

具平行分裂與合併概念之 RFID 反碰撞協定

葉明貴¹, 黃興燦², 江振瑞³

¹ 資訊管理系, 南亞技術學院
320 桃園縣中壢市中山東路三段 414 號

^{2,3} 資訊工程系, 國立中央大學
320 桃園縣中壢市中大路 300 號

摘要—無線射頻辨識(RFID)技術近幾年來受到極大的注目, 許多領域中均不斷有新的運用出現。當讀取器要辨識週遭電子標籤身分時, 礙於電子標籤構造太過簡單, 無法彼此協調錯開回應, 而導致大量的回應訊號碰撞, 造成辨識時間延長。為解決此一問題, 常見的方法有兩大類: ALOHA 基礎以及樹狀(tree) 基礎協定。其中樹狀協定又分為確定樹狀基礎(deterministic tree-based)以及隨機計數基礎(probabilistic counter-based)兩個子類別。本論文中提出一個設計簡單的隨機計數基礎協定, 以平行分裂與合併概念進行 RFID 反碰撞程序。經過模擬後, 發現所提方法比 ISO/IEC 18000-6B 中的反碰撞協定有較佳的辨識效能。

一、前言

無線射頻辨識系統(RFID)因其具有非接觸式的自動辨識功能特性[6], 因此近年來在各領域有非常多的應用。整個 RFID 系統主要係由三個部分所組成, 包括讀取器(reader)、電子標籤(tag)以及後端的應用程式。其中, 電子標籤通常都是貼附在物件上, 透過讀取貼附在物件上的電子標籤裏的識別碼即可辨識該物件的身分。較特別的是, 與一般電子裝置不同的地方是, 被動式(passive)電子標籤在電路設計時並未設計電源, 其所需驅動電子零件的電能係來自讀取器在傳送訊號給電子標籤時所提供的能量。因此, 電子標籤不可能有太複雜的設計, 所以組成零件很簡單, 體積也很小, 相對的, 生產的成本價格可以較低廉。基於這樣的特性, 有一些大量需要電子標籤佈建的領域即很適合 RFID 系統的發展, 例如物流與供應鏈管理、物品追蹤等。

當電子標籤靠近讀取器所在的位置距離夠近到電子標籤可以回應讀取器所發出來的詢問訊號並能被讀取器所正確解讀時, 我們稱該電子標籤係位於讀取器的辨識區域(interrogation zone)中。當讀取器想知道有哪些電子標籤是位於其辨識區域內時, 會進行辨識程序(identification procedure)來要求電子標籤提供身分識別。但當有超過一個電子標籤同時回應此一辨識詢問時, 將會產生電子標籤訊號碰撞的狀況, 此時讀取器並無法順利辨識出任一個電子標籤的身分。如果此一辨識程序執行時間過久, 將有可能導致電子標籤由進入到離開辨識區域時仍未被辨識出來。因此, 如何順利並快速的將辨識區域內的電子標籤辨識完成遂成為 RFID 系統中一個重要的研

究議題。之前已經有很多研究被提出以解決電子標籤辨識碰撞的問題, 我們稱此類協定為反碰撞協定(anti-collision)。根據所採用演算法的類型, 大致上可以分為兩大類: ALOHA 基礎以及樹狀(tree) 基礎協定。其中樹狀協定又分為確定樹狀基礎(deterministic tree-based)以及隨機計數基礎(probabilistic counter-based)兩個子類別 [18]。

ALOHA 基礎協定是一個相當簡單的方法, 不過會遇到電子標籤挨餓(tag starvation)的特殊狀況。所謂電子標籤挨餓是指電子標籤因為彼此持續的發生訊號碰撞, 導致一直無法被讀取器正確辨識的狀況; 而樹狀基礎協定基本上就沒有這樣的狀況, 但是在確定樹狀基礎的協定中, 其辨識程序效能卻會受到電子標籤辨識碼的長度與分佈狀況的影響。相較於前兩者, 隨機計數基礎的協定似乎就顯得較中性, 因此, 這也是引發我們想針對此類協定進行研究的動機。

在本篇論文中, 我們提出了一個隨機計數基礎的協定 PSM (parallel splitting and merging), 該方法與此一類型協定的代表作 ISO/IEC 18000-6B 有著類似的簡單規則, 但卻有較好的辨識效能。PSM 的基本想法是當聽到讀取器所發出的命令時(包括開始、減一、分裂與合併命令), 所有尚未被辨識的電子標籤平行一起動作; 這與原來 ISO/IEC 18000-6B 標準中所定義的反碰撞協定, 只有計數器值是 0 的電子標籤在聽到讀取器的命令才可以進行分裂的動作相比, 可以加速整個電子標籤辨識過程的速度。

