

教育資料與圖書館學

Journal of Educational Media & Library Sciences

<http://joemls.tku.edu.tw>

Vol. 49 , no. 1 (Autumn 2011) : 39-73

機器人文獻之合著網絡及熱門主題分析

**Analysis of the Co-authorship Network and Hot
Topics in the Robotics Literature**

許雅珠 Ya-Chu Hsu

Graduate Student

E-mail: yeaju.hsu@gmail.com

黃元鶴 Yuan-Ho Huang*

Associate Professor

E-mail: yuanho@blue.lins.fju.edu.tw

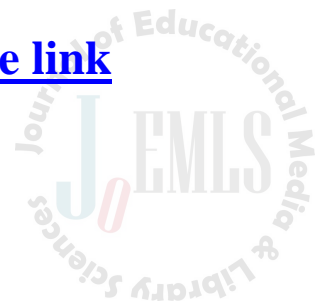
黃鴻珠 Hong-Chu Huang

Professor & Library Director

E-mail: kuanin@mail.tku.edu.tw

[English Abstract & Summary see link](#)

[at the end of this article](#)



機器人文獻之合著網絡及熱門主題分析

許雅珠

碩士生
淡江大學資訊與圖書館學系
E-mail: yeaju.hsu@gmail.com

黃元鶴*

副教授
輔仁大學圖書資訊學系
E-mail: yuanho@blue.lins.fju.edu.tw

黃鴻珠

教授兼館長
淡江大學資訊與圖書館學系暨覺生紀念圖書館
E-mail: kuanin@mail.tku.edu.tw

摘要

本研究主要探討機器人文獻之合著情況及高被引文獻之熱門研究主題，以科學引文索引擴充版(SCIE)資料庫中14種機器人學核心期刊文獻為研究資料來源，樣本資料共計9,571篇研究論文，分布於1983-2009年間。研究分析結果顯示，機器人學每年研究論文篇數由96篇成長至746篇，整體之合著率為82.71%，以2至4位作者為最主要的合著型態。在國家層次方面，整體跨國合著率為11.98%，美國是跨國合著篇數最高且最具資源控制能力之國家，但其跨國合著率(22.79%)不及瑞士跨國合著率(48.51%)。在機構層次方面，整體跨機構合著率為29.24%，美國卡內基美隆大學是跨機構合著篇數最高之機構，然而，日本國際電氣通信基礎技術研究所的跨機構合著率達85.71%，高於美國任一機構。另外，美國麻省理工學院為最具有資源控制能力之機構。高被引文獻之關鍵字分析結果呈現六大研究主題，包括無固定路線機器人、智慧型機器人、視覺機器人、固定路線或定點移動機器人、時域機器人、夾爪機器人。

關鍵詞：機器人文獻，合著，共字分析，書目計量，社會網絡分析

*本文通訊作者。

2011/03/28投稿；2011/07/22修訂；2011/08/03接受

前 言

機器人從60年代問世至今，因科技的快速成長，人類為簡化工作程序、提升生產水平、使生活更為舒適、為人類帶來歡樂、提升生活品質，及代為執行險峻、骯髒、乏味之工作，使得機器人已大量進駐人類生活之中。加上機器人之開發，對外將使國家在國際市場上更具競爭力，對內則能提升工業產業之技術，因此許多國家將機器人發展列入國家重大規畫之中。為使各類機器人的功能能夠日益提升，以及能夠協助人類解決更多問題，許多國家的研究人員投入相關研究，並將這些科學合作研究成果，透過共同署名發表於學術期刊，故學術文獻是了解研究者合作交流之重要途徑。此外，高被引之機器人學文獻可提供高影響力機器人學之相關資訊以提供研究人員參考。因此，本研究藉由分析與機器人有關之期刊文獻，探討機器人領域合著與熱門研究主題，以了解機器人領域之整體研究概況。

二、文獻探討

本研究藉由書目計量學方法分析機器人文獻以獲取機器人學研究概況，首先對機器人之定義及內容進行探討，再針對相關之分析方法進行文獻探討，包括合作研究與合著 (co-authorship) 分析、共字 (co-word) 分析、引文 (citation) 分析、社會網絡分析 (social network analysis, SNA) 等，以掌握各種分析方法可應用的範圍及內容。

(一) 機器人

robot 意思為強制性勞役，它是由捷克語 robotnik 而來，意思為奴隸、僕人、農奴 (王培垣，2000，頁3；朱啟民、李祖昌、黃松榮，1985，頁1)。robot 一詞1920年首先出現在捷克劇作家卡維爾·查佩克 (Capek, 1920) 的劇作「羅薩姆萬能機器人」(Rossum's Universal Robots, R.U.R.) 之中。然而，隨著時代演進，目前除 robot 一字外，automaton 與 android 亦指機器人，其中 robot 為較一般性用詞，它主要指透過程式設計來執行工作之機器人；automaton 則為模仿人類或動物之機器裝置，但不一定要執行有目的之工作；而 android 則指具有人類外型之機器人 (中華民國工業安全衛生協會，1989)。

關於機器人的定義有很多，MW Online Dictionary (韋氏線上字典，2010) 定義為：一部像人的機器，能夠自動執行各種複雜且重複之任務，並具有很高工作效率之複雜裝置。Robotic Industries Association (美國機器人工業協會，2010) 定義工業機器人為一個自動控制、可重複編程的多功能機械手 (manipulator)，具有三個或多個定點式或移動式的運動軸，應用於工業自動化上。財團法人精密機械研究發展中心 (Precision Machinery Research & Development Center,

PMC, 2010) 定義智慧型機器人為一種多功能的多軸全自動或半自動機械裝置，可透過程式化動作執行各項生產活動與結合人工智慧與感測技術的應用，提供人類生活、健康、安全、娛樂等方面的服務。而智慧型機器人之發展是跨領域的，其主要結合了機器人學以及人工智慧，包含了電機工程的影像處理、語音辨識、語音合成、訊號處理、無線通訊；機械工程的機構設計、結構設計、運動學、動力學；資訊工程的人工智慧程式設計、資料庫系統、虛擬實境等(林其禹, 2008)。因此，當代機器人學是結合許多學科領域的智慧成果，本研究試圖由文獻計量之方法來探討機器人學科領域合著的態樣與熱門主題以提供相關研究人員參考。

文獻計量方法可應用於不同學科領域，過去較少研究應用文獻計量於機器人學此主題，僅Lee & Jeong (2008) 曾以共字及集群方法分析韓國機器人學文獻以辨識學科的演化發展，近年來，科學學術研究傾向於合作研究，因此本研究探討機器人領域之合著情形，以下綜整合作研究與合著分析相關文獻，做為後續資料分析之參考。

(二) 合作研究與合著分析

Katz & Martin (1997) 指出，現代的研究日益複雜，且需要更廣泛的技能，單一個人無法擁有研究所需的所有知識、技能與技術。加上合作可促進專業的提升與增加知識 (Beaver & Rosen, 1978)，以及研究者可能專業化所需與可獲得更多的研究經費 (Bird, 1997)，故近年來學術合作研究漸漸成為一種趨勢。

一般合作研究因融合了多位研究者經驗，故被期望有較高的品質 (Avkiran, 1997)。而對於合作研究通常見於較大型的研究案，其合作類型可能由數個不同團隊共同合作，合作對象可能來自相同機構，亦可能來自不同性質機構，甚至跨國合作 (林美君、黃元鶴, 2009)。Braun, Glanzel, & Schubert (2001) 提出，由於個人、機構或國家的科學合作不斷成長，合作模式已成為一種有價值的競爭。

而在合著分析方面，通常由多位作者所共同發表之文獻，稱為合著著作 (co-authored publication)，一般將它視為評量合作活動之基本計算單位 (Katz & Martin, 1997)。Glanzel & Schubert (2004) 認為合著者資料是最能具體呈現科學合作模式的方法之一，有研究指出合著文獻比單一作者文獻，其接受率較高，且合著文獻也有較高的被引用率 (Smart & Bayer, 1986)。

對於跨國合著，Schubert & Braun (1990) 提出跨國合著率與國家科學規模大小成反比，意即科學規模小的國家較仰賴科學規模大的國家，而科學規模大的國家則較容易在台灣找到合作對象，故較少參與跨國合作。但Narin, Stevens, & Whitlow (1991) 認為跨國合著與一個國家的科學規模大小較無關，但與國家的語言、歷史有較大關係。

另外，對於合著分析，Melin & Persson (1996) 提出三種不同類型的分析方法：集群分析 (choice of aggregation level)、文獻分析 (article analysis)、網絡分析 (networks analysis)，以期從不同角度獲得更完整之資訊。

綜整合著相關研究文獻如表 1，在合著研究方面，大多以平均每篇文獻作者數、合著人數類型、最多合著人數、合著率、跨機構合著率與跨國合著率等為主，較少搭配社會網絡分析方法進行合著分析，因本研究希望能透過社會網絡分析方法進一步探究彼此互動情形，故在下文(五)將探討社會網絡文獻分析。

表 1 合著文獻相關研究之比較

項目	相 關 研 究							
	工程領域			自然科學領域		社會科學領域		
	林利真 (2007)	謝彩霞 (2008)	蔡明月與 郭政遠 (2009)	Bird (1997)	鄭琚媛 (2004)	Ajiferuke et al.(1988)	劉雲忠與 宣慧玉 (2004)	林美君與 黃元鶴 (2009)
平均每篇 作者數	3.04	4.03	4.23-4.73	-	4.17	1.07-1.24	-	-
合著人數 型態	2-3	2-4	-	2-3	2-5	2	2	-
最多合著 人數	-	33	-	13	21	10	-	-
合著%	90.23	91.3	89-94.1	-	-	5.9-17.12	27.31	42.1
國際合著 主要型態	2 國	-	-	-	-	-	-	-
機構合著 主要型態	-	-	-	-	-	-	-	-
跨國合著%	10.87	-	-	-	-	-	1.61	6.8
跨機構 合著%	-	-	-	-	-	-	29.25	19.11
社會網絡 分析	國家、機 構之三種 中心性分 析及以網 絡圖呈現			-	-	-	-	機構、國家 以網絡圖呈 現

由於本研究除了探討機器人合著概況外，亦進一步以高被引文獻為研究對象，探討機器人領域之熱門主題，因此接下來綜整引文分析相關文獻。

(三)引文分析

引文分析是書目計量學一個重要研究範疇，其理論根基於出版品「互相引用」的關係上(蔡明月，2003，頁291)。一般而言，期刊文獻所羅列之參考書目，即為被引用文獻(cited literature)，而期刊文獻本身則為引用文獻(citing literature)。透過引用與被引用之關係研究，將可獲知學科之間的關係與發展，以及文獻傳播之歷程，進而可了解該學科之研究近況與未來趨勢(蔡明月，2003，頁290；蔡明月，2005)。對於一篇文獻被引用，若站在所有引用都均等的立場，不管作者之引用動機為何，皆計數被引用一次，一篇文獻被引用次數越多，表示其對學術貢獻越大，影響力越高。

引文分析可以是縱向的，即針對某一特定期刊之數量、類型、語言等指標進行文獻分析；亦可為橫向的，即針對特定學科或領域多種刊物進行引用文獻分析(林秀惠，2007)。在應用上包括：文獻研究、文獻類型研究、使用者研究、歷史研究、溝通模式、書目計量學評估、資訊檢索、館藏發展(Smith, 1981)、評估科學工作者、科學研究機構及科學文獻交流、追蹤研究科學技術之發展和文獻交流之歷史過程、查找文獻和評估文獻(丁學東，1993，頁301-302)。

引文分析包括自我引用、高被引文獻、共引分析等不同研究領域(Seol & Park, 2008)，本研究選擇高被引文獻，進行文獻發表時間、被引用次數、被引用時間之分析，以了解機器人學高被引文獻之相關屬性。再者，本研究欲探索機器人學之熱門主題，藉由分析高被引文獻之關鍵字，以共字分析來辨識主題，以下為共字分析的文獻探討。

