

陳滄堯、戚玉樑 (2015),『以遞迴結構為基礎發展可追溯的供應商關係網絡知識系統』,《中華民國資訊管理學報》,第二十二卷,第四期,頁 445-474。

以遞迴結構為基礎發展可追溯的供應商 關係網絡知識系統

陳滄堯

中原大學資訊管理學系

戚玉樑 *

中原大學資訊管理學系

摘要

本研究發展一個以知識本體為基礎的知識系統,用於解決「供應商關係網絡」的追溯問題。由於現代企業面臨時效、成本、創新等經營壓力,商業環境已朝向專業分工及團隊結盟,以成為具有競爭力的供應商網絡。然而,受限於管理工具及資訊不對稱問題,大多數企業不易掌握第一層以外的供應商資訊,使得企業對突發狀況的應變能力不足,許多的證據顯示:因上游缺料而導致生產停滯,已造成企業經營的損失,因此亟須改善這類連鎖效應導致的問題。本研究提出一個以知識分類及正規語意建構的「供應商關係網絡」模型,藉由建立遞迴機制提供企業具有「追溯」供應商關係的能力。本研究主要設計方法包括:(1)將構成供應商關係的概念、屬性,利用知識本體(ontology)建置為知識模型;(2)將追溯上游供應商的步驟,利用語意規則發展推理程序,協助推論隱含性知識。本研究以太陽能產業 24 家相關企業資料進行實驗,由結果顯示:知識模型定義問題解決的內涵及關係,因此可串聯已知事實,推論供應商的關係網絡,包括追溯上游各層的供應商、潛在供應商、及獲取供應商的附帶資訊。簡言之,本研究的設計提供易於實踐的知識系統,可做為解決供應商關係延伸問題的基礎。

關鍵詞: 供應商關係管理、供應商關係網絡、追溯、知識本體、語意規則

* 本文通訊作者。電子郵件信箱: maxchi@cycu.edu.tw
2014/02/18 投稿; 2014/08/04 修訂; 2014/10/30 接受

Chen, T.Y. and Chi, Y.L. (2015), 'A traceable supplier relationship network knowledge-based system based on recursive structure', *Journal of Information Management*, Vol. 22, No. 4, pp. 445-474.

A Traceable Supplier Relationship Network Knowledge-based System based on Recursive Structure

Tsang-Yao Chen

Department of Information management, Chung Yuan Christian University

Yu-Liang Chi*

Department of Information management, Chung Yuan Christian University

Abstract

Purpose—This study aims to develop an ontological knowledge-based system to address the issue of supplier tracing in the supplier relationship networks.

Design/methodology/approach— We develop an ontological knowledge-based system (KBS) based on tree recursive algorithm. The design includes two major components: 1) Using OWL-based approach to construct the concepts and attributes of supplier relationship into the knowledge framework; 2) Creating SWRL-based rules to define the inference processes in terms of the steps of tracing upstream suppliers. The created inference mechanisms then enable the reasoning of implicit knowledge from the known facts.

Findings—The experimental results show that the knowledge model has defined the content and relations of the problem domain and it is capable of, through chaining finite facts, inferring through the supplier relationship network for tracing suppliers at all levels. The inference results include knowledge such as potential qualified suppliers and associated suppliers.

Research limitations/practical implications—To make the supplier relation network feasible for industry tracing, we have simplified the required

* Corresponding author. Email: maxchi@cycu.edu.tw

2014/02/18 received; 2014/08/04 revised; 2014/10/30 accepted

information and excluded sensitive data when modeling. The logic of supplier network relationships is embedded in the design and the suppliers need only provide the known and public factual information to conduct the hierarchical relationship tracing. The production expansion problem implemented in this study can be used as a model to extend into a more comprehensive design.

Originality/Values—Two major original methodological contributions are present in this study. The first is the use of tree structure to process the recursive algorithm for the analysis of foundational concepts. The second one is the development of OWL-based KBS. The OWL data model was developed to represent class structure and does not natively support KBS development.

Keywords: supplier relationship management, supplier relationship network, trace, ontology, semantic rules

壹、緒論

在現代競爭激烈的商業環境中，企業為永續經營與穩固在產業的地位，必須透過例如速度、技術創新與成本控制等策略提高競爭力。近年來，資訊科技協助縮短產品生命週期並提升產品製造效率，帶來如即時量產（time to volume）與即時上市（time to market）等策略方法，使得時效性與量產能力成為產業競爭力的重要關鍵之一（Vokurka et al. 1996; Prahinski & Benton 2004）。而在產品生產過程中，為滿足企業即時量產與上市的策略，需要嚴密管理原物料及零組件供給，因而促成供應鏈管理的蓬勃發展。時至今日，企業已無法單憑一己之力，兼顧時效、成本與創新，而須以團隊合作邁入整合式競爭，因此分工與整合也成為當前企業經營的常態（Lambert & Cooper 2000）。供應商關係管理（supplier relationship management; SRM）是企業重要的策略規劃機制，其目的包括維持與供應商互動合作、降低風險、與創造最大利潤價值。在SRM的相關研究中，許多研究聚焦於探討供應商的組合（portfolio）、整合或選擇問題，強調如何以策略高度進行商業性結盟（Wagner & Johnson 2004; Roseira et al. 2010），並提出組合或選擇方法的各種機制，例如利用演算法依供應商特徵劃分更精細的選擇分類（Parmaret al. 2010）、以評價系統及產品編碼試算供應商績效（Choy et al. 2003）、以模糊決策系統進行優化以選擇最適合的供應商（García et al. 2013）。前述相關的研究中，通常是以「買家-供應商」為範圍，未探討更宏觀的供應商網絡角度，例如潛在供應商、供應商的供應商、更遠層的供應商、或企業與其他同行者在網絡中的競爭關係等，因此能否達到策略規劃高度的效用仍有待驗證。

另外，許多研究也指出，企業必須要主動拓展供應商的關係範圍，並積極管理這些供應商與企業之間的連結關係，以發揮供應商網絡的策略價值（Wu et al. 2010; Roseira et al. 2010）。蘋果公司（Apple Inc.）即是主動管理的範例之一。例如蘋果公司在2014年即有多達748家的供應商遍及世界各地¹，該公司除了在品質標準進行嚴格的要求外，更訂定一體適用的供應商責任規範²，共同對勞工權益、環境責任進行積極管理。然而，目前大多數企業事實上並不能有效的掌握他們各層的供應商，例如Olhager與Selldin（2004）曾對瑞典大型企業進行調查，發現大部份企業對第二層以外的供應商，已不具有掌握能力。Dudek與Stadtler（2005）也曾呼應：「管理各層的供應商並不容易，但對市場變動敏感的企業，應儘可能延伸管理層數，才能在競爭關係下生存。」另一方面，學者也進一步建議不應只侷限在現有或直接供應商的關係管理，例如Wagner（2011）即曾指出：「產品有生命

1 供應商名單 (https://www.apple.com/supplier-responsibility/pdf/Apple_Supplier_List_2014.pdf)

2 供應商責任規範 (<https://www.apple.com/supplier-responsibility/highlights-2014/>)

周期，應在早期和晚期階段（此時最具有利基），主動開拓與其他潛在供應商的合作，以創造更大的利潤價值。」Min與Zhou（2002）也曾指出：「在策略規劃的高度上，企業應積極納入為數眾多的潛在供應商，在每次的生產規劃中，須模擬它們成為合作廠商的可行性。」因此，Roseira, Brito and Ford（2013）認為企業必須要認知自己在這個網絡中的位置關係，以具有策略視野的方式與供應商互動、瞭解同行在網絡中的位置、同行與其他供應商的關係等，協助調整其策略規劃。蘋果公司對供應商關係的管理程度，或許因該公司特性、財力、及產業的影響力成為供應商關係管理的特例，但大部份的企業不易達到這種境界，特別是中小企業為骨幹的我國產業。因此，本研究認為應先由建立供應商關係網絡開始，將視野延伸至遠層的供應商，相關後續組合、選擇或各種管理的手段才具有實效。國內工研院³曾建立加工食品鏈的產品溯源機制，主要應用如無線射頻辨識系統（RFID）、定位等技術，強調產品在「現有」產銷或物流的廠商中，建立類似生產履歷的功能，訴求現況的追溯作業層次，而不是策略面的供應商選擇或組合；另一類是建立「供應鏈管理層次評估」服務，期望能區分廠商在製造業供應鏈中的層次類型，並透過評估指標提供廠商了解其定位與缺失，然而這項服務的具體作法是由廠商透過填寫問卷方式完成，因此僅能達到靜態性的資料揭露，未能支援各層次的管理或追溯功能，且因問卷項目繁瑣或涉及商業敏感資訊，除影響廠商填寫意願也造成後續維護的障礙。

基於前述動機，本研究將聚焦於發展「供應商關係網絡」（supplier relation network; SRN），並以建立追溯機制的知識系統（knowledge-based system; KBS）為目標。由於各產業的企業資料為數眾多，須由企業自行參與建置資料，為避免建置SRN模型大而無當或陳義過高不能落實，二項關於資料提供的前提須予以正視：一、避免繁瑣項目，宜以企業能確切掌握的已知資訊、關係為資料標的；二、避免敏感資料，宜以企業願意提供的資訊、關係為範圍，例如年報、財報等已公開的內容。簡言之，SRN模型須易於操作及實踐，以利做為解決各項供應商關係管理延伸問題的基礎。本研究考量供應商的關係網絡非常類似人類的家庭族譜，因此參考解決樹狀結構的節點拜訪問題，利用遞迴（recursive）原理做為設計知識模型的基礎進行研究設計。本研究利用OWL（Web Ontology Language）⁴發展OWL-based KBS，針對SRN模型提出主要設計包括：(1)將構成供應商關係的概念、屬性，建置為抽象化的知識框架，再藉由模型收集領域內的已知事實成為知識系統；(2)利用SWRL（Semantic Web Rule Language）⁵開發推論規則，這些規則再以

