

以知識本體論建構出應用於無所不在服務的情境模型

許政穆 吳維鈞 張宜睿

國立中正大學資訊工程學系

{hsujm,wwc95m,cyj95m}@cs.ccu.edu.tw

摘要

近年來隨著無所不在運算的技術成熟，透過環境感應器能讓環境自動提供一些情境資訊給系統以達到自動化服務的目的，此一技術被稱為情境感知。由於在不同無所不在服務之間缺乏一個能夠互相溝通的介面，導致這種智慧型服務一直沒辦法有效的運用在生活環境裡。本論文主要針對此點以知識本體論方式提出一個具共通性的情境模型來負責組織、描述和呈現不同的情境資訊，讓不同的服務可以整合在一起。而知識本體論本身也可以分成上下兩個階層，對不同的區域知識領域也可以來做一個調適的處理，以求達到可再利用想法。而我們設計的情境模型同時也支援一些本體論相容的使用者自定規則，方便方便萃取更深層的語意資料促使系統更智慧化。最後，我們呈現了一個在智慧型家庭中運用此情境模型實作的一多媒體環境感知服務平台來證明這個模型的可行性。

Abstract

With the rapid development of ubiquitous computing, the environment can get the context information through various embedded sensors for providing the automatic services. However, it still needs a common middleware for organizing huge context information from different types of ubiquitous computing. To accomplish this issue, this paper proposes a common context model based on ontology technology. With the semantic description of ontology, it is easily to accomplish the problem of context organization, interpretation and representation. In additions, our context model is divided into two layers for adapting the different domain knowledge and knowledge reuses. Due to our proposed context model is described with the concept of ontology, it can use some of ontology-supported logic rule language for further semantic context reasoning. At last of the paper, we also introduce an architecture, which combines the context model for presenting the ubiquitous smart home services to show the scalability of our design.

1. 前言

隨著無線網路及行動裝置的普及，服務運作模式也逐漸在轉變，其中最明顯變化就是網路服務時代的來臨，只要使用者手邊具有網路，隨時都可以享

受網路所提供的各式服務。因此一種新興技術正透過結合具有溝通及計算能力的可攜裝置散佈在環境及使用者身邊，讓服務可以達到隨時隨地的境界，而此技術通常被稱為無所不在的運算[1]。

對於無所不在運算的技術發展，隨著服務的種類的多樣化與複雜，而服務所需要的相關資訊也會逐漸增加。為了不增加使用者操作上麻煩及複雜度，就必須讓服務本身去感知使用者周圍的資訊，減少需要與使用者溝通情況，甚至會隨著這些資訊的變化即時調整服務的呈現，而逐漸形成了所謂的環境感知概念。舉例來說，當一個使用者原本停留在家裡的臥室享受著音樂服務，當他離開了這個空間，系統可以透過像是非接觸式的 RFID 或 IP 攝影機等環境感應器得知使用者的離開，並且依據目前追蹤到的使用者所在位置繼續播放著音樂，以達到一個無縫隙的自動服務。

而與環境感知技術息息相關的就是在於情境資訊(context)管理，然而情境資訊不單只是字面上的意義，而是具有一個或多個以上的觀念，要如何讓電腦去了解及呈現這個觀念一直來都是個熱門的研究。就如前述範例中所示，系統也許可以透過 GPS 或 RFID 來得到一些相關的地理低階原始座標資料，但要如何把這個低階資料對應到一個家裡環境中，其實是必須透過一層語意轉換讓原本無意義字串資料變成了一個具有語意的情境資訊。