(四)共字分析

共引分析與共字分析為建構一個領域主題地圖與策略地圖常見之二種方法。其中，共字分析為一種內容分析技術，透過文章中成對之詞或詞組關係以說明文章之關聯性(He, 1999)，作法為以出現在二篇文獻同一欄位，相同的字或詞來測量二篇文獻的連結關係(蔡明月，2003，頁342)。而Ding, Chowdhury, & Foo(2001)則定義共字分析是分析某一主題文獻中共同出現的關鍵字。

對於共字分析的研究對象，除了書目記錄的欄位外，尚可針對全文資料(蔡明月，2003，頁343)、專利、報告或報紙進行研究；而共字分析技術之應用有：1.利用特殊概念之出現，追蹤一個研究者或研究群對其他研究者之影響；2.利用高頻次之概念，描繪一個研究領域之重要主題；3.利用集群概念之變換，描繪研究領域理論典範轉移之特性；4.利用文章資訊內容，重新評估科學生產力；5.研究學科形成之過程與學科之功能；6.繪製專業科學研究之結構面向與動態面向，以及追蹤特殊領域之歷史；7.根據少量字詞聯想得到的正面回饋，能夠促進知識成長與發展(Ding, Chowdhury, & Foo, 2000)。

一般可透過領域地圖或視覺化的呈現，揭示文件之間的關係，以了解某一個學科之重要作者，或分析一個領域的知識結構和演變。而方法包括集群分析、多維尺度分析、因素分析或社會網絡分析(Moya-Anegon, et al., 2004)。其中，集群分析與多維尺度分析已被廣泛應用於資訊科學相關研究，如資訊計量與資料探勘等領域(Ross & Wolfram, 2000)。許多研究應用多維尺度分析於不同之分析項目，包括作者、關鍵字、期刊等項目，本研究應用多維尺度分析於關鍵字之共字分析。

機器人方面，Lee & Jeong(2008)曾以2001年韓國國家研發資料庫機器人技術領域之文獻為對象，針對研究目的、研究方法、研究結果、韓文關鍵字進

行分析，研究結果透過二維策略圖呈現機器人領域之技術，以及透過社會網絡分析軟體NetMiner繪製六個集群：系統控制與設計、工業機器人、居家保全服務、測量設備、自主導航、醫療保健、原子能等領域。

本研究應用共字分析及多維尺度分析，再配合網絡圖的呈現更清楚的揭示兩兩關鍵字彼此的共現情形，以多元方法探究機器人學之熱門主題，以下綜整社會網絡分析相關文獻。

(五)社會網絡分析

社會網絡分析即探討社會行動者間互動關係之研究，它所要揭示的是「什麼關係」將這些個人、團體、組織或國家聯繫起來，而這些關係對這些行動者又有什麼重要影響。在繪製社會網絡分析圖形時，一般用節點表示社會行動者，而以線表示行動者間的聯繫（佛里曼，2004／張文宏等譯，2008，第1-2章）。目前有更多的研究透過觀察合著者網絡來分析合作研究，因透過觀察人類網絡的發展，可描述所選擇的合作夥伴特點，以及比較不同領域的特點（Yoshikane & Kageura, 2004），同時透過合著者網絡亦可記錄兩位或作者群間合作之關係（Newman, 2004）。此外，Haythornthwaite（1996）指出透過網絡分析亦可探討網絡行動者之間的凝聚力、網絡結構相似性、重要行動者、網絡廣度、網絡仲介者。

在網絡結構中，每個行動者皆有所處的位置，而結構位置會影響行動者所能控制的資源（張火燦、劉淑寧，2002），同時位置亦決定了組織之間如何相互評價，以及組織可獲得的優勢（林博文，2006）。而位於網絡中央位置通常代表擁有較大的存取權，以及對於資源與資訊有潛在的控制權（Brass & Burkhardt, 1993），同時中央位置亦代表擁有較高的能見度，故企業會選擇與有聲望者合作，以提高能見度（Stuart, Hoang, & Hybels, 1999）。一般在中心性測量方面，以Freeman（1978）提出的程度中心性（degree centrality）、接近中心性（closeness centrality）和居間中心性（betweenness centrality），是最廣被接受的指標。本研究由以上三個指標之相關資訊來判定機器人學研究行動者的資源控制能力。

本研究綜合以上之文獻分析，可以發現在工程領域之研究，大多以平均每篇文獻作者數、合著人數、合著率為主，較少針對跨機構與跨國文獻進行研究；在合著相關研究方面，亦較少以中心性相關指標做進一步之探討，而辨識出機器人學研究之熱門主題亦是相當重要的課題，故本研究提出研究問題如下：

1. 機器人核心期刊文獻合著之整體概況為何？
2. 機器人核心期刊文獻中，國家與機構的生產力如何？
3. 機器人核心期刊文獻中，國家與機構參與合著之情況如何？
4. 透過社會網絡分析，探討國家與機構資源控制能力如何？
5. 透過高被引文獻關鍵字之多維尺度分析，探討機器人文獻最熱門之研究

主題為何？

三、研究方法

(一)樣本資料之範圍及內容

首先由Thomson Reuters公司建置ISI Web of Knowledge平台之自然科學版本的期刊引用報告(Journal Citation Reports, JCR)2008年版的robotics(機器人學)類別中14種機器人核心期刊(詳見附錄)為本研究之機器人文獻範圍,透過引用文獻索引資料庫系統(Web of Science, WOS)下載科學引文索引擴充版(Science Citation Index Expanded, SCIE)資料庫所收錄14種機器人核心期刊文獻書目資料,針對2009年(含)以前之12,360筆書目,以文獻類型為研究論文(article)的9,571筆為對象,利用書目計量分析與社會網絡分析,從整體概況、國家、機構層次,了解機器人領域合著之概況,而從高被引文獻,透過關鍵字之共字分析揭示熱門研究主題。

(二)分析指標及研究工具

本研究定義凡該篇文獻作者為兩人以上者則為合著文獻,出現兩個(含)以上機構或國家者,則視為跨機構或跨國合著文獻,以該批文獻為基礎再進行跨機構或跨國之分析。另外,透過合著率(Subramanyam, 1983)、平均每篇文獻作者數(Lawani, 1986)、跨機構合著率(林利真, 2007),及跨國合著率(Schubert & Braun, 1990)等測量指標,以了解合著之趨勢。而在網絡分析中,一般會透過中心性來檢測行動者取得資源與控制資源的可能性,故本研究定義Freeman(1978)提出的程度中心性、接近中心性和居間中心性,三種中心性指標較高者,顯示該行動者資源控制能力較高。以上各指標定義分述如下:

1. 合著率:為合著文獻篇數在總文獻篇數所佔之比例。
2. 平均每篇文獻作者數:為所有作者人數與總文獻篇數之比值。
3. 跨機構合著率:指不同機構合著文獻篇數佔所有合著文獻篇數的比例。
4. 跨國合著率:指跨國合著之文獻篇數佔總文獻篇數的比例。
5. 程度中心性:是最簡單且最直觀的方法,它是根據與其他行動者連結關係的多寡來衡量,意即可由連結關係看出誰是此網絡之中心人物;此指標值越大,表示其在網絡中與多數行動者有連結關係,故擁有較大的權利及影響力(Degenne & Forse, 1999, pp.132-135)。
6. 接近中心性:主要是測量行動者與整個網絡其他行動者的親近緊密度,其值介於0到1之間,若該指標值越高,表示與其他行動者越接近,意即較能快速取得資訊、擁有較大的權力、威望及影響力(Degenne & Forse, 1999, p.135)。

7. 居間中心性：主要衡量某行動者存在於其他任兩個行動者路徑上的重要程度，意即衡量個體作為媒介者的能力，此指標值越高，表示其他行動者大多透過他的連結關係而合作，故此行動者掌握了資訊流。

本研究使用Excel軟體進行資料統計，利用Ucinet軟體計算各項中心性指標，及使用NetDraw軟體繪製國家、機構，及關鍵字網絡圖，並由SPSS軟體製作多維尺度分析圖。

(三)研究限制

1. 由於透過關鍵字上下位語檢索所取得的資料，將會包含同字異義與機器人毫無相關之文獻，且亦會遺漏未使用機器人為關鍵字之機器人零組件相關研究文獻，此結果將使研究失焦；因此本研究樣本，最後協請專家審視，選擇SCIE資料庫所收錄之14種機器人核心期刊，部分相關於機器人學之研究，但並非由該14種期刊出版之文獻則未納入分析。

2. 研究樣本時間範圍為1983年至2009年。

3. 有些作者為匿名發表，其中*Industrial Robot*期刊有380篇為匿名發表(約佔該刊article的42%)。觀察這些匿名文獻，約有18%可由篇名看出為某機器人製造商所發表，由於這些匿名發表文獻之被引次數皆為0，並不影響後續熱門關鍵字之分析，為保留2008年JCR中14種機器人學期刊之完整性，故仍將該刊其他文獻列為分析對象。

4. 使用無向圖(undirected graph)呈現國家、機構之間的合著關係，及關鍵字之間的共現(co-occurrence)關係。

四、研究結果與分析

首先針對1983-2009年間14種機器人核心期刊的12,360篇文獻進行敘述統計分析，依序進行合著文獻整體概況分析、國家及機構層級之學術生產力與科學合作表現分析，並由社會網絡分析及各項中心性指標呈現資源控制能力，以及由高被引文獻的共字分析來呈現機器人研究之熱門主題。

(一)樣本資料基本分析：

1. 文獻類型分布

文獻類型統計方面，以WOS資料庫的「DT」欄位(文獻類型)所著錄的為主，由表2可看出，以article篇數居多，共計9,571篇(佔77.44%)，其次為proceedings paper有1,452篇(佔11.75%)、editorial material有973篇(佔7.87%)、note有126篇(佔1.02%)，其餘則未滿100篇。

表2 文獻類型

排名 ^a	文獻類型	文獻篇數	% ^b	累積%
1	Article	9,571	77.44	77.44
2	Proceedings Paper	1,452	11.75	89.18
3	Editorial Material	973	7.87	97.06
4	Note	126	1.02	98.07
5	News Item	86	0.7	98.77
6	Review	69	0.56	99.33
7	Correction	30	0.24	99.57
8	Correction, Addition	15	0.12	99.69
9	Biographical-item	12	0.1	99.79
10	Letter	11	0.09	99.88
11	Book Review	6	0.05	99.93
12	Reprint	5	0.04	99.97
13	Item About An Individual	3	0.02	99.99
14	Software Review	1	0.01	100
總計		12,360	100	

註：^a 本表排序依據為文獻篇數為主，次為文獻類型。
^b %等於「文獻篇數」除以「總文獻篇數」再乘以100%。

2. 文獻分布

本研究以研究論文(article)9,571篇為研究對象，藉以了解機器人領域文獻成長之概況。在文獻分布統計方面，以WOS資料庫中的「PY」欄位(出版年)所著錄的為主，由圖1呈現文獻分布，每年研究論文篇數由96篇成長至746篇，大致可分為四個時期，即微幅波動、正成長、負成長、攀升。四個時期分別為：(1)1983-1993年，除三個明顯的低谷期，其餘皆呈小幅度波動，研究論文篇數平均每年約148篇；(2)1994-1999年，為持續上升趨勢，研究論文篇數平均

