探討不同產業服務型機器人之社交情境維度組合對使用者感知體驗的影響

吳志富* 袁悅**

* 大同大學工業設計系

wcf@gm.ttu.edu.tw

**蘇州工學院

大同大學設計科學研究所

** 通訊作者 yuanyueuk@126.com

摘 要

隨著人工智慧技術不斷發展和應用，服務機器人作為人機互動的重要組成部分，已經廣泛應用於各個領域。在人機互動的背景下，本研究根據團隊先前分類的產業類別，選擇了家庭陪伴領域和教育領域，探討使用者與機器人互動過程中，感到最舒適和最佳的安全社交距離，並探討不同社交距離之最佳互動體驗。本研究將兩種不同的互動方式（單用戶互動、多用戶互動）與三種固定的物理社交距離相結合，以調查兩種不同產業服務機器人的能力感、信任度和接受度方面的使用者感知評價。本研究在實驗中使用了兩個高度不同的實體機器人，研究結果顯示：（1）在家庭陪伴領域中，機器人的身高尺寸會影響使用者對機器人能力的評價，而互動方式也顯著影響使用者對機器人的接受度。（2）兩種互動方式搭配地面型機器人同時保持個人空間的互動距離（45cm-120cm）可提高機器人的信任度和接受度；（3）對於教育機器人而言，機器人身高尺寸和互動距離對機器人信任度和接受度都有顯著影響。（4）在教育機器人能力感評估方面，地面型機器人（120cm）搭配個人空間距離（45cm-120cm）有較高的使用者感知評價。

關鍵字：互動距離、單用戶互動、多用戶互動、人機互動（HRI）

論文引用：吳志富、袁悅（2025）。探討不同產業服務型機器人之社交情境維度組合對使用者感知體驗的影響。*設計學報，30*（3），1-24。

一、前言

近年來人工智慧、5G 時代的不斷發展，機器人產業如雨後春筍般湧現。越來越多的服務機器人融入在人們的社交生活中，未來機器人將面臨更複雜的使用者互動情境，對服務機器人人性化的設計考量顯得更為重要。當服務機器人應用於具體產業環境時，不同的使用者反映出不同的需求，除了功能層面的

需求外，使用者對機器人的情感需求也是互動體驗中非常重要的一部分，過去研究也顯示，加入感性層面的設計對機器人的接受度有大幅的提升（Hancock et al., 2011; Jeong, Yang, & Baltes, 2022; Kirby, Forlizzi, & Simmons, 2010）。由於機器人試圖在人類社會生活中扮演更好的角色，因此它們必須遵守社交空間中的一些社會法則（Feil-Seifer, Dascalu, & Livani, 2020）。綜上所述，本研究中探討的重要議題是：在與機器人互動時，人在多遠的距離內會感到舒適及安全？互動情景中是否會因為人數的不同，影響互動效果？為了提高人與機器人之間互動交流的質量，為人機互動創造更好的體驗，本研究將透過社交情境維度的相關影響因素，探討使用者與機器人互動的體驗感知評價。

人機互動情境，在空間關係學中被定義為研究人類對空間的使用，它可能為靜止的或是移動的（Feil-Seifer et al., 2020）。相關研究表示，人際互動中影響的因素，不僅僅是人機之間的物理距離，還包括機器人接近方式與特徵（即機器人的身高）（Rajamohan, Scully-Allison, Dascalu, & Feil-Seifer, 2019）。而在互動方式方面，人機互動（human robot interaction）領域的研究，大多探討單用戶（single-user）的互動方式；但隨著科技的多元性與複雜度提升，學者們發現很多情況下並非只有單用戶的互動方式，多人使用（multi-user）的互動方式往往更接近真實的情景(Keizer, Kastoris, Foster, Deshmukh, & Lemon, 2014)。例如：在門市服務場域，同一個互動任務中，一個服務機器人可能會與顧客及銷售人員同時進行互動行為，或是一個服務機器人可能會與多名顧客之間進行互動等；類似的情況還可能出現在酒吧情境的服務機器人，或者節目演出的機器人等情況（Jeong et al., 2022; Keizer, Foster, Lemon, Gaschler, & Giuliani, 2013; Keizer et al., 2014）。針對特定的應用領域分析不同人機互動方式對使用者的影響非常重要，因為即使在同一個產業環境條件下，也可能因互動方式不同，給使用者帶來具差異性的社交體驗。因此，本研究將探討人機互動方式（interaction mode）、人機互動距離（interaction distance）及兩種不同機器人尺寸對使用者互動體驗的影響，並制定不同產業領域的差異化應用準則。

因應人工智慧（artificial intelligence, AI）的爆炸性推進，服務機器人目前正處於快速發展階段，越來越多領域正在引進服務型機器人進入各種生產流程和日常生活中。國際機器人聯合會（International Federation of Robotics）整理了 63 種服務機器人的應用領域，主要分為兩大類：（1）個人／家用類機器人；（2）專業領域類機器人。在此基礎上，Dou、Wu、Wang 與 Niu（2020）將其進行歸納總結，得出人機互動領域常見的 8 個產業領域：安保機器人（security）、個人協助機器人（personal assistant）、服務機器人（service）、公共協助機器人（public assistant）、教育機器人（education）、健康照顧機器人（healthcare）、陪伴機器人（companion）和娛樂機器人（entertainment），然而在不同的應用環境中機器人執行的任務有所不同。過去研究探討在家庭陪伴的環境中，娛樂機器人在兩種不同任務（合作與競爭）下對空間互動距離的影響，結果顯示在與機器人進行合作任務時，機器人遠離參與者比靠近時有更積極的體驗；然而進行競爭任務時，機器人靠近時會產生更積極的體驗（Kim & Mutlu, 2014）。Lin 與 Yueh（2016）則發現在圖書館進行書籍推薦任務的機器人，參與者（孩子們）更喜歡與其保持更近的空間距離。但多數研究只針對單一個產業進行研究，而本研究則基於團隊先前對常見的 8 個產業三維座標分類（社交性－能力值－知覺地位）（如圖 1）。社交性用以評價機器人對外界的活躍程度；能力值用以評價機器人在工作方面的能力是否優秀；知覺地位主要判斷機器人在不同情境中處於主導或輔助地位（Niu，2023）。本研究選取了兩種差異化較大的兩個領域進行研究，分別為：教育領域（高地位－高能力－高社交象限）和家庭陪伴領域（低地位－低能力－高社交象限）。

關於機器人角色與空間距離的關係，學者發現機器人性別會影響使用者對人機互動距離的感知評價。Uzzell 與 Horne（2006）研究發現機器人的性別角色（即被稱為男性氣質和女性氣質）很大程度上地影響著人際距離變化。Mumm 與 Mutlu（2011）發現，女性參與者與男性機器人之間保持的距離，明

顯大於與女性機器人之間的距離。而根據學者對機器人聲音的研究發現，家庭陪伴領域中機器人為女性聲音通常更受歡迎、教育領域男性聲音評分較高（Dou, Wu, Lin, Gan, & Tseng, 2021），因此本研究中透過控制機器人的說話聲音以區別機器人的性別角色，將聲音設置為實驗的固定變數，重點探討社交情境維度的三個參數（機器人身高、互動距離、互動方式）對參與者感知體驗的影響。

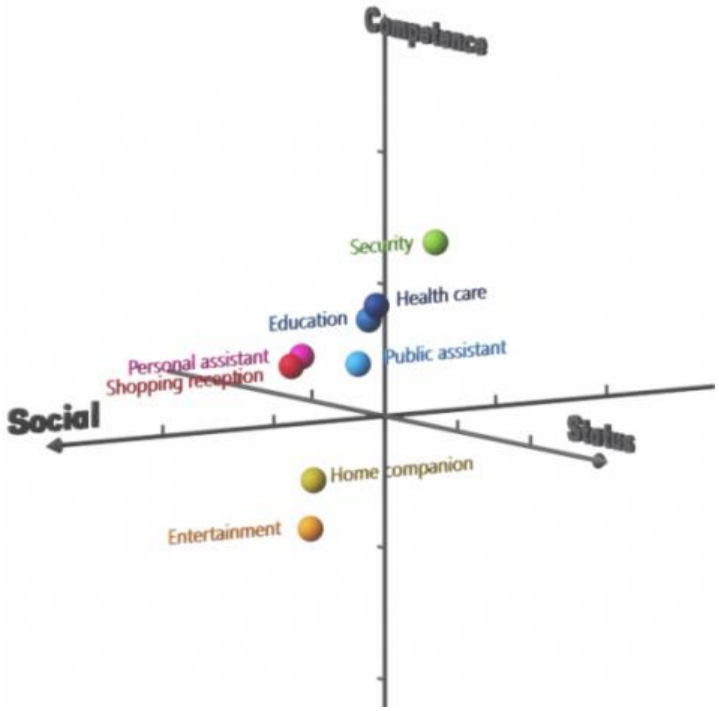


圖 1. 8 種產業的機器人用戶需求三維坐標圖（知覺社交性–知覺能力值–知覺地位）（牛津，2023）

在機器人外觀與互動距離方面，研究發現人們與機械外觀機器人互動的平均距離比與人型外觀機器人的平均距離更短（Leichtmann & Nitsch, 2020）。在機器人形貌部分，身高、身體姿態也屬於形貌的一部分，對於身高尺寸方面，根據 Torta、Cuijpers 與 Juola（2013）研究，其在兩個實驗中發現參與者的身高和機器人互動距離之間存在顯著的正相關。但多數研究僅有考慮機器人形貌的一個部分，未將其結合不同的產業環境進行探討，因此本研究將機器人形貌（尺寸）結合了社交情境中其它兩個變數加以研究。

另有研究對機器人其他因素進行探討，例如：當機器人與使用者以不同語言風格進行交流時，會顯著影響人際互動距離；該研究結果顯示，當機器人在互動中主動稱呼參與者的名字，參與者會與機器人保持更近的空間距離（Kim, Y., Kwak, S. S., & Kim, M. S., 2013）。而在使用經驗與互動距離方面，過去有研究指出，隨著經驗或熟悉程度的增加，參與者傾向與機器人維持更短的距離（Mead & Matarić, 2016）。

上述多數文獻只是針對機器人本身的設計參數，探討參與者的心理感知評價，但在人機互動的空間中，調節相互作用的外部因素是不可或缺的。互動環境因素被認為是使用情境、背景或情況，而人機互動包括幾個關鍵因素的組合，即使用者、產品、活動和情境。因此，在本研究中選擇環境因素條件為空間距離因素，搭配不同互動模式（互動人數）進行實驗操弄，探討機器人的尺寸（身高）、物理互動距離以及互動方式（單用戶或多用戶）三個實驗變數；然而，先前的文獻中通常將這些變數各別探討，而本研究則嘗試在一個綜合性的背景下，探討它們之間的交互作用和影響，並能夠更全面地理解這些因素對參與者互動感知體驗的影響，為設計更優化的人機互動體驗提供建議。

二、文獻探討

2-1 機器人外形尺寸

過去研究指出，人們會根據最初的外表形象互相評價，這為人們最初如何看待機器人，以及他們對機器人行為的判斷提供一些看法；在某種程度上，這些印象也依賴於機器人本身的外型（Zebrowitz, 2004）。研究也指出機器人外貌和行為會影響人類的感知，並可以有效改善人機互動體驗（Powers & Kiesler, 2006）。在機器人設計中，物理尺寸一直是一個關鍵因素。尺寸對人機互動產生了顯著影響，在機器人領域，學者們參考了人體尺寸並設計了三種最常見的虛擬角色尺寸：7 頭高、5 頭高和 3 頭高，探討這些尺寸如何引發使用者不同的心理感知（Liu, K., Chang, K.-M., Liu, Y. J., & Chen, J.-H., 2020），且研究也發現，更高的尺寸具有成熟和專業感，而較小的尺寸給人留下可愛和友好的印象。