對於現今眾多類型的環境感知服務，若沒有一個共通中介元件，來針對不同且零散的情境資訊做統一的組織、描述及呈現的話，這些服務還是無法廣泛的互相運用在生活環境裡，反而會浪費了許多系統資源在處理這些情境資訊。因此，本論文提出了具共通且可再利用的情境模型(context model)來管理這些不同服務所需要的資料。其方式是透過知識本體論的觀念融入進於情境模型內，用語意方式來呈現整個環境領域裡知識之間關係，以達到完美的知識組織、一致化知識呈現、與知識共享。另外也利用[10]中方式將建構出兩階層的知識本體論，可以將環境資料分成公眾(generic)及區域性(domain specific)的兩個層級，以利對不同區域性的資訊作一切換處理，而不至於讓整個情境模型過於龐大增加系統的負擔。由於情境模型是以本體論方式構成的，也能方便配合使用者自訂的語意規則來做知識推論和事件觸發處理，以期快速達到智慧型服務的目的。

對於本論文架構如下所示，在第二節我們將會討論一些跟無所不在運算相關的技術，第三節描述著

本論文提出的知識分類的情境模型，並在第四節將以一個情境方式展現我們所提出的模型套用在一個智慧型家庭服務的過程，最後為文章作出一個總結。

2. 文獻探討

近幾年來，已經有許多研究致力於將情境感知運用在無所不在運算技術上，首先將回顧一些此領域相關的重要研究與議題。

2.1 情境資訊

在討論情境感知的技術之前，首先要討論議題是情境資訊(context)。基本上，情境資訊是組成情境模型的基本結構，它記載了一些具有語意的知識，而其中又包含些許不同的概念(concept)。在1923年Ogden and Richards[9]提出以意義三角形(meaning triangle)來定義什麼是概念，其透過意義三角形左下角的物件和右下角記號產生出來的屬於三角形頂端的一個模糊印象。例如有一個人的物件和一個記號Bob，透過印象的聯想就產生一個概念；Bob這個記號表示了這個人的名子。同樣地，一個概念又可以再當作是語意三角形的物件再去推論出更高層的概念，持續重覆的動作一直推論下去就可以得到像是行為的深層概念，所以透過不同的概念組合就可以表達出一個情境資訊。

而在1999年Dey and Abowd [4]對情境資訊下了一個明確的定義-“情境資訊是任何可以用來描述一個實體情況的資訊，而實體是被認為跟使用者人和服務之間互動有所相關的人、位置或是一個物件，甚至他們本身”，而逐漸引發情境模型框架概念的成形。對於情境模型部份，Zachman框架是早期所提出來的一個模型代表[11]，它將資料分成六種主要的觀點- who、what、how、when、where、和 why - 來描述整個情境的資料。之後在[7]並以4W1H (Who、What、When、Where、與How)表示方式改良了原本的5W1H架構，來提供對人為主的情境模型。

對於情境感知相關的研究，像是HP所提出來的Cooltown [6]計劃，它建構了一個專門描述以網頁為底的智慧型服務的情境模型。Harry et al [2]提供一個無所不在運算服務的本體模型標準SOUPA，而這個本體分成兩個部份所構成，SOUPA核心及SOUPA擴展，可以依據服務的需求再增添進去。CoBrA架構[3]，提出了將本體分層的概念，越上層所描述的情境資訊就越符合人們語意的層面，其類似於Xiao Hang et al [10]所提出了兩階層式情境模型CONON。CONON的上層本體論描述整個本體的基本構成實體，而真正描寫領域相關的詳細資訊是由下層來描述，但是這個架構可以依據環境的變化而更換下層的領域本體，又讓情境模型的延展空間變的更廣。

2.2 知識本體論應用

知識本體論(ontology)一詞源自哲學理論，它透過詞彙來描述一個知識領域內物件們之間的關係，在W3C已提供幾個標準來明確的描述資源。其中Resource Description Framework (RDF)為W3C推薦用來明確的描述一個情境模型裡的資訊，每一筆情境資都由RDF triple(subject, predicate, object)來描述，像(Bob, located, bedroom)此RDF triple很清楚地描述Bob現在的所在位置在臥室。另一個使用RDF優點就是它是基於XML的標籤語言描述，並利用URL來對類別與屬性做個明確的辨別，讓RDF成為描述情境資訊的一個主流。