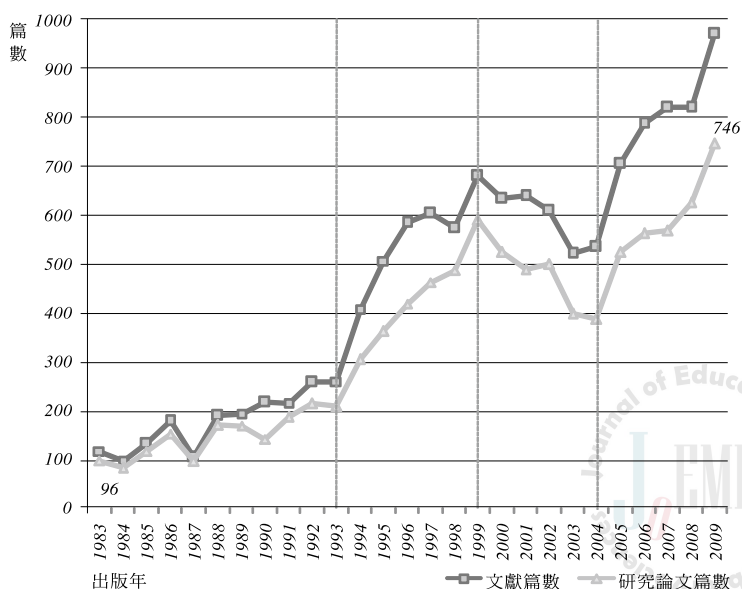


圖1 機器人文獻成長趨勢

每年約438篇；(3)2000-2004年，除了2001-2002年有小幅復甦，其餘皆為負成長，研究論文篇數平均每年約460篇；(4)2005-2009年，為持續攀升，研究論文篇數平均每年約606篇。對於1983-1984年、1986-1987年、1989-1990年、1999-2000年、2002-2003年，研究論文篇數突然下降，觀察發現由於WOS資料庫收錄原則，曾中斷*Industrial Robot*、*International Journal of Robotics and Automation*與*Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*等三本期刊之收錄，但後來又分別於1994年、2004年、1996年再度被收錄。另外，亦有新的期刊*IEEE Transactions on Robotics*、*International Journal of Humanoid Robotics*、*Journal of Intelligent and Robotic Systems*陸續被WOS資料庫收錄。

3. 平均每篇文獻作者數

在研究論文9,571篇中，扣除WOS資料庫中的「AU」欄位(作者)無著錄之篇數381篇，以9,190篇為研究對象，由表3可看出，機器人文獻之平均每篇研究論文作者數由1983年的1.42人，提升至2009年的3.21人。這些年間雖有些起伏，但大致可分為三個時期：(1)1983-1986年，平均每篇研究論文作者數為1至2人；(2)1987-2003年，平均每篇研究論文作者數為2至3人；(3)2004-2009年，平均每篇研究論文作者數為3至4人。整體而言，平均每篇文獻作者數為2.7人。

表3 平均每篇研究論文作者數

出版年 ^a	研究論文篇數	作者人數	平均每篇作者數
1983	69	98	1.42
1984	68	119	1.75
1985	94	174	1.85
1986	142	247	1.74
1987	95	197	2.07
1988	170	356	2.09
1989	168	356	2.12
1990	140	287	2.05
1991	185	402	2.17
1992	214	455	2.13
1993	208	502	2.41
1994	303	627	2.07
1995	356	770	2.16
1996	378	900	2.38
1997	438	1,016	2.32
1998	437	1,108	2.54
1999	534	1,382	2.59
2000	480	1,264	2.63
2001	446	1,203	2.7
2002	456	1,277	2.8
2003	397	1,135	2.86
2004	387	1,200	3.1
2005	523	1,557	2.98
2006	562	1,769	3.15
2007	568	1,800	3.17
2008	626	2,234	3.57
2009	746	2,398	3.21
總計	9,190	24,833	2.7

註：^a排序欄位。



4. 作者人數

由表4可看出，整體而言，研究論文9,190篇，以2人合著篇數最多(37%)，其次為3位作者(24%)與單一作者(17%)。而在整體合著人數方面，1983-1992年間皆在10人以內，至1993年出現首篇10人合著之研究論文，早期單一作者比率較高，隨著年代演進，合著人數亦有成長趨勢，最多合著人數為64人。此結果與表3平均每篇研究論文作者數大致呼應。

表4 作者人數分布

出版年	作者人數												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11-15	16-20	20 ↑
1983	51	10	6	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
1984	34	21	9	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1985	44	32	13	1	3	0	0	1	0	0	0	0	0
1986	71	46	17	7	1	0	0	0	0	0	0	0	0
1987	24	47	19	3	2	0	0	0	0	0	0	0	0
1988	55	69	30	11	3	1	0	1	0	0	0	0	0
1989	46	73	37	9	2	0	1	0	0	0	0	0	0
1990	40	65	29	3	1	1	1	0	0	0	0	0	0
1991	49	76	45	13	1	0	0	0	1	0	0	0	0
1992	51	110	34	15	3	0	1	0	0	0	0	0	0
1993	26	97	66	16	2	0	0	0	0	1	0	0	0
1994	92	119	75	13	4	0	0	0	0	0	0	0	0
1995	112	137	63	32	7	3	2	0	0	0	0	0	0
1996	79	161	86	35	8	6	1	0	2	0	0	0	0
1997	95	202	86	33	12	6	1	3	0	0	0	0	0
1998	74	183	107	41	21	6	3	1	0	0	1	0	0
1999	93	201	142	54	29	8	5	1	1	0	0	0	0
2000	68	186	140	56	19	8	1	0	0	1	0	1	0
2001	78	168	99	51	27	15	3	3	2	0	0	0	0
2002	76	172	110	60	22	7	2	2	2	0	2	0	1
2003	48	143	108	58	22	8	3	4	1	1	1	0	0
2004	31	132	108	74	15	9	6	4	4	1	3	0	0
2005	55	183	133	96	30	12	7	2	1	0	3	1	0
2006	63	172	152	107	29	19	4	5	4	1	3	1	2
2007	49	191	152	92	45	14	11	4	2	1	5	2	0
2008	21	197	176	118	52	25	11	12	2	2	5	1	4
2009	64	218	205	130	69	27	21	6	3	1	2	0	0
總計	1,589	3,411	2,247	1,133	430	175	84	49	25	9	25	6	7

(二)合著文獻分析

1. 合著整體概況

由表5可看出，合著佔7,601篇(合著率82.71%)，跨國合著佔1,101篇(跨國合著率11.98%)，跨機構合著佔2,687篇(跨機構合著率29.24%)，整體而言，跨國合著與跨機構合著皆呈現成長趨勢。

2. 合著率

圖2為歷年合著率，由1983年26%提升至2009年91%，整體合著率為82.71%，近七年合著率更高於87%以上，可見機器人領域合著發表已成一種趨勢。

表5 機器人文獻合著整體概況

出版年 ^a	研究論文篇數	合著篇數	跨國合著篇數	跨機構合著篇數
1983	69	18	2	5
1984	68	34	1	3
1985	94	50	1	5
1986	142	71	2	6
1987	95	71	0	1
1988	170	115	1	2
1989	168	122	2	3
1990	140	100	5	10
1991	185	136	4	8
1992	214	163	5	9
1993	208	182	3	15
1994	303	211	6	25
1995	356	244	5	24
1996	378	299	12	32
1997	438	343	19	51
1998	437	363	64	155
1999	534	441	72	189
2000	480	412	64	169
2001	446	368	60	161
2002	456	380	80	166
2003	397	349	59	142
2004	387	356	72	176
2005	523	468	90	219
2006	562	499	104	230
2007	568	519	96	235
2008	626	605	112	297
2009	746	682	160	349
總計	9,190	7,601	1,101	2,687

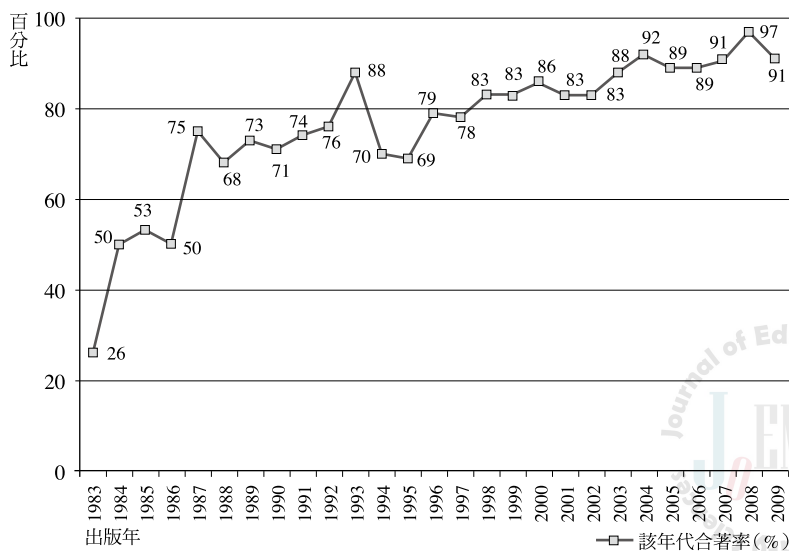
註：^a排序欄位。

圖2 各年代合著率

(三)國家及機構層級之學術生產力與科學合作表現分析

在研究論文9,571篇中，扣除WOS資料庫的「C1」欄位（作者通訊地址）未著錄的2,526篇，故以7,045篇為研究對象。

1. 跨國與跨機構合作文獻數分析

由表6可看出，有5,955篇為台灣合著（佔84.53%），兩國合著有972篇（佔13.8%），而三國以上合著有118篇（佔1.67%）。在跨機構數方面，有4,358篇為機構內部合著（佔61.86%），兩機構合著有1,973篇（佔28.01%），而三機構以上合著有714篇（佔10.13%）。

表6 跨國與跨機構合作文獻

跨國數			跨機構數		
跨國數 ^a	研究論文篇數	%	跨機構數 ^b	研究論文篇數	%
0	5,955	84.53	0	4,358	61.86
1	972	13.8	1	1,973	28.01
2	102	1.45	2	542	7.69
3	15	0.21	3	113	1.6
4	1	0.01	4	41	0.58
			5	13	0.18
			6	5	0.07
總計	7,045	100	總計	7,045	100

註：^a跨國數0，為台灣合著；跨國數1，為兩國合著，餘類推。

^b跨機構數0，為機構內部合著；跨機構數1，為兩機構合著，餘類推。

2. 國家生產力與跨國合著分析

國家生產力統計方面，若一篇文獻有三位作者，而每位作者來自不同國家，則每國家生產力各計一次；若該篇多位作者來自同一國家，則僅計一次至該國。由表7可看出，生產力最高者為美國2,124篇（佔30.15%），而日本雖居第二，文獻量卻不及美國一半，可能本研究對象之期刊以英文版本為主所致。另外，在兩岸三地部分，僅中國擠入前五名，可見兩岸三地在機器人領域之生產力方面仍有進步空間。

跨國合著篇數方面，美國跨國合著為484篇（跨國合著率22.79%）、日本跨國合著為168篇（跨國合著率18.18%），美國跨國合著篇數雖排名第一，但跨國合著率尚不及生產力較少之瑞士、德國、新加坡、希臘等國。瑞士與德國研究論文篇數雖排第16名及第10名，但其跨國合著率高達48.51%與44.08%，可見瑞士與德國之機器人跨國合著比例較高。

3. 機構生產力與跨機構合著分析

機構生產力統計方面，若一篇文獻有三機構，而每位作者來自不同機構，則每機構生產力各計一次；若該篇作者來自相同機構，則僅計一次至該機構，而分校視為不同機構。由表8可看出，高生產力機構以學術單位為主，其次為

表7 各國生產力與跨國合著篇數 (篇數≥100篇)

國家	研究論文篇數		跨國合著篇數		
	排名	研究論文篇數	排名	合著篇數	跨國合著 %
美國	1	2,124	1	484	22.79
日本	2	924	2	168	18.18
加拿大	3	471	6	121	25.69
中國	4	432	3	137	31.71
英國	5	385	7	113	29.35
法國	6	384	5	125	32.55
義大利	7	358	8	101	28.21
南韓	8	348	9	79	22.7
西班牙	9	334	10	78	23.35
德國	10	304	4	134	44.08
澳洲	11	255	11	73	28.63
臺灣	12	217	16	21	9.68
新加坡	13	178	12	61	34.27
希臘	14	146	14	48	32.88
土耳其	15	108	15	25	23.15
瑞士	16	101	13	49	48.51

註：排序依據研究論文篇數為主，次為跨國合著篇數。

表8 各機構生產力與跨機構合著篇數 (合著篇數≥30篇)

機構	研究論文篇數		跨機構合著篇數		
	排名	研究論文篇數	排名	合著篇數	跨機構合著 %
美國卡內基美隆大學	1	220	1	98	44.55
日本東京大學	2	133	2	87	65.41
美國麻省理工學院	3	132	3	73	55.3
新加坡南洋理工大學	4	115	8	45	39.13
美國加州理工學院	5	107	5	51	47.66
美國史丹佛大學	6	102	4	56	54.9
韓國科學技術院	6	102	11	41	40.2
日本東京工業大學	7	89	6	47	52.81
加拿大多倫多大學	8	85	13	33	38.82
日本大阪大學	9	79	7	46	58.23
美國南加州大學	10	74	9	43	58.11
加拿大麥基爾大學	10	74	14	32	43.24
日本名古屋大學	11	69	12	36	52.17
新加坡國立大學	12	66	14	32	48.48
美國賓州大學	13	60	13	33	55
日本國立先進產業科學與技術協會	14	52	10	42	80.77
日本國際電氣通信基礎技術研究所	15	42	12	36	85.71