3 工業技術研究院供應鏈整合服務組研究重點：<https://www.itri.org.tw/chi/sstc/p4.asp?RootNodeId=070&NavRootNodeId=0745&NodeId=074522&ArticleNBR=3142>

4 OWL (<http://www.w3.org/TR/owl-features/>)

5 SWRL (<http://www.w3.org/Submission/SWRL/>)

推論引擎進行事實推導，解決如追溯遠層供應商、潛在供應商、料源調整等問題。簡言之，本研究發展的SRN模型，僅須企業提供最精簡的事實資訊，即可產出具有邏輯特性的階層關係溯源，因此模型設計在事前完整分析並定義，後續的事實資訊只要依照知識框架存放，即可依定義承襲既有的邏輯關係，再經由推論機制獲得相關之隱含性知識。

本研究後續內容安排如下：第貳節為文獻回顧，討論供應商關係管理、網絡建置的重要性、知識本體技術的應用現況、語意規則原理、及開發 OWL-based KBS 的挑戰；第參節說明供應商關係網絡的問題分析及如何藉由知識工程方法設計此模型；第肆節說明利用語意規則發展問題與解決的過程，並列示已定義之語意規則；第伍節以太陽能產業為例，說明本研究的應用方式、推論機制及成效評估；最後，第陸節結論本研究的成果與經驗分享。

貳、文獻回顧

一、供應商關係管理

供應商關係管理 (SRM) 是供應鏈管理的一環，通常應用於與上游供應商的互動合作。由於與供應商的結盟關係影響企業的經營績效、風險、與商譽形象，因此 SRM 常被定位在戰略／策略規劃的重要層級 (Araz & Ozkarahan 2007)。有別於過去，現代企業之間的競爭已轉變為「結盟」形式的團隊競爭，如何整合錯綜複雜的供應商關係無疑是企業成功的關鍵因素 (Lambert & Cooper 2000)。基於全球分工與新商業模式的發展，現代企業的供給關係更有逐漸向上延長的趨勢，因而形成更多的上游層數及更多的供應商數量，使得企業經營的風險也隨之提高 (Norrman & Jansson 2004)。另一方面，具創新性或流行性之產品也大幅縮短產品的生命週期，使得企業更需要維持與供應商緊密的合作關係，以隨時應付突發狀況 (Lee 2004)。例如 Ericsson 在 2000 年因為主要元件供應商飛利浦在新墨西哥州工廠大火，其單一供應商策略無法及時調整應變，導致 Ericsson 市佔率從此低於 Nokia (Chopra & Sodhi 2004)。由此可知，掌握供應商關係已成為企業策略層次的問題；另外許多學者更進一步指出納入「潛在」供應商也具有相同的重要性 (Min & Zhou 2002; Dudek & Stadler 2005; Olhager et al. 2006)。

在供應商關係管理 (SRM) 中，針對相關的議題包括組合、整合、選擇，學者已提出各種機制如演算法 (Parmaret al. 2010)、評價系統 (Choyet al. 2003)、決策系統 (García et al. 2013) 等，提供企業評選合作的夥伴的依據，但因為應用範圍欠缺策略規劃所需的整體視野，例如未包括潛在供應商、供應商的供應商、或企業與其他同行競爭者所衍生的利益關係等，不易以策略管理的高度提供宏觀性的作為 (Roseira et al. 2013)。Perols, Zimmermann 與 Kortmann (2013) 指出供應商

的鏈結愈來愈長，大量的供應商和產品即時上市之間產生矛盾，主因即為遠層供應商有許多不確定，突顯供應商整合具有相當的困難度。因此，SRM的範圍應以供應商的整體網絡為基礎，探討各種管理功能才具有實務意義。由於網絡可以不斷延伸成為複雜的問題，Naylor, Naim與Berry (1999) 因此提出了將供應商視為節點進行管理的概念，以供應商握有的庫存視為緩衝節點，作為支援供給波動時的產能調節，規避供應不確定性的風險。節點管理的概念，衍生出對各層節點進行追蹤 (track) 及追溯 (trace) 的應用需求；一般而言，「追蹤」是指由上游到下游，例如客戶關係管理⁶即以追蹤為基礎，「追溯」則是由下游向上游回溯至源頭，例如供應商關係管理，二者都強調須跨越不同層的夥伴尋訪，才能再進一步擴充其他加值應用 (Holmström, et al. 2009)，例如Chrysochou, Chrysochoidis與Kehagia (2009) 探討食品供應的追溯，在歐盟跨越 12 個國家的供應商中，利用 4 種附帶資訊方式實驗追溯。因此，利用管理節點方式規劃網絡模型，可做為節點追溯的開發基礎。本研究因聚焦在供應商關係，因此以「追溯」為研究範疇。

二、知識本體與語意規則

知識本體又稱為本體論，原為哲學上探究萬事萬物成因的方法論，以分析事物源頭並加以歸納分類探討存在的意義。資訊科學藉知識本體建立領域的概念化架構。Gruber (1993) 將知識本體定義為：「對特定事物的概念化及抽象化，並統一詮釋外界對它們的認知。」因此，透過建置知識本體，不同領域的參與者能以同樣的認知處理問題；而資訊系統也藉由瞭解事物所屬的概念，透過所歸屬的知識架構體系，繼承或推導更多相關的知識 (Guarino 1997)。在資訊系統發展中，知識本體通常由知識工程師針對某一特定領域，建立包括概念、屬性、及實例的集合體。為將本體發展的過程制式化，過去的研究曾將開發的程序稱為「本體工程」(ontology engineering)，大致包含由動機、收集、建模、測試、應用到後續維護等多項生命週期 (Noy & McGuinness 2001; Tempich, et al. 2007)，若僅針對建置知識本體的程序，則概略歸納為知識收集、知識建模、與知識表達等程序，其主要活動如下：

1. 知識收集：萃取現況實例的共通性特徵，再予以模型化為知識的構成元素。對此，Chi (2007) 指出：「專家不僅要收集既成事實的知識，更要協助探索該知識是如何形成並進而建模它。」由於知識的形成是複雜的心理、學習或環境等因素交錯而成，也是高度的哲學及藝術問題，因此知識收集的方式須視不同問題而有所差異。
2. 概念建模：指出知識庫設計的積極作法，即是對知識概念進行建模。但人

6 CRM (http://en.wikipedia.org/wiki/Customer_relationship_management)

類對事物的思維仍環繞在以「詞彙」為表達基礎的思考模式，因此，知識擷取方法應由分析與收集詞彙著手，衍生為概念的建立，並須進一步探究其組成的語意 (semantics)，包括內隱 (intent) 形式的特徵，及外顯 (extent) 形式的關係，才能完整表達概念 (Wang et al. 2010)。

3. 知識表達：知識表達是將抽象的知識予以記錄、編碼及有效的儲存於知識庫中，其目的是提供系統能對知識再加以利用。隨著XML技術的成熟，知識本體的表達方式也採用註標語言，以期獲得再利用與分享的效益。自從網際網路標準組織 (W3C)⁷於 2004 年建議採用OWL為知識本體表達的正式規範，各種支援工具也逐漸成形，使得OWL成為目前最重要的知識表達規範 (Horrocks et al. 2003)。目前編輯OWL的工具以Protégé⁸軟體的功能較為完整，它是由史丹佛大學生物醫學資訊學研究中心 (Stanford Center for Biomedical Informatics Research) 所研發，除提供發展OWL-based的知識本體外，也做為執行知識的載台，並提供各種功能擴充套件 (plug-in)，例如銜接模型工具及推論引擎 (Golbreich et al. 2006)。

另一方面，OWL-based 知識本體採用典型的 frame-based 建置方式，亦即先將知識抽象化為框架方式，再由領域專家提供框架所需的事實資料。由於推論功能是建置知識本體的主要目的之一，目前知識本體的推論是以描述邏輯 (description logic; DL) 為主，OWL-DL 即為提供邏輯推論所需的語言。描述邏輯是應用在定義概念的限制式，因此推論是以「概念」為單位，而「實例」是承襲所屬概念的定義及推論結果。描述邏輯受限於推論在述詞 (predicate) 的使用方式，因此若將OWL-DL 用在推論「實例」關係時，將造成邏輯上的「不可判定性」，導致無法獲得正確的推論結果 (Horrocks et al. 2005)。對此，Berners-Lee, Hendler 與 Lassila (2001) 提出著名的“Semantic Web Layer Cake”，將發展知識本體所需的支援技術以堆疊層次呈現，其中在知識本體上，再加入規則層，以強化知識本體能成為知識庫系統的完整性。近年來，SWRL 已逐漸成熟，為維持原來 OWL 在邏輯的可判定性，SWRL 須結合至 OWL 中，作法是將規則設定為公理，並以 Horn 規則格式表達 (*axiom ::= rule*)。目前 Protégé 軟體可支援 SWRL 規則的編輯，開發者在建立規則時，僅須以“前提→結果”的格式撰寫，其中前提部份可串聯多個子項。簡言之，SWRL 規則可補足 OWL-based 在實例推論的問題，且目前的技術支援也已成熟 (Corsar & Sleeman 2006; Lezcano et al. 2011)。

7 World Wide Web Consortium (W3C)(<http://www.w3.org/>)

8 Protégé (<http://protege.stanford.edu/>)

三、由開發知識本體到知識系統的挑戰

知識系統 (KBS) 的內容可依其性質分成陳述性知識 (declarative knowledge)、程序性知識 (procedural knowledge) (Lai 2007); 知識也可依類型分成領域知識、任務知識、推論知識等三項 (Wielinga 2013)。「陳述性知識」通常是指一些顯著或容易取得的背景資訊, 例如一些知識分類、技術手冊等, 因此與「領域知識」的內涵類似; 「程序性知識」通常是針對特定目標所產生的問題解決方法 (problem solving methods), 相當於「任務知識」、「推論知識」的集成, 因而相對不易取得或模型化。在資訊科技應用中, 知識本體是一個具有階層性的術語 (terminology) 架構, 主要用來表達及塑模陳述性知識, 因此知識本體在本質上還未達到一個知識系統的範圍 (Gómez-Pérez & Benjamins 1999; Welty & Guarino 2001)。