目前市場上有兩種基本的機器人尺寸，一種是地面型，大約 90-120cm 高，比如常見的 Pepper 機器人（身高為 120cm），通常用於零售店或餐廳中問候或展示資訊，此款機器人配備輪子和更高的身高，適用於廣闊的公共區域。另一種類型是桌面型（身高為 20-60cm），例如：Nao 機器人（身高 58cm），它主要用於各種學術研究，但在視覺吸引力方面較弱，通常與背景螢幕一起用於敘述和其他任務；還有 Robi 機器人（身高 34cm）、Jibo 機器人（身高 27cm），以及 Alpha 機器人（身高 41cm），主要用於聊天和娛樂活動，通常放置在固定的桌子或舞臺上；有研究探討桌面型 Nao 機器人與成年互動時不同的互動體驗（Obaid et al., 2016；Ruijten & Cuijpers, 2017）；另有研究探討 Pepper 機器人與不同成人互動時不同的動作與情緒表情、機器人運動的朝向等對使用者的感知影響（Dubois, Claret, Basañez, & Venture, 2017；Li, van Almkerk, van Waveren, Carter, & Leite, 2019；Neggers, Cuijpers, & Ruijten, 2018）。然而，同時探討桌面與地面機器人的研究較少，因此，本研究選用了兩台 SoftBank 公司的實體機器人 Pepper（地面型）和 Nao（桌面型），探討兩款機器人身高尺寸是否會影響使用者的互動體驗。

2-2 人機互動距離研究

在互動空間中，機器人不同尺寸導致最佳物理距離設計的差異，空間關係是指研究人類使用空間的領域（Rajamohan et al., 2019），例如：個人空間是兩個個體在互動時感到舒適的距離（Hayduk, 1978）。而根據過去研究，地面型機器人通常需要從較遠的距離開始問候或靠近（Kaiser, Glatte, & Lauckner, 2019）；桌面型機器人通常需要近的距離來啟動互動（Lohse, Rothuis, Gallego-Pérez, Karreman, & Evers, 2014）。從人際互動理論的角度，物理空間分為四種不同類型：公共空間（>3.6m）、社交空間（1.2m-3.6m）、個人空間（0.45m-1.2m）和親密區（<0.45m）（Hall, 1966）。在不同的互動場景中，物理距離會影響人機互動的效率，如溝通效率和員工滿意度（Sundstrom, Burt, & Kamp, 1980；Sundstrom, E., & Sundstrom, M. G., 1986）。而空間中其他人的存在也會增強個體完成任務的表現（Zajonc, 1965），但極近距離的互動也可能引起不適。此外，過去研究探討地位和物理空間之間的關係，顯示地位較高的個體需要更多的個人空間。因此，保持更大的人際距離被認為具有更高的地位或權威；而物理距離可能削弱領導者對下屬工作表現的積極影響（Howell, Neufeld, & Avolio, 2005）。這一特點也存在於人機互動中，在不同情境背景下探索不同物理距離對使用者體驗也非常重要（Mumm & Mutlu, 2011）。學者們研究了人機互動中幾種常見的物理距離，並發現不同的物理距離，配合不同的聲音組合，會產生不同的效果（Walters, 2008）。此外，在機器人的移動和接近過程中，不同的路徑會導致機器人與使用者之間的距離和位置的變化，引發不同的心理感知（Kaiser et al., 2019）。

多種因素會影響人機互動體驗，其中人機距離的因素會影響人機互動時使用者感知，研究表明人類對機器人的空間距離偏好會顯著影響人機交互體驗，並會隨時間變化，影響人們對機器人性能的判斷(Mead, Atrash, & Mataric, 2011; Mead et al., 2013; Mead & Matarić, 2016)。Walters 等人（2009）進行了多次實驗，確定各種機器人配置，從 0.4 到 0.6m 不等的機器人與人類之間的舒適距離；另一方面，Mead 和 Matarić（2016）的研究顯示，當機器人執行手勢動作時，舒適距離會增加，是因為參與者可能會保持與機器人的較遠距離，以避免身體接觸。因此，在人機互動領域，研究不同類型機器人的最佳物理互動距離至關重要（Patompak, Jeong, Nilkhamhang, & Chong, 2020）。

2-3 人機互動方式分析

隨著越來越多的社交機器人參與各種環境中，包括醫療環境中的治療，以及教育環境中的教學和家庭陪伴等。 在人機互動中探索不同的互動方式已經成為評估使用者與智能機器體驗的重要因素。不同的互動方式可能導致互動體驗的變化（Keizer et al., 2014; Kozima, Nakagawa, & Yasuda, 2005），同時也為人機互動研究提供了新方向。在人機互動領域，大多數的學者主要關注單用戶互動方式，這也是構成更進一步研究互動方式的基礎。然而，單用戶互動也有其局限性，無法類推適用在許多現實生活情境中，另一方面，許多情況下也可能發生多用戶互動（Keizer et al., 2013）。多用戶互動是指機器人與兩個或更多位同時互動的情景，這在零售服務、教育或其他公共場所經常發生。過去有學者曾經進行一項有趣的研究，在實驗中機器人被設計成魔術師，它們被要求與多個觀眾進行自然互動的同時表演魔術，該研究評估了機器人在互動過程中的個性特徵，結果得知觀眾在互動體驗過程中，具有很高的參與度，並對機器人的幽默水準有高度評價（Jeong et al., 2022）。

在相同的應用領域，可能會同時遇到多用戶和單用戶互動，例如：提醒用藥和日程通知等家庭伴侶任務，這些互動可能主要面向單用戶，即所有者（De Graaf, Allouch, & Klamer, 2015)。然而，在家庭聚會或隨意交談時，可能會發生多用戶互動（Pineau, Montemerlo, Pollack, Roy, & Thrun, 2003）。這表示僅基於行業分類來定義機器人的服務類型是不足的，而是有必要深入探討在每個行業環境中不同互動方式帶來的多樣化服務體驗。因此，本研究的目標是分析並提出互動距離、互動方式和機器人尺寸的最佳互動組合。目前，缺乏同時考慮三個因素對人機互動體驗影響的研究，大多數文獻主要關注機器人本身的設計參數，以探討參與者的心理感知。但在人機互動的空間中，調整互動的外部因素是不可或缺的，這些外部因素包括使用背景或情境，而人機互動主要因素的組合又涵蓋：使用者、產品、活動和情境。因此，本研究中，考慮了這些外部因素的組合，如距離因素和互動個體的不同數量，這也是本研究的貢獻。

三、研究方法

本實驗設計目的是收集定量數據進行統計分析。研究採用多變量變異數分析（MANOVA），實驗中有三個自變數，第一個自變數為機器人身高尺寸：分為桌面型 58cm、地面型 120cm 兩個層級；第二個自變數為人機互動方式，將其設定為常見的兩種互動方式包括：單用戶互動和多用戶互動共兩個層級；第三個自變數為人機互動距離，參照人與人之間的互動距離，將人機互動距離設置為三個層級：親密距離（intimate zone）45cm、個人距離（personal zone）120cm、社交距離（social zone）240cm。因此本實驗為 2（桌面型機器人、地面型機器人）x 2（單用戶互動、多用戶互動）x3（親密距離、個人距離、社交距離）的組間實驗，共設計 12 種不同的互動組合，並以隨機方式讓受測者進行試驗。在產業類別定義和劃分方面，Dou 等人（2020）的研究將服務機器人的知覺人格特質分類為常見的 8 個應用產類別，這 8 個產業類別以透過知覺社交性（perceived sociality）和知覺能力值（perceived competence）兩個維度對

機器人應用領域進行歸納，見圖 2 所示。在此基礎上對產業分進一步細化增加了第三個軸項知覺地位（perceived status）。結合二維座標的結果，得到三個軸向 8 種領域個別的得分（平均值），如表 1 所示，並建立（知覺社交性–知覺能力值–知覺地位）三軸座標，見圖 1 所示。從座標軸分類得知，教育、醫療和公共助理產業領域位於藍色象限，即高地位–高能力–高社交（HST-HC-HSO）象限。低地位–高能力–高社交（LST-HC-HSO）紅色象限，包括個人助理和門市服務兩個應用領域。而低地位–低能力–高社交（LST-LC-HSO）黃色象限，存在家庭陪伴和娛樂兩個領域。綠色表示的高地位–高能力–低社交（HST-HC-LSO）象限中，只有一個領域的機器人為安全防護。因此，在本研究中根據產業類別分類三維座標軸，選取了座標軸中兩種差異化較大的領域教育（高地位–高能力–高社交象限）和家庭陪伴（低地位–低能力–高社交象限）進行探討研究。本研究探討的機器人尺寸、互動距離和互動方式，全面考慮了產品、環境和使用者感知體驗之間的關係，為服務機器人的情感互動研究奠定了堅實的基礎。研究變數與實體人機互動情境中的互動因素相匹配，為未來服務機器人的設計提供了設計參考。未來，當找到機器人所屬的產業領域座標象限，並確定服務機器人的尺寸大小後，便可預測實現最佳互動體驗所需的互動距離和互動參與者數量的最佳組合。在實驗的測試與量表部分，本實驗採用訪談與量表評估相結合的方式，並以李克特 7 點量表（7-point Likert scale）進行使用者互動感知評估，包括機器人能力感量表（Babel et al., 2021; Berlo, Lemert, & Mertz, 1969; Gong, 2008; McCroskey, Hamilton, & Weiner, 1974; McCroskey, Richmond, & Daly, 1975; Ohanian, 1990）、機器人信任度（Gong, 2008; Jian, Bisantz, & Drury, 2000; Wheeless & Grotz, 1977; Zhao & Rau, 2020）、機器人接受度（Babel et al., 2021; Van Der Laan, Heino, & De Waard, 1997），根據學者已有的研究量表進行設計。

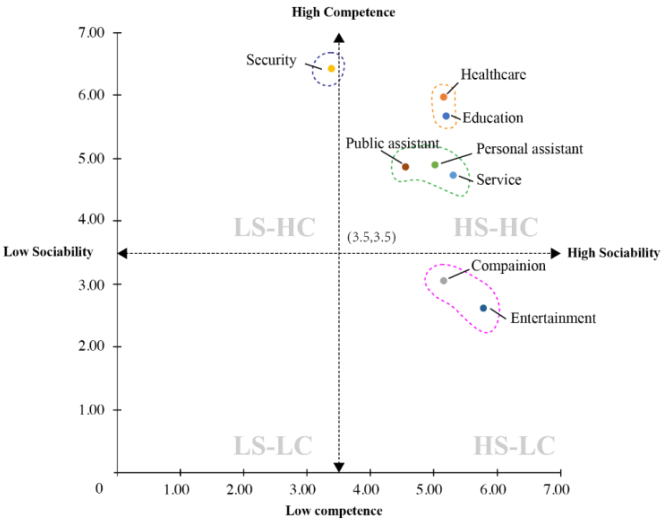


圖2. 8種產業領域二維座標軸分類

（Dou et al., 2021; Dou et al., 2020）

表1. 三維座標軸8種產業領域分別的得分（平均值）

領域	知覺社交性	知覺能力感	知覺互動地位
1 門市服務	5.23	4.77	3.31
2 教育	5.19	5.71	5.37
3 家庭陪伴	5.19	3.10	3.86
4 安全防護	3.42	6.45	4.51
5 娛樂	5.77	2.50	3.34
6 醫療	5.16	5.94	5.54
7 個人助理	5.03	4.90	3.29
8 公共助理	4.65	4.87	4.26