本篇論文編排如下: 有關反碰撞協定相關研究在第二節介紹; 我們所提方法則在第三節說明。在第四節中, 我們則對所提方法進行模擬, 並與其它協定進行比較。最後, 在第五節則提出結論。

二、相關研究

A. ALOHA 基礎協定

在 ALOHA 基礎協定中[1][10-12], 電子標籤在回應讀取器的辨識請求時, 主要是採取隨機的方式。在「ALOHA 協定」中, 當電子標籤收到讀取器的辨識請求時, 即隨機選取一個退讓時間(backoff time), 並在該時

間到達時才回應讀取器。若識別碼訊號在傳輸過程中產生碰撞，則會再隨機選擇一個退讓時間再傳輸識別碼；若沒有碰撞發生，則讀取器將可以成功的辨識該電子標籤，同時被辨識出來的電子標籤在本次的辨識程序中將不再回應。而在「時槽(Slotted) ALOHA 協定」[12]中，時槽是一段段大小相同、連續但不重疊的時間所組成。電子標籤的回應不再是隨機選擇時間，而是改成隨機選擇一個時槽編號，只有輪到該時槽編號開始時才能回應識別碼。根據[15]的研究，「時槽 ALOHA 協定」的效能是「ALOHA 協定」的兩倍，因為前者可以避免部分碰撞(partial collision)的現象。「訊框時槽(Frame Slotted)ALOHA 協定」[17]則是將固定數目的連續時槽組成一訊框，而每一個電子標籤只能在一個訊框中回應識別碼一次，若在回應時產生訊號碰撞，則只能在下一個訊框再隨機選擇一個時槽回應。「訊框時槽 ALOHA 協定」的一個缺點是當一個訊框內的時槽數目與辨識區域內的電子標籤數目差異很大時，將會使辨識效能急遽降低。因此，「動態訊框時槽 ALOHA 協定」[4][9-11]被提出來，藉由估計電子標籤的數目多寡來動態調整訊框的大小，藉以提升辨識效能。

B. 確定樹狀基礎協定

除了 ALOHA 基礎的方法被提出外，利用分裂樹的概念也被提出以解決碰撞的問題[3][7][16]。其中，確定樹狀基礎協定[5][19]是藉由將產生碰撞的電子標籤識別碼反覆分裂成較小的子群組，一直到只有一個電子標籤在一個群組中，不會在回應時產生碰撞為止，因此可以順利識別出電子標籤。以查詢樹(query tree)為例[13]，讀取器首先廣播一串詢問位元 S ，如果有電子標籤的識別碼前置位元與 S 相符，則會回應它的識別碼給讀取器。如果只有一個電子標籤回應，則該電子標籤可以很順利的被辨識成功。但是若有多個電子標籤同時回應，則將產生碰撞。當發生碰撞時，讀取器會在原來的詢問字串 S 之後附加上 0 或 1 以形成較長的字串，並於稍後分別廣播這兩個詢問字串 S 。透過這樣的方式，碰撞的電子標籤被分為兩子群。如果子群內只剩下一個電子標籤，很明顯的，可以被成功辨識。在這個機制中採用堆疊(stack)來輔助管理後續預計要廣播的詢問字串 S 。查詢樹因為在辨識的過程中不需使用記憶體協助記憶辨識的過程狀態，因此屬於無記憶體協定。透過觀察，我們可以發現查詢樹的辨識延遲程度跟電子標籤辨識碼的分佈與長度有關。這是因為如果辨識碼是連續分佈，則讀取器需要發出更多且更長的詢問字串 S 才能將所有的電子標籤分別唯一辨識。

逐位元(bit-by-bit)二元樹協定[5]是另一個具代表性的協定。當開始辨識程序，電子標籤在收到讀取器的辨識查詢時，每一個電子標籤回應他們自己辨識碼的第一個位元。當讀取器收到這一個位元的回應時，再發出一個位元 0(或 1)給電子標籤。而此時只有剛剛回應是 0(或 1)的電子標籤可以回應其辨識碼的次一個位元。重複此一程序，逐位元的將電子標籤辨識碼傳遞並分別成功辨識。

