



以環境輔助生活技術輔助高齡者日常生活活動需求

Jörg Güttler¹, Thomas Linner¹, Christos Georgoulas¹, Andreas Bittner¹, Anne Zirk²,
Anne Engler², Eva Schulze², *Thomas Bock¹

¹Technical University of Munich (TUM), Chair of Building Realization and Robotics,
Munich, Germany

²Berliner Institut für Sozialforschung GmbH (BIS), Berlin, Germany

本文為徐元智先生紀念基金會出版的遠東《開創新猷》系列白皮書之六《智慧科技於高齡者照護之前瞻發展與應用》第五章，已取得基金會同意刊登於本學刊。

摘要

以「環境輔助生活(ambient assisted living, AAL)」技術協助高齡者執行日常生活活動(activities of daily living, ADL)，是高齡社會問題的一項重要解決方案。本章首先介紹了整合機器人技術的智慧建築在德國的一系列發展，包括複合式機器人輔助系統(multi robotic assistance system, MRAS)、機器人傢俱系統、整合輔助機器人的智能廚房平台、日常浴室活動輔助和自動化、輪椅設計和居住環境的互相適應；接著介紹應用 AAL 方法提供高齡者工作環境的科技輔助工作站，能開發高齡者的潛在勞動力，對高齡者社會參與、心理及身體活動等方面產生正面的影響。為高齡者提供居家環境中的無縫「行動鏈(mobility chain)」是非常重要的，各項元件包括上下樓梯助行器、平板電腦控制機器人、以及自動門等。以 AAL 技術將現有的健康監測功能融入環境，毫無干擾地應用在生活或居家環境中，利用與環境結合的健康監測終端設備為使用者提供健康狀況偵測與相應支持。

1. 簡介

發展使高齡者得以保持獨立，緩解機能衰退對高齡者造成影響的科技，漸漸成為照護產業未來發展的重要方向。歐盟已經透過許多措施來解決高齡社會問題，包括個人化醫療保健(personalized health care)的 H2020 追蹤計畫、環境輔助生活共同計畫(UniversAAL)、歐洲創新夥伴積極和健康老化計畫(EIP on active and healthy ageing)等。其中 AAL (active assisted living)意指「積極輔助生活」，也有稱為“ambient assisted living”—「環境輔助生活」(Wichert & Klausning, 2016)，旨在透過與環境結合的科技裝置支持，使老弱人士得以保持獨立和自主，過去十餘年來，幾乎所有的工業國家建置這類 AAL 解決方案的需求都大幅增加(World Health Organization, 2011; Buber et al., 2006)。

高齡者在執行日常生活活動(activities of daily living, ADL)上面臨了許多挑戰(Wiener et al., 1990)。ADL 是高齡者能夠獨立生活需要執行的基本工作，基本日常生活基本活動(basic activities of daily living, BADL)包括個人衛生和美容、穿脫衣服、自助餵食、功能轉移（從輪椅到床/馬桶等）和步行（不使用輔助設備行走）；工具性日常生活基本活動(instrumental activities of daily living, IADL)允許個人在社區中獨立生活，例如做家務、服用處方藥、管理錢、購買雜貨或衣物、使用電話或其他溝通形式、利用社區內的科技和運輸工具等。以環境輔助生活(AAL)技術協助高齡者執行 ADL 的需求也受到關注。

智慧建築的環境和原型在 1980 年代開始逐漸發展，例如日本的 TRON House 1、2 和 3 (Sakamura, 2005)、美國的 Aware Home (Kidd et al., 1999)、PlaceLab (Intille et al., 2006)和 MIT 的 House_n (Larson & Stephen, 2005)，德國也建造了輔助宅的原型，例如"Haus der Gegenwart"「現在的房子」和“Haus der Zukunft”「未來的房子」。這些原型包括感測器/致動器系統，但大部份不是為了支持高齡者的 ADL 而設計的，即使考慮到高齡者的需求，重點也都放在健康監測和醫病溝通上，許多專案都發展了數位通訊架構的整合，而忽略了機器人系統的整合。許多研究整合居家環境的感測器、致動器和機器人，以支持高齡者日常生活活動(ADL)，如 Robotic Rooms (Sato et al., 2004)、Robot Town (Murakami et al., 2008)、Wabot House (Waseda University, 2017)等。然而這些在實驗室環境中實現的解決方案，往往不能直接套用到高齡者實際居住的中小型公寓中。

本章即在介紹整合機器人技術的智慧建築，以 AAL 技術協助高齡者執行 ADL 的需求，在德國的一系列發展，包括複合式機器人輔助系統(multi robotic assistance system, MRAS)概念，機器人傢俱系統的發展，機器人廚房、機器人浴室，以及輪椅最佳化設計等，接著並討論高齡者工作環境的科技輔助設計，高齡者在居家環境中完整的「行動鏈(mobility chain)」串接的概念，以及以 AAL 技術開發與環境結合的健康監測終端設備。

2. 利用複合式機器人輔助系統進行功能轉移輔助

圖 1、圖 2 是複合式機器人輔助系統(MRAS)的概念圖(Linner et al., 2012)。系統安裝在天花板導軌上，使用固定在身上的彈力繩，支持使用者從坐姿轉移到站姿及後退，協助高齡者進行功能轉移，提升高齡者的獨立性，從而減少照護人員的負擔。如圖 2 所示，系統主要組件包括導軌網格、主致動器、和設備主體。矩形網格導軌允許主致動器移動到房間內所有可能的位置；主致動器是此應用的核心，負責提供移動力、與其他所有的子系統進行信息交換，並在主移動網格的預定位位置充電。設備主體採模組化設計，可依使用者需求組合、更新和替換部份模組；使用者將穿戴式軌具安裝到身上，即可輕鬆操作將使用者從坐姿拉抬到站姿，或轉移其位置，實現功能轉移輔助。



圖 1. 利用複合式機器人輔助系統進行功能轉移輔助(Linner et al., 2012)



