

物聯網之電器感知活動識別方法於雲端能源管理平台

陳瑋哲¹ 林偉益¹ 賴槿峰² 黃悅民¹ 鄭鈺霖³

¹國立成功大學 工程科學系

²國立中正大學 資訊工程系

³財團法人資訊工業策進會 雲端系統軟體研究所

cinfon@ieee.org

摘要

物聯網其主要是將各種的末端裝置通過識別訊息傳遞將設備與網際網路建立其連結網路，其不僅是延伸和拓展網際網路的範疇，並可建構出現實生活中物件與網際網路通訊的橋梁。隨著能源危機的意識抬頭，智慧節能成為目前各界發展的新趨勢，本論文主要提出一套物聯網之電器感知活動識別方法於雲端能源管理平台，其主要對於現今家電裝置整合性問題提出一中介管理服務層，其不僅解決其各電氣間溝通服務，透過其以服務導向架構提供上層服務應用程式，並進一步地根據現今使用中之電器及其狀態之變化推論出其行為識別與進行其電器能源管理服務。

關鍵詞：電器感知活動識別，雲端能源管理平台。

1. 前言

物聯網其精神為透過運用無線射頻辨識技術、全球衛星定位系統、掃描儀、紅外線及各種訊息感測裝置進行資訊擷取與交換。主要解決物與物(Thing to Thing)、人與物(Human to Thing)、人與人(Human to Human)之間的互聯並提供資訊的交換及眾多的服務。在 2008 年時，美國總統歐巴馬提出『物聯網振興經濟戰略』，確定將物聯網列入國家發展重點之一，並積極推動感測裝置技術與智慧型基礎設施建設。歐洲方面，在 2009 年，從歐盟聯網領域的專業研究組，先後公佈多份規劃歐洲物聯網未來發展動向報告。如『歐盟物聯網行動計畫』、『物聯網戰略研究路線圖』、『未來物聯網戰略』、『物聯網戰略研究路線圖』。內容包括物聯網管理體制制定、資安問題以及通訊標準化等重點。歐盟第七框架計畫(7th Framework Programme, FP7)也在 2011 年工作計畫，確立在 2011 年至 2012 年期間 ICT 產業領域優先發展項目。日本方面，2009 年八月提出 i-Japan 國家藍圖中，成立一個國家級的專任 CIO 職務，負責推動日本電子化政府的所有事務，社會資訊服務。同年韓國也通過『物聯網基礎設施構建基本規劃』。而中國大陸也提出『感知中國』，積極發展傳感網應用以及其關鍵技術，達到『全面感知，可靠傳遞，智慧處理』。

物聯網隨著技術的發展，新的感測器類型也不斷產生，常見的感測器有速度、溫度、濕度、壓力、

位置、液面、能源消耗、輻射線、震動等等。不同感測器能達成不同的應用，如航空技術、能源管理、環境保護與生物科學等。感測器偵測到訊號之後，經過數位訊號處理器對訊號進行相對應之分析及比對之後，再將其結果輸出。「辨識」在智慧聯網中扮演著舉足輕重的角色，其判定智慧聯網設備之身分屬性，除了提供給訊息處理系統做分析處理之相關動作，也可透過身分認證加強智慧聯網系統安全性。

然而現今對於開發物聯網將會面臨一些問題：

1. 管理制度問題：由於各領域服務性質不同，其管理的層級也會有所不同，其通用性相對來講較低，很難建立起全球可互用的管理系統。

2. 安全性問題：由於要達到萬物皆可聯網可達到智慧控制，因此，須有技術性解決方面來確保人與物之安全隱私。

3. IP 不足及設定困難度：物聯網基礎設施建設，使得末端裝置皆可上網，有可能導致全球 IP 不敷使用，並且對尚未支援網路功能之裝置將產生無法相容之問題或需透過額外識別裝置所造成之成本負擔。

4. 標準化問題：物聯網目前尚未有一個全球認同之標準，加上物聯網技術標準眾多，如通訊網路傳輸、設備操作、資安問題、中介軟體等。

其中針對於第三項挑戰，我們在先前的研究中[1, 2]透過電器識別之技術可對於現今大多數的家電裝置提供一項有效且無須額外裝置的識別方式，在本研究中將延續此電器識別技術作為基礎，進一步提出一套電器導向之 IoTs 能源管理系統，藉由一中介層將其識別完成之裝置加入此管理系統並提供各種不同通訊協定之整合服務，讓其不同通訊協定之裝置能藉由其中介系統達到彼此溝通之服務。

