於該機器人之至少第三數目個姿勢中之每一者，藉由至少一組電路至少部分地基於該環境中之一組臨時障礙物之一資料結構表示判定該機器人之任何部分是否將與該環境中之任何臨時障礙物碰撞，該資料結構表示在該環境中存在第二數目個障礙物的情況下包括該環境中之該第二數目個障礙物之一表示，對於該第二數目個障礙物，由該第二數目個障礙物中之該等障礙物中之每一者佔用的該環境中之一各別體積在一運行時間之至少某一部分期間係已知的，且由該等障礙物中之每一者佔用的該環境中之該各別體積在該組態時間係未知的；以及提供表示是否已針對該等姿勢中的至少一者偵測到一碰撞之一信號。

【0010】 至少部分地基於該機器人之資料結構表示判定該機器人之任何部分是否將與該機器人之另一部分碰撞可包括判定一機器人附屬物之至少一部分是否將在一第一姿勢中與該機器人附屬物之另一部分碰撞。至少部分地基於該機器人之資料結構表示判定該機器人之任何部分是否將與該機器人之另一部分碰撞可包括判定一機器人附屬物之至少一部分是否將在一第一姿勢與一第二姿勢之間移動時與該機器人附屬物之另一部分碰撞。至少部分地基於該機器人操作所在的該環境中之一組永久障礙物之一資料結構表示判定該機器人之任何部分是否將與該環境中之任何永久障礙物碰撞可包括判定一機器人附屬物之至少一部分是否將在一第一姿勢中與該環境中之任何永久障礙物碰撞。至少部分地基於該機器人操作所在的該環境中之一組永久障礙物之一資料結構表示判定該機器人之任何部分是否將與該環境中之任何永久障礙物碰撞可包括判定一

機器人附屬物之至少一部分是否將在一第一姿勢與一第二姿勢之間移動時與該環境中之任何永久障礙物碰撞。至少部分地基於該機器人操作所在的該環境中之一組臨時障礙物之一資料結構表示判定該機器人之任何部分是否將與該環境中之任何臨時障礙物碰撞可包括判定一機器人附屬物之至少一部分是否將在一第一姿勢中與該環境中之任何臨時障礙物碰撞。至少部分地基於該機器人操作所在的該環境中之一組臨時障礙物之一資料結構表示判定該機器人之任何部分是否將與該環境中之任何臨時障礙物碰撞可包括判定一機器人附屬物之至少一部分是否將在一第一姿勢與一第二姿勢之間移動時中與該環境中之任何臨時障礙物碰撞。

【0011】 該方法可進一步包括在該組態時間期間，對於由一運動模型表示之一機器人，產生該機器人之該資料結構表示；以及對於該環境，產生該環境中之該組永久障礙物之該資料結構表示，該資料結構表示包括該第一數目個障礙物之該表示，對於該第一數目個障礙物，由該第一數目個障礙物中之該等障礙物中之每一者佔用的該環境中之一各別體積在一組態時間係已知的。產生該環境中之該組永久障礙物之該資料結構表示可包括產生一周框體積階層。產生一周框體積階層可包括產生以三角形網格為葉節點之一周框方塊階層。產生一周框體積階層可包括產生一球體階層。產生一周框體積階層可包括產生一k元球體樹。產生一周框體積階層可包括產生一軸線對準周框方塊階層。產生一周框體積階層可包括產生一定向周框方塊階層。產生該環境中之該組永久障礙物之該資料結構表示可包括產生一八元樹，該八元樹儲存表示該環境中之該組永久障礙物之體素佔用資訊。產生該機器人之該資料結構表示可包括產生一k元樹。產生該機器人之該資料結構表示可包括對於該機器人之數個連桿中之每一者，產生一各別k元樹。產生該機器人之該資料結構表示可包括對於該機器人

之數個連桿中之每一者，產生一各別 8 元樹。產生該機器人之該資料結構表示可包括對於該機器人之數個連桿中之每一者，產生一樹深度等於或大於四之一各別 8 元樹。產生該機器人之該資料結構表示可包括對於該機器人之數個連桿中之每一者，產生一各別 k 元樹，其中該 k 元樹之每一節點為在各別球體之任何部分被佔用的情況下識別為被佔用之一球體。

【0012】 該方法可進一步包括在該運行時間期間，對於該環境，產生該環境中之一組臨時障礙物之該資料結構表示，該資料結構表示在存在該等臨時障礙物的情況下包括該等臨時障礙物之該表示，對於該等臨時障礙物，由該第二數目個障礙物中之該等障礙物中之每一者佔用的該環境中之一各別體積在該運行時間之至少某一部分期間係已知的且由該等障礙物中之每一者佔用的該環境中之該各別體積在該組態時間係未知的，且該判定該機器人之任何部分是否將與該機器人之另一部分碰撞、該判定該機器人之任何部分是否將與一環境中之任何永久障礙物碰撞以及該判定該機器人之任何部分是否將與該環境中之任何臨時障礙物碰撞全部在該運行時間期間發生。

【0013】 該方法可進一步包括：在該環境中存在該等臨時障礙物的情況下接收表示該等臨時障礙物的感測器資訊；以及將該感測器資訊轉換為佔用資訊，且產生該環境中之該組臨時障礙物之該資料結構表示可包括依據該佔用資訊產生該環境中之該組臨時障礙物之該資料結構表示。

【0014】 該方法可進一步包括：接收表示呈具有數個連桿及數個接頭之一機器人附屬物形式的該機器人之一運動模型，該等接頭在各別對該等連桿之間；接收表示該環境中之該組永久障礙物之各別位置的佔用資訊；以及接收表示待用於動作規劃中的一動作細分粒度之至少一個值。

【0015】 該接收該運動模型、該接收佔用資訊及該接收表示一動作細分粒

度之至少一個值可全部在該組態時間期間發生，且可進一步包括：基於該機器人之該運動模型在該組態時間期間產生該機器人之該資料結構表示；以及在該組態時間期間產生該環境中之該組永久障礙物之該資料結構表示，該資料結構表示包括該第一數目個障礙物之該表示，對於該第一數目個障礙物，由該第一數目個障礙物中之該等障礙物中之每一者佔用的該環境中之一各別體積在該組態時間係已知的。

【0016】 該方法可進一步包括在該運行時間期間產生該環境中之一組臨時障礙物之該資料結構表示，該資料結構表示在存在該等臨時障礙物的情況下包括該等臨時障礙物之該表示，對於該等臨時障礙物，由該第二數目個障礙物中之該等障礙物中之每一者佔用的該環境中之一各別體積在該運行時間之至少某一部分期間係已知的且由該等障礙物中之每一者佔用的該環境中之該各別體積在該組態時間係未知的。

【0017】 該機器人可包括一機器人附屬物，且可進一步包括：對於該機器人附屬物在該機器人附屬物之一第一姿勢與該機器人附屬物之一第二姿勢之間的一動作，計算該機器人附屬物之複數個中間姿勢，在該機器人附屬物之該第一姿勢與該第二姿勢之間的該複數個中間姿勢係在該機器人附屬物之一C空間中，直至該C空間中之數對連續鄰近姿勢之間的一尺寸滿足該動作細分粒度之該所接收值。計算該機器人附屬物之複數個中間姿勢可包括：對於該機器人附屬物之該等接頭中之每一者，在該等接頭在該第一姿勢與該第二姿勢中之一各別位置與定向之間進行內插以獲得一第n中間姿勢；以及對於該機器人附屬物之該等接頭中之每一者，對於一各別第i迭代在該接頭在一對各別最近鄰姿勢中的一各別位置與定向之間進行迭代地內插，直至達到一結束條件。

【0018】 該結束條件可為連續鄰近姿勢之間的一距離滿足獲得一第n中間

姿勢之動作細分粒度，且可進一步包括對於數個該等迭代，判定是否已達到該結束條件。

【0019】 該方法可進一步包括對於數個該等姿勢中之每一者，對該運動機器人模型執行前向運動以計算該機器人附屬物之每一連桿之數個變換，將姿勢或動作自C空間映射至自由空間(例如，三維環境)。

【0020】 以下操作中的任何一或多者可基於一階層式表示或一歐幾里德距離場表示：判定該機器人之任何部分是否將與該機器人之另一部分碰撞、判定該機器人之任何部分是否將與任何永久障礙物碰撞，或判定該機器人之任何部分是否將與任何臨時障礙物碰撞。

【0021】 一種用以產生可用於針對機器人學的動作規劃中的碰撞評估之系統可概述為包括：至少一個處理器；至少一個非暫時性處理器可讀媒體，其儲存處理器可執行指令或資料中的至少一者，該等處理器可執行指令或資料在由該至少一個處理器執行時使得該至少一個處理器：對於一機器人之至少第一數目個姿勢中之每一者，至少部分地基於該機器人之一資料結構表示判定該機器人之任何部分是否將與該機器人之另一部分碰撞；對於該機器人之至少第二數目個姿勢中之每一者，至少部分地基於該機器人操作所在的一環境中之一組永久障礙物之一資料結構表示判定該機器人之任何部分是否將與該環境中之任何永久障礙物碰撞，該資料結構表示包括第一數目個障礙物之一表示，對於該第一數目個障礙物，由該第一數目個障礙物中之該等障礙物中之每一者佔用的該環境中的一各別體積在一組態時間係已知的；對於該機器人之至少第三數目個姿勢中之每一者，至少部分地基於該環境中之一組臨時障礙物之一資料結構表示判定該機器人之任何部分是否將與該環境中之任何臨時障礙物碰撞，該資料結構表示在該環境中存在第二數目個障礙物的情況下包括該環境中之該第二數

目個障礙物之一表示，對於該第二數目個障礙物，由該第二數目個障礙物中之該等障礙物中之每一者佔用的該環境中之一各別體積在一運行時間之至少某一部分期間係已知的，且由該等障礙物中之每一者佔用的該環境中之該各別體積在該組態時間係未知的；以及提供表示是否已針對該等姿勢中的至少一者偵測到一碰撞之一信號。

【0022】 為至少部分地基於該機器人之一資料結構表示判定該機器人之任何部分是否將與該機器人之另一部分碰撞，該至少一個處理器可判定一機器人附屬物之至少一部分是否將在一第一姿勢中與該機器人附屬物之另一部分碰撞。為至少部分地基於該機器人之一資料結構表示判定該機器人之任何部分是否將與該機器人之另一部分碰撞，該至少一個處理器可判定一機器人附屬物之至少一部分是否將在一第一姿勢與一第二姿勢之間移動時與該機器人附屬物之另一部分碰撞。為至少部分地基於該機器人操作所在的該環境中之一組永久障礙物之一資料結構表示判定該機器人之任何部分是否將與該環境中之任何永久障礙物碰撞，該至少一個處理器可判定一機器人附屬物之至少一部分是否將在一第一姿勢中與該環境中之任何永久障礙物碰撞。為至少部分地基於該機器人操作所在的該環境中之一組永久障礙物之一資料結構表示判定該機器人之任何部分是否將與該環境中之任何永久障礙物碰撞，該至少一個處理器可判定一機器人附屬物之至少一部分是否將在一第一姿勢與一第二姿勢之間移動時與該環境中之任何永久障礙物碰撞。為至少部分地基於該機器人操作所在的該環境中之一組臨時障礙物之一資料結構表示判定該機器人之任何部分是否將與該環境中之任何臨時障礙物碰撞，該至少一個處理器可判定一機器人附屬物之至少一部分是否將在一第一姿勢中與該環境中之任何臨時障礙物碰撞。為至少部分地基於該機器人操作所在的該環境中之一組臨時障礙物之一資料結構表示判定該

機器人之任何部分是否將與該環境中之任何臨時障礙物碰撞，該至少一個處理器可判定一機器人附屬物之至少一部分是否將在一第一姿勢與一第二姿勢之間移動時與該環境中之任何臨時障礙物碰撞。

【0023】 處理器可執行指令或資料中的至少一者之執行可進一步使得該至少處理器在該組態時間期間，對於由一運動模型表示之一機器人，產生該機器人之該資料結構表示；以及對於該環境，產生該環境中之該組永久障礙物之該資料結構表示，該資料結構表示包括該第一數目個障礙物之該表示，對於該第一數目個障礙物，由該第一數目個障礙物中之該等障礙物中之每一者佔用的該環境中之一各別體積在一組態時間係已知的。為產生該環境中之該組永久障礙物之該資料結構表示，該至少一個處理器可產生一周框體積階層。為產生一周框體積階層，該至少一個處理器可產生以三角形網格為葉節點之一周框方塊階層。為產生一周框體積階層，該至少一個處理器可產生一球體階層。為產生一周框體積階層，該至少一個處理器可產生一 k 元球體樹。為產生一周框體積階層，該至少一個處理器可產生一軸線對準周框方塊階層。為產生一周框體積階層，該至少一個處理器可產生一定向周框方塊階層。為產生該環境中之該組永久障礙物之該資料結構表示，該至少一個處理器可產生一八元樹，該八元樹儲存表示該環境中之該組永久障礙物之體素佔用資訊。為產生該機器人之該資料結構表示，該至少一個處理器可產生一 k 元樹。為產生該機器人之該資料結構表示，該至少一個處理器可對於該機器人之數個連桿中之每一者產生一各別 k 元樹。為產生該機器人之該資料結構表示，該至少一個處理器可對於該機器人之數個連桿中之每一者產生一各別8元樹。為產生該機器人之該資料結構表示，該至少一個處理器可對於該機器人之數個連桿中之每一者產生一樹深度等於或大於四之一各別8元樹。為產生該機器人之該資料結構表示，該至少一個

處理器可對於該機器人之數個連桿中之每一者產生一各別k元樹，其中該k元樹之每一節點為在各別球體之任何部分被佔用的情況下識別為被佔用之一球體。

【0024】 處理器可執行指令或資料中的至少一者之執行可進一步使得該至少處理器在該運行時間期間，對於該環境，產生該環境中之一組臨時障礙物之該資料結構表示，該資料結構表示在存在該等臨時障礙物的情況下包括該等臨時障礙物之該表示，對於該等臨時障礙物，由該第二數目個障礙物中之該等障礙物中之每一者佔用的該環境中之一各別體積在該運行時間之至少某一部分期間係已知的且由該等障礙物中之每一者佔用的該環境中之該各別體積在該組態時間係未知的，且該判定該機器人之任何部分是否將與該機器人之另一部分碰撞、該判定該機器人之任何部分是否將與一環境中之任何永久障礙物碰撞以及該判定該機器人之任何部分是否將與該環境中之任何臨時障礙物碰撞全部在該運行時間期間發生。

【0025】 處理器可執行指令或資料中的至少一者之執行可進一步使得該至少一個處理器：在該環境中存在該等臨時障礙物的情況下接收表示該等臨時障礙物的感測器資訊；以及將該感測器資訊轉換為佔用資訊，且為產生該環境中之該組臨時障礙物之該資料結構表示，該至少一個處理器可依據該佔用資訊產生該環境中之該組臨時障礙物之該資料結構表示。

【0026】 處理器可執行指令或資料中的至少一者之執行可進一步使得該至少處理器：接收表示呈具有數個連桿及數個接頭之一機器人附屬物形式的該機器人之一運動模型，該等接頭在各別對該等連桿之間；接收表示該環境中之該組永久障礙物之各別位置的佔用資訊；以及接收表示待用於動作規劃中的一動作細分粒度之至少一個值。

【0027】 該運動模型、該佔用資訊及表示一動作細分粒度之至少一個值可

全部在該組態時間期間接收，且處理器可執行指令或資料中的至少一者之執行可進一步使得該至少處理器：基於該機器人之該運動模型在該組態時間期間產生該機器人之該資料結構表示；以及在該組態時間期間產生該環境中之該組永久障礙物之該資料結構表示，該資料結構表示包括該第一數目個障礙物之該表示，對於該第一數目個障礙物，由該第一數目個障礙物中之該等障礙物中之每一者佔用的該環境中之一各別體積在一組態時間係已知的。

【0028】 處理器可執行指令或資料中的至少一者之執行可進一步使得該至少處理器在該運行時間期間產生該環境中之一組臨時障礙物之該資料結構表示，該資料結構表示在存在該等臨時障礙物的情況下包括該等臨時障礙物之該表示，對於該等臨時障礙物，由該第二數目個障礙物中之該等障礙物中之每一者佔用的該環境中之一各別體積在該運行時間之至少某一部分期間係已知的且由該等障礙物中之每一者佔用的該環境中之該各別體積在該組態時間係未知的。

【0029】 該機器人可包括一機器人附屬物，且處理器可執行指令或資料中的至少一者之執行可進一步使得該至少處理器：對於該機器人附屬物在該機器人附屬物之一第一姿勢與該機器人附屬物之一第二姿勢之間的一動作，計算該機器人附屬物之複數個中間姿勢，在該機器人附屬物之該第一姿勢與該第二姿勢之間的該複數個中間姿勢係在該機器人附屬物之一C空間中，直至該C空間中之數對連續鄰近姿勢之間的一尺寸滿足該動作細分粒度之該所接收值。為計算該機器人附屬物之複數個中間姿勢，該至少一個處理器：對於該機器人附屬物之該等接頭中之每一者，可在該等接頭在該第一姿勢與該第二姿勢中之一各別位置與定向之間進行內插以獲得一第n中間姿勢；以及對於該機器人附屬物之該等接頭中之每一者，可對於一各別第i迭代在該接頭在一對各別最近鄰姿勢中

的一各別位置與定向之間進行迭代地內插，直至達到一結束條件。

【0030】 該結束條件可為連續鄰近姿勢之間的一距離滿足獲得一第n中間姿勢之動作細分粒度，且處理器可執行指令或資料中的至少一者之執行可進一步使得該至少處理器對於數個該等迭代，判定是否已達到該結束條件。

【0031】 處理器可執行指令或資料中的至少一者之執行可進一步使得該至少處理器對於數個該等姿勢中之每一者，對該運動機器人模型執行前向運動以計算該機器人附屬物之每一連桿在C空間與自由空間之間的數個變換。

【0032】 以下操作中的任何一或多者可基於一階層式表示或一歐幾里德距離場表示：i)判定該機器人之任何部分是否將與該機器人之另一部分碰撞、ii)判定該機器人之任何部分是否將與任何永久障礙物碰撞，或iii)判定該機器人之任何部分是否將與任何臨時障礙物碰撞。

【0033】 處理器可執行指令或資料中的至少一者在由該至少一個處理器執行時可進一步使得該至少一個處理器執行本文所描述之任一方法。

【圖式簡單說明】

【0034】 在附圖中，相同參考標號識別類似元件或動作。圖式中的元件之大小及相對位置未必係按比例繪製。舉例而言，各種元件之形狀及角度不按比例繪製，且此等元件中之一些經任意放大及定位以提昇附圖可讀性。此外，所繪製元件之特定形狀並不意欲傳達關於特定元件之實際形狀的任何資訊，而僅僅已經選擇以易於在附圖中進行辨識。

【0035】 圖1為根據一個所說明實施的機器人、機器人控制系統及其他組件以及視情況選用的數個目標物件之示意圖，該機器人控制系統包括驅動器、動作規劃系統及碰撞偵測系統，該機器人處於該機器人可操作所在的環境中，該環境包括數個障礙物，該等障礙物中的一些為永久的且其他障礙物為暫時性

的。

【0036】圖2為根據一個所說明實施的圖1之機器人控制系統之功能方塊圖。

【0037】圖3為根據一個所說明實施的圖1之碰撞偵測系統之功能方塊圖。

【0038】圖4為根據一個所說明實施的機器人之組態空間(C空間)及圖1之環境之示意圖，其具有該環境中的障礙物之表示且包括規劃圖形或路線圖，其中邊緣表示機器人之姿勢之間的無碰撞路徑。