3-1 受試者

本階段受試者選擇的標準如下：1.頻繁使用電子產品；2.沒有認知、運動、感覺或其他障礙；3.對物理／虛擬機器人具有基本知識或接觸經驗，且所有的受試者均是自願的方式參與實驗。實驗共招募 44 名受試者參與家庭伴侶環境中的實驗，其中男性 20 名，女性 24 名。平均年齡為 M=56.70，標準差 SD=2.91；其中 22 名受測者，單人為一組參與單用戶互動實驗，剩下 22 名受測者，兩人為一組參與多用戶互動實

驗。教育領域共招募 44 名受試者參與了實驗其中男性 20 名，女性 24 名。平均年齡為 *M*=20.82，標準差 *SD*= 1.08，分組方式與家庭陪伴領相同。

3-2 實驗設備與實體機器人設置

機器人尺寸參數設置：研究選擇了市場上最常用的類人型機器人樣本。由 SoftBank Robotics 開發的兩款最常見的機器人：（1）Pepper 為一款高度為 120cm 的地面型機器人，以及（2）Nao 為一款高度為 58cm 的桌面型機器人。本實驗採用“Wizard of Oz”方法在實驗中控制機器人，這是機器人實驗中廣泛使用的方法之一，它指的是由人類操作員手動控制機器人，而不是自主運行（Tay, Jung, & Park, 2014），機器人設置採用 Choreograph 軟體進行設計。在聲音組件方面，為了確保在各種應用領域中音高和對話速度的一致性，本研究使用了合成語音（iFlytek 的語音）進行標準化的語音處理。根據團隊先前的研究，家庭伴侶領域中機器人為女性聲音通常更受歡迎，教育領域則是男性聲音評分較高（Dou et al., 2021）。因此，研究選擇了 iFlytek 的「謠謠女聲」和「七哥男聲」語音包進行配置，該語音語速正常，音量級別為 7，並在實驗室中模擬真實環境背景（家庭陪伴領域實驗環境佈置沙發、茶几等；教育環境中佈置黑板及課桌椅等），對話內容與特定應用領域相關（家庭陪伴領域對話內容是關於健康監管，並提出相關解決方案；教育環境領域則是關於黃金分割知識點的講解）。在互動過程中，本研究皆確保機器人的頭部在講話時始終面向參與者：在單用戶互動中，機器人正面面對參與者；在多用戶互動中，兩名參與者並排站在機器人前面，機器人的頭部被編程為左右轉向。此外，頭部運動是使用 Choreograph 軟體進行配置的，在整個實驗過程中，實驗者透過電腦介面控制機器人的頭部運動，其頭部轉動角度的具體參數如表 2，實驗固定變數設置如表 3。

表 2. 機器人頭部轉角設置

Nao/ Pepper	單用戶互動	多用戶互動
頭部正面直視	Head Pith: -5 º Head Yaw:0.0 º	Head Pith: -5º Head Yaw: 0.0 º
頭部左轉注視		Head Pith: -5 º Head Yaw: -25 º
頭部右轉注視		Head Pith: -5 º Head Yaw: +25 º

為了控制實驗條件，本研究選擇兩款外觀相似的人形機器人，兩款皆由同一家公司開發，如圖 3 所示。為了最大程度地減小兩台機器人之間外觀差異可能對實驗造成的影響，我們在實驗期間遮蓋了 Pepper 胸部的螢幕。本研究主要關注探討桌面型和地面型兩種不同型態的機器人在不同情境中的互動差異，因此實驗選取機器人 Pepper 和 Nao，這兩款機器人是目前人形機器人研究領域，地面型和桌面型兩種分類中運用最廣泛的典型樣本。

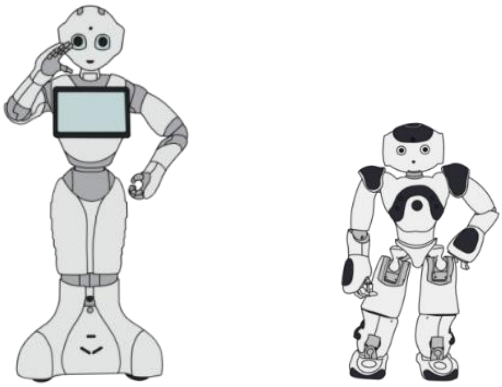


圖 3. （左）地面型機器人 Pepper（120cm）、（右）桌面型機器人 Nao（58cm）

表 3. 固定變數設置詳細資訊

實驗固定變數設計	機器人（Nao）	機器人（Pepper）
機器人身體朝向	面對參與者站立	面對參與者站立
機器人手勢	具有資訊（傳遞功能的動作類別）+輔助動作（不具有資訊傳遞功能的動作）	具有資訊（傳遞功能的動作類別）+輔助動作（不具有資訊傳遞功能的動作）
機器人放置位置	放置在 50cm 高的桌上	放在地上
機器人面部光色	家庭陪伴（橙色）教育（藍色）	家庭陪伴（橙色）教育（藍色）

在機器人放置位置方面， 考量 Pepper 機器人其設計用途與移動能力（配備輪式底盤及適應地面移動的結構），本研究嚴格按照地面型機器人標準，將其直接置於實驗場域的水平地面上；而 Nao 為桌面型機器人，考量其小型化機體（58cm）與常見應用場景（如桌面展示、近距離互動），將其固定於高度 50cm 的桌面上，此高度可讓使用者的視線與機器人頭部攝像頭維持近似水平（約 90-120cm），盡量避免因仰視／俯視角度過大影響互動體驗。

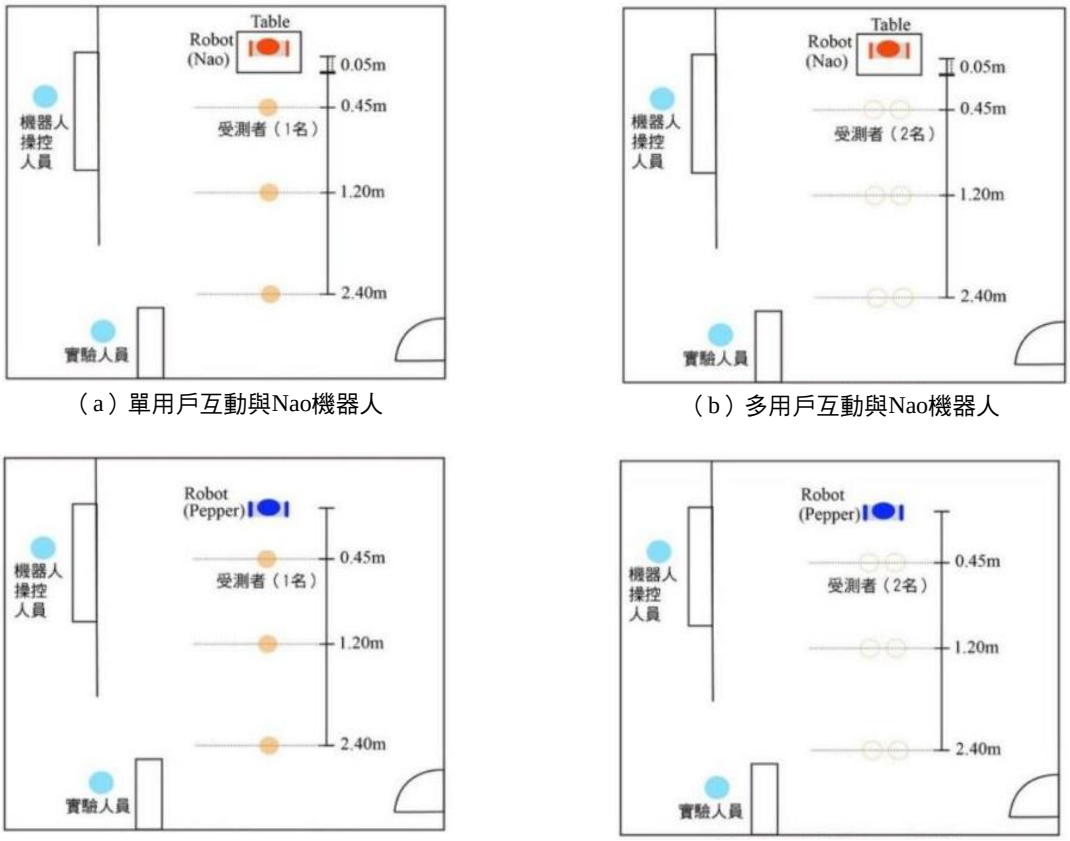
3-3 實驗過程

在實驗開始之前，受測者被告知本研究的背景和研究目的，以及在實驗過程中如何與機器人進行互動。首先參與者被要求提供人口統計資訊，如年齡、性別和與使用機器人的先前經驗，並且已從所有受試者和／或其法定監護人獲得知情同意。在互動距離參數設置方面，為了消除不同移動模式對人機互動體驗的影響，採用固定的距離進行機器人與參與者之間的互動，三個互動範圍：親密距離點為 45cm、個人距離點為 120cm 和社交距離點為 240cm。其中，實驗中沒有考慮公共距離，因為它與家庭伴侶和教室的教育環境實際應用場域不符，且考量家庭伴侶的互動通常發生在室內或更親密的環境中，而教室環境也是比較局限的室內空間，而公共距離大於 360cm，與實際應用環境差異略大，因此未考慮此距離範圍。在互動方式參數設置方面，兩種互動方式包括單用戶互動（1 對 1 互動）和多用戶互動（1 對 2 互動）。過程中，參與者與實體機器人進行互動，實驗環境如下頁圖 4 所示（a）、（b）、（c）、（d）。

本研究之實驗總時間約為 30~35 分鐘，具體實驗流程如圖 5 所示，家庭陪伴情境互動實驗中共有 44 名受測者。將 44 名參與者平均分為 A、B 兩組：A 組為單用戶互動方式（1 人／組），B 組為多用戶互動方式（2 人／組）。每組受測者要與地面型和桌面型兩種機器人（順序隨機），在三個不同的互動距離下分別進行語音互動，互動分兩次（例如：第一次與桌面型 Nao 互動，第二次則與地面型 Pepper 互動），兩次互動中有 2-3 分鐘的休息時間。與兩台機器人互動完畢後，受試者需要對機器人進行評估（填寫量表），完成量表填寫後則進行約 3 分鐘的訪談。教育環境互動實驗流程相同。最後，每位參與者完成測試後獲得 100 新台幣的獎勵。