與查詢樹不同的是，逐位元二元樹協定需要記憶體來記錄辨識過程的狀態，以便可以正確的回應位元。不像查詢樹一次比一次發送的詢問位元越來越長，在電子標籤識別碼連續分佈的狀況下，逐位元二元樹協定有較好的效能；但若是像平均分佈的狀況下，則辨識所需時間可能較查詢樹長。

C. 隨機計數基礎協定

隨機計數基礎協定[9][14][18]係藉由動態改變電子標籤上的計數器值而將原屬同群的電子標籤分成不同的子群(亦即群組分裂)。在 ISO/IEC 18000-6B 標準所定義的反碰撞協定中[8]，規定電子標籤的計數器值為 0 時才能回應讀取器的辨識要求，並且每一個電子標籤的計數器值在初始時均設定為 0。當發生多個電子標籤回應而產生碰撞時，計數器值大於 0 的電子標籤會把自己的計數器值加 1；而計數器值為 0 的電子標籤則隨機選擇 0 或 1 加入計數器值。透過這樣的方式，碰撞的電子標籤被分成兩個子群組。當此一程序反覆執行到只有一個或沒有電子標籤的計數器值為 0 時，此時，若只有一個電子標籤，則可以很順利的被辨識出來。在此一狀況(只有一個或沒有電子標籤的計數器值為 0)下，讀取器會要求所有未被辨識的電子標籤的計數器值均減 1。可以想像的，當這個辨識程序反覆進行，所有的電子標籤計數器值均會逐一變為 0，且只有一個電子標籤為 0，因此可以辨識出所有的電子標籤。

我們舉了一個簡單的例子，以觀察 ISO/IEC 18000-6B 所定義的反碰撞協定運作過程。我們假設在辨識區域內有四個電子標籤，識別碼分別是 0101、0110、1000 以及 1100，則整個辨識過程如表一所示。

表一、ISO/IEC 18000-6B 所定義反碰撞協定辨識過程以及相對的辨識樹(有*號標記的電子標籤識別碼表示已經被辨識)

辨識詢問編號	命令 讀取器	電子 標籤 編號	計 數 器 值	隨機 選擇0或1	新的電子 標籤 識別 碼	電子 標籤 回應
1	詢問 (初始)	1	--		0	0101
		2	--		0	0110
		3	--		0	1000
		4	--		0	1100
2	碰撞	1	0	1	1	
		2	0	1	1	
		3	0	1	1	

		4	0	0	0	1100	
3	成功辨識	1	1		0	0101	
		2	1		0	0110	
		3	1		0	1000	
		4	0		--		
4	碰撞	1	0	0	0	0101	
		2	0	1	1		
		3	0	0	0	1000	
		4	--		--		
5	碰撞	0	0	0	0	0101	
		1	1		2		
		0	0	0	0	1000	
		4	--		--		
6	碰撞	1	0	1	1		
		2	2		3		
		3	0	0	0	1000	
		4	--		--		
7	成功辨識	1	1		0	0101	
		2	0		2		
		3	--		--		

		4	--		--		
8	成功辨識	1	--		--		
		2	2		1		
		3	--		--		
		4	--		--		
9	無電子標籤回應	1	--		--		
		2	1		0		
		3	--		--		
		4	--		--		
10	成功辨識	1	--		--		
		2	0		--	0110	
		3	--		--		
		4	--		--		

三、 所提方法

在我們所提的方法中，每個電子標籤如同 ISO/IEC 18000-6B 標準中所定義的反碰撞協定，均有一個計數器。而讀取器則用一個整數變數 N 來記錄目前在辨識樹中的樹葉節點數目，以決定整個辨識程序是否已經結束。在辨識過程中，讀取器會發出 4 種指令，分別是開始 (start)、減一 (sub one)、分裂 (split) 以及合併 (merge)。說明如下，

- 開始：告知電子標籤將計數器值清除為 0，以開始新一輪迴的辨識程序，而所有被辨識過的電子標籤也會“甦醒”。
- 減一：當有電子標籤被順利辨識出來後，告知電子標籤將計數器值減 1。當電子標籤計數器值為 0 時，才會將自己的識別碼傳給讀取器。
- 分裂：當計數器值為 0 的電子標籤多於一個時，則讀取器會發出分裂的命令，要求所有未被辨識的電子標籤左移計數器一位元，然後隨機選擇 0 或 1 加到計數器值中。
- 合併：當沒有電子標籤的計數器值為 0 時，讀取器會發出合併的命令，要求所有未被辨識的電子標籤右移計數器一位元。