圖 2. 複合式機器人輔助系統總覽(Linner et al., 2012)

3. 以機器人傢俱系統解決高齡者儲物空間問題

歐洲平均家庭住宅的格局在 60 平方公尺左右(United Nations Publication, 2001)，因此必須儘可能有效地利用可用空間。圖 3 所示為一套機器人傢俱系統(Georgoulas et al., 2012a)，設計重點即是提供密實小巧且符合人體工學的系統，能輕易安裝、應用在較小的公寓中，同時改善常用物品的可觸及性。透過電動機和旋轉移動路徑設計，儲存位置的高度可自由調整，使用者無須施力調整高度。為了評估此應用，設計者也穿上高齡模擬套裝模擬高齡者在執行簡單動作時的侷限測試使用，評估的結果發現此概念可節省 20% 的空間，省下來的空間可用來放置輪椅或相關物件。機器人傢俱系統亦搭載如微軟的 Kinect 感測器、登入和登出物品的 RFID 讀取器（物品在進到機器人傢俱櫃時會被自動登錄）、以及觸控式平板電腦提供適當的圖形使用者介面(GUI)以操作系統功能。

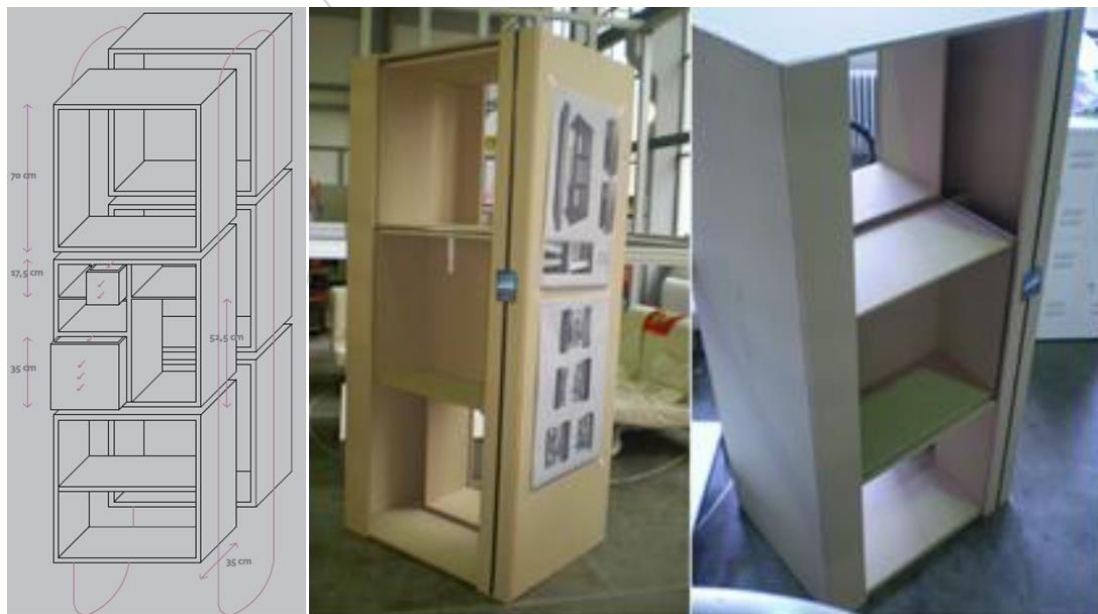


圖 3. 機器人傢俱系統(Georgoulas et al., 2012a)

4. 整合輔助機器人的智能廚房平台

長久以來，現代廚房設計模式普遍受到 1926 年由奧地利建築師 Margarete Schütte-Lihotzky 設計的「法蘭克福廚房(Frankfurt Kitchen)」影響，在現有的空間創造出最好的工作動線與設備使用，設計出經濟有效的空間利用，並簡化家庭主婦的日常工作。廚房設計對高齡者生活有重要影響，隨著年齡的增長，高齡者即時反應速度減緩、疲勞感增加，在廚房發生事故的危險性也隨之上升。透過智能廚房環境設計，可以減少發生事故的機會；相較於年輕的使用者，身體的僵硬和疼痛會迫使高齡者在烹飪時採取完全不同的方針，因此高齡者需要更大的廚房空間；為了支援認知功能，貼在櫥櫃門上的標籤或圖片有助於高齡者輕鬆找出適當的廚具。

圖 4 所示整合輔助機器人的智能廚房平台，是基於現代廚房基礎的初始資訊（包括法蘭克福廚房和 workflow 分析），進一步針對高齡者廚房的工作流程會有那些問題和侷限的資訊，包括每一步驟的烹飪過程認知功能支援和所需的空間及移動路徑，乃至於廚具的尺寸、數量和使用頻率進行深入評估之後，所發展出來的(Georgoulas et al., 2012b)。這個廚房設計共有三種模組類型：固定式（必要的安裝，如水槽、洗衣機等）、半固定式（移動起來稍嫌複雜，但可活動，如一體化的小電器、冰箱、烤箱等），以及靈活移動（可獨立移動，例如儲物櫃等）。搭配三軸機器手臂可利用靜電夾爪夾取廚具存放在適當的位置；一體成型的洗碗機可分析髒污餐具的量和髒污程度，達到節省能源的效果；同時亦安裝了觸控式螢幕提供指示和操作介面，並可經由 Wi-Fi 感測使用者是否已離開。