雖然RDF可以明確的描述任何情境資訊，並透過共通的詞彙來描述不同服務的情境資訊，以達到知識的共享。然而RDF只是單方面的描述而沒有一個全面性的語意描述，W3C提出了Web Ontology Language (OWL)專門用來描寫一個本體概念的語言。OWL提供了跟許多具有邏輯意義的詞彙描述屬性和類別彼此之間的關係，用來補足模型更多語意的觀念。因此本論文使用OWL來描述相關的情境模型，以擁有知識再用、知識推論等處理的能力。

3. 情境模型建構

在先前已有提過無所不在服務必須能夠向環境收集許多情境資訊來達到一個智慧型的服務，但是隨著服務的增加，不僅需要的情境資訊也必須變多，而其中不同的服務可能所需要的資料也會有所交集，如此一來就浪費了系統資源。因此，本論文提出了一個適用於無所不在服務的一個情境模型，而其詳細說明如下所列。

3.1 本體論模型

在本論文所用的情境感知的本體論模型主要是參考CONON架構[8]，將本體分成上下兩層面。上層本體負責一些共通的實體像人、區域、行為、服務和裝置等五大類，並且五個實體彼此之間也有一些基本關係存在。其中而人的實體會對應到本身所在的區域資訊、身上擁有的裝置和所期望得到的一個預定行為、或是系統自動推論出來的行為服務，而區域的實體則是要對區域內所擺設的設備而跟裝置建立關係，同樣在裝置跟行為兩個實體都要對本身能提供或需要的服務做一個關係的連線。

對於每一實體底下的詳細資料則對應到下層的本體去描述，如此一來便能隨著目前所要描述的領域變換而更改。例如當使用者的使用環境由家庭改變到工作環境，也只需要改變工作領域的子本體就可以持續的服務。圖1為展示了一個對應到智慧型家庭領域的情境模型，在圖中人的實體就會對應到每一個家庭裡的成員的基本資料，包含名字、RFID

識別號、個人偏好。區域對應到不同區域的 RFID 識別號並且與裝置實體下的相關裝置類別建立一個“擁有”的關係，裝置描述每一個裝置本身的一些能力，像是能支援的網路、輸出方式和運算能力。

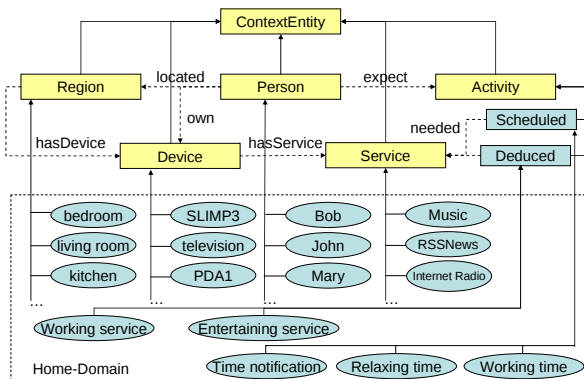


圖 1 Context Model for Home Domain

在使用者行為和偏好描述的本體，我們是利用[6]中所訂的 4W1H 方式來敘述。由於每項行為都是經由相同格式去敘述，當有兩個以上的行為被允許觸發並且需要對服務作評估比較時，系統便可以方便比較兩個行為與使用者偏好的語意上差異來方便做服務評等。而圖 2 是針對行為本體以 4W1H 描述，而使用 RDF 與 OWL 整合敘述的結構實例如圖 3 所示。