註：排序依據研究論文篇數為主，次為跨機構合著篇數。

研究單位，未見產業單位跨機構合著發表30篇以上論文。生產力前五名包括美國卡內基美隆大學、日本東京大學、美國麻省理工學院、新加坡南洋理工大學及美國加州理工學院。另外，新加坡南洋理工大學研究論文篇數雖位居第4名，不過其合著篇數卻位居第8名，顯示新加坡南洋理工大學之生產力主要來自機構內的研究，而非跨機構的研究。

跨機構合著篇數方面，美國卡內基美隆大學、日本東京大學、美國麻省理工學院，三機構之研究論文篇數與跨機構合著篇數皆位居前三名，但跨機構合著率僅介於44%至66%之間，較低於跨機構合著率佔八成以上之日本國立先進產業科學與技術協會(80.77%)、日本國際電氣通信基礎技術研究所(85.71%)。另外，在跨機構合著篇數大於等於30篇之機構中，日本與美國各佔六機構，但整體而言，日本機構之跨機構合著率高於美國機構—美國六所機構之跨機構合著率約介於44%至59%，日本六所機構中則有三所跨機構合著率超過60%，其中日本國際電氣通信基礎技術研究所更高達85.71%，明顯高於其他機構。

綜整本研究結果如下：平均每篇文獻作者數2.7人，合著人數介於2至4位，最多合著人數為64人，合著率為82.71%；國際與機構合著主要型態為2國與2機構，跨國合著率為11.98%，跨機構合著率為29.24%。相較於先前相關研究之各項資訊如表1。在平均每篇文獻作者數及整體合著率方面，本研究相較工程領域為低，比社會科學領域為高。另外，本研究在社會網絡分析應用了國家、機構之三種中心性分析與網絡圖呈現，而關鍵字除以網絡圖呈現外，尚繪製多維尺度分析圖，下文(四)為社會網絡分析相關研究結果。

(四)社會網絡分析及各項中心性指標之資源控制能力分析

1. 國家中心性與網絡分析

程度中心性高，表示其與最多國家有直接合著關係，擁有較大權利及影響力，為該領域之學術重鎮；而接近中心性高，表示最易與其他國家取得合著關係，擁有較大的權力、威望；另外，居間中心性高，表示居於仲介要角，掌握了資訊流，由表9可看出，各國在接近中心性的值域相當接近，而排名結果與程度中心性相近，而居間中心性排名則與前兩項指標差異較大，然而，美國三種中心性皆位居第一，故在機器人領域中，較有資源控制能力之國家是美國。

由上述程度中心性分析，可得知個別國家合作之國家數(由表9度數值)，然各該國之合作國家需由跨國合著網絡圖來呈現兩兩國家合作關係。圖3中節點資訊來源取自表9度數值，節點愈大者表示該國合作國家數愈多，而網線粗細則表示兩兩國家合著之次數，愈粗者表示彼此合著次數愈頻繁。在所有跨國合著關係中，美國與日本的合著最頻繁(網線最粗)，其次是美國與中國、美國與加拿大。美國不僅在跨國合作數量多，且與多國合作密切。法國與英國是合作國數量次多國家，然兩國並未與合作國建立太密切合作關係。

2. 機構中心性與網絡分析

程度中心性高，表示其與最多機構有直接合著關係，因此為該領域之學術重鎮；而接近中心性高，表示最易與其他機構取得合著關係，具有全域中心之權力及影響力；另外，居間中心性高，表示居於仲介要角，根據研究論文篇數

表9 國家三種中心性

(度數 ≥ 12)

國家	程度中心性			接近中心性		居間中心性	
	排名	度數	程度中心性%	排名	接近中心性%	排名	居間中心性%
美國	1	44	53.01	1	13.5	1	22.78
法國	2	35	42.17	2	13.26	3	11.71
英國	2	35	42.17	3	13.22	2	17.02
加拿大	3	31	37.35	4	13.18	5	7.19
德國	3	31	37.35	5	13.15	4	10.31
日本	4	30	36.15	6	13.13	6	5.04
義大利	5	29	34.94	7	13.11	8	4.67
澳洲	6	24	28.92	8	12.99	12	2.39
西班牙	7	21	25.3	9	12.91	13	1.72
中國	8	20	24.1	9	12.91	15	1.15
瑞士	8	20	24.1	10	12.87	10	3.15
葡萄牙	9	18	21.69	13	12.79	16	0.58
荷蘭	10	17	20.48	11	12.85	14	1.67
瑞典	10	17	20.48	13	12.79	16	0.58
比利時	11	16	19.28	12	12.83	17	0.37
希臘	11	16	19.28	13	12.79	9	3.57
新加坡	12	14	16.87	15	12.63	7	4.99
丹麥	13	12	14.46	14	12.65	18	0.07
墨西哥	13	12	14.46	16	12.58	11	2.88

註：排序依據程度中心性為主，次為接近中心性、居間中心性。

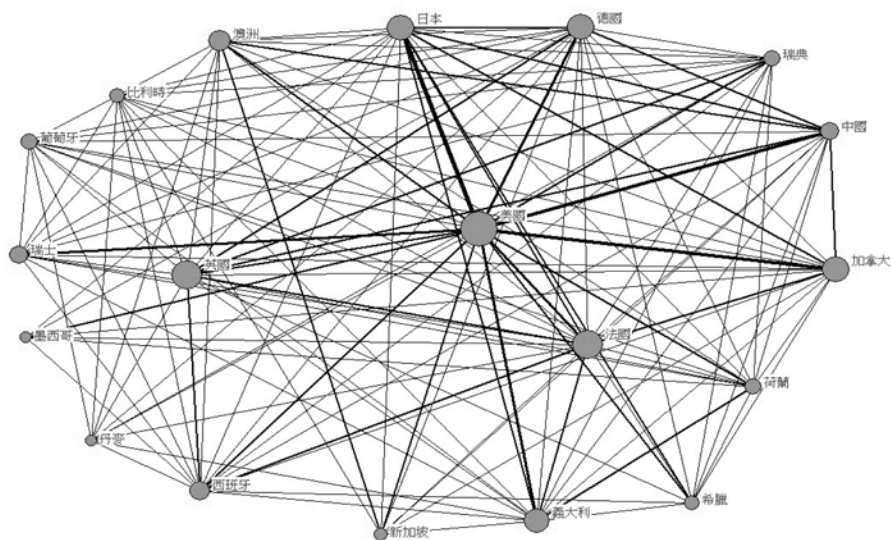


圖3 跨國合著網絡圖

大於等於30篇為研究對象，由表10可看出，美國麻省理工學院三種中心性皆位居第一，故其在機器人領域，是較有資源控制能力之機構。

由上述程度中心性分析，可知個別機構合作之機構數(由表10度數值)，而各該機構之合作機構需由跨機構合著網絡圖來呈現兩兩機構合作關係。圖4

表 10 機構三種中心性(度數 ≥ 10)

機構	程度中心性			接近中心性		居間中心性	
	排名	度數	程度中心性 %	排名	接近中心性 %	排名	居間中心性 %
美國麻省理工學院	1	27	40.91	1	38.15	1	17.5
美國卡內基美隆大學	2	25	37.88	2	37.71	2	13.3
美國史丹佛大學	3	21	31.82	3	35.87	3	11.08
日本名古屋大學	4	17	25.76	6	34.02	4	6.35
日本東京大學	4	17	25.76	6	34.02	9	3.56
美國賓州大學	5	14	21.21	4	34.56	8	3.75
美國加州理工學院	5	14	21.21	7	33.85	16	2.25
美國密西根大學	6	13	19.7	5	34.2	13	2.86
美國南加州大學	7	12	18.18	6	34.02	28	1.26
希臘雅典國立科技大學	7	12	18.18	8	33.67	5	6.23
日本獨立行政法人產業技術總和研究所	7	12	18.18	11	32.84	18	2.15
美國喬治亞理工學院	8	11	16.67	9	33.5	6	5.05
新加坡國立大學	8	11	16.67	9	33.5	7	4.08
日本國際電氣通信基礎技術研究所	8	11	16.67	10	33.33	17	2.23
瑞士聯邦理工大學	8	11	16.67	12	32.67	12	2.94
美國加州大學柏克萊分校	9	10	15.15	11	32.84	31	1.15
美國伊利諾大學	9	10	15.15	11	32.84	36	0.92
新加坡南洋理工大學	9	10	15.15	12	32.67	20	2.07
英國牛津大學	9	10	15.15	13	32.51	11	2.97

註：排序依據程度中心性為主，次為接近中心性、居間中心性。

中節點資訊來源取自表 10 機構之度數，在 19 個機構彼此合作所組成之網絡中，美國卡內基美隆大學不僅合作機構數多，且與其他學術機構合作次數不止一次，其中最常與史丹佛大學合作研究。而三種中心性指標最高的美國麻省理工

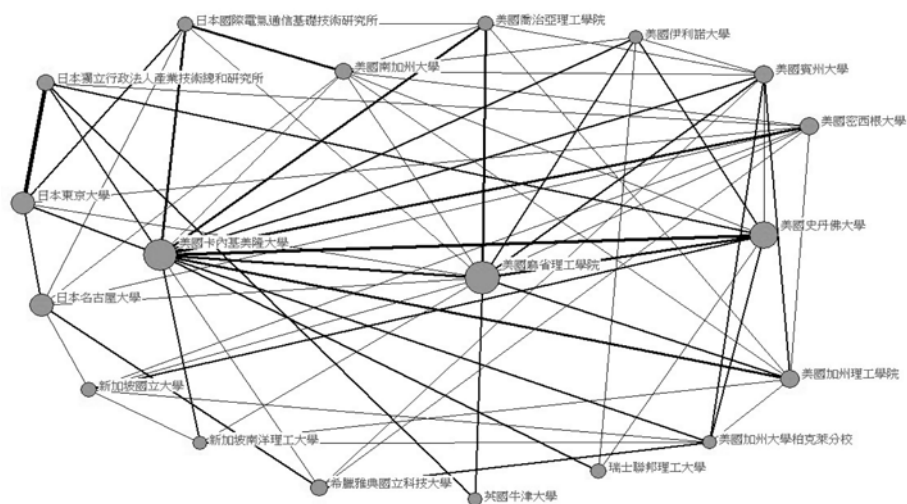


圖 4 跨機構合著網絡圖

學院，雖與許多機構具合作關係，但部分機構僅有單次合作關係，由於圖4僅顯示19個機構(度數大於10)，可能若干與美國麻省理工學院曾合作之機構並未呈現於該圖。另外，日本東京大學與日本獨立行政法人產業技術總和研究所，中心性指標雖非頂尖，然而跨機構合作研究相當密切。

(五)熱門主題分析

1. 高被引文獻整體概況

被引次數統計方面，以WOS資料庫的「TC」欄位(被引次數)所著錄的為主，在研究論文9,571篇(總被引次數80,529次)中，篩選被引次數大於等於50次者，共獲得258篇文獻。此258篇文獻雖僅佔總樣本文獻3%，而被引次數高達28,251次(約佔總被引次數54%)。因此，本研究視這些文獻為高被引文獻，整體概況綜整於圖5。80年代總計82篇(佔高被引文獻32%)，90年代總計108篇(佔高被引文獻42%)。另外亦可看出，過去20至30年來，每年高被引文獻皆未超過20篇，2002年以前，大約每年十餘篇，然仍有若干年低於10篇。整體而言，以高被引合著文獻篇數所佔比例高於單一作者文獻，大部分高被引文獻是由合著文獻所貢獻，然而有少數年之單一作者文獻被引次數遠高於合著文獻被引次數。