與 ISO/IEC 18000-6B 反碰撞協定比較，最大的差異在 ISO/IEC 18000-6B 反碰撞協定主要是只針對計數器值為 0 的電子標籤進行分裂成兩子群；而在我們所提方法中，則是要求所有的電子標籤均進行分裂動作。並且當沒有電子標籤的計數器值為 0 時，則會要求所有的電子標籤均進行合併動作，這是另一個跟 ISO/IEC 18000-6B 反碰撞協定不同的地方。

整個反碰撞協定執行程序說明如下：

- 讀取器端的工作程序
 - 步驟一：讀取器首先將自己所維護的 N 值設定為 1，並對電子標籤發出“開始”的命令。
 - 步驟二：當 N 仍大於 0 時，表示仍預期有電子標籤的計數器值大於 0。此時，讀取器會遇到下列 3 種狀況：
 - 狀況一、無電子標籤回應：
若 N 值為 1，則表示所有電子標籤均已經完成辨識，沒有需要在發送“合併”命令，並將 N 值設定為 0，結束辨識程序。否則就送出“合併”命令，要求所有未被辨識的電子標籤均右移計數器一位元(亦即計數器值除以 2)，並將 N 值設定為 $N/2$ 。
 - 狀況二、剛好有一個電子標籤回應：
若剛好只有一個電子標籤的計數器值為 0 並回應，則此一電子標籤被正確辨識。此時讀取器送出“減一”命令，並將 N 值設定為 $N-1$ 。
 - 狀況三、有超過一個電子標籤回應：
當有超過一個電子標籤的計數器值為 0 並回應，則將產生訊號碰撞。此時讀取器送出“分裂”命令，並將 N 值設定為 $N*2$ 。
- 電子標籤端的工作程序

- 當收到“開始”命令時，將自己身上的計數器值設定為 0。
- 當收到“減一”命令時，將自己身上的計數器值減 1。
- 當收到“分裂”命令時，將自己身上的計數器左移一位元，然後隨機選擇 0 或 1 加到計數器值中。
- 當收到“合併”命令時，將自己身上的計數器右移一位元。

四、 模擬結果

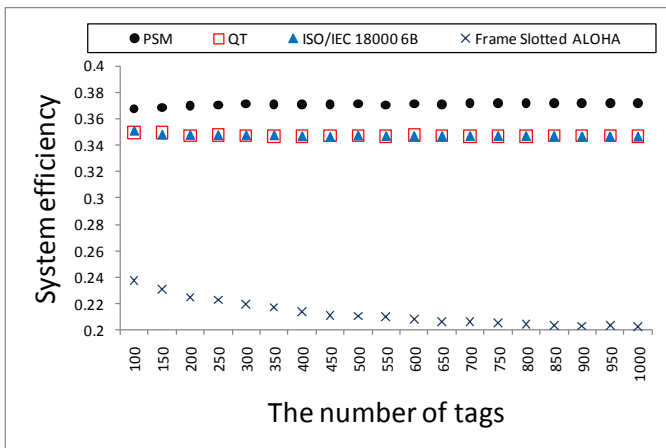
本節，我們描述模擬實驗的結果。模擬一共分成兩個部份，第一個部份係採用系統效能(system efficiency)定義，針對本文所提方法與訊框時槽 ALOHA 協定、查詢樹以及 ISO/IEC 18000-6B 協定進行比較。第二個部份則比較除了二分法進行分裂與合併外，若採用四、八等不同的分法時，在辨識效能上的差異。模擬係針對辨識區域內的電子標籤數目分別為 100, 200, ..., 1000 時的案例進行，每個案例反覆進行 1,000 次並取平均值。

A. 系統效能比較

本小節所進行的模擬主要係探討辨識所有在辨識區域內的電子標籤所需的辨識詢問(iteration)數目，並將此一數據採用系統效能(system efficiency)的定義[2]與訊框時槽 ALOHA 協定、查詢樹以及 ISO/IEC 18000-6B 協定進行比較。

