

一個簡易的無所不在學習系統 SULLS 之設計概念  
The Design Concept of a Simple Ubiquitous Learning System – SULLS

江振瑞 葉明貴 黃宇立

國立中央大學 資訊工程學系

電郵：{jrjiang, 92542010, 945202052}@csie.ncu.edu.tw

**【摘要】** 無所不在學習系統可以使我們在任何時間、任何地點以任何形式的學習設備進行學習，透過學習設備的精確定位及智慧物件的使用，無所不在學習系統更具有情境感知(context awareness)的特性，可以依照學習者所在的位置及其周邊的環境狀況，在最適當的時機、地點提供最適合學習者的資訊。本論文提出一個無所不在學習系統 SULLS 的設計概念，SULLS 整合兩種現存技術：APS 定位及 RFID，及三種新開發技術：最遠標籤轉送、標籤輔助定位及多媒體資料網路內快取。值得一提的是，在只有少數設備具有精確定位能力及 RFID 標籤讀取機的情況下，我們依然可以實現 SULLS 系統。

**【關鍵詞】** 無所不在學習、APS 定位技術、無線射頻辨識系統、無線通訊、情境感知

*Abstract: A ubiquitous learning system enables people to learn at any time, at any place and in any form. It especially has the context awareness property to provide learners the right information at the right place and the right time. In this paper, we propose a design concept for the ubiquitous learning system, SULLS (Simple Ubiquitous Learning System). SULLS integrates two existent technologies, namely APS (Ad-hoc Positioning System) and RFID (Radio Frequency Identification), with three newly developed technologies, namely farthest tag forwarding, tag-assisted positioning and multi-media data in-network cache. It is worth mentioning that we can realize SULLS with only few devices having RFID readers and accurate positioning ability.*

**Keywords:** Ubiquitous Learning, APS positioning technique, RFID, Wireless Communication, Context Awareness

## 1. 前言

近年來無線通訊科技飛快進步，微電機(Micro-Electro-Mechanical)硬體製作技術亦日趨成熟，從手錶到臂章，從花草盆栽到門窗桌椅，成千上百的小型裝置開始不露痕跡地嵌入我們週遭的實體環境中。這些裝置有些具有計算、通訊及感測能力(如 Berkeley Mote)，有些則僅具有無線標籤功能(如 RFID Tag, Radio Frequency Identification Tag)，這使我們進入所謂的無所不在計算(Ubiquitous Computing)時代(Weiser, 1991;1998; Weiser et al., 1999)。在這種科技的演進趨勢下，學習系統也很自然的由電子學習(E-Learning)、行動學習(Mobile Learning)等系統轉變為無所不在學習(Ubiquitous Learning)系統(Jones & Jo, 2004)。

無所不在學習系統可以讓使用者在任何時間、任何地點以任何形式的學習設備進行學習。透過學習設備的定位(positioning)及智慧物件(smart object)的使用，無所不

在學習系統更具有情境感知(context awareness)的特性，可以依照學習者所在的位置及其周邊的環境狀況，在適當的時機、地點提供最適合學習者的資訊。然而定位功能的完成與智慧物件的感知通常需要投入額外的裝置與基礎建設，且智慧物件的感知範圍通常很小(例如，內嵌 RFID 標籤的智慧物件的感知範圍通常只有幾十公分)，因此，若要使用現在一般僅具有無線通訊能力的可攜式數位學習設備(如 Pocket PC、PDA 等)來實現無所不在學習系統則顯得較不可行。

在本論文中，我們提出一個無所不在學習系統— SALS (Simple Ubiquitous Learning System)— 的設計概念。在 SALS 中，智慧物件均僅嵌入 RFID 標籤，而其中大部分的學習設備僅具有無線通訊能力，只有少許的學習設備具有 RFID 讀取機及/或定位裝置。因為所有的學習設備均具有無線通訊能力，我們可以透過無線通訊封包的轉送，使系統中不具定位及 RFID 讀取機的學習設備也可以偵測到自己的位置，並且使所有的學習設備在遠距離即可以得知智慧物件的存在。另外，只要事先將智慧物件的相關資訊儲存於少數具有 RFID 讀取機的學習設備上，則可透過資訊轉送的機制，將智慧物件的相關資訊傳送至其他的學習設備上。