【0039】圖5為根據一個所說明實施的展示在碰撞偵測系統中操作以使用機器人運動模型、環境中的永久障礙物及環境中的臨時障礙物之資料結構表示執行碰撞偵測或預測之高階方法的流程圖，該碰撞偵測可經由動作規劃系統用於動作規劃中。

【0040】圖6為根據一個所說明實施的展示在碰撞偵測系統中操作以經由產生由運動模型表示的機器人之資料結構表示來促進動作規劃及動作計劃產生的方法的低階流程圖。

【0041】圖7A為根據一個所說明實施的展示在碰撞偵測系統中操作以經由產生周框體積階層來表示環境中的永久物件來促進動作規劃及動作計劃產生之低階方法的流程圖。

【0042】圖7B為根據一個所說明實施的展示在碰撞偵測系統中操作以經由產生以三角形網格為葉節點來表示環境中的永久物件的周框方塊階層來促進動作規劃及動作計劃產生的低階方法之流程圖。

【0043】圖7C為根據一個所說明實施的展示在碰撞偵測系統中操作以經由產生球體階層來表示環境中的永久物件來促進動作規劃及動作計劃產生的低階方法的流程圖。

【0044】圖7D為根據一個所說明實施的展示在碰撞偵測系統中操作以經由產生k元球體樹來表示環境中的永久物件來促進動作規劃及動作計劃產生之低階方法的流程圖。

【0045】圖7E為根據一個所說明實施的展示在碰撞偵測系統中操作以經由產生軸線對準周框方塊階層來表示環境中的永久物件來促進動作規劃及動作計劃產生之低階方法的流程圖。

【0046】圖7F為根據一個所說明實施的展示在碰撞偵測系統中操作以經由產生定向周框方塊階層來表示環境中的永久物件來促進動作規劃及動作計劃產生之低階方法的流程圖。

【0047】圖7G為根據一個所說明實施的展示在碰撞偵測系統中操作以經由產生儲存體素佔用資訊之八元樹來表示環境中的永久物件來促進動作規劃及動作計劃產生之低階方法的流程圖。

【0048】圖8為根據一個所說明實施的展示在碰撞偵測系統200中操作以經由接收環境的感測器資料、將感測器資料轉換為佔用資訊且產生環境中臨時物件之資料結構表示來促進動作規劃及動作計劃產生的低階方法800之流程圖。

【0049】圖9為根據一個所說明實施的展示在碰撞偵測系統中操作以經由計算機器人附屬物在機器人附屬物之兩個動作姿勢之間的中間姿勢來促進動作規劃及動作計劃產生的低階方法900之流程圖。

【0050】圖10為根據一個所說明實施的展示在碰撞偵測系統中操作以經由執行迭代循環來判定中間姿勢來促進動作規劃及動作計劃產生之低階方法1000的流程圖。

【0051】圖11為根據一個所說明實施的展示在碰撞偵測系統中操作以使用前向運動計算機器人的變換來促進動作規劃及動作計劃產生之低階方法1000的

流程圖。

【0052】圖12為根據一個所說明實施的展示在碰撞偵測系統中操作以經由評估一部分或一機器人與該機器人之另一部分在一姿勢中的自我碰撞來促進動作規劃及動作計劃產生之低階方法1000的流程圖。

【0053】圖13為根據一個所說明實施的展示在碰撞偵測系統中操作以經由評估一部分或一機器人與該機器人之另一部分在自一個姿勢移動至另一姿勢時的自我碰撞來促進動作規劃及動作計劃產生的低階方法1000之流程圖。

【0054】圖14A為根據一個所說明實施例的表示為三角形網格的機器人附屬物的一部分的等角視圖。

【0055】圖14B至圖14E為根據一個所說明實施的圖14A之機器人附屬物之該部分的等角視圖，其描繪為以深度為4的球體樹之連續層級表示。

【0056】圖15A為根據一個所說明實施例的環境之等角視圖，在該環境中，具有由三角形網格表示的機器人附屬物之機器人在具有數個障礙物(例如，桿)的情況下執行任務。

【0057】圖15B為根據一個所說明實施例的圖15A之環境之等角視圖，其中機器人附屬物之表示已轉換為球體樹。

【實施方式】

【0058】在以下描述中，闡述某些特定細節以便提供對各種所揭示實施例之透徹理解。然而，熟習相關技術者將認識到，可在不具有此等特定細節中之一或多者的情況下或用其他方法、組件、材料等實施諸實施例。在其他情況下，與電腦系統、致動器系統及/或通信網路相關聯的熟知結構未詳細地展示或描述以避免不必要地混淆對實施例之描述。在其他情況下，未詳細地描述用於產生一或多個物件之感知資料及體積表示等的熟知電腦視覺方法及技術以避免

不必要地混淆對實施例之描述。

【0059】 除非上下文另有要求，否則在本說明書及隨後申請專利範圍中，詞語「包含(comprise)」及其變化形式(諸如「包含(comprises及comprising)」)應視為開放的包涵含義，亦即視為「包括(但不限於)」。

【0060】 本說明書通篇中對「一個實施」或「一實施」或「一個實施例」或「一實施例」之提及意謂結合該實施例描述之特定特徵、結構或特性包括於至少一個實施或至少一個實施例中。因此，在本說明書中之不同位置出現的片語「一個實施」或「一實施」或「在一個實施例中」或「在一實施例中」未必全部係指同一實施或實施例。另外，可在一或多個實施或實施例中以任何適合的方式組合特定特徵、結構或特性。

【0061】 除非上下文另外清晰指示，否則如本說明書及所附申請專利範圍中所使用，單數形式「一(a/an)」及「該(the)」包括複數個參考物。亦應注意，除非上下文明確規定，否則術語「或」一般以其包括「及/或」之含義而採用。

【0062】 如本說明書及所附申請專利範圍中所使用，術語判定(determine、determining、determined)在是否將發生或導致碰撞的上下文中使用時意謂對給定姿勢或經由數個中間姿勢在兩個姿勢之間的移動是否將導致機器人之一部分與某一物件(例如，機器人之另一部分、永久障礙物、臨時障礙物或某個物件，接著為當前目標物件)之間的碰撞進行評估或預測。

【0063】 本文提供的本發明之標題及摘要僅僅係為了方便且不解譯實施例之範疇或含義。

【0064】 圖1展示根據一個所說明實施例的機器人102可操作所在的操作環境100。出於簡潔起見，操作環境100在本文中稱為環境100。環境100表示機器人102可操作所在及移動的二維或三維空間。應注意，環境100不同於在下文參

考圖4描述的機器人之「組態空間」或稱「C空間」。

【0065】 環境100可包括表示可能碰撞區的障礙物106a至106n (統稱106)。術語障礙物106用來指示表示碰撞風險之物件(例如，無生命物件、包括人及其他動物的有生命物件)。

【0066】 此等障礙物106a、106b、106c中的一些可呈靜態障礙物或物件(即，並不移動(即，平移、旋轉)，或在相關週期或運行時間期間改變形狀的障礙物或物件，例如建築物、樹、石塊、傢俱、台座106a、106b、支撐柱106c、擱架)之形式。此等障礙物中的一些可呈環境100中的動態障礙物或物件106d、106e、106f (即，在相關週期或運行時間的至少一部分期間移動(即，平移、旋轉)或改變形狀的障礙物或物件，例如，其他機器人、集裝箱106d、106e、呈車輛106f形式的車輛或機器人、人、動物、滾動或移位物品106g)之形式。舉例而言，一組台座106a、106b及支撐柱106c可固定或可能在相關時間週期(例如，運行時間)內不移動或改變形狀，且因此被認為係靜態障礙物106。亦舉例而言，一組集裝箱106d、106e及例如呈車輛(例如，輪式自我推動式自主驅動台車)106f形式的另一機器人可能在相關時間週期(例如，運行時間)期間移動或改變形狀(例如，傾斜)，且因此被認為係動態障礙物106。

【0067】 對於障礙物106a至106c中的一些，由該等障礙物佔用之各別體積在組態模型或計算電路之時間(命名為組態時間之時間)處係已知的，且預期貫穿機器人操作(命名為運行時間之時間)保持固定或不變。此等障礙物106a至106c由於障礙物佔用的體積在組態時間期間為已知而被命名為永久障礙物，且預期貫穿運行時間保持固定或不變。對於其他障礙物106d至106f，障礙物佔用的各別體積在組態時間係未知的，且僅在運行時間判定。此等障礙物106d至106f由於障礙物佔用之體積在組態時間期間未知而命名為臨時障礙物。

【0068】環境100可視情況包括一或多個目標物件108，機器人102意欲例如藉由抓握目標物件108、移動目標物件108、以其他方式接合目標物件108而與該等目標物件相互作用以執行某一所界定任務或操作。目標物件108通常不認為係障礙物，但在一些實施中，可能構成障礙物，例如在存在機器人將依序接合的複數個目標物件108的情況下。一些實施可不包括任何目標物件，機器人102在各種姿勢之間移動而不與任何物件相互作用或接合。

【0069】圖1說明具有有限數目個障礙物106及目標物件108的代表性環境100。典型環境可包括許多額外障礙物106及目標物件108，包括對應於其他機器人及各種其他天然或人工靜態及動態障礙物106或目標物件108的物件。一些環境可完全省略目標物件108，或甚至省略動態障礙物106。可以類似於比所說明環境更擁擠的環境的方式使用本文中教示的概念。

【0070】機器人102可為任何類型之機器人，包括但不限於：笛卡爾、用於機器人總成的選擇性順應臂(SCARA)、圓柱形、三角形、極性且垂直鉸接。機器人亦可為汽車、飛機、無人機或可自主或半自主地(即，至少部分自主地)操作且在由環境100表示的空間中移動的任何其他車輛。在所說明實施中，機器人102包括底座110、一組連桿112a、112b (僅標出兩個，統稱112)及一組接頭114 (僅標出一個)，接頭114中之每一者實體地耦接一對各別連桿112。機器人102亦可包括一或多個致動器(例如，電動馬達、步進馬達、螺線管、電磁體、液壓活塞、氣動活塞、液壓閥門、氣動閥門、用於真空系統、液壓系統、氣動系統的泵或壓縮機) 116 (僅標出一個)，其驅動一個連桿112a相對於另一連桿112b或相對於底座110之移動。機器人102亦可包括末端執行器或臂工具之末端118，例如具有相對指部(digit)的抓鉗、掛鉤或實體地接合環境100中的目標物件108之真空端口。

【0071】環境100可包括可包含一或多個環境感測器122a、122b、122c (展示三個，統稱為122)之環境感測器系統120及集線器或環境感測器系統控制器124。

【0072】環境感測器122可為多種形式或類型中之任一者，例如一或多個數位相機122a、一或多個運動感測器或雷達122b、一或多個麥克風122c、一或多個重量感測器或測力計(未展示)、一或多個電眼(例如，IR光源及IR感測器)(未展示)、一或多個編碼器(例如，位置編碼器、旋轉編碼器、舌簧開關)(未展示)、一或多個溫度感測器(未展示)、濕度感測器(未展示)及/或一或多個壓力感測器(未展示)，僅舉幾例。感測器偵測環境之特性，包括環境中的障礙物、目標物件、機器人及/或其他物件之特性(例如，位置、定向、形狀、佔用空間、移動、速度)。感測器122可以有線、光學、無線方式將信號提供至集線器或環境感測器系統控制器124。彼等信號中之至少一些可視情況編碼或以其他方式表示感知資料。

【0073】集線器或環境感測器系統控制器124可包括電路，例如一或多個處理器及/或一或多個非暫時性處理器可讀媒體(例如，非揮發性記憶體、揮發性記憶體、自旋儲存媒體)，且可執行例如由非暫時性處理器可讀媒體儲存的一或多組處理器可執行指令。集線器或環境感測器系統控制器124可以通信方式耦接(例如，以有線方式、以光學方式、以無線方式)至感測器122中之一或多者以接收所感測資訊，例如感知資料。在一些實施中，處理器可執行指令由一或多個處理器之執行可使得集線器或環境感測器系統控制器124處理或預處理所接收感測資訊中的一些或全部。

【0074】機器人控制系統126可以通信方式耦接(例如，以有線方式、以光學方式、以無線方式)至集線器或環境感測器系統控制器124以自其接收資訊。

資訊可包括環境100中的臨時障礙物132之表示。機器人控制系統126可以通信方式耦接(例如，以有線方式、以光學方式、以無線方式)至電腦或終端機134以接收動作細分粒度值或規範136之指示。

【0075】 機器人控制系統126可包括若干組件，其通常相異，但在一些實施中可組合於共同電路板、處理器或其他電路中。舉例而言，一組驅動器136可包括以通信方式耦接至致動器116以驅動致動器以使得機器人102採用或移動至所界定姿勢的電路。舉例而言，驅動器可包括馬達控制器及驅動電動馬達、步進馬達、螺線管、電磁體、液壓活塞、氣動活塞、液壓閥門、氣動閥門、用於真空系統、液壓系統、氣動系統的泵或壓縮機中的任何一或多者的類似電路。

【0076】 機器人控制系統126可包括動作規劃系統138。動作規劃系統138可為機器人102之整體部分、與機器人102分離且相異，或一或多個部分可內建於機器人上，而一或多個其他部分可與機器人分離(即，非內建)。動作規劃系統138可包括電路，例如一或多個處理器及/或一或多個非暫時性處理器可讀媒體(例如，非揮發性記憶體、揮發性記憶體、自旋儲存媒體)，且可執行例如由非暫時性處理器可讀媒體儲存之一或多組處理器可執行指令。動作規劃系統138可產生用於使得機器人102進行特定任務的動作計劃，例如在一系列依序姿勢之間移動，較佳不與障礙物106碰撞。動作規劃系統138可以通信方式耦接(例如，以有線方式、以光學方式、以無線方式)至驅動器136以向其提供指令，該等指令使得機器人遵循或執行動作計劃。

【0077】 機器人控制系統126可包括或存取碰撞偵測系統140。碰撞偵測系統140可包括電路，例如一或多個處理器及/或一或多個非暫時性處理器可讀媒體(例如，非揮發性記憶體、揮發性記憶體、自旋儲存媒體)，且可執行例如由

非暫時性處理器可讀媒體儲存之一或多組處理器可執行指令。如本文中其他處所詳細地說明及描述，碰撞偵測系統140有利地使用機器人之運動模型、環境中的永久障礙物及環境中的臨時障礙物之資料結構表示來判定或偵測機器人在各種姿勢中或在姿勢之間移動時與環境100中的障礙物106之碰撞。資料結構可有利地呈階層式資料結構(例如，八元樹、體積或方塊之組(例如，軸線對準周框方塊樹(AABB)、定向(不軸線對準)周框方塊樹，或球體樹)、其他樹結構)或非階層式資料結構(例如，歐幾里德距離場)之形式。如本文中所解釋，碰撞偵測系統140可在判定或偵測碰撞時使用動作細分粒度值或規範136。

【0078】 碰撞偵測系統140可以通信方式耦接(例如，以有線方式、以光學方式、以無線方式)至集線器或環境感測器系統控制器124以接收機器人102之運動模型128之表示、環境100中的永久障礙物130之表示及環境100中的臨時障礙物132之表示。在至少一些實施中，碰撞偵測系統140以非階層式格式接收運動模型128、永久障礙物130之表示及/或臨時障礙物132之表示中的一個、多個或全部。在彼等實施中，碰撞偵測系統140可在一些情況下有利地將運動模型128、永久障礙物130之表示及/或臨時障礙物132之表示中的一個、多個或全部變換為階層式格式或階層式資料結構。在一些實施中，碰撞偵測系統140可在一些情況下有利地將運動模型128、永久障礙物130之表示及/或臨時障礙物132之表示中的一個、多個或全部變換為非階層式格式或階層式資料結構，例如歐幾里德距離場表示。在其他實施中，碰撞偵測系統140以階層式格式接收運動模型128、永久障礙物130之表示及/或臨時障礙物132之表示中的一個、多個或全部，且不執行任何變換。在其他實施中，碰撞偵測系統140以非階層式格式接收運動模型128、永久障礙物130之表示及/或臨時障礙物132之表示中的一個、多個或全部，且不執行任何變換。在其他實施中，碰撞偵測系統140以階

層式格式接收接收運動模型128、永久障礙物130之表示及/或臨時障礙物132之表示中的一個、多個或全部，且將其變換為非階層式格式(例如，EDF)。

【0079】碰撞偵測系統140可以通信方式耦接(例如，以有線方式、以光學方式、以無線方式)至電腦或終端機134以接收動作細分粒度值或規範136。或者，動作細分粒度值或規範136可由碰撞偵測系統140先前儲存或自某一其他源接收。

【0080】目標物件108經由車輛106f運送經過環境100的一部分，例如自主自我推動輪式或軌道式機器人車輛或台車(例如，KIVA®機器人)。應注意，可使用其他車輛，包括空中車輛(例如，旋轉飛行器或四軸飛行器、空中無人機)及/或水中車輛(例如，船舶、潛水器、水中無人機)。機器人102可擔負自車輛106f獲取目標物件108且將目標物件108存放至集裝箱106d、106e中之一所選者而不與環境中的障礙物106a至106f中之任一者碰撞的任務。或者，機器人102可擔負自集裝箱106d、106e中之一所選者獲取目標物件108且將目標物件108存放至車輛106f上而不與環境中的障礙物106a至106f中之任一者碰撞的任務。執行該任務使用動作規劃，動作規劃又使用碰撞偵測。

【0081】動作規劃之挑戰涉及隨著環境或甚至機器人之特性改變而以相對較低成本但以極快速度且頻繁地執行動作規劃之能力。舉例而言，障礙物可能在組態之後進入環境，或可能在組態之後或甚至在機器人102在運行時間期間操作或移動期間在環境中移動(例如，平移、旋轉)或改變形狀。亦舉例而言，此類特性可包括但不限於在機器人102正固持各種大小之目標物件108時、在改變至不同末端執行器118時或在改變至不同機器人附屬物時，被認為由機器人102之一部分(例如，臂工具之末端或末端執行器108)所佔用的體積。因此，動作規劃考量彼等改變以便執行任務係有利的。此涉及有效地表示、傳達及比較

被認為由環境100中的障礙物106及甚至機器人102所佔用的空間之挑戰。因此，本發明提供促進動作規劃，且特定言之促進碰撞偵測之技術，其使得機器人102能夠在真實世界環境中成功地進行任務。

【0082】圖2及以下論述提供根據一個所說明實施的合適機器人控制系統200之簡要一般描述，其中可實施各種所說明及描述的動作規劃系統及方法。

【0083】儘管不需要，但許多實施將在電腦可執行指令之一般上下文中加以描述，諸如儲存於電腦或處理器可讀媒體上且由可執行碰撞評估及動作規劃操作之一或多個電腦或處理器執行的應用程式模組、物件或巨集。此類動作規劃操作可包括但不限於產生或將以下各者中的一者、多者或全部變換為資料結構格式(例如，階層式格式、非階層式格式)：基於運動模型128 (圖1)的機器人幾何佈置之表示、永久障礙物130 (圖1)之表示及/或臨時障礙物132 (圖1)之表示。此類動作規劃操作可包括但不限於使用機器人之資料結構表示、環境中的永久障礙物(若存在)之資料結構表示及/或環境中的臨時障礙物(若存在)之資料結構表示來判定或偵測或預測機器人之各種姿勢之碰撞或機器人在姿勢之間的動作。此等可視情況基於動作細分粒度值或規範134。在一些實施中，動作規劃操作可包括但不限於：判定一或多個規劃圖形、動作計劃或路線圖；儲存所判定之規劃圖形、動作計劃或路線圖，及/或提供規劃圖形、動作計劃或路線圖來控制機器人之操作。