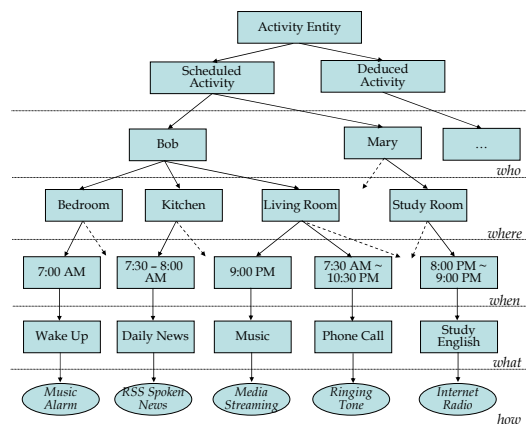


圖 2 使用 4W1H 行為實體呈現

3.2 具語意支援的情境模型

雖然 RDF 也有支援一些資料搜尋及推論工具，不過它的推論能力卻有一定的限制，因為 RDF 在描述一個情境資訊時並沒有對其類別和屬性有進一步深層語意的描述。然而對於一個共用的情境模型是不夠用的，例如在眾多的無所不在服務類型中，服務對知識的描述都是由不同人設計者所制定，因此可能會有許多不同的類別其實都在描述一樣或是彼此有個簡單的集合關係。而 OWL 提供了 `equivalentClass`、`disjointWith`、`intersectionOf`、和

`unionOf` 等詞彙來讓系統了解不同類別彼此之間存在的等價、互斥、交集和聯集關係。此外 OWL 也提供了許多關係在描述各種屬性關聯，其中常見的就是 `inverseOf`、`TransitiveProperty`、`SymmetricProperty` 來描述屬性所具有的邏輯特色。所以透過 OWL 描述，可以很明確呈現出一個本體模型，而系統也可以自己透過類別跟屬性彼此之間的關係來推論更多高階的語意資料，而達到具有智慧的運作，所以從圖 3 中可以看見用來描述情境模型的 OWL 概要。

```
<rdf:RDF
  <Person rdf:about="eg:Bob">
    <rdf:type rdf:resource="eg:Person"/>
    <own rdf:resource="eg:PDA1"/>
    <located rdf:resource="eg:Bedroom"/>
    <haspreference rdf:resource="eg:MusicPreference"/>
  </Person>
  <Region rdf:about="eg:Bedroom">
    <hasDevice rdf:resource="eg:SLIMP3"/>
    <hasDevice rdf:resource="eg:Computer"/>
  <Region rdf:about="eg:Living room">
    <hasDevice rdf:resource="eg:SLIMP3"/>
    <hasDevice rdf:resource="eg:Television"/>
  </Region>
  <Device rdf:about="eg:SLIMP3">
    <hasService rdf:resource="eg:Multimedia_broadcasting"/>
  </Device>
  <Service rdf:about="eg:Multimedia_broadcasting">
    <rdf:type rdf:resource="eg:MusicBroadcasting"/>
    <rdf:type rdf:resource="eg:InternetRadio"/>
    <rdf:type rdf:resource="eg:RSSNEWS"/>
    <rdf:type rdf:resource="eg:Message"/>
  </Service>
  <Preference rdf:about="eg:MusicPreference">
    <Who rdf:resource="eg:Bob"/>
    <Where rdf:resource="eg:Bedroom"/>
    <What rdf:resource="eg:MusicBroadcasting"/>
    <When rdf:resource="eg:Night"/>
    <How rdf:resource="eg:SLIMP3"/>
  </Preference>
  <owl:ObjectProperty rdf:ID="own">
    <rdfs:range rdf:resource="eg:Device" />
    <rdfs:domain rdf:resource="eg:Person" />
  </owl:ObjectProperty>
  <owl:ObjectProperty rdf:ID="hasDevice">
    <rdfs:range rdf:resource="eg:Device" />
    <rdfs:domain rdf:resource="eg:Region" />
  </owl:ObjectProperty>
  <owl:ObjectProperty rdf:ID="hasService">
    <rdfs:range rdf:resource="eg:Service" />
    <rdfs:domain rdf:resource="eg:Device" />
  </owl:ObjectProperty>
</rdf:RDF>
```