SALS 整合以下二個現有的技術：

- APS 定位技術： 在此技術中之需要三個學習設備具有定位裝置(或位置資訊)即可藉以定出其他未具有定位裝置之學習設備的位置。
- RFID 技術： 只要具有 RFID 讀取機即可以無線傳輸方式讀取 RFID 標籤中的資訊。

SALS 並開發了以下的新技術：

- 最遠標籤轉送(farthest tag forwarding)技術：當具有 RFID 讀取機的學習設備讀取到 RFID 標籤的資訊時，即透過多跳(multi-hop)無線通訊以 flooding 的方式將標籤資訊進行廣播。當一個節點透過無線通訊由另一個節點收到 RFID 標籤資訊時，離原傳送點較遠的節點會有較高的機會負責轉送，而較近的節點則有較高的機會完全不需轉送，如此除了可以讓 RFID 標籤的資訊以較少的無線電跳躍(hop)即可以傳播至整個網路之外，也可以免除廣播風暴(broadcast storm)問題。在此技術中只要少數的學習設備具有 RFID 讀取機，即可讓所有的學習設備皆可在遠距離即可獲得智慧物件的資訊。
- 標籤輔助(tag-assisted positioning)定位技術：SALS 於每個智慧物件的標籤中亦加入位置資訊，因此，當具有 RFID 讀取機的學習設備因為接近智慧物件的標籤而能夠讀取到標籤的資訊時，也可以同時以標籤中的位置資訊取得本身的位置，而得以進行 APS 定位程序。也就是說，當所有的學習設備均未具備定位裝置時，SALS 仍然能夠藉由智慧物件中標籤所帶的位置資訊進行定位。
- 多媒體資料網路內快取(multi-media data in-network cache)技術：當學習設備於遠方偵測到智慧物件時，若使用者選擇下載此智慧物件的大量相關資料(如多媒體資料)，則只要向傳來智慧物件標籤的上游節點提出要求，若上游節點已具有此智慧物件的相關資料，則可直接回傳給提出資料需求的節點；反之，再由上游節點再向更上游的節點求取所需資料。這個技術可以讓學習設備在大部份時候均可就近向鄰近的設備取得所需的資料，可避免引起無線網路傳輸的壅塞。

本論文其他部份的內容安排如下所述：我們在第二章中介紹相關的 APS 定位技術及 RFID 標籤技術，並在第三章中描述最遠標籤轉送、標籤輔助定位及多媒體資料網路內快取技術。我們在第四章中描述 SULS 系統的使用情境，最後，在第五章做一個總結。

## 2. 相關技術

### 2.1. 定位技術

最廣為人所知的定位技術就是全球定位系統(Global Positioning System, GPS) (Trimble, 2006)。GPS 以三角定位法進行定位 -- 利用三個已知位置資訊的定位點來決定一個待測點的位置，只要知道待測點與定位點間的距離及定位點本身的座標，便可以用計算出未知點的座標。然而，GPS 定位使用訊號從衛星發射到待測點接收的時間差來測量衛星與待測點間的距離，因此需要精確同步的時間資訊(每個衛星上都必須帶有精密的原子鐘)；而且 GPS 裝置與衛星之間必須有直視(Line of Sight, LOS)關係(這意味著 GPS 無法在室內使用)；另外，GPS 裝置需要消耗許多電力，因此，在某些體積較小的設備上，無法長時間使用。由於電波多路徑(multi-path)現象及氣候、電離層、雜訊等的影響都會使得 GPS 測得的位置資訊產生偏差，因此一般 GPS 定位誤差約為 15 公尺，若採用差分 GPS(Differential GPS, DGPS)定位，則誤差可縮減至 1~5 公尺，但是目前 DGPS 的價格非常昂貴。

為了能夠在沒有精確同步時脈及直視條件的情況下也能進行定位，Dragos Niculescu 等人於 2001 年利用距離向量繞徑(distance vector routing, DVP) (Perkins & Royer, 1999)和 GPS 三點定位原理提出了一系列隨意定位系統(Ad Hoc Positioning System - APS)，以下我們介紹其中一個定位技術：DV-Distance (Niculescu & Nath, 2001; 2003)。