本研究根據現今電器使用之狀態及其變化推論其現今使用者行為狀態，透過此方式進一步對於不需要之電器關閉提供節能服務亦或者自動開啟使用者所需之電器裝置以提供更便利之控制應用。

2. 相關文獻

家庭能源管理系統 (Home Energy Management System, HEMS) 為一基於智慧家庭環

境下所發展出的一套技術，其目的是為了減少並管理家用能源的損耗，其中整合了智慧電表、家庭用電控制系統。美國、歐盟以及日本等國家皆極力推行 HEMS。其中包括日本日立、松下、東芝、三菱電機等公司在 1997 年 12 月成立 ECHONET(Energy Conservation and Home Network)協會，目標是建立標準化家庭網路規格，並開發聯網功能的家電，實現家庭能源管理的服務。歐盟亦投入 HEMS 的發展，於 2006 年 1 月成立了「Econ' home」計劃，其中參與國為英國、法國、德國、葡萄牙、義大利及比利時，主要標榜住宅節能為目的，該計畫著重於家庭用電習慣、運輸用電與綠能建築三大方向，有效率降低能源耗損。美國方面則導入專家系統用於建置 HEMS，開發出 Home Energy Saver 網站，提供使用者了解自身用電資訊、相關用電決策與環境狀況診斷等服務。

現今的學術界已有相當的研究在探討 HEMS [3, 4]，其中包括能源管理系統平台設計、通訊協定設計以至於軟體解決方案，其主要探討方向約略可區分為：針對家用電器的耗電控制、省電模組的設計等方向。Young-Sung Song [5]提出使用電力線網路(Power Line Communication)建置家用能源管理系統，藉此監測智慧電表量測之耗電量，同時使用者可以藉由網路進行遠端控制，並可依據電費需求進行之用電決策的調整與自動控制機制。這類系統最大的問題就是在於，最初必須明確定義插座上的電器種類，使用性與擴充性較差。Ana Rossell'o-Busquet [6]所設計的機制為透過 OSGI 達到家電器的管理，但由於家用電器的通訊協定不盡不同，所以經由知識挖掘的規則引擎機制進行分析，決策出最適合的決策機制。

除了學術研究外，產業界也開始著手投入 HEMS 結合智慧電表與雲端技術之相關計畫的相關開發計畫與研究，如 Google PowerMeter [7]、Greenbox、The Power Tab、OPower，其中 Google 所推出之 PowerMeter 服務，由於現今使用者對能源管理系統的並不強烈，同時也沒有獲得電力公司的輔助無法有效地融入使用者的用電習慣中，已於 2011 年 9 月終止服務。相較之下 OPower 擁有電力公司的合作關係，將能源管理資訊透過電費帳單的型式提供給消費者，因此獲得較多數使用者的認同。

3. 方法架構

本研究的整體使用架構如圖所示，其透過 IP 可以連結至網際網路，而底下可以連結各種協定的末端裝置，在本研究中，將以 ZigBee、Bluetooth 和 TCP/IP 的溝通協定的裝置為主，本論文將介紹智慧型中介軟體，提供可開發系統架構與設計、Android 終端管理介面系統、情境感知系統

3.1 電器導向中介軟體模組

本分項模組是整個系統核心架構，由於物聯網的裝

置網路協定眾多，缺乏共同依循的標準，會造成不同網路協定互通性的問題。對於要讓物與物之間能夠互相溝通，這種不相容的情形不僅會造成相當多困擾。因此，讓這些網路協定與控制方法能夠協同運作，必須要設計中介軟體(Middleware)來處理此項事務。除了建構中介軟體之外，還需考慮上文提到物聯網路由閘道器的特性，例如可彈性客製化加入中介軟體、末端裝置的服務告知等。因此在物聯網路由閘道器與末端裝置間會有裝置的註冊，事件處理，命令控制等相關功能圖 1 是整個溝通的循序圖。