近年來, W3C 提倡利用 OWL 技術, 將特定領域知識以 Ontology 形式編製, 以建立更豐富的語意並提供知識分享與再利用, 例如圖書館主題詞、生物分類法等 (Schreiber 2013), 由於 OWL 是以 XML 註標語言為基礎的資料模型 (或 schema), 因此 OWL-based Ontology 是指建立知識為「類別」的階層化架構; 事實上, Breuker (2013) 即曾指出: 目前大部份的知識本體只有使用「類別」架構, 少數使用「屬性」描述關係, 而提供「問題解決」機制 (意指 KBS) 用途則更少。許多學者以「問題解決」的觀點來看, 認為目前知識本體的研究大多集中在相對低階的本體建置、管理、整合問題 (例如 alignment, integration, merging), 因此無助於開發問題解決的 KBS (Compton 2013; Motta 2013; Shadbolt 2013), 例如 Rosenbloom et al. (2006) 即曾指出: UMLS (Unified Medical Language System) 是一個有關醫學的知識本體 (包含超過一百萬個概念, 5 百萬同義詞和專用術語), 但實務應用上的關鍵, 並不在 UMLS 本身是否夠大或夠完整, 而是如何支援「問題解決」的整合。換言之, 開發者須瞭解 OWL-based Ontology 僅提供靜態性的陳述性或領域知識, 而所謂的 OWL-based KBS 則須以前者為基礎, 納入目標導向的問題解決機制, 以建構連貫、可靠的「知識模型」, 才能成為知識系統 (Cairó & Guardati 2012; Fernández-López et al. 2013; Musen 2013)。

在過去 80 年代起, 知識獲得 (knowledge acquisition) 曾是開發 KBS 的嚴峻工作之一, 然而隨著網路發展, 特別是語意網時代來臨, 愈來愈多的陳述性知識以 OWL-based Ontology 形式存在, 然而對於「問題解決」並沒有受到同等的重視 (Aussenac-Gilles & Gandon 2013)。學者 Musen (2013) 也指出: 知識模型的焦點應從獲得專家知識 (expert's head), 轉變為針對「問題解決」進行知識獲得, 而為了進行模型化工作, 專家和知識工程師必須建立能溝通或容易獲得共識的中介或媒介方式, 例如利用演算法、公理 (axiom) 等, 降低轉置的誤差。另一方面, 由於 OWL 的資料模型, 原本只是協助資料的語意化或階層化, 因此僅提供有限的

塑模元素(例如 class, property, individual)及簡易關係(例如 *is-a*, *has-a*)(Beimel & Peleg 2011; García-Castro & Gómez-Pérez 2010);換言之,開發者受限在 OWL-based 的環境下,並沒有像程式語言那樣的語法(syntax)去模型化「問題解決」,例如業務邏輯(business logic)或推理,因此開發 OWL-based KBS 需要更多人工智慧的參與(O'Connor et al. 2008; Wielinga 2013)。

參、建置供應商關係網絡的知識系統

在 2.3 節中,本研究已歸納發展 OWL-based KBS 的挑戰是如何將「問題解決」予以模型化至知識中,主要焦點包括須建立具有共識性的中介方式,以協助傳遞模型化的構想,其次則是在 OWL schema 的限制下,須妥慎使用資料模型有限的元素,而為了彌補推論知識之不足,須再引進如語意規則(SWRL)的協助。本研究首先將研究議題的「問題解決」,選擇使用「樹狀結構」演算法來分析,以抽象化方式模擬供應商關係問題,再逐步分解出各項子任務(例如節點拜訪、追溯等),並發展對應之公理(axioms),包括 logical axioms(利用已知事實的推論)與 non-logical axioms(算數運算或定理),以創造具有共識性的中介方式。另一方面,由於 OWL 資料模型主要是由類別、屬性、實例組成,在建立知識模型時仍須參考傳統知識系統的配置,因此我們將領域知識、任務知識分別對應至 OWL 概念中的宣告屬性(asserted property)、推論屬性(inferred property),推論知識則對應至語意規則。以下各節將分別說明建模細節。

一、問題分析

供應商關係網絡(SRN)的形成,源自於不同企業之產品、原料、或零組件,彼此因具有供給關係,才能形成企業層級的夥伴關係,因此追溯關係網絡時須利用產品層的關係進行溯源,以利了解網絡化的鏈結架構。本研究在開發初期曾構想使用社交網絡(social network)的設計原理,但因為「朋友的朋友」雖然有階層關係,卻無法區隔本質上的差異,例如兄弟姐妹及父母親都可同時是社交網絡上的朋友,但本質上他們分別是相異的二個世代,供應商關係須要明確的「世代」,因此較類似人類的家庭族譜或樹狀結構,探索供應商關係的追溯因而類似樹狀結構中的節點拜訪問題。本研究利用「遞迴」原理做為設計知識模型的基礎,將各企業之產品若以節點表示,例如企業 *C* 之供應商組合定義如下:

1. 企業之產品 *P* 視為特殊且唯一的根節點,並可對應至唯一的企業 *C*。
2. 根節點是由互斥集合 $P_1, P_2, P_3, \dots, P_n$ ($n \geq 0$) 組成,每一個集合 P_i 都是獨立的产品節點及根節點的子節點, P_i 對應至企業的集合 C_i 。

另一方面,現代產業的分工明確,一項產品的上游零組件,可能有許多依標

準化規格生產的同類型產品，因此不需侷限於現有的合作供應商。例如太陽能的光電系統是組合各種模組，而模組之一是由太陽能電池構成，就電池類型可再分為單晶矽、多晶矽、非晶矽、半導體、染料敏化等，每項類型更有為數眾多的企業及可提供替代的同類產品。因此，一項產品類型 t_i 為包含同類產品的集合，因此潛在供應商的溯源可被定義如下：

1. 產品類型是一個集族 (collection) T ，由互斥集合 $t_1, t_2, t_3, \dots, t_n$ ($n \neq 0$) 組成，每一個集合 t_i 包含同質類型產品，可利用選擇函數 $f(t_i)$ 獲得集合 t_i 內任一個產品元素。
2. 針對任一同類型產品，視該產品 P 為特殊且唯一的根節點，並可對應至唯一的企業 C 。
3. 根節點是由互斥集合 $f(t_i)_1, f(t_i)_2, f(t_i)_3, \dots, f(t_i)_n$ ($n \geq 0$) 組成，每一個集合 $f(t_i)_j$ 都是獨立的產品節點及根節點的子節點，因此 $f(t_i)_j$ 可對應至企業的集合 C_j 。

前述的供應商關係網絡分析是以遞迴作業角度來定義，因此在可追溯各節點的基礎上，即可利用節點內的附帶資訊設計其他加值應用，例如在生產規劃部份，如果企業計劃擴充某種比率的產能，假設提高 10% 月產能，其現有合作供應商也須提供相對的「擴充量」額度，故須沿著連結的網絡節點走到不能再遠為止，如果途中不能滿足擴充量額度，則發起這一系列的下游供應商即為不支援擴產。因此，計劃擴充產量會引發連鎖效應，亦即上游的支援能力須延伸至各層具有關聯的供應商。針對上述問題，深度優先適合此概念的執行，因為它不僅須要拜訪這一系列的節點，更要循序漸進檢查此系列節點內的相關內容值，檢核「擴充量解決程序」的定義如下：

1. 該產品 P 視為特殊且唯一的根節點，並可對應至唯一的企業 C 。
2. 根節點是由互斥集合 $P_1, P_2, P_3, \dots, P_n$ ($n \geq 0$) 組成，每一個產品集合 P_i 依深度優先進行節點拜訪，檢核每個節點的可擴充產量，若任一節點小於門檻值則停止，返回另一集合 P_i 重新進行拜訪與檢核，重複前述至最終節點 P_n 。
3. 記錄全部節點能滿足門檻值的個別集合 P_i ，產品集合 P_i 對應至企業的集合 C_i ，即為可支援擴產的上游企業。

二、建立供應商關係網絡的知識模型

根據前述的問題分析，我們利用樹狀結構描述關係網絡，其中包含了企業群 ($C_1, C_2, C_3, \dots, C_i$)、產品群 ($P_1, P_2, P_3, \dots, P_n$)、及產品類型的集族群 ($t_1, t_2, t_3, \dots, t_n$)，因此將「企業」、「產品」、「產品類型」等三項設定為初始概念，而為賦予這些術語詞彙具有概念的正規語意，須定義關係邏輯或組成的屬性，藉以提供系統

推論運算的依據。供應商關係網絡的知識模型，須在各概念項下進一步定義屬性群。本研究將屬性區分為二類：(1)特徵屬性，通常是使用基本資料型態的資訊，例如產量；(2)物件關係屬性，通常用在連結二個概念，例如某企業擁有某產品。有別於前述的特徵屬性，此時的「某企業」、「某產品」都是物件（隸屬於某概念下的實例成員）。在發展屬性項目時，首先可利用基本{問題，所需資訊}的配對方式，獲得初步的項目，例如：{找主要供應商，需要在產品層獲得產品與零組件的供需，..}、{找潛在供應商，需要在產品層獲得同類型零組件，..}等，篩選基本且必要的項目為屬性；其次，將屬性分配至對應的概念下並區分為特徵、關係用途；最後，定義屬性的細節內容，包含資料格式、內容的值域等。