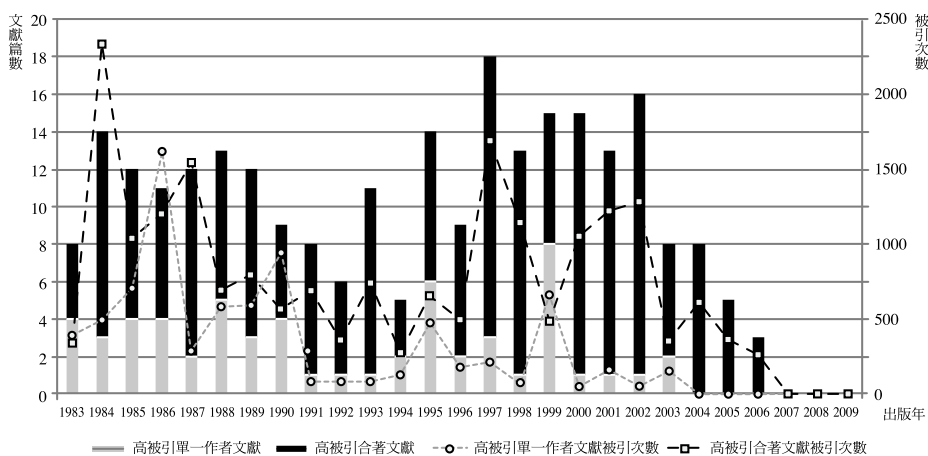


圖5 高被引文獻整體概況

2. 高被引文獻被引用時間分析

表11為258篇高被引文獻自出版後至2010年6月23日被引時間統計，其中 Y_0 表示文獻出版當年， Y_1 表示文獻出版後一年，餘者類推。由表11可看出，在258篇文獻，以出版後一年被引用較多，有56.2%在出版後一年即被引用，而84.5%在出版後1至3年即被引用，此結果顯示機器人之研究傾向引用較新穎的文獻。

表 11 高被引文獻被引時間統計

被引時間	高被引文獻篇數	%
Y ₀	28	10.85
Y ₁	117	45.35
Y ₂	80	31.01
Y ₃	21	8.14
Y ₄	9	3.49
Y ₅	1	0.39
Y ₆	2	0.78
總計	258	100

註：Y₀表示出版當年，Y₁出版次年，餘者類推。

3. 高被引文獻關鍵字字頻分析

WOS 資料庫有二種關鍵字，包括「DE」欄位（作者關鍵字）與「ID」欄位（附加關鍵字）。在高被引文獻 258 篇中，有 169 篇無作者關鍵字，有 143 篇無附加關鍵字，二種皆無者有 117 篇。為求完整分析，本研究合併作者關鍵字與附加關鍵字，以 141 篇為研究對象，關鍵字經過單複數、連字號與字尾變化處理，最後選擇字頻大於等於 3 次之關鍵字，共 51 個，詳見表 12 所示。排名前 10 名之 robot（機器人）、system（系統）等高頻關鍵字在機器人學

表 12 高被引關鍵字字頻一覽表

代碼	關鍵字	字頻	代碼	關鍵字	字頻
w1	mobile robot (移動式機器人)	26	w27	manipulation (操縱)	4
w2	system (系統)	17	w28	multi-robot system (多機器人系統)	4
w3	navigation (導航)	13	w29	SLAM (即時定位及建構地圖)	4
w4	algorithm (演算法)	10	w30	swarm intelligence (群體智慧)	4
w5	map (地圖)	10	w31	time-delay (時間延遲)	4
w6	design (設計)	9	w32	biped robot (雙足機器人)	3
w7	robot (機器人)	9	w33	environment (環境)	3
w8	manipulator (機械手)	8	w34	human-robot interaction (人機互動)	3
w9	localization (定位)	7	w35	manipulability (可操作性)	3
w10	motion (運動)	7	w36	mobile robotic (移動式機器人)	3
w11	stability (穩定)	7	w37	moving obstacle (運動障礙)	3
w12	mechanism (機械裝置)	6	w38	multi-agent system (多代理系統)	3
w13	model (模型)	6	w39	network (網路)	3
w14	probabilistic roadmap (機率路線圖)	6	w40	obstacle avoidance (避障)	3
w15	motion planning (運動規畫)	5	w41	path integration (路徑整合)	3
w16	object (物體)	5	w42	recognition (識別)	3
w17	parallel mechanism (並聯機構)	5	w43	robotic manipulator (機器手臂)	3
w18	robotics (機器人學)	5	w44	simultaneous localization (同步定位)	3
w19	sensor (感應器)	5	w45	singularity (奇特)	3
w20	behavior (行為)	4	w46	soft finger (機器人名稱)	3
w21	bilateral control (雙向控制)	4	w47	stabilization (穩定)	3
w22	communication (通訊)	4	w48	swarm robotic (群體機器人)	3
w23	configuration-space (組態空間)	4	w49	track (軌跡)	3
w24	distributed robotic (分散式機器人)	4	w50	vision (視覺)	3
w25	imitation (模擬)	4	w51	visual landmark (視覺化地標)	3
w26	legged locomotion (步態)	4			

領域中，對於進一步辨識主題並無多大功效，必須伴隨其他關鍵字共現才有意義。

為進一步了解各年代研究熱門主題，故針對字頻大於等於3次之51個關鍵字，圖6呈現各關鍵字分別於各年代出現的狀況，mobile robot (移動式機器人) 持續出現於1996至2005年間，而map (地圖)與navigation (導航)則為1997至2000年間之熱門領域。另外，system (系統)、robot (機器人)、localization (定位)、motion planning (運動規畫)、multi-robot system (多機器人系統)等關鍵字同時出現於2000-2002年間。另由單年來觀察，2002年是研究主題最具有多樣化的年代，其次如1997年、1995年與1999年之研究主題亦相當多元。1991年有45.45%集中在演算法 (algorithm)、機械手 (manipulator)、map (地圖)等主題

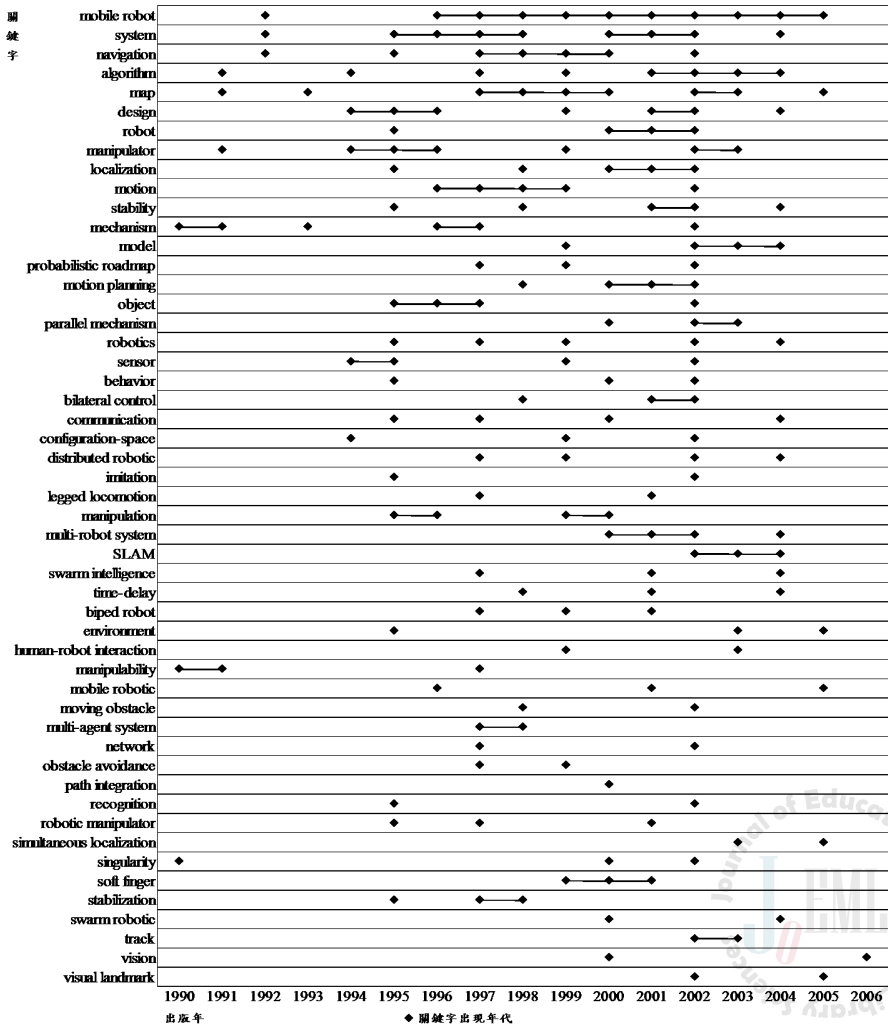


圖6 關鍵字與年代之關係

之研究；1994年有62.5%集中在 configuration-space(組態空間)、sensor(感應器)等主題研究；而2006年則較熱衷於 vision(視覺)之研究。

4. 關鍵字共現網絡分析

為更清楚揭示兩兩關鍵字間的共現關係，故繪製共現網絡圖，圖中節點大小表示與多少關鍵字共現之值，節點愈大者表示該關鍵字與愈多關鍵字共現，而網線粗細則表示兩兩關鍵字共現之次數，愈粗者表示彼此共現次數愈多。由圖7可看出，節點較大之 robot(機器人)、mobile robot(移動式機器人)、system(系統)、robotics(機器人學)與較多關鍵字共現，然以上字詞均為機器人文獻一般用語，若要再進一步解釋其意義，則需再觀察其共現之字詞，如 robot(機器人)分別與 algorithm(演算法)、sensor(感應器)、motion(運動)、mechanism(機械裝置)、navigation(導航)、model(模型)與 motion planning(運動規畫)等字詞共同出現於若干文獻；而 mobile robot(移動式機器人)則與 probabilistic roadmap(機率路線圖)、map(地圖)等字詞同時出現。另外，manipulator(機械手)則與 parallel mechanism(並聯機構)、design(設計)等字詞同時出現於某些文獻。

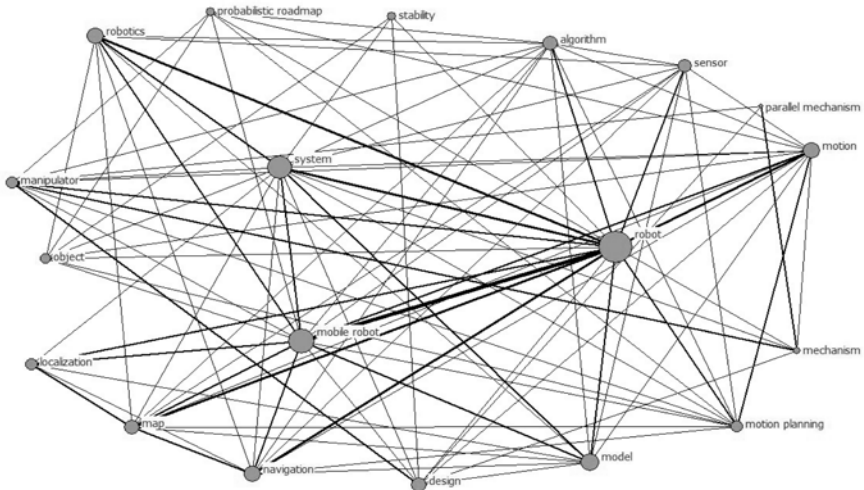


圖7 關鍵字共現網絡圖(僅顯示字頻 ≥ 5 之關鍵字)

5. 多維尺度分析

本研究為進一步了解機器人學之熱門主題間的關連，因此採用多維尺度分析。研究結果呈現於圖8關鍵字二維圖(關鍵字代碼，請參見表12)之六區，本研究觀察各區之關鍵字，進一步將各區重新命名。以第二區「智慧型機器人」及第五區「時域機器人」之點的分布較密集，顯示這兩個主題之研究較集中。另外，除了點w2(系統)、w7(機器人)外，點w1(移動式機器人)、w32(雙足機器人)、w34(人機互動)離中心點(0,0)較近，表示這些是研究者較關注之主題。

