大學圖書館
16 卷 1 期（民國 101 年 3 月） 頁 107-134

知識本體在水質感測網之應用

An Ontology for Water Quality Sensor Networks Data

吳育美 Yu-mei Wu
國立臺灣大學圖書資訊學研究所博士生
Ph.D. Student, Graduate Institute of Library and Information Science,
National Taiwan University
E-mail: ymwu6031@gmail.com

曾品方 Pin-fang Tseng
國立臺灣大學圖書資訊學研究所博士生
Ph.D. Student, Graduate Institute of Library and Information Science,
National Taiwan University
E-mail: rosemary8311@gmail.com

【摘 要】

本研究旨在發展一結合知識本體、代理人系統及 SWE 技術，能提供即時動態決策資訊的智慧型水質感測網為總體目標，以宜蘭縣龍德水質監測系統為模擬對象。本文聚焦於知識本體之規劃與建置，採用 Protégé 編輯軟體描述和呈現領域知識的概念屬性及概念之間的關係，以支援代理人系統的自動判讀與採取處理行動。本文內容首先探究水質感測網技術，其次是闡述知識本體之意涵，以及探討建置知識本體的方法，最後說明水質感測網知識本體之實作與結論，期能作為同道研究應用之參考。

【Abstract】

The overall goal of this research is to develop water quality monitoring systems, an intelligent sensor network that combines ontology, the agent system, and the SWE technology, provide realistic dynamic information. The system is designed to simulate the water quality monitoring system at the Long De Industrial Park in Yilan County. The focus of this paper is the design and implementation of the ontology. We use Protégé as the editing software to describe and present the concepts and attributes in the

臺灣大學學術期刊資料庫

收稿日期：民國 100 年 4 月 25 日；接受日期：民國 100 年 7 月 12 日

domain knowledge as well as the relations between them in order to support automatic interpretation and action by the agent system. In this paper we first probe Water Quality Sensor to describe the meaning of ontology and explore methods for building the ontology. Finally, we provide the implementation of the ontology and our conclusions for fellow researchers in this subject.

關 鍵 字：感測網；知識本體；水質感測網
Keywords：Sensor web; Ontology; Water quality sensor

壹、前言

近年來由於氣候環境急遽惡化，全球各地遭逢豪雨、乾旱、大雪頻仍，往往造成極大的傷害，民眾的生命安全備受威脅。因此，各國政府及專家思考各種調適因應策略時，咸認為須先由掌握環境監測資訊切入，例如：2002 年聯合國召開的永續發展世界高峰會（World Summit on Sustainable Development），宣誓加強對地球環境的監測；2003 年八大工業國組織（Group of Eight, G8）高峰會，決議各先進國家應密切合作加強環境監測；2003-2005 年間由歐盟、美國、日本等 30 餘國成立「地球監測組織」（Group on Earth Observations, 以下簡稱 GEO）提出全球監測十年計畫（2005-2015），致力發展全球監測總系統。其中水質污染監測是環境監測中的重要項目之一，在 GEO 之監測總系統中含括改善水資源的管理、加強水資源的預測和示警功能，其與大眾的健康和安全息息相關，已成為各界關注的焦點（GEO, 2011；孫志鴻、榮峻德，2009；孫志鴻等，2010）。

再者由於通訊技術與資訊運算的快速發展，構成全球感測網之技術亦愈趨成熟，因應感測網佈建規模之擴張，人類環境將有革命性的突破。透過全球網路將佈設在任何角落的感測器連結起來，即時將監測到的大量資料傳輸回資訊中心，透過自動化或半自動化的各類環境模型與決策支援系統進行資料分析，讓現今所面臨的全球性或區域性的各類環境問題，都可因為感測網的即時監控資訊而得到有效的管理與控制。

隨著感測器的核心技術和無線網路科技快速發展與整合，使得大範圍的即時動態決策支援感測系統得以發展，建立基於結合知識表徵（Knowledge Representation）標準、推理技術、網路服務規範、語意網（Semantic Web）相關的基礎建設，以加速資訊系統之間資訊的交換與互通，將感測系統升級為智慧型感測網（Russomanno, Kothari, & Thomas, 2005）。而 Hadzic et al.（2009）則指出發展智慧型決策系統乃結合知識本體（Ontology）、代理人系統（Agent System）兩項技術以

臺灣大學學術期刊資料庫

發揮最大功效，知識本體好比代理人的大腦，提供知識架構以支援代理人主動於網際網路上蒐尋可用資訊並完成被賦予任務。因此，智慧型代理人（Intelligent Agent）因具備領域知識，加上以知識本體為基礎，故能有效地提供決策資訊，成為智慧型系統。

本研究是立基於經濟部科技研究發展專案—感測網技術應用在污染防治之研究計畫之一，計畫期間運用知識本體、代理人系統及 SWE（Sensor Web Enablement，以下簡稱 SWE）技術，以發展即時動態決策資訊的智慧型感測網為總體目標，希冀完成水污染監測之雛形系統，以做為臺灣水質環境品質監測之具體實作。本研究以「宜蘭縣龍德利澤工業雨水下水道水質監測系統」（以下簡稱龍德水質監測系統）為模擬對象，預期達到自動判讀與發佈的功能。系統的實際作法首先是建置知識本體以模擬水質監測的知識架構，其次為透過代理人系統進行知識本體的解析及推論，最後由代理人存取 SWE 的相關服務，並產出決策支援的訊息。當異常警訊發生時，透過事前的設定，監測系統即自動執行相對應的資訊，包括其污染影響程度、嚴重等級、影響範圍及應變措施等，並於監控畫面以圖形方式呈現，管理者可藉此介面判斷事件處理的標準程序，進行後續妥善的處理（孫志鴻等，2010）。

由於龍德水質監測系統專案計畫之感測網代理人系統、SWE 服務已有專文介紹（孫志鴻等，2010），故本文聚焦於知識本體相關知識與技術，以闡述知識本體於水質感測網之應用，採用 Protégé 應用軟體做為建置智慧型水質感測網的工具，主要目的是闡述知識本體在感測網代理人系統的處理運作，協助代理人系統自動執行、自行判斷與採取行動，持續地察覺到系統的目的。本文內容首先探究水質感測網技術，其次是闡述知識本體之意涵，以及探討建置知識本體的方法，最後說明感測網知識本體之實作經驗與結論，期能作為同道研究應用之參考。

貳、水質感測網技術

由於無線通訊及感測器技術的進步，促使感測網的發展，成為極具潛力的新興產業。未來地球上可能佈滿各式各樣的感測器，藉由無線網路及通訊技術相互連結，成為一個緊密包覆著地球的感測網，隨時監測地球上每一個角落的動態，傳送五花八門的大量資料，如氣溫、雨量、河川水位、水質、空氣品質等，即時提供分析、預測、預警以及危機處理等等的應用（國立臺灣大學、財團法人臺灣地理資訊中心，2010a，2010b，2010c）。

感測網的概念最早乃由 NASA 於 1999 年提出，是以感測網絡（Sensor Network）為基礎，整合無線通訊（Radio Communication）、無線網路和成本低廉的微型感應器。感測網的基本運作方式是將感應器裝在欲監測和探索的土地、水域等環境，收集該區域物理、化學、生物變化的資料，以尋求變化相關的時間及空間模式。由於裝置儀

臺灣大學圖書館 期刊資料庫

器之間資訊的分享、跨越時間及空間，擁有高解像力及完整的資訊，讓感測網有了微智慧（Micro-Intelligence）能力，使各感測器間可以產生協同作用，發揮一加一大於二的功能，以處理比較複雜的問題（國立臺灣大學、財團法人臺灣地理資訊中心，2010c；林俊全等，2010）。

2003 年開放式地理資訊協會（Open Geospatial Consortium，OGC）提出 SWE 標準，以方便使用者透過網際網路搜尋、取得和使用不同形式的感測器、轉換器或感測資料庫等資訊。其中 SWE 架構與概念就是要將實體生活中的感測器硬體和普及化的網路串接起來，SWE 是整合感測器的重要關鍵，可以透過網路連結感測器並與其互動、集合並支配感應器網路。如此，管理者便可透過 Web 平台，操作感測器並能擷取與利用感測資料，此舉對於災害反應及管理有顯著的好處，因經由事先的觀測與預防，可即時監控災害，以控制和防患環境的變化（臺灣大學、財團法人臺灣地理資訊中心，2010c；林俊全等，2010）。

水質感測網有助於監測水質污染管理環境變化，目的是為解決大量水質污染導致生態環境被破壞的問題，例如水質監測系統可感測到有害藻類繁殖潮，並即早預警和快速反應；或因河流流域受到快速農業化及都市發展的影響，導致河水營養物質增加，使得河水溶氧量降低導致缺氧，造成魚群大量死亡、有害藻類繁盛等環境問題，一般而言，可透過水溫、導電度、pH 值、溶氧量（DO）、總懸浮固體含量、葉綠素濃度等監測項目（國立臺灣大學、財團法人臺灣地理資訊中心，2010c；林俊全等，2010）。

為發展感測網智慧型環境監測雛型系統，經濟部科技研究發展的學研聯合研究計畫專案—感測網技術應用在污染防治之研究，委託臺灣大學和財團法人臺灣地理資訊中心共同合作，以研發「智慧型環境監測系統」雛型為目標，將之應用於水質污染防治與監測。感測網技術在水質污染防治之研究是產學合作，亦是各學科的協同合作，涉及環境、感測網技術、資訊科學、地理資訊等相關學科領域背景的專家共同合作參與。該計畫與宜蘭縣政府環境保護局合作開發龍德水質監測系統，藉由宜蘭縣政府環境保護局設立之監測設備感測器，結合地感測網、地理資訊系統（GIS）、SWE、知識本體的技術，建置感測網「智慧型水質監測系統」，發揮軟硬體資訊整合之效益，達到嚇阻不肖業者偷排放污染廢水之情事，維護河川環境安全，並提升行政管理效率（國立臺灣大學、財團法人臺灣地理資訊中心，2010a，2010b，2010c；孫志鴻等，2010）。