另一方面，屬性的內容值也可依據前述知識類型區分為：領域知識及任務知識，領域知識是指顯性、可收集的陳述資訊，任務知識是指未知或待求解的資訊。圖 1 與附錄 1 分別以不同形式，說明知識模型的概念與屬性設計，圖 1 主要是將知識模型以圖形化呈現，用於呈現跨概念之間的關係，圖中三項原本獨立的概念，藉由交錯的屬性關係產生連結，圖中之「關係」都以有向箭頭線表示，分為二類：(1)實線為領域知識（例如「has_產品」、「has_企業」等）；(2)虛線為任務知識（例如「has_主要供應商」、「has_同類型產品供應商」等）。部份有向箭頭線指向本身代表形式上的遞迴，例如企業的「has_主要供應商」將是另一個企業，它們都是「企業」概念下的實例成員；(3)點狀線形式之屬性，例如圖 1 右下側「has_產能利用率」等 4 項，用於表達單純的計算。

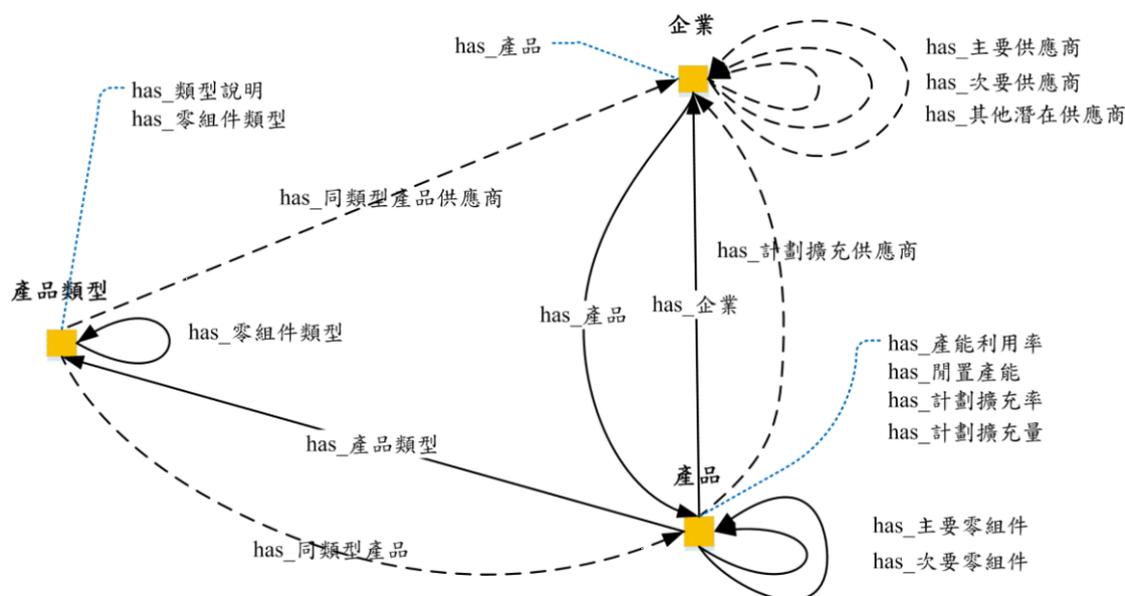


圖 1：知識模型中概念、屬性、關係之間的結構

附錄 1 是知識模型細部設計的一覽表，在 3 個概念中再列出組成的屬性群，每個屬性依名稱、格式、用途、值域、推論式等 5 項欄位註記：其中之「格式」欄註記為“Data”表示特徵屬性、“Object”表示物件及關係屬性，「用途」欄註記為「事實」表示可獲得的顯性資訊、「推論」表示為未知且待獲得的隱性資訊，須再搭配開發語意規則，「值域」欄註記該屬性允許的資料型態，須配合前述的「格式」欄，其中“Data”為限定使用基本資料型態、“Object”限定使用特定概念下的實例。

三、知識表達

在完成上述供應商關係網絡的知識模型後，須將此設計轉換為資訊系統可運作的格式。本研究以 OWL 做為知識表達的語言格式，Protégé 為編輯 OWL 的工具軟體。Protégé 提供三項主要編輯套件，包括：(1)類別套件 (Class Tab)，用於建置概念之階層架構及邏輯定義；(2)屬性套件 (Property Tab)，用於定義概念的具體特徵或應具有之物件關係，各屬性則須另界定其定義域 (domain) 及值域 (range) 形式；(3)實例套件 (Individual Tab)，用於宣告符合概念的實例物件，因此實例繼承概念定義的屬性群，並以屬性值區隔不同的實例。圖 2 是依據附錄 1 的知識模型進行模型建置，以三個視窗截圖分別說明如下：



圖 2：利用 Protégé 將知識模型建置為 OWL-based 的知識本體

1. 概念 (圖 2 左上 Class Browser): 用於新增概念, 此視窗顯示在“owl:Thing”下, 共建立「企業」、「產品」、「產品類型」等概念 (或稱類別)。
2. 屬性 (圖 2 右上 Property Browser 及 Editor): 用於新增屬性, 此視窗顯示含有二個子視窗, 左側視窗建立屬性名稱及其類型, 如特徵 (DataType) 或物件關係 (Object), 右側視窗定義屬性細節。本例在左側視窗新增「has_產品」屬性, 右側視窗設定此屬性之定義域及值域 (如視窗中之“Domain”, “Range”標示), 分別指定「企業」及「產品」概念, 表示某企業擁有某產品。
3. 實例 (圖 2 下側 Instance Browser 及 Editor): 用於新增實例, 此視窗顯示含有二個子視窗, 左側視窗建立實例名稱, 例如建置「Clean_電池», 右側視窗提供實例的細節描述, 本例共設計 10 項屬性, 其中 6 項屬性為已知, 須以事實宣告之 (如圖中虛線框標示), 其餘屬性為推論屬性, 將由推論機制產生屬性值。

肆、發展知識庫的語意規則

前述供應商關係網絡已建置追蹤供應商所須的知識模型, 本研究在「企業」、「產品」、「產品類型」等概念下, 也設計代表子任務的推論屬性 (參考附錄 1, 共有 8 項屬性在「用途」欄註記為「推論」及對應之語意規則編號)。每一項待解的子任務, 都應收集如何解題的共通性知識以形成公理, 若解題是利用各項已知事實的串聯則稱為 logical axioms, 如解題須包括算數運算或定理公式則稱為 nonlogical axioms。開發公理的方式, 通常須循序漸進導引至預設的目標, 因此公理是模擬人類如何解決問題的步驟。以下我們利用語意規則來撰寫公理, 它最終將由 protégé 編輯器轉換為 SWRL 格式, 以利與 OWL-based Ontology 結合。

一、發展推論的語意規則

開發語意規則來推論未知的資訊, 是一種知識演繹過程的收集, 可利用萃取、分析、及轉換建置等步驟完成。首先, 須邀請知識工程相關人員參與分析步驟, 例如企業的「供應商」定義是什麼? 它須要經由什麼間接項目去推導? 本研究利用 Chi (2009) 提出的「規則分析表」(rule analysis form) 發展規則, 這個方法模擬解題的步驟順序, 依邏輯性的次序組合, 寫成表達式 {Step₁; Step₂; ... Step_n} 的, 我們以推論企業的「主要供應商」為例, 分析步驟如下:

Step₁: 由某企業 (x) 為起始點;

Step₂: 經由企業 (x) 的屬性「has_產品», 獲得產品 (y);

- Step₃：由產品 (y) 的屬性「has_主要零組件」，獲得上游的產品 (z)；
 Step₄：由產品 (z) 的屬性「has_企業」，獲得企業 (a)，a 值即為主要供應商；
 Step₅：最後，在企業 (x) 的屬性「has_主要供應商」，屬性值填入 a。

完成上述規則分析後，開發人員將各步驟轉換為「前提→結論」形式，並利用 SWRL 規則格式撰寫，由於「前提」通常由多項子單元 (atom) 串聯，規則可寫成如“(atom₁ ∧ ... ∧ atom_n) → Consequence”的形式，此處的 atom 即為規則分析表中的步驟描述，符號‘∧’為串聯 (conjunction) 的用途，因此尋找「主要供應商」問題，即可寫成表達式如式(1)。上述各步驟中的‘x’、‘y’、‘z’、‘a’均為變數，實作階段須代入實例。

$$\text{企業} (?x) \wedge \text{has_產品} (?x, ?y) \wedge \text{has_主要零組件} (?y, ?z) \wedge \text{has_企業} (?z, ?a) \rightarrow \text{has_主要供應商} (?x, ?a) \quad (1)$$

二、其他語意規則說明

本節依前述「規則分析表」方式，完成其餘各項規則，以下依概念別，摘要說明各語意規則之用途：

1. 企業概念：式(2)規則是企業實例根據其產品的次要零組件，循序推論該企業之「次要供應商」。式(3)規則是企業根據其產品所需的主要零組件，查訪該零組件的產品類型，再以此類型追溯生產同類型零組件的企業，扣除目前之主要與次要供應商後，獲得之結果即為「其他潛在供應商」。

$$\text{企業} (?x) \wedge \text{has_產品} (?x, ?y) \wedge \text{has_次要零組件} (?y, ?z) \wedge \text{has_企業} (?z, ?a) \rightarrow \text{has_次要供應商} (?x, ?a) \quad (2)$$

$$\begin{aligned} &\text{企業} (?x) \wedge \text{has_主要供應商} (?x, ?m1) \wedge \text{has_次要供應商} (?x, ?m2) \\ &\wedge \text{has_產品} (?x, ?y) \wedge \text{has_主要零組件} (?y, ?z) \wedge \text{has_產品類型} (?z, ?a) \\ &\wedge \text{has_同類型產品供應商} (?a, ?b) \wedge \text{differentFrom} (?b, ?m1) \wedge \\ &\text{differentFrom} (?b, ?m2) \rightarrow \text{has_其他潛在供應商} (?x, ?b) \end{aligned} \quad (3)$$