【0084】如先前論述，數個感測器282可將感知資料及/或其他所感測資訊提供至一或多個處理器，諸如處理器212a。感知資料可提供為串流，其表示在當前時間(例如預組態時間、組態時間、運行時間)在環境中佔用哪些體素或子體積(例如，方塊)。此資料可以佔用柵格形式提供至一或多個處理器，諸如處理器212a。詳言之，在表示環境100中的機器人或物件(例如，障礙物106、目標

物件108)時，可將其表面表示為體素(3D像素)或多邊形網格(常常為三角形)。每一離散化空間區被稱為「體素」，其等同於3D (立體)像素。在一些情況下，改為將物件表示為方塊(矩形稜柱)為有利的。由於物件形狀並不隨機之事實，因此在體素的組織方式上可能存在大量結構；物件中的許多體素在3D空間中相互緊靠。因此，將物件表示為方塊可能需要少得多的位元(即，對於方塊之兩個相對拐角可能僅需要x、y、z笛卡爾座標)。又，對方塊進行交叉點測試在複雜性上與對體素進行交叉點測試相當。

【0085】 至少一些實施可組合多個感測器之輸出，且感測器可提供非常精細粒度的體素化。然而，為了使機器人102有效地執行動作規劃，在各種姿勢或狀態之間進行轉變時，機器人102之處理器212a可使用較粗體素(即，「處理器體素」)來表示環境及由機器人102掃掠的3D空間中之體積。因此，系統200可相應地變換感測器282之輸出。舉例而言，感測器282之輸出可在每一軸線上使用10位元精度，因此直接源自感測器282之每一體素(即，「感測器體素」)具有30位元ID，且存在 2^{30} 個感測器體素。系統200可對於18位元處理器體素ID在每一軸線上使用(在組態時間及運行時間) 6位元精度，且將存在 2^{18} 個處理器體素。因此，舉例而言，每處理器體素可存在 2^{12} 個感測器體素。在運行時間，若系統200判定處理器體素內的感測器體素中之任一者被佔用，則系統200認為處理器體素被佔用，且相應地產生佔用柵格。

【0086】 在一個實施中，回應於動作實行系統138的函數調用或類似處理而執行碰撞評估，且向其返回布林值。碰撞偵測系統可有利地經由一或多個場可程式化閘陣列(FPGA)及/或一或多個特殊應用積體電路(ASIC)實施以執行碰撞偵測，同時達成低延時、相對較低功率消耗、較低成本(例如，與動態隨機存取記憶體(DRAM)之使用相比)，且增大可處置之資訊量。

【0087】 在各種實施例中，此類操作可完全在硬體電路中執行，或作為儲存在諸如系統記憶體214之記憶體儲存器中且由一或多個硬體處理器212a (諸如一或多個微處理器、數位信號處理器(DSP)、場可程式化閘陣列(FPGA)、特殊應用積體電路(ASIC)、圖形處理單元(GPU)處理器、程式化邏輯控制器(PLC)、電可程式化唯讀記憶體(EEPROM))執行的軟體而執行，或作為硬體電路與儲存在記憶體儲存器中的軟體之一組合而執行。

【0088】 又，感知、規劃圖形構造、碰撞偵測及路徑搜尋之各種態樣之實施亦描述於以下各者中：2017年6月9日申請、標題為「MOTION PLANNING FOR AUTONOMOUS VEHICLES AND RECONFIGURABLE MOTION PLANNING PROCESSORS」之國際專利申請案第PCT/US2017/036880號；2016年1月5日申請、標題為「SPECIALIZED ROBOT MOTION PLANNING HARDWARE AND METHODS OF MAKING AND USING SAME」之國際專利申請公開案第WO 2016/122840號；及2018年1月12日申請、標題為「APPARATUS, METHOD AND ARTICLE TO FACILITATE MOTION PLANNING OF AN AUTONOMOUS VEHICLE IN AN ENVIRONMENT HAVING DYNAMIC OBJECTS」之美國專利申請案第62/616,783號。熟習相關技術者將瞭解，所說明實施以及其他實施可配合其他系統結構及配置及/或其他計算系統結構及配置加以實踐，包括機器人、手持裝置、多處理器系統、基於微處理器或可程式化之消費型電子裝置、個人電腦(「PC」)、網路連接PC、迷你電腦、大型電腦等的結構及配置。實施或實施例或其部分(例如，在組態時間及運行時間)可在分佈式計算環境中加以實踐，其中任務或模組由經由通信網路連結之遠端處理裝置執行。在分散式計算環境中，程式化模組可位於本端及遠端記憶體儲存裝置或媒體兩者中。然而，特定類型資訊的儲存位置及方式對於

幫助改良動作規劃係重要的。

【0089】舉例而言，各種動作規劃解決方案將路線圖(即，規劃圖形)「烤入(bake in)」處理器中，且路線圖中之每一邊緣對應於處理器之非可重組態布林電路。將規劃圖形「烤入」至處理器之設計造成以下問題：使有限處理器電路儲存多個或大的規劃圖形，且通常不可重組態以與不同機器人一起使用。

【0090】一個解決方案提供可重組態設計，其將規劃圖形資訊置放至記憶體儲存器中。此方法將資訊儲存於記憶體中，而非烤入電路中。另一方法使用模板化可重組態電路而非記憶體。

【0091】如上所指出，可在先於運行時間的組態時間期間俘獲、接收、輸入或提供資訊中的一些。在運行時間期間，感測器282將感知資料發送至處理器212a。感知資料可為體素或方塊存在於當前環境中且儲存在晶片上環境記憶體294中之串流。可接著對整個環境執行碰撞偵測，包括判定對於任何姿勢或在姿勢之間的移動，機器人之任何部分是否將與機器人之另一部分、環境中之永久障礙物或環境中之臨時障礙物碰撞或預測會碰撞。碰撞偵測有利地使用資料結構表示來執行碰撞偵測分析，且通常返回簡單布林值作為輸出。

【0092】圖2展示諸如用於機器人102之機器人控制系統200，其包含由處理器212a表示之一或多個處理器及諸如系統記憶體214之一或多個相關聯非暫時性機器可讀儲存媒體、碰撞偵測系統284以及與碟機224相關聯之電腦可讀媒體226。相關聯非暫時性電腦或處理器可讀儲存媒體，包括系統記憶體214、碰撞偵測系統284之記憶體或暫存器及與碟機224相關聯之電腦可讀媒體226，經由諸如系統匯流排216之一或多個通信頻道以通信方式耦接至處理器212a。系統匯流排216可使用任何已知的匯流排結構或架構，包括具有記憶體控制器之記憶體匯流排、周邊匯流排及/或本端匯流排。一或多個感測器282及致動器系

統266亦經由系統匯流排216以通信方式耦接至處理器212a。此類組件中之一或多者亦可或替代地經由一或多個其他通信頻道(例如一或多個平行纜線、串行纜線、或能夠高速通信的無線網路頻道，例如通用串列匯流排(「USB」) 3.0、周邊組件高速互連(PCIe))或經由Thunderbolt[®]彼此通信。

【0093】 機器人控制系統200亦可以可通信方式耦接至遠端系統，例如桌上型電腦、膝上型電腦、超攜帶型電腦、平板電腦、智慧型電話、可佩戴電腦(統稱為134)(圖1)，其直接可通信地耦接或經由網路介面260間接可通信地耦接至機器人控制系統200之各種組件。此類遠端系統可用以程式化、組態、控制機器人控制系統200及機器人控制系統200內的各種組件，或以其他方式與其介接或將資料輸入至其中。此類連接可使用網際網路協定經由一或多個通信頻道進行，例如一或多個廣域網路(WAN)，例如網際網路。如上所指出，預運行時間計算(例如，產生規劃圖形家族)可由與機器人102或其他機器人分離的系統執行，而運行時間計算可在機器人102上的處理器212上執行。

【0094】 圖2中所展示之各種區塊之構造及操作描述於以下各者中：2017年6月9日申請、標題為「MOTION PLANNING FOR AUTONOMOUS VEHICLES AND RECONFIGURABLE MOTION PLANNING PROCESSORS」之國際專利申請案第PCT/US2017/036880號；2016年1月5日申請、標題為「SPECIALIZED ROBOT MOTION PLANNING HARDWARE AND METHODS OF MAKING AND USING SAME」之國際專利申請公開案第WO 2016/122840號；及/或2018年1月12日申請、標題為「APPARATUS, METHOD AND ARTICLE TO FACILITATE MOTION PLANNING OF AN AUTONOMOUS VEHICLE IN AN ENVIRONMENT HAVING DYNAMIC OBJECTS」之美國專利申請案第62/616,783號。結果，此類區塊無需進一步詳細描述，因為其將由

熟習相關技術者鑒於以引用之方式併入本文中的參考案而理解。

【0095】 機器人控制系統200可包括一或多個處理單元212、系統記憶體214、碰撞偵測系統284及耦接各種系統組件之系統匯流排216。在一些實施中，碰撞偵測系統284可呈一或多個相異處理器，例如一或多個FPGA或ASIC，之形式。處理器212a可為任何邏輯處理單元，諸如一或多個中央處理單元(CPU) 212a、數位信號處理器(DSP) 212b、特殊應用積體電路(ASIC)、場可程式化閘陣列(FPGA)，等。系統記憶體214可包括唯讀記憶體(「ROM」) 218及隨機存取記憶體(「RAM」) 220。可形成ROM 218之部分的基本輸入/輸出系統(「BIOS」) 222含有幫助在機器人控制系統200內的元件之間傳送資訊(諸如在啟動期間)之基本常式。

【0096】 機器人控制系統200可包括碟機224，其可例如為用於自硬碟讀取及寫入至硬碟之硬碟機、用於自可移除式快閃記憶體裝置讀取且寫入至可移除式快閃記憶體裝置的快閃記憶體碟機、用於自可移除式光碟讀取且寫入至可移除式光碟之光碟機或用於自磁碟讀取且寫入至磁碟之磁碟機。機器人控制系統200亦可在各種不同實施例中包括此類碟機之任何組合。碟機224可經由系統匯流排216與處理單元212通信。碟機224可包括耦接在此類碟機與系統匯流排216之間的介面或控制器(未展示)，如熟習相關技術者所已知。碟機224及其相關聯電腦可讀媒體226提供對用於機器人控制系統200之電腦可讀指令、資料結構、程式模組及其他資料之非揮發性儲存器。熟習相關技術者將瞭解，可使用可儲存可由電腦存取的資料之其他類型之電腦可讀媒體，諸如WORM碟機、RAID碟機、匣式磁帶、數位視訊碟(「DVD」)、柏努利盒式磁盤、RAM、ROM、智慧卡，等。

【0097】 程式模組可儲存在系統記憶體214中，諸如作業系統236、一或多

個應用程式238、其他程式或模組240及程式資料242。應用程式238可包括指令，該等指令使得處理器212執行以下操作中之一或多者：產生機器人將操作所在的環境100 (包括環境100中的障礙物106及/或目標物件108)之離散化表示；產生規劃圖形、動作計劃或路線圖，包括調用或以其他方式獲得碰撞評估之結果；及/或儲存所判定之複數個規劃圖形、動作計劃或路線圖。應用程式238可另外包括一或多個機器可讀指令集，其使得處理器212執行其他感知操作(經由感測器282)，從而規劃如本文所描述且以引用之方式併入本文中的圖形構造、碰撞偵測及路徑搜尋。

【0098】術語「環境」在當前實例中用於指代機器人的當前工作空間，包括障礙物。術語「任務」在當前實例中用於指代機器人任務，在該任務中，機器人102必須自姿勢A變為姿勢B (可能抓取或不抓取或放下物品或獲取或置放物品)，而不與其環境中的障礙物碰撞。術語「場景」在當前實例中用於指代一類環境/任務對。舉例而言，場景可為「在具有3支腳桌子的環境中在大小及形狀處於給定範圍的x及y障礙物之間的抓放任務」。可能存在適合於此類準則的許多不同任務/環境對，其取決於目標之位置以及障礙物之大小及形狀。系統200可包括經由網路介面260經由通信網路連結的一或多個遠端處理裝置。此類一或多個遠端處理裝置可執行一或多個機器可讀指令集，該一或多個機器可讀指令集使得系統200將針對各種不同場景之任務與環境對而產生機器人102操作所在的環境100之表示之各別離散化。在實例實施例中，各別離散化中的至少兩者包含一組各別體素。各別離散化之體素可能在各別離散化內在大小及形狀中的至少一者上為非均質的。又，各別離散化之體素的非均質性之各別分佈可能彼此不同。詳言之，離散化可包含一組各別體素，其中各別離散化中的至少兩者之體素在各別離散化內在大小及形狀中的至少一者上為非均質的，且各別

離散化中的至少兩者之體素的非均質性之各別分佈彼此不同。應用程式238可包括一或多個機器可讀指令集，該一或多個機器可讀指令集使得處理器212接著評估機器人將操作所在的環境100之表示的所產生各別離散化之有效性，且儲存對於特定場景評估為最有效的所產生各別離散化。

【0099】 應用程式238可另外包括一或多個機器可讀指令集，該一或多個機器可讀指令集使得碰撞偵測系統284對於機器人將操作所在的環境中的任何障礙物執行碰撞檢查。碰撞偵測系統284可使用本文中其他處描述之各種結構及技術執行此類碰撞偵測。

【0100】 應用程式238可另外包括一或多個機器可讀指令集，該一或多個機器可讀指令集使得處理器212執行本文所述之各種其他方法，包括但不限於圖5至圖13中所說明的方法。

【0101】 在各種實施例中，上文所描述的操作中之一或多者可由系統200之經由網路介面260經由通信網路連結之一或多個遠端處理裝置或由一或多個處理器212或碰撞偵測系統284執行。

【0102】 儘管在圖2中展示為儲存在系統記憶體214中，但作業系統236、應用程式238、其他程式/模組240及程式資料242可儲存於碟機224之相關聯電腦可讀媒體226上。

【0103】 處理器212及碰撞偵測系統284可為任何邏輯處理單元，諸如一或多個中央處理單元(CPU)、數位信號處理器(DSP)、特殊應用積體電路(ASIC)、場可程式化閘陣列(FPGA)，等。市售電腦系統之非限制性實例包括但不限於：由美國Intel[®]公司提供的Celeron、Core、Core 2、Itanium及Xeon家族微處理器；由美國Advanced Micro Devices提供的K8、K10、Bulldozer及Bobcat系列微處理器；由美國Apple Computer提供的A5、A6及A7系列微處理器；由美國

Qualcomm公司提供的Snapdragon系列微處理器；以及由美國Oracle公司提供的SPARC系列微處理器。

【0104】圖3展示可用於根據本文中所描述之各種方法或過程執行碰撞偵測之碰撞偵測系統300之各種硬體模組或單元之邏輯表示。

【0105】前向運動模組或硬體單元302以姿勢(組態空間或稱C空間中的D元組)作為輸入，且提供機器人之每一連桿在自由空間中之對應平移及旋轉作為輸出。

【0106】 ϵ 邊緣模組或硬體單元304接收兩個姿勢作為輸入，且在此等兩個姿勢之間執行遞歸細分以找出或計算先前對姿勢之間之中間姿勢之數目(例如，複數個)。中間姿勢之細分及產生繼續，直至鄰近姿勢之間的距離小於所界定 ϵ 容限值。 ϵ 邊緣模組或單元之使用可為可選的，例如在將不評估兩個姿勢之間的動作的情況下。

【0107】內插模組或硬體單元306接收兩個姿勢作為輸入，且計算該兩個姿勢之間之新姿勢。內插模組或單元306可為 ϵ 邊緣模組或硬體單元304之部分。

【0108】機器人自我碰撞偵測模組或硬體單元308偵測機器人中之不同連桿之間的碰撞，應注意，鄰近連桿之間不可能碰撞。此硬體可有利地經最佳化以判定表示機器人之兩個連桿中之各別者的兩個球體樹是否重疊。

【0109】永久環境碰撞偵測模組或硬體單元310偵測機器人之任何部分與機器人操作所在的環境中之永久物件或障礙物之間的碰撞。此硬體可有利地經最佳化以判定表示機器人之連桿的球體樹是否與表示環境中的永久物件之歐幾里德距離場衝突。

【0110】臨時環境碰撞偵測模組或硬體單元312偵測機器人之任何部分與機器人操作所在的環境中之臨時物件或障礙物之間的碰撞。此硬體可有利地經

最佳化以判定表示機器人之連桿的球體樹是否與表示環境中的永久物件之一組軸線對準周框方塊重疊。

【0111】碰撞偵測模組或硬體單元308、310、312中之任一者或較佳全部可使用固定點硬體(即，電路)，其可增大計算效率及功率效率。儘管說明為一組模組或單元，但操作系統可包含前述模組或硬體單元中之每一者之多個複本或例項，其可有利地並行操作。舉例而言，一旦內插單元產生新姿勢，則可並行地針對自我碰撞及與永久及臨時物件兩者之碰撞檢查該姿勢。另外，碰撞檢查可有利地在許多碰撞偵測單元上並行化。

【0112】圖4展示機器人之「組態空間」或稱「C空間」400及機器人之動作規劃圖形或路線圖402。組態空間400通常為多維的(即，大於3個維度)。表示出各種障礙物404a、404b、404c (展示四個，僅標出三個，通常為404)。

【0113】規劃圖形或路線圖402包括表示機器人之各別狀態的數個節點406a、406b、406c、406d，…406n (展示十一個，僅標出五個，統稱為406)，該等狀態可包括但不限於機器人之特定組態(其為機器人之一組特定接頭位置之完整規範)、機器人之姿勢、速度及前進方向。該等狀態中的一者可例如為或表示開始狀態406a。該等狀態中的一者可例如為或表示結束或目標狀態406n。規劃圖形或路線圖402包括數個邊緣408a、408b、408c、408d，…408n (展示十一個，僅標出五個，統稱為408)。規劃圖形或路線圖402之每一邊緣408表示機器人自一個狀態至另一狀態之轉變。適合於動作規劃及產生路線圖402之一些結構及方法描述於2017年6月9日申請的標題為「MOTION PLANNING FOR AUTONOMOUS VEHICLES AND RECONFIGURABLE MOTION PLANNING PROCESSORS」之共同讓渡的國際專利申請案第PCT/US2017/036880號及2016年1月5日申請的標題為「SPECIALIZED ROBOT MOTION PLANNING

HARDWARE AND METHODS OF MAKING AND USING SAME」之共同讓渡的國際專利申請公開案第WO 2016/122840號中。

【0114】 多種演算法用來解決動作規劃問題。此等演算法中之每一者需要能夠判定給定姿勢或自一個姿勢至另一姿勢之動作是否導致碰撞。

【0115】 本文中所描述的碰撞偵測硬體、軟體及/或韌體可判定或計算單一機器人姿勢或自一個姿勢(例如，開始姿勢)至另一姿勢(例如，結束姿勢)之機器人動作是否造成機器人的一部分與機器人之另一部分或與機器人的當前操作環境中的任何物件碰撞。環境通常包括障礙物，且可能或可能不包括機器人將有意與之接合以執行任務(例如，抓取及移動目標物件)一或多個目標物件。如前所述，對於障礙物中的一些，由該等障礙物佔用之各別體積在組態模型或計算電路之時間(命名為組態時間之時間)處係已知的，且預期貫穿機器人操作(命名為運行時間之時間)保持不變。此等障礙物由於物件佔用的體積在組態時間期間為已知而被命名為永久障礙物，且預期貫穿運行時間保持不變。對於其他障礙物，障礙物佔用的各別體積在組態時間係未知的，且僅在運行時間判定。此等障礙物由於障礙物佔用之體積在組態時間期間未知而命名為臨時障礙物。由此等暫時性障礙物中之一或多者佔用的各別體積可隨時間推移而固定或不移動或不改變，且命名為靜態障礙物。由此等暫時性物件中之一或多者佔用的各別體積可隨時間推移而移動或改變，且命名為動態障礙物。