在實驗中，機器人的聲音由實驗人員控制和播放。而家庭陪伴環境中共 44 名參與者被分成兩組，第一組為單用戶互動方式實驗，有 22 名參與者分別與機器人 Pepper／Nao 進行一對一互動；第二組為多用戶互動實驗，另外 22 名參與者分別與機器人 Pepper／Nao 進行一對二互動。參與者被安排在三個預設的互動距離點（45cm、120cm、240cm）與機器人進行對話互動。在每個距離點互動完成後，參與者需填寫一份問卷，問卷內容內容的第一部分為機器人能力評估的語意差異量表，包括 6 個問項。第二部分為機器人信任度評估，包括 12 個問項。第三部分為機器人接受度評估的語意差異量表，包括 7 個問項。參與者需填寫李克特 7 點量表（7-point Likert scale）進行衡量。關於機器人信任度評估，有研究表明信任度涉及人與自動代理的互動，包括人與智慧代理的信任和人與機器人的信任。同時，信任度也被視為使用者體驗的一部分，更被認為是機器人功能和社會接受度的重要指標（Gaudiello, Zibetti, Lefort, Chetouani,

& Ivaldi, 2016）。因此，本研究對機器人的評估包括這三個主要組成部分：機器人能力（從機器人的角度評估）、機器人信任度和機器人接受度（從使用者體驗的角度評估）。



（a）單用戶互動與Nao機器人

（b）多用戶互動與Nao機器人

（c）單用戶互動與Pepper機器人

（d）多用戶互動與Pepper機器人

圖 4. 實驗場景設置

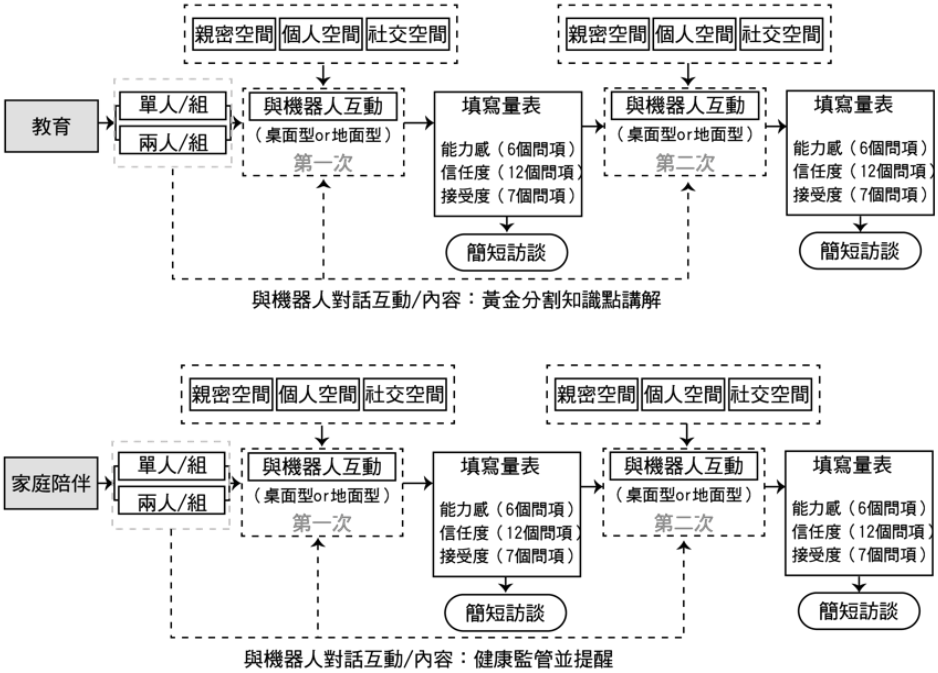


圖 5. 實驗流程圖

四、實驗結果

本研究採用多變量變異數分析方法進行統計分析。實驗設計則採用機器人身高尺寸、人機互動方式和人機互動距離作為研究的自變數，而機器人能力感、機器人信任度和機器人接受度作為研究的依變數。透過 SPSS 軟體之多變量變異數進行分析，檢測了人機互動距離、人機互動方式和機器人身高尺寸等方面的主效應和交互作用，並且透過 LSD 事後檢定，簡單效應分析進一步分析其顯著效應的結果以幫助探討各變數不同層級之間的具體差異。

4-1 可靠性分析

在家庭伴侶場景中，三個因素的 Cronbach's α 值均在 0.8 以上，表示具有很高的可靠性（機器人能力感 α=0.93，信任度 α=0.89，接受度 α=0.88）。在教育場景中，三個因素的 Cronbach's α 值均在 0.8 以上，表示具有很高的可靠性（機器人能力感 α=0.93，信任度 α=0.90，接受度 α=0.89）。

4-2 機器人尺寸、互動方式和人機互動距離主效應分析

結果的分析採用了多變量方差分析，亦即 MANOVA，來評估實驗結果，由於本研究的實驗為 2x2x3（2 種機器人尺寸 x2 種互動模式 x3 種互動距離）的架構，適用於 MANOVA 中兩個或更多個依變數，並通常會針對每個依變數分別進行顯著性檢驗。該方法有助於研究不同變數之間的顯著差異，從而推斷哪個選項可能更好或更差。而本研究採用組間實驗設計，透過這些比較，研究旨在確定在家庭伴侶和教育環境應用背景下機器人尺寸、互動方式和人機互動距離的最佳組合，從而提供最佳的社交體驗。

透過 MANOVA，可以看出在家庭陪伴領域中互動距離和互動方式的主效應是顯著的，如表 4。根據主效應檢驗，機器人尺寸明顯影響使用者對機器人能力感知 $F_{(1,\ 86)}$=4.542（p<0.05）。結果顯示在家庭陪伴領域，機器人尺寸設計會影響使用者對機器人能力的判斷。過往在人機互動的研究中，發現大多數關於機器人高度對機器人感知能力沒有顯著影響（Kamide, Mae, Takubo, Ohara, & Arai, 2014）。但本研究結果卻顯示機器人尺寸會影響使用者對機器人能力感知，此為有趣且新穎的發現。另外，研究結果也顯示，互動方式對機器人的接受度也有顯著影響 $F_{(1,\ 42)}$=7.408（p<0.01）。此研究結果呼應過去研究中提到，在互動情境中第二個人的存在會影響其他人的感知舒適度，這表示當機器人獨自與一個人互動，或同時與多人一起互動時，他們的舒適度體驗將明顯不同（Ruijten & Cuijpers, 2020）。三種不同的互動距離亦會顯著影響機器人的信任度 $F_{(2,\ 264)}$=6.470（p<0.01），和機器人的接受度 $F_{(2,\ 264)}$=5.528（p<0.01）。研究結果也得知家庭陪伴機器人在不同互動距離之間的差異對機器人的能力感沒有明顯影響。

表 4. 家庭陪伴領域 MANOVA 主效應分析結果

		機器人能力感	機器人信任度	機器人接受度
機器人尺寸	*F*	4.542*	0.322	0.014
	效應量估算（*E*）	0.018	0.001	0.000
互動方式	*F*	0.050	3.340	7.408**
	效應量估算（*E*）	0.000	0.013	0.029
互動距離	*F*	1.928	6.470**	5.528**
	效應量估算（*E*）	0.015	0.049	0.042

*：p<0.05; **: p<0.01

在教育環境中，根據主效應檢驗，如表 5 所示，機器人尺寸明顯影響使用者對機器人信任度 F（1, 86）=7.457（p<0.01）和接受度的感知 F（1, 86）=5.777（p<0.05）。而人機互動距離顯著影響機器人的能力感 F（2, 264）=9.193（p<0.001）、信任度 F（2, 264）=7.936（p<0.001）和機器人的接受度 F（2, 264）

=18.845（p<0.001）。與家庭陪伴機器人一樣，在教育環境中，互動距離的設計也是影響使用者情感體驗的重要參數。

表 5. 教育領域 MANOVA 主效應分析結果

		機器人能力感	機器人信任度	機器人接受度
機器人尺寸	*F*	0.603	7.457**	5.777*
	效應量估算（*E*）	0.029	0.022	0.068
互動方式	*F*	0.000	0.324	2.505
	效應量估算（E）	0.000	0.001	0.010
互動距離	*F*	9.193***	7.936***	18.845***
	效應量估算（E）	0.068	0.059	0.130

*：p<0.05; **: p<0.01

實驗結果發現，在家庭陪伴領域中，機器人尺寸會影響使用者對機器人能力感的評估，但在教育領域並沒有發現機器人的尺寸會對能力感知有顯著影響。說明在陪伴場景中，多數參與者會關注機器人的外觀尺寸，而教育陪伴中的參與者會更加關注互動內容。產生此結果的原因，可能受到實驗過程中機器人互動對話內容的影響。家庭陪伴中的對話內容主要以日常問候和健康監測，而教育領域中對話內容主要關於問題的解答和知識的講解；學生參與者在教育環境中更多地關注在機器人講解的內容，因此，機器人的身高不會影響他們對機器人能力感的評估。這也說明不同產業環境中，因為機器人執行的任務和表達的內容對於互動的感知會有差異影響。至於在互動方式上，互動方式的不同對教育機器人的能力感、信任度和接受度的評分都沒有顯著影響。

而家庭陪伴領域中單用戶和多用戶互動，對於機器人接受度有顯著影響。在家庭環境中互動的人數，受測者多寡會產生的不同體驗，相關研究也探討了此問題（De Graaf et al., 2015；Pineau et al., 2003），這與機器人執行的任務也有非常緊密的關聯，未來可將具體的產業中機器人的任務進行分類探討。互動距離方面，在教育和家庭陪伴兩個產業中對機器人的信任度和接受度的評估都有顯著影響。這與先前學者的研究結果有相同的發現，人機的互動距離會影響對機器人信任度的評估從而提高了對機器人的接受度（Babel et al., 2021；Hancock et al., 2011）。

4-3 人機互動距離的事後檢驗結果

為了進一步分析互動距離對家庭陪伴和教育機器人的具體影響，本研究使用 SPSS 統計軟體進行事後檢驗。互動距離的事後檢驗結果如下頁表 6、表 7 所示。在家庭陪伴環境中，機器人信任度方面，個人空間（M = 6.17, SD = 0.97, p_a=0.001）高於親密空間（M=5.66, SD=1.07, p_a=0.001），並且也高於社交空間（M=5.80, SD = 0.89, p_c=0.011），表明當互動距離位於個人空間範圍內時，人們感到對機器人更加信任。至於機器人的接受度，個人空間（M=6.15, SD=0.99, p_a=0.08）高於親密空間（M=5.73, SD=1.06, p_a=0.08）和社交空間（M=5.67, SD=1.12, p_c=0.003）。這表明在家庭伴侶環境中，個人空間的互動距離更加舒適和安全。

在教育環境中，人機互動個人空間距離下（M=6.42, SD=0.81, p_b=0.002）和親密空間距離下（M=6.27, SD=0.92, p_c=0.000）比社交空間下對機器人能力感評價高，在信任度評價方面有相同的發現。在對機器人接受度評估方面個人空間距離顯著高於親密空間和社交空間（M=6.35, SD=0.87,p_a=0.000 ）（表 7）。此結果與家庭陪伴環境中發現的結果一致，說明無論是家庭陪伴還是教育環境參與者對服務機器人還是選擇保持個人空間距離互動體驗最佳。