2. 產品類型概念：式(4)規則是產品類型實例根據其類型，檢核產品實例具有相同類型者，若符合則將產品實例置入物件關係屬性「has_同類型產品」。式(5)規則是延續式(4)，在取得產品後繼續追溯所屬之企業，最後將企業實例置入物件關係屬性「has_同類型產品供應商」。

$$\text{產品類型} (?x) \wedge \text{產品} (?y) \wedge \text{has_產品類型} (?y, ?x) \rightarrow \text{has_同類型產品} (?x, ?y) \quad (4)$$

$$\text{產品類型} (?x) \wedge \text{產品} (?y) \wedge \text{has_產品類型} (?y, ?x) \wedge \text{has_企業} (?y, ?z) \rightarrow \text{has_同類型產品供應商} (?x, ?z) \quad (5)$$

3. 產品概念：式(6)規則是利用產品實例的「has_月產能」與「has_產能利用率」二項特徵屬性，計算產品實例的「閒置產能」，規則中使用二項 SWRL 內建函數，執行減式 (swrlb:subtract) 及乘式 (swrlb:multiply) 的數值運算，計算結果存放於特徵屬性「has_閒置產能」。式(7)規則是假設企業欲增加某產品實例某種比率的產量 (例如提高 10%)，因此將「has_月產能」與「has_計劃擴充率」進行乘式運算，結果置入特徵屬性「has_計劃擴充量」。式(8)規則是考量上游相關零組件也須滿足下游產品擴充之增量，因此上游相關零組件將延用下游產品已計算的「計劃擴充量」數值，並置入特徵屬性「has_計劃擴充量」。式(9)規則是篩選上游相關零組件是否能支援下游的擴充所需，因此在上游篩選零組件的相關屬性中，利用函數 (swrlb:greaterThan) 比較「has_閒置產能」與「has_計劃擴充量」二項特徵屬性之內容值，若能滿足條件則將生產該產品的企業置入物件關係屬性「has_計劃擴充供應商」。

$$\text{產品} (?x) \wedge \text{has_月產能} (?x, ?a1) \wedge \text{has_產能利用率} (?x, ?a2) \wedge \text{swrlb:subtract} (?a3, 1, ?a2) \wedge \text{swrlb:multiply} (?y, ?a1, ?a3) \rightarrow \text{has_閒置產能} (?x, ?y) \quad (6)$$

$$\text{產品} (?x) \wedge \text{has_月產能} (?x, ?a1) \wedge \text{has_計劃擴充率} (?x, ?a2) \wedge \text{swrlb:multiply} (?z, ?a1, ?a2) \rightarrow \text{has_計劃擴充量} (?x, ?z) \quad (7)$$

$$\text{產品} (?x) \wedge \text{has_計劃擴充量} (?x, ?y) \wedge \text{has_零組件} (?x, ?z) \wedge \text{has_產品類型} (?z, ?a) \wedge \text{has_同類型產品} (?a, ?b) \rightarrow \text{has_計劃擴充量} (?b, ?y) \quad (8)$$

$$\text{產品} (?x) \wedge \text{has_計劃擴充量} (?x, ?y) \wedge \text{has_零組件} (?x, ?a) \wedge \text{has_產品類型} (?a, ?b) \wedge \text{has_同類型產品} (?b, ?c) \wedge \text{has_閒置產能} (?c, ?d) \wedge \text{swrlb:greaterThan} (?d, ?y) \wedge \text{has_企業} (?c, ?ans) \rightarrow \text{has_計劃擴充供應商} (?x, ?ans) \quad (9)$$

伍、個案實驗

一、實驗資料準備

本研究採用太陽能產業為實驗案例，雖然它是相對新興的產業，但根據國際太陽能產業協會，如SEIA⁹、SEPA¹⁰及ENF¹¹的資料，會員數超過3萬餘家企業，然而也因為數量眾多，故會同業界專家挑選百餘家知名企業，篩選方式是企業資料公開透明且易於獲得，例如我在國內的股市觀測站、美國SEC的Edgar資料庫中，以可收集到如年報、投資人說明書等文件之企業為主。在實驗進行前，我們商請3位產業界專家協助設計，包括分別來自於矽晶圓及發電模組企業之2位採購協理、1位太陽能電池企業之生產經理，共同收集國內外一百餘家企業資料進行分析，資料以公開之資訊為主(例如年報)，收集點如國內的股市觀測站、美國SEC¹²的Edgar資料庫。另參考工研院及國際太陽能產業協會對此產業在產品供需關係的分類，概略由下游至上游劃分為五層，包括發電系統、發電模組、太陽能電池、矽晶圓/棒、多晶矽原料等。原實驗資料因展開的網絡連結龐大，且企業通常含有多項產品，關係連結因而成級數增加，形成錯綜複雜的結構，因此業界專家建議以他們能充分能掌握之現況事實進行實驗。

表 1：產品類型與公司之對應關係

	產品類型				
	(下游)				(上游)
	發電系統	發電模組	太陽能電池	矽晶圓/棒	多晶矽原料
公司別	Pana Inc.	Aleot Inc.	Ace Inc.	CA Inc.	Heml Inc.
	Shar Inc.	Hero Inc.	Clean Inc.	Green Inc.	Rck Inc.
	Solar Inc.	Kyo Inc.	Oto-Cell	King Inc.	Socm Inc.
	-	Top Inc.	Power Inc.	Mit-Wafer	Tork Inc.
	-	YoHo Inc.	SG-Cell	Sibra-Wafer	
			TGI-Cell	WIN Inc.	

為方便實驗過程之說明，依業界專家建議從資料中再挑選資本額超過60億元台幣(2億美金)共24家企業，並由專家先進行供應商關係網絡的人工推導，以做為後續系統推論之檢核依據。本實驗主要是用於驗證模型，特別是設計概念架

9 Solar energy industries association (SEIA), <http://www.seia.org/directory>

10 SEPA, <http://www.solarelectricpower.org/>

11 ENF, <http://www.enfsolar.com/>

12 U.S. Securities and Exchange Commission, <https://www.sec.gov/edgar.shtml#.U5bbc4eKBA4>

構及語意規則的正確性，因此實驗以 5 階層為例，每層至少使用 3 家以上之企業，進行觀察推論運行的前後變化。在附錄 2 中，本研究已由企業之相關公報整理如產品、產品類型、主要/次要零組件、月產能、利用率等資料，這些資料視為已知的事實資料。另外，表 1 以企業層的观点並依「產品類型」歸類，概略整理為層級的關係，由左至右分別代表下游至上游的企業，例如發電系統有 Pana Inc., Shar Inc., Solar Inc.等 3 家企業。

二、建置知識庫的實例

事實性知識即為實例，須依據模型的知識框架新增，也是知識庫建置的一環，在前述 Protégé 編輯器中，實例套件 (Individual Tab) 提供事實的收集介面，以圖 3 顯示：依附錄 2 之實驗資料，將企業、產品類型、產品等概念下的實例，新增至 Protégé 編輯器。圖 3 分別展示 3 項概念下之實例的視窗截圖：



圖 3：建置企業、產品、產品類型等概念下之實例

1. 企業實例 (圖 3 左上)：共建置 24 家企業實例，每個實例有 4 項屬性，其中「has_產品」是事實屬性，須依據附錄 2 輸入資料，其餘 3 項為未知的推論屬性，將由式(1)、式(2)、式(3)的規則運算產生屬性值。
2. 產品類型實例 (圖 3 右上)：共建置 5 項實例，每項實例有 4 項屬性，其中「has_產品說明」、「has_零組件類型」是事實屬性，其餘 2 項為未知的推論

屬性，須由式(4)、式(5)的規則運算產生屬性值。

3. 產品實例 (圖 3 下側)：共建置 24 項產品實例，每個實例有 10 項屬性，其中 7 項是事實屬性，依附錄 2 輸入資料，包括「has_企業」、「has_產品類型」、「has_月產能」、「has_產能利用率」、「has_主要零組件」、「has_次要零組件」、「has_計劃擴充率」等項目，其餘 3 項為未知的推論屬性，將由式(6)~式(9)的規則運算產生屬性值。

三、推導隱含性知識

本研究推導的隱含性知識是利用 SWRL 規則在實例層進行，規則由 Protégé 編輯器上外掛的推論引擎 (例如 JESS¹³) 執行，JESS 提供深度優先 (DFS) 或廣度優先 (BFS) 二類「執行策略」，主要是避免執行規則產生的衝突，其中 DFS 是指已在運行中的規則，如果與其他規則優序相同，則會將運行中規則優先執行到結束，再換下一規則，本研究在參、一節問題分析中，曾說明檢核「擴產量」額度必須要以 DFS 方式拜訪系列節點，相關規則設計如式(9)，因此在推論引擎的執行策略也須選擇 DFS。表 2 為模擬式(1)規則在推論引擎下的運作，代入實例值至各「屬性」關係後，實例值將產生變化，表 2 各列為「執行序」、各欄為「屬性」，企業實例分別以 $e_1, e_2 \dots, e_n$ 表示，產品實例分別以 $p_1, p_2 \dots, p_m$ 表示。在第一項執行序中，假設企業實例值為 e_1 ，經由其產品 p_1 找到需求的零組件 p_2 ，再由這個零組件 p_2 連結到所屬企業 e_2 ，推導出 e_1 及 e_2 應具有供應商關係，因此將 e_2 存放於 e_1 的物件關係「has_合約供應商」中。根據深度優先之遞迴方式，第二項執行序會依上述方式運算，並以 e_2 為繼續追溯的起始點，企業 e_2 經由其產品 p_2 找到需求的零組件 p_3 ，由 p_3 連結到所屬企業 e_3 ，其後的第三項至第 n 項執行序依此類推，各層企業將逐一獲得其主要供應商名稱。