【0116】 本文中所描述的碰撞偵測硬體、軟體及/韌體可實施為次常式或函式，其由各種動作規劃演算法調用或叫用，例如概率路線圖(PRM)、快速探索隨機樹(RRT)、RRT*、雙向RRT等演算法。本文中所描述的碰撞偵測硬體、軟體及/韌體亦可用以藉由快速地評估許多候選抓取姿勢而加速抓取規劃。

【0117】 本文中所描述各種實施通常使用兩個或三個組態時間輸入：i)

機器人之運動模型；ii)環境中的永久障礙物或物件之表示；以及視情況選用的動作細分粒度值或規範。機器人之運動模型包括對以下各者中之任一者的約束(例如，彎管接頭之最小及最大角度)：機器人之接頭的數目、自機器人之每一連桿至機器人之各別母代連桿的變換、機器人之每一接頭的軸線，及機器人之每一連桿之幾何佈置的規範。

【0118】 本文中所描述各種實施通常使用兩個或三個運行時間輸入：a)開始姿勢；b)視情況選用的結束姿勢，在此處評估動作；以及c)環境中在運行時間已知但在組態時未知的臨時障礙物或物件之表示。臨時障礙物或物件可為靜態的(即，在相關或運行時間週期期間固定或不移動或不改變形狀)或動態的(即，在相關或運行時間週期的至少一部分期間移動或改變形狀)。對於具有數目D個自由度的機器人，一姿勢可指定為D元組，其中該元組之每一元素指定該自由度(接頭)之位置或旋轉。

【0119】 如前所述，可經由謹慎地選擇資料結構以表示物件、姿勢及/或動作來實現用於碰撞偵測的有效硬體之實施。良好選擇的資料結構可有利地減少儲存所需要的記憶體量、碰撞偵測所需要的硬體量、執行碰撞偵測之延時及功率消耗。此處提供之描述提供數個可能合適的例示性資料結構，但熟習此項技術者將認識到，可基於本文中之教示使用其他結構。存在多種選項，每一選項與延時與準確度之間的各別取捨相關聯。

【0120】 碰撞偵測系統之數個操作過程或方法在圖5至圖13中說明，且在下文論述。

【0121】 圖5為根據一個所說明實施例的展示在基於處理器的系統(例如，機器人控制系統126、碰撞偵測系統140、200)中操作以執行可用於動作規劃及動作計劃產生的碰撞偵測或評估或預測的高階方法500的流程圖。動作計劃可

由機器人執行，例如具有各自包含一或多個連桿、在連桿對之間的接頭及一或多個致動器之一或多個機器人附件的機器人。方法500有利地允許在運行時間期間考慮環境中發生的改變(例如，障礙物之引入、障礙物之移除、位置之改變、障礙物之定向或形狀)。

【0122】 方法500例如回應於經由調用常式或模組之調用或回應於接收到信號或偵測到將電力施加至碰撞偵測系統200而在502處開始。

【0123】 在504處，以處理器為基礎之系統(例如，碰撞偵測系統140、200)之至少一個組件接收表示機器人，例如表示具有數個連桿及數個接頭的機器人附屬物，之運動模型，該等接頭在各別對連桿之間。運動模型可為任何已知或待開發之格式。

【0124】 在506處，以處理器為基礎之系統(例如，碰撞偵測系統140、200)之至少一個組件接收表示環境中的一組永久障礙物之佔用資訊。佔用資訊可例如表示由環境中的該組永久障礙物中之每一永久障礙物佔用的各別體積。佔用資訊可為任何已知或待開發之格式。佔用資訊可由一或多個感測器產生，或可經由電腦或甚至由人界定或指定。佔用資訊通常在組態時間之前或期間接收。

【0125】 視情況，在508處，以處理器為基礎之系統(例如，碰撞偵測系統140、200)之至少一個組件接收表示待動作規劃使用的動作細分粒度之至少一個值或規範。動作細分粒度界定特定問題可接受的最大間隔。動作細分粒度可例如基於問題的類型、場景的類型、機器人的類型及/或特定機器人而在先前界定或指定。或者，動作細分粒度可由使用者經由任何常見輸入裝置(例如，鍵盤、小鍵盤、電腦滑鼠、觸控式螢幕顯示器、麥克風)提供或指定。

【0126】 在510處，以處理器為基礎之系統(例如，碰撞偵測系統140、

200)之至少一個組件至少部分地基於機器人之運動模型產生機器人之資料結構表示。該資料結構表示包括數個連桿及接頭之表示。本文中在其他處論述各種合適的資料結構及技術，例如各種階層式資料結構(例如，樹資料結構)或非階層式資料結構(例如，EDF資料結構)。

【0127】 在512處，以處理器為基礎之系統(例如，碰撞偵測系統200)之至少一個組件產生機器人將操作所在的環境中的一組永久物件之資料結構表示。該資料結構表示包括數個障礙物之表示，該等障礙物在組態時間在環境中具有已知固定位置及定向，且因此命名為永久的(由於假定彼等物件在環境中自組態時間至運行時間持續處於已知位置及定向)。本文中在其他處論述各種合適資料結構，例如各種階層式資料結構(例如，樹資料結構)或非階層式資料結構(例如，EDF資料結構)及技術。

【0128】 在514處，以處理器為基礎之系統(例如，碰撞偵測系統200)之至少一個組件接收表示環境中的該組臨時障礙物之各別位置的佔用資訊。該佔用資訊通常由經定位及定向以感測機器人將操作所在或操作所在的環境之一或多個感測器產生。佔用資訊可為任何已知或待開發之格式。佔用資訊通常在組態時間之後的運行時間期間接收。

【0129】 在516處，以處理器為基礎之系統(例如，碰撞偵測系統140、200)之至少一個組件產生機器人將操作所在之環境中的一組臨時物件之資料結構表示。該資料結構表示在存在數個臨時障礙物的情況下包括該等臨時障礙物之表示，該等臨時障礙物在運行時間之至少某一部分期間在環境中具有已知位置及定向，且在組態時間在環境中不具有已知固定位置或定向。如下文所描述，環境中的該組臨時物件之資料結構表示可基於由經定位及定向以在運行時間或在運行時間期間感測環境之物理特性的一或多個感測器產生的感測器資料

而產生。本文中在其他處論述各種合適資料結構，例如各種階層式資料結構(例如，樹資料結構)或非階層式資料結構(例如，EDF資料結構)及技術。

【0130】 在518處，對於機器人之至少第一數目個姿勢中之每一者，以處理器為基礎之系統(例如，碰撞偵測系統140、200)之至少一個組件至少部分地基於機器人之資料結構表示判定或評估或預測機器人之任何部分是否將與機器人之另一部分碰撞。用於判定是否將造成碰撞的特定技術可至少部分地取決於所使用的資料結構的類型及/或部分地基於用於表示機器人的幾何佈置的特定類型。本文中在其他處，例如在論述下文陳述的各種其他方法及實例時，描述用於判定是否將造成碰撞的各種技術。

【0131】 在520處，對於機器人之至少第二數目個姿勢中之每一者，以處理器為基礎之系統(例如，碰撞偵測系統140、200)之至少一個組件至少部分地基於機器人操作所在的環境中的一組永久障礙物之資料結構表示判定或評估或預測機器人之任何部分是否將與環境中之任何永久障礙物碰撞。如上所指出，永久障礙物之資料結構表示包括數個障礙物之表示，已知該等障礙物在組態時間會佔用在機器人進行任務之操作期間(例如，運行時間)的後續週期中並不預期移動或改變之各別體積。用於判定是否將造成碰撞之特定技術可至少部分地取決於所使用的資料結構的類型及/或部分地基於用於表示永久障礙物及機器人的幾何佈置的特定類型。本文中在其他處，例如在論述下文陳述的各種其他方法及實例時，描述用於判定是否將造成碰撞的各種技術。

【0132】 在522處，對於機器人之至少第三數目個姿勢中之每一者，以處理器為基礎之系統(例如，碰撞偵測系統140、200)之至少一個組件至少部分地基於環境中的該組臨時障礙物之資料結構表示判定或評估或預測機器人之任何部分是否將與環境中之任何臨時障礙物碰撞。如上所指出，臨時障礙物之資料

結構表示在環境中存在數個障礙物的情況下包括該等障礙物之表示，該等障礙物在運行時間之至少某一部分期間佔用環境中的已知體積(例如，位置、定向、形狀及大小)，且在組態時間並不具有臨時障礙物在環境中佔用的已知體積。用於判定是否將造成碰撞之特定技術可至少部分地取決於所使用的資料結構的類型及/或部分地基於用於表示臨時障礙物及機器人的幾何佈置的特定類型。本文中在其他處，例如在論述下文陳述的各種其他方法及實例時，描述用於判定是否將造成碰撞的各種技術。

【0133】 在524處，以處理器為基礎之系統(例如，碰撞偵測系統140、200)之至少一個組件提供表示是否已針對姿勢中的至少一者偵測到碰撞之信號。該信號較佳表示布林值(例如，0、1；真、假、是、否)。因此，方法500可充當例如經由根據所界定應用程式設計介面(API)調用而由另一常式或調用函式調用或叫用的次常式或函式。

【0134】 方法500可在526處終止，例如直至再次調用或叫用。或者，方法500可連續地或例如作為多執行緒處理器上的多個執行緒而執行。

【0135】 圖6為根據一個所說明實施例的展示在基於處理器的系統(例如，機器人控制系統126、碰撞偵測系統140、200)中操作以執行可用於動作規劃及動作計劃產生的碰撞偵測或評估或預測的低階方法600的流程圖。方法600可在執行方法500 (圖5)時執行，例如在至少部分地基於表示機器人之運動模型產生機器人之表示510 (圖5)時執行。

【0136】 在602處，以處理器為基礎之系統(例如，碰撞偵測系統140、200)之至少一個組件產生由運動模型表示的機器人之資料結構表示。舉例而言，對於機器人之每一連桿，碰撞偵測系統200產生例如樹深度等於或大於四(例如，8元樹)之各別樹，作為機器人之階層式表示。亦舉例而言，對於機器人

之每一連桿，碰撞偵測系統200可產生各別k元樹，其中k元樹之每一節點為一球體，若各別球體之任何部分被佔用，則每一節點識別為被佔用。

【0137】圖7A為根據一個所說明實施例的展示在基於處理器的系統(例如，機器人控制系統126、碰撞偵測系統140、200)中操作以執行可用於動作規劃及動作計劃產生的碰撞偵測或評估或預測的低階方法700a的流程圖。方法700a可在執行方法500 (圖5)時執行，例如在產生機器人將操作所在的環境中的一組永久障礙物之資料結構表示512 (圖5)時執行。

【0138】在702處，以處理器為基礎之系統(例如，碰撞偵測系統140、200)之至少一個組件產生周框體積階層以表示環境中的永久障礙物。舉例而言，碰撞偵測系統200產生軸線對準周框方塊(AABB)樹、定向(不軸線對準)周框方塊樹或球體樹。值得注意的是，此等樹型資料結構中之任一者之葉可為與資料結構之其他節點不同之形狀，例如，所有節點為AABB，惟可呈三角形網格形式的根節點除外。

【0139】圖7B為根據一個所說明實施例的展示在基於處理器的系統(例如，機器人控制系統126、碰撞偵測系統140、200)中操作以執行可用於動作規劃及動作計劃產生的碰撞偵測或評估或預測的低階方法700b的流程圖。方法700b可在執行方法700a (圖7)時執行，例如在產生周框體積階層以表示機器人將操作所在的環境中的永久障礙物702 (圖7)時執行。

【0140】在704處，以處理器為基礎之系統(例如，碰撞偵測系統140、200)之至少一個組件產生以三角形網格為葉節點之周框方塊階層，其表示環境中的永久障礙物。如上所指出，樹型資料結構之葉可為與資料結構之其他節點不同之形狀，例如，所有節點為AABB，惟可呈三角形網格形式的根節點除外。

【0141】圖7C為根據一個所說明實施例的展示在基於處理器的系統(例如，機器人控制系統126、碰撞偵測系統140、200)中操作以執行可用於動作規劃及動作計劃產生的碰撞偵測或評估或預測的低階方法700c的流程圖。方法700c可在執行方法700a (圖7)時執行，例如在產生周框體積階層以表示機器人將操作所在的環境中的永久障礙物702 (圖7)時執行。

【0142】在706處，以處理器為基礎之系統(例如，碰撞偵測系統140、200)之至少一個組件產生表示環境中的永久障礙物之球體階層。使用球體作為周框體積促進快速比較(即，判定球體是否彼此重疊在計算上係容易的)。

【0143】圖7D為根據一個所說明實施例的展示在基於處理器的系統(例如，機器人控制系統126、碰撞偵測系統140、200)中操作以執行可用於動作規劃及動作計劃產生的碰撞偵測或評估或預測的低階方法700d的流程圖。方法700d可在執行方法700a (圖7)時執行，例如在產生周框體積階層以表示機器人將操作所在的環境中的永久障礙物702 (圖7)時執行。

【0144】在708處，以處理器為基礎之系統(例如，碰撞偵測系統140、200)之至少一個組件產生表示環境中的永久障礙物之k元球體樹。如上所指出，使用球體作為周框體積促進快速比較(即，判定球體是否彼此重疊在計算上係容易的)。

【0145】圖7E為根據一個所說明實施例的展示在基於處理器的系統(例如，機器人控制系統126、碰撞偵測系統140、200)中操作以執行可用於動作規劃及動作計劃產生的碰撞偵測或評估或預測的低階方法700e的流程圖。方法700e可在執行方法700a (圖7)時執行，例如在產生周框體積階層以表示機器人將操作所在的環境中的永久障礙物702 (圖7)時執行。

【0146】在710處，以處理器為基礎之系統(例如，碰撞偵測系統140、

200)之至少一個組件產生表示環境中的永久障礙物之軸線對準周框方塊階層(AABB)。

【0147】圖7F為根據一個所說明實施例的展示在基於處理器的系統(例如，機器人控制系統126、碰撞偵測系統140、200)中操作以執行可用於動作規劃及動作計劃產生的碰撞偵測或評估或預測的低階方法700f的流程圖。方法700f可在執行方法700a (圖7)時執行，例如在產生周框體積階層以表示機器人將操作所在的環境中的永久障礙物702 (圖7)時執行。

【0148】在712處，以處理器為基礎之系統(例如，碰撞偵測系統140、200)之至少一個組件產生表示環境中的永久障礙物之定向周框方塊階層。

【0149】圖7G為根據一個所說明實施例的展示在基於處理器的系統(例如，機器人控制系統126、碰撞偵測系統140、200)中操作以執行可用於動作規劃及動作計劃產生的碰撞偵測或評估或預測的低階方法700g的流程圖。方法700g可在執行方法500 (圖5)時執行，例如在產生機器人將操作所在的環境中的一組永久障礙物資料結構表示資料結構表示512 (圖5)時執行。

【0150】在714處，以處理器為基礎之系統(例如，碰撞偵測系統140、200)之至少一個組件產生八元樹，該八元樹儲存表示環境中之永久障礙物之體素佔用資訊。

【0151】圖8為根據一個所說明實施例的展示在基於處理器的系統(例如，機器人控制系統126、碰撞偵測系統140、200)中操作以執行可用於動作規劃及動作計劃產生的碰撞偵測或評估或預測的低階方法800的流程圖。方法800可在執行方法500 (圖5)時執行，例如在產生機器人將操作所在的環境中的一組臨時障礙物之資料結構表示516 (圖5)時執行。

【0152】在802處，以處理器為基礎之系統(例如，碰撞偵測系統140、

200)之至少一個組件或集線器或環境感測器系統控制器124 (圖1)接收表示環境中之臨時障礙物的感測器所得資訊。感測器資料可直接自一或多個感測器接收，但通常經由集線器或環境感測器系統控制器124 (圖1)投送至碰撞偵測系統200。感測器資訊中的一些或全部可呈原始或經預處理資料之形式，且可以任何現有或稍後產生的格式或架構加以格式化。

【0153】 在804處，以處理器為基礎之系統(例如，碰撞偵測系統140、200)之至少一個組件或集線器或環境感測器系統控制器124 (圖1)將感測器資訊轉換為佔用資訊。該佔用資訊可以任何現有或稍後重建的格式或架構加以格式化。

【0154】 在806處，以處理器為基礎之系統(例如，碰撞偵測系統140、200)之至少一個組件依據佔用資訊產生環境中之臨時障礙物之資料結構表示。如本文所論述可使用數個階層式表示類型中之任一者，包括各種樹結構。或者，可使用各種非階層式表示，例如歐幾里德距離場(EDF)表示。參考圖7A至圖7G論述的用於產生永久障礙物之階層式及/或非階層式表示的各種操作及各別階層式及/或非階層式表示可用於產生臨時障礙物之階層式及/或非階層式表示。此處出於簡潔性起見而不對其進行重複。

【0155】 圖9為根據一個所說明實施例的展示在基於處理器的系統(例如，機器人控制系統126、碰撞偵測系統140、200)中操作以執行可用於動作規劃及動作計劃產生的碰撞偵測或評估或預測的低階方法900的流程圖。方法900可在執行方法500 (圖5)時執行，例如在判定機器人之任何部分是否將與該機器人之另一部分碰撞518、判定機器人之任何部分是否將與任何永久障礙物碰撞520或判定機器人之任何部分是否將與任何臨時障礙物碰撞522 (圖5)時執行。

【0156】 在902處，對於機器人附屬物在第一姿勢與第二姿勢之間的動

作，以處理器為基礎之系統(例如，碰撞偵測系統140、200)之至少一個組件計算該機器人附屬物之數個中間姿勢。舉例而言，碰撞偵測系統200可計算在機器人之C空間中的在機器人附屬物之第一姿勢與第二姿勢之間的複數個中間姿勢，直至數對連續鄰近姿勢之間的尺寸滿足動作細分粒度之所接收值。

【0157】圖10為根據一個所說明實施例的展示在基於處理器的系統(例如，機器人控制系統126、碰撞偵測系統140、200)中操作以執行可用於動作規劃及動作計劃產生的碰撞偵測或評估或預測的低階方法1000的流程圖。方法1000可在執行方法500(圖5)時執行，例如在計算機器人附屬物之數個中間姿勢902(圖9)時執行。

【0158】方法1000可例如回應於經由調用常式或模組調用或回應於接收到信號或偵測到將電力施加至基於處理器的系統(例如，碰撞偵測系統140、200)之至少一個組件而在1002處開始。

【0159】在1004處，以處理器為基礎之系統(例如，碰撞偵測系統140、200)之至少一個組件對於機器人附屬物之接頭中之每一者執行迭代循環。

【0160】在該迭代循環中，在1006處，以處理器為基礎之系統(例如，碰撞偵測系統140、200)之至少一個組件在接頭在第一姿勢與第二姿勢中之各別位置之間進行內插以獲得第n中間姿勢。

【0161】在1008處，以處理器為基礎之系統(例如，碰撞偵測系統140、200)之至少一個組件針對各別迭代在接頭在一對各別最近鄰姿勢中的各別位置之間進行迭代地內插。

【0162】在1010處，以處理器為基礎之系統(例如，碰撞偵測系統140、200)之至少一個組件判定是否達到結束條件。結束條件可例如為連續鄰近姿勢之間的距離滿足指定的動作細分粒度值或規範。結束條件可例如另外或替代地