表 6. 家庭陪伴領域人機互動距離事後檢驗結果

	機器人能力感	機器人信任度	機器人接受度
親密空間 （45cm）	*M*=5.98, *SD*=0.99	*M*=5.66, *SD*=1.07	*M*=5.73, *SD*=1.06
個人空間 （120cm）	*M*=6.08, *SD*=1.13	*M*=6.17, *SD*=0.97	*M*=6.15, *SD*=0.99
社交空間 （240cm）	*M*=5.76, *SD*=1.17	*M*=5.80, *SD*=0.89	*M*=5.67, *SD*=1.12
		p_a=0.001, p_b=0.355, p_c=0.011	p_a=0.08, p_b=0.717, p_c=0.003
		個人空間＞親密空間 個人空間＞社交空間	個人空間＞親密空間 個人空間＞社交空間

p_a: 親密空間--個人空間；p_b:親密空間--社交空間；p_c: 個人空間--社交空間

表 7. 教育領域人機互動距離事後檢驗結果

	機器人能力感	機器人信任度	機器人接受度
親密空間 （45cm）	*M*=6.27, *SD*=0.92	*M*=5.82, *SD*=1.21	*M*=5.65, *SD*=1.17
個人空間 （120cm）	*M*=6.42, *SD*=0.81	*M*=6.02, SD=1.03	M=6.35, *SD*=0.87
社交空間 （240cm）	*M*=5.74, *SD*=1.46	*M*=5.39, SD=1.15	*M*=5.42, *SD*=1.32
	p_a=0.378, p_b=0.002, p_c=0.000	p_a=0.211, p_b=0.009, p_c=0.000	p_a=0.000, p_b=0.152, p_c=0.000
	親密空間＞社交空間 個人空間＞社交空間	親密空間＞社交空間 個人空間＞社交空間	個人空間＞親密空間 個人空間＞社交空間

p_a: 親密空間--個人空間；p_b:親密空間--社交空間；p_c: 個人空間--社交空間

4-4 二因數交互作用結果

除了在家庭伴侶領域中的機器人尺寸、互動方式和互動距離的主效應分析外，在家庭陪伴領域互動距離和互動方式之間在機器人接受度之間存在二因數交互作用。研究結果如表 8 所示，家庭陪伴領域互動距離和互動方式之間的交互作用對機器人的接受度有顯著影響（$F_{(5, 126)}$=2.965, p<0.05）。為了進一步分析交互作用的影響，本研究使用 SPSS 統計軟體對互動距離和互動模式進行了簡單效應分析。簡單效應分析的結果比較了不同互動方式下人機互動距離的差異。從表 9 中可以看出，在親密空間（t=3.069, p<0.05）的距離點上，兩種互動方式有顯著影響，在親密空間（45cm）中，單用戶互動（*M*=6.07, *SD*=0.95）顯著高於多用戶互動（*M*=5.39, *SD*=1.06），個人空間中，單用戶互動（*M*=6.36, *SD*=0.72）同樣顯著高於多用戶互動（*M*=5.93, *SD*=1.17）這表明家庭陪伴領域兩種互動方式和親密空間及個人空間之間交互會影響使用者對機器人接受度的評估。在家庭陪伴機器人設計中，親密空間和個人空間距離下搭配單用戶互動方式，能顯著提高使用者對機器人接受度的評價。

表 8. 家庭陪伴領域機器人尺寸、人機互動方式和互動距離交互作用結果顯示

		機器人能力感	機器人信任度	機器人接受度
互動距離 & 互動方式	*F*	1.985	0.862	2.965*
	效應量估（E）	0.016	0.007	0.023
機器人尺寸 & 互動方式	*F*	0.013	0.322	1.400
	效應量估（E）	0.000	0.001	0.006
機器人尺寸 & 互動距離	*F*	0.399	0.965	0.067
	效應量估（E）	0.003	0.008	0.001

*：p<0.05; **: p<0.01

表 9. 家庭陪伴領域互動距離和互動方式簡單效應分析結果

互動距離	互動方式		*t*	*p*
	a:單用戶互動	**b:多用戶互動**		
親密空間 （45cm）	a（*M*=6.07, *SD*=0.95）	b（*M*=5.39, *SD*=1.06）	3.069	0.002*
個人空間 （120cm）	a（*M*=6.36, *SD*=0.72）	b（*M*=5.93, *SD*=1.17）	1.943	0.053
社交空間 （240cm）	a（*M*=5.64, *SD*=1.20）	b（*M*=5.70, *SD*=1.05）	-0.307	0.759

*：$p<0.05$; **: $p<0.01$

而在教育領域中機器人尺寸、互動方式和互動距離變數之間交互作用結果，如表 10。機器人尺寸和互動方式在機器人接受度上存在交互作用，機器人尺寸、互動方式以及互動距離和互動方式之間在機器人接受度上存在交互作用。教育領域機器人尺寸和互動距離之間的交互作用對機器人的信任度有顯著影響（$F_{(5,126)}=11.652$, $p<0.001$），機器人尺寸和互動方式之間的交互作用對機器人的接受度有顯著影響（$F_{(3,84)}=14.519$, $p<0.001$），互動距離和互動方式之間的交互作用也對機器人的接受度有顯著影響（$F_{(5,126)}=9.746$, $p<0.05$），此研究結果表明兩因素相互之間存在二階效應。為了瞭解分析這種交互作用的影響，本研究後續也進行了簡單效應分析。

表 10. 教育領域機器人尺寸、互動方式和人機互動距離交互作用結果顯示

		機器人能力感	機器人信任度	機器人接受度
機器人尺寸 & 互動方式	*F*	0.197	1.049	14.519
	效應量估算（*E*）	0.001	0.004	0.054**
機器人尺寸 & 互動距離	*F*	0.870	11.652	0.261
	效應量估算（*E*）	0.007	0.085**	0.002
互動方式 & 互動距離	*F*	0.452	0.324	9.746
	效應量估算（*E*）	0.004	0.003	0.072**

*：$p<0.05$; **: $p<0.01$; ***: $p<0.001$

透過教育領域機器人尺寸和互動方式簡單效應分析的結果比較，如表 11 所示。從表中可以看出，與機器人 Nao（58cm）以兩種互動方式交互時 $p<0.001$，表明使用者與桌面型機器人互動時，不同的互動方式會影響使用者對機器人接受度的評估，單用戶互動（*M*=6.00, *SD*=1.23）顯著高於多用戶互動（*M*=5.30, *SD*=1.36），因此建議教育機器人設計中桌面型機器人適合搭配單用戶互動方式。而地面型機器人 Pepper（120cm）在兩種互動方式上沒有顯著差異。

表 11. 教育領域機器人尺寸和互動方式簡單效應結果顯示

機器人尺寸	互動方式		*t*	*p*
	a:單用戶互動	**b:多用戶互動**		
Nao（58cm）	a（*M*=6.00, *SD*=1.23）	b（*M*=5.30, *SD*=1.36）	3.689	0.000***
Pepper（120cm）	a（*M*=5.82, *SD*=0.98）	b（*M*=6.11, *SD*=1.08）	-1.524	0.129

*：$p<0.05$; **: $p<0.01$; ***: $p<0.001$

在互動方式和互動距離簡單效應分析的結果顯示（表 12），親密空間（45cm）距離與兩種互動方式交互時會影響機器人接受度評估（$t=3.689$, $p<0.001$），單用戶互動（*M*=6.05, *SD*=1.03）顯著高於多用戶互動（*M*=5.25, *SD*=1.18）。而個人空間距離和社交空間距離與兩個互動方式之間沒有顯著影響。

在機器人尺寸和互動距離簡單效應分析的結果顯示（表 13），機器人尺寸與三種互動距離交互時會影響機器人信任度評估。對桌面型機器人 Nao（58cm）而言，親密空間（*M*=6.45, *SD*=0.93）和個人空間（*M*=5.98, *SD*=0.98）顯著高於社交空間（*M*=5.34, *SD*=1.10）。而對地面型機器人 Pepper（120cm）而言，個人空間（*M*=6.07, *SD*=1.09）距離明顯高於親密空間（*M*=5.18, *SD*=1.13），個人空間（*M*=6.07, *SD*=1.09）明顯高於社交空間（*M*=5.43, *SD*=1.21）。結果表明，要想提高使用者對機器人信任度的評估，建議優先選擇桌面型機器人搭配親密空間距離，地面型機器人選擇搭配個人空間距離最佳。

表 12. 教育領域互動方式和互動距離簡單效應結果顯示

互動距離	互動方式 a:單用戶互動 b:多用戶互動	*t*	*p*
親密空間 （45cm）	a（*M*=6.05, *SD*=1.03）b（*M*=5.25, *SD*=1.18）	3.437	0.001**
個人空間 （120cm）	a（*M*=6.39, *SD*=0.81）b（*M*=6.32, *SD*=0.93）	0.295	0.769
社交空間 （240cm）	a（*M*=5.30, *SD*=1.15）b（*M*=5.55, *SD*=1.47）	-1.080	0.281

*：*p*<0.05; **: *p*<0.01

表 13. 教育領域機器人尺寸和互動距離簡單效應結果顯示

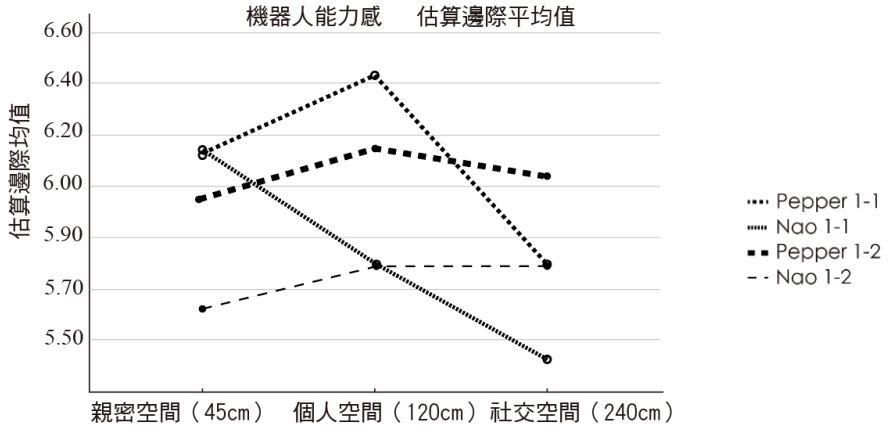
機器人尺寸	互動距離 A: 親密空間（45cm） B: 個人空間（120cm） C: 社交空間（240cm）	*t*	*p*
Nao（58cm）	A （*M*=6.45, *SD*=0.93）B （*M*=5.98, *SD*=0.98）	2.075	0.117
	A （*M*=6.45, *SD*=0.93）C （*M*=5.34, *SD*=1.10）	4.842	0.000**
	B （*M*=5.98, *SD*=0.98）C （*M*=5.34, *SD*=1.10）	2.767	0.018*
Pepper（120cm）	A （*M*=5.18, *SD*=1.13）B （*M*=6.07, *SD*=1.09）	-3.854	0.000**
	A （*M*=5.18, *SD*=1.13）C （*M*=5.43, *SD*=1.21）	-1.087	0.834
	B （*M*=6.07, *SD*=1.09）C （M=5.43, *SD*=1.21）	2.767	0.018*