表 2：加入實例於 Rule-1 的規則解析

屬性 執行序	has_產品 (?x, ?y)	has_主要零組件 (?y, ?z)	has_企業 (?z, ?a)	has_主要供應商 (?x, a)
1	(e_1, p_1)	(p_1, p_2)	(p_2, e_2)	(e_1, e_2)
2	(e_2, p_2)	(p_2, p_3)	(p_3, e_3)	(e_2, e_3)
:	:	:	:	:
n	(e_n, p_m)	(p_m, p_{m+1})	(p_{m+1}, e_{n+1})	(e_n, e_{n+1})

13 JESS rule engine (<http://herzberg.ca.sandia.gov/>)

在執行 JESS 規則推論引擎後，各規則將產生對應的推導結果，並存放於規則指定的結論屬性中。圖 4 為規則推論後之各實例視窗截圖，請與圖 3 比較（規則推論前），各截圖說明如下：

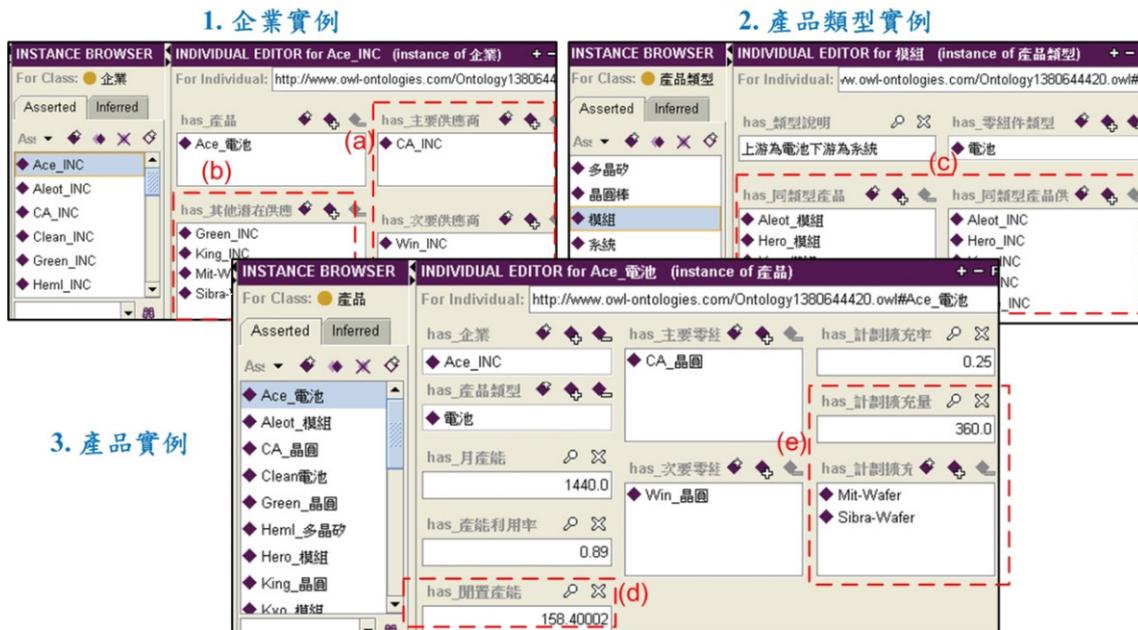


圖 4：執行規則推論後之各實例推導狀況

1. 企業實例（圖 4 左上）：此視窗顯示以 ACE_INC 企業為例，經由推論引擎執行式(1)、式(2)、式(3)等規則，分別獲得主要供應商（CA_Inc.）、次要供應商（Win Inc.）、及其他潛在供應商（Green_INC, King_INC, Mit-Wafer, Sibra-Wafer 等 4 家企業），參考圖中虛線框(a)、(b)之標示。
2. 產品類型實例（圖 4 右上）：此視窗顯示以「電池」產品類型為例，經由推論引擎執行式(4)、式(5)等規則，分別獲得同類型產品（Aleot_模組、Hero_模組、Kyo_模組、Top_模組、YoHo_模組等 5 項產品）、同類型產品供應商（Aleot_Inc、Hero_Inc、Kyo_Inc、Top_Inc、YoHo_Inc 等 5 家企業），參考圖中虛線框(c)之標示。
3. 產品實例（圖 4 下側）：此視窗顯示以 Ace_電池產品為例，經由推論引擎執行式(6)規則，參考虛線框(d)之標示，獲得閒置產能（158.4）。本視窗右側的 3 項屬性為模擬擴充產能之應用，本例假設在「has_計劃擴充率」給予 25%之擴充比率，經由執行式(7)、式(8)等規則，獲得計劃擴充產量產（360），計續執行式(9)規則，即檢查上游能支援此擴產規劃之供應商，獲得建議

Mit-Wafer, Sibra-Wafer 等 2 家企業，參考虛線框(e)之標示，此部份即為料源調整的應用。

圖 5 延續前例執行結果，我們以 Ace_Inc 為中心整理供應商關係網絡，傳統供應商關係僅包含主要供應商 (CA Inc) 及次要供應商 (Win Inc)，本研究利用式(1)~式(2)執行「遞迴」，獲得下一層供應商 (Rck Inc, Heml Inc)，圖右下虛線方塊利用式(7)~式(9)規則，獲得「計劃擴充」之相關供應商 (Sibra-Wafer, Mit-Wafer)。

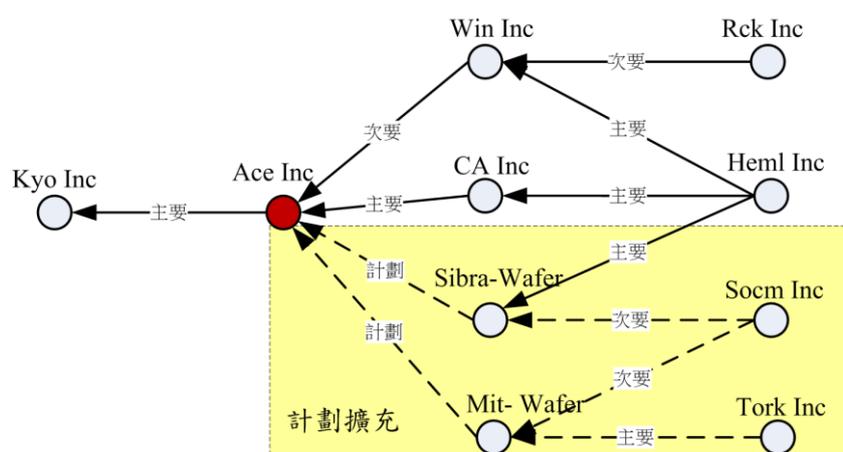


圖 5：以 Ace_Inc 為中心之供應商關係

四、系統評估

本研究在設計「供應商關係網絡」時，曾指出要以最精簡的事實資訊（避免繁瑣項目及敏感資料），獲得具有邏輯性的階層關係溯源，並提供解決供應商關係管理延伸問題的基礎。在得到前述以 24 家企業為基礎的實驗結果資料後，以下分別說明驗證設計之成果：

1. 精簡的事實資料：在所有已定義的概念中，新增實例須宣告的屬性資料，分別為企業（1 項）、產品（6~7 項）、產品類型（2 項），這些資料均為企業公報已載明之資訊，因此項目精簡且不涉及敏感資料。
2. 具有關係溯源能力：已利用定義知識模型及執行語意規則方式，完成邏輯性的階層關係溯源，在執行規則式(1)~式(3)時，即分別針對現有之主要供應商、次要供應商、其他潛在供應商等，進行推導如圖 4 右上之結果。實驗除已經研究人員逐一核對無誤外，另外也分別在企業及產品部份，以新增、刪除及變更供給關係等方式，重新進行推論及觀察變化，經研究人員反覆核對均正確無誤。
3. 提供解決延伸問題的基礎：本研究以企業的擴產問題，模擬如何在既有的

「供應商關係網絡」下，延伸解題的設計。規則式(6)~式(9)即為利用各供應商之閒置產能估算擴產能力，值得注意之處是該「擴產能力」也是向上追溯，須全部相關供應商皆符合時，才會成為推薦之計劃擴充供應商，圖 4 下側產品實例圖展示僅有 2 家企業獲得推薦，實驗結果已經研究人員逐一核對無誤。

由於知識框架已定義供應關係的邏輯，前述使用 24 家供應鏈企業資料進行實驗之目的為驗證本研究的知識模型。我們須特別指出：增加實驗之企業數量（例如增加數倍），實際上即是在「實例層」增加 instances，並不會影響已驗證之模型結果。另一方面，本研究主要展示一項產品衍生的關係，雖然實務上各企業通常擁有更多的產品項目，本研究的模型也能適用於多項產品的情境。其理由曾在參、一節的樹狀結構問題分析中曾指出：企業之產品視為特殊且唯一的根節點，因此多項產品即為同時擁有多個獨立的樹狀結構，每個產品視為一個節點（也是一項實例），因此可以再發展出專屬的樹狀結構，例如將附錄 2 的實驗資料複製一份，將企業改為 *Pana_Inc_2*, *Aleot_Inc_2*, *Ace_Inc_2* 等，產品改為 *Pana_系統_2*, *Aleot_模組_2*, *Ace_電池_2* 等，最後將這些實例新增至知識庫，藉推論機制即可再衍生出有別於前述實驗的另一個產品樹狀結構。簡言之，此模型已初步達到預設之研究目標。

陸、結論與討論

現代企業面臨專業分工與合作的商業模式，須對供應商關係進行管理，才能在競爭環境中迅速應變。而在運用各種管理機制之前，應先建立相關供應商形成的網絡知識，提供企業瞭解本身所處的位置、潛在供應商、供應商的供應商、及同行競爭者的整體性視野，才能以策略高度進行供應商關係的管理，提升競爭力，達成企業生存發展的目標。本研究聚焦於建立簡單可行的「供應商關係網絡」模型，擬訂避免繁瑣項目及敏感資料二項前提，力求以最精簡的事實資訊，產出具有邏輯性的關係網絡知識。由於 OWL 的資料模型主要是用於呈現類別架構，本質上並不支援開發知識系統 (KBS)，本研究在訂定研究問題後，針對問題發展出解決方法，再分別對應至領域知識、任務知識、推論知識，最後建構連貫、可靠的知識模型。以下總結主要設計方法及實驗結果：