圖 3 以 RDF 與 OWL 方式呈現部份情境模型

由於 OWL 不但可以建構出一個本體讓系統，其本身也可依據語意的方式來執行智慧型的運算。另一方面，它支援許多以邏輯觀念的規則來幫助整個系統的運作，而本論文在推論引擎則選擇 HP 實驗室所開發的 Jena 推論引擎來實作這個部份[12]。Jena 是一個以 JAVA 為底的應用程式，它同時可以支援 RDF 及 OWL 兩種語言並且可以用 LISP 類似語言描述的方式定義規則，而這些規則可區分為兩種類別。第一種是系統依據 OWL 定義一些特別詞

彙的規則，下面則是列舉了一個系統對“對稱性”規則的描述。

#[transitiveRule: (?A ?p ?B),(?B ?p ?C)→ (?A ?p ?C)]

在上面所描述規則中，每一括號裡面都描述了一筆情境資訊以 RDF triple(subject, predicate, object) 方式表達，而在箭頭前面敘述稱為決策條件，當所有的條件都成立才會觸發一個推論的結果。故在先前所舉的遞移性規則成立條件就是當有一個類別 A 與類別 B 有一個 P 的關係，而 B 類別又與 C 類別有 P 關係，推論引擎就可以推定 A 類別與 C 類別也有一個 P 的關係。

第二種推論規則就是由使用者自訂的規則，透過此一方式，可以讓系統推論出與邏輯關係無關的另類資訊。此類型的規則常被使用在整個系統的服務觸發判斷或更高階的情境資訊截取。例如一個自動化聲音調整服務，我們可以先設定三條規則分別對使用者所在環境空間的大、中、小等三個屬性來對應服務呈現的音量作控制。

4. 知識推論的案例

為了說明本論文所使用的情境模型如何與現實的智慧型家庭服務整合，我們將以實作出的 Ubiquitous Multimedia Information Delivery Service (簡稱 U-MIDS)[5]作為情境模型與知識推論的應用範本。

4.1 情境模型實作平台

U-MIDS 是一套在智慧型家庭環境中，使用長距離 RFID 定位機制完成使用者的房間位置切換，仍將使用者所需的多媒體服務以無縫隙方式利用內嵌於各房間網路音樂播放器傳遞給使用者，達到在智慧家庭內無所不在的多媒體傳遞服務。而圖 4 為 U-MIDS 所用的情境模型與相關推論運作的流程。在圖 4 中共有四個主要元件，分別如下所列：

1. 情境中介軟體:此元件主要是提供情境模型所需的感知情境資訊，它負責將所有感應器感應到的原始資料轉換成一個以 OWL 語意描述的情境資訊跟情境模型做一個資料的更新。
2. 情境模型:整個智慧型環境所有的情境資訊都是儲存在情境模型內，而資料來源就從中介軟體傳送的感應情境資訊和儲存環境輪廓(Context Profile)的資料庫。
3. 情境推論:整個服務推論機制都包含在這個元件內，而其分成兩個模組。推論模組負責跟 Jena 推論引擎去連繫，它利用上述的兩種規則來及時的替情境模型產生新的情境資訊。為了不讓服務決策動作被自訂的規則所局限住，所以系統推論引擎的主要工作是在決策出來目前能在這個環境上執行服務，而其餘的服務選擇是透過服務評等模組來運作。服務評等模組會依據使用者偏好