本文乃根據上述感測網專案，聚焦於知識本體之規劃與建置，以下接續說明知識本體的意涵、建置原則、建置步驟及龍德水質監測系統知識本體實作歷程。

臺灣大學學術期刊資料庫

參、知識本體之意涵

為建置知識本體以提供水質感測網之用，必先瞭解知識本體之意涵，以下就知識本體的定義、功能、概念的分類，分別為文敘述。

一、知識本體的定義

知識本體一詞源自於哲學用語，該字最早見於 1613 年，德國哲學家 R. Goclenius 編寫《哲學辭典》，以希臘語的「存在（Onto）」與「學問（Logs）」二字合併為 “Ontologia” 即為英文 “Ontology”，意指一切事物的基本特徵。亞里斯多德（Aristotle）是首位介紹知識本體概念的學者，他認為知識本體即是探討一切事物的存在或生存（Existence or Being）本身的學問，而事物存在的範疇體系，可以從實體、質量、數量、關係、行動、熱情、空間和時間等概念進行探討（Corazzon, 2000；馮志偉，2005，2006）。由於知識本體可以解釋所有事物或概念之本質、屬性與關係，適用於人類知識的組織與呈現，後來衍生應用於各學科領域，以資訊科學領域而言，包括人工智慧、電腦科學、圖書資訊學等。

知識本體在人工智慧方面，自 1970 年代中期開始，即應用知識本體的概念於獲取人類知識，以研發自動推理的人工智慧系統，將現實生活中存在的各項實體，逐一進行概念化並明確地描述，所以知識本體是一種知識體系的組成要素，也是一種可以把知識儲存於代理人的理論（Gruber, 2009；李建興等，2006）。在電腦科學方面，Neches 等人（1991）認為發展知識共享的智慧系統，應包含兩部分，一是知識本體；二是問題解決的方法，而知識本體就是特定知識領域的知識及知識的結構，定義知識領域的詞彙和關係，是建立智慧型知識庫系統的核心（馮志偉，2005）。在圖書資訊學方面，Zins（2007）指出知識本體是對於知識的主要範疇和次要範疇的組織，另一學者 Taylor 和 Joudrey（2009）則認為知識本體是用以定義情境、領域或概念架構的本質，是一種對於特定概念或事實之正規呈現，可以簡單如索引典的樣貌，也可以是複雜如階層式概念或範疇之分類系統，亦或是一種以語意網為基礎之技術性解決方案。

以廣義的資訊科學而言，普遍認同 Gruber（1993）的定義，他認為知識本體是一種以概念化（Conceptualization）為基礎，正規（Formal）呈現知識的方法。概念化是對於抽象籠統的概念進行具體明確描述的過程，以達到特定目的之表徵。所有的知識系統或知識層次的代理人（Knowledge-Level Agent）皆致力於將抽象的概念轉化為明確特定的描述，所以知識本體即是一組詳細描述概念之文件。據此，Gruber 的觀點可以分為正規、領域知識概念化以及明確三個項目進行討論（Hadzic, Wongthongtham, Dillon, & Chang, 2009）。

1.「正規」意指知識的呈現需有一組數學運算的法則以便機器可以辨識。

2.「領域知識概念化」是對於該領域研

臺灣博碩士論文知識加值系統 期刊資料庫

究現象之抽象化模組，可作為概念、關係的表徵。

3.「明確」是清楚精確地描述概念的內容以及概念與概念之間的關係。

綜言之，知識本體試圖藉由科學的方法探討知識表徵的通則與規範，透過特定的運算機制，提供人類知識精準的描述與應用，也就是說，知識本體就是將領域專家的知識組織起來，以利機器判讀和執行。

二、知識本體之功能

為發展智慧型決策系統，不同的代理人之間溝通是不可或缺的，但在大多數情況下，不同代理人之間通常因為沒有共通使用的語言和定理，而難以相互溝通、分享工作。因此，具備正規、概念化以及明確性質的本體論就顯得重要，本文就知識表徵、資訊的分享與再利用、語意網三方面，分別為文討論知識本體之功能。

在知識表徵方面，Gardner（2005）認為知識本體包含並呈現領域中所有概念的詞彙及指定概念間的關係，透過三元組（Triplets）：概念—關係—概念（Concept–Relationship–Concept）的方式，以 RDF 或 OWL 的語意網標準表示出知識本體的形式，並利用 Is-a 階層關係表示概念的分類關係，有助於建立起概念詞彙的家族脈絡，並可說明詞彙的位階、屬性和關係等。

在資訊分享與再利用方面，知識本體的特點之一即為支持重複使用，以協助資訊可順利導入和導出於不同模組或系統之間，當我們描述一個領域知識的類別和任務時，可利用知識本體提供的框架，以確認概念的組織和轉換，也就是說知識本體具備知識分享社群的特質（Gardner, 2005）。

在語意網方面，語意網可視為現有網路的延伸，期許所有的資源皆具備良好的定義，以便機器能分析網路上的資 料（Berners-Lee, Hendler, & Lassila, 2001），而為讓機器辨識各種資源的定義，就需要一套正規、明確、特定的概念表示方法，此即為知識本體的作用，也就是說為達到語意網的境界，首先需建置特定領域的知識本體，用以描述一組組定義明確的類別和概念（Reformat, Yager, & Li, 2010）。

綜言之，知識本體因為具備領域概念具體化、概念詞彙明確化以及規範定義等優勢，利於建立不同代理人之間的資訊交換，以強化代理人系統相互的溝通和啟動智慧型功能。

三、知識本體概念的分類

知識本體陳述個別的事實，可謂是人類知識的載具，於網路環境中運用知識本體能賦予資訊利用新的可能性（Reformat, Yager, & Li, 2010），但人類各領域知識往往具豐富性和多樣化，為增加描述知識範疇的可行性，可將知識的範疇劃分為數個概念，如馮志偉（2005, 2006）歸納知識範疇的六種概念類別，分別是：實體（Entity）、時間（Time）、空間（Space）、數量（Quantity）、行為狀態（Action-State）

臺灣大學圖書館 期刊資料庫

和屬性（Attribute），各概念及下位概念涵義如下：

1. 實體：在空間和時間上延展的實體，可分為物（Thing）和事（Affair）。物可再細分具體和抽象；事是指人類生活中一切活動和各種社會現象。
2. 時間：由過去、現在和未來構成連綿不斷的系統，是物質運動和變化的持續性表現，是物質存在的客觀形式，例如：時點、時段和時間屬性。
3. 空間：實體及其運轉存在的另一種客觀形式，可延伸到不同的維度上，如：場所、距離、途徑、方向。
4. 數量：實體的多少與計量，如：數值、計量、金額、歷時和頻率。
5. 行為狀態：人或實體表現出來的活動和形態，例如：物理行為、心理行為、狀態、關係、進化、關涉、改變、轉移。
6. 屬性：實體所具有的特性和關係，例如：外形、表象、顏色、味道、性質和環境等。其中外形指人或實體的外部形體屬性；表象指從外表可以觀察到的現象屬性；環境則是外界環境所具有的屬性。

因本文以水質感測網為實作對象，其知識概念主要可以分為感測資訊和地理資訊兩種類型，而上述分類的方法，具備實體、時間、空間、數量、行為狀態和屬性，相當符合感測資訊與地理資訊的特質，可作為建置感測網知識本體之概念體系的參考。

肆、知識本體的建置

建置知識本體須先掌握建置原則、瞭解建置步驟、分析概念的關係，分述如下：

一、知識本體的建置原則

知識本體乃是透過描述特定領域的概念、實體、詞彙和範疇的定義和關係，以了解真實的本質（Taylor & Joudrey, 2009）。為達到概念詞彙能精確地表達其意義以及資訊系統有效的運作，特別是用於智慧型代理人系統的知識本體，本文乃依 Gruber（1995）提出的五項設計和建置的原則為考量，各項內容如下：

(一) 明確性（Clarity）

特定概念詞彙的選用應客觀與獨立，完整定義各詞彙必要和充分的內容，可以運用正規的公理（Formal Axiom）確立各詞彙的限制和關係，明確知識本體有助於增加代理人系統的效能。

(二) 一致性（Coherence）

各概念詞彙的定義應維持一致性的推理，如果從公理運作推算出概念之間的關係違反定義，則該知識本體就不具備一致性，直接會影響到代理人系統的運作。

(三) 延展性（Extendibility）

知識本體可以運用既有的概念延展

臺灣大學學術期刊資料庫

出新的詞彙，而不必重新修改原有的架構。

(四) 最小編碼偏差（Minimal Encoding Bias）

概念化應以知識為層級而不是符號，不要過度依賴特定的編碼而喪失知識性。

(五) 最小本體性的約定（Minimal Ontological Commitment）

知識本體的結構越多、約定越多就越限制住使用的彈性，過多窄化性的概念詞彙將會限制個別代理人的效率。

知識本體的精確度視系統的需求而有程度上的差別，一般而言，往往會從必要的知識本體（Necessary Ontology）發展到特定的知識本體（Specialized Ontology），前者是代理人系統普遍需要的知識本體，後者則是同主題知識本體之間存在的特定差異性。

二、知識本體的建置步驟

根據相關文獻，知識本體的設計和建置步驟可分為六大項目，分別是：確認知識本體之領域範圍和目的、蒐集和概念化知識本體之領域知識、建立概念的分類與概念的關係、確認現成的知識本體、正規化以及評估（Hadzic et al., 2009；Uschold & Gruninger, 1996； 賈君枝、牛雅楠，2010）。

(一) 確認知識本體之領域、範圍和目的

關於領域知識的問題、涵蓋的範圍以及知識本體建置之目的，皆應於此步驟被充分地了解和確認，設計者可以針對四項提問以釐清此階段的重點內容：

1. 知識本體包含的領域知識為何？
2. 知識本體的用途為何？
3. 知識本體應提供何種類型問題的答案？
4. 誰是知識本體的使用者和維護者？

(二) 蒐集和概念化知識本體之領域知識

此階段為蒐集特定專業領域知識並將知識概念化，通常採用協同合作的模式，設計者經常透過專家學者訪談、問卷調查和文本分析以收集和分析概念。蒐集概念之後是羅列專業領域的術語詞彙清單及其代表的意義，可以透過資訊來源、相關資料的詮釋和分析作為詞彙定義和概念化的依據，就知識本體的設計過程而言，專業領域相關詞彙的確認是非常關鍵的步驟。