1. 建置知識模型：在第參節中，本研究將供應商關係網絡問題，利用樹狀結構處理遞迴問題的演算法來分析，獲得企業、產品、產品類型等基礎概念，再藉由定義必要的屬性（包括特徵及物件關係），將概念之間的關係予以連結。圖 1 說明「供應商關係網絡」模型的結構與知識組成，附錄 1 說明依屬性的內容值分為領域知識（可收集的陳述資訊）及任務知識（未知或待

求解的資訊)。這個知識模型利用 Protégé 軟體編輯為類別及屬性的架構(參考圖 2),另外在實作階段建置事實為實例形式(參考圖 3),知識模型是 OWL 格式,因此後續可提供其他知識庫分享及再利用。

2. 開發語意規則：在第肆節中,本研究針對研究問題,如追溯供應商、潛在供應商、擴充料源引起的連鎖效應等,以有序的步驟模擬實務上的求解過程,在開發這些規則時,是以「遞迴」原理做為設計基礎,並以「規則分析表」串聯已知事實來獲得隱含性知識。對照附錄 1 知識模型註記為「推論」的屬性,共計開發 9 項語意規則。最後利用規則引擎執行規則推論,可達到解決供應商追溯之目標。
3. 實驗結果：在第伍節中,本研究利用太陽能產業的 24 家企業及產品為例進行實驗,由實證結果顯示(參考圖 4~5),知識推論確可逐層追溯相關的上游供應商、潛在供應商、及延伸問題的應用(如擴產問題)。在實驗評估部份也針對精簡事實資料、關係溯源能力、解決延伸問題等進行驗證,經由人工核對推論結果,顯示已達成「供應商關係網絡」之設計目標。

除了上述「供應商關係網絡」的設計與實際效用外,本研究也對於貢獻及其管理上的意義,提出下列討論：

1. 為使「供應商關係網絡」簡單可行,因此在發展時即限定模型內涵須項目精簡且不涉敏感資料,而為達成產業供應商關係網絡溯源的目的,我們將繁複的邏輯關係置入模型的前置設計中。使得實際應用時,供應商僅須專注提供已知且可公開之事實資訊,即可產出具有邏輯性的階層關係溯源。本研究實作之擴產問題,雖然僅是供應商關係管理中的部分問題,但其他延伸應用也可利用此「模型」為基礎並發展為更周延的設計。
2. 本研究已將「供應商關係網絡」最核心的知識模型,利用知識本體、語意規則完成設計,未來在實務應用上可再開發 Web-based 介面,提供各企業進行新增事實資料與應用,由於 Protégé 平台及 JESS 推理引擎均已提供開發系統所需之各項 API,因此知識庫系統將可利用 Web-based 方式呈現。

在未來研究方向上,建議：(1)對企業、產品、或產品類型等,考慮增加標準分類屬性來描述實例,協助知識系統使用統一的名稱,例如在產品或產品類型,可利用國際商品統一分類代碼(HS code, Harmonized System Code)、國際貿易貨品標準分類(SITC, Standard International Trade Classification、或國際工業產品分類(ISIC, International Standard Industrial Classification)等；(2)增加供應商關係網絡附加資訊的應用,例如模擬生產規劃異動、重組供應商團隊等的彈性應用。

誌謝

作者感謝匿名評審對本文所提供之寶貴意見，使本研究更臻完善。

參考文獻

- Araz, C. and Ozkarahan, I. (2007), 'Supplier evaluation and management system for strategic sourcing based on a new multicriteria sorting procedure', *International Journal of Production Economics*, Vol. 106, No. 2, pp. 585-606.
- Aussenac-Gilles, N. and Gandon, F. (2013), 'From the knowledge acquisition bottleneck to the knowledge acquisition overflow: A brief French history of knowledge acquisition', *International Journal of Human-Computer Studies*, Vol. 71, No. 2, pp. 157-165.
- Beimel, D. and Peleg, M. (2011), 'Using OWL and SWRL to represent and reason with situation-based access control policies', *Data & Knowledge Engineering*, Vol. 70, No. 6, pp. 596-615.
- Berners-Lee, T., Hendler, J. and Lassila, O. (2001), 'The semantic web', *Scientific American*, Vol. 284, No. 5, pp. 28-37.
- Breuker, J. (2013), 'A cognitive science perspective on knowledge acquisition', *International Journal of Human-Computer Studies*, Vol. 71, No. 2, pp. 177-183.
- Cairó, O. and Guardati, S. (2012), 'The KAMET II methodology: Knowledge acquisition, knowledge modeling and knowledge generation', *Expert Systems with Applications*, Vol. 39, No. 9, pp. 8108-8114.
- Chi, Y.L. (2009), 'A consumer-centric design approach to develop comprehensive knowledge-based systems for keyword discovery', *Expert Systems with Applications*, Vol. 36, No. 2, pp. 2481-2493.
- Chi, Y.L. (2007), 'Elicitation synergy of extracting conceptual tags and hierarchies in textual document', *Expert Systems with Applications*, Vol. 32, No. 2, pp. 349-357.
- Chopra, S. and Sodhi, M.S. (2004), 'Managing risk to avoid supply-chain breakdown', *MIT Sloan Management Review*, Vol. 46, No. 1, pp. 53-61.
- Choy, K.L., Lee, W.B. and Lo, V. (2003), 'Design of a case based intelligent supplier relationship management system—the integration of supplier rating system and product coding system', *Expert Systems with Applications*, Vol. 25 No. 1, pp. 87-100.
- Chrysochou, P., Chrysochoidis, G. and Kehagia, O. (2009), 'Traceability information

- carriers. The technology backgrounds and consumers' perceptions of the technological solutions', *Appetite*, Vol. 53, No. 3, pp. 322-331.
- Compton, P. (2013), 'Situated cognition and knowledge acquisition research', *International Journal of Human-Computer Studies*, Vol. 71, No. 2, pp. 184-190.
- Corsar, D. and Sleeman, D. (2006), 'Reusing JessTab rules in Protégé', *Knowledge Based Systems*, Vol. 19, No. 5, pp. 291-297.
- Dudek, G. and Stadtler, H. (2005), 'Negotiation-based collaborative planning between supply chains partners', *European Journal of Operational Research*, Vol. 163, No. 3, pp. 668-687.
- Fernández-López, M., Gómez-Pérez, A. and Suárez-Figueroa, M.C. (2013), 'Methodological guidelines for reusing general ontologies', *Data & Knowledge Engineering*, Vol. 86, pp. 242-275.
- García, N., Puente, J., Fernández, I. and Priore, P. (2013), 'Supplier selection model for commodities procurement. Optimised assessment using a fuzzy decision support system', *Applied Soft Computing*, Vol. 13, No.4, pp. 1939-1951.
- García-Castro, R. and Gómez-Pérez, A. (2010), 'Interoperability results for Semantic Web technologies using OWL as the interchange language', *Web Semantics: Science, Services and Agents on the World Wide Web*, Vol. 8, No. 4, pp.278-291.
- Golbreich, C., Zhang, S. and Bodenreider, O. (2006), 'The foundational model of anatomy in OWL: Experience and perspectives', *Web Semantics: Science, Services and Agents on the World Wide Web*, Vol. 4, No.3, pp. 181-195.
- Gómez-Pérez, A. and Benjamins, V.R. (1999), 'Applications of Ontologies and Problem-Solving Methods', *AI-Magazine*, Vol. 20, No. 1, pp. 119-122.
- Gruber, T.R. (1993), 'A translation approach to portable ontology specifications', *Knowledge Acquisition*, Vol. 5, No. 2, pp. 199-220.
- Guarino, N. (1997), 'Understanding, building and using ontologies', *International Journal of Human-Computer Studies*, Vol. 46, No.2-3, pp. 293-310.
- Holmström, J., Kajosaari, R., Främling, K. and Langius, E. (2009), 'Roadmap to tracking based business and intelligent products', *Computers in Industry*, Vol. 60, No. 3, pp. 229-233.
- Horrocks, I., Patel-Schneider, P.F. and Van Harmelen, F. (2003), 'From SHIQ and RDF to OWL: The making of a web ontology language', *Web Semantics: Science, Services and Agents on the World Wide Web*, Vol. 1, No.1, pp. 7-26.
- Horrocks, I., Patelschneider, P., Bechhofer, S. and Tsarkov, D. (2005), 'OWL rules: A proposal and prototype implementation', *Web Semantics: Science, Services and*