有關系統效能的定義是指在 ALOHA 基礎協定中，若欲辨識出所有在辨識區域中的電子標籤數量 T 時，所需要花費的時槽數 S 的比值(T/S)。但因為我們比較的協定並不局限在 ALOHA 基礎協定中，所以必須對該定義作些擴充解釋。在樹狀基礎中，我們把一個辨識詢問單位視同一個 ALOHA 基礎協定的時槽單位。而一個辨識詢問單位將包括讀取器送出命令以及電子標籤執行相對應的動作及回應。

由圖一的模擬結果，我們可以發現本論文所提方法 PSM 確實較其他協定有較佳的系統效能比。與 ISO/IEC 18000-6B 反碰撞協定相比，PSM 在電子標籤上的硬體設計需要增加可以對計數器左移或是右移的功能。但是此一功能所需電路在電子標籤上所採用的錯誤檢查碼 CRC 設計上是很基本而容易達成的；至於在讀取器部分，與 ISO/IEC 18000-6B 反碰撞協定相比，則無需作大幅修改即可達成。



圖一、系統效能模擬結果比較圖

B. 多路分裂與合併效能差異比較

為了解如果在辨識過程中，採用大於 2 的多路分裂與合併是否有較好的效果，我們在本小節中作了相關的模擬。我們以分裂為主，執行了 2 路、4 路以及 8 路的分裂，搭配以 1/4、1/2、1、2 以及 4 倍數的合併組合模擬。由模擬結果發現，當採用 2 路分裂與 2 路合併時，在所有模擬中有最好的組合效果。若單就分裂採用 N 路的狀況下，合併採用 $N/2$ 路的效果比採用 N 路好。原因是當分裂為 N 路時，無電子標籤回應的辨識詢問數目與超過一個電子標籤回應(產生碰撞)的辨識詢問數目約略相等；但當分裂為 $N/2$ 路時，無電子標籤回應的辨識詢問數目微微增加，但超過一個電子標籤回應(產生碰撞)的辨識詢問數目則約降為一半，相衡之下，有較佳的辨識效能。另外，當 N 越大時，無電子標籤回應的辨識詢問數目與產生碰撞的辨識詢問數目均有增加，因而辨識效能降低。

表二、採用不同分裂與合併分路數的辨識模擬結果

辨識詢問數目	分裂/合併				
	2/2	4/2	4/4	4/8	4/16
100	272	292	349	368	404
150	407	437	522	555	613
200	541	581	700	739	821
250	675	725	875	923	1026
300	808	871	1049	1106	1227
350	944	1014	1217	1293	1428
400	1078	1158	1388	1478	1630
450	1213	1303	1559	1661	1837
500	1346	1451	1729	1847	2037
550	1485	1593	1911	2034	2250
600	1615	1736	2083	2216	2457

650	1752	1883	2266	2400	2669
700	1884	2023	2449	2584	2883
750	2016	2169	2619	2768	3093
800	2150	2315	2796	2953	3300
850	2284	2459	2978	3141	3507
900	2422	2604	3253	3320	3705
950	2555	2749	3329	3505	3904
1000	2689	2892	3502	3688	4116
辨識詢問數目	分裂/合併				
	8/2	8/4	8/8	8/16	8/32
100	333	314	496	486	508
150	498	470	779	736	765
200	668	625	1063	981	1023
250	834	784	1346	1219	1279
300	996	937	1609	1469	1530
350	1166	1095	1863	1713	1789
400	1331	1250	2099	1948	2044
450	1498	1410	2348	2202	2300
500	1665	1562	2574	2444	2556
550	1831	1718	2807	2693	2815
600	1997	1876	3019	2937	3067
650	2161	2033	3240	3177	3327
700	2328	2188	3460	3432	3583
750	2496	2348	3677	3667	3835
800	2661	2498	3916	3920	4090
850	2826	2661	4166	4164	4340
900	2993	2817	4431	4402	4612
950	3161	2971	4712	4650	4863
1000	3324	3127	5007	4898	5115

五、 結論

在無線射頻辨識系統中，當讀取器發出辨識請求訊息時，若有多個電子標籤同時回應讀取器的辨識請求時，會發生訊號碰撞，導致讀取器無法順利辨識這些電子標籤的識別碼。此時讀取器需要一而再的發出辨識請求，而降低了整個辨識的效能。因此，如何減低碰撞，稱為反碰撞，即成為一個重要的研究議題。在本論文中，我們提出了一個新的反碰撞協定 PSM(parallel splitting and merging)，透過對未辨識的電子標籤同時進行分裂以及合併的動作，以減少辨識所需時間。比較特別的是，PSM 在