DV-Distance 技術需要系統中至少有三個已知位置資訊的錨定位點(anchor node)，以估測其他節點(即設備)之位置。每個錨定位點不斷發送包含自己的位置資訊的封包，並以距離向量繞徑協定使網路中的所有節點都能取得與各個錨定位點之最短路徑。在此階段中，各相鄰節點間距離的估測是採用 RSSI(Received Signal Strength Indicator)(Bahl & Padmanabhan, 2000)的方式(也就是以訊號的強弱來做為衡量距離的依據)，然後以累加繞徑路徑中所有經過節點的距離，以獲得節點與各錨定位點間的估測距離。每個節點都會保存一份表格  $\{x_i, y_i, d_i\}$ ，其中  $(x_i, y_i)$  為錨定位點  $i$  之座標，而  $d_i$  為節點與錨定位點間的估測距離。在獲得三個錨定位點位置及相距的估測距離之後，節點便可以使用三角定位法來定出本身的位置。

### 2.2. RFID 技術

RFID 系統主要係由讀取機、詢答機(transponder，一般泛稱為標籤)與後端的應用軟體所組成 (Finkenzeller, 2003)。標籤依其本身是否具備電源與能力強弱分為被動式(passive)、半主動式(semi-active)及主動式(active tag)三類。

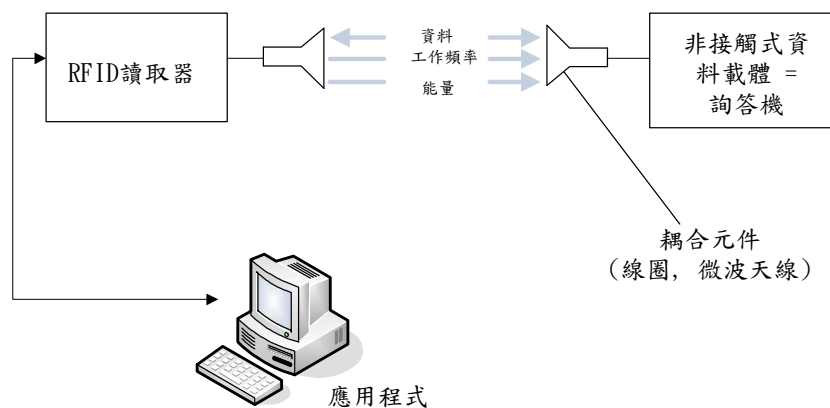


圖 1、RFID 系統的組成元件

以本身不具電源的被動式標籤運作為例：藉由讀取機對標籤發出無線射頻(radio frequency)訊號時亦同時傳遞能量以驅動本身不具電源的標籤所需的運作與回應讀取機所需的能量，然後標籤依讀取機的命令，回傳資料給讀取機而達成彼此之間的訊息溝通。標籤身上所帶有的訊息除了全世界獨一無二的 ID 外，亦可儲存一些資料(如定位資料)。目前 RFID 使用的射頻頻率有 6 種，分別為 135KHz 以下、13.56MHz、433.92MHz、860M~930MHz (即 UHF)、2.45GHz 以及 5.8GHz，其各有優點和限制，如表 1 所示。

表 1：常見 RFID 標籤使用頻率與基本用途比較		
頻率範圍	傳輸距離	應用範圍波長
135KHz 以下	約 10 公分左右，通訊速度慢。	因為大多數的國家都予以開放，較不涉及法規和執照申請的問題，所以使用層面最廣。主要用在寵物晶片 (台灣地區採用的是 128KHz/64KHz 的電波訊號)、門禁管制和防盜追蹤等。
13.56MHz	傳輸距離為 1 公尺以下。	近距離的非接觸式 IC 卡，大多用於：會員卡、識別證、飛機機票和建築物出入管理等。
860M~930MHz (即 UHF)	最遠可達近 5~10 公尺的傳輸距離，通訊品質佳。	適合用在供應鏈品項 (Items) 管理，但各國頻率與法規各異，跨區漫遊應用可能出現問題。
表格資料來源：EAN Taiwan，商品條碼策進會(莊伯達, 2003)		

以 UHF 頻段的 RFID 應用為例，其有效讀取距離約可達到 5~10 公尺(AWID, 2006)；若使用內含有電池的半主動式標籤，則有效距離將可以遠達數十~上百公尺。目前市面上發展 RFID 讀取設備(reader)的廠商相當多，產品彼此之間亦存在相當大的差異度。表 2 係就市面上可見的產品作一整理比較。