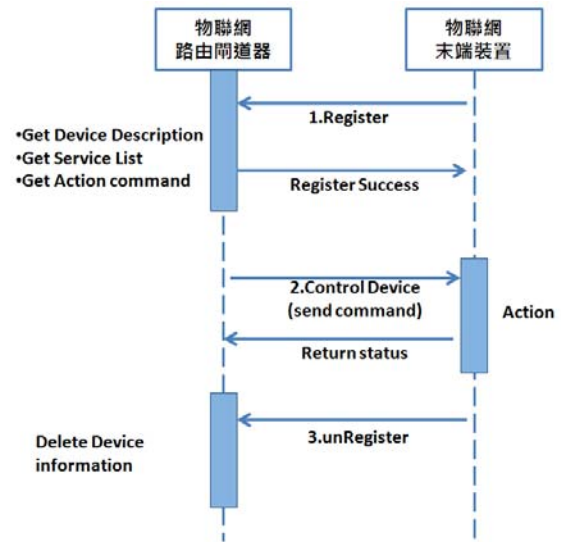


圖 1 物聯網訊息溝通循序圖

3.2 電器活動辨識模型

電器的使用可反映人的行為活動，尤其在 HEMS 中，家裡環境所使用的電器與人在家裡進行的活動是息息相關，而家電並非常常更換，建立活動辨識模型是有其可行性的。在此模型中建立電器使用與人為活動的關聯性，並利用它辨識目前家庭所進行的活動，進一步得知哪些電器是有可能處於不被使用的狀況下，這些目前活動的非參與性電器資訊可以反饋給使用者(client)進行後續的處理。

藉由電器辨識模型可以獲知目前物聯網路由閘道器(IOT router gateway)底下正在使用的電器，活動辨識模型由閘道器中的情境資料庫中收集相關的情境感知(context-aware)資訊，這些資訊由情境提供者服務包(bundle)分析並整合其他感應器服務包所產生的。混合電器與情境感知資訊，活動學習系統從中定義與計算出活動和電器的關聯性，並儲存於活動資料庫中。模型架構可參考圖 2。

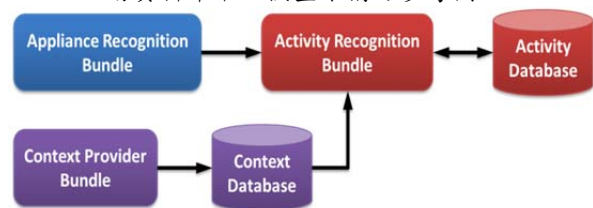


圖 2 電器活動辨識模型架構

在活動辨識系統中，如圖 3，電器設備(device)的使用資料會被群組成活動，根據這些活動與其中的設備產生關聯性資料。群組成活動的步驟稱為設備區塊選擇(device block selection)，關聯性產生的步則稱為設備活動相關性計算(device activity similarity calculation)。查詢的輸入資料是一群電器，一般是目前家裡正在使用的電器；這些資料輸入到學習辨識系統中會先與相關性模型進行活動的相似性比較，也就是計算出輸入資料中的設備是屬於模型中的那一個活動。相關性計算後會產生結果列表(list)，這列表可依相關性或非相關性排序，再由排名(rank)門檻值選取前 N 筆具有相關性的結果。排名結果會和情境資料一同輸入到活動分類器中，該分類器會依情境資料決定查詢資料到底屬於哪一種活動。這裡使用活動分類決定活動歸屬而不單純使用相關性計算後的結果是因為相關性是一種活動與家庭設備之間的關聯，但在實際上的家電使用還牽扯到一些外在情境的因素。情境的因素可以影響活動中電器的使用。例如，當季節為夏天時，活動中的設備可能會多了電風扇或空調。所以，活動分類可以增加容錯性和提高辨識的準確率。

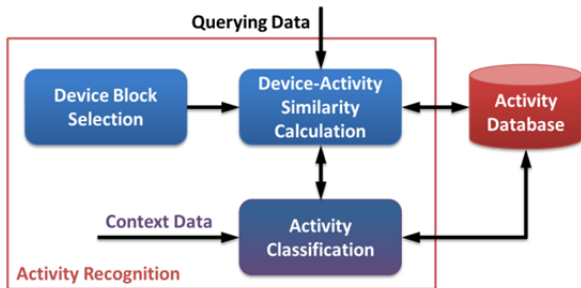


圖 3 電器活動辨識模型架構

3.2.1 Device Block Selection

在計算活動與電器設備之間的相關性之前，需要先定義好一個活動內所包含的電器。從電器辨識服務包過來的資料依單位時間可視為一筆活動片段(segment)，片段內容是目前使用的電器。連續片段是指在連續時間上其片段內容皆相同，這些片段能形成一區塊(block)，區塊分成穩定區塊與暫時區塊。判斷區塊是否穩定的方式是由穩定性門檻值(threshold) HS 決定；區塊時間長度大於門檻值則該區塊是一穩定區塊(stable block)。若區塊時間小於等於門檻值則該區塊被視為暫時性的區塊(impermanent block)。獨立片段是指該片段與其前後片段內容不相同。