(三) 建立概念的分類與概念的關係

知識本體是一種概念分類的實踐，領域概念的歸類和分類取徑分為由上而下和由下而上兩種，由上而下方式是取自學科領域專家；由下而上概念的分類方式藉由文件分析，包含詞彙分析、概念的聚集等，並指出詞彙之間的關係、屬性和限定用法等。

臺灣大學學術期刊資料庫

(四) 確認現成的知識本體

建置和設計知識本體的過程中，需找尋和確認是否存在既有知識本體，並加以考量是否採用已開發的知識本體、加以修改，或重新建立另一個新的知識本體。

(五) 正規化

因為知識本體需要正式的表示語言，以便電腦能「讀取」、「瞭解」、和「執行」資訊，所以需透過一些編輯軟體正規特定的知識本體。

(六) 評估

建置知識本體的過程之中，應評估詞彙是否清楚定義，以及概念術語的一致性與詞彙邏輯關係，也應盡量避免或降低不一致、冗長或多餘情形的發生。此外，也可利用國外現成的知識本體評估工具— ODEval 與 OntoQA，針對知識本體知識語言表示，和知識本體的品質加以評估，包括知識本體結構設計和實例分布評鑑。

三、知識本體的概念關係

知識本體的關係可以用來聯結兩種不同實體或概念，並藉由定義多個不同概念或實體間彼此關係，包含概念和概念間、概念和實體間及實體彼此之間的關係（Gulla & Brasethvik, 2008），相關概念關係闡述如下：

(一) 上位和下位關係

上位和下位關係或稱屬種關係（即 Is_a 的關係），具上位關係的詞稱為「上位詞」，如交通工具是上位詞，汽車是下位詞。表示兩個概念，其中一個概念包含另外一個概念，如汽車和交通工具的關係，汽車是交通工具的一種，汽車被包含在交通工具的概念裡（黃居仁，2003；Cruse, 2002）。

(二) 涉入（Involve）關係

考量兩個概念、事件或實體的系統，有些是依靠涉入關係的連接，以實現邏輯上的推理與概念的繼承。例如：導致、肇因於、涉入角色（涉入施事者、涉入經歷者）及涉入工具等（場所、動向等），皆屬於涉入關係（黃居仁，2003），以本文為例，生態被破壞導致水中含氧量不足、有害藻類大量繁殖、魚類大量死亡等。

(三) 整體和部分（Part-Whole Relationship）關係

整體和部分關係可再細分為整體跟組成元件（Has_Hold_Part）、集合跟成員（Set-Member ）的關係、整體與組成成分（Portion）間的關係等（張建理，2001；黃居仁，2003）。本研究係指集合和成員的關係，如：河川／冬山河。

(四) 實例關係（Instance Of）

類別結構與實例之間存在著層次上的隸屬關係，每個實例可以在類別結

臺灣人文藝術期刊資料庫

構層面找到對應的類別，因此，整個實例可視為類別結構的下層結構，以表達概念的實例與概念之間的關係（鄧志鴻等，2002），例如：太平洋是海洋的實例。

(五) 因果關係（Cause-Effect Relation）

因果關係影響人們的思想、動機和採取的行動，並提供理性決策和問題解決的基礎。語言學家明確指出可以用使役動詞（Cause）表達因果關係（Khoo, Chan, & Niu, 2002），而「因果力（Causal Powers）」的概念，即是若 X 對 A 產生因果力，表示在適當條件下，藉助內部固有性質，包括與外界環境的關係，X 能夠造成或影響 A，例如：水質的污染會造成生態上的破壞（范冬萍、嚴澤賢、張華夏，2010）。

(六) 行動關係（Action Verbs）

當我們描述一個事件，主體和客體的參與，傾向歸「因」於行動者，行動者可以是有生命和無生命（Khoo, Chan, & Niu, 2002）。如特定單位採取對內或對外發布的行動，係因感測器監測到水質污染，宜蘭縣政府環境保護局等決策單位依水質污染的程度，所採取的因應措施和行動。

大致而言，知識本體的概念關係之特色為繼承，即概念語意具有繼承類別的屬性、關聯和邏輯推理，成為知識處理功能的重要機制（黃居仁，2003）。

伍、感測網知識本體之實作

本研究以龍德水質監測系統作為建置知識本體之實作對象，根據文獻所得（Hadzic et al., 2009；Uschold & Gruninger, 1996；賈君枝、牛雅楠，2010）和考量現實情境，建置步驟可依時間序列分為規劃期與操作期，以下先介紹龍德水質監測系統，其次說明規劃期與操作期的內容。

一、龍德水質監測系統

龍德水質監測系統是經濟部科技研究發展專案—感測網技術應用在污染防治之研究計畫（專案計畫資訊詳如 : http://demo.tgic.org.tw/osiris_tw/main/Activity/SignUp.aspx）的內容之一，監測系統乃由宜蘭縣政府環境保護局及工業區服務中心共同規劃，經相關單位實地勘查和檢驗後，於宜蘭縣龍德及利澤工業區下水道中規劃設置 20 組可拆卸之固定式水質監測設備。監測器設置地點除了利澤工業區於利澤大排設置 1 組之外，其餘 19 組均分佈於龍德工業區下水道內，共於宜蘭地區設置 20 組感測器。所有感測器所監測到的數據資料均存入專屬資料庫，並依宜蘭縣政府環境保護局業務需求，將監測之水質項目及監測數值轉存至 Excel 報表式電子檔，監測頻率為至少每秒一組監測值（國立臺灣大學、財團法人臺灣地理資訊中心，2010a）。

系統功能利用 GIS 技術，以 Google Map 作為顯示平台，提供各類

臺灣大學學術期刊資料庫

型資料，包括「測站資訊」、「即時監測」水質數據、「即時影像」、「追蹤廠區」之測站對應工廠資料的查詢功能；利用 Google Map 加值平台進行空間資料查詢，點選測站編號圖示即可獲得相關空間資訊，透過圖形化的呈現，方便管理者視覺化快速查詢相關監測資料。當所建置之水質監測設備感測器監測出濃度達到警戒值時，監測系統具有自動發送簡訊至指定行動電話之能力；發展決策支援系統模組，當異常警訊發生時，透過事前的設定，系統會自動帶出其對應的資訊。包括其污染影響程度、嚴重等級、影響範圍及應變措施等，並以圖形的方式呈現，管理者可透過此介面判斷事件處理的標準程序，進行後續處理（國立臺灣大學、財團法人臺灣地理資訊中心，2010a，2010b，2010c）。

二、規劃期

本研究參考 Hadzic et al. (2009)；Uschold & Gruninger (1996)；賈君枝、牛雅楠（2010）的看法，製定規劃期的內容共計四項，首先是確認水質感測知識本體之社群、目的和領域範圍，其次蒐集和概念化領域知識，並建立概念分類和關係，最後是選擇建置軟體，說明如下：

(一) 確認水質感測網知識本體的社群、目的和領域範圍

感測網知識本體社群包含使用者、代理人和設計者三種社群，龍德水質監測系統的知識本體社群之使用者乃是宜蘭縣政府環境局、工業區服務中心、龍德工業區廠商，以及環境相關行政機構，如行政院環保署等；而代理人則是一組電腦程式，由客戶端（Client）和伺服器端（Server）的程式組成，包括使用者介面代理人、水質自動監測設備連續運作及發出警訊代理人兩部份，期以模擬感測網所傳來之資料，依時間執行資料區間的解析、推論及發送訊息；設計者主要包括地理資訊、資訊工程、圖書資訊背景成員的協同合作。

知識本體建置之目的為清楚定義和描述水質監測的知識體系，以提供代理人系統運算、自動執行解析和判斷，若有異常狀況出現時，即時發揮預警功能，幫助管理者瞭解和判斷可能影響的範圍和程度，提供初步採取處理之行動。水質感測網知識本體為達到上述目標，特定的領域範圍乃配合監測設備連續蒐集的數據資料，包括在既有龍德水質監測系統中的監測項目（水溫、pH 值、溶氧量、導電度）、區域範圍（都會區、河川、海洋）、污染程度（輕度、中度、嚴重、正常）、影響情形（生態及健康）以及採取行動（發佈和送醫院）等項目的定義和關係，建構出決策支援模組的知識本體。

(二) 蒐集和概念化水質感測網的領域知識

感測網相關領域知識收集和概念化是一種協同合作過程，涵蓋了專精領域知識的地理環境資源專家、負責知識組織和分類的圖書資訊學人才以及熟悉代

臺灣本島圖書館期刊資料庫

理人 JADE 程式設計的資訊工程人員，透過三方面跨學科合作，共同合作完成計畫。

研究者（圖書資訊學背景）即應用資訊組織的專長，與其他學科專家人員共同合作建立知識領域的相關詞彙、概念和知識間關係的連結。以此為例，根據感測網監測項目、系統功能任務作為蒐集詞彙概念的準則，並透過跨學科人員的晤談，以及行政院環境保護署「全國環境水質監測資訊網」作為概念化明確描述的依據，逐一表列概念清單及其意義，例如：水溫、pH 值、溶氧量、導電度、中度污染、輕度污染、嚴重污染、都會區、河川、海洋、生態、健康等詞彙及關係。

(三) 建立水質感測網的概念分類和關係

概念分類有助於知識本體結構化地呈現各項概念的關係，本研究係以馮志偉（2005）主張知識本體的六項初始概念及其下位概念作為概念分類的主要依據。以龍德水質監測系統環境監測概念分類為例說明，詳如圖 1。

1. 實體係指每支感測器所監測的項目，包括如水溫、pH 值、導電度、溶氧的數據資料；
2. 數量是指感測器所監測到的數值資料，並進而與環保署所規定的污染程度（輕、中、嚴重、正常）標準數值相對照，以得知目前的水質情形；