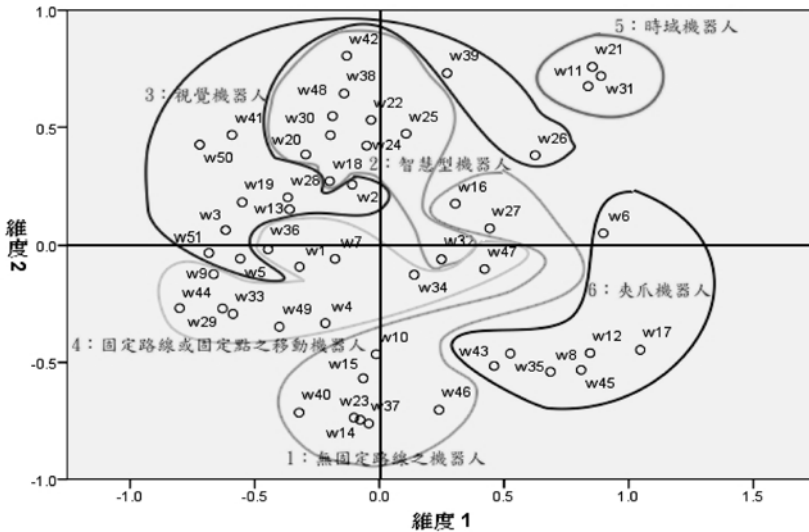


圖8 關鍵字二維圖 (字頻 ≥ 3 次之關鍵字)

在六區中，第二區「智慧型機器人」居中心位置，正好顯示其在該領域之重要角色，而其與第三區「視覺機器人」、第一區「無固定路線機器人」、第四區「固定路線或固定點移動機器人」毗鄰。由於目前各國機器人發展之主軸為給予機器人「人工智慧」，例如：掃地機器人、居家照護機器人、保全機器人等，皆為具備某種程度智能的機器人，而這些機器人一般均配備某種感測能力，例如：視覺、聽覺、感測體溫等，故其與毗鄰的視覺機器人、無固定路線機器人、固定路線或固定點移動機器人，彼此關係密切。

另外，離中心位置較遠之時域機器人與夾爪機器人，其中，時域機器人與視覺機器人毗鄰，而夾爪機器人與無固定路線機器人毗鄰，顯示彼此關係密切。

同時，若從機器人的發展過程來看，因為夾爪機器人最先發展，故其技術早已成熟，所以近來幾無發展創新，也就沒什麼新產品，而致離中心較遠，但智慧型機器人截至目前都還在進一步發展中，尚未完成人類預期之目標，所以會有較多研究者投入研究，因此，居於中心位置。

五、結 論

(一) 機器人學期刊文獻呈現成長趨勢，每年研究論文篇數由96篇成長至746篇，大致可分為四個時期，即1. 1983-1993年，微幅波動；2. 1994-1999年，正成長；3. 2000-2004年，負成長；4. 2005-2009年，攀升。有17%文獻為單一作者，而合著文獻中，以2至4位作者為主。平均每篇文獻作者人數，由1983年的1.42人，提升至2009年的3.21人，整體呈現成長趨勢。合著率由1983年

的26%，提升至2009年的91%，整體之合著率為82.71%。其中跨國合著率為11.98%，跨機構合著率為29.24%，整體而言，雖跨國合著與跨機構合著有成長趨勢，但以台灣或機構內合著為主，故仍有推廣空間。

(二)生產力較高之國家依序為美國、日本、加拿大、中國、英國。日本生產力雖位居第二，但文獻量卻不及美國一半，可能本研究對象之期刊以英文版本為主所致。另外，在兩岸三地部分，僅中國擠入前五名，可見兩岸三地在機器人領域之生產力方面仍有進步空間。生產力較高之前五個機構：美國卡內基美隆大學、日本東京大學、美國麻省理工學院、新加坡南洋理工大學、美國加州理工學院。其中，高生產力機構，以學術單位為主，其次為研究單位，未見產業單位跨機構合著發表30篇以上論文。另外，新加坡南洋理工大學研究論文篇數雖位居第4名，不過其合著篇數卻位居第8名，顯示新加坡南洋理工大學之生產力主要來自機構內的研究，而非跨機構的研究。

(三)跨國合著篇數較高前五個國家依序為美國、日本、中國、德國、法國。雖美國與日本跨國合著篇數位居第一及第二名，但其跨國合著率並不高，而瑞士與德國研究論文篇數雖排第16名及第10名，但其跨國合著率卻高達48.51%與44.08%，可見瑞士與德國之機器人跨國合著比例較高。跨機構合著篇數較高前五個機構為美國卡內基美隆大學、日本東京大學、美國麻省理工學院、美國史丹佛大學、美國加州理工學院。另外，在跨機構合著篇數大於等於30篇之機構中，日本之跨機構合著率皆大於52%以上，尤其日本國際電氣通信基礎技術研究所的跨機構合著率更高達85.71%，因此，日本在機器人學之合作研究呈現較高比例是台灣之跨機構研究。

(四)跨國合作網絡圖顯示美國與日本合作最密切，而透過中心性之分析，發現美國在三種中心性（程度中心性、接近中心性與居間中心性）皆位居第一，表示美國與最多國家有直接合著關係，為該領域之學術重鎮，且居於仲介要角，故其在機器人領域中，是較有資源控制能力之國家。另外，跨機構合作網絡圖顯示美國卡內基美隆大學不僅合作機構數多，且與其他學術機構合作密切；而在中心性方面，麻省理工學院在三種中心性皆位居第一，表示麻省理工學院與最多機構合作研究，為該領域之仲介要角，故其在機器人領域中，為較有資源控制能力之機構。

(五)透過多維尺度分析，發現無固定路線機器人、智慧型機器人、視覺機器人、固定路線或固定點移動機器人、時域機器人、夾爪機器人，為最熱門之六大研究主題，建議台灣機器人相關研究機構可朝此六大研究主題領域深入研究。同時，發現智慧型機器人之研究較集中，且位居中心位置，顯示其在該領域之重要角色。此結果正好呼應機器人的發展過程，因夾爪機器人最先發展，其技術早已成熟，故近來幾無發展創新，而致離中心較遠，但智慧型機器人截至目前都還在進一步發展中，所以會有較多研究者投入研究。

參考文獻

- 丁學東(1993)。文獻計量學基礎。北京市：北京大學出版社。
- 中華民國工業安全衛生協會(1989)。機器人的安全指引。工業安全衛生，7，41-48。
- 王培垣(2000)。機器人世界。新竹市：凡異。
- 朱啟民、李祖昌、黃松榮(1985)。機器人工程學手冊。台北市：聯經。
- 佛里曼(Freeman, L. C.)(2008)。社會網絡分析發展史(*The development of social network analysis*) (張文宏、劉軍、王衛東譯)。北京市：中國人民大學出版社。(原作2004年出版)
- 林利真(2007)。我國電機電子領域期刊文章合著之研究。未出版之碩士論文，國立台灣大學圖書資訊學研究所，台北市。
- 林秀惠(2007)。從期刊文獻的引用分析學科領域的內涵與影響：以資訊科學為例。未出版之碩士論文，淡江大學資訊與圖書館學系，台北縣。
- 林其禹(2008)。高智能全自主式智慧型機器人研製計畫。上網日期：2010年9月29日，檢自：<http://www.academic.ntust.edu.tw/ezcatfiles/academic/img/img/118/437197665.pdf>
- 林美君、黃元鶴(2009，5月)。圖書資訊學期刊之知識管理文獻合著者分析。在輔仁大學圖書資訊學系主辦，2009圖書館與資訊社會研討會，台北市。
- 林博文(2006)。創新系統與聯盟網路之形成：以半導體電子業為例(2/2)。(國科會專題研究計畫成果報告，NSC94-2416-H-007-003)。新竹市：清華大學科技管理研究所。
- 財團法人精密機械研究發展中心(2010)。機器人白皮書。上網日期：2010年11月6日。檢自：<http://www.robotworld.org.tw/index.htm?pid=24>
- 張火燦、劉淑寧(2002)。從社會網絡理論探討員工知識分享。人力資源管理學報，2(3)，101-113。
- 劉雲忠、宣慧玉(2004)。我國經濟理論類核心期刊論文的合著現象研究。評價與管理，2(4)，45-47。
- 蔡明月(2003)。資訊計量學與文獻特性。台北市：國立編譯館。
- 蔡明月(2005)。引文索引與引文分析之探討。圖書館學與資訊科學，31(1)，45-53。
- 蔡明月、郭政遠(2009)。台灣、香港、大陸地區之學術合作研究：以工程類為例。教育資料與圖書館學，46(4)，523-546。
- 鄭琺媛(2004)。臺灣地區生命科學國際會議文獻生產力與延續出版之研究。未出版之碩士論文，淡江大學資訊與圖書館學系，台北縣。
- 謝彩霞(2008)。網絡分析方法用于納米科技領域科學合作狀況的研究。科研管理，29(1)，130-137。
- Ajiferuke, I., Burell, Q., & Tague, J. (1988). Collaborative coefficient: A single measure of the degree of collaboration in research. *Scientometrics*, 14(5-6), 421-433.
- Avkiran, N. K. (1997). Scientific collaboration in finance does not lead to better quality research. *Scientometrics*, 39(2), 173-184.
- Beaver, D. B., & Rosen, R. (1978). Studies in scientific collaboration, Part I: The professional origins of scientific co-authorship. *Scientometrics*, 1, 65-84.
- Bird, J. E. (1997). Authorship patterns in marine mammal science, 1985-1993. *Scientometrics*, 39(1), 99-105.

- Brass, D. J., & Burkhardt, M. E. (1993). Potential power and power use: An investigation of structure and behavior. *The Academy of Management Journal*, 36(3), 441-470.
- Braun, T., Glanzel, W., & Schubert, A. (2001). Publication and cooperation patterns of the authors of neuroscience journals. *Scientometrics*, 51(3), 499-510.
- Capek, K. (1920). *R.U.R.: Rossum's Universal Robots*. Praha: Aventinum.
- Degenne, A., & Forse, M. (1999). *Introducing social networks*. London: Sage Publications.
- Ding, Y., Chowdhury, G. G., & Foo, S. (2000). Incorporating the results of co-word analyses to increase search variety for information retrieval. *Journal of Information Science*, 26(6), 429-452.
- Ding, Y., Chowdhury, G. G., & Foo, S. (2001). Bibliometric cartography of information retrieval research by using co-word analysis. *Information Processing and Management*, 37, 817-842.
- Freeman, L. C. (1978). Centrality in social networks conceptual clarification. *Social Networks*, 1, 215-239.
- Glanzel, W., & Schubert, A. (2004). Analysing scientific networks through co-authorship. In H. F. Moed et al. (Eds.), *Handbook of Quantitative Science and Technology Research* (pp. 257-276). Netherlands: Kluwer Academic Publishers.
- Haythornthwaite, C. (1996). Social network analysis: An approach and technique for the study of information exchange. *LISR*, 18, 323-342.
- He, Q. (1999). Knowledge discovery through co-word analysis. *Library Trends*, 48(1), 133-159.
- Katz, J. S., & Martin, B. R. (1997). What is research collaboration? *Research Policy*, 26(1), 1-18.
- Lawani, S. M. (1986). Some bibliometric correlates of quality in scientific research. *Scientometrics*, 9(1-2), 13-25.
- Lee, B., & Jeong, Y. I. (2008). Mapping Korea's national R&D domain of robot technology by using the co-word analysis. *Scientometrics*, 77(1), 3-19.
- Melin, G., & Persson, O. (1996). Studying research collaboration using co-authorships. *Scientometrics*, 36(3), 363-377.
- Moya-Anegón, F., Vargas-Quesada, B., Herrero-Solana, V., Chinchilla-Rodríguez, Z., Corera-Alvarez, E., & Muñoz-Fernández, F. J. (2004). A new technique for building maps of large scientific domains based on the cocitation of classes and categories. *Scientometrics*, 61(1), 129-145.
- MW Online Dictionary (2010). *Robot*. Retrieved November 5, 2010, from <http://www.merriam-webster.com/dictionary/robot>
- Narin, F., Stevens, K., & Whitlow, E. S. (1991). Scientific co-operation in Europe and the citation of multinationally authored papers. *Scientometrics*, 21(3), 313-323.
- Newman, M. E. J. (2004). Coauthorship networks and patterns of scientific collaboration. *PNAS*, 101(1), 5200-5205.
- Robotic Industries Association (2010). *Industrial robot*. Retrieved November 5, 2010, from <http://www.robotics.org/product-catalog-detail.cfm?productid=2953>
- Ross, N. C. M., & Wolfram, D. (2000). End user searching on the internet: An analysis of term pair topics submitted to the Excite search engine. *Journal of the American Society for Information Science*, 51(10), 949-958.