利用圖 4 來詳細說明資料區塊，其圖用矩形框線標示了四個區塊和兩個片段，橫軸線代表時間(t)，區塊時間以 T 代表並用區塊名稱做為下標，如 TB1 代表區塊 1 的時間長度。因為 TB1 為 10，所以區塊 1(B1)由 10 個片段組成；B1 中的每個片段內容皆相同為 D1, D2 和 D3。接著，假設穩定性門檻值為 3 時間單位，則 B1, B3, 和 B4 都是穩定區塊；B2

是暫時區塊，因為 B2 的區塊時間為 2，兩個片段。在 B1 前面有兩個獨立片段，S1 和 S2，無法形成區塊。

一般來說，暫時性區塊或獨立片段是因活動轉移或停止所造成。活動轉移可由區塊狀態，也就是指區塊內容，劇烈變化可得知活動正在轉移；在圖 3.22 中，B1 到 B4 是一種活動轉移，但 D1 在兩區塊內同時存在，可推導出 D1 是種長效型運作的電器，如日光燈，空調之類的設備。活動停止可視為區塊內容消失至長效設備狀態的行為，如 B1 到 B3 的過程，D3 與 D2 在區塊中消失，因此可以由 B1 所代表的活動正在停止。為了讓區塊與活動有更好的反映性，在決定穩定區塊後會將獨立片再與暫時性區塊合併到穩定區塊中。合併法則是依據區塊或片段的大小(size)，也就是指片段或區塊內容的電器個數，如 S1 片段大小是 1，而 B1 的是 3，B2 的是 2。進行合併時，從穩定區塊的左右開始找比自己大小還小的獨立片段或暫時性區塊並且它們的內容是自己的子集，直到另一個穩定區塊。以圖 3.22 為例，B1 往右找到 B2 是個暫時性區塊且 B2 的內容是 B1 的子集，所以 B2 是個被合併到 B1 的候選集，往 B2 的右邊找到了 B3 是個穩定區塊，因為就停止往右合併，並把 B2 合併到 B1 中。從 B1 的左邊找到 S2 是個獨立片段且內容是 B1 的子集，所以 S2 加入到候選集中；S2 的左邊找到 S1 是個獨立片段且內容是 S2 的子集，所以 S1 也加入到候選集中。在上述的合併過程中，S1, S2, B1 和 B2 合併成一個活動區塊 A1，它反映了一個活動的狀態。

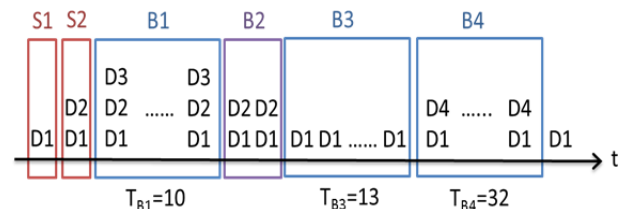


圖 4 電器活動資料區塊

活動辨識模型對從電器辨識服務包獲取的資料是有一些假設條件。第一個條件是活動不會同時發生，也就是指一個活動區塊僅僅代表一項活動，而不是多項活動同時進行。然後，可以把活動組視為一項活動，並能由使用者去標注活動組中的每項活動所擁有的電器，但前提是活動組中的活動是同時開始與同時結束，這也意味著一項活動不會跨多個區塊。第二項條件是電器狀態的切換，如風扇的送風的強度，與電器同時運作的數量，如三個燈泡，仍被視為同一種設備。第三個條件是每個被辨識的電器設備必須是開啟獨立(open independent)或關閉獨立，一項電器的開關不會自動地開關另一項電器，這是為了計算電器與活動之間相關性的必要條件。