包括可完成迭代之最大數目。回應於判定已滿足結束條件，控制傳遞給1012。否則，控制返回至1008。

【0163】方法1000可在1012處終止，例如直至再次調用或叫用。或者，方法1000可連續地或例如作為多執行緒處理器上的多個執行緒而執行。

【0164】換言之，演算法開始於一對初始姿勢(例如，姿勢A及姿勢Z)。在該對初始姿勢(例如，姿勢A及姿勢Z)之間發現第一中間姿勢(例如，姿勢M)。隨後，在該對初始姿勢中之一個姿勢(例如，姿勢A)與第一中間姿勢(例如，姿勢M)之間發現第二中間姿勢(例如，姿勢F)。視情況，在該對初始姿勢中之另一姿勢(例如，姿勢Z)與第一中間姿勢(例如，姿勢M)之間發現第三中間姿勢(例如，姿勢V)。演算法可接著迭代地重複，從而基於連續發現的姿勢發現最相鄰姿勢對之間的姿勢。

【0165】圖11為根據一個所說明實施例的展示在基於處理器的系統(例如，機器人控制系統126、碰撞偵測系統140、200)中操作以執行可用於動作規劃及動作計劃產生的碰撞偵測或評估或預測的低階方法1100的流程圖。方法1100可在執行方法500 (圖5)時執行，例如在計算機器人附屬物之數個中間姿勢902 (圖9)時執行。

【0166】在1102處，對於數個該等姿勢中之每一者，以處理器為基礎之系統(例如，碰撞偵測系統140、200)之至少一個組件對運動機器人模型執行前向運動以計算機器人附屬物之每一連桿自C空間至自由空間之數個變換。

【0167】圖12為根據一個所說明實施例的展示在基於處理器的系統(例如，機器人控制系統126、碰撞偵測系統140、200)中操作以執行可用於動作規劃及動作計劃產生的碰撞偵測或評估或預測的低階方法1200的流程圖。方法1200可在執行方法500 (圖5)時執行，例如在計算機器人附屬物之數個中間姿勢

902 (圖9)時執行。

【0168】 在1202處，以處理器為基礎之系統(例如，碰撞偵測系統140、200)之至少一個組件判定機器人附屬物之至少一部分在一個姿勢中是否將與機器人附屬物之另一部分碰撞。可使用用於判定機器人附屬物之至少一部分在一個姿勢中是否將與機器人附屬物之另一部分碰撞的各種技術及演算法，包括但不限於本文中所描述的技術及演算法。

【0169】 在1204處，以處理器為基礎之系統(例如，碰撞偵測系統140、200)之至少一個組件判定機器人附屬物之至少一部分是否將在一個姿勢中與環境中之任何永久障礙物碰撞。可使用用於判定機器人附屬物之至少一部分是否將在一個第一姿勢中與環境中之任何永久障礙物碰撞的各種技術及演算法，包括但不限於本文中所描述的技術及演算法。

【0170】 在1206處，以處理器為基礎之系統(例如，碰撞偵測系統140、200)之至少一個組件判定機器人附屬物之至少一部分在一個姿勢中是否將與環境中之任何臨時障礙物碰撞。可使用用於判定機器人附屬物之至少一部分在一個第一姿勢中是否將與環境中之任何臨時障礙物碰撞的各種技術及演算法，包括但不限於本文中所描述的技術及演算法。

【0171】 圖13為根據一個所說明實施例的展示在基於處理器的系統(例如，機器人控制系統126、碰撞偵測系統140、200)中操作以執行可用於動作規劃及動作計劃產生的碰撞偵測或評估或預測的低階方法1300的流程圖。方法1300可在執行方法500 (圖5)時執行，例如在計算機器人附屬物之數個中間姿勢902 (圖9)時執行。

【0172】 在1302處，以處理器為基礎之系統(例如，碰撞偵測系統140、200)之至少一個組件判定機器人附屬物之至少一部分是否將在經由機器人附屬

物在自一個姿勢移動至另一姿勢時將通過的複數個中間姿勢在該一個姿勢(例如，第一姿勢)與該另一姿勢(例如，第二姿勢)之間移動時與機器人附屬物之另一部分碰撞。

【0173】 在1304處，以處理器為基礎之系統(例如，碰撞偵測系統140、200)之至少一個組件判定機器人附屬物之至少一部分是否將在經由機器人附屬物在自一個姿勢移動至另一姿勢時將通過的複數個中間姿勢在該一個姿勢(例如，第一姿勢)與該另一姿勢(例如，第二姿勢)之間移動時與環境中之任何永久障礙物碰撞。

【0174】 在1306處，以處理器為基礎之系統(例如，碰撞偵測系統140、200)之至少一個組件判定機器人附屬物之至少一部分是否將在經由機器人附屬物在自一個姿勢移動至另一姿勢時將通過的複數個中間姿勢在該一個姿勢(例如，第一姿勢)與該另一姿勢(例如，第二姿勢)之間移動時與環境中之任何臨時障礙物碰撞。

實例

【0175】 可有效地用例如八元樹、方塊組或歐幾里德距離場(EDF)中之任一者表示各種幾何佈置。

【0176】 八元樹為儲存體素佔用資料之階層式資料結構。樹狀結構允許碰撞偵測僅在需要時遠達固有樹結構階層時才下降，從而增大碰撞偵測處理之計算效率。八元樹之一個益處為固有階層。當然，存在為階層式且可為合適的其他資料結構。

【0177】 方塊組可呈多種形式，例如：軸線對準周框方塊(AABB)樹、定向(不軸線對準)周框方塊樹，或球體樹。值得注意的是，此等樹型資料結構中之任一者之葉可為與資料結構之其他節點不同之形狀，例如，所有節點為

AABB，惟可呈三角形網格形式的根節點除外。周框體積表示之選擇伴隨建構對應資料結構所需之延時與計算碰撞之延時(例如，包括在完成碰撞偵測之前需要橫穿多少樹)之間的取捨。舉例而言，使用球體作為周框體積促進快速比較(即，判定球體是否彼此重疊在計算上係容易的)。舉例來說，如本文中在其他處所論述，可能傾向於使用k元球體樹來表示機器人之每一連桿。在一些實施中，表示環境時之體素可一起分組為一組AABB。在某些情況下，此可充分地簡化體素資料，使其將在計算上較快且比使用八元樹時更節省記憶體。

【0178】 EDF將工作空間離散化為體素之3D柵格，且每一體素的值編碼該工作空間中距最近障礙物之距離。工作空間涵蓋機器人在機器人之任何姿勢中可能到達的所有空間。

【0179】 在典型問題中，存在所表示的三種類型之物品：i)機器人、ii)永久障礙物及iii)暫時性障礙物。以上描述的幾何佈置中的任一者可經選擇以表示此等物品中之任一者。

機器人

【0180】 機器人可模型化為由接頭連接的連桿之樹。對於單一機器人附屬物或臂，此「樹」常常為一元的，但可更一般地，例如，連桿具有兩個或更多個子代連桿。

【0181】 為有效地表示機器人且促進計算上簡單的碰撞偵測，可能有利地傾向於用各別k元球體樹表示機器人之連桿中之每一者。舉例而言，每一連桿可用深度為4之各別8元樹加以表示，總共585個球體。

【0182】 k元樹為每一母代具有k個子代之樹。舉例而言，k元樹可呈k元球體樹之形式，其中k元球體樹之每一節點為在球體之任何部分被佔用的情況下視為被佔用的球體。考慮由三角形網格表示之機器人連桿。樹之根將為封閉

整個連桿之球體。k個子代將為一起覆蓋連桿幾何佈置之全部構成性三角形的球體，且因為其為球體，亦將必然彼此重疊。此等子代中之每一者具有k個子代，等。對於使用深度為4之8元樹的實施，其導致用585個球體來表示連桿：1個用於根，8個用於根之子代，下一層級64個，且葉層級512個，如在下文描述的圖14A至圖14E中所表示。

【0183】圖14A為根據一個所說明實施的表示為三角形網格的機器人附屬物1400的一部分。

【0184】在此實例中，將使用呈深度為4之球體樹之形式的資料結構來大致表示機器人附屬物，如經由圖14B、圖14C、圖14D及圖14E之順序所說明。

【0185】詳言之，圖14B、圖14C、圖14D及圖14E分別描繪球體樹之4個連續層級。在圖14B中所說明的第一層級處，單一球體1402包圍整個機器人附屬物1400。在圖14C中所說明的第二層級處，八個球體1404 (未個別地標出)涵蓋整個機器人附屬物1400。在圖14D中所說明的第三層級處，六十四個球體1406 (未個別地標出)涵蓋整個機器人附屬物1400。在圖14D中所說明的第三層級處，五百一十二個球體1406 (未個別地標出)涵蓋整個機器人附屬物1400。

障礙物

【0186】對於將在整個運行時間佔用環境中的一貫或不變體積且其中所佔用體積在組態時間已知的障礙物，可能傾向於以歐幾里德距離場表示彼等永久障礙物。

【0187】對於將在運行時間期間佔用環境中的不一貫或改變的體積且在運行時間期間的存在或不存在於組態時間未知的障礙物，表徵所佔用體積(例如，位置、大小)(若存在)的特定資訊由一或多個感測器俘獲且自所俘獲資訊辨別。儘管用於大多數情境中的特定感測器技術可能並不重要，但將以某一所界定格

式(例如，點雲)提供感測器資料。以處理器為基礎之系統可將所接收感測器資料或資訊變換為佔用柵格。可能傾向於使用軸線對準周框方塊，例如以清單或樹狀結構或八元樹，來表示障礙物。

【0188】圖15A展示根據一個所說明實施例的環境1500，在該環境中，具有機器人附屬物1504的機器人1502在具有數個障礙物1506a、1506b、1506c (例如，桿)的情況下執行任務，其中機器人附屬物1504之幾何佈置由三角形網格表示。

【0189】圖15B為根據一個所說明實施例的圖15A之環境1500，其中機器人附屬物1504之幾何佈置之表示已轉換為球體樹。

【0190】值得注意的是，一旦機器人附屬物幾何佈置已轉換為球體樹，且場景已轉換為EDF，則場景看起來如圖15B中所描繪。注意，在距離為零之處，距離場以每一位置處的體素顯現。

過程

【0191】下文陳述用於與動作(例如，在兩個姿勢之間移動)相關聯的碰撞檢查的實例過程。

【0192】以處理器為基礎之系統(例如，碰撞偵測系統140、200)計算第一姿勢(例如，開始)與第二姿勢(例如，結束姿勢)之間的大量姿勢。此可例如藉由在一或多個接頭之位置之間進行內插。舉例而言，具有兩個接頭之機器人之開始姿勢可處於接頭位置(30、60)，且結束姿勢處於接頭位置(40、80)。可在接頭位置(35、70)，即開始姿勢與結束姿勢之間的半途，處產生中間姿勢。可迭代地發生中間姿勢之產生。舉例而言，可產生此中間姿勢與開始姿勢及結束姿勢之間的一或多個姿勢，例如分別在接頭位置(32.5、65)及接頭位置(37.5、75)處。此內插可迭代地繼續，直至達到結束條件，例如，開始姿勢與結束姿勢之

間存在足夠數目個姿勢之條件。結束條件可使用對動作細分粒度之輸入加以界定。舉例而言，若姿勢之間的距離小於動作細分粒度值，則滿足結束條件，且迭代停止。另外，迭代之最大數目可界定為結束條件，例如以施行延時約束。

【0193】 對於姿勢中之每一者，以處理器為基礎之系統(例如，碰撞偵測系統140、200)對機器人模型執行前向運動以計算機器人連桿中之每一者自C空間至自由空間之變換。

【0194】 對於每一姿勢，以處理器為基礎之系統(例如，碰撞偵測系統140、200)計算姿勢是否將導致任何自我碰撞與環境中的障礙物之碰撞。若動作中的任何姿勢(例如，開始姿勢、結束姿勢、中間姿勢)將導致碰撞，則動作將導致碰撞條件，且碰撞偵測系統返回適當布林值(例如，碰撞)。若動作中無姿勢(例如，開始姿勢、結束姿勢、中間姿勢)將導致碰撞，則動作將導致碰撞條件，且碰撞偵測系統返回適當布林值(例如，無碰撞)。

【0195】 此等操作可在一定程度上重疊(管線化)。通常並無必要在對已經產生的姿勢進行碰撞檢查之前等待已產生所有姿勢。又，若判定姿勢將導致碰撞，則不需要繼續檢查動作中的其他姿勢，此係因為不會改變特定動作之結果。

碰撞偵測

【0196】 即使在樹狀結構中，碰撞偵測亦最終移歸至判定兩個形狀是否交叉。樹為維持一組形狀以檢查交叉點之特別方便的方式。碰撞偵測可在樹狀結構之根處開始，且向下(即，朝向葉節點)進行。若在任何層級處不存在交叉點，則機器人與障礙物不交叉，且過程結束。若在非葉節點層級處存在交叉點，則碰撞評估過程向下進行至樹狀結構之下一層級。若在葉層級處存在交叉點，則機器人與障礙物交叉。

兩個球體之碰撞測試

【0197】 緊接下文提供之例示性偽碼說明測試操作以判定兩個球體之間是否存在碰撞。

```
bool SpheresCollision(Sphere a, Sphere b): return Distance(a.center, b.center) <
a.radius + b.radius
```

球體與軸線對準周框方塊(AABB)之碰撞測試

【0198】 緊接下文提供之例示性偽碼說明測試操作以判定球體與軸線對準周框方塊之間是否存在碰撞。

```
bool SphereAABBCollision(Sphere s, AABB a):
    Vector3 clamped
    Vector3 t = s.center - a.center
    for i in [0, 1, 2]:
        clamped[i] = Clamp(t[i], -a.extents[i], a.extents[i])
    Vector3 delta = t - clamped
    return Dot (delta, delta) < Square(s.radius)
```

【0199】 AABB範圍場為方塊沿著每一軸線之一半尺寸的3向量表示。Clamp()函數限制第二引數與第三引數之間的第一引數。

兩個球體樹之碰撞測試

【0200】 判定表示為樹之物件(例如，機器人、障礙物)是否碰撞由於資料結構之固有階層式性質而可為快速的。緊接下文提供之例示性偽碼說明用於測試操作以判定兩個球體樹之間是否存在碰撞之遞歸演算法。

```
bool SphereTreesCollision(Tree a, Tree b):
    Stack s
```

```

s.Push({a, b})
while (not s.IsEmpty):
    {a, b} = s.Pop()
    if (SpheresCollision(a.sphere, b.sphere)):
        if (IsLeaf(a) and IsLeaf(b)):
            return TRUE
        if (DescendTreeA(a, b)):
            for child in a:
                s.Push({child, b})
            else:
                for child in b:
                    s.Push({a, child})
return FALSE

```

【0201】 函數DescendTreeA編碼下降規則以決定樹A或樹B是否應在此迭代處進一步探索。

球體樹與歐幾里德距離場之碰撞測試

【0202】 球體樹與距離場之間的碰撞檢查類似於兩個球體樹之情況。再次，球體樹之固有階層式性質用來在已評估該樹至足夠解析度時退出。緊接下文提供之例示性偽碼說明測試操作以判定球體樹與距離場之間是否存在碰撞。

```

bool SphereTreeDistanceFieldCollision(Tree t, DistanceField f):
    Stack s
    s.Push(t)
    while (not s.IsEmpty):

```

```

t = s.Pop
if (t.sphere.radius <= GetDistance(f, t.sphere.center)):
    if (IsLeaf(t)):
        return TRUE
    for child in t:
        s.Push(t)
return FALSE

```

【0203】 前述詳細描述已經由使用方塊圖、示意圖及實例闡述裝置及/或過程之各種實施例。就此等方塊圖、示意圖及實例含有一或多個功能及/或操作而言，熟習此項技術者應理解此等方塊圖、流程圖或實例內之每一功能及/或操作可藉由廣泛範圍之硬體、軟體、韌體或其虛擬任何組合個別地及/或共同地實施。在一個實施例中，可經由布林電路、特殊應用積體電路(ASIC)及/或FPGA實施本發明主題。然而，熟習此項技術者將認識到本文所揭示之實施例整個或部分地可在各種不同實施中在標準積體電路中實施為在一或多個電腦上執行的一或多個電腦程式(例如，在一或多個電腦系統上執行之一或多個程式)、在一或多個控制器(例如微控制器)上執行的一或多個程式、在一或多個處理器(例如微處理器)上執行的一或多個程式、韌體或實質上其任何組合，且設計電路及/或寫入用於軟體及或韌體之程式碼將根據本發明很好地在一一般熟習此項技術者之技能內。

【0204】 熟習此項技術者將認識到，本文中陳述的方法或演算法中之許多者可使用額外動作，可省略一些動作，及/或可以不同於所指定次序之次序執行動作。

【0205】 此外，熟習此項技術者將瞭解，本文中教示之機制能夠實施於硬

體，例如一或多個FPGA或ASIC，中。

【0206】 可組合上文所描述之各種實施例以提供其他實施例。在本說明書中參考及/或在申請案資料頁中所列的所有共同讓渡之美國專利申請公開案、美國專利申請案、國外專利及國外專利申請案以全文引用之方式併入本文中，其包括但不限於：2017年6月9日申請的標題為「MOTION PLANNING FOR AUTONOMOUS VEHICLES AND RECONFIGURABLE MOTION PLANNING PROCESSORS」之國際專利申請案第PCT/US2017/036880 號、2016年1月5日申請的標題為「SPECIALIZED ROBOT MOTION PLANNING HARDWARE AND METHODS OF MAKING AND USING SAME」之國際專利申請公開案第WO 2016/122840號；2018年1月12日申請的標題為「APPARATUS, METHOD AND ARTICLE TO FACILITATE MOTION PLANNING OF AN AUTONOMOUS VEHICLE IN AN ENVIRONMENT HAVING DYNAMIC OBJECTS」之美國專利申請案第62/616,783號；2018年2月6日申請的標題為「MOTION PLANNING OF A ROBOT STORING A DISCRETIZED ENVIRONMENT ON ONE OR MORE PROCESSORS AND IMPROVED OPERATION OF SAME」之美國專利申請案第62/626,939號；以及2018年8月23日申請的標題為「COLLISION DETECTION USEFUL IN MOTION PLANNING FOR ROBOTICS」之美國專利申請案第62/722,067號。可根據以上詳細說明來對實施例進行此等及其他改變。一般而言，在以下申請專利範圍中，所用術語不應解釋為將申請專利範圍限制於本說明書及申請專利範圍中所揭示之特定實施例，而應解釋為包括所有可能之實施例以及該申請專利範圍有權要求的等效物之全部範疇。因此，申請專利範圍不受揭示內容限制。

