



(19) 中華民國智慧財產局

(12) 發明說明書公告本

(11) 證書號數：TW I595254 B

(45) 公告日：中華民國 106 (2017) 年 08 月 11 日

(21) 申請案號：104133899

(22) 申請日：中華民國 104 (2015) 年 10 月 15 日

(51) Int. Cl. : G01S5/02 (2010.01)

G01S5/10 (2006.01)

(30) 優先權：2014/10/16 美國

62/122254

(71) 申請人：廖恒俊 (中華民國) LIAO, HERNG JIUNN (TW)

美國

(72) 發明人：廖恒俊 LIAO, HERNG JIUNN (TW)

(74) 代理人：康清敬

(56) 參考文獻：

TW 201000939A

CN 1568434A

CN 1731893A

US 5173710

US 5936572

審查人員：李泉河

申請專利範圍項數：13 項 圖式數：7 共 40 頁

(54) 名稱

運用廣播調頻訊號以及相位差運算技術定位之方法

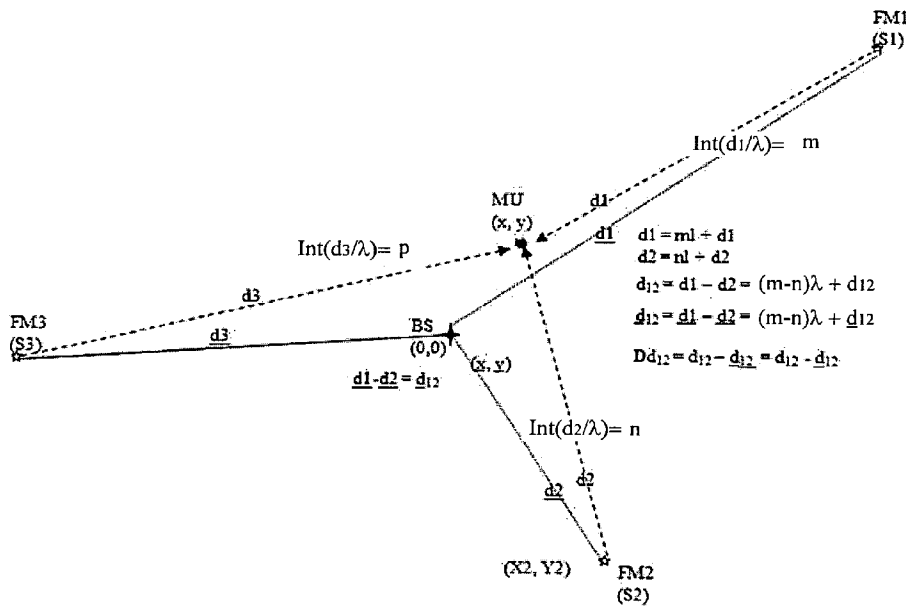
METHOD FOR LOCATING AND POSITIONING USING BROADCAST FM SIGNALS AND PHASE DIFFERENCE COMPUTATION TECHNIQUE

(57) 摘要

本發明提供一種定位系統，使用三個 FM 電台或區域性安裝之 FM 電台來廣播三個導引訊號，該三個導引訊號用於進行到達時間差(TDOA)的雙曲線定位；其中又有三台接收參考台包含第一參考台、第二參考台及基地台用於定位移動單元。基地台、第一參考台、第二參考台及移動單元皆配備有調頻接收器及數位運算器以測量該三個導引訊號的相位，該三個導引訊號的相位以指定的順序相減後得出該三個導引訊號在該第一參考台、該第二參考台及該移動單元的相位差分組，並將該第一參考台、該第二參考台、該移動單元的相位差分組傳送到該基地台以定位該移動單元。

A locating or positioning system utilizing three frequency modulation (FM) broadcast stations or locally installed FM stations. Three received FM sinusoidal pilot tones are used for TDOA (time difference of arrival) hyperbolic positioning, and three receiver reference stations designated as a first reference station (Rc), a second reference station (Rd) and a reference base station (BS) are used to assist in locating a mobile unit (MU). The BS, Rc, Rd and MU are equipped with FM receivers and digital processors to perform three phase measurements of the three FM pilot tones, the three phase measurements are subtracted in specified identical order to obtain phase differences pair of the three pilot tones at the Rc, Rd, MU and BS. The phase differences pairs at the Rc, Rd and MU are transmitted to the BS for locating the MU.