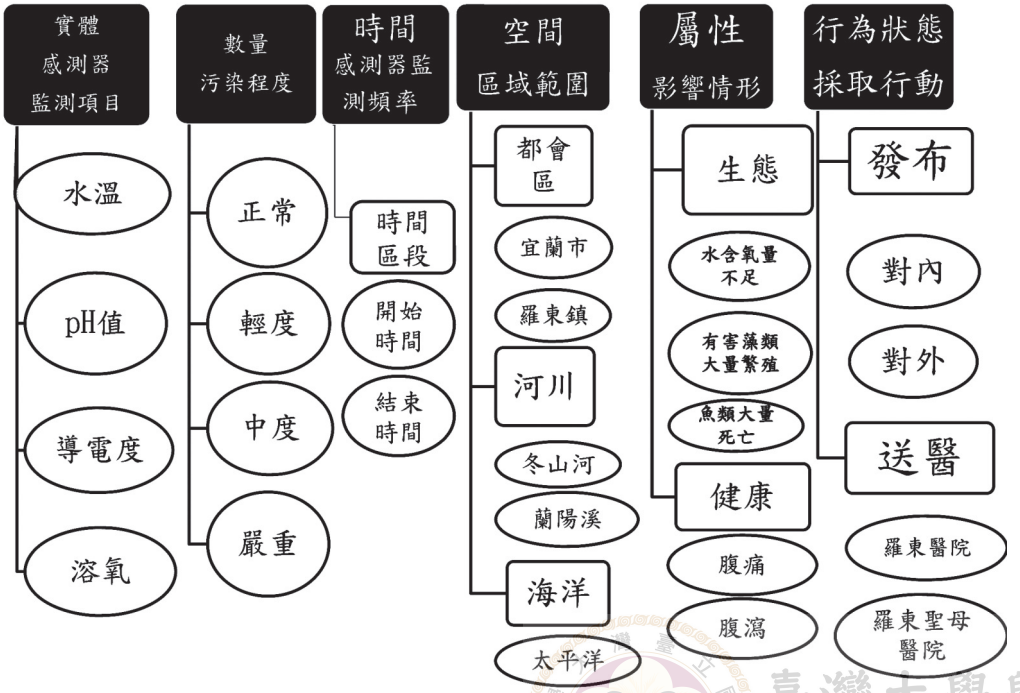


圖 1　概念分類圖

臺灣大學學術期刊資料庫

3. 時間是在某一時間點內（包括時間的區段，開始與結束，以年、月、日、時間表示），感測器所監測的項目。監測頻率可依需求調整，最高可達每秒一組，目前常態運作為 30 秒更新一次，監測資料可匯出成為 Excel，製作相關年度報表、季報表、月報表、週報表、日報表，進行歷史資料報表產製；
4. 空間係指活動地點，即感測器的監測區域範圍，如都會區（宜蘭市和羅東鎮）、河川（冬山河和蘭陽溪）、海洋（太平洋）；
5. 屬性是事物具有的特性和關係，以表象（從外表可以觀察的現象屬性）而言，換言之，即感測網監測到的數據資料所引起環境變化的外顯現象，如因污染導致的現象有腹瀉和腹痛的健康問題；及有害藻類大量繁殖、魚類大量死亡、水含氧量不足的生態現象。
6. 行為狀態可分為物理行為、關係和關聯，首先在物理行為方面，指的是行政管理人員對感測網監測到的環境變化上的反應行為和決策。以本研究為例，即是宜蘭縣政府環境保護局人員透過感測網得知水質遭受污染，即緊急對內或對外發佈污染警訊；其次是關係方面，指感測網監測的資料對環境變化所引起的相互作用和影響，如水質污染造成生態或健康的影響；最後是關聯方面，則是指感測網監測到的環境變化引發採取的行動，如感測網一旦監測到水質輕度污染時，行政管理人員採取對內外發佈污染警訊，若造成水質嚴重污染，並察覺有受害人員，則送醫處理。

將上述概念分類利用階層和關聯建立彼此之間的關係，關係的表示如 Is-a、Has_Location、Has_Degree 或 Has_Cause 等（如圖 2）。

以狀況一為例模擬各概念關係（詳見如圖 3），感測器監測到宜蘭市區水質的 pH 為 5.7，介於輕度污染的範圍（5.5 ～ 5.9），判斷屬於輕度污染，可能會造成生態上之影響，因此採取之行動為對內發佈。

在蒐集水質感測網概念和建立水質感測網知識本體的同時，也上網搜尋並確認是否已有現成的感測網知識本體，可以直接將現成感測網知識本體整合運用，最後未能發現符合本研究特定任務需求的知識本體，因此決定自行根據任務內容，建置適合本案例水質感測網的知識本體。

(四) 選擇建置軟體

目前支援知識本體的編輯軟體工具多達數十種，功能、知識本體語言支持能力、表達能力，可擴展性、靈活性和易用性各不相同。其中較著名的包括由美國史丹福大學的媒體資訊學研究所（Standford Media Informatic, SMI）研發的 Protégé；德國卡爾斯魯厄大學（University Karlsruhe）發展的 KANO；德國 Ontoprise 企業設計的 OntoEdit 以及英國曼徹斯特大學（University of Manchester）研發的 OilEd 等軟體工具（劉煒、李大玲、夏翠娟，2005）。

本研究選用 Protégé 3.4.1 版作為

臺灣大學學術期刊資料庫

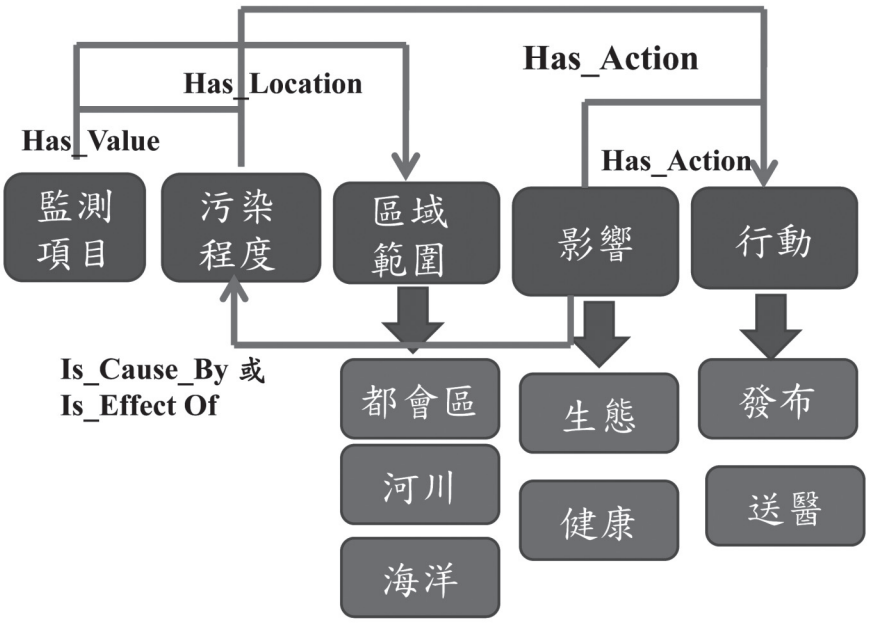


圖 2　概念與概念之間的關係

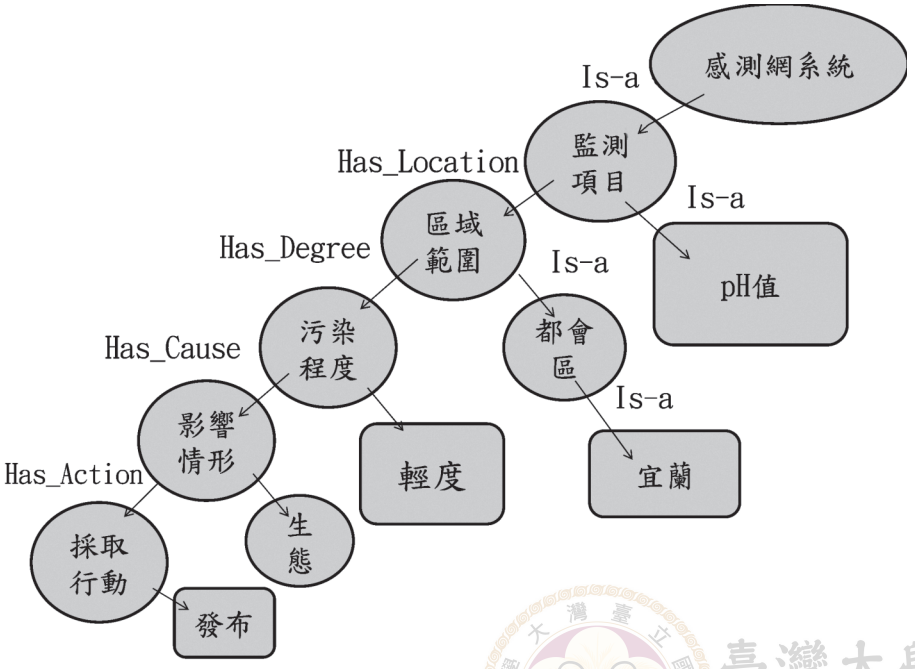


圖 3　狀況一：感測器監測資料模擬各概念關係

臺灣大學學術期刊資料庫

建置知識本體的工具，主要的考量為 Protégé 是一種自由、開放原始碼的知識本體編輯軟體，以 Java 為基礎，可用 Protégé-Frames 和 Protégé-OWL 兩種方式編輯知識本體，轉出格式包括 RDF(S)、OWL 和 XML。Protégé 具備延伸性、開放性、可塑性以及快速建構知識框架雛形的優勢，並能讓使用者自行開發子系統附掛於支援的系統，成為當前最普遍使用的知識本體編輯器之一（Stanford Center for Biomedical Informatics Research, 2011；潘紫菁，2006）。

三、操作期

本研究選用 Protégé 編輯知識本體，使之具備正規的表示語言，以便代理人能讀取、瞭解和執行知識本體的資訊，各項 Protégé 的操作包括建立類別、次類別、個體、屬性關係、限制條件、視覺化呈現以及 OWL 語法，介紹如下：