來進行語意上的評等，詳細比較推論出來的服務與使用者偏好在語意上差別，如此一來就可以確定那個服務是使用者真正想要的。

4. 事件引擎:當經由情境推論得到結論後，事件引擎就會準備相對應的服務來執行。

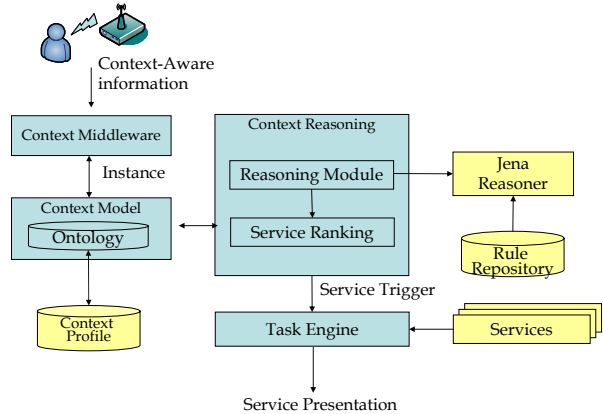


圖 4 情境模型的推論運作流程

4.2 智慧型家庭服務情境與情境推論應用

U-MIDS 是提供使用者在智慧家庭環境下無所不在的多媒體串流服務為主，它可以透過分析使用者所在環境的特性來呈現不同的多媒體服務內容。也就是說當使用者處於一個娛樂性質高的環境下，系統就能自動執行音樂播放和網路電台等多媒體服務讓人可放鬆心情的服務。同樣當使用者正在處工作環境下，系統則僅能提供與工作相關的口說新聞和私人訊息。

圖 5 中顯示了 U-MIDS 與使用者所處環境的關係，圖中有兩個房間和一個使用者 Bob，為了達成人機無形的互動，在 U-MIDS 服務下 Bob 需配帶 RFID 環錶，讓環境能對 Bob 進行非接觸性的定位與追蹤。Bob 原本在客廳裡面透過音樂播放裝置來享受別人放鬆的音樂播放服務，不過經過一陣子後他改變心意，離開了原本房間而前往自己的臥室，此時放置在臥室內 RFID 感應器感應到 Bob 的進入該區域的行為，便會發送 Bob 所處的情境資訊給系統。U-MIDS 便會開始分析在 Bob 所處的新環境進行推論是否能提供合宜的多媒體資訊給 Bob。在 U-MIDS 的情境模型中已對服務粗分成工作性質和娛樂性質的兩種屬性，然而要如何才能讓系統了解到此情境資訊，就必須要參考到擺設在這個環境的裝置以及它們能夠提供的服務類形。而我們粗略定了若干個邏輯觀念規則，例如當臥室區域若擁有一個裝置，且此裝置能提供一個具有娛樂性質的多媒體影音服務，此空間理所當然就是一種娛樂性質的場所，相對的如果這個空間能提供工作性質的服務，就為一個工作性質的場所。

[entertainingRule: (?A rdf:type eg:Region), (?A eg:hasDevice ?C), (?C eg:hasService ?D),(?D rdf:type eg:EntertainingService)

→(?A rdf:type eg:Entertainingspace)]

從上述情境透過推論引擎的運算結果，系統可以得知客廳跟臥房都屬於娛樂性空間，而在兩區域內都有音樂播放裝置與個人電腦至少能提供一項娛樂性服務(如音樂播放、網路電台)。藉由分析每一房間的屬性後，系統便可依據此情境推論結論對服務進行篩選。由於 U-MIDS 提供四種基本的多媒體資訊播放服務，所以系統內就必須訂定四類服務設計的推論規則。而下述推論規則範例就是針對音樂服務規則描述，其條件是存在一個使用者，且他目前處在娛樂性質的房間內，如果環境中若有音樂播放服務裝置，使用者便可以在此房間享受音樂播放的服務。

[MusicRule:(?A rdf:type eg:Person),(?A eg:located ?B),(?B rdf:type eg:Entertainingspace),(?B eg:hasDevice ?C),(?C eg:hasService ?D),(?D rdf:type eg:MusicBroadcasting) → (eg:expect eg:MusicBroadcasting)]