- Schubert, A., & Braun, T. (1990). International collaboration in the sciences, 1981-1985. *Scientometrics*, 19(1/2), 3-10.
- Seol, S. S., & Park, J. M. (2008). Knowledge sources of innovation studies in Korea: A citation analysis. *Scientometrics*, 75(1), 3-20.
- Smart, J. C., & Bayer, A. E. (1986). Author collaboration and impact: A note on citation rates of single and multiple authored articles. *Scientometrics*, 10(5-6), 297-305.
- Smith, L. C. (1981). Citation Analysis. *Library Trends*, 30(1), 83-106.
- Stuart, T. E., Hoang, H., & Hybels, R. C. (1999). Interorganizational endorsements and the performance of entrepreneurial ventures. *Administrative Science Quarterly*, 44(2), 315-349.
- Subramanyam, K. (1983). Bibliometric studies of research collaboration: A review. *Journal of Information Science*, 6, 33-38.
- Yoshikane, F., & Kageura, K. (2004). Comparative analysis of coauthorship networks of different domains: The growth and change of networks. *Scientometrics*, 60(3), 433-444.

附錄 14種機器人核心期刊

序號	期刊刊名	ISSN	刊名縮寫	影響係數	國家 ^a	刊期	創刊年	WOS收錄年 ^b	期刊說明	筆數
1	<i>Advanced Robotics</i>	0169-1864	<i>Adv. Robot.</i>	0.737	日本/荷蘭	每年15期	1986	1994	機器人科學與工程之跨學科研究文章	1,084
2	<i>Autonomous Robots</i>	0929-5593	<i>Auton. Robot.</i>	1.5	美國(荷蘭)	雙月刊	1994	1996	自主性機器人系統理論與應用文章	557
3	<i>IEEE Robotics and Automation Magazine</i>	1070-9932	<i>IEEE Robot. Autom. Mag.</i>	3	美國	季刊	1994	1995	受關注的國際機器人和自動化社區之技術文章	609
4	<i>IEEE Transactions on Robotics</i>	1552-3098	<i>IEEE Trans. Robot.</i>	2.656	美國	雙月刊	1985	2005	機器人動力與控制之理論與應用文章	651
5	<i>Industrial Robot</i>	0143-991X	<i>Ind. Robot</i>	0.404	英國(英格蘭)	雙月刊	1973	1983	業界人士與學者發表最新國際發展之工業機器人系統設計與應用文章	1,148
6	<i>International Journal of Humanoid Robotics</i>	0219-8436	<i>Int. J. Humanoid Robot.</i>	0.542	新加坡	季刊	2004	2006	高階人形機器人之理論、發展與應用文章	127
7	<i>International Journal of Robotics and Automation</i>	0826-8185	<i>Int. J. Robot. Autom.</i>	0.409	美國/加拿大	季刊	1986	1994	機器人與自動化及社會影響與應用文章	269
8	<i>International Journal of Robotics Research</i>	0278-3649	<i>Int. J. Robot. Res.</i>	2.882	英國(英格蘭)	每年14期	1982	1983	工程師、研究人員和科學家目前最佳機器人研究文章(包含數學應用、人工智慧、電腦科學、電子和機械工程)	1,447
9	<i>Journal of Field Robotics</i>	1556-4959	<i>J. Field Robot.</i>	2.684	美國	雙月刊	1984	2006	電腦工程師、電子、機械、製造及工業工程師發表關於機器人設計、實作與使用、機器人元件與系統文章	210
10	<i>Journal of Intelligent and Robotic Systems</i>	0921-0296	<i>J. Intell. Robot. Syst.</i>	0.56	荷蘭	每年16期	1988	1990	各領域具主導之智慧系統並能增進員工互動之理論與應用研究文章	1,125
11	<i>Journal of Robotic Systems</i>	0741-2223	<i>J. Robot. Syst.</i>	2.25	美國	雙月刊	1984	1984	電腦工程師、電子、機械、製造及工業工程師發表關於機器人設計、實現與使用、機器人元件與系統文章	1,051
12	<i>Robotica</i>	0263-5747	<i>Robotica</i>	0.781	英格蘭/英國、法國(美國) ^c	每年7期	1983	1985	學生與專業人士發表關於機器人、自動化工業研究和教育方案成果文章	1,708

13	<i>Robotics and Autonomous Systems</i>	0921-8890	<i>Robot. Auton. Syst.</i>	1.214	荷蘭	每年12期	1985	1994	國際機器人產業，著重商業應用與技術文章	1,263
14	<i>Robotics and Computer-Integrated Manufacturing</i>	0736-5845	<i>Robot. Comput.-Integr. Manuf.</i>	1.371	英國(英格蘭)	每年6期	1984	1988	機器人理論、實務與應用、電腦整合製造與柔性製造系統之國際性文章	1,111

註：^a Ulrichsweb.com 提供國家及出版商，而 JCR 提供期刊國家及出版商與出版地址

^b 以本研究所下載書目進行年代統計，最早年代即為 WOS 收錄年

^c 包括期刊國家／出版國家，若兩者相同僅註記其一，若 Ulrichsweb.com 與 JCR 註記不同時，則括弧內為 JCR 資料

資料來源：本研究整理自 Ulrichsweb.com 與 WOS 資料庫及 JCR 2008

Analysis of the Co-authorship Network and Hot Topics in the Robotics Literature

Ya-Chu Hsu

Graduate Student
Department of Information & Library Science
Tamkang University
Taipei, Taiwan
E-mail: yeaju.hsu@gmail.com

Yuan-Ho Huang*

Associate Professor
Department of Library & Information Science
Fu Jen Catholic University
Taipei, Taiwan
E-mail: yuanho@blue.lins.fju.edu.tw

Hong-Chu Huang

Professor
Department of Information & Library Science
Library Director
Chueh Sheng Memorial Library
Tamkang University
Taipei, Taiwan
E-mail: kuanin@mail.tku.edu.tw

Abstract

The purpose of this study is to explore the co-authorship and the hot topic from the most highly cited articles of robots literature. The research targets are 14 journals of robotics from the Science Citation Index Expanded (SCIE) database. A total of 9,571 articles were collected from 1983 to 2009. The conclusions are as follows. The total number of articles from robots literature increased gradually from 96 to 746 each year. The percentage of co-authored articles was 83% and the most frequent numbers of authors per article ranged from 2 to 4. At the national level, the multinational collaboration accounted for 12% of the co-authored articles. The U.S. owned the largest number of multinational collaboration articles and had the highest value of the three chief kinds of centrality measures, which indicated that the U.S. played the key role in controlling resources. However, the portion of multinational collaboration among the co-authored articles for the U.S. (22.79%) was lower than that for Switzerland (48.51%). At the institutional level, about 29% of publications were the result of author collaboration in different institutions. Carnegie Mellon University owned the largest number of inter-institutional collaboration articles. Nevertheless, approximately 86% of the co-authored articles published by Advanced Telecommunications Research Institute International (AIR) in Japan were inter-institutional, which is higher than the percentage of inter-institutional collaboration articles published by any American institutions. In addition, Massachusetts Institute of Technology played the key role in controlling resources. The result of keywords analysis of the most highly cited articles shows 6 major research categories including flexible-path of robot, intelligent robot, vision robot, fixed path or point of mobile robot, time-domain robot, and end-effect robot.

Keywords: Robots literatures; Co-authorship; Co-word analysis; Bibliometric; Social network analysis

* To whom all correspondence should be addressed.

SUMMARY

Robots have been developed to do many things and to improve people's quality of life. Robots are able to follow human instructions as long as they are embedded with the specific functions. Recently, robotics technology has rapidly developed and many researchers have published their research in several key academic journals. Therefore, the purpose of this study is to investigate the trend of development in the field of robotics from the most highly cited articles in the robotics literature. Five research questions were proposed, as follows: (1) What is the overall pattern of co-authorship in the robotics literature among the core robotics journals? (2) What countries and institutions are most productive in robotics research? (3) What is the level of collaboration at the national and institutional level? (4) Which countries and institutions impact the use of resources in robotics research, using social network analysis (SNA)? (5) What are the hot topics in the robotics literature, as derived from multidimensional scaling analysis (MDS) of the most highly cited articles?

In order to answer the above questions, we first identified the core journals. There were 14 journals of robotics, as the research targets from the Science Citation Index Expanded (SCIE) database. A total of 9,571 articles were collected from 1983 to 2009. We not only used several bibliometrics analyses, including co-authorship and citation analysis, but also applied SNA and MDS in this study. In addition, several co-authorship and SNA indicators were applied to analyze these articles. The conclusions are as follows.

First, the number of articles published each year in the robotics literature increased gradually from only 96 articles in 1983 to 746 articles in 2009. The publication trends could be divided into four periods to indicate different phenomenon. (1) The number of articles published was unstable from 1983 to 1993. (2) The number of articles gradually increased from 1994 to 1999. (3) The number of articles gradually decreased from 2000 to 2004. (4) The number of articles increased intensively from 2005 to 2009. About 17% of articles were single-author, and the most frequent number of authors per article ranged from 2 to 4. From 1983 to 2009, the average number of authors per article was between 1.42 to 3.21 and the percentage of co-authored articles was between 26% to 91%, which showed a gradual growth. Altogether, the average number of authors per article was 2.7 and the proportion of co-authored articles to all articles was approximately 83%. About 12% of co-authored articles were the result of multinational author collaboration, while almost 29% of co-authored articles were the result of cross-institutional author collaboration. Although both multinational and cross-institutional collaboration increased gradually, co-authored articles were mainly the result of domestic collaboration. Therefore, more international

collaboration needs to be encouraged in order to facilitate innovative robotics research.

Second, productivity was shown by the total number of articles published by each country or institution. The five most productive countries in the field of robotics were the USA, Japan, Canada, China, and the United Kingdom. Although Japan ranked second in productivity, the number of articles published was less than half the number of articles published in the USA. That might be the reason why research targets come primarily from English language articles. In addition, among Chinese language areas including Taiwan, China and Hong Kong, only China was in the top five research productive nations. At institutional level, the five most productive institutions were Carnegie Mellon University, University of Tokyo, Massachusetts Institute of Technology (MIT), Nan Yang Technological University, and California Institute of Technology. The institutions that had high productivity were mostly academic and research organizations; no industrial organizations published more than 30 articles among cross-institutional collaborations. Furthermore, although Nan Yang Technological University ranked fourth in productivity, it ranked eighth in co-authored articles, which showed that the productivity of Nan Yang Technological University was mainly intra-institutional research rather than cross-institutional research.

Third, as for co-authored articles, the top 5 countries for multinational collaboration were the USA, Japan, China, Germany, and France. Although the USA and Japan ranked first and second, respectively, in the number of multinational collaboration articles published, the proportion of these relative to the total number of articles published by each country was not very high. However, while Switzerland and Germany only ranked sixteenth and tenth, respectively, in the number of multinational collaboration articles published, the proportion of these relative to their total output was 48.51% and 44.08%, respectively, showing that international collaboration in robotics research is active in Switzerland and Germany. The top 5 institutions for cross-institutional collaboration were Carnegie Mellon University, University of Tokyo, MIT, Stanford University, and California Institute of Technology. The percentage of cross-institutional collaboration for Japanese institutions was more than 52% among those organizations that had published more than 30 cross-institutional articles. Overall, approximately 86% of the co-authored articles published by the Advanced Telecommunications Research Institute International (AIR) in Japan were cross-institutional; therefore, a higher proportion of robotics research in Japan came from domestic and cross-institutional collaboration rather than intra-institutional research. The percentage of cross-institutional collaboration in Japan is higher than in the USA; therefore, organizations in

Japan tend to cooperate with other institutions in order to promote more creative thinking in robotics research.