(一) 建立類別（Class）和次類別（Subclass）

開啟 Protégé 編輯頁面，點選 OWL Class 圖示，分別新增建立五個主類別和七個次類別，主類別包含監測項目（Monitor_Entity）、區域範圍（Area）、污染程度（Polution_Degree）、影響情形（Influence）和採取行動（Action）。次類別為區域範圍之下的都會區（Urban）、河川（River）、海洋（Ocean）；影響情形之下的次類別生態（Ecology）和建康（Health）；及採取行動之次類別發佈（Announce）和送醫（Hospital），Protégé 範例畫面如圖 4。

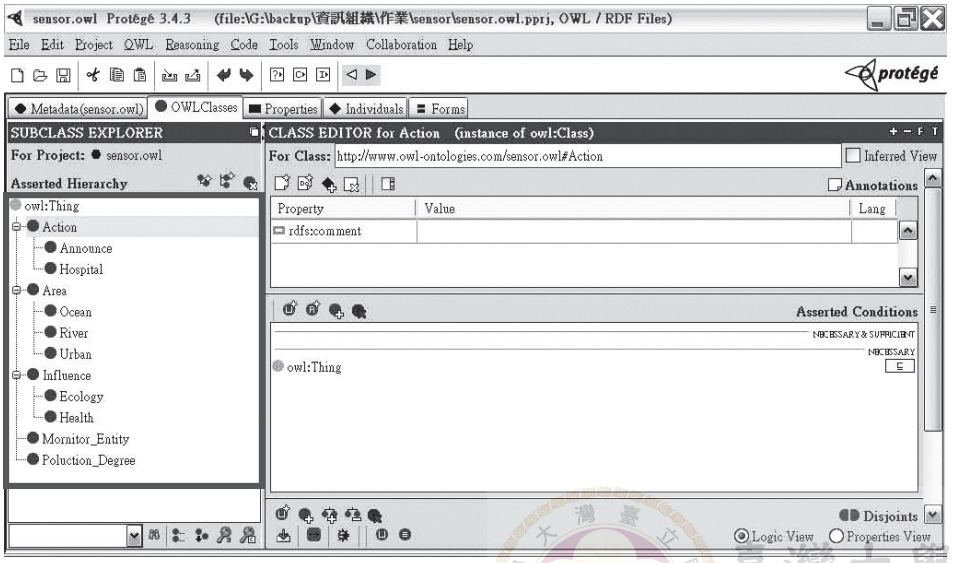


圖 4　建立類別、次類別

臺灣大學學術期刊資料庫

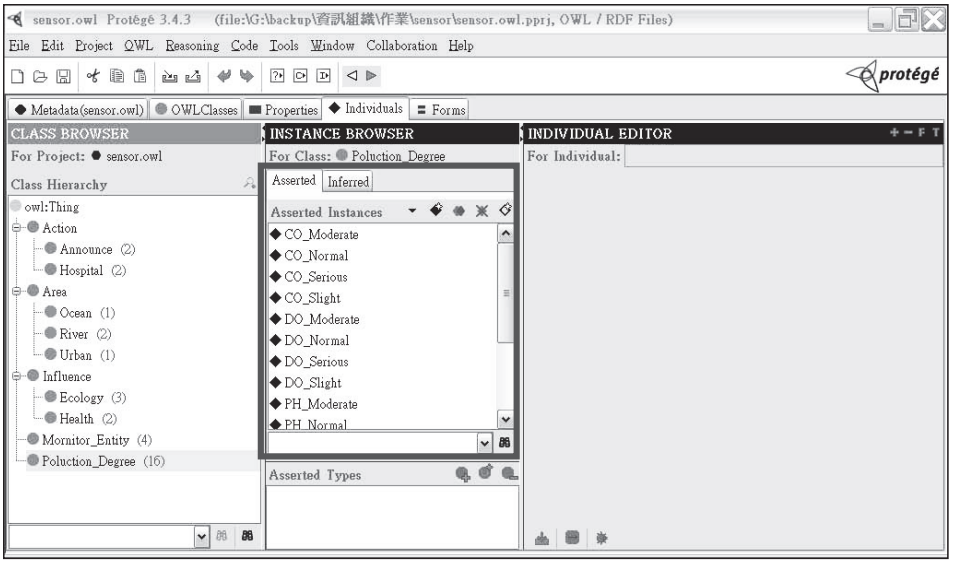


圖 5　建立個體

(二) 建立個體（Individual）

新增個體的做法是點選 Protégé 的 Individuals 圖示，建立水溫（TP）、pH 值（pH）、導電度（CO）、溶氧（DO）四項個體；都會區的個體有宜蘭市（I_Lan）和羅東鎮（Lo-Don）；河川則分為冬山河（Do_San_River）和蘭陽溪（Lanyang）；海洋有太平洋（Pacific）；污染程度分為正常（Normal）、輕度（Slight）、中度（Moderate）、嚴重（Serious）。生態上包含水含氧量不足（Water_Hypoxia）、有害藻類大量繁殖（Harmful_Algaae_Thrive）、魚類大量死亡（Mass_Mortality_of_Fish）；健康上則是腹痛（Abdominal_Pain）和腹瀉（Diarrhea）；發佈的個體如對內（Inner）和對外（Outer）兩種情形；送醫院的個體則為羅東醫院（Luodong）和羅東聖母醫院（Saint_Mary_Hospital）。

以污染程度為例，分別建立水溫、pH 值、導電度、溶氧四項監測個體，以及四種污染程度：正常、輕度污染、中度污染、嚴重污染，計 4×4 ＝ 16 種情況（個體），便於輸入 16 項個體之對應的污染值。本文限於畫面呈現的空間，僅說明導電度、溶氧的輸入情形，分別是導電度正常（CO_Normal）、導電度輕度污染（CO_Slight）、導電度中度污染（CO_Moderate）、導電度嚴重污染（CO_Serious）；溶氧正常（DO_Normal）、溶氧輕度污染（DO_Slight）、溶氧中度污染（DO_Moderate）以及溶氧嚴重污染（DO_Serious），詳如圖 5。

(三) 建立屬性關係（Properties）

定義類別間之屬性關係，係因知識本體中不同概念間或實體間，彼此具有關聯性和個體具有繼承類別屬性關係

臺灣博碩士論文知識加值系統 期刊資料庫

兩種特色。本研究各概念之間的屬性關係分別有 Has_Location 表示監測項目和區域範圍兩類別的概念關係；監測項目和污染程度類別具 Has_Value 之屬性關係；污染程度和影響情形兩類別的互為因果關係，即是 Is_Cause_By 或 Is_Effect_Of 關係；以及 Has_Action 之行動關係，包括污染程度與採取行動類別、影響情形與採取行動類別，因感測器監測到污染程度，促使宜蘭縣政府環境保護局人員針對污染和影響情形，採取更進一步的行動，爰此這些概念間的關係是 Has_Action 的行動關係，詳如圖 6 的說明。

為建立屬性關係可利用 Protégé 之 Properties 功能，新增建立各種屬性關係，如新增 Has_Action 的關係，需於定義域（Domain）和值域（Range）中選定相關聯的概念類別。以 Has_Action 關係為例，影響情形為其定義域，採取行動則是值域，詳如圖 7。

(四) 建立數值、量詞（Quantifier）和限制（Restrictions）的條件

研究者主要根據行政院環境保護署（1993）公布之「地面水體分類及水質標準」蒐集感測網監測項目（水溫、pH 值、導電度、溶氧）之水質污染指標（正常、輕度、中度、和嚴重程度）的數值，詳如表 1，以水溫為例，水溫的正常值是介於 10 ～ 25℃ 範圍內，輕度污染數值指 26 ～ 30℃ 區間，中度污