*：*p*<0.05; **: *p*<0.01; ***: *p*<0.001

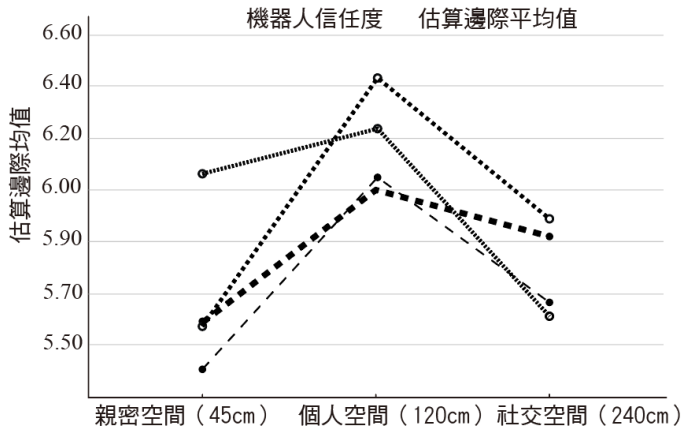
4-5 三因子交互作用結果

下頁圖 6 為家庭陪伴領域三因子交互作用分析的結果，為了增強家庭伴侶領域中機器人的能力感，建議選擇桌面型機器人（Nao），並採用單用戶互動模式，同時將互動距離設置在親密距離範圍內。然而，當互動距離在個人空間距離時，地面型機器人（Pepper）是最佳選擇，而桌面型機器人（Nao）建議設置多用戶互動方式。此外，如果目標是強調機器人的信任度在陪伴關係下的評分，那麼在個人空間距離是最佳選擇。在機器人接受度方面，個人空間距離為最佳選擇。

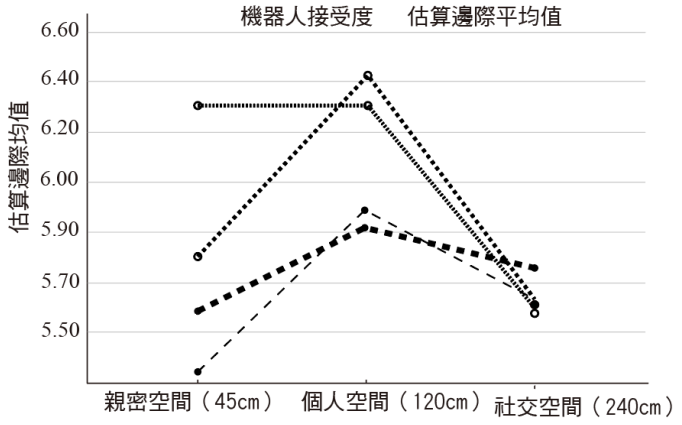
圖 7 為教育領域三因素交互作用分析的結果，對桌面型機器人 Nao（58cm）而言，為了增強教育機器人的能力感，在單用戶互動方式下，建議搭配個人空間距離，而多用戶互動方式下優先選擇親密空間距離。而在機器人信任度評估方面，首選親密空間距離會有較高評價。至於機器人接受度方面，單用戶互動首選親密空間距離，多用戶互動首選個人空間距離。而地面型 Pepper（120cm）機器人來說，單用戶互動和多用戶互動搭配個人空間距離均對機器人能力感、信任度和接受度之間有較高的評價。



（a）機器人尺寸、互動距離、互動方式對機器人能力感影響

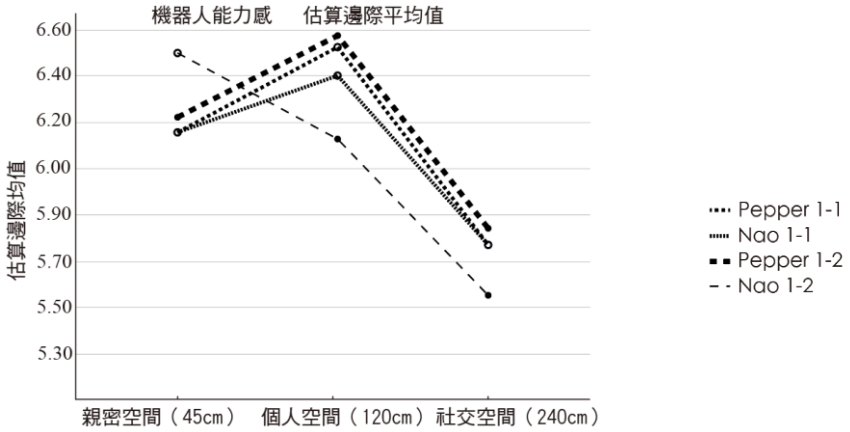


（b）機器人尺寸、互動距離、互動方式對機器人信任度影響

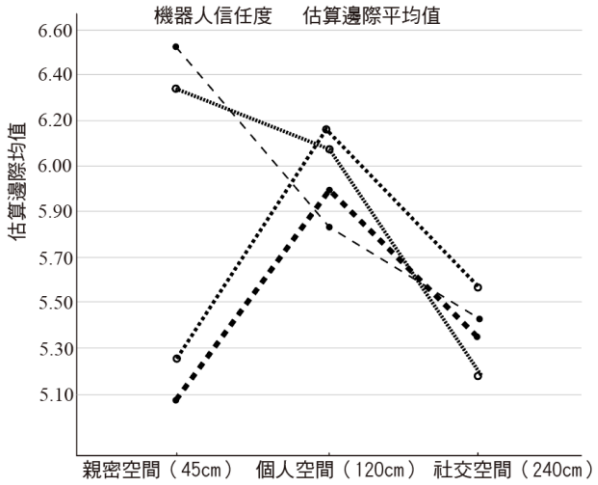


（c）機器人尺寸、互動距離、互動方式對機器人接受度影響

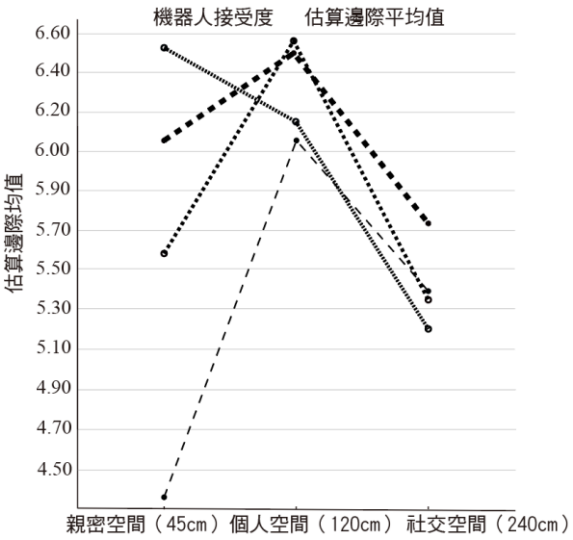
圖 6. 家庭陪伴領域機器人尺寸、互動方式和互動距離三因子之交互作用



（a）機器人尺寸、互動距離、互動方式對機器人能力感影響



（b）機器人尺寸、互動距離、互動方式對機器人信任度影響



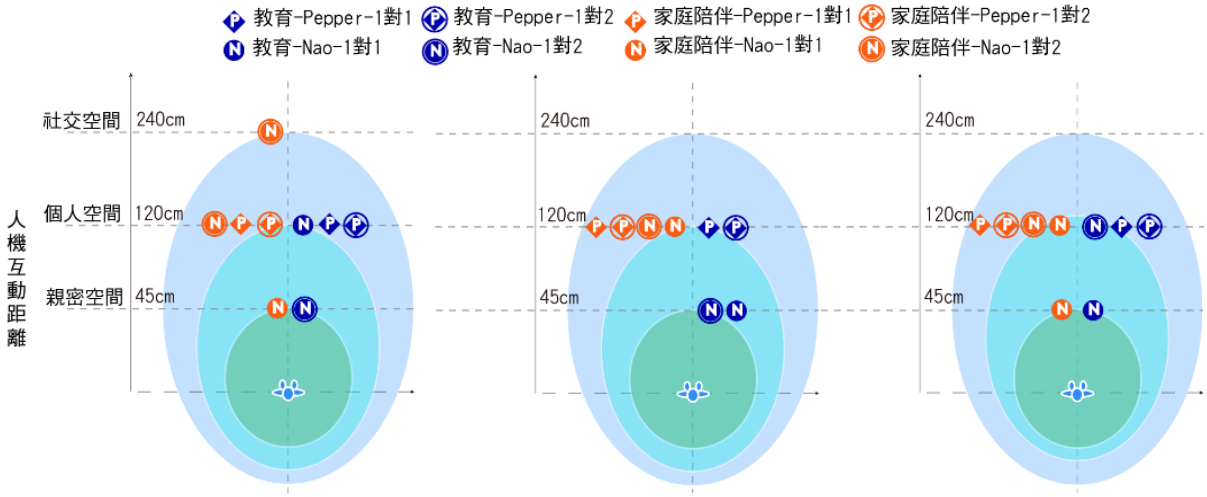
（c）機器人尺寸、互動距離、互動方式對機器人接受度影響

圖 7. 教育領域機器人尺寸、互動方式和互動距離三因子交互作用

五、討論

本研究總結了家庭陪伴領域和教育領域社交情境維度組合（機器人尺寸、互動方式和互動距離）的設計原則，如圖 8 所示。根據實驗結果，在家庭陪伴領域中，想要提高機器人的能力感，建議選擇桌面型服務機器人（尺寸為 58cm），搭配親密空間距離（45cm），單用戶互動方式，且研究顯示，大多數使用者認為在一對一的親密空間下對機器人能力感有較高的感知評價。而當互動人數增加時，參與者之間會選擇更舒適或是更大的空間與機器人進行互動。在家庭陪伴情境中，人們更看重的是機器人的親和力，以及是否能夠在情感上提供情緒價值，健康照護時提供指導和幫助。基於上述結果，在一對一的親密空間下，多數使用者還是會更願意將其看待為生活中重要的親密夥伴，所以相對較近的互動距離，使用者對機器人能力的感知愈加強烈。而實驗中在家庭陪伴任務下，我們將機器人設定了檢測血壓的任務，因此在較近的距離下，更有助於人們對於此任務可行性的感知。

另一方面，多用戶互動時設置個人空間（120cm）和社交空間距離（240cm）內對機器人能力評估都有較高的評價。當家庭陪伴機器人與多人互動時，受測者認為互動空間的侷限性會使人際互動體驗產生壓迫感，從而人們覺得保持較遠的互動空間會感覺更舒適，並且他們認為保持較遠的距離依舊能感受到機器人對於他們的回應。至於對於地面型服務機器人 Pepper（尺寸為 120cm）而言，無論單用戶或多用戶互動方式都適合搭配個人空間距離範圍（120cm）組合設置，可能是因為多數的受測者都是第一次在家庭環境中接觸到這樣的機器人，對此類機器人可能會有陌生感存在，人們對於不熟悉不確定的事物通常也會選擇保持相應的距離，這可能也是產生此結果的原因之一。



（a）對機器人能力感影響　（b）對機器人信任度影響　（c）對機器人接受度影響

圖 8. 家庭陪伴領域與教育領域社交情景維度最佳組合比較

另外，先前學者 Walters 等人（2009）的研究結果表明使用者可以接受的最佳互動距離範圍是 40-71cm；另有研究也表明，機器人互動的最佳距離是 25-52cm（Takayama & Pantofaru, 2009）。但在先前的研究中，機器人並未產生手勢，而在本的研究中，Nao 與 pepper 在做手勢時最大距離約 20-25cm，這可能解釋了互動距離會因機器人尺寸的增加而增加，因為參與者可能會將自己處於更安全的位置，以避免身體接觸。透過訪談我們瞭解，當年長者在與實體地面型機器人進行互動時，因為機器人會有無法預測的手勢動作。因此，他們想要保持更安全的距離與之進行互動。

在教育領域中，研究結果顯示對於放置桌面的小型機器人來說，學生更願意在最近的親密空間距離與機器人進行互動，尤其是對機器人信任度感知評價方面，無論是單用戶互動還是多用戶互動的情況下，