硬體設計的複雜度上與同為隨機計數基礎協定的 ISO/IEC 18000-6B 中的反碰撞協定相似，但經過模擬後，發現比 ISO/IEC 18000-6B 協定有較佳的系統效能。

參考文獻

- [1] Abramson, N., 'The ALOHA system - another alternative for computer communications', *Proc. of AFIPS Spring Joint Computer Conf.*, Vol. 37, pp. 281-285, 1970.
- [2] Bonuccelli, M.A., Lonetti, F., Martelli, F., 'Tree Slotted Aloha: a New Protocol for Tag Identification in RFID Networks', *Proc. of the 4th IEEE International Workshop on Mobile Distributed Computing (MDC'06)*, pp.603-608, Jun, 2006.
- [3] Capetanakis, J.I., 'Tree algorithms for packet broadcast channels', *IEEE Trans. Inf. Theory*, Vol. 25, pp.505-515, 1979.
- [4] Cha, J.R. and Kim, J.H., 'Novel anti-collision algorithms for fast object identification in RFID system', *Proc. of the 11th International Conf. Parallel and Distributed Systems (ICPADS'05)*, pp.63-67, 2005.
- [5] Choi, H., Cha, J.R. and Kim, J.H., 'Fast wireless anti-collision algorithm in ubiquitous ID system', *Proc. of IEEE VTC '04*, Sep, 2004.
- [6] Finkenzerler, K., *RFID handbook: Fundamentals and Applications in Contactless Smart Cards and Identification*, John Wiley & Sons, 2003.
- [7] Hayes, J.F., 'An adaptive technique for local distribution', *IEEE Trans. Commun.*, vol. 26, pp.1178-1186, 1978.
- [8] ISO/IEC, Information technology automatic identification and data capture techniques - radio frequency identification for item management air interface - part 6: parameters for air interface communications at 860-960 MHz, Final Draft International Standard ISO 18000-6, Nov, 2003.
- [9] Khandelwal, G., Yener, A., Lee, K. and Serbetli, S., 'ASAP: A MAC protocol for dense and time constrained RFID systems', *Proc. of IEEE International Conf. Communications, ICC'06*, Jun, 2006.
- [10] Kodialam, M. and Nandagopal, T., 'Fast and Reliable Estimation Schemes in RFID Systems', *Proc. of ACM Mobicom*, Sep, 2006.
- [11] Lee, S., Joo, S.D. and Lee, C.W., 'An enhanced dynamic framed slotted aloha algorithm for RFID tag identification', *Proc. of Mobicom 2005*, pp.166-172, 2005.
- [12] Liu, L. and Lai, S., 'ALOHA-Based Anti-Collision Algorithms Used in RFID System', *Proc. of International Conf. on Wireless Communications, Networking and Mobile Computing (WiCOM 2006)*, pp.1 - 4, Sep, 2006.
- [13] Massey, J.L., 'Collision-resolution algorithms and random-access communications', *Multi. User Communication Systems*, Springer-Verlag, pp. 73-99, 1981.
- [14] Myung, J., Lee, W., Srivastava, J., Timothy, K. and Shih, J., 'Tag-Splitting: Adaptive Collision Arbitration Protocols for RFID Tag Identification', *IEEE Trans. Parallel and Distributed Systems*, vol. 18, no. 6, Jun, 2007.
- [15] Roberts, L.G., 'Extensions of Packet Communication Technology to a Hand Held Personal Terminal', *Proc. of AFIPS Spring Joint Computer Conf.*, vol. 40, pp. 295-298, 1972.
- [16] Tsybakov, B.S. and Mikhailov, V.A. (1978) 'Free synchronous packet access in broadcast channel with feedback', *Probl. Pereda. Inf*, vol. 14(4), pp. 32-59.
- [17] Vogt, H., 'Efficient Object Identification with Passive RFID Tags', *Proc. of Pervasive Computing*, pp.98-113, 2002.
- [18] Yeh, M.K., Jiang, J.R. and Huang, S.T., 'Adaptive splitting and pre-signaling for RFID tag anti-collision', *Computer Communications*, vol. 32, Issue 17, pp. 1862-1870, 2009.
- [19] Zhou, F., Chen, C., Jin, D., Huang, C. and Min, H., 'Evaluating and optimizing power consumption of anti-collision protocols for applications in RFID systems', *Proc. of the International Symposium on Low Power Electronics and Design*, Aug. 09-11, 2004.