頻率/形式	大小	功率	價格(美金)	參考型號
13.5Mhz/手持	CF card 5.2 x 0.16 x 3.5 cm	175 mA	\$543	OMRON V720S-HMF01
13.5Mhz/固定	42.0 x 32 x 4.5 cm	1.5A (Max)	\$560	GIGA-TMS GP90A
UHF/手持	PCMCIA Type II 14.2 x 0.84 x 5.4 cm	150-250mA	\$595	WJ Multi-Protocol MPR 5000 RFID Card
UHF/固定	4 independent antennas x 30.5x 2x30.5 cm	600mA	\$1749	AWID MPR-3014NF

### 3. SULS

根據上一節的比較，SULS 採用有效讀取距離達 5~10 公尺的 UHF 頻段 RFID 標籤，並使用 PCMCIA Type II 之 UHF/手持式讀取機以建置無所不在學習系統。當具有 RFID 讀取機的學習設備讀取到 RFID 標籤的資訊時，即將 RFID 標籤的資訊透過多跳(multi-hop)無線通訊方式進行洪氾(flooding)廣播。SULS 也採用 GPS 定位系統與 DV-Distance 定位技術，一個配有 GPS 定位裝置的學習設備，可以透過 GPS 系統獲取本身的位置資訊，此學習設備則扮演錨定位點的角色，不斷的廣播本身的位置資訊。當學習設備均未備有 GPS 定位系統或 GPS 定位系統無法使用時，則具有 RFID 讀取機的學習設備會以感應到的 RFID 標籤中的位置資訊為本身的位置，並扮演錨定位點的角色，因此，SULS 仍然可以繼續進行定位操作。

以下我們說明三個 SULS 使用的主要技術：最遠標籤轉送(farthest tag forwarding)技術、標籤輔助定位(tag-assisted positioning)技術及多媒體資料網路內快取(multi-media data in-network cache)技術。

#### 3.1. 最遠標籤轉送技術

當具有 RFID 讀取機的學習設備讀取到 RFID 標籤的資訊時，會將 RFID 標籤的識別紀錄透過多跳(multi-hop)無線通訊方式進行洪氾廣播。當一個節點透過無線通訊由另一個節點收到 RFID 標籤資訊時，會等待一個後退(backoff)時間之後再轉送此一資訊，後退時間的計算則是以 RSSI 的方式先行估測訊號源距離，然後再以訊號源距離來計算後退時間。其計算方式如下：

$$\text{後退時間} = ((L-R)/L) \times B$$

其中 R 為訊號源距離，L 為事先預知的最大訊號源距離(也就是最遠的無線通訊距離)，而 B 為預設的最長後退時間。

例如，在配備最大傳輸距離為 250 公尺的學習設備中(L=250)，當一個節點接收到一個 50 公尺外之訊號源之標籤資訊時(R=50)，其後退時間為 $((250-50)/250)B=0.8B$ ；而當一個節點接收到一個 200 公尺外之訊號源之標籤資訊時，其後退時間為 $((250-200)/250)B=0.2B$ 。很顯然的，距離訊號較遠的節點具有較短的後退時間。

SULS 要求每個節點在後退時間之內，若能聽到其他節點正在轉送相同的標籤資料，則本身不再轉送此一標籤資料；反之，則節點在後退時間結束之後，馬上轉送標籤資料。此技術可以讓離原標籤資料傳送訊號源較遠的節點會有較高的機率負責轉送標籤資料，而離原標籤資料傳送訊號源較近的節點則有較高的機率不需轉送標籤資料。另外，距離較遠的節點也不是每個節點都需要轉送標籤資料，若距離較遠的節點發現某個鄰近節點已經開始轉送標籤資料，則該節點亦無須轉送標籤資料。如此，可以讓 RFID 標籤的資訊以較少的無線電跳躍(hop)即可以傳播至整個網路之外，也可以免除廣播風暴(broadcast storm)問題。

綜合而言，最遠標籤轉送技術只需要少數的學習設備具有 RFID 讀取機，透過有效的標籤資料無線轉送技術，即可讓所有的學習設備皆可在遠距離即可獲得智慧物件的標籤資訊。