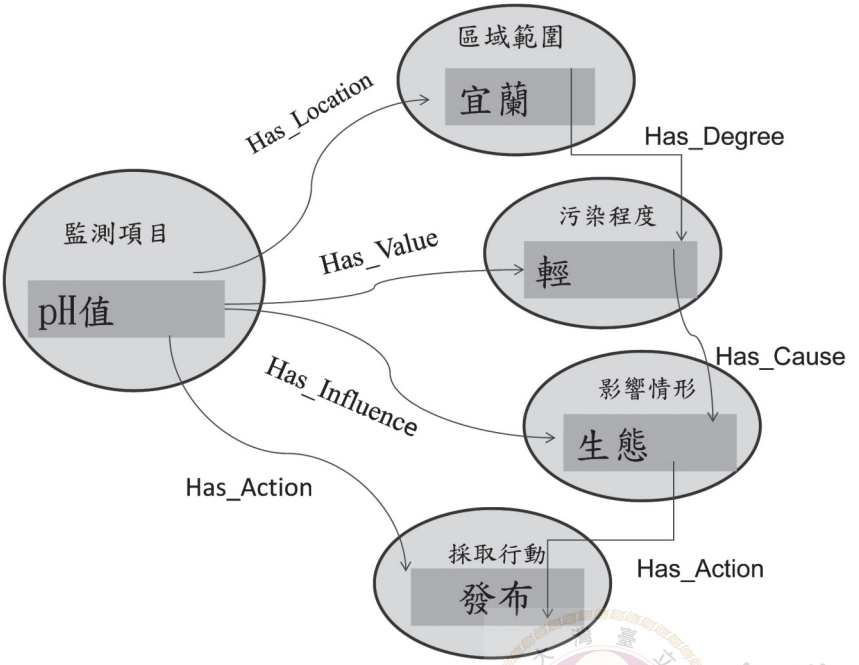


圖 6　各概念之間的屬性關係圖

臺灣大學學術期刊資料庫

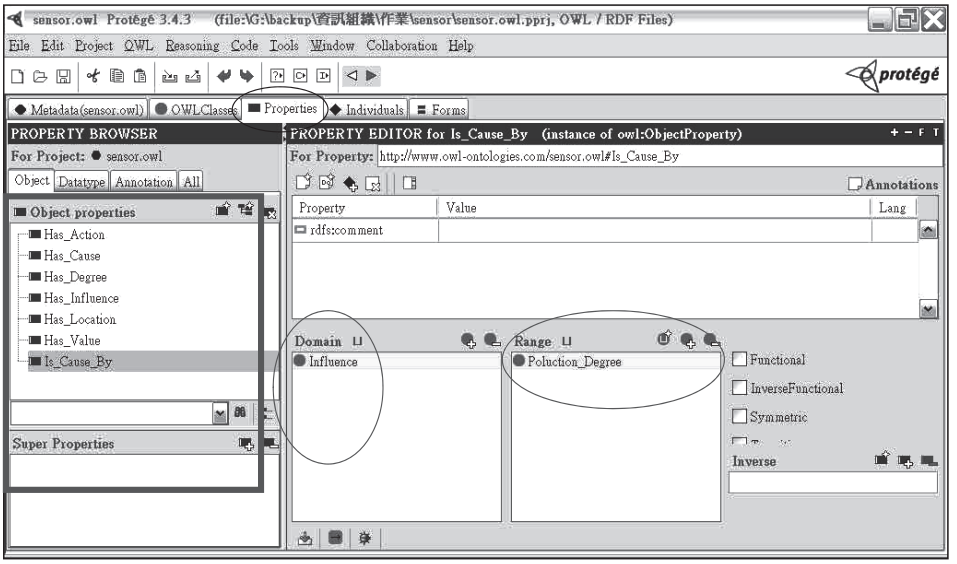


圖 7　建立屬性關係

染是介於 31 ～ 40℃ 範圍，≧ 41℃ 則屬嚴重污染。當感測器監測站所傳回的監測項目數值和指標的數值比對，若超出水質污染正常指標，感測器依感測的數值及標準值，模擬可能造成的生態破壞或健康危害之影響情形，系統進一步判讀應採取何種因應策略，即時提供決策資訊，以利宜蘭縣政府環境保護局人員採取發布警訊或送醫治療的行動。

Protégé 建立監測項目之資料值，如圖 8，於 hasnumber 欄位處輸入導電度正常指標（CO_Normal）的數值≦ 749，導電度輕度指標（CO_Slight）的數值≧ 750 和≦ 999，以此類推，逐一輸入 16 種情形的數值。

表 1　監測項目與水質污染指標

污染程度	水溫（℃）	pH 值	導電度（μmho / cm）	溶氧（毫克／公升）
正常	10 ～ 25	≧ 6.0	≦ 749	≧ 6.5
輕度	26 ～ 30	5.5 ～ 5.9	750 ～ 999	4.6 ～ 6.5
中度	31 ～ 40	5 ～ 5.4	1000 ～ 1999	2.0 ～ 4.5
嚴重	≧ 41	≦ 4.9	≧ 2000	≦ 2.0

臺灣大學學術期刊資料庫

限制條件的類型包括量詞，如some、all、a lot of、many等，量詞可細分為存在量詞（Existential Quantifier）和全稱量詞（Universal Quantifier）兩種。存在量詞係指「有一些（At Least）」，以符號∃表示；全稱量詞指涉「唯一（Only）」的概念，以（∀）符號表示。

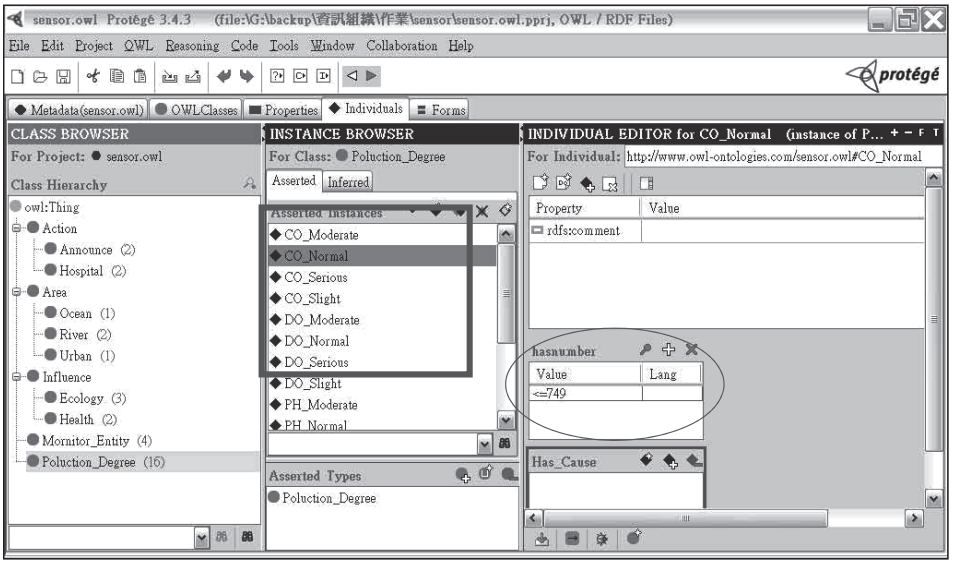


圖 8　輸入監測項目資料值

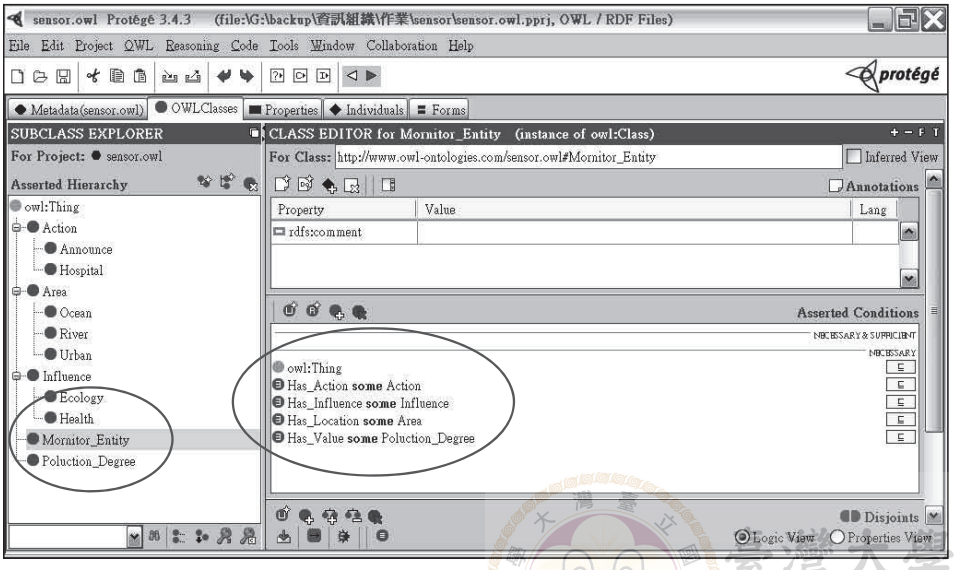


圖 9　建立監測項目限制的屬性和限定的量詞條件

臺灣大學學術期刊資料庫

由於感測網的監測數值，隨著感測器監測時間的時間點不同，在感測器監測項目中將在污染程度（Has_Value）、區域範圍（Has_Location）、影響情形（Has_Influence）和採取行動（Has_Action）方面，產生不同的數值。爰此，感測器所監測到的數值不可能是唯一，而是「至少有一些」的概念，故在限制條件方面，選用存在量詞（∃）。

Protégé 之限制條件及輸入各資料值畫面如圖 9 所示，選定在 OWL Class 的監測項目建立新的限制關係（Create Restriction），輸入選定限制的屬性和限定的量詞∃符號。

(五) 視覺化呈現知識本體之結構

Protégé-OWL 具備多種外掛程式及工具集，可協助視覺化和圖形化以呈現知識本體之架構，如 OntoViz、OWLVizTab、TGVizTab、JambalayaTab 等，其中 Jambalaya 外掛程式將知識本體圖形化，以 Nested TreeMap 或 Class&Instant Tree（稱為 ShriMp）呈現。雖然黃偉航（2007）認為當知識本體關係複雜時，Jambalaya 的呈現是符號和文字位於同一個節點，令使用者較難以瞭解各類別之間的關係為其主要缺點，然其快速、簡單操作以及容易發掘和克服系統錯誤訊息等優勢，仍可作為知識本體視覺化呈現的有效工具之一。

Protégé 之 Jambalaya 外掛程式的設定和啟動如圖 10，先點選 Project 下之 Configure，並於 Configure File 中勾選 Jambalaya。