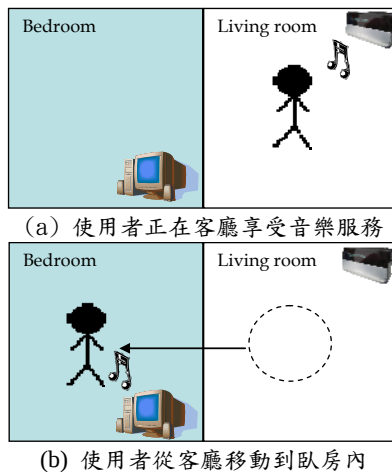


圖 5 U-MIDS 的情境推論運作

對於圖 5 使用者從客廳移動到臥房的情境推論結果如圖 6 所示。由於臥房內的電腦裝置同時能提供工作性質的服務(文書處理服務)與娛樂性質(多媒體播放服務)，所以臥房具備娛樂性及空間性的特徵，故在圖中也顯示推論引擎表示此環境下可以提供四種服務，推論引擎會將最終結果交給服務評等元件作最後評估選擇。在情境推論的最後步驟便是語意評等，而取用那些有意義的情境資訊進行評等選擇合適服務牽扯到使用者偏好，因此在 U-MIDS 中以三個評估方向來估算各服務分數，以選取最合適的多媒體資訊服務給使用者。

1. 環境的偏好：由於服務會因環境上的特殊性而給予不同的評等，例如在一個較公開區域內，系統就應該比較選擇能提供給大眾的服務如 RSS 語音新聞，相對地在公開性較低的環境能提供像是私人告知訊息等服務。
2. 服務延續的評估：當使用者從在智慧型空間移動切換區域時，服務延續也是考量的主因之

一。當推論引擎推論出新的區域還能提供相同的服務給使用者，那系統就會增加其評論的分數。

3. 服務的偏好：因不同的使用者對不同服務會存在一些特別的偏好，例如 Bob 可能喜歡在臥室享受音樂服務，所以當 Bob 在臥室時，系統在選擇服務時就應該要比較優先選擇這個服務。

eg:Bedroom
 - (eg:Bedroom rdf:type eg:Workingspace)
 - (eg:Bedroom rdf:type eg:Entertainingspace)
 - (eg:Bedroom eg:hasDevice eg:Computer)
 - (eg:Bedroom eg:hasDevice eg:SLIMP3)
 - (eg:Bedroom rdf:type eg:Region)
 eg:Bob
 - (eg:Bob eg:expect eg:MusicBroadcasting)
 - (eg:Bob eg:expect eg:RSSNEWS)
 - (eg:Bob eg:expect eg:Message)
 - (eg:Bob eg:expect eg:InternetRadio)
 - (eg:Bob eg:located eg:Bedroom)
 - (eg:Bob eg:own eg:PDA1)
 - (eg:Bob rdf:type eg:Person)
 eg:SLIMP3
 - (eg:SLIMP3 eg:hasService eg:Multimedia_broadcasting)
 - (eg:SLIMP3 rdf:type eg:Device)

圖 6 推論引擎的推論過程

圖 7 為 U-MIDS 使用情境模型的推論結果的評等選取合適服務流程，系統會從環境輪廓元件去取得要上述需要做評估資料，例如使用者偏好和環境私密性資料、與服務相關資料等。首先設定評等分數的初始值，預設是零減掉服務重複次數(針對服務重複問題)，當初始分數決定後就可以再對其部份作服務評估。第一階段評估是對服務延續性的判別，如果現在評估服務是跟使用者在上一區域執行的是相同服務，系統就會增加對此服務的評估分數，而能達到無接縫服務的呈現。而第二階段評估是對環境私密性作評估，針對上述不同服務特性給予評分上的調整。第三階段評估是依使用者個人偏好的比較，由於個人偏好是以 4W1H 來描述，因此在比對時也要當五個觀念都符合時，才可以完全認定此偏好具有對評估分析有幫助進而調動評等分數。

