

行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告

第三代行動通訊系統定位功能之研究

A Study of Geolocation in W-CDMA Mobile Communication System

計畫編號：NSC 89-2213-E002-140

執行期限：89 年 8 月 1 日至 90 年 7 月 31 日

主持人：李學智 國立台灣大學電信工程學研究所

一、中文摘要

(關鍵詞：手機定位，寬頻 CDMA，通道估測)

本報告提出一種新的定位法則：利用寬頻-CDMA 系統多個基地站所量得的信號到達時間 (TOA) 及角度到達方位 (AOA) 的資訊來決定手機的位置。我們提出一種信號處理方法，在有多用戶干擾情況下，仍能增強想要的信號，並且提出一種決定電波從手機至基地台最短傳播路徑的信號處理法則。我們發現，在多路徑環境下，若所得到的 TOA 及 AOA 不是從直接群集而來，硬用這些 TOA 及 AOA 來定位，反而會增加定位的誤差。本報告提出了保留正確 TOA 及 AOA 及摒棄錯誤 TOA 及 AOA 的方法。本報告並比較數種不同定位法則的定位效能。我們發現 AOA 的量測誤差會嚴重降低定位功能。在那種情況下，只使用 TOA 資訊，反而可以獲得最佳的定位精度。

二、英文摘要：

(Keywords : Geolocation, W-CDMA, Channel Estimation)

In this report we propose new algorithms to determine the mobile station (MS) location using the time of arrival (TOA) and angle of arrival (AOA) information extracted from wideband code division multiple access (W-CDMA) signals received by multiple base stations (BS). We propose a signal processing method to enhance the desired signal in the presence of multiple access interference (MAI), and an algorithm to choose the shortest path component from the measured W-CDMA signals. If the TOA

and AOA determined are not from the direct cluster, inclusion of these values will increase the geolocation error and these values should not be used in the geolocation algorithm. In this report we will show how to retain those values from the direct cluster and discard those fake ones. The geolocation performances using different methods are compared. We found that AOA measurement errors will seriously degrade the geolocation performance. In that case if only the TOA information is used to locate the MS position, better performance can be obtained.

三、計畫緣由與目的：

近年來隨著無線通訊系統的快速成長，各項行動增值功能需求也日益增加，例如警力派遣 (Police Dispatching)、車隊管理 (Fleet Management)、智慧型運輸系統 (ITS) 及緊急救護等等，都須要取得行動單元目前所在位置的資訊。而欲達到這些功能必須先解決定位問題 (Geo-location)。系統若能準確計算出各行動單元之位置，就可以動態調整資源，而於未來公眾緊急服務需求 (Public 119 Service) 上，也可以提供更有效率的服務。定位的方法有數種，全球衛星定位系統 (GPS) 可以定出三度空間的位置，但一般商用 GPS 的定位誤差達百公尺。而且在市區之環境，往往因直接波被阻擋而無法定位。有些系統僅能提供電波的來向。由數個基地站或監測站量得的電波來向可以定出發射源的位置。有些系統可以量得電波到達接收站的時

間或電波到達兩已知接收站的時間延遲差。由接收站的已知位置以及電波到達各接收站的延遲時間或延遲時間差，亦可決定發射源的位置。若能同時量得電波來向以及時間延遲，即可由單一接收站來決定發射源位置。然而這些定位原理的基本前提是直接波的到達時間及來向可以正確的獲得。然而在一般的行動環境，存在著多重路徑，而且直接波亦可能因阻擋而未必可以獲得。如何在多路徑的環境下來定位乃是實際且具挑戰的研究課題。

第三代行動通訊在 W-CDMA 的架構下，基地站可利用信號格式的指標信號(pilot signal)，來獲得多路徑電波的到達時間。若再使用陣列天線則更可獲得多路徑電波的來向。該系統的 chip 寬度所對應的距離解析度約為 75m。我們可以利用第三代 W-CDMA 系統，多個基地站所量得之行動單元的電波來向及延遲時間，來決定發射源的位置。

國內已有許多學者進行電波來向估測研究。主要的研究內容多為提高方位解析度及精確度的信號處理法則，所考慮環境多為自由空間的環境。至於多重路徑波及衰落通道環境下的定位方法及量測方法則甚少提出。國際上相關的研究曾有專刊報導，但是亦少有量測結果的報導。

本報告探討利用無線電波定位的方法。尤其探討在多路徑及有遮蔽環境之下的定位法則。並針對第三代行動通訊系統的 W-CDMA 系統架構，配合基地台的可能配置，探討如何決定最短路徑波，以及該路徑波到達時間及來向，並提出發射源定位的法則。

四、研究方法及成果

電波定位的方法與所使用的系統，儀器設備，及所能量得的參數有關。一般的定位方法是在數個不同位置的基地站或觀測站，量測待測源電波的來向方位(DOA)及來向時間(TOA)或時間差(TDOA)。在 TOA 系統中，各基地台所預測待測源位置之軌跡為一圓，利用三圓或多圓之交點，可求出待測源之位置。對於 TDOA 系統，係利用基地台接收待測源訊號之時間差，作為定位的依據。