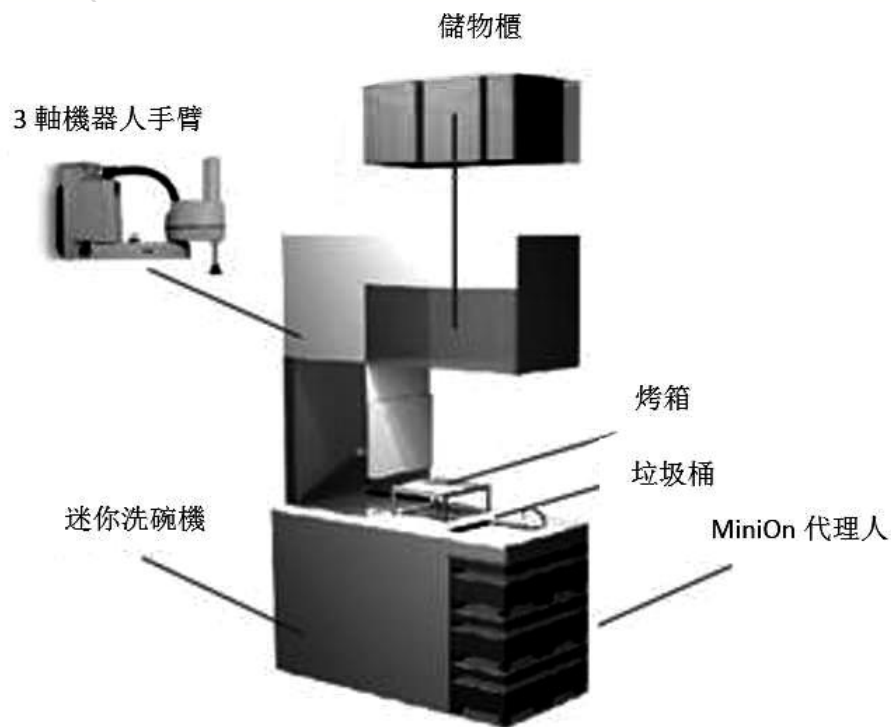


圖 4. 整合 MiniOn 輔助機器人廚房平台(Georgoulas et al., 2012b)

圖 5 所示為此廚房平台配置的 MiniOn 輔助機器人，由方形桌板所組成，經由伸縮基座連接到移動式平台，可根據使用者需求進行組裝配置，作為烹飪、進餐和清理時的助手。MiniOn 藉由具有深度估算功能的光學感測器來達成自主導航，並利用同步定位與建圖(simultaneous localization and mapping, SLAM) (Bock et al., 2012b)技術，在未知區域建立/更新地圖，同時持續追蹤它的當前位置。環境中指定位置如牆壁或傢俱貼有標籤貼紙，MiniOn 使用光學感測器掃描周圍區域，一旦檢測到適當的標籤即能引導朝目標前進。



圖 5. MiniOn 輔助機器人的組合配置(Ulbricht & Chervyakov, 2015)

5. 日常浴室活動輔助和自動化

洗澡、穿衣服和吃飯這三項活動可被用來評估高齡者獨立生活能力，日常浴室活動也發展出許多輔助設備。研究團隊針對 8 名受試者對日常浴室活動進行評估，執行了以下任務：脫衣服、髮型設計、使用馬桶、吹乾、刷牙、清潔耳朵、淋浴、穿衣服、洗頭、洗臉、刮鬍子、塗乳液、洗手、化妝、擦乾、使用毛巾清洗等，這項評估得到以下結論(Bock et al., 2012a)：

- (1) 浴室活動每項任務過程分散，使用者站立點之間距離長；
- (2) 高齡者身體敏捷度下降，令日常工作變得更加複雜，例如洗澡過程（包括脫衣服、洗澡、擦乾身體和穿衣服），高齡者需要更長的時間；
- (3) 移動性：浴室有限的空間影響了室內移動性。

基於以上結論，最佳化浴室的概念重點在於提升移動性和效率。為了改善高齡者執行 ADL 的流程，相較於普通公寓的浴室環境，應設計一體化的浴室單元，融合所有必要的步驟，並導入各種技術和機器人要素，以提供適當輔助。例如設置可讓輪椅使用者無須過度費力，即可直接完成功能轉移的馬桶，使用嵌入式櫥櫃以節省重要空間，遠距照護服務也可嵌進浴室化妝鏡後的功能牆中。

圖 6 所示為研究團隊提出的一體化的浴室單元設計，能適應浴室各種功能，增加高齡者的獨立性，同時為配合輪椅使用者，做到無障礙佈局，衛浴格局必須靈活。圖 6 所示浴室單元分成淋浴間、廁所、和附帶功能牆的盥洗室等三部分。淋浴間設有一體成形的噴頭，既能噴水也能擠出沐浴乳，淋浴過程結束後，一體化吹風機即能用熱風吹乾使用者；儲物櫃、置物架和洗臉盆高度皆可自由調整，輪椅可適應浴室單元內大部分的活動，使用者無須重複進行功能轉移。



圖 6. 一體化的浴室單元設計(Bock et al., 2012a)

6. 輪椅設計和居住環境的互相適應

輪椅是輔助高齡者 BADL 和 IADL 的重要設備，然而輪椅在居家環境如客廳、廚房、飯廳/工作間經常會發生使用上的困難和侷限。ADL 實驗評估結果顯示，就客廳而言，高齡者從輪椅轉移到沙發面臨的問題是高度差，即便沒有高度差，這樣的轉移也會因扶手的妨礙而變成高齡者的一大挑戰。廚房未安裝任何適配設備時（例如廚房檯面下無可用空間），標準化的廚房尺寸造成輪椅使用者諸多不便；飯廳/工作間的侷限在於桌子的高度，因為輪椅使用者不能把腿放入標準高度的桌子下，吃飯或做事時，桌子的有效使用範圍因而降低(Bock et al., 2012b)。

為了提升輪椅在居家環境的使用性和接受度，輪椅最佳化設計和居住環境的互相適應是重要的考量，整體概念應考量空間架構、社交功能和網路服務等三個向度。如圖 7 所示，空間架構規劃總結並組織居住空間的各種功能，將不同功能（如廚房和浴室）結合後，便可拿掉兩者之間的分隔牆，繼而發展出新型單元結構，如此公寓大部份的空間便能融合，而其餘空間也能保持無障礙樣貌。網路服務必須考慮遠距照護、家庭輔具、保全、娛樂、資料庫、以及資訊交換平台等服務，並搭配輪椅上裝置的箇中生理訊號感測器和活動記錄感測器（裝在輪椅上和環境中）。在社交功能上，除了基本的電話聯繫外，應用網際網路針對高齡者設計社交功能，也是重要考慮。