3.2.2 Device-Activity Similarity Calculation

在區塊選擇之後，活動與電器的關係就建立起來。接著要建立關聯性模型，以便計算某一種電器與所

有活動的相關度。為了快速計算與動態新增活動，將在活動辨識服務包中建立資訊擷取領域中常用的推論網路模型，該模型的另一項特性是方便進行查詢推論。推論網路模型的架構如圖 5；在網路中，每項活動與設備都是一個節點(node)，同樣也，一筆查詢資料也是一個節點。節點間的連結代表節點間的關係，活動節點指向設備節點代表該活動包含被指向的設備。查詢節點由設備節點指入，代表該查詢資料中由指入的節點設備所組成。多個查詢節點指向另一個查詢節點代表查詢是可以由其他子查詢組合。如節點 I 是節點 q 與節點 q1 的聯集。

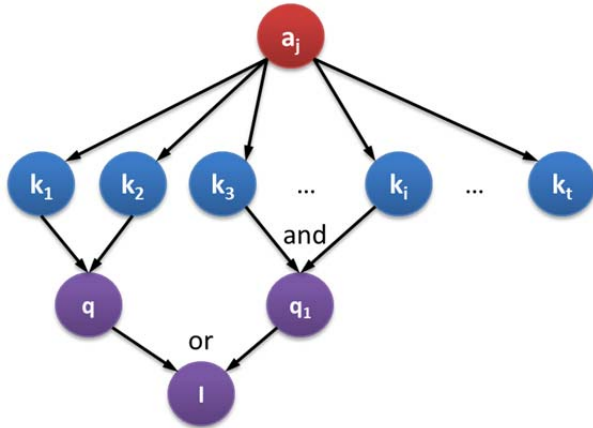


圖 5 推論模型

所有描述模型的符號定義在 Table 3.1 中。

一個 t 維的向量 k 是由所有設備所定義，即(k1, k2, ..., kt) where k1, k2, ..., kt 隨機二元變數。

表 1 參數定義

Notation	Definition
t	the number of devices in activity recognition system
k _i	a device, a binary random variable
$\vec{k} = (k_1, \dots, k_t)$	t-dimensional vector defined by k ₁ , k ₂ , ..., and k _t
q	a user query, a binary random variable
a _j	an activity, a binary random variable
g _i	a function returns the weight associated with the device k _i

有關於一筆查詢 q 的活動排名(ranking)是一種觀察的測量，而此觀察是指一項活動有多少明顯的支持提供給查詢 q。在一個推論網路中，活動排名是由 $P(q \wedge a_j)$ 所計算，其中 q 和 a_j 是 q=1 和 a_j=1 的簡短表示。因此，排名公式如下所示

$$\begin{aligned}
 P(q \wedge a_j) &= \sum_{\vec{k}} P(q \wedge a_j | \vec{k}) \times P(\vec{k}) \\
 &= \sum_{\vec{k}} P(q | a_j \times \vec{k}) \times P(a_j \times \vec{k}) \\
 &= \sum_{\vec{k}} P(q | \vec{k}) \times P(\vec{k} | a_j) \times P(a_j) \\
 &= \sum_{\vec{k}} P(q | \vec{k}) \times \left(\prod_{\forall i | g_i(\vec{k})=1} P(k_i | a_j) \times \prod_{\forall i | g_i(\vec{k})=0} P(\bar{k}_i | a_j) \right) P(\vec{k} | a_j) \times P(a_j) \\
 P(\overline{q \wedge a_j}) &= 1 - P(q \wedge a_j)
 \end{aligned}$$

其中 $P(\bar{k}_i | a_j) = 1 - P(k_i | a_j)$ 。 $P(q | a_j \times \vec{k}) = P(q | \vec{k})$ 是因為 k_i 節點使查詢節點 q 從活動節點 a_j 分散。

接著利用 tf-idf 機制來完成排名機率的計算。根據觀察到的活動 a_j，一設備 k_i 的關聯性(relevance)是由 normalized term-frequency factor 所決定，如下式

$$P(k_i | a_j) = f_{i,j} = \frac{\text{freq}_{i,j}}{\max_i \text{freq}_{i,j}}$$

設備節點在查詢節點上的影響由 influence of idf factors 決定；定義一設備反應(active)向量如下

$$\vec{k}_i = \vec{k} | (g_i(\vec{k}) = 1 \wedge \forall_{j \neq i} g_j(\vec{k}) = 0)$$