時間差為定值的軌跡為以兩個基地台為焦點的雙曲線，利用多個雙曲線之交點，可以求出待測源的位置。

對於 AOA 系統，乃是在不同基地台量電波的來向，由來向的交點來定位。若能同時量得 AOA 及 TOA 或 TDOA，則可以只由一個基地站來決定待測源的位置。

上述的定位原理乃是假設直接波可以精確的獲得。然而，量測系統的精度往往有一定的限制，而且在很多情況，除了直接波外，還會伴隨多重路徑波，甚至直接波會被阻擋而無法量得。因此，利用電磁波定位必須考慮實際的通道環境。本研究進行的工作項目如下：

1. 探討待測源在不同電波環境下的通道特性及通道模擬模式。
2. 探討如何利用 W-CDMA 的行動通訊系統來獲取通道的參數。
3. 探討定位的信號處理法則。
4. 探討提高 TOA、TDOA 及 DOA 量測精度的方法。
5. 實測驗證。

各工作項目的研究成果如下：

1. 通道模擬模式：

假設手機(mobile station MS)信號是以群集(clustering)的方式到達基地站，如圖 1 所示。每一群集有數個多路徑波，每一路徑波都有衰落的情形。定義環繞 MS 端的群集稱為直接群集。因此圖 1(a)有直接群集，圖 1(b)則無直接群集，每一群集的傳播模式為 GBSBCM(geometrically based single bounce circular model)模式，如圖 2 所示。BS 和 MS 距離為 D ，電波產生反射的位置隨機分佈在以 MS 為中心， R 為半徑的圓內，每一條路徑波到達 BS 的方位可利用三角函數算出。假設在 MS 的周圍有六個 BS，另有 19 個其他用戶均勻分佈在 BS 涵蓋範圍，並對主用戶信號產生干擾，BS 及 MS 的幾何位置如圖 3 所示。MS 位置均勻座落在中間的六角形內，對於每對的 BS 和 MS，僅有一個群集。在該群集內有六個反射點。每一反射點產生一條路徑波，每一路徑波呈 Rayleigh 衰落。每一路徑波的平均功率與距離四次方成反比關係，遮蔽效應則呈標準差為 6dB 的高氏

分佈。如果該群集為直接群集，則假設所有的反射點任意分佈在 MS 為中心半徑為 R 的圓內。如果直接群集不存在，則假設反射點任意分佈在距離 MS 至少為幾百公尺的地方。我們考慮幾種不同情況，假設直接群集存在的機率分別是 100%，80%，60%，40%，20%，和 0%。

2. W-CDMA 系統通道參數的擷取

根據 W-CDMA 系統的標準，上傳通道 QPSK 的調變信號中，控制訊號置於 Q 部份，數據信號置於 I 部份。Q 部份的指引信號(pilot signal)可用來做通道參數(TOA)的估測。在基地站若使用陣列天線，則可獲取多路徑波的 AOA。因為每個 time slot 有六個指引信號。我們提出了一個法則，將六個指引信號做同調積分，再將各天線元素的信號做非同調積分，如此可以大幅地提升 SINR、TOA 及 AOA，可以估測得更為準確。

3. 定位的信號處理法則

使用 TOA 方法，首先量測 MS 到各 BS 的傳播時間或距離，再以各個 BS 為中心，量得的距離為半徑畫圓，再由各圓的重疊區域求出重心，定為 MS 的所在位置，見圖 3。由於多路徑波及衰落的關係，有最大峰值的路徑波未必是最短路徑波。因此首先要決定那一個峰值位置是最短路徑波。如果某個 BS 所決定的 TOA 太過離譜，將會嚴重影響定位的結果，因此寧願捨棄該 BS。我們提出了以重心法來定位的法則，詳細方法見 [1, 2]。

若每一基地台同時可以獲得 TOA 和 AOA，則可由每一基地台分別定出 MS 的位置，見圖 4。但 BS 所量測的 TOA 和 AOA 可能有誤差，每個 BS 所定出的 MS 位置可能會不同，我們提出決定 MS 位置的重心法則，亦即由各 BS 所定出的位置求其重心。然而當某些基地台所決定的 TOA 或 AOA 誤差太大會影響定位的精度。我們提出摒棄這些基地台的加權式信號處理法則，詳細說明見 [1, 2]。