- Agents on the World Wide Web*, Vol. 3, No. 1, pp. 23-40.
- Lai, L.F. (2007), 'A knowledge engineering approach to knowledge management', *Information Sciences*, Vol. 177, No. 19, pp. 4072-4094.
- Lambert, D.M. and Cooper, M.C. (2000), 'Issues in supply chain management', *Industrial marketing management*, Vol. 29, No.1, pp. 65-83.
- Lee, H.L. (2004), 'The triple-A supply chain', *Harvard Business Review*, Vol. 82, No.10, pp. 102-113.
- Lezcano, L., Sicilia, M.-A., and Rodríguez-Solano, C. (2011), 'Integrating reasoning and clinical archetypes using OWL ontologies and SWRL rules', *Journal of Biomedical Informatics*, Vol. 44, No. 2, pp. 343-353.
- Min, H. and Zhou, G. (2002), 'Supply chain modeling: past, present and future', *Computers & Industrial Engineering*, Vol. 43, No. 1, pp. 231-249.
- Motta, E. (2013), '25 Years of Knowledge Acquisition', *International Journal of Human-Computer Studies*, Vol. 17, No. 2, pp. 131-134.
- Musen, M.A. (2013), 'The knowledge acquisition workshops: A remarkable convergence of ideas', *International Journal of Human-Computer Studies*, Vol. 71, No.2, pp. 195-199.
- Naylor, J.B., Naim, M.M. and Berry, D. (1999), 'Leagility: Integrating the lean and agile manufacturing paradigms in the total supply chain', *International Journal of Production Economics*, Vol. 62, No.1, pp. 107-118.
- Norrman, A. and Jansson, U. (2004), 'Ericsson's proactive supply chain risk management approach after a serious sub-supplier accident', *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, Vol. 34, No.5, pp. 434-456.
- Noy, N. and McGuinness, D., (2001), 'Ontology Development 101: A Guide to Creating Your First Ontology', available at <http://www.ksl.stanford.edu/people/dlm/papers/ontology-tutorial-noy-mcguinness.pdf> (accessed 30 September 2015).
- O'Connor, M.J., Shankar, R.D., Nyulas, C., Tu, S.W. and Das, A.K. (2008), 'Developing a Web-Based Application using OWL and SWRL', *Proceedings of Twenty-Third Association for the Advancement of Artificial Intelligence Spring Symposium: AI Meets Business Rules and Process Management (AAAI 2008)*, California, USA, March 24-26, pp. 93-98.
- Olhager, J. and Selldin, E. (2004), 'Supply chain management survey of Swedish manufacturing firms', *International Journal of Production Economics*, Vol. 89, No. 3, pp. 353-361.
- Olhager, J., Selldin, E. and Wikner, J. (2006), 'Decoupling the value chain',

- International Journal of Value Chain Management*, Vol. 1, No. 1, pp. 19-32.
- Parmar, D., Wu, T., Callarman, T., Fowler, J. and Wolfe, P. (2010), 'A clustering algorithm for supplier base management', *International Journal of Production Research*, Vol. 48, No. 13, pp. 3803-3821.
- Perols, J., Zimmermann, C. and Kortmann, S. (2013), 'On the relationship between supplier integration and time-to-market', *Journal of Operations Management*, Vol. 31, No. 3, pp. 153-167.
- Prahinski, C. and Benton, W.C. (2004), 'Supplier evaluations: communication strategies to improve supplier performance', *Journal of Operations Management*, Vol. 22, No.1, pp. 39-62.
- Roseira, C., Brito, C. and Ford, D. (2013), 'Network pictures and supplier management: An empirical study', *Industrial Marketing Management*, Vol. 42, No. 2, pp. 234-247.
- Roseira, C., Brito, C. and Henneberg, S.C. (2010), 'Managing interdependencies in supplier networks', *Industrial Marketing Management*, Vol. 39, No.6, pp. 925-935.
- Rosenbloom, S.T., Miller, R.A., Johnson, K.B., Elkin, P.L. and Brown, S.H. (2006), 'Interface terminologies: facilitating direct entry of clinical data into electronic health records', *Journal of the American Medical Informatics Association*, Vol. 13, No. 3, pp. 277-288.
- Schreiber, G. (2013). 'Knowledge acquisition and the web', *International Journal of Human-Computer Studies*, Vol. 71, No. 2, pp. 206-210.
- Shadbolt, N. (2013), 'Knowledge acquisition and the rise of social machines', *International Journal of Human-Computer Studies*, Vol. 71, No. 2, pp. 200-205.
- Tempich, C., Simperl, E., Luczak, M., Studer, R. and Pinto, H.S. (2007), 'Argumentation-Based Ontology Engineering', *IEEE Intelligent Systems*, Vol. 22, No.6, pp. 52-59.
- Vokurka, R.J., Choobineh, J. and Vadi, L. (1996), 'A prototype expert system for the evaluation and selection of potential suppliers', *International Journal of Operations & Production Management*, Vol. 16, No.12, pp. 106-127.
- Wagner, S.M. (2011), 'Supplier development and the relationship life-cycle', *International Journal of Production Economics*, Vol. 129, No. 2, pp. 277-283.
- Wagner, S. M. and Johnson, J.L. (2004), 'Configuring and managing strategic supplier portfolios', *Industrial Marketing Management*, Vol. 33, No. 8, pp. 717-730.
- Wang, L., Liu, X. and Cao, J. (2010), 'A new algebraic structure for formal concept analysis', *Information Sciences*, Vol. 180, No. 24, pp. 4865-4876.

- Welty, C. and Guarino, N. (2001), 'Supporting ontological analysis of taxonomic relationships', *Data & Knowledge Engineering*, Vol. 39, No. 1, pp. 51-74.
- Wielinga, B. J. (2013), 'Reflections on 25+ years of knowledge acquisition', *International Journal of Human-Computer Studies*, Vol. 71, No. 2, pp. 211-215.
- Wu, Z., Choi, T.Y. and Rungtusanatham, M.J. (2010), 'Supplier-supplier relationships in buyer-supplier-supplier triads: Implications for supplier performance', *Journal of Operations Management*, Vol. 28, No. 2, pp. 115-123.

附錄 1：知識模型一覽表

概念	屬性					說明
	名稱	格式	用途	值域	推論式	
企業	has_產品	Object	事實	產品		(領域知識) 陳述該企業之產品，使用產品概念之已知實例
	has_主要供應商	Object	推論	企業	式(1)	(任務知識) 待解該企業之上游主要供應商
	has_次要供應商	Object	推論	企業	式(2)	(任務知識) 待解該企業之上游次要供應商
	has_其他潛在供應商	Object	推論	企業	式(3)	(任務知識) 待解該企業之潛在供應商
產品	has_企業	Object	事實	企業		(領域知識) 陳述該產品所屬之企業，使用企業概念之已知實例
	has_產品類型	Object	事實	產品類型		(領域知識) 陳述該產品之類型，使用產品類型概念之已知實例
	has_主要零組件	Object	事實	產品		(領域知識) 陳述該產品上游主要零組件，使用產品概念之已知實例
	has_次要零組件	Object	事實	產品		(領域知識) 陳述該產品上游次要零組件，優先替代主要零組件用途
	has_月產能	Data	事實	(float)		(領域知識) 陳述該產品最大之月產能量，實例值使用 float 型態
	has_產能利用率	Data	事實	(float)		(領域知識) 陳述該產品產能利用率，實例值使用 float 型態
	has_閒置產能	Data	推論	(float)	式(6)	(任務知識) 待解計算閒置產能：月產能*(1-產能利用率)
	has_計劃擴充率	Data	事實	(float)		(領域知識) 陳述該產品預期計劃之擴充比率，實例值使用 float 型態
	has_計劃擴充量	Data	推論	(float)	式(7)(8)	(任務知識) 待解計算擴充量：月產能*計劃擴充率
	has_計劃擴充供應商	Object	推論	企業	式(9)	(任務知識) 待解支援生產擴充之供應商
產品類型	has_類型說明	Data	事實	(string)		(領域知識) 陳述該產品之類型說明，實例值使用 string 型態
	has_零組件類型	Object	事實	產品類型		(領域知識) 陳述該產品類型上游類型，使用已知產品類型之實例
	has_同類型產品	Object	推論	產品	式(4)	(任務知識) 待解符合該產品類型之產品實例
	has_同類產品供應商	Object	推論	企業	式(5)	(任務知識) 待解符合生產該產品類型之企業實例

附錄 2：太陽能產業各企業之屬性資料

企業名稱	產品名稱	產品類型	主要零組件	次要零組件	月產能	利用率
Pana Inc.	Pana_系統	系統	Kyo_模組	Top_模組	3800	92%
Shar Inc.	Shar_系統	系統	Aleot_模組	YoHo_模組	3200	94%
Solar Inc.	Solar_系統	系統	Hero_模組	Top_模組	1600	82%
Aleot Inc.	Aleot_模組	模組	SG_電池	Oto_電池	3000	89%
Hero Inc.	Hero_模組	模組	Clean_電池	-	1220	86%
Kyo Inc.	Kyo_模組	模組	Ace_電池	TGI_電池-	2760	90%
Top Inc.	Top_模組	模組	Power_電池	-	1240	88%
YoHo Inc.	YoHo_模組	模組	TGI_電池	SG_電池-	3240	94%
Ace Inc.	Ace_電池	電池	CA_晶圓	Win_晶圓	1440	89%
Clean Inc.	Clean_電池	電池	Green_晶圓	CA_晶圓	1230	91%
Oto-Cell	Oto_電池	電池	Sibra_晶圓	-	1800	90%
Power Inc.	Power_電池	電池	CA_晶圓	-	1400	93%
SG-Cell	SG_電池	電池	Sibra_晶圓	Win_晶圓	3400	95%
TGI-Cell	TGI_電池	電池	Mit_晶圓	Sibra_晶圓	2900	92%
CA Inc.	CA_晶圓	晶圓/棒	Heml_多晶矽	-	2210	92%
Green Inc.	Green_晶圓	晶圓/棒	Socm_多晶矽	-	2270	94%
King Inc.	King_晶圓	晶圓/棒	Tork_多晶矽	-	2205	92%
Mit-Wafer	Mit_晶圓	晶圓/棒	Tork_多晶矽	Socm_多晶矽	3620	82%
Sibra-Wafer	Sibra_晶圓	晶圓/棒	Heml_多晶矽	Socm_多晶矽	4020	84%
Win Inc.	Win_晶圓	晶圓/棒	Heml_多晶矽	Rck_多晶矽	2130	90%
Heml Inc.	Heml_多晶矽	多晶矽	-	-	7000	98%
Rck Inc.	Rck_多晶矽	多晶矽	-	-	5200	98%
Socm Inc.	Socm_多晶矽	多晶矽	-	-	4500	98%
Tork Inc.	Tork_多晶矽	多晶矽	-	-	5000	98%