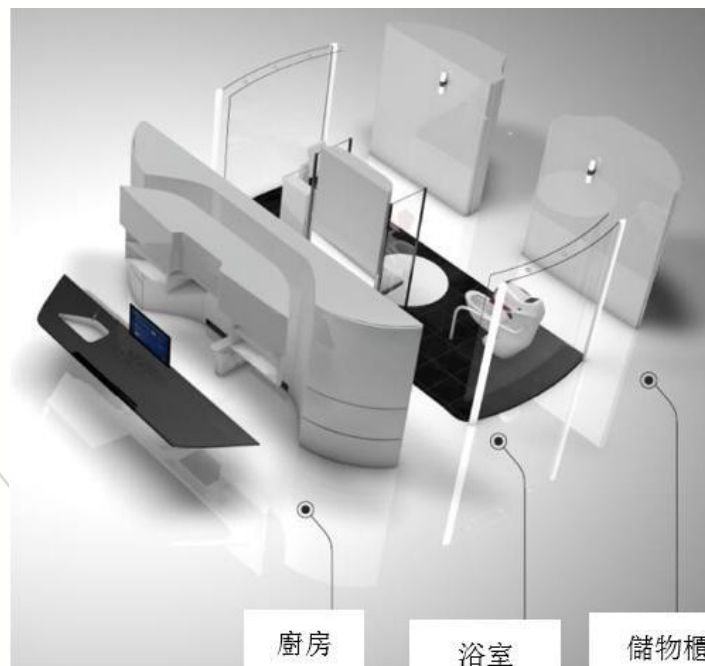


圖 7. 空間架構的規劃：將不同功能結合後，便可拿掉兩者之間的分隔牆(Bock et al., 2012b)

7. 高齡者工作環境的科技輔助

2030 年的德國勞工數將比現在短少約 700 萬人，不僅會造成 GDP 下滑約 16% (des Bundes & LÄNDER, 2011)，且隨著 700 萬勞工退休，也會造成職場知識的巨大損失。日本銀髮人力資源中心的研究顯示，藉由指派有意義的合作任務，可正向影響高齡工人和高齡者的社會參與、生活品質和身心健康(Weiss et al., 2005)。未來德國社會的老化將造成高齡人口日益增長，隨著高齡者健康狀況的改善及預期壽命的持續提升，尤其在設計及生產需要熟練且有經驗之勞動力的低附加值、個人化產品與服務方面，高齡人口可被視為德國未來工業發展的重要勞動力。

本節敘述應用 AAL 方法提供高齡者工作環境的科技輔助工作站，能開發高齡者的潛在勞動力，考量社會及心理因素將輔助科技整合在工作及生活環境中，能對高齡者社會參與、心理及身體活動等方面產生正面的影響，提升高齡者個人價值感、以及個人生活與健康狀況(Kessler & Staudinger, 2007)。輔助工作站的概念源自雲製造(cloud manufacturing, CM)，自 1980 年代中期起，這個新概念已在世界各地的研究實驗室開展，其中結合資訊與通訊科技(ICT)製造技術包括桌面製作(desktop production)、桌面組裝(desktop assembly)、3D 掃描(3D-scanning)、協作機器人(collaborative robot)、協作工作方式(collaborative working)、遠端臨場(telepresence)及自主的小型工廠(mini-factories)。雲製造技術更促進分散式生產概念，以及電腦整合製造和協作設計等領域的迅速發展(Brooks, 2003; Gershenfeld, 2005; Neef et al., 2005; Lipson & Kurman, 2013; Li & Mehnen, 2013)。

圖 8 所示為 CM 工作站及其關鍵功能模組，目前為止已經有五個關鍵的功能模組被原型化，包括物流系統、3D 掃描模組、工程與遠端臨場模組、3D 列印模組、協作組裝站，並與模組化駕駛艙框架進行整合，高齡者在 AAL 和其他輔助系統協助下，可以建立不同形式的分散式「居家實

驗室」，成為未來資源網絡的關鍵元件。圖 9 顯示一位高齡者在 CM 工作站中生產個人化產品，工作站緊密整合關鍵的功能需求（產品規劃與開發、生產、品質保證與測試，以及客戶服務與諮詢），工作流程並依使用高齡者個人需求調整，例如配合助聽器、手杖、輪椅把手的個人化，以滿足個人特定的生理與人體工學要求。