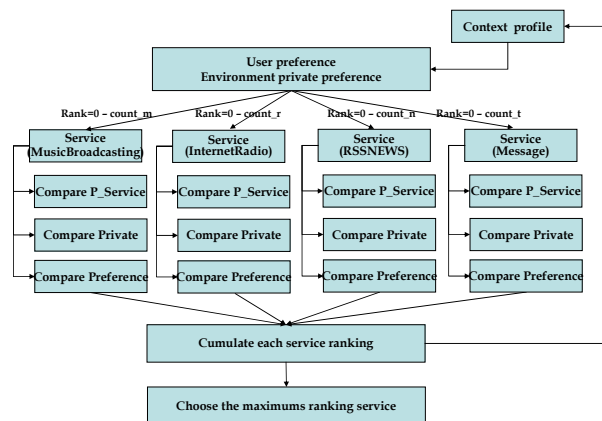


圖 7 服務評等處理流程

5. 結論

在本論文中，我們提出了一個適用於無所不在服務的情境模型，並且利用 W3C 制定的 OWL 語言來建構一個情境資訊的知識本體論，讓這個情境模型可以清楚地描述這個環境下的相關知識，達到有效的知識共用、知識再用及知識推論的理念。而在本論文中，我們也已我們先前實作的 U-MIDS 為基礎結合情境模式，讓 U-MIDS 的服務更具自動與智慧化的能力。

由於情境模型還可加入更多的情境資訊與推論法則，也就是說繼續改善情境模型對知識描述的能力，透過更詳細的分析讓系統對決策的推論和評估以更概念化的知識來描述。此外，像是情境資訊矛盾、服務調適、服務搜尋和模糊觀念的比較等，也都是情境模型未來須考慮的範疇。就像目前許多研究還是依據半手動人工方式處理此方面的議題，如透過使用者自訂規則來控制情境模型的推論結果。所以若能發展出一套完整的情境模型、推論機制和評估系統，我們相信理想中的無所不在服務情境就能輕易的被建構出來。

參考文獻

- [1] J. Birnbaum, "Pervasive Information System," Communications of the ACM, pp. 40-41, 1997.
- [2] H. Chen, F. Perich, T. Finin, and A. Joshi, "SOUPA: Standard Ontology for Ubiquitous and Pervasive Applications," in Proceedings of Mobile and Ubiquitous Systems: Networking and Services Conference, pp. 258-267, 2004.
- [3] H. Chen, T. Finin, and A. Joshi, "An ontology for contextaware pervasive computing environments," Special Issue on Ontologies for Distributed Systems, Knowledge Engineering Review, VOL. 18, NO. 3, pp. 197-207, 2003.
- [4] A. K. Dey, G. D. Abowd, and D. Salber, "A Conceptual Framework and a Toolkit for Supporting the Rapid Prototyping of Context-Aware Applications," Human-Computer Interaction (HCI) Journal, VOL. 16, NO. 2-4, pp. 97-166, 2001.
- [5] J. M. Hsu, W. J. Wu, and I. R. Chang, "Ubiquitous Multimedia Information Delivering Service for Smart Home," in Proceedings of International Conference on Multimedia and Ubiquitous Engineering (MUE'07), pp. 341-346, 2007.
- [6] T. Kindberg and J. Barton, "A web-based nomadic computing system," Computer Networks, VOL.35, NO. 4, pp. 443-456, 2001.
- [7] Y. S. Oh, H. S. Yoon, and W. T. Woo, "Simulating Context-Aware Systems based on Personal Devices," in Proceedings of the International Symposium on Ubiquitous VR (ISUVR-2006), pp. 49-52, 2006.
- [8] G. Shu, O. F. Rana, N. J. Avis, and C. Dingfang, "Ontology-based semantic matchmaking approach," Journal of Advances in Engineering Software, VOL. 38, NO. 1, pp. 59-67, 2007.
- [9] J. F. Sowa, "Ontology, Metadata, and Semiotics," in Proceedings of the Linguistic on Conceptual Structures: Logical Linguistic and Computational Issues, VOL. 1867, pp: 55 - 81, 2000.
- [10] X. H. Wang, D. Q. Zhang, T. Gu1, and H. K. Pung, "Ontology based context modeling and reasoning using OWL," In Proceedings of the 2nd IEEE Conference on Pervasive Computing and Communications, pp. 18-22, 2004.
- [11] J. Zachman, The Zachman framework, online available at <http://www.zifa.com>
- [12] Jena, A Semantic Web Framework for Java, online available at <http://jena.sourceforge.net/>