### 3.2. 標籤輔助定位技術

SULS 整合 DV-Distance 定位技術，一個配有 GPS 定位裝置的學習設備，可以透過 GPS 系統獲取本身的位置資訊，此學習設備則扮演錨定位點的角色，不斷的廣播本身的位置資訊。當學習設備均未備有 GPS 定位系統或 GPS 定位系統無法使用時，具有 RFID 讀取機的學習設備會以感應到的 RFID 標籤中的位置資訊為本身的位置，並扮演錨定位點的角色。SULS 採用有效讀取距離可達 5~10 公尺的 UHF 頻段 RFID，而 GPS 定位裝置的定位誤差約為 15 公尺，因此，學習設備若透過感應到的 RFID 標籤來取得本身的位置資訊，則此位置資訊仍然在 GPS 定位裝置的誤差範圍之內。

擔任錨定位點的學習設備，不論是由 GPS 定位系統或是 RFID 標籤取得本身的位置資訊，均會將標籤資訊與本身的訊息(含位置資訊)整合在一起以如同最遠標籤轉送技術的方式來傳遞。如前所述，如此可讓資訊以較少的無線電跳躍(hop)傳播至整個網路，也可以免除廣播風暴問題。另外，每個節點均執行 DV-Distance 定位技術，因此，每個節點於收到三個以上錨定位點位置資訊之後，就可以使用三角定位方式來決定出本身的位置。

### 3.3. 多媒體資料網路內快取技術

如前所述，具有 RFID 讀取機的學習設備讀取到 RFID 標籤的資訊時，會將 RFID 標籤的識別紀錄透過多跳(multi-hop)無線通訊進行洪氾廣播。另外，每個具有 RFID 讀取機的學習設備均備有相關智慧物件的資料庫，當學習設備讀取到 RFID 標籤的資訊時，即以 RFID 標籤的識別紀錄至資料庫中搜尋出智慧物件的相關多媒體資料(如影音、圖片等多媒體資料)，並以單跳(single-hop)廣播方式傳遞。因為每個離智慧物件較近的一般學習設備，也會在具有 RFID 讀取機的學習設備附近，因此，這些一般設備即可立即取

得智慧物件的多媒體資料，並將之存放於本身的快取儲存(cache storage)中。當然，每個學習設備可以依照本身的總儲存空間、處理器能力、電池電量等狀況來決定要開設多少快取儲存空間。

另外，離智慧物件較遠的學習設備，可以透過最遠標籤轉送技術獲得智慧物件的識別資訊。若學習者對此物件特別有興趣，就可以進一步要求先行下載此智慧物件的相關多媒體資料。而此多媒體資料下載要求只要向傳來智慧物件標籤資訊的上游節點提出，若上游節點已具有此智慧物件的多媒體資料，則可直接回傳多媒體資料給提出請求的節點；反之，再由上游節點再向更上游的節點求取所需的多媒體資料。

綜合言之，多媒體資料網路內快取技術可以讓具有 RFID 讀取機的學習設備只在讀取到智慧物件 RFID 標籤的資訊時，傳遞一次智慧物件多媒體資料，而能使智慧物件週遭的學習設備馬上接收到相關的多媒體資料。而其他距離較遠的學習設備在大部份時候均可就近向鄰近的設備由其快取儲存中取得所需的多媒體資料，以減少無線網路的資料傳輸，並可減輕具有 RFID 讀取機學習設備的負載。

#### 4. 使用情境

如圖 2 所示，想像在一個自然森林裡，有一個老師帶著一群學生正在進行戶外教學。為避免破壞大自然的生態，森林裡並沒有任何網路基礎建設存在，也沒有裝置任何人工的標示牌——除了一些小到不能再小的 RFID 標籤隱藏於步道的岔路口、重要里程點、特殊景觀處或特殊植物之中，標籤上則帶有唯一的識別碼、簡單的資料(如特殊植物名稱)及標籤位置資訊。