【符號說明】

【0207】

- 100 操作環境
- 102 機器人
- 106a 障礙物
- 106b 障礙物
- 106c 障礙物
- 106d 障礙物
- 106e 障礙物
- 106f 障礙物
- 108 目標物件
- 110 底座
- 112a 連桿
- 112b 連桿
- 114 接頭
- 116 致動器
- 118 末端執行器
- 120 環境感測器系統
- 122a 數位相機
- 122b 運動感測器或雷達
- 122c 麥克風
- 124 環境感測器系統控制器
- 126 機器人控制系統
- 128 運動模型

| | |
|------|-----------|
| 130 | 永久障礙物 |
| 132 | 臨時障礙物 |
| 134 | 電腦或終端機 |
| 136 | 驅動器 |
| 138 | 動作規劃系統 |
| 140 | 碰撞偵測系統 |
| 200 | 碰撞偵測系統 |
| 212a | 中央處理單元 |
| 212b | 數位信號處理器 |
| 214 | 系統記憶體 |
| 216 | 系統匯流排 |
| 218 | 唯讀記憶體 |
| 220 | 隨機存取記憶體 |
| 222 | 基本輸入/輸出系統 |
| 224 | 碟機 |
| 226 | 電腦可讀媒體 |
| 236 | 作業系統 |
| 238 | 應用程式 |
| 240 | 其他程式或模組 |
| 242 | 程式資料 |
| 260 | 網路介面 |
| 266 | 致動器系統 |
| 282 | 感測器 |

| | |
|------|----------------------|
| 284 | 碰撞偵測系統 |
| 294 | 晶片上環境記憶體 |
| 300 | 碰撞偵測系統 |
| 302 | 前向運動模組或硬體單元 |
| 304 | ϵ 邊緣模組或硬體單元 |
| 306 | 內插模組或硬體單元 |
| 308 | 機器人自我碰撞偵測模組或硬體單元 |
| 310 | 永久環境碰撞偵測模組或硬體單元 |
| 312 | 臨時環境碰撞偵測模組或硬體單元 |
| 400 | 組態空間 |
| 402 | 動作規劃圖形或路線圖 |
| 404a | 障礙物 |
| 404b | 障礙物 |
| 404c | 障礙物 |
| 406a | 節點 |
| 406b | 節點 |
| 406c | 節點 |
| 406d | 節點 |
| 406n | 節點 |
| 408a | 邊緣 |
| 408b | 邊緣 |
| 408c | 邊緣 |
| 408n | 邊緣 |

| | |
|-------|--------|
| 500 | 高階方法 |
| 600 | 低階方法 |
| 700a | 低階方法 |
| 700b | 低階方法 |
| 700c | 低階方法 |
| 700d | 低階方法 |
| 700e | 低階方法 |
| 700f | 低階方法 |
| 700g | 低階方法 |
| 800 | 低階方法 |
| 900 | 低階方法 |
| 1000 | 低階方法 |
| 1100 | 低階方法 |
| 1200 | 低階方法 |
| 1300 | 低階方法 |
| 1400 | 機器人附屬物 |
| 1402 | 球體 |
| 1404 | 球體 |
| 1406 | 球體 |
| 1500 | 環境 |
| 1502 | 機器人 |
| 1504 | 機器人附屬物 |
| 1506a | 障礙物 |

1506b 障礙物

1506c 障礙物

【發明申請專利範圍】

【第1項】 一種操作可用於針對機器人學的動作規劃中之一基於處理器的系統之至少一個組件的方法，該方法包含：

在一組態時間期間，

對於由一運動模型表示之一機器人，產生該機器人之一資料結構表示，該機器人之該資料結構表示係一階層樹結構的形式；以及

對於該機器人操作之一環境，產生該環境中之一組永久障礙物之一資料結構表示，該資料結構表示包括一第一數目個障礙物之該表示，對於該第一數目個障礙物，由該第一數目個障礙物中之該等障礙物中之每一者佔用的該環境中之一各別體積在一組態時間係已知的；及

在一運行時間期間，

對於一機器人之至少第一數目個姿勢中之每一者，藉由至少一組電路至少部分地基於該機器人之該資料結構表示判定該機器人之任何部分是否將與該機器人之另一部分碰撞；

對於該機器人之至少第二數目個姿勢中之每一者，藉由至少一組電路至少部分地基於該機器人操作所在的該環境中之該組永久障礙物之該資料結構表示判定該機器人之任何部分是否將與該環境中之任何永久障礙物碰撞，該資料結構表示包括該第一數目個障礙物之一表示，對於該第一數目個障礙物，由該第一數目個障礙物中之該等障礙物中之每一者佔用的該環境中的一各別體積在該組態時間係已知的；

對於該機器人之至少第三數目個姿勢中之每一者，藉由至少一組電路至少部分地基於該環境中之一組臨時障礙物之一資料結構表示判定該機器人之任何部分是否將與該環境中之任何臨時障礙物碰撞，該資料結構表示在該環境中存

在第二數目個障礙物的情況下包括該環境中之該第二數目個障礙物之一表示，對於該第二數目個障礙物，由該第二數目個障礙物中之該等障礙物中之每一者佔用的該環境中之一各別體積在一運行時間之至少某一部分期間係已知的，且由該等障礙物中之每一者佔用的該環境中之該各別體積在該組態時間係未知的；以及

提供表示是否已針對該等姿勢中的至少一者偵測到一碰撞之一信號。

【第2項】 如請求項1之方法，其中至少部分地基於該機器人之該資料結構表示判定該機器人之任何部分是否將與該機器人之另一部分碰撞包含判定一機器人附屬物之至少一部分是否將在一第一姿勢中與該機器人附屬物之另一部分碰撞。

【第3項】 如請求項1之方法，其中至少部分地基於該機器人之該資料結構表示判定該機器人之任何部分是否將與該機器人之另一部分碰撞包含判定一機器人附屬物之至少一部分是否將在一第一姿勢與一第二姿勢之間移動時與該機器人附屬物之另一部分碰撞。

【第4項】 如請求項1之方法，其中至少部分地基於該機器人操作所在的該環境中之該組永久障礙物之該資料結構表示判定該機器人之任何部分是否將與該環境中之任何永久障礙物碰撞包含判定一機器人附屬物之至少一部分是否將在一第一姿勢中與該環境中之任何永久障礙物碰撞。

【第5項】 如請求項1之方法，其中至少部分地基於該機器人操作所在的該環境中之該組永久障礙物之該資料結構表示判定該機器人之任何部分是否將與該環境中之任何永久障礙物碰撞包含判定一機器人附屬物之至少一部分是否將在一第一姿勢與一第二姿勢之間移動時與該環境中之任何永久障礙物碰撞。

【第6項】 如請求項1之方法，其中至少部分地基於該機器人操作所在的該

環境中之該組臨時障礙物之該資料結構表示判定該機器人之任何部分是否將與該環境中之任何臨時障礙物碰撞包含判定一機器人附屬物之至少一部分是否將在一第一姿勢中與該環境中之任何臨時障礙物碰撞。

【第7項】如請求項1之方法，其中至少部分地基於該機器人操作所在的該環境中之該組臨時障礙物之該資料結構表示判定該機器人之任何部分是否將與該環境中之任何臨時障礙物碰撞包含判定一機器人附屬物之至少一部分是否將在一第一姿勢與一第二姿勢之間移動時與該環境中之任何臨時障礙物碰撞。

【第8項】如請求項1之方法，其中產生該環境中之該組永久障礙物之該資料結構表示包含產生一周框體積階層。

【第9項】如請求項8之方法，其中產生一周框體積階層包含產生以三角形網格為葉節點之一周框方塊階層。

【第10項】如請求項8之方法，其中產生一周框體積階層包含產生一球體階層。

【第11項】如請求項8之方法，其中產生一周框體積階層包含產生一k元球體樹。

【第12項】如請求項8之方法，其中產生一周框體積階層包含產生一軸線對準周框方塊階層。

【第13項】如請求項8之方法，其中產生一周框體積階層包含產生一定向周框方塊階層。

【第14項】如請求項1之方法，其中產生該環境中之該組永久障礙物之該資料結構表示包含產生一八元樹，該八元樹儲存表示該環境中之該組永久障礙物之體素佔用資訊。

【第15項】如請求項1之方法，其中產生該機器人之該資料結構表示包含

產生一k元樹。

【第16項】如請求項1之方法，其中產生該機器人之該資料結構表示包含對於該機器人之數個連桿中之每一者，產生一各別k元樹。

【第17項】如請求項1之方法，其中產生該機器人之該資料結構表示包含對於該機器人之數個連桿中之每一者，產生一各別8元樹。

【第18項】如請求項1之方法，其中產生該機器人之該資料結構表示包含對於該機器人之數個連桿中之每一者，產生一樹深度等於或大於四之一各別8元樹。

【第19項】如請求項1之方法，其中產生該機器人之該資料結構表示包含對於該機器人之數個連桿中之每一者，產生一各別k元樹，其中該k元樹之每一節點為在各別球體之任何部分被佔用的情況下識別為被佔用之一球體。

【第20項】如請求項1之方法，其進一步包含：

在該運行時間期間，

對於該環境，產生該環境中之一組臨時障礙物之該資料結構表示，該資料結構表示在存在該等臨時障礙物的情況下包括該等臨時障礙物之該表示，對於該等臨時障礙物，由該第二數目個障礙物中之該等障礙物中之每一者佔用的該環境中之一各別體積在該運行時間之至少某一部分期間係已知的且由該等障礙物中之每一者佔用的該環境中之該各別體積在該組態時間係未知的，且

其中該判定該機器人之任何部分是否將與該機器人之另一部分碰撞、該判定該機器人之任何部分是否將與一環境中之任何永久障礙物碰撞以及該判定該機器人之任何部分是否將與該環境中之任何臨時障礙物碰撞全部在該運行時間期間發生。

【第21項】如請求項20之方法，其進一步包含：

在該環境中存在該等臨時障礙物的情況下接收表示該等臨時障礙物的感測器資訊；以及

將該感測器資訊轉換為佔用資訊，且其中：

產生該環境中之該組臨時障礙物之該資料結構表示包含依據該佔用資訊產生該環境中之該組臨時障礙物之該資料結構表示。

【第22項】如請求項1之方法，其進一步包含：

接收表示呈具有數個連桿及數個接頭之一機器人附屬物形式的該機器人之一運動模型，該等接頭在各別對該等連桿之間；

接收表示該環境中之該組永久障礙物之各別位置的佔用資訊；以及

接收表示待用於動作規劃中的一動作細分粒度之至少一個值。

【第23項】如請求項22之方法，其中該接收該運動模型、該接收佔用資訊及該接收表示一動作細分粒度之至少一個值全部在該組態時間期間發生，且該方法進一步包含：

基於該機器人之一運動模型在該組態時間期間產生該機器人之一資料結構表示；以及

在該組態時間期間產生該環境中之該組永久障礙物之一資料結構表示，該資料結構表示包括該第一數目個障礙物之一表示，對於該第一數目個障礙物，由該第一數目個障礙物中之該等障礙物中之每一者佔用的該環境中之一各別體積在該組態時間係已知的。

【第24項】如請求項23之方法，其進一步包含：

在該運行時間期間產生該環境中之一組臨時障礙物之一資料結構表示，該資料結構表示在存在該等臨時障礙物的情況下包括該等臨時障礙物之一表示，對於該等臨時障礙物，由該第二數目個障礙物中之該等障礙物中之每一者佔用

的該環境中之一各別體積在該運行時間之至少某一部分期間係已知的且由該等障礙物中之每一者佔用的該環境中之該各別體積在該組態時間係未知的。

【第25項】如請求項1之方法，其中該機器人包含一機器人附屬物，且該方法進一步包含：

對於該機器人附屬物在該機器人附屬物之一第一姿勢與該機器人附屬物之一第二姿勢之間的一動作，計算該機器人附屬物之複數個中間姿勢，在該機器人附屬物之該第一姿勢與該第二姿勢之間的該複數個中間姿勢係在該機器人附屬物之一C空間中，直至該C空間中之數對連續鄰近姿勢之間的一尺寸滿足一動作細分粒度之一所接收值。

【第26項】如請求項25之方法，其中計算該機器人附屬物之複數個中間姿勢包括：

對於該機器人附屬物之接頭中之每一者，在該接頭在該第一姿勢與該第二姿勢中之一各別位置與定向之間進行內插以獲得一第n中間姿勢；以及

對於該機器人附屬物之該等接頭中之每一者，對於一各別第i迭代，在該接頭在一對各別最近鄰姿勢中之一各別位置與定向之間進行迭代地內插，直至達到一結束條件。

【第27項】如請求項26之方法，其中該結束條件為連續鄰近姿勢之間的一距離滿足獲得一第n中間姿勢之動作細分粒度，且該方法進一步包含：

對於數個該等迭代，判定是否已達到該結束條件。

【第28項】如請求項25之方法，其進一步包含：

對於數個該等姿勢中之每一者，對運動機器人模型執行前向運動以計算該機器人附屬物之每一連桿之數個變換。

【第29項】如請求項1至28中任一項之方法，其中以下操作中的至少一者

包含基於一階層式表示或一歐幾里德距離場表示中的至少一者進行判定：判定該機器人之任何部分是否將與該機器人之另一部分碰撞、判定該機器人之任何部分是否將與任何永久障礙物碰撞，或判定該機器人之任何部分是否將與任何臨時障礙物碰撞。

【第30項】 一種用以產生可用於針對機器人學的動作規劃中的碰撞評估之系統，該系統包含：

至少一個處理器；

至少一個非暫時性處理器可讀媒體，其儲存處理器可執行指令或資料中的至少一者，該等處理器可執行指令或資料在由該至少一個處理器執行時使得該至少一個處理器：

在該組態時間期間，

對於由一運動模型表示之一機器人，產生該機器人之一資料結構表示，該機器人之該資料結構表示係一階層樹結構的形式；以及

對於該機器人操作之一環境，產生該環境中之一組永久障礙物之一資料結構表示，該資料結構表示包括一第一數目個障礙物之一表示，對於該第一數目個障礙物，由該第一數目個障礙物中之該等障礙物中之每一者佔用的該環境中之一各別體積在一組態時間係已知的；及

在一運行時間期間，

對於一機器人之至少第一數目個姿勢中之每一者，至少部分地基於該機器人之該資料結構表示判定該機器人之任何部分是否將與該機器人之另一部分碰撞；

對於該機器人之至少第二數目個姿勢中之每一者，至少部分地基於該機器人操作所在的該環境中之該組永久障礙物之該資料結構表示判定該機器人之任

何部分是否將與該環境中之任何永久障礙物碰撞，該資料結構表示包括該第一數目個障礙物之一表示，對於該第一數目個障礙物，由該第一數目個障礙物中之該等障礙物中之每一者佔用的該環境中的一各別體積在該組態時間係已知的；

對於該機器人之至少第三數目個姿勢中之每一者，至少部分地基於該環境中之一組臨時障礙物之一資料結構表示判定該機器人之任何部分是否將與該環境中之任何臨時障礙物碰撞，該資料結構表示在該環境中存在第二數目個障礙物的情況下包括該環境中之該第二數目個障礙物之一表示，對於該第二數目個障礙物，由該第二數目個障礙物中之該等障礙物中之每一者佔用的該環境中之一各別體積在該運行時間之至少某一部分期間係已知的，且由該等障礙物中之每一者佔用的該環境中之該各別體積在該組態時間係未知的；以及

提供表示是否已針對該等姿勢中的至少一者偵測到一碰撞之一信號。

【第31項】 如請求項30之系統，其中為至少部分地基於該機器人之該資料結構表示判定該機器人之任何部分是否將與該機器人之另一部分碰撞，該至少一個處理器判定一機器人附屬物之至少一部分是否將在一第一姿勢中與該機器人附屬物之另一部分碰撞。

【第32項】 如請求項30之系統，其中為至少部分地基於該機器人之該資料結構表示判定該機器人之任何部分是否將與該機器人之另一部分碰撞，該至少一個處理器判定一機器人附屬物之至少一部分是否將在一第一姿勢與一第二姿勢之間移動時與該機器人附屬物之另一部分碰撞。

【第33項】 如請求項30之系統，其中為至少部分地基於該機器人操作所在的該環境中之該組永久障礙物之該資料結構表示判定該機器人之任何部分是否將與該環境中之任何永久障礙物碰撞，該至少一個處理器判定一機器人附屬物

之至少一部分是否將在一第一姿勢中與該環境中之任何永久障礙物碰撞。

【第34項】 如請求項30之系統，其中為至少部分地基於該機器人操作所在的該環境中之該組永久障礙物之該資料結構表示判定該機器人之任何部分是否將與該環境中之任何永久障礙物碰撞，該至少一個處理器判定一機器人附屬物之至少一部分是否將在一第一姿勢與一第二姿勢之間移動時與該環境中之任何永久障礙物碰撞。

【第35項】 如請求項30之系統，其中為至少部分地基於該機器人操作所在的該環境中之該組臨時障礙物之該資料結構表示判定該機器人之任何部分是否將與該環境中之任何臨時障礙物碰撞，該至少一個處理器判定一機器人附屬物之至少一部分是否將在一第一姿勢中與該環境中之任何臨時障礙物碰撞。

【第36項】 如請求項30之系統，其中為至少部分地基於該機器人操作所在的該環境中之該組臨時障礙物之該資料結構表示判定該機器人之任何部分是否將與該環境中之任何臨時障礙物碰撞，該至少一個處理器判定一機器人附屬物之至少一部分是否將在一第一姿勢與一第二姿勢之間移動時與該環境中之任何臨時障礙物碰撞。

【第37項】 如請求項30之系統，其中為產生該環境中之該組永久障礙物之該資料結構表示，該至少一個處理器產生一周框體積階層。

【第38項】 如請求項37之系統，其中為產生一周框體積階層，該至少一個處理器產生以三角形網格為葉節點之一周框方塊階層。

【第39項】 如請求項37之系統，其中為產生一周框體積階層，該至少一個處理器產生一球體階層。

【第40項】 如請求項37之系統，其中為產生一周框體積階層，該至少一個處理器產生一k元球體樹。

【第41項】如請求項37之系統，其中為產生一周框體積階層，該至少一個處理器產生一軸線對準周框方塊階層。

【第42項】如請求項37之系統，其中為產生一周框體積階層，該至少一個處理器產生一定向周框方塊階層。

【第43項】如請求項30之系統，其中為產生該環境中之該組永久障礙物之該資料結構表示，該至少一個處理器產生一八元樹，該八元樹儲存表示該環境中之該組永久障礙物之體素佔用資訊。

【第44項】如請求項30之系統，其中為產生該機器人之該資料結構表示，該至少一個處理器產生一k元樹。

【第45項】如請求項30之系統，其中為產生該機器人之該資料結構表示，該至少一個處理器對於該機器人之數個連桿中之每一者產生一各別k元樹。

【第46項】如請求項30之系統，其中為產生該機器人之該資料結構表示，該至少一個處理器對於該機器人之數個連桿中之每一者產生一各別8元樹。

【第47項】如請求項30之系統，其中為產生該機器人之該資料結構表示，該至少一個處理器對於該機器人之數個連桿中之每一者產生一樹深度等於或大於四之一各別8元樹。

【第48項】如請求項30之系統，其中為產生該機器人之該資料結構表示，該至少一個處理器對於該機器人之數個連桿中之每一者產生一各別k元樹，其中該k元樹之每一節點為在各別球體之任何部分被佔用的情況下識別為被佔用之一球體。

【第49項】如請求項30之系統，其中處理器可執行指令或資料中的該至少一者之執行進一步使得該至少處理器：

在該運行時間期間，

對於該環境，產生該環境中之一組臨時障礙物之該資料結構表示，該資料結構表示在存在該等臨時障礙物的情況下包括該等臨時障礙物之該表示，對於該等臨時障礙物，由該第二數目個障礙物中之該等障礙物中之每一者佔用的該環境中之一各別體積在該運行時間之至少某一部分期間係已知的且由該等障礙物中之每一者佔用的該環境中之該各別體積在該組態時間係未知的，且

其中該判定該機器人之任何部分是否將與該機器人之另一部分碰撞、該判定該機器人之任何部分是否將與一環境中之任何永久障礙物碰撞以及該判定該機器人之任何部分是否將與該環境中之任何臨時障礙物碰撞全部在該運行時間期間發生。