Fourth, analysis of the network of multinational collaborations showed that the USA and Japan cooperated extensively. The result of centrality analysis indicated that the USA ranked first in three measures of centrality, which are degree centrality, closeness centrality, and betweenness centrality. The aforementioned information showed that the USA directly cooperated with most countries and acted as an important intermediate among several countries; therefore, the USA played a key role in controlling resources in robotics research. In terms of institutions, analysis of the network of cross-institutional collaborations showed that Carnegie Mellon University not only cooperated with the highest number of institutions but collaboration was also intensive. However, MIT had the highest value for the three chief kinds of centrality, which showed that MIT directly collaborated with most institutions and acted as a vital intermediate among several institutions; therefore, MIT played a key role in controlling resources in robotics research.

Fifth, using MDS, the results of co-word analysis of the most highly cited articles found 6 major research categories: flexible-path of robot, intelligent robot, vision robot, fixed path or point of mobile robot, time-domain robot, and end-effect robot. We suggest that domestic robot researchers could conduct in-depth studies in the aforementioned major research areas for future research. Furthermore, a two-dimensional graphical depiction showed 'intelligent robot' in the center and 'end-effect robot' located in the outer area. This shows the trajectory of robotics development: 'end-effect robot' is a mature technology and researchers are no long interested in this area; while 'intelligent robot' is a current and promising area with high research activity.

ROMANIZED & TRANSLATED REFERENCES FOR ORIGINAL TEXT

- 丁學東[Ting, Hsueh -Tung](1993)。文獻計量學基礎[Wenxian jiliangxue jichu]。北京市：北京大學出版社[Beijing: Peking University Press]。
- 中華民國工業安全衛生協會[Industrial Safety and Health Association of the R.O.C.] (1989)。機器人的安全指引[Jiqiren de anquanzhiyin]。工業安全衛生[Gongye anquan weisheng]，7，41-48。
- 王培垣[Wang, Pei-yuan](2000)。機器人世界[Jiqiren shijie]。新竹市：凡異[Hsinchu: Fanyi]。
- 朱啟民[Chu, Chi-Min]、李祖昌[Lee, Tsu-Chang]、黃松榮[Huang, Sung-Jung](1985)。機器人工程學手冊[Jiqiren gongchengxue shouce]。台北市：聯經[Taipei: Linkingbooks]。
- 佛里曼[Freeman, L. C.](2008)。社會網絡分析發展史[The development of social network analysis](張文宏、劉軍、王衛東譯)[W. H. Zhang, J. Liu, W. D. Wang, Trans.]。北

- 京市：中國人民大學出版社 [Beijing: China Renmin University Press]。(原作 2004 年出版) [Original work published 2004]
- 林利真 [Lin, Lih-Jen] (2007)。我國電機電子領域期刊文章合著之研究 [A study of co-authorship in Taiwan's electrical & electronic journal articles]。未出版之碩士論文 [Unpublished master's thesis]，國立台灣大學圖書資訊學研究所 [Department and Graduate Institute of Library and Information Science, National Taiwan University]，台北市 [Taipei]。
- 林秀惠 [Lin, Shiow-Huey] (2007)。從期刊文獻的引用分析學科領域的內涵與影響：以資訊科學為例 [Citation analysis of journal literature on information science]。未出版之碩士論文 [Unpublished master's thesis]，淡江大學資訊與圖書館學系 [Department of Information and Library Science, Tamkang University]，台北縣 [Taipei]。
- 林其禹 [Lin, Chyi-Yeu] (2008)。高智能全自主式智慧型機器人研製計畫 [Gaozhineng quanzizhushi zhihuixing jiqiren yanzhijihua]。上網日期：2010 年 9 月 29 日 [Retrieved September 29, 2010]，檢自 [from]：<http://www.academic.ntust.edu.tw/ezcatfiles/academic/img/img/118/437197665.pdf>
- 林美君 [Lin, Mei-Chun]、黃元鶴 [Huang, Yuan-Ho] (2009, 5 月) [(2009, May)]。圖書資訊學期刊之知識管理文獻合著者分析 [Tushuzixunxue qikan zhi zhishiguanli wenxianhezhezhe fenxi]。在 [In] 輔仁大學圖書資訊學系主辦 [Department of Library and Information Science, Fu Jen Catholic University]，2009 圖書館與資訊社會研討會 [2009 Conference on Library and Information Society]，台北市 [Taipei]。
- 林博文 [Lin, Bou-Wen] (2006)。創新系統與聯盟網路之形成：以半導體電子業為例 (2/2) [The formation of innovation systems and industrial networks: The case of Taiwan's semiconductor industries (2/2)]。(國科會專題研究計畫成果報告 [National Science Council project report]，NSC94-2416-H-007-003)。新竹市：清華大學科技管理研究所 [Hsinchu: Institute of Technology Management, National Tsing Hua University]。
- 財團法人精密機械研究發展中心 [Precision Machinery Research Development Center] (2010)。機器人白皮書 [Jiqiren baipishu]。上網日期：2010 年 11 月 6 日 [Retrieved November 6, 2010]。檢自 [from]：<http://www.robotworld.org.tw/index.htm?pid=24>
- 張火燦 [Chang, Huo-Tsan]、劉淑寧 [Liou, Shu-Ning] (2002)。從社會網絡理論探討員工知識分享 [Exploring employee's knowledge sharing: The social network approach]。人力資源管理學報 [Journal of Human Resource Management]，2 (3)，101-113。
- 劉雲忠 [Liu, Yun-Zhong]、宣慧玉 [Xuan, Hui-Yu] (2004)。我國經濟理論類核心期刊論文的合著現象研究 [Research on the phenomena of collaboration of papers published in thirteen main periodicals about economic theory in 2001]。評價與管理 [Evaluation and Management]，2 (4)，45-47。
- 蔡明月 [Tsay, Ming-Yueh] (2003)。資訊計量學與文獻特性 [Zixunjiliangxue yu wenxiantexing]。台北市：國立編譯館 [Taipei: National Institute for Compilation and Translation]。
- 蔡明月 [Tsay, Ming-Yueh] (2005)。引文索引與引文分析之探討 [Citation index and citation analysis]。圖書館學與資訊科學 [Journal of Library and Information Science]，31 (1)，45-53。
- 蔡明月 [Tsay, Ming-Yueh]、郭政遠 [Kuo, Cheng-Yuan] (2009)。台灣、香港、大陸地區之學術合作研究：以工程類為例 [Research collaboration in Taiwan, Hong Kong and

- China: A case of engineering study]. 教育資料與圖書館學 [*Journal of Educational Media and Library Science*], 46(4), 523-546。
- 鄭琚媛 [Cheng, Chu-Yuan] (2004)。臺灣地區生命科學國際會議文獻生產力與延續出版之研究 [*A study of the productivity of international conference literatures and their following-up publications in life science in Taiwan*]。未出版之碩士論文 [Unpublished master's thesis]，淡江大學資訊與圖書館學系 [Department of Information and Library Science, Tamkang University]，台北縣 [Taipei]。
- 謝彩霞 [Xie, Cai-Xia] (2008)。網絡分析方法用于納米科技領域科學合作狀況的研究 [*Network analysis on the science collaboration status quo of the nanotechnology*]。科研管理 [*Science Research Management*], 29(1), 130-137。
- Ajiferuke, I., Burell, Q., & Tague, J. (1988). Collaborative coefficient: A single measure of the degree of collaboration in research. *Scientometrics*, 14(5-6), 421-433.
- Avkiran, N. K. (1997). Scientific collaboration in finance does not lead to better quality research. *Scientometrics*, 39(2), 173-184.
- Beaver, D. B., & Rosen, R. (1978). Studies in scientific collaboration, Part I: The professional origins of scientific co-authorship. *Scientometrics*, 1, 65-84.
- Bird, J. E. (1997). Authorship patterns in marine mammal science, 1985-1993. *Scientometrics*, 39(1), 99-105.
- Brass, D. J., & Burkhardt, M. E. (1993). Potential power and power use: An investigation of structure and behavior. *The Academy of Management Journal*, 36(3), 441-470.
- Braun, T., Glanzel, W., & Schubert, A. (2001). Publication and cooperation patterns of the authors of neuroscience journals. *Scientometrics*, 51(3), 499-510.
- Capek, K. (1920). *R.U.R.: Rossum's Universal Robots*. Praha: Aventinum.
- Degenne, A., & Forse, M. (1999). *Introducing social networks*. London: Sage Publications.
- Ding, Y., Chowdhury, G. G., & Foo, S. (2000). Incorporating the results of co-word analyses to increase search variety for information retrieval. *Journal of Information Science*, 26(6), 429-452.
- Ding, Y., Chowdhury, G. G., & Foo, S. (2001). Bibliometric cartography of information retrieval research by using co-word analysis. *Information Processing and Management*, 37, 817-842.
- Freeman, L. C. (1978). Centrality in social networks conceptual clarification. *Social Networks*, 1, 215-239.
- Glanzel, W., & Schubert, A. (2004). Analysing scientific networks through co-authorship. In H. F. Moed et al. (Eds.), *Handbook of Quantitative Science and Technology Research* (pp. 257-276). Netherlands: Kluwer Academic Publishers.
- Haythornthwaite, C. (1996). Social network analysis: An approach and technique for the study of information exchange. *LISR*, 18, 323-342.
- He, Q. (1999). Knowledge discovery through co-word analysis. *Library Trends*, 48(1), 133-159.
- Katz, J. S., & Martin, B. R. (1997). What is research collaboration? *Research Policy*, 26(1), 1-18.
- Lawani, S. M. (1986). Some bibliometric correlates of quality in scientific research. *Scientometrics*, 9(1-2), 13-25.
- Lee, B., & Jeong, Y. I. (2008). Mapping Korea's national R&D domain of robot technology by

- using the co-word analysis. *Scientometrics*, 77(1), 3-19.
- Melin, G., & Persson, O. (1996). Studying research collaboration using co-authorships. *Scientometrics*, 36(3), 363-377.
- Moya-Anegon, F., Vargas-Quesada, B., Herrero-Solana, V., Chinchilla-Rodriguez, Z., Corera-Alvarez, E., & Munoz-Fernandez, F. J. (2004). A new technique for building maps of large scientific domains based on the cocitation of classes and categories. *Scientometrics*, 61(1), 129-145.
- MW Online Dictionary (2010). *Robot*. Retrieved November 5, 2010, from <http://www.merriam-webster.com/dictionary/robot>
- Narin, F., Stevens, K., & Whitlow, E. S. (1991). Scientific co-operation in europe and the citation of multinationally authored papers. *Scientometrics*, 21(3), 313-323.
- Newman, M. E. J. (2004). Coauthorship networks and patterns of scientific collaboration. *PNAS*, 101(1), 5200-5205.
- Robotic Industries Association (2010). *Industrial robot*. Retrieved November 5, 2010, from <http://www.robotics.org/product-catalog-detail.cfm?productid=2953>
- Ross, N. C. M., & Wolfram, D. (2000). End user searching on the internet: An analysis of term pair topics submitted to the excite search engine. *Journal of the American Society for Information Science*, 51(10), 949-958.
- Schubert, A., & Braun, T. (1990). International collaboration in the sciences, 1981-1985. *Scientometrics*, 19(1/2), 3-10.
- Seol, S. S., & Park, J. M. (2008). Knowledge sources of innovation studies in Korea: A citation analysis. *Scientometrics*, 75(1), 3-20.
- Smart, J. C., & Bayer, A. E. (1986). Author collaboration and impact: A note on citation rates of single and multiple authored articles. *Scientometrics*, 10(5-6), 297-305.
- Smith, L. C. (1981). Citation Analysis. *Library Trends*, 30(1), 83-106.
- Stuart, T. E., Hoang, H., & Hybels, R. C. (1999). Interorganizational endorsements and the performance of entrepreneurial ventures. *Administrative Science Quarterly*, 44(2), 315-349.
- Subramanyam, K. (1983). Bibliometric studies of research collaboration: A review. *Journal of Information Science*, 6, 33-38.
- Yoshikane, F., & Kageura, K. (2004). Comparative analysis of coauthorship networks of different domains: The growth and change of networks. *Scientometrics*, 60(3), 433-444.