都是在近距離下的評分較高。此研究結果從使用者需求分析推論，在教育環境中，學生們會認為機器人能夠幫助他們解決問題、提供建議，而學生在這樣的環境中，會更積極的與機器人進行互動，且多數學生對機器人會產生好奇心，尤其對於尺寸較小的機器人來說，他們會將其當作為學習的夥伴，並且會與機器人保持更近的距離，因此這可能是產生上述結果的原因。此外，在本研究中，教育機器人的任務是給學生講解分析黃金分割線的知識點，對於複雜任務學生可能需要與機器人保持更近距離的攝取知識。

而從對部分受測者的訪談中可以發現，學生們覺得在近距離下與機器人老師進行互動時，感覺到與機器人老師之間關係更親密，同時對於機器人的信任度也會隨之提升。此結果與先前的研究有相同的發現，當年輕的學生與機器人老師保持更小的互動距離時對機器人會更加的信任（Babel et al., 2021）。而對教育機器人能力評估方面，在進行多用戶互動時，45cm 的親密距離能力評價更高，至於單用戶互動則是搭配個人空間（120cm）距離的評價較高。透過對部分參與者的訪談得知，在多用戶互動時，參與者已經把機器人當作是學習同伴的角色，並且認為在學習為題探討的過程中更輕鬆自在並感覺機器人更能夠幫助他們解決問題。另一方面，在單用戶互動時，參與者則傾向把機器人當作是真實環境老師的角色，對於老師有嚴肅的刻板印象，整個互動過程參與者容易感覺很嚴肅拘謹，太近的距離可能會產生緊張情緒。結合實驗結果和參與者的訪談分析可得知，同一個應用場景中機器人所扮演的角色也可能會影響互動的空間距離。在未來進一步的研究中，我們也可以詳細分析同種產業領域機器人的角色分類，並結合本實驗的參數進行探討。

對比兩款不同尺寸的機器人，我們發現在教育和陪伴兩個產業領域中，對於地面型 Pepper 機器人來說，無論是單用戶互動方式還是多用戶互動方式，在個人空間距離下能力感、信任度和接受的評分都較高。造成此結果的可能是因為，本研究的人機互動皆在實驗室比較侷限的空間進行。過去有研究探討環境因素與行為距離的關係，該研究提到影響的因素之一就是房間的大小，在人機互動中人們在室內空間處於狹窄環境或行動受限時，他們會通過保持更大的距離來進行彼此間的互動（Fortunati, Cavallo, & Sarrica, 2020）。但目前環境因素對於人機距離的影響也一直被忽略（Leichtmann & Nitsch, 2020），建議未來的研究可將環境因素納入考量。

透過家庭陪伴領域及教育領域的社交情景維度組合比較發現，無論是桌面型機器人 Nao 還是地面型機器人 Pepper，在對機器人能力感、信任度和接受度的評價上，在個人空間（120cm）距離下都有較高的評價。有此結果的原因可能是，在機器人互動實驗固定參數的設置中，本研究將機器人的注視方向始終保持與受測者相互注視的情況，而過去針對人與人之間的互動研究發現，相互凝視可以對互動距離產生互補效應，亦即如果相互凝視已經建立，對話者往往不會進一步接近（Argyle & Ingham, 1972; Bailenson, Blascovich, Beall, & Loomis, 2003）。未來的研究中，可將機器人的眼神凝視作為參數進行相關研究。

在實驗中也發現，大部分參與者對社交空間距離的互動感知評價較低，對於桌面型 58cm 高度的 Nao 機器人和 120cm 的 Pepper 機器人來說，參與者認為在室內空間中，240cm 的社交空間距離下距離過於遠，缺少與機器人之間的互動感。藉由現場觀察兩個領域中機器人互動實驗，大部分參與者比較喜歡選擇在 45cm-120cm 的個人空間距離下與機器人進行互動，但因為地板上設置了三個的距離點標記，參與者可能認為標記解釋為不要越過，所以大部分參與者還是選擇站在 120cm 的距離標記處進行互動。然而，未來的研究應該意識到這些因素對參與者的潛在影響。

此外，本研究參與者的主要任務是與機器人進行對話，而非保持距離的任務。在人機互動對話過程中，皆由機器人主動發起對話。儘管實驗室環境可能是相當人為的，但在未來的研究可以嘗試實施具有更自然對話設置的類似研究，有研究表明混合主動對話，可以被視為更自然的人機互動（Mavridis, 2015）。

六、結論

在本研究中，人機互動是短期互動，且該互動在實驗室環境中進行。然而，有研究已經開始透過長期實驗進行研究，參與者與機器人互動持續數周或數月，因此建議後續實驗可將時間納入研究的考量之一。而綜合本研究中參與者訪談回饋的內容可以發現，實驗中受測者對機器人會有兩種不同的態度，多數受測者都是第一次與兩款實體機器人進行互動，一部分受測者會因為初次互動對機器人產生好奇心，並對其有較高的互動期望值。但在實驗中，為了探討互動情境三個維度對人們感知體驗的影響，將機器人的動作，頭部光色，對話內容等設置為固定變數，而這可能會影響人們對機器人能力感知部分的評估。而另一方面，受測者也認為，在互動距離的感知部分尤其對與地面型 Pepper 機器人來說，因為初次互動體驗，並不知道機器人將有何種身體表達，因此在互動中認為需要保持相對的安全距離為佳。在未來的研究中，必須考慮在各個領域之間持續使用時間產生的差異。至於在實驗室的環境中進行互動實驗，與真實環境互動會存在一定的差異，例如：在實驗中我們模擬了家庭陪伴場景，在實驗室放置了沙發和茶几，但為了盡可能的減少受測者因身體姿態的不同對互動體驗的影響，要求受測者與地面型機器人互動時保持站立姿態，與桌面型機器人互動時則要求坐在沙發上；但在真實使用場景中，不同使用者可能會有不同的身體姿態，例如：行走，躺臥等。在未來的研究中，可將用戶的身體姿態與互動環境結合考慮並進一步探討人機互動最佳的空間距離偏好。

另外，本研究也建議未來能考慮到不同的物理空間對互動的影響。在實驗中，為探討三種不同的互動距離的感知體驗，將機器人設置在固定位置，並要求參與者站在三個固定的距離點上進行互動，同時保持正面面對機器人；然而，在現實互動情境中，互動位置、機器人的方向或機器人的移動等因素可能會發生變化，例如：站立或坐下等不同的姿勢，表達出不同的個性和態度。此外，機器人在移動過程中的位置變化也會導致壓力的變化。因此，建議未來也可將研究的參數進一步分類，將機器人的多種身體姿態，進行方向等細分討論。

此外，本研究之結果也可以用於預測和驗證不同象限內的服務機器人的設計參數（機器人尺寸、互動模式和互動距離）。在未來的研究中，期望將更廣泛的產業領域納入分析，找到它們分類座標象限內的位置，並進一步測試是否與本研究提出的機器人互動參數設計最佳組合一致。

本研究針對機器人尺寸、互動距離和互動方式，全面考慮了產品、環境和用戶感知體驗之間的關係，為服務機器人的情感互動研究奠定了堅實的基礎。研究變數與實際人機互動情境中的互動因素相匹配，為家庭陪伴和教育領域中服務機器人的設計提供了設計參考。未來當確定服務機器人的尺寸大小後，便可預測實現最佳互動體驗所需的互動距離和互動參與者數量的最佳組合。

誌謝

感謝國科會計畫編號 111-2410-H-036-002-MY2、江蘇省高校哲學社會科學研究項目編號 2025SJYB1070 提供經費支援本研究進行。

參考文獻

1. Argyle, M., & Ingham, R. (1972). Gaze, mutual gaze, and proximity. *Semiootica*, *6(1)*, 32-49.
2. Babel, F., Kraus, J., Miller, L., Kraus, M., Wagner, N., Minker, W., & Baumann, M. (2021). Small talk

with a robot? The impact of dialog content, talk initiative, and gaze behavior of a social robot on trust, acceptance, and proximity. *International Journal of Social Robotics*, *13*(*6*),*1485-1498*.

3. Bailenson, J. N., Blascovich, J., Beall, A. C., & Loomis, J. M. (2003). Interpersonal distance in immersive virtual environments. *Personality and Social Psychology Bulletin*, *29*(7), 819-833.
4. Berlo, D. K., Lemert, J. B., & Mertz, R. J. (1969). Dimensions for evaluating the acceptability of message sources. *Public Opinion Quarterly*, *33*(4), 563-576.
5. De Graaf, M. M., Allouch, S. B., & Klamer, T. (2015). Sharing a life with Harvey: Exploring the acceptance of and relationship-building with a social robot. *Computers in Human Behavior*, *43*, 1-14.
6. Dou, X., Wu, C.-F., Lin, K. C., Gan, S., & Tseng, T. M. (2021). Effects of different types of social robot voices on affective evaluations in different application fields. *International Journal of Social Robotics*, *13*, 615-628.
7. Dou, X., Wu, C. F., Wang, X., & Niu, J. (2020). User expectations of social robots in different applications: An online user study. *HCI International 2020 - Late Breaking Papers: Multimodality and Intelligence* (pp. 64-72). Copenhagen: HCII.
8. Dubois, M., Claret, J. A., Basañez, L., & Venture, G. (2017). Influence of emotional motions in human-robot interactions. *Proceedings of 2016 International Symposium on Experimental Robotics (*pp. 799-808). Nagasaki: ISER.
9. Feil-Seifer, D., Dascalu, S., & Livani, H. (2020). Factors influencing the human preferred interaction distance. *Proceedings of 2020 IEEE International Conference on Robotics and Automation* (pp. 10174-10179). Paris：ICRA
10. Fortunati, L., Cavallo, F., & Sarrica, M. (2020). Multiple communication roles in human–robot interactions in public space. *International Journal of Social Robotics*, *12*(4), 931-944.
11. Gaudiello, I., Zibetti, E., Lefort, S., Chetouani, M., & Ivaldi, S. (2016). Trust as indicator of robot functional and social acceptance. An experimental study on user conformation to iCub answers. *Computers in Human Behavior*, *61*, 633-655.
12. Gong, L. (2008). How social is social responses to computers? The function of the degree of anthropomorphism in computer representations. *Computers in Human Behavior*, *24*(4), 1494-1509.
13. Hall, E. (1966). The hidden dimension. Doubleday:Garden City.
14. Hancock, P. A., Billings, D. R., Schaefer, K. E., Chen, J. Y., De Visser, E. J., & Parasuraman, R. (2011). A meta-analysis of factors affecting trust in human-robot interaction. *Human Factors*, *53*(5), 517-527.
15. Hayduk, L. A. (1978). Personal space: An evaluative and orienting overview. *Psychological Bulletin*, *85*(1), 117.
16. Howell, J. M., Neufeld, D. J., & Avolio, B. J. (2005). Examining the relationship of leadership and physical distance with business unit performance. *The Leadership Quarterly*, *16*(2), 273-285.
17. Jeong, J., Yang, J., & Baltes, J. (2022). Robot magic show as testbed for humanoid robot interaction. *Entertainment Computing*, *40*, 100456.
18. Jian, J. Y., Bisantz, A. M., & Drury, C. G. (2000). Foundations for an empirically determined scale of trust in automated systems. *International Journal of Cognitive Ergonomics*, *4*(1), 53-71.
19. Kaiser, F. G., Glatte, K., & Lauckner, M. (2019). How to make nonhumanoid mobile robots more likable: Employing kinesic courtesy cues to promote appreciation. *Applied ergonomics*, *78*, 70-75.