【第50項】 如請求項49之系統，其中處理器可執行指令或資料中的該至少一者之執行進一步使得該至少處理器：

在該環境中存在該等臨時障礙物的情況下接收表示該等臨時障礙物的感測器資訊；以及

將該感測器資訊轉換為佔用資訊，且其中：

為產生該環境中之該組臨時障礙物之該資料結構表示，該至少一個處理器依據該佔用資訊產生該環境中之該組臨時障礙物之該資料結構表示。

【第51項】 如請求項30之系統，其中處理器可執行指令或資料中的該至少一者之執行進一步使得該至少處理器：

接收表示呈具有數個連桿及數個接頭之一機器人附屬物形式的該機器人之運動模型，該等接頭在各別對該等連桿之間；

接收表示該環境中之該組永久障礙物之各別位置的佔用資訊；以及

接收表示待用於動作規劃中的一動作細分粒度之至少一個值。

【第52項】 如請求項51之系統，其中該運動模型、該佔用資訊及表示一動

作細分粒度之該至少一個值全部在該組態時間期間接收，且其中處理器可執行指令或資料中的該至少一者之執行進一步使得該至少處理器：

基於該機器人之該運動模型在該組態時間期間產生該機器人之該資料結構表示；以及

在該組態時間期間產生該環境中之該組永久障礙物之該資料結構表示，該資料結構表示包括該第一數目個障礙物之該表示，對於該第一數目個障礙物，由該第一數目個障礙物中之該等障礙物中之每一者佔用的該環境中之一各別體積在一組態時間係已知的。

【第53項】 如請求項52之系統，其中處理器可執行指令或資料中的該至少一者之執行進一步使得該至少處理器：

在該運行時間期間產生該環境中之一組臨時障礙物之該資料結構表示，該資料結構表示在存在該等臨時障礙物的情況下包括該等臨時障礙物之該表示，對於該等臨時障礙物，由該第二數目個障礙物中之該等障礙物中之每一者佔用的該環境中之一各別體積在該運行時間之至少某一部分期間係已知的且由該等障礙物中之每一者佔用的該環境中之該各別體積在該組態時間係未知的。

【第54項】 如請求項30之系統，其中該機器人包含一機器人附屬物，且其中處理器可執行指令或資料中的該至少一者之執行進一步使得該至少處理器：

對於該機器人附屬物在該機器人附屬物之一第一姿勢與該機器人附屬物之一第二姿勢之間的一動作，計算該機器人附屬物之複數個中間姿勢，在該機器人附屬物之該第一姿勢與該第二姿勢之間的該複數個中間姿勢係在該機器人附屬物之一C空間中，直至該C空間中之數對連續鄰近姿勢之間的一尺寸滿足動作細分粒度之所接收值。

【第55項】 如請求項54之系統，其中為計算該機器人附屬物之複數個中間

姿勢，該至少一個處理器：

對於該機器人附屬物之接頭中之每一者，在該接頭在該第一姿勢與該第二姿勢中之一各別位置與定向之間進行內插以獲得一第n中間姿勢；以及

對於該機器人附屬物之該等接頭中之每一者，對於一各別第i迭代，在該接頭在一對各別最近鄰姿勢中的一各別位置與定向之間進行迭代地內插，直至達到一結束條件。

【第56項】 如請求項55之系統，其中該結束條件為連續鄰近姿勢之間的一距離滿足獲得一第n中間姿勢之動作細分粒度，且處理器可執行指令或資料中的該至少一者之執行進一步使得該至少處理器：

對於數個該等迭代，判定是否已達到該結束條件。

【第57項】 如請求項54之系統，其中處理器可執行指令或資料中的該至少一者之執行進一步使得該至少處理器：

對於數個該等姿勢中之每一者，對運動機器人模型執行前向運動以計算該機器人附屬物之每一連桿之數個變換。

【第58項】 如請求項30至57中任一項之系統，其中以下操作中的至少一者包含基於一階層式表示或一歐幾里德距離場表示中的至少一者進行的一判定：該判定該機器人之任何部分是否將與該機器人之另一部分碰撞、該判定該機器人之任何部分是否將與任何永久障礙物碰撞，或該判定該機器人之任何部分是否將與任何臨時障礙物碰撞。

【發明圖式】

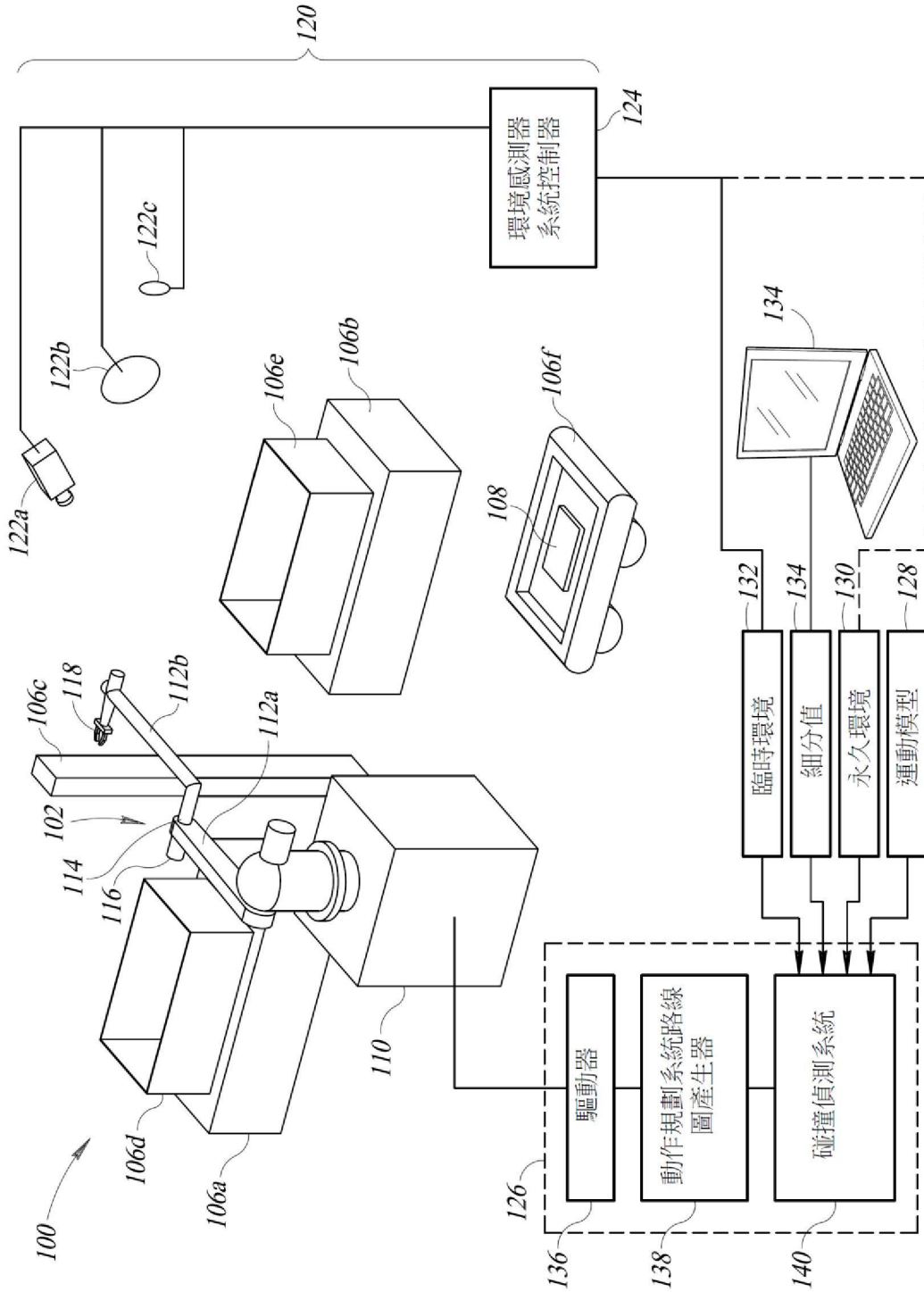


圖1

200

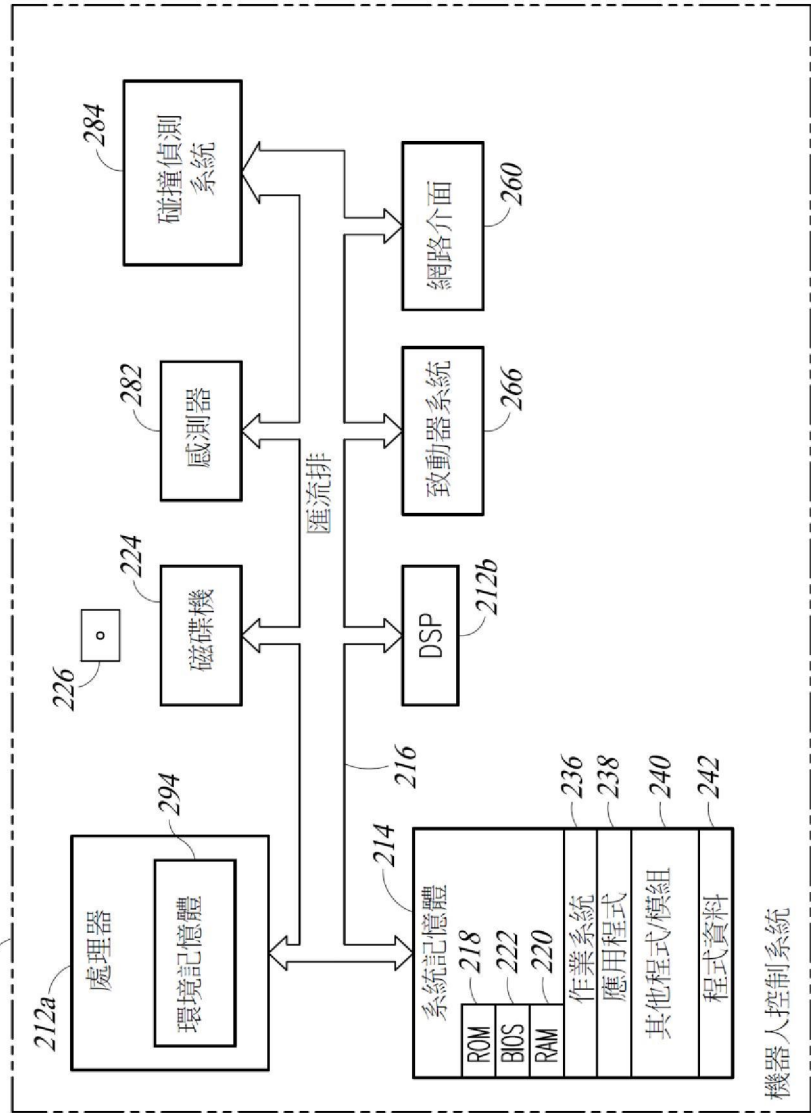


圖2

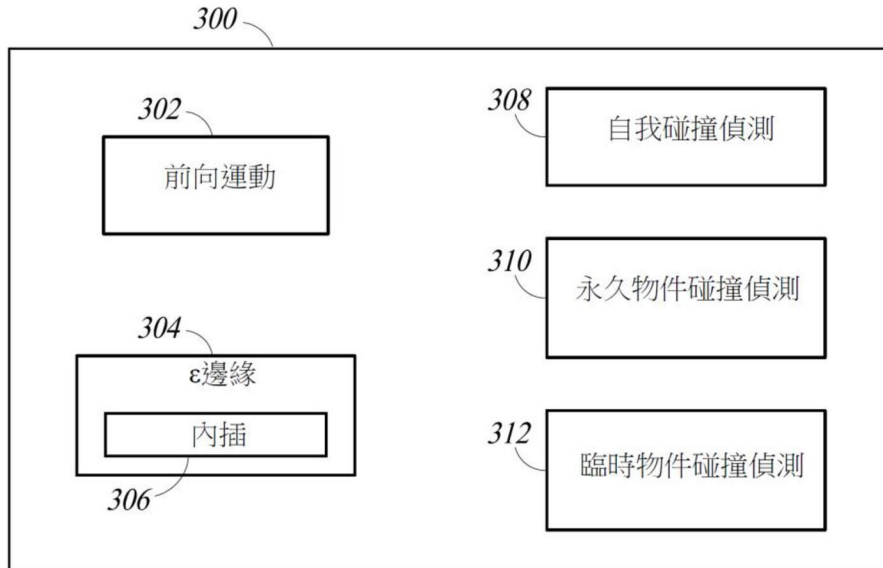


圖3

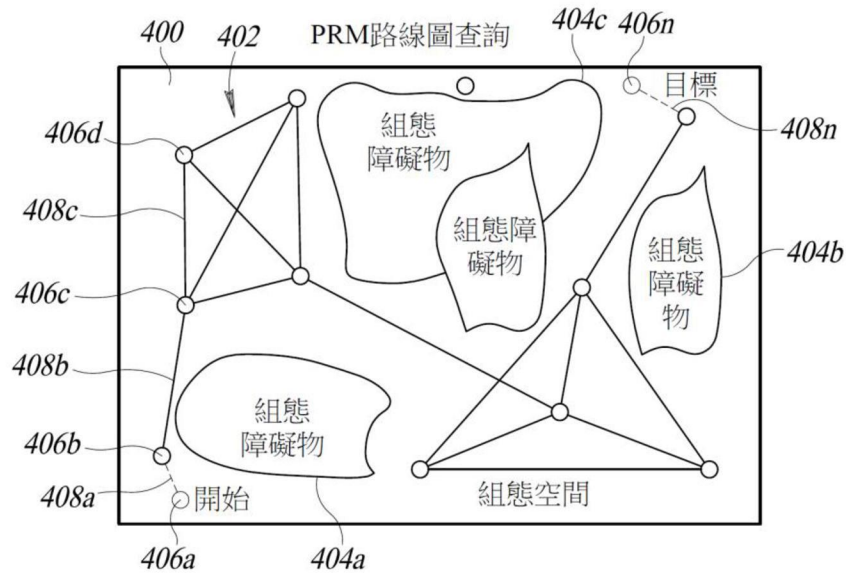


圖4

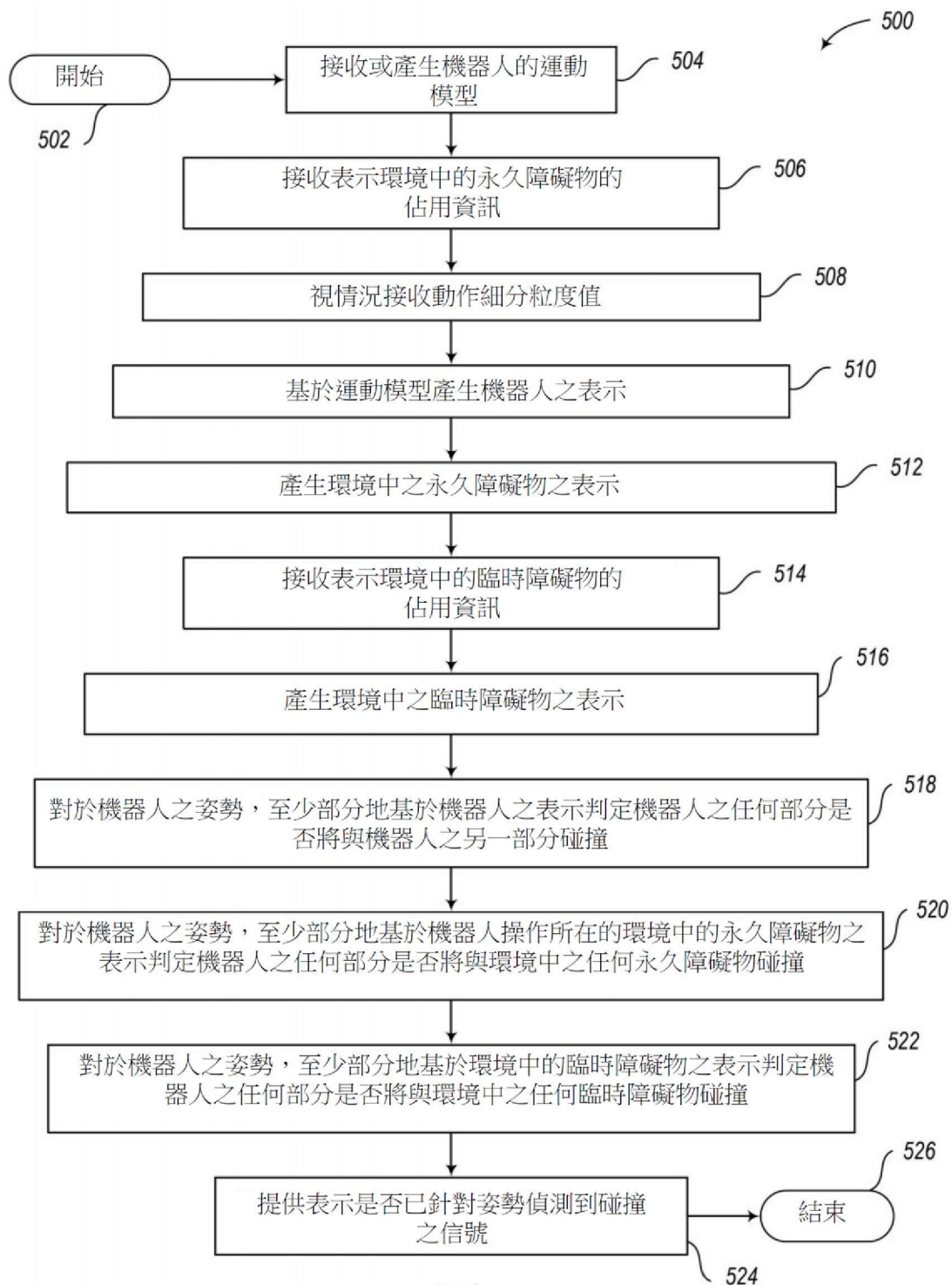
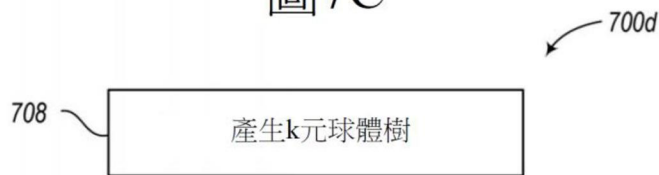
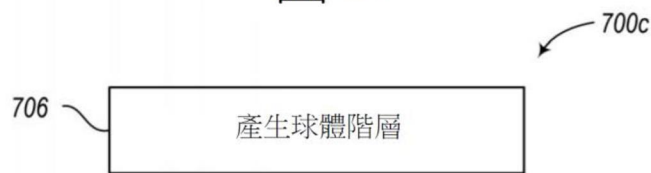
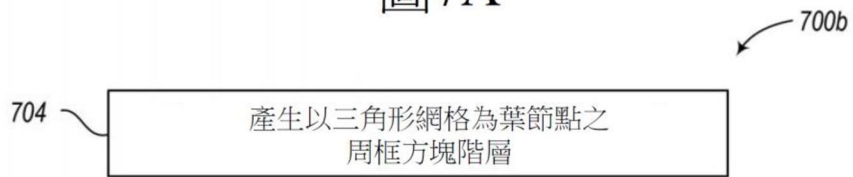
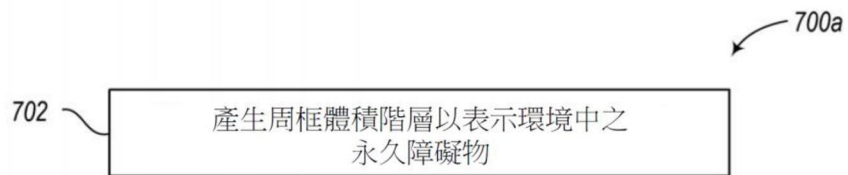
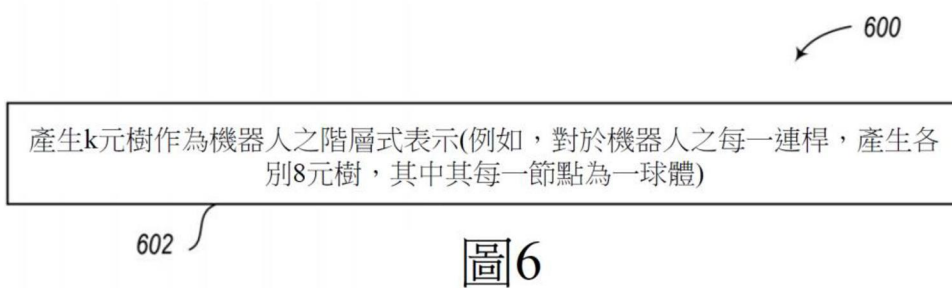
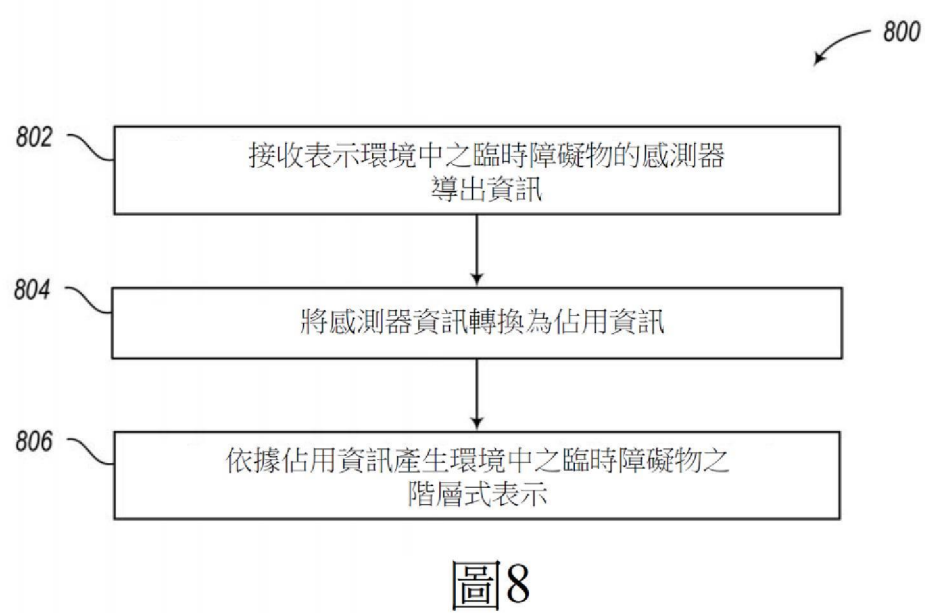
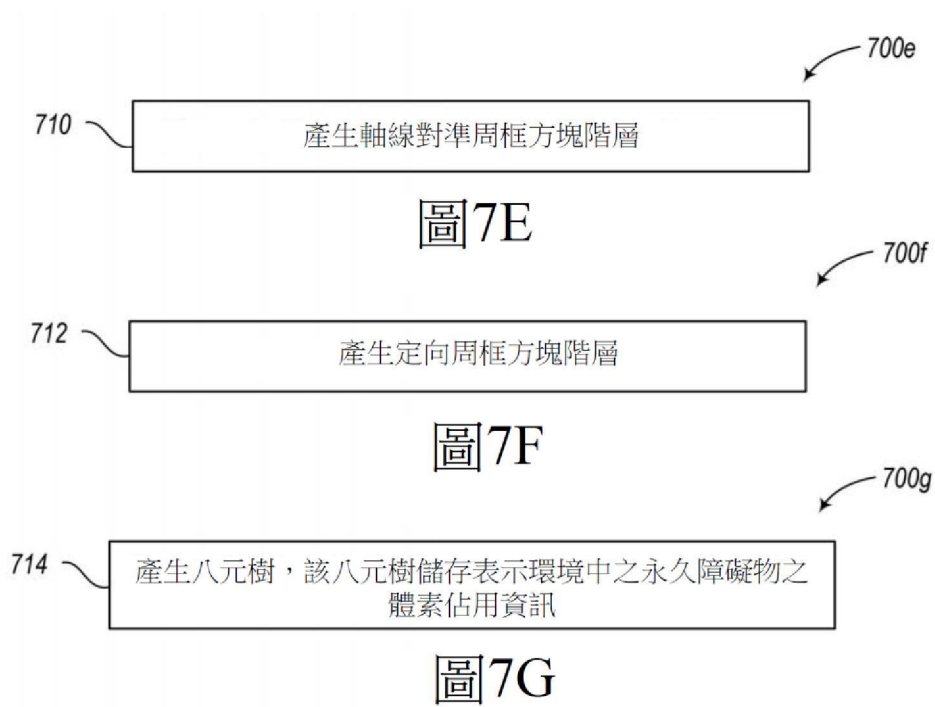