設定完成 Jambalaya 外掛程式，點選 Jambalaya 即可呈現知識本體視覺化之架構，可點選快速查看

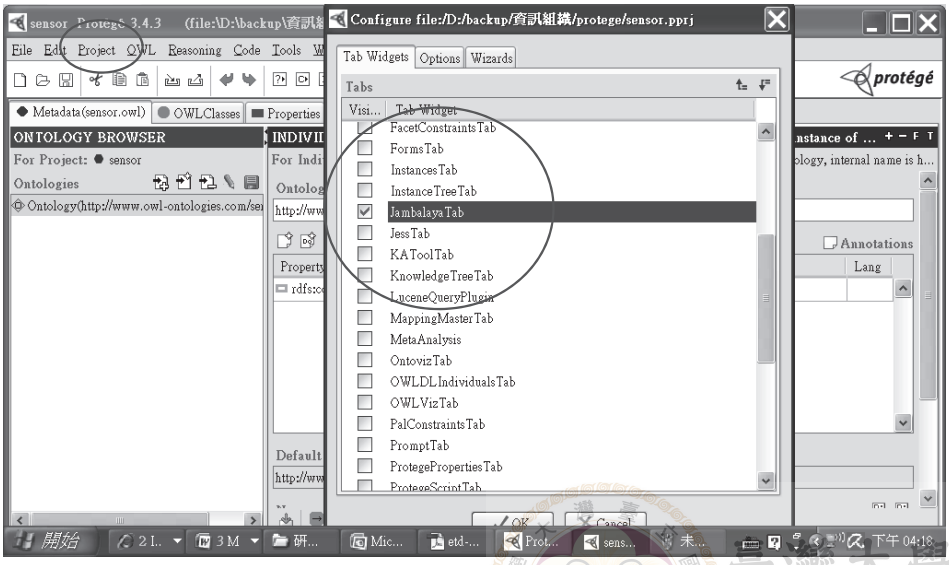


圖 10　Protégé 之 Jambalaya 外掛程式

臺灣大學學術期刊資料庫

（Quick View）之巢狀複合圖（Nested Composite View），即可呈現類別之間的屬性關係和限制條件之巢狀圖，如圖 11。

亦可依使用者喜好，於快速查看中點選類別和個體樹狀圖（Class & Individual Tree），利用拖拉式即可呈現知識本體之樹狀架構圖，如圖 12。

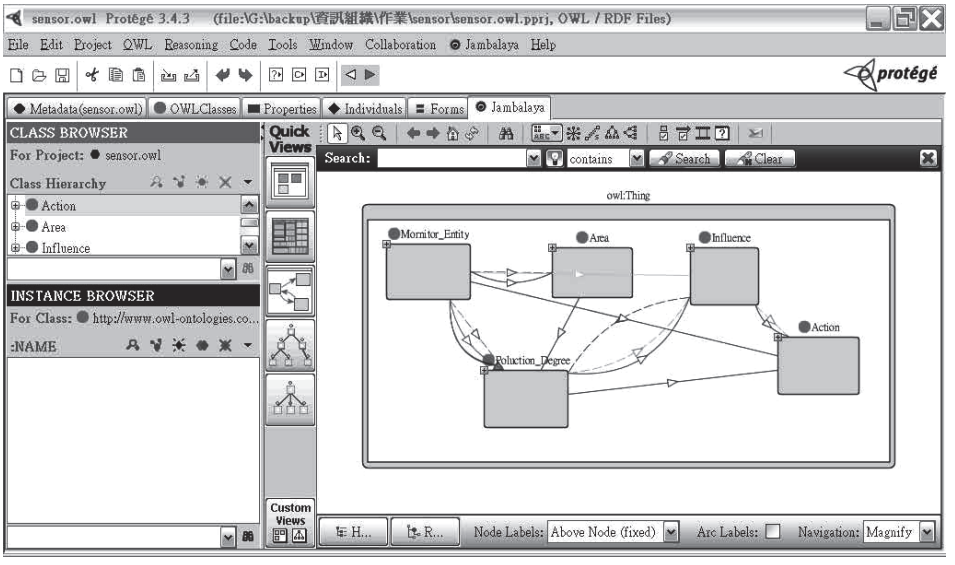


圖 11　知識本體之巢狀複合圖

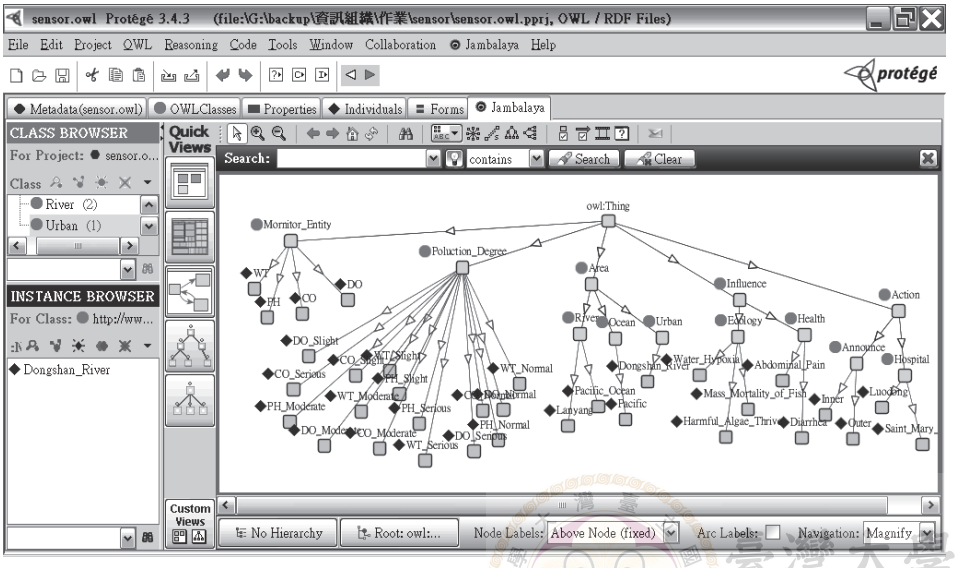


圖 12　知識本體之樹狀架構圖

臺灣大學學術期刊資料庫

Protégé-OWL 為一自由開放原始碼，在視覺化呈現上並未如視覺軟體美觀和易懂，但若欲以視覺化呈現知識本體之結構，Jambalaya 外掛程式所展現的巢狀複合圖和樹狀架構圖（如圖 11 和圖 12）可供最基本和替代方案的參考，如同黃偉航（2007）所言，當知識本體關係複雜時，Jambalaya 的呈現因符號和文字位於同一個節點，令使用者較難以瞭解各類別之間的關係是其主要缺點，然其快速、簡單操作以及容易發掘和克服系統錯誤訊息等優勢，仍可作為知識本體視覺化呈現的有效工具之一。

(六) 感測網部份 OWL 語法

Protégé 建置完成會產生 owl、ppr 和 repository 之檔案，其中 owl 檔案即記載 Protégé 之 OWL 語法。圖 13 說明感測網知識本體類別之間關係的範例之一，例如：區域範圍（Area）中的河川（River）和都會區（Urban）一般化類別，而區域範圍、河川和都會區彼此是包含的關係，因此 Protégé 之 OWL 語法以 subClassOf 表示此關係。

實體概念屬性用以規範不同類別的兩個概念之間的關係，以感測網知識本體為例，如圖 14 的 OWL 語法說明其宣告概念的屬性是 Is_Cause_By、Has_Value、Has_Location、Has_Action， 並指明其定義域（造成的影響情形）及值域（污染的程度），Protégé 之 OWL 語法係說明感測器監測水溫值屬輕度污染時，將使蘭陽溪（Lanyang）造成有害藻類大量繁殖，因此建議管理者採取的行動是對外發佈，以有效嚇阻不肖業者偷排放污染廢水之情事。

綜合而言，本研究的實作涵蓋了知識本體的規劃與操作，其任務包括確認知識本體社群、目的和知識領域範圍，蒐集有關水質污染的知識和概念，建立監測項目對照污染程度的數值資料，選擇和操作 Protégé 以執行知識的正規表示語言，然後利用代理人程式連接知識本體，分析判斷所傳送的訊息是否已達到警戒值，以期發展一智慧型系統。如系統監測到 pH 值若為 5.7，判斷屬輕度污染程度（5.5 ～ 5.9），系統即自動

```
</owl:Class>
<owl:Class rdf:ID="River">
  <rdfs:subClassOf rdf:resource="#Area"/>
                    </owl:Class>
<owl:Class rdf:ID="Urban">
  <rdfs:subClassOf rdf:resource="#Area"/>
</owl:Class>
```

圖 13　OWL 語法範例

臺灣大學學術期刊資料庫

```
<owl:ObjectProperty rdf:ID="Is_Cause_By">
  <rdfs:range rdf:resource="#Poluction_Degree"/>
  <rdfs:domain rdf:resource="#Influence"/>
</owl:ObjectProperty>
<owl:ObjectProperty rdf:about="#Has_Value">
  <rdfs:domain rdf:resource="#Mornitor_Entity"/>
  <rdfs:range rdf:resource="#Poluction_Degree"/>
</owl:ObjectProperty>
<owl:ObjectProperty rdf:about="#Has_Location">
  <rdfs:domain rdf:resource="#Mornitor_Entity"/>
  <rdfs:range rdf:resource="#Area"/>
</owl:ObjectProperty>
<owl:ObjectProperty rdf:about="#Has_Cause">
  <rdfs:domain rdf:resource="#Poluction_Degree"/>
  <rdfs:range rdf:resource="#Influence"/>
</owl:ObjectProperty>
<owl:ObjectProperty rdf:about="#Has_Action">
  <rdfs:range rdf:resource="#Action"/>
  <rdfs:domain rdf:resource="#Influence"/>
</owl:ObjectProperty>
<owl:DatatypeProperty rdf:ID="hasnumber">
  <rdfs:domain rdf:resource="#Poluction_Degree"/>
  <rdfs:range rdf:resource="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#string"/>
</owl:DatatypeProperty>
<poluction_degree rdf:ID="WT_Slight"/>
<mornitor_entity rdf:ID="WT"/>
<Ecology rdf:ID="Harmful_Algae_Thrive"/>
<river rdf:ID="Pacific_Ocean"/>
<river rdf:ID="Lanyang"/>
<Announce rdf:ID="Outer"/>
```

圖 14　OWL 語法簡單範例

臺灣大學學術期刊資料庫

發送簡訊或電子郵件於管理中心網頁，通知相關管理人員進行處理，以預防災害的發生。

陸、結語

隨著全球自然環境的快速變化以及各種科技工具的日益進步，發展環境監測系統成為世界各國極為關注的課題，而水質污染因為攸關人民的日常生活，亟需開發智慧型感測網以利即時掌控相關資訊，俾便即早因應或防患未然。本研究以宜蘭縣龍德工業區的水質感測網為實作對象，運用知識本體、代理人系統以及 SWE 的技術，順利完成模擬式之智慧型水質感測網的建置，達到即時發布決策資訊的目標。

智慧型水質感測網的建置是一種跨領域、跨學科的合作，異質性的學科背景正可帶給感測網豐富的生命色彩。以本研究為例，研究者以圖書資訊學的專長，運用了資訊分析、知識領域概念化以及建立概念詞彙屬性和關係等能力，完成知識本體的建置。知識本體在整個智慧型感測網中扮演決策判斷的角色，賦予系統技術的靈魂，使之具有智慧般的生命，可即時和動態地推論與決策，成為一智慧型系統。研究者雖然缺乏 GIS、代理人和 SWE 的專精知識，但透過跨學科持續的溝通磨合，摸索不同背景成員之間的慣用語，推敲語意之外的行動，增長彼此的智能，即時完成一項具有任務性的協同合作，實為一珍貴的歷程，期許能作為圖書資訊學資訊組織專業跨領域合作的經驗。