The active vector \vec{k}_i 是對向量 \vec{k} 的狀態參考，即節點 k_i 對 \vec{k} 有反應而其他的節點則是無反應(inactive)。根據反應向量，the influence of the device node in the query node q 如下

$$P(q | \vec{k}) = \begin{cases} idf_i & \text{if } \vec{k} = \vec{k}_i \wedge g_i(\vec{q}) = 1 \\ 0 & \text{if } \vec{k} \neq \vec{k}_i \vee g_i(\vec{q}) = 0 \end{cases}$$

$$idf_i = \log \frac{N}{n_i}$$

套用上述方程式可產生完整的排名公式

$$\begin{aligned}
 P(q \wedge a_j) &= \left(\prod_{\forall i} P(\bar{k}_i | a_j) \right) \times P(a_j) \times \sum_{\vec{k}_i} P(k_i | a_j) \times P(q | \vec{k}_i) \times \frac{1}{P(\bar{k}_i | a_j)} \\
 &= c_j \times \frac{1}{|a_j|} \times \sum_{\forall i | g_i(a_j)=1 \wedge g_i(\vec{q})=1} f_{i,j} \times idf_i \times \frac{1}{1 - f_{i,j}}
 \end{aligned}$$

3.2.3 Activity Classification

透過查詢資料與推論網路模型的相關性計算後，活動分類器會接收到活動排名列表(ranking list)，在進行分類前可以使用排名閾值 HR 過濾或減少分類類別。活動分類的模型採用 Naïve Bayes 分類，使用活動發生時的 context data 當作 class features，包含溫度，光度，濕度，時段，季節等等。ranking list 中的每個活動都視為一個類別，貝式分類器依查詢設備的 feature 計算事後機率。

4. 系統實現及實驗分析

本章節則實現其整體架構之雛形系統，並針對於其 appliance-aware activity recognition 方法進行實驗分析。

4.1 識別實驗及分析

本研究將對於 appliance aware activity Recognition 進行實驗及分析，包含對於關聯性排名、時間區段及活動分類等相關參數進行實驗測試，而對其測試結果我們分別採用 recall(Rec)及 precision(P)的評估

指標來評斷對於此方式結果。

$$Pre = \frac{|Ra|}{|A|}$$

$$Rec = \frac{|Ra|}{|R|}$$

其中 Ra 表示 relevant activities in answer set, A 則為 answer set, R 則 relevant activities. 而為了在眾多活動中進行下述實驗, 我們將對於其中包含看電視、使用電腦、作菜及打掃行為分類定義其活動, 其中其前兩項為相類活動而核心電器的不同之區別, 而作菜則是在一段時間區段中有不同的電器進行相關變化。而打掃則是主要核心電器搭配其他變動電器的產生。

4.1.1 關聯性排名分析

此本實驗則是對於資料關聯性排名進行相關實驗, 當系統偵測到現今電器使用的時候, 其會將電器組丟進 Device-Activity Similarity Model 找出相關關聯度排名, 而本實驗將首先針對於上述四種活動中各挑出一種核心電器來作為關聯度排名前二十之準確率及涵蓋率。其結果如下表所示,

表 2 電器使用關連度(1)

	電視	電腦	抽油煙機	吸塵器
precision	93.5%	83%	97.5%	74%
recall	75%	80%	40%	85%

再結果我們發現因為使用者往往在電腦開啟的時候進行不同之活動, 因此, 針對於其 precision 偏低, 然而伴隨著 recall 則為較高之行為。而對於 cooking 的時候, 使用者使用的電器變化則為較少之變化, 其對於 precision 則有較高的表現, 然而在 recall 部分則出現較低之現象。而接續我們則請受測者針對於上述的動作進行一個小時的測試, 其結果如下圖所示, 其中因為當使用者在看電視及打掃的時候, 容易有周邊電器的狀態改變, 因此, 關連涵蓋率有較佳的表現。而用電腦及煮菜則為使用者較專注之工作。因此, 其電器變化度較少導致有較高 precision。

表 3 電器使用關連度(2)

	看電視	用電腦	煮菜	打掃
precision	93.5%	83%	97.5%	74%
recall	75%	80%	40%	85%

4.1.2 門檻值

在本實驗中我們採用不同的 ranking 門檻值來進行活動識別, 其相關結果如下圖所示, 由結果顯示, 當門檻值過低的時後, 將會有非相關的活動進入其分類門檻, 導致其整體分類準確率偏低的現象。然而當門檻值過高, 則需進一步觀察其 precision 的值, 假若 precision 有較佳表現的活動, 則對於準確率並不會造成太大影響, 但假設 precision 不佳的活動, 則可能正確的活動被排除於門檻之外, 造成整體識