圖5





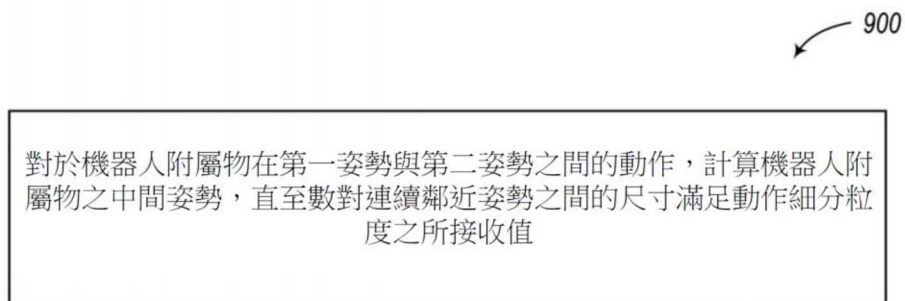


圖9

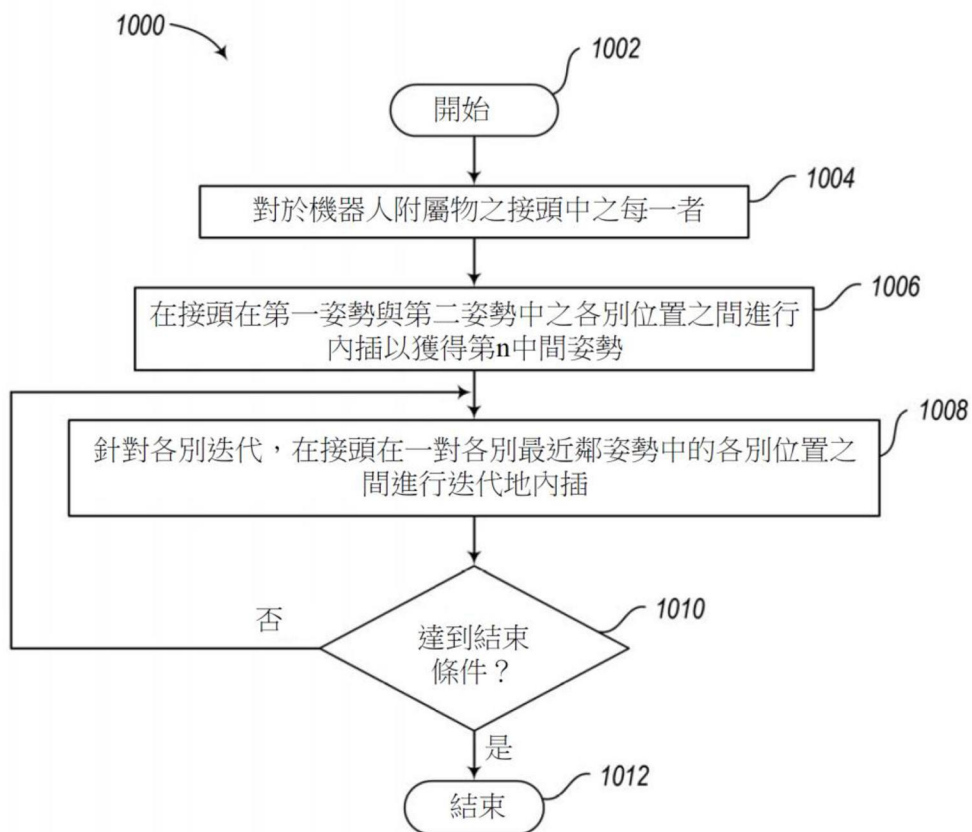


圖10

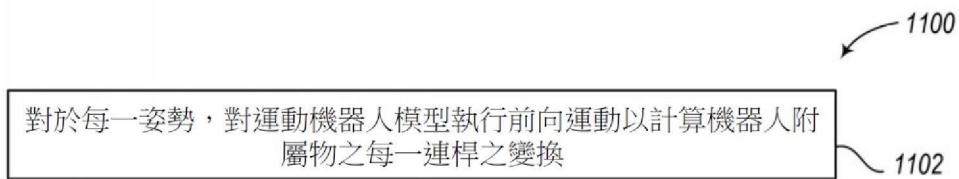


圖 11



圖 12

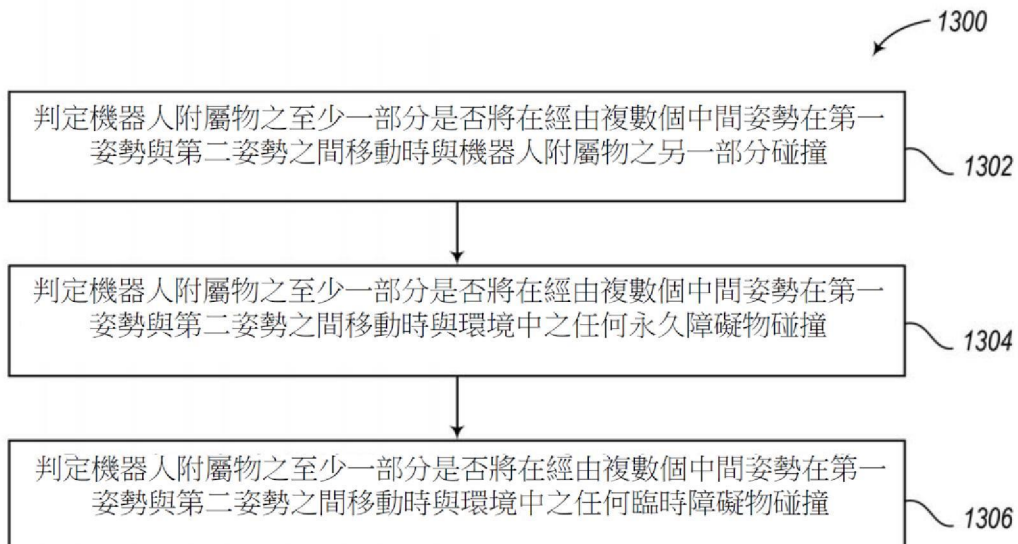


圖 13

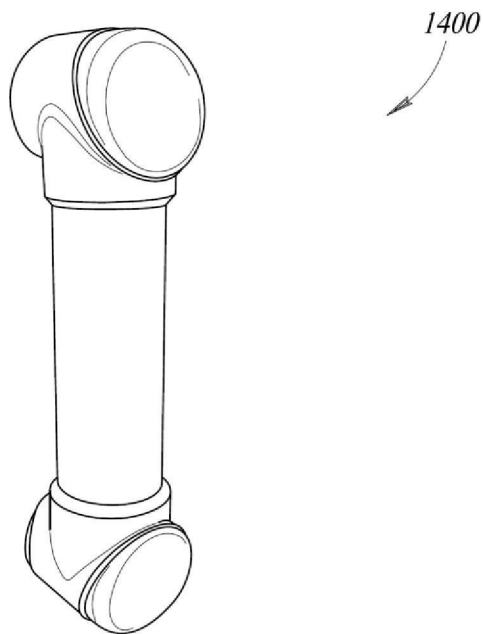


圖14A

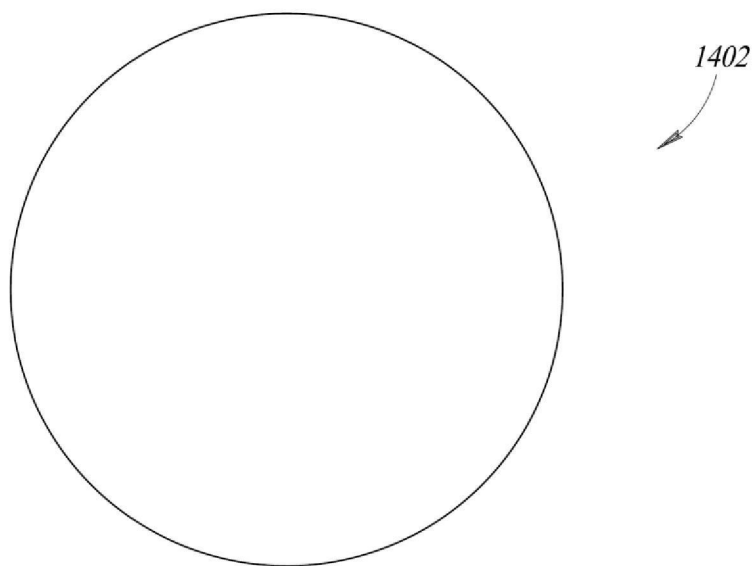


圖14B

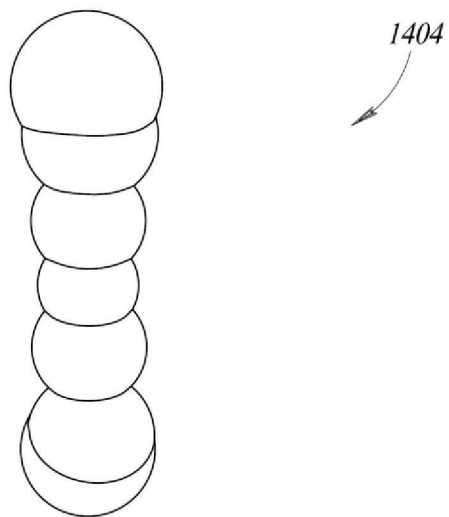


圖14C

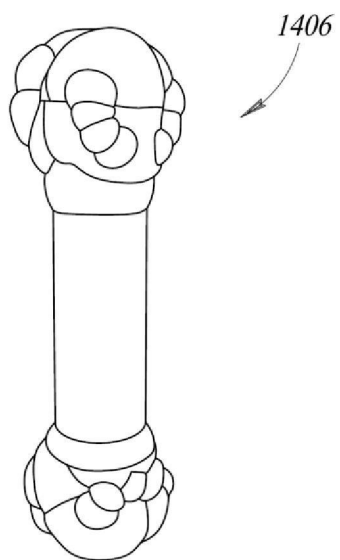


圖14D

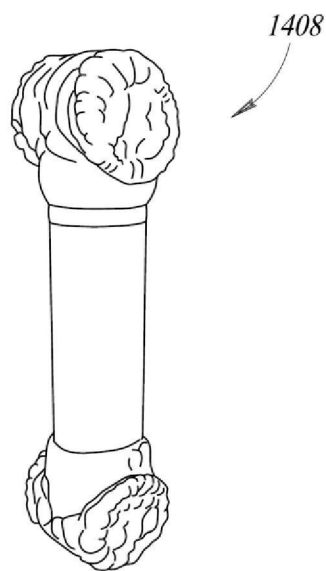


圖14E

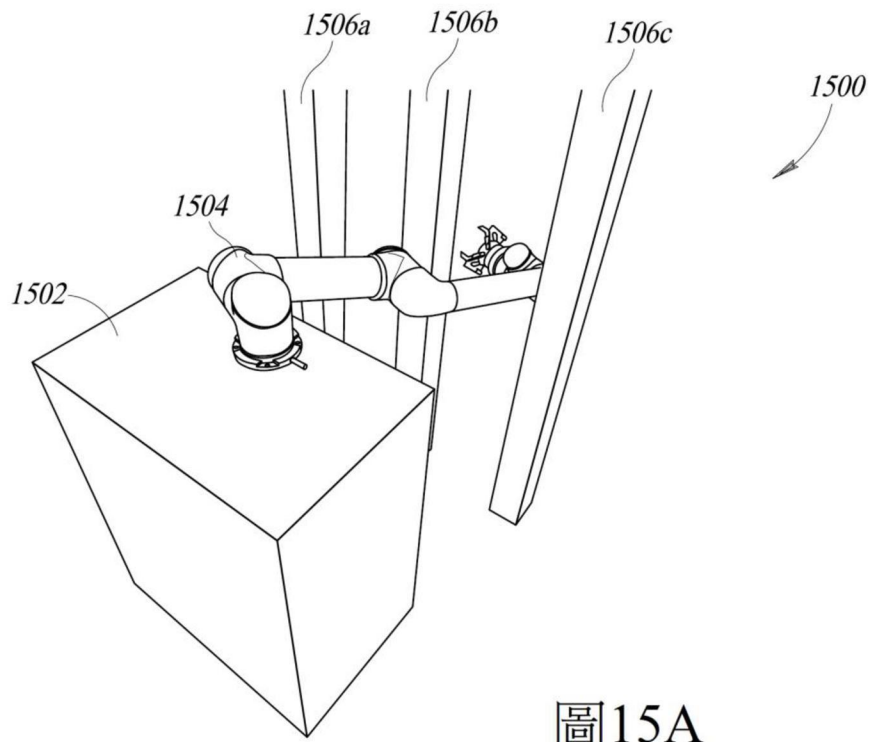


圖15A

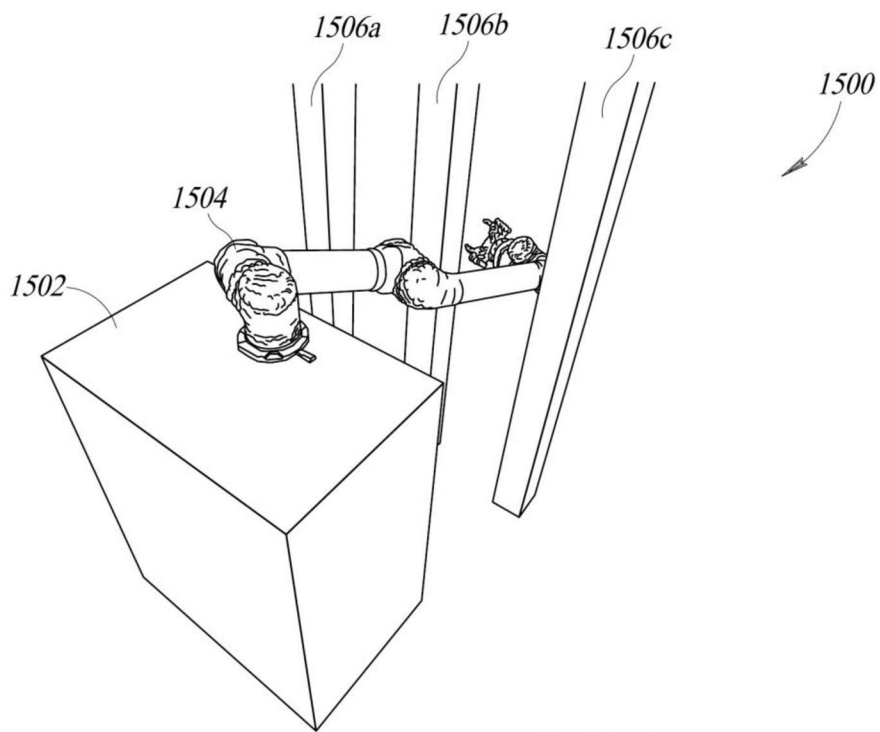


圖15B