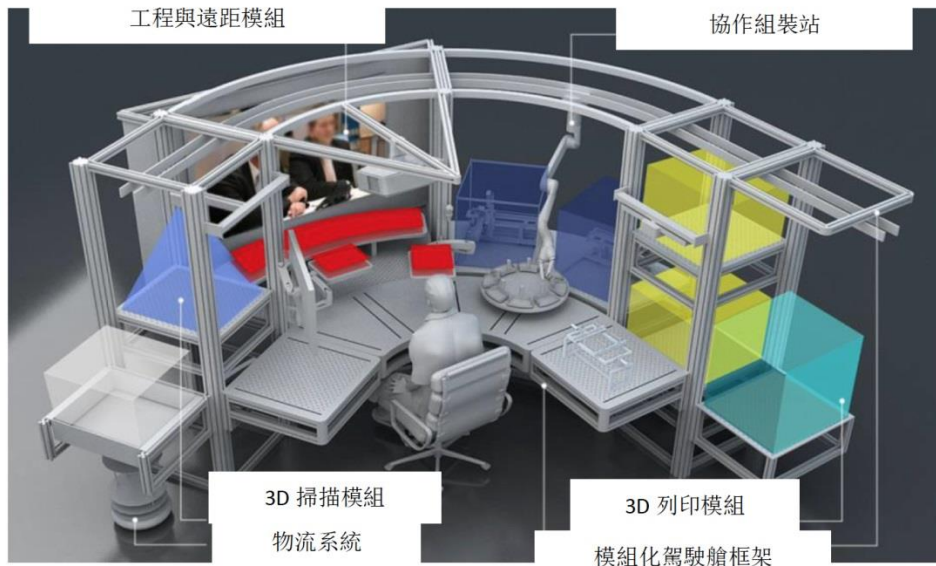


圖 8. CM 工作站及其關鍵功能模組概覽

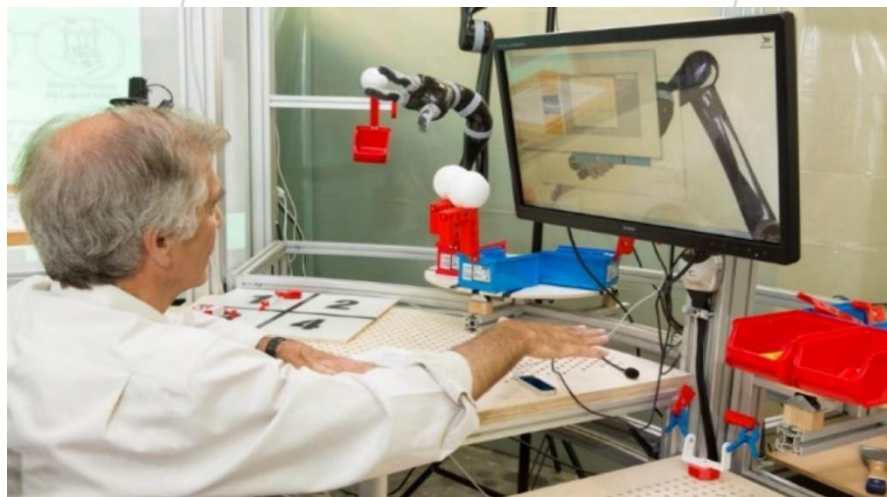


圖 9. 高齡者在 CM 工作站中生產個人化產品

8. 為高齡者設計的行動鏈

行動能力(mobility)是高齡者享有良好生活品質的關鍵因素之一，許多輔助設備目的在協助失去行動能力的高齡者再次恢復行動能力，例如站立式支撐系統、助行器、輪椅、電動機車等。然而這些方案只能解決部分的失去行動能力問題，主要因為大多數的解決方案並沒有考慮到輔助系

統之間的轉移。例如助行器能支撐高齡者步行，但是高齡者卻無法使用助行器爬樓梯，此外如果高齡者無法從床上或馬桶上站起來，助行器也無法提供支持。圖 10 中的電動床可以將使用者撐起並處於坐立的姿勢，但是如果助行器已移位不在床鋪附近，仍然無法接續下一個動作。由此可知，為高齡者提供居家環境中的無縫「行動鏈(mobility chain)」是非常重要的。



圖 10. Pyhsionova 製造的 RotoFlex 電動床，能轉換成坐位，並支援站立姿勢
(http://physionova.de/?page_id=187)

德國聯邦教育與研究部(BMBF)資助的研究專案 PASSAge，針對這些行動能力差距，調查市場上現有的各種輔助系統，以便開發具體的介面解決方案(Bähr et al., 2013)。開發完成的居家環境中的無縫行動鏈，具體實現於 1:1 比例實驗公寓，並結合了不同模式進行評估測試(Geilhof et al., 2013)。以下說明無縫行動鏈各項元件。

(1) 上下樓梯助行器 StairWalker

為預防現存的行動能力加速萎縮，本案不考慮使用樓梯升降機，而設計了上下樓梯助行器 StairWalker (圖 11)，可以讓高齡者享有樓梯升降機的安全感，同時也讓高齡者以自己力量上下樓梯。StairWalker 可在現有的建築物樓梯進行安裝，不須大幅改裝；如圖 12 所示，StairWalker 後方加入了一個原型輔具，可以讓高齡者攜帶輪椅、助行車或行李上樓。



圖 11. StairWalker 協助高齡者上下樓梯，並訓練高齡者自己爬樓梯

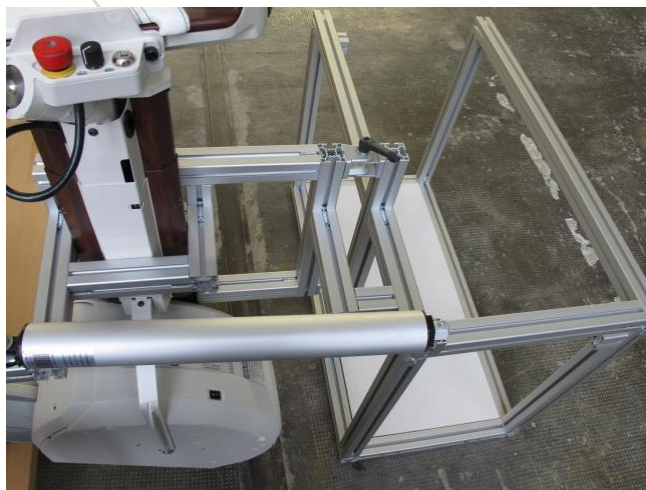


圖 12. StairWalker 搭配原型輔具，讓高齡者攜帶輪椅、助行車或行李上樓

(2) 入口門

實驗公寓入口滑門對輪椅或助行車使用者仍有些小障礙，例如嘗試開門時其實非常困難，特別是如果使用者的平衡能力有問題。測試公寓使用一般商家常見的自動門系統，也是居家環境中無縫行動鏈的重要元件之一。

(3) 以機器人串接行動鏈

在歐洲(尤其是德國)，機器人主要使用於工業產業，居家環境卻很少使用機器人，如 Georgoulas 等人(2014)所述，對不瞭解科技的高齡者而言，使用機器人設備非常困難。另外一個問題是如何讓高齡者充分地控制這些機器人，對語音識別而言，清晰的發音是必要的，手機或平板電腦是比較有效的選擇，觸控螢幕技術讓高齡者可以更直觀地控制各種不同的功能(Burkhard & Koch, 2012)。