別率急速下降的現象。

4.1.3 電器個數對於行為識別率

而考慮對於整體環境電器數對於單一行為識別的影響度, 考慮上述活動中, 其看電視活動較容易有周邊電器發生變化, 因此我們採用看電視進行識別, 其相關結果如下圖所示, 當電器數少於五個時候, 其當使用者暫時離開進行別的活動的時候, 因其主核心電視的開啟, 導致將造成一持續識別為看電視之行為。而電器數超過 15 個的時候, 其因周邊過多電器發生變化, 造成整體關聯性排名較為降低導致整體識別率也將發生下降的現象。

4.3 節能實驗

而對於能源管理的部分, 本實驗則以一家庭為實驗環境, 其測試者為經過兩天之相關裝置之使用訓練, 其測試裝置如下表所示, 其測試時間為期十天, 其中對於節能方式分為兩種, 一種則為透過之前所設計之 smart socket 達成自動控制部分, 另一種對於像電腦等較精密之家庭裝置, 則透過行動裝置以建議的方式告知使用者, 修正使用者用電習慣, 如下圖為在使用前與使用後的用電量實驗對照, 其可發現可大約節省其電源 12%。

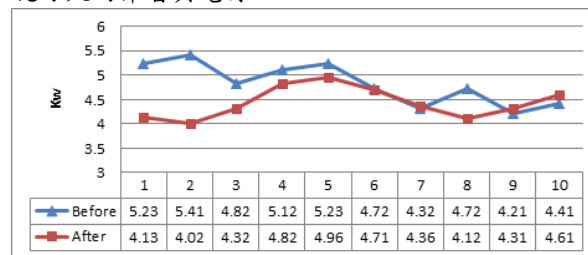


圖 6 十日書房用電量

5. 結論

針對於現今物聯網的發展與節能概念的提昇, 本研究提出了一套電器導向之物聯網能源管理系統, 藉由著電器識別之技術讓現今一般家電無需透過額外識別裝置

便能加入物聯網系統, 並利用電器區塊選擇之機制找出可能發生之活動, 根據推論網路模型建立活動與電器之關聯性, 最後採用 Naïve Bayes 對 context data 進行活動分類。而系統將對其最終之分類結果採用自動開關或者提醒使用者關閉不需要之電器, 藉以達到能源管理之貢獻。對於單純以電器導向之識別而言, 其行為仍需伴隨著電器使用才能達到識別之成果, 為了增進其活動數量, 對於未來, 我們將進行結合 image 或者 location 等資料進行混合式識別, 並嘗試進行其活動預測之推論來達到智慧控制之成果。

致謝

“本研究依經濟部補助財團法人資訊工業策進會「102年度雲端運算系統及軟體技術研發計畫(2/3)」辦理“以及國科會編號”102-2219-E-194-002”，“101-2628-E-194-003-MY3”計畫