20. Kamide, H., Mae, Y., Takubo, T., Ohara, K., & Arai, T. (2014). Direct comparison of psychological evaluation between virtual and real humanoids: Personal space and subjective impressions. *International Journal of Human-Computer Studies*, *72*(5), 451-459.
21. Keizer, S., Foster, M. E., Lemon, O., Gaschler, A., & Giuliani, M. (2013). *Training and evaluation of an MDP model for social multi-user human-robot interaction. Proceedings of the SIGDIAL 2013 Conference* (pp. 223-232). Metz: SIGDIAL.
22. Keizer, S., Kastoris, P., Foster, M. E., Deshmukh, A., & Lemon, O. (2014). *Evaluating a social multi-user interaction model using a Nao robot. Proceedings of International Symposium on Robot and Human Interactive Communication (RO-MAN 2014)*(pp. 591-598). Edinburgh: IEEE.
23. Kim, Y., Kwak, S. S., & Kim, M. S. (2013). Am I acceptable to you? Effect of a robot's verbal language forms on people's social distance from robots. *Computers in Human Behavior*, *29*(3), 1091-1101.
24. Kim, Y., & Mutlu, B. (2014). How social distance shapes human–robot interaction. *International Journal of Human-Computer Studie*s, *72*(12), 783-795.
25. Kirby, R., Forlizzi, J., & Simmons, R. (2010). Affective social robots. *Robotics and Autonomous Aystems*, *58*(3), 322-332.
26. Kozima, H., Nakagawa, C., & Yasuda, Y. (2005). Interactive robots for communication-care: A case-study in autism therapy. *Proceedings of The 14th IEEE International Workshop on Robot and Human Interactive Communication (RO-MAN 2005)*(pp. 341-346). Nashville: IEEE
27. Leichtmann, B., & Nitsch, V. (2020). How much distance do humans keep toward robots? Literature review, meta-analysis, and theoretical considerations on personal space in human-robot interaction. *Journal of Environmental Psychology*, *68*, 101386.
28. Li, R., van Almkerk, M., van Waveren, S., Carter, E., & Leite, I. (2019). Comparing human-robot proxemics between virtual reality and the real world. *Proceedings of HRI 14th ACM/IEEE International Conference on Human-robot Interaction* (pp. 211-212). Daegu: ACM/IEEE.
29. Lin, W., & Yueh, H.-P. (2016). The relationship between robot appearance and interaction with child users: how distance matters. *Proceedings of The Cross-Cultural Design: 8th International Conference* (pp. 229-236). Toronto: HCI.
30. Liu, K., Chang, K.-M., Liu, Y. J., & Chen, J.-H. (2020). Animated character style investigation with decision tree classification. *Symmetry*, *12*(8), 1261.
31. Lohse, M., Rothuis, R., Gallego-Pérez, J., Karreman, D. E., & Evers, V. (2014). Robot gestures make difficult tasks easier: The impact of gestures on perceived workload and task performance. *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems* (pp. 1459-1466). Toronto:CHI
32. Mavridis, N. (2015). A review of verbal and non-verbal human–robot interactive communication. *Robotics and Autonomous Systems*, *63*, 22-35.
33. McCroskey, J. C., Hamilton, P. R., & Weiner, A. N. (1974). The effect of interaction behavior on source credibility, homophily, and interpersonal attraction. *Human Communication Research*, *1*(1), 42-52.
34. McCroskey, J. C., Richmond, V. P., & Daly, J. A. (1975). The development of a measure of perceived homophily in interpersonal communication. *Human Communication Research*, *1*(4), 323-332.
35. Mead, R., Atrash, A., & Mataric, M. (2011). Proxemic feature recognition for interactive robots: Automating social science metrics. *Proceedings of Social Robotics: Third International Conference* (pp.

52-61). Amsterdam: ICSR.

36. Mead, R., Atrash, A., & Matarić, M. J. (2013). Automated proxemic feature extraction and behavior recognition: Applications in human-robot interaction. *International Journal of Social Robotics*, *5*, 367-378.
37. Mead, R., & Matarić, M. J. (2016). Robots have needs too: How and why people adapt their proxemic behavior to improve robot social signal understanding. *Journal of Human-Robot Interaction*, *5*(2), 48-68.
38. Mumm, J., & Mutlu, B. (2011). Human-robot proxemics: physical and psychological distancing in human-robot interaction. *Proceedings of the 6th International Conference on Human-robot Interaction* (pp. 331-338). Lausanne: Association for Computing Machinery.
39. Neggers, M. M., Cuijpers, R. H., & Ruijten, P. A. (2018). Comfortable passing distances for robots. *Proceedings of Social Robotics: 10th International Conferenc*e (pp. 431-440). Qingdao: ICSR.
40. Obaid, M., Sandoval, E. B., Złotowski, J., Moltchanova, E., Basedow, C. A., & Bartneck, C. (2016). Stop! That is close enough. How body postures influence human-robot proximity. *Proceedings of The 25th IEEE International Symposium on Robot and Human Interactive Communication (RO-MAN 2016)* (pp. 51-58). NY, New York: Columbia University.
41. Ohanian, R. (1990). Construction and validation of a scale to measure celebrity endorsers' perceived expertise, trustworthiness, and attractiveness. *Journal of Advertising*, *19*(3), 39-52.
42. Patompak, P., Jeong, S., Nilkhamhang, I., & Chong, N. Y. (2020). Learning proxemics for personalized human–robot social interaction. *International Journal of Social Robotics*, *12*, 267-280.
43. Pineau, J., Montemerlo, M., Pollack, M., Roy, N., & Thrun, S. (2003). Towards robotic assistants in nursing homes: Challenges and results. *Robotics and Autonomous Systems*, *42*(3-4), 271-281.
44. Powers, A., & Kiesler, S. (2006). The advisor robot: Tracing people’s mental model from a robot's physical attributes. *Proceedings of the 1st ACM SIGCHI/SIGART Conference on Human-robot Interaction* (pp. 218-225). New York, NY: Association for Computing Machinery.
45. Rajamohan, V., Scully-Allison, C., Dascalu, S., & Feil-Seifer, D. (2019). Factors influencing the human preferred interaction distance. *Proceedings of The 28th IEEE International Conference on Robot and Human Interactive Communication (RO-MAN 2019)*(pp. 1-8). New Delhi:IEEE
46. Rossi, S., Staffa, M., Bove, L., Capasso, R., & Ercolano, G. (2017). User’s personality and activity influence on HRI comfortable distances. *Proceedings of Social Robotics: 9th International Conference* (pp. 167-177). Tsukuba: ICSR.
47. Ruijten, P. A., & Cuijpers, R. H. (2017). Stopping distance for a robot approaching two conversating persons. *Proceedings of The 26th IEEE International Symposium on Robot and Human Interactive Communication (RO-MAN 2017)*(pp. 123-130). Lisbon: IEEE
48. Ruijten, P. A., & Cuijpers, R. H. (2020). Do not let the robot get too close: Investigating the shape and size of shared interaction space for two people in a conversation. *Information*, *11*(3), 147.
49. Sundstrom, E., Burt, R. E., & Kamp, D. (1980). Privacy at work: Architectural correlates of job satisfaction and job performance. *Academy of Management Journal*, *23*(1), 101-117.
50. Sundstrom, E., & Sundstrom, M. G. (1986). *Work places: The psychology of the physical environment in offices and factories*. Cambridge, England: Cambridge University Press.
51. Takayama, L., & Pantofaru, C. (2009). Influences on proxemic behaviors in human-robot interaction.

Proceedings of The International Conference on Intelligent Robots and Systems (pp. 5495-5502). St. Louis, MO: IEEE RSJ.

52. Tay, B., Jung, Y., & Park, T. (2014). When stereotypes meet robots: The double-edge sword of robot gender and personality in human–robot interaction. *Computers in Human Behavior*, *38*, 75-84.
53. Torta, E., Cuijpers, R. H., & Juola, J. F. (2013). Design of a parametric model of personal space for robotic social navigation. *International Journal of Social Robotics*, *5*, 357-365.
54. Uzzell, D., & Horne, N. (2006). The influence of biological sex, sexuality and gender role on interpersonal distance. *British Journal of Social Psychology*, *45*(3), 579-597.
55. Van Der Laan, J. D., Heino, A., & De Waard, D. (1997). A simple procedure for the assessment of acceptance of advanced transport telematics. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, *5*(1), 1-10.
56. Walters, M. L., Dautenhahn, K., Te Boekhorst, R., Koay, K. L., Syrdal, D. S., & Nehaniv, C. L. (2009). An empirical framework for human-robot proxemics. *Proceedings of New Frontiers in Human-robot interaction: Symposium at the AISB09 Convention* (pp. 144-149). Edinburgh: University of Hertfordshire
57. Walters, M. L., Dautenhahn, K., Woods, S. N., Koay, K. L., Te Boekhorst, R., & Lee, D. (2006). Exploratory studies on social spaces between humans and a mechanical-looking robot. *Connection Science*, *18*(4), 429-439.
58. Wheeless, L. R., & Grotz, J. (1977). The measurement of trust and its relationship to self-disclosure. *Human Communication Research*, *3*(3), 250-257.
59. Zajonc, R. (1965). Social Facilitation: A solution is suggested for an old unresolved social psychological problem. *Science*, *149(3681)*, 269-274.
60. Zebrowitz, L. A. (2004). The origin of first impressions. *Journal of Cultural and Evolutionary Psychology*, *2*(1-2), 93-108.
61. Zhao, J., & Rau, P. L. P. (2020). Merging and synchronizing corporate and personal voice agents: Comparison of voice agents acting as a secretary and a housekeeper. *Computers in Human Behavior*, *108*, 106334.
62. 牛津（2023）。*不同領域的服務型機器人非語言線索與知覺人格特質之研究*（未出版之博士論文）。台灣大同大學，台北市。

    Niu, J. (2023). *A study on nonverbal cues and perceived personalities of services robots in different applications* (Unpublished Doctoral Dissertation). Tatung University, Tainan, Taipei. [in Chinese, semantic translation]

The Effects of Sets of Social Context Dimensions on User Perceived Experiences for Service Robots in Different Application Fields

Chih Fu Wu* Yue Yuan**

* Department of Industrial Design, Tatung University
wcf@gm.ttu.edu.tw

** Suzhou University of Technology
The Graduate Institute of Design Science, Tatung University
Corresponding author: yuanyueuk@126.com

Abstract

With the constant development and application of artificial intelligence technology, service robots, as an important part of human-robot interaction, have been widely used in various fields. This study examines optimal social distances for comfort in human-robot interactions in home and educational settings. This study combined two different interaction modes（single user interaction or multi-user interaction）with three fixed physical social distances to investigate users' perceived evaluations on robot capability, trustworthiness and acceptance in two different kinds of application fields. Two highly distinct physical robots were used in the experiments. The results of this study indicated that（1）in the field of home companionship, the robot's height affected users' evaluation on the robot's capability, the interaction mode significantly affected the robot's acceptance. （2）Both interaction modes combined with ground robots while maintaining personal space distance（45cm-120cm）could increase robot trustworthiness and acceptance.（3）For education robots, the robot height and the interaction distance had significant effects on robot trustworthiness and acceptance.（4）For the evaluation on the capability perception of education robot, ground robots（120cm）with personal space distance（45cm-120cm）had higher user perceived evaluations.

***Keywords*:** Interaction Distance, Single-user Interaction Mode, Multi-user Interaction Mode, Human Robot Interaction（HRI）