實驗公寓中以平板電腦控制機器人、StairWalker 以及自動門，從而建立一個無縫的行動鏈。高齡者呼叫 StairWalker 與自動門同步運作，可以讓使用者輕易地使用助行車離開公寓。助行車移位的问题可能可以透過 TurtleBot (2013) 機器人來解決，透過助行車與機器人之間的連接器拖動助行車到高齡者所在的位置 (圖 13)。



圖 13. TurtleBot 透過助行車與機器人之間的連接器拖動助行車

(4) 行動鏈的系統通訊

為了使前述不同的模組形成一個無縫行動鏈，這些模組必須互相交流與溝通，圖 14 為系統通訊架構，圖 15 所示為高齡者使用平板電腦的圖形介面。

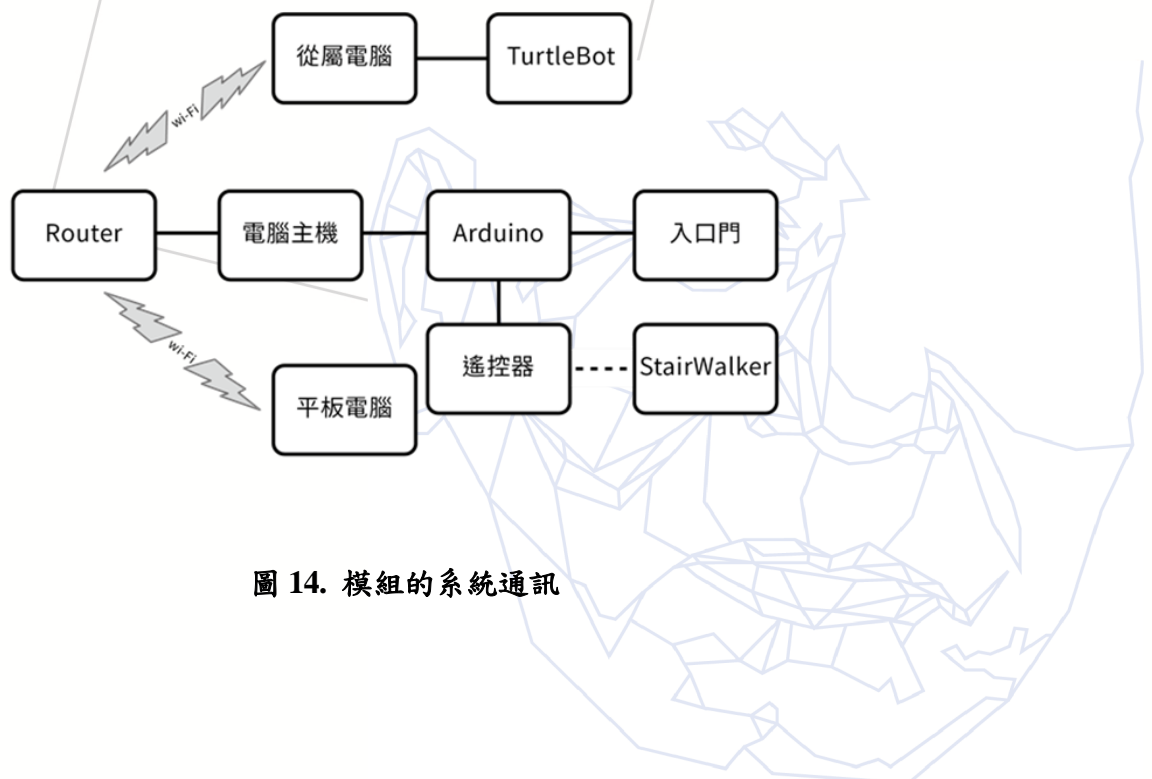


圖 14. 模組的系統通訊

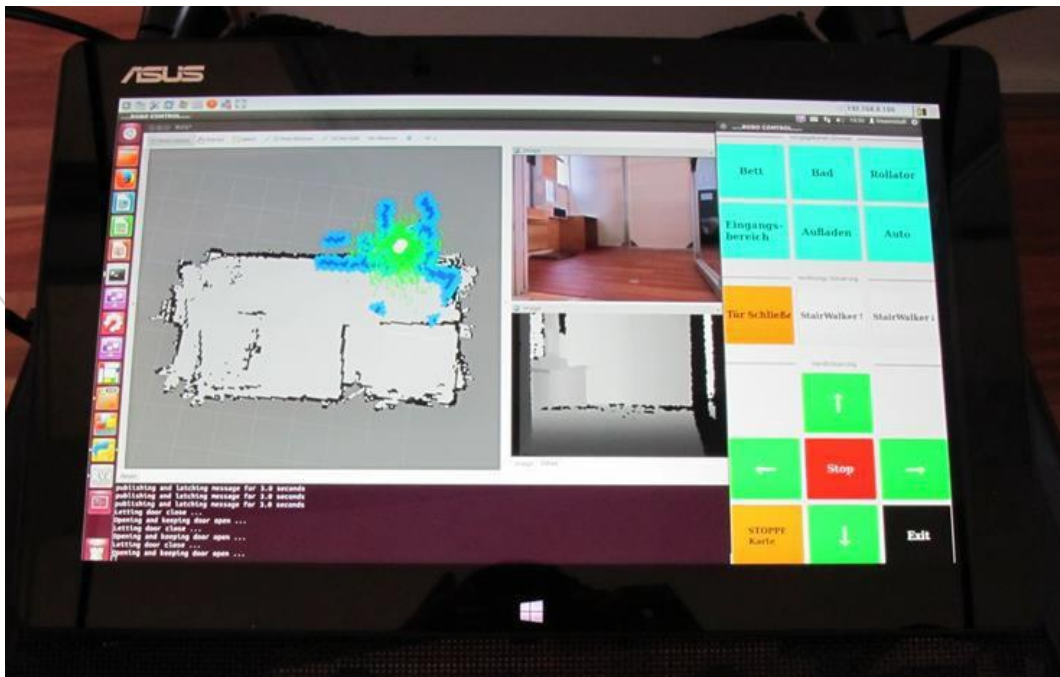


圖 15. 圖形使用者介面用於控制無縫行動鏈的模組

9. 與環境結合的健康監測終端設備開發

越來越多研究旨在將監測與輔助技術應用在穿戴式裝置（例如智能手錶、智慧型手機等），透過裝置或設備測量、分析及監測健康數據，可以為使用者提供個人的健康狀況。然而在高齡者照護應用上，穿戴式科技相對較新且接受度較低(Mukhopadhyay, 2015)，以 AAL 技術將現有的健康監測功能進一步融入整合性建構環境，毫無干擾地應用在生活或居家環境中，應是較佳的方式。