參考文獻

- [1] Lai, Y.-X., Lai, C.-F., Huang, Y.-M. and Chao, H.-C. (2011) Multi-appliance Recognition System with Hybrid SVM/GMM Classifier in Ubiquitous Smart Home. information sciences. In press.
- [2] Lai, Y.-X., Rodrigues, J. J., Huang, Y.-M., Wang, H.-G. and Lai, C.-F. (2012) An Intercommunication Home Energy Management System with Appliance Recognition in Home Network. *Mob. Netw. Appl.* 17(1) 132-142.
- [3] Chu-sing, Y., Ming-yi, L. and Chao-xing, C. (2009) Design and implementation of HEMS based on RFID and OSGi. *Anti-counterfeiting, Security, and Identification in Communication, 2009. ASID 2009. 3rd International Conference on.*
- [4] Dae-Man, H. and Jae-Hyun, L. (2010) Design and implementation of smart home energy management systems based on zigbee. *Consumer Electronics, IEEE Transactions on.* 56(3) 1417-1425.
- [5] Young-Sung, S. and Kyeong-Deok, M. (2010) Home energy management system based on power line communication. *Consumer Electronics (ICCE), 2010 Digest of Technical Papers International Conference on.*
- [6] Rossello-Busquet, A., Soler, J. and Dittmann, L. (2011) A Novel Home Energy Management System Architecture. *Computer Modelling and Simulation (UKSim), 2011 UkSim 13th International Conference on.*
- [7] Redmer, J. (2010) Google's powermeter IET conference, 2 March 2010. *Smart Metering 2010: Delivering a Smart UK, IET Seminar on.*
- [8] Chao, C., Das, B. and Cook, D. J. (2010) A Data Mining Framework for Activity Recognition in Smart Environments. *Intelligent Environments (IE), 2010 Sixth International Conference on.*
- [9] Tapia, E., Intille, S. and Larson, K. (2004) Activity Recognition in the Home Using Simple and Ubiquitous Sensors
- [10] *Pervasive Computing.* In Ferscha, A. and Mattern, F. (eds). Springer Berlin / Heidelberg.
- [11] Kasteren, T. v., Noulas, A., Englebienne, G., Kr, B., \#246 and se. (2008) Accurate activity recognition in a home setting. *Proceedings of the 10th international conference on Ubiquitous computing, 1409637 ACM pp. 1-9.*
- [12] Harris, C. and Cahill, V. (2005) Exploiting user behaviour for context-aware power management. *Wireless And Mobile Computing, Networking And Communications, 2005. (WiMob'2005), IEEE International Conference on.*
- [13] Liao, L., Fox, D. and Kautz, H. (2005) Location-based activity recognition using relational Markov networks. *Proceedings of the 19th international joint conference on Artificial intelligence, 1642417 Morgan Kaufmann Publishers Inc. pp. 773-778.*
- [14] Singla, G., Cook, D. and Schmitter-Edgecombe, M. (2010) Recognizing independent and joint activities among multiple residents in smart environments. *Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing.* 1(1) 57-63.
- [15] Duong, T. V., Bui, H. H., Phung, D. Q. and Venkatesh, S. (2005) Activity recognition and abnormality detection with the switching hidden semi-Markov model. *Computer Vision and Pattern Recognition, 2005. CVPR 2005. IEEE Computer Society Conference on.*
- [16] Ben-Arie, J., Zhiqian, W., Pandit, P. and Rajaram, S. (2002) Human activity recognition using multidimensional indexing. *Pattern Analysis and Machine Intelligence, IEEE Transactions on.* 24(8) 1091-1104.
- [17] Luhr, S., Bui, H. H., Venkatesh, S. and West, G. A. W. (2003) Recognition of human activity through hierarchical stochastic learning. *Pervasive Computing and Communications, 2003. (PerCom 2003). Proceedings of the First IEEE International Conference on.*
- [18] Intille, S. S., Larson, K., Tapia, E. M., Beaudin, J. S., Kaushik, P., Nawyn, J. and Rockinson, R. (2006) Using a live-in laboratory for ubiquitous computing research. *Proceedings of the 4th international conference on Pervasive Computing, 2094967 Springer-Verlag pp. 349-365.*
- [19] Patterson, D. J., Fox, D., Kautz, H. and Philipose, M. (2005) Fine-grained activity recognition by aggregating abstract object usage. *Wearable Computers, 2005. Proceedings. Ninth IEEE International Symposium on.*
- [20] Ito, M., Uda, R., Ichimura, S., Tago, K., Hoshi, T. and Matsushita, Y. (2004) A method of appliance detection based on features of power waveform. *Applications and the Internet, 2004. Proceedings. 2004 International Symposium on.*
- [21] Gu-yuan, L., Shih-chiang, L., Hsu, J. Y. J. and Wan-rong, J. (2010) Applying power meters for appliance recognition on the electric panel. *Industrial Electronics and Applications (ICIEA), 2010 the 5th IEEE Conference on.*
- [22] Ruzzelli, A. G., Nicolas, C., Schoofs, A. and O'Hare, G. M. P. (2010) Real-Time Recognition and Profiling of Appliances through a Single Electricity Sensor. *Sensor Mesh and Ad Hoc Communications and Networks (SECON), 2010 7th Annual IEEE Communications Society Conference on.*
- [23] Chin-Feng, L., Yueh-Min, H., Jong Hyuk, P. and Han-Chieh, C. (2010) Adaptive Body Posture Analysis for Elderly-Falling Detection with Multisensors. *Intelligent Systems, IEEE.* 25(2) 20-30.