4. 模擬結果：

假設 W-CDMA 信號，每個 time slot 有六個指引位元，我們用六個指引位元來估測 TOA。每一個 BS，我們使用七個元素的天

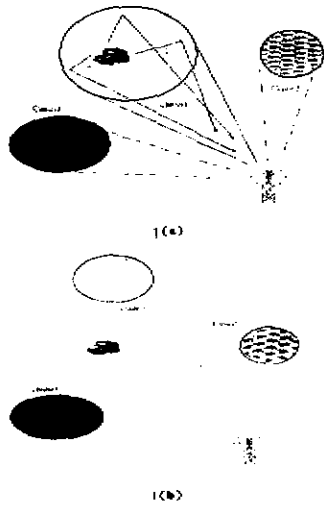
線陣列，並用 FFT 來估測 AOA。給定 MS 的位置，根據前述的通道傳播模式，計算出各基地台各天線元素所收到的主信號及干擾。並根據所提出信號處理法則及定位法則，來決定 MS 的位置及計算定位誤差。針對每一 MS 位置，任意產生 19 個干擾用戶。使用重心法則(COG, 只使用 TOA)及加權式重心法則(weighted COG, 使用 TOA+AOA)分別來對 MS 定位。任意產生了 200 個 MS 位置，最後計算平均定位誤差和定位成功(誤差小於 125 公尺)的比例。當基地台間距分別為 1 公里 2 公里及 3 公里時，定位的結果示於表 1，表中各數值的第一個參數為平均誤差，第二個參數為定位成功的比例。在 Weighted COG 方法中，分別使用截取值為 100m 及 150m。截取值的定義見 [1, 2]。

五、計畫評估

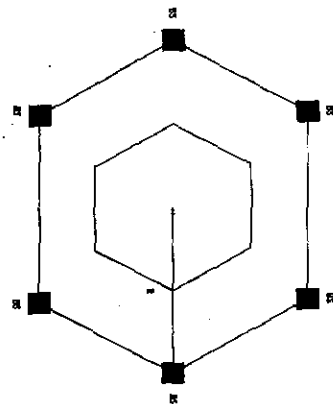
本報告提出了利用 W-CDMA 系統，以數個基地台來決定手機位置的信號處理法則。經數值模擬證實方法可行，但尚需量測來驗證。

參考文獻：

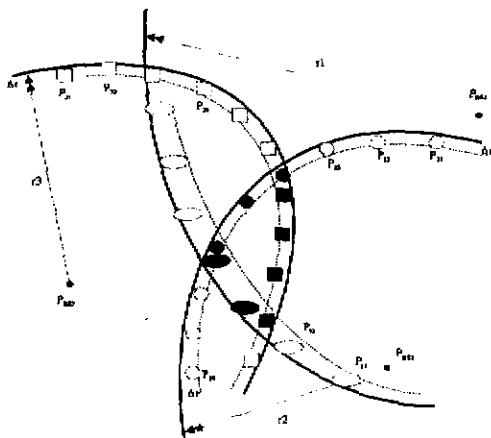
1. H. J. Li, J. Lee and T. Y. Liu, "Subscriber Geolocation with W-CDMA," submitted to IEEE Trans, on Antenna and Propagation.
2. 李欣昱, "用戶端無線射頻定位法", 國立台灣大學電信工程學研究, 碩士論文, 2000 年。
3. J. Caffery and G. Stuber, "Overview of Radiolocation in CDMA Cellular System," *IEEE Communications Magazine*, pp. 38-44, April.1998.
4. K. Krizman, T. Biedka, and T. Rappaport, "Wireless Position Location: Fundamentals, Implementation Strategies, and source of Error," *Proc. IEEE VTC*, 1997, pp.919-23.



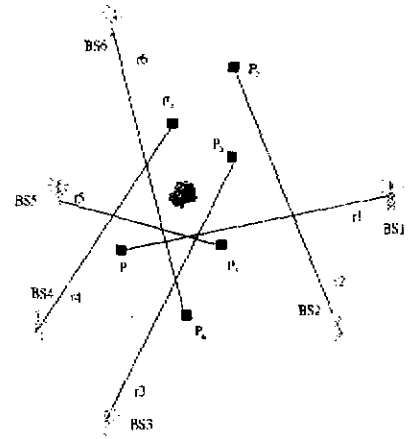
圖一



圖二



圖三



圖四

表一

	COG	Weighted COG	
		$D_{th}=100_m$	$D_{th}=150_m$
Case 1	50;90	33;100	27;100
Case 2	65;84	42;79	45;81
Case 3	80;78	50;65	65;69
Case 4	96;69	77;51	101;57
Case 5	114;59	116;36	140;44
Case 6	145;45	128;24	159;32

(a)

	COG	Weighted COG	
		$D_{th}=100_m$	$D_{th}=150_m$
Case 1	32;98	31;98	26;100
Case 2	51;90	41;76	44;79
Case 3	68;81	51;63	79;70
Case 4	80;79	54;52	67;57
Case 5	112;63	69;36	94;42
Case 6	134;55	143;20	151;26

(b)

	COG	Weighted COG	
		$D_{th}=100_m$	$D_{th}=150_m$
Case 1	38;99	30;93	24;98
Case 2	58;90	31;79	31;78
Case 3	78;81	34;65	41;68
Case 4	101;71	41;48	72;51
Case 5	128;58	70;38	104;40
Case 6	150;52	73;23	144;24

(c)