以下將說明 LISA HABITEC 計畫中，與環境結合的健康監測終端設備開發每個終端的功能，這些設備已於實驗公寓中裝置、測試。

(1) 客廳終端

LISA HABITEC 中所開發的終端不一定要安裝在牆上，桌子和椅子等家具要件也可以作為終端，並融合輔助功能。相較於日本的高齡者，歐洲的高齡者較不信任機器人，因此機器人行動平台已被整合在桌子中（圖 16 左圖），可由放置在桌上的小型觸控式螢幕自動驅動和控制，增加高齡者對機器人解決方案的接受度。電容式心電圖(ECG)系統亦設置於客廳終端附加模組的椅子中（圖 16 右圖），透過將雙手放在扶手上來測量使用者的心電圖，而無須在電極上使用膠水或其他液體，並不會干擾使用者的日常活動，可以讓使用者感到更加舒適。



圖 16. 客廳終端。左圖：行動平台隱藏在桌子中，可由放置在桌上的小型觸控式螢幕自動驅動和控制；
右圖：設置在測試椅子扶手兩側的電容式電極模組

(2) 入口終端

LISA HABITEC 計畫開發的第一個入口終端原型（圖 17 左圖）包含了透過 Wi-Fi 無線數據傳輸至健康伺服器的功能，以取得血壓、脈搏、血糖等測量資料。另外還設置了使用 RFID 技術的提醒功能，以親切的方式提醒使用者，例如忘記鑰匙(Güttler et al., 2014)。在智慧型鏡子中，天氣應用程式會通知使用者當前的溫度，以協助使用者尋找合適的衣物。

在 LISA HABITEC 開發的改進版本入口終端中（圖 17 右圖），主要著重於支援坐下、穿衣、穿鞋和站立相關的一系列活動。如圖 18 所示，行動式平板可以升起，以支撐使用者穿鞋；位於左側的特殊鞋架透過鞋架轉輪的概念，讓使用者可以輕鬆且符合人體工學地取得鞋子。



圖 17. 入口終端。左圖：專案前結果；右圖：改進版本



圖 18. 入口終端。左圖：作為穿鞋支撐物的行動式平板；右圖：符合人體工學的鞋架

(3) 床終端

此特定終端的主要目的是提供上下床的選擇性支援，以及減輕使用者的功能不便性。醫院病床的標準解決方案是在使用者上方安裝一個懸吊桿，這項應用非常有用，但在住家環境卻是不切實際的。圖 19 為 LISA HABITEC 計畫開發的床終端，床上的把手裝有強大馬達，並可透過遙控器上下驅動；此外，床終端解決了下來和從床上站起來的問題，將把手不顯眼地安裝在床終端中，讓使用者更易下床；床上的桌子系統安裝在滑軌上，無須費很大力氣即可移動；整合式折疊桌讓使用者能夠在床上吃飯、閱讀書籍和/或使用筆記型電腦。



圖 19. 床終端。左上方：不顯眼的安裝把手；右上方：遙控把手；左下方：滑軌上的整合式桌子，右下方：展開的整合式桌子

(4) 浴室終端

浴室終端（圖 20）包含一個驅動和高度可調式水槽，高度調整功能也可以儲存特定的高度位置，所以在一個擁有四名成員的家庭中，每個家庭成員都可以調用偏好的高度調整。以模型實施的還有一個櫥櫃升降系統，此升降系統僅需非常小的致動器來移動整個水槽，將物體從櫥櫃上方降至使用者位置。不顯眼的跌倒檢測器安裝在地面上作為沐浴環境的基板，發燒檢測模組則位於其旁邊。該模組不顯眼地安裝在鏡子旁邊，由一個熱成像鏡頭組成，可用來分析人臉的潛在表現。如果系統檢測到臉部，則熱成像將在前額中心位置進行發燒分析(Güttler et al., 2016)。



圖 20. 浴室終端。左圖：測試發燒檢測器；右圖：測試模型櫥櫃升降系統

參考文獻

1. Bähr, M., Haag, C., Hofstetter, G., Koury, M., Kurz, D., Winkler, A., ... & Kranz, M. (2013). PASSAge-Personalized Mobility, Assistance and Service Systems in an Ageing Society: PASSAge-Personalisierte Mobilität, Assistenz und Service Systeme in einer alternden Gesellschaft. In *Deutscher AAL-Kongress 2013: 22/01/2013-23/01/2013*. VDE-Verlag.
2. Bock, T., Georgoulas, C., & Linner, T. (2012a). Towards robotic assisted hygienic services: Concept for assisting and automating daily activities in the bathroom. *Gerontechnology*, *11*(2), 362.
3. Bock, T., Linner, T., & Georgoulas, C. (2012b). Co-adaptation of assistive mobility devices and residential functions. *Gerontechnology*, *11*(2), 363.
4. Brooks, R. A. (2003). *Flesh and machines: How robots will change us*. Vintage.
5. Buber, I., Prskawetz, A., Engelhardt, H., Schwarz, F., & Winter-Ebmer, R. (2006). Survey of Health, Ageing and Retirement in Europe. *SHARE. First Results for Austria. Vienna Institute of Demography, Forschungsbericht*, (31).
6. Burkhard, M., & Koch, M. (2012). Evaluating Touchscreen Interfaces of Tablet Computers for Elderly People. In *Mensch & Computer Workshopband* (pp. 53-59).