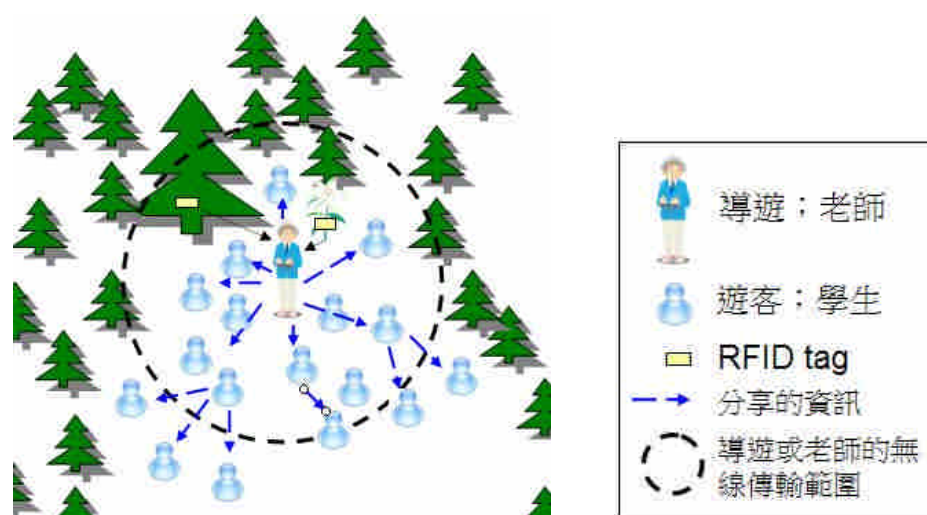


圖 2、SALS 使用於無所不在教學之情境

在教學過程中，教師持著具 RFID 讀取機或 GPS 定位的裝置，可以快速的進行定位或是擷取智慧物件(標籤)所含有的訊息。除了轉送標籤資訊之外，教師之裝置亦可透過預先下載的資料庫以標籤資訊進行比對以找出該智慧物件的多媒體資訊，接著再透過無線通訊方式傳送給週遭只具有無線通訊能力學習設備的學生參考。如此，持有簡單學習設

備的學生即可與週遭的智慧物件產生互動，達到無所不在學習的效果。若同時在教學環境中出現三部以上具 RFID 讀取機或 GPS 定位的裝置的學習設備，則所有的學習設備可以 APS 的方式進行定位，可以更精確的與智慧物件產生互動。

## 5. 結論

在本論文中我們提出了一個無所不在學習系統 SULTS 的設計概念，SULTS 整合 APS 定位技術與 RFID 技術，並提出最遠標籤轉送(farthest tag forwarding)、標籤輔助(tag-assisted positioning)定位及多媒體資料網路內快取(multi-media data in-network cache)等技術，讓使用者以最普通、最經濟的設備，在任何時間、任何地點以任何形式來進行學習。由於 SULTS 只要求學習設備具有無線通訊能力，而只要有少部份設備具有定位裝置及 RFID 讀取機，我們相信，SULTS 是目前實現無所不在學習系統的一個簡單的、可行的方式。

## 參考文獻

- 莊伯達(2003)。常見頻率的基本用途與區別。EAN Taiwan 商品條碼策進會
- AWID (Applied Wireless ID Inc.) (2006). Generation 2 Certified RFID readers. <http://www.awid.com/index.aspx/>
- Bahl, P. & Padmanabhan, V. N. (2000). RADAR: An In-Building RF-based User Location and Tracking System. Proceedings of IEEE Infocom 2000.
- Finkenzeller, K. (2003). RFID Handbook: Fundamentals and Applications in Contactless Smart Cards and Identification. John Wiley & Sons.
- Jones, V., & Jo, J.H. (2004). Ubiquitous learning environment: An adaptive teaching system using ubiquitous technology. Proceedings of the 21st ASCILITE Conference, 468-474.
- Niculescu, D. & Nath, B. (2001). Ad Hoc Positioning System (APS). Proceedings of the Global Telecommunications Conference, 2926 - 2931.
- Niculescu, D. & Nath, B. (2003). DV Based Positioning in Ad Hoc Networks. Telecommunication Systems, 22, 267-280.
- Perkins, C. & Royer E. (1999). Ad-hoc on-demand distance vector routing. Proceedings of Mobile Computing Systems and Applications, 90-100.
- Trimble (2006). All About GPS. <http://www.trimble.com/gps/>
- Weiser, M. (1991). Some computer science issues in ubiquitous computing. Communications of the ACM, 36, 7, 75 - 84.
- Weiser, M. (1998). The future of ubiquitous computing on campus. Communications of the ACM, 41, 1, 42 - 43.
- Weiser, M., Gold, R. & Brown, J.S. (1999). The origins of ubiquitous computing research at PARC in the late 1980s. IBM Systems Journal, 38, 4, 693 - 696.