以知識本體為基礎的感測網，因具備領域知識、概念範疇、概念關係等特質，足以有效支援代理人完成系統的目的。本研究的知識本體建置過程，歷經了確認知識範疇與意義、建立概念分類和關係以及操作編輯軟體等步驟，雖已順利完成知識本體之建置，但礙於經驗和時間，未能深入評估知識本體之完整性。據此，本研究建議未來可利用現有的知識本體評估工具加以檢驗，例如使用 ODEval 求證 RDF(S)、OWL 語言表示的正確性；利用 OntoQA 檢視知識本體結構設計的品質；運用 OntoManager 評估知識本體是否符合使用者的需求（賈君枝、牛雅楠，2010），以期提昇水質感測網知識本體的品質。

此外，本研究為水質感測網之小型模擬實作，透過知識本體、代理人及 SWE 技術，雖已可初步提供「感測網智慧型環境監測系統」之雛型，然而因位於宜蘭縣龍德工業區的水質監測系統尚處於營運初期，並未累積相當程度的數據資料，再加上感測網本身的有關標準及資料格式之整合和統一尚未成熟，所以對於知識本體的整體效能，假以時日仍須重新檢視。

致謝

感謝臺灣大學圖書資訊學系陳雪華教授與地理環境資源學系孫志鴻教授之指導，鍾崴仁工程師、沈俊祺同學在知識本體之建置過程中的跨領域協同合作，以及榮峻德助教的協助，並感謝三位審查者寶貴的意見。

臺灣博碩士學術期刊資料庫

參考文獻

行政院環境保護署（1993）。*地面水體分類及水質標準*。上網日期：2011 年 4 月 5 日，檢自 http://www.watertec.com/epa/lls.htm

行政院環境保護署（2009）。*環保署預告修正「水污染防治措施及檢測申報管理辦法」部分條文草案*。上網日期：2011 年 4 月 2 日，檢自 http://ivy5.epa.gov.tw/enews/Newsdetail.asp?InputTime=0981007101046&MsgTypeName=%B7s%BBD%BDZ

行政院環境保護署（2011）。*全國環境水質監測資訊網*。上網日期：2011 年 4 月 5 日，檢自 http://wqshow.epa.gov.tw/

李健興、張詠淳、黃雅琴、郭耀煌、許舜欽（2006）。基於 Ontology 之專案監控知識管理之研究。*理工研究學報，40*(1)，69-87。

李樹宏（2008）。傳感器技術的新發展：傳感器萬維網。*紅外，29*(2)，31-37。

林俊全、孫志鴻、江昭凱、莊振義、梁偉文、戴慧玲等（2010）。感測網在水汙染監測之應用研究：國內外案例探討與應用分析。*化工技術，206*，80-95。上網日期：2011 年 4 月 10 日，檢自 http://demo.tgic.org.tw/osiris_tw/download/f01/f01-2.pdf

范冬萍、嚴澤賢、張華夏（2010）。*複雜系統的下向因果關係：因果概念分析與系統動力分析的交義視野*。上網日期：2010 年 4 月 20 日，檢自 http://philosophy.sysu.edu.cn/kxzx/UploadFiles/2010122116499822.pdf

孫志鴻、林俊全、江昭皚、莊振義、梁偉文、蕭培元等（2010）。感測網在污染監測之應用研究：新一代智慧型環境監測系統之研究。*化工技術，18*(9)，146-169。上網日期：2011 年 4 月 10 日，檢自 http://demo.tgic.org.tw/osiris_tw/download/f01/f01-3.pdf

孫志鴻、錢克瑄（2008）。感測網與空間資料基礎建設整合的展望。*國土資訊系統通訊，69*，60-67。

孫志鴻、榮峻德（2009）。臺灣環境監測總系統。*研考雙月刊，33*(6)，35-48。

張建理（2001）。語義包含關係及其傳遞性。*外語研究，總 67 期*，55-58。

馮志偉（2005）。從知識本體談自然語言處理的人文性。*語言文字應用，4*，1-9。上網日期：2010 年 4 月 20 日，檢自 http://www.lingviko.net/feng/ontolMT.pdf

馮志偉（2006）。術語學中的概念系統與知識本體。*術語標準化與信息技術，1*，1-8。上網日期：2011 年 4 月 18 日，檢自 http://www.lingviko.net/feng/term-ontology.pdf

國立臺灣大學、財團法人臺灣地理資訊中心（2010a）。*感測網技術應用在污染防治之研究：污染防治感測網整體規劃報告*（經濟部科技研究發展專案學研臨合研究計畫）。上網日期：2011 年 11 月 30 日，檢自 http://demo.tgic.org.tw/osiris_tw/download/f04/f04-3.pdf

臺灣大學學術期刊資料庫

國立臺灣大學、財團法人臺灣地理資訊中心（2010b）。*感測網技術應用在污染防治之研究：OSIRIS 導入國內應用可行性分析*（經濟部科技研究發展專案學研臨合研究計畫）。上網日期：2011 年 11 月 30 日，檢自 http://demo.tgic.org.tw/osiris_tw/download/f04/f04-2.pdf

國立臺灣大學、財團法人臺灣地理資訊中心（2010c）。*感測網技術應用在污染防治之研究：感測網現況分析報告*（經濟部科技研究發展專案學研臨合研究計畫）。上網日期：2011 年 11 月 30 日，檢自 http://demo.tgic.org.tw/osiris_tw/download/f04/f04-1.pdf

黃居仁（2003）。語意網、詞網與知識本體：淺談未來網路上的知識運籌。*佛教圖書館館訊，33*，1-21。

黃偉航（2007）。*以 E-R 圖表展現 OWL 關係的自動化工具*。未出版之碩士論文，國立雲林科技大學電子工程研究所，雲林縣。

賈君枝、牛雅楠（2010）。本體評估工具的比較分析。*圖書情報工作，54*(6)，87-90。

潘紫菁（2006）。*應用本體論強化軟體技術之知識管理*。未出版之碩士論文，國立成功大學工程科學研究所，臺南市。

鄧志鴻等（2002）。Ontology 研究綜述。*北京大學學報（自然科學版），38*(5)，730-738。

劉煒、李大玲、夏翠娟（2005）。*基於本體的元數據應用*（上海圖書館研究報告）。上網日期：2011 年 4 月 19 日，檢自 http://203.64.135.29/ecommerce/962%20materials/ 本體論 _ChouAndChou.pdf

Berners-Lee, T., Hendler, J., & Lassila, O. (2001). The semantic web. *Scientific American*, *284*, 34-43.

Corazzon, R. (2000). *Theory and history of ontology*. Retrieved April 1, 2011, from http://www.formal ontology.it/

Cruse, D. A. (2002). Hyponymy and its varieties. In Rebecca Green, Carol A. Bean, Sung Hyon Myaeng (Eds.), *The semantics of relationships: an interdisciplinary perspective* (pp. 3-21). Boston: Kluwer Academic Publishers.

Delin, K. A., Jackson, S. P., Johnson, D. W., Burleigh, S. C., Woodrow, R. R., McAuley, J. M., & et al. (2005). Environmental studies with the sensor web: Principles and practice. *Sensor, 5,* 103-117.

Gardner, S. P. (2005). Ontologies and semantic data integration. *Drug Discover Today, 10*(14), 1001-1007.

Group on Earth Observations (2011). *Retrieved April 3*, 2011, from http://www.earthobservations.org/

臺灣大學學術期刊資料庫

Gruber, T. (1993). A translation approach to portable ontology specifications. *Knowledge Acquisition, 5*, 199–220.

Gruber, T. (1995). Towards principles for the design of ontologies used for knowledge sharing. *International Journal of Human and Computer Studies, 43*, 907–928 .

Gruber, T. (2009). Ontology. In Ling Liu & M. Tamer Özsu (Eds.), *Encyclopedia of database systems.* Boston, MA: Springer-Verlag. doi:10.1007/978-0-387-39940-9_1318

Gulla, J. A., & Brasethvik, T. (2008). A hybrid approach to ontology relationship learning. *Natural Language and Information Systems, Lecture Notes in Computer Science*, *5039,* 79-90.

Hadzic, M., Wongthongtham, P., Dillon, T., & Chang, E. (2009). *Ontology–based multi-agent systems.* Berlin: Springer-Verlag.

Khoo, C., Chan, S., & Niu, Y. (2002). The many facets of the cause-effect relation. In Rebecca Green, Carol A. Bean, Sung Hyon Myaeng (Eds.), *The semantics of relationships: an interdisciplinary perspective* (pp. 51-70). Boston: Kluwer Academic Publishers.

Neches, R., Fikes, R., Finin, T., Gruber, T., Patil, R., Senator, T., & et al. (1991). Enabling technology for knowledge sharing. *AI Magazine, 12*(3), 37-56. Retrieved December 2, 2011, from http://tomgruber.org/writing/AIMag12-03-004.pdf

Reformat, M., Yager, R. R., & Li, Z. (2010). Ontology driven document identification in semantic web. In M. Lytras, & A. Sheth (Eds.), *Progressive concepts for Semantic Web evolution: applications and developments* (pp. 186-218). Hershey, Pa.: Information Science Reference.

Russomanno, D. J., Kothari, C., & Thomas, O. (2005). Sensor Ontology: From Shallow to deep models. In *Proceedings of the Thirty-Seventh Southeastern Symposium on System Theory* (pp. 107-112). Piscataway, N.J.: IEEE.

Smith, B. (2003). Ontology. An introduction. In L. Folridi (Ed.), *Blackwell Guide to the Philosophy of Computing and Information* (pp. 155-166). Oxford: Blackwell.

Soergel, D. (1990). The rise of ontologies or the reinvention of classification. *Journal of the American Society for Information Science, 50*(12), 1119-1120.

Stanford Center for Biomedical Informatics Research (2011). *Protégé*. Retrieved March 28, 2011, from http://Protégé.stanford.edu/

Uschold, M., Grüninger, M. & Gruninger, M. (1996). Ontologies: Principles, methods, and applications. *Knowledge Engineering Review, 11*(2), 93-155.

臺灣大學學術期刊資料庫

Wooldridge, M. (2002). *An introduction to multiagent systems.* Chichester: John Wiley and Sons.

Zins, C. (2007). Classification schemes of information science: 28 scholars map the field. *Journal of the American Society for Information Science (JASIST), 58*(5), 645-672.

臺灣大學學術期刊資料庫