7. des Bundes, S. Ä., & LÄ NDER, D. (2011). Demografischer Wandel in Deutschland: Heft 1: Bevölkerungs-und Haushaltsentwicklung im Bund und in den Ländern. *Statistisches Bundesamt, Wiesbaden*.
8. Geilhof, B., Güttler, J., Heuberger, M., Diewald, S., & Kurz, D. (2013). Weiterentwicklung existierender Assistenz-und Mobilitätshilfen für Senioren–Nutzen, Akzeptanz und Potenziale. *uDay XII-Assistenztechnik für betreutes Wohnen*.
9. Georgoulas, C., Linner, T., & Bock, T. (2012a). Vision controlled robotic furniture system.
10. Georgoulas, C., Linner, T., & Bock, T. (2012b). A novel MiniOn agent assisted robotic kitchen platform. *Gerontechnology, 11(2)*, 369.
11. Georgoulas, C., Raza, A., Güttler, J., Linner, T., & Bock, T. (2014, January). Home environment interaction via service robots and the leap motion controller. In *ISARC. Proceedings of the International Symposium on Automation and Robotics in Construction* (Vol. 31, p. 1). Vilnius Gediminas Technical University, Department of Construction Economics & Property.
12. Gershenfeld, N. (2005). Fab: the coming revolution on your desktop: from personal computers to personal fabrication.
13. Güttler, J., Georgoulas, C., & Bock, T. (2016, April). Contactless fever measurement based on thermal imagery analysis. In *Sensors Applications Symposium (SAS), 2016 IEEE* (pp. 1-6). IEEE.
14. Güttler, J., Georgoulas, C., Linner, T., Bock, T., & Im Forschungsprojekt, L. I. S. A. (2014). Unabhängiges Wohnen durch modulare und mit Assistenzfunktionen individualisierbare Mikro-Roboterräume. In *Proceedings of 7th German AAL-Kongress, Berlin, Deutschland*.
15. Intille, S., Larson, K., Tapia, E., Beaudin, J., Kaushik, P., Nawyn, J., & Rockinson, R. (2006). Using a live-in laboratory for ubiquitous computing research. *Pervasive Computing*, 349-365.
16. Kessler, E. M., & Staudinger, U. M. (2007). Intergenerational potential: effects of social interaction between older adults and adolescents. *Psychology and aging, 22(4)*, 690.
17. Kidd, C., Orr, R., Abowd, G., Atkeson, C., Essa, I., MacIntyre, B., ... & Newstetter, W. (1999). The aware home: A living laboratory for ubiquitous computing research. *Cooperative buildings. Integrating information, organizations, and architecture*, 191-198.
18. Larson, K., & Stephen, I. (2005). MIT Open Source Building Alliance-A house_n initiative. Position Paper.
19. Li, W., & Mehnen, J. (Eds.). (2013). *Cloud manufacturing: distributed computing technologies for global and sustainable manufacturing*. Springer Science & Business Media.
20. Linner, T., Georgoulas, C., & Bock, T. (2012). A Multi-Robotic Assistant System (MRAS): A development approach with application to the ageing society. *Gerontechnology, 11(2)*, 381.
21. Lipson, H., & Kurman, M. (2013). *Fabricated: The new world of 3D printing*. John Wiley & Sons.

22. Mukhopadhyay, S. C. (2015). Wearable sensors for human activity monitoring: A review. *IEEE sensors journal*, 15(3), 1321-1330.
23. Murakami, K., Hasegawa, T., Kurazume, R., & Kimuro, Y. (2008, October). A structured environment with sensor networks for intelligent robots. In *Sensors, 2008 IEEE* (pp. 705-708). IEEE.
24. Neef, A., Burmeister, K., & Krempl, S. (2005). *Vom Personal-Computer zum Personal-Fabricator: points of fab, fabbing society, homo fabber*. Murmann Verlag DE.
25. Sakamura, K. (2005). Intelligent house in the age of ubiquitous computing. *A House of Sustainability: PAPI, A+ U*, 56-65.
26. Sato, T., Harada, T., & Mori, T. (2004). Environment-type robot system" RoboticRoom" featured by behavior media, behavior contents, and behavior adaptation. *IEEE/ASME Transactions on Mechatronics*, 9(3), 529-534.
27. TurtleBot. (2013). What is a TurtleBot? Retrieved December 30, 2017, from <http://turtlebot.com/>
28. Ulbricht, D., & Chervyakov, D. (2015). *Population ageing and its effects on the German economy* (No. 78). DIW Roundup: Politik im Fokus.
29. United Nations Publication. (2001). *Trends in Europe and North America, The Statistical Yearbook of the Economic Commission for Europe (Trends in Europe & North America)*.
30. Waseda University. (2017). Wabout House. Retrieved December 30, 2017, from <http://www.wabot-house.waseda.ac.jp/html/>
31. Weiss, R. S., Bass, S. A., Heimovitz, H. K., & Oka, M. (2005). Japan's silver human resource centers and participant well-being. *Journal of Cross-Cultural Gerontology*, 20(1), 47-66.
32. Wichert, R., & Klausning, H. (Eds.). (2016). *Ambient Assisted Living: 8. AAL-Kongress 2015, Frankfurt/M, Germany, April 29-30. April, 2015*. Springer.
33. Wiener, J. M., Hanley, R. J., Clark, R., & Van Nostrand, J. F. (1990). Measuring the activities of daily living: Comparisons across national surveys. *Journal of Gerontology*, 45(6), S229-S237.
34. World Health Organisation (2011). Global Health and Ageing. *National Institutes of Health(NIH)*. Retrieved December 30, 2017, from http://www.who.int/ageing/publications/global_health.pdf