指定代表圖：



符號簡單說明：

S1~S3 . . . 導引訊號

FM1-FM3 . . . FM 電台

BS . . . 基地台

MU . . . 移動單元

$d_1 \sim d_3$ 、 $\underline{d_1} \sim \underline{d_3}$  . . . 距離

$d_{12}$ 、 $\underline{d_{12}}$  . . . 距離 差分

$m$ 、 $n$  . . . 倍數

第 1 圖

2017年2月16日替換頁

# 發明摘要

※ 申請案號：104133899

※ 申請日：104/10/15

※IPC 分類：G01S 5/02 (2010.01)

G01S 5/10 (2006.01)

## 【發明名稱】(中文/英文)

運用廣播調頻訊號以及相位差運算技術定位之方法/ METHOD FOR LOCATING AND POSITIONING USING BROADCAST FM SIGNALS AND PHASE DIFFERENCE COMPUTATION TECHNIQUE

## 【中文】

本發明提供一種定位系統，使用三個 FM 電台或區域性安裝之 FM 電台來廣播三個導引訊號，該三個導引訊號用於進行到達時間差(TDOA)的雙曲線定位；其中又有三台接收參考台包含第一參考台、第二參考台及基地台用於定位移動單元。基地台、第一參考台、第二參考台及移動單元皆配備有調頻接收器及數位運算器以測量該三個導引訊號的相位，該三個導引訊號的相位以指定的順序相減後得出該三個導引訊號在該第一參考台、該第二參考台及該移動單元的相位差分組，並將該第一參考台、該第二參考台、該移動單元的相位差分組傳送到該基地台以定位該移動單元。

## 【英文】

A locating or positioning system utilizing three frequency modulation (FM) broadcast stations or locally installed FM stations. Three received FM sinusoidal pilot tones are used for TDOA (time difference of arrival) hyperbolic positioning, and three receiver reference stations designated as a first reference station (Rc), a second reference station (Rd) and a reference base station (BS) are used to assist in locating a mobile unit (MU). The BS, Rc, Rd and MU are equipped with FM receivers and digital processors to perform three phase measurements of the three FM pilot tones, the three phase measurements are subtracted in

specified identical order to obtain phase differences pair of the three pilot tones at the Rc, Rd, MU and BS. The phase differences pairs at the Rc, Rd and MU are transmitted to the BS for locating the MU.

**【代表圖】**

**【本案指定代表圖】**：第( 1 )圖。

**【本代表圖之符號簡單說明】**：

S1~S3	導引訊號	FM1-FM3	FM 電台
BS	基地台	MU	移動單元
$d1\sim d3$ 、 $\underline{d1}\sim\underline{d3}$	距離	$d_{12}$ 、 $\underline{d}_{12}$	距離差分
$m$ 、 $n$	倍數		

**【本案若有化學式時，請揭示最能顯示發明特徵的化學式】**：

# 發明專利說明書

(本說明書格式、順序，請勿任意更動)

## 【發明名稱】(中文/英文)

運用廣播調頻訊號以及相位差運算技術定位之方法/ METHOD FOR LOCATING AND POSITIONING USING BROADCAST FM SIGNALS AND PHASE DIFFERENCE COMPUTATION TECHNIQUE

## 【技術領域】

【0001】 本發明的主要目的是改良調頻導引訊號的相位差和頻率差異導引訊號的相位差以進行定位的技術。本發明也提出使用三個低功率FM(LPFM)電台，以及使用其中一個 LPFM 電台結合基地台的技術以實現在區域性或室內定位系統。

## 【先前技術】

【0002】 在習知技術中，美國專利公告第 7990314 號中介紹了使用三個 FM 電台導引訊號來定位地理位置的方法和系統。具體來說，該專利使用解頻導引訊號，即 19 KHz 導引訊號的相位差來決定移動單元的位置。此用於定位的技術是雙曲線定位系統或叫到達時間差(TDOA) 定位原理。上述前一個發明進一步提出使用介於移動單元(MU) 和基地台(BS)的導引訊號相位差的雙重差分，以進行相對定位。再者，前發明提出使用雙重差分組的三重差分來形成兩線性等式以解出移動單元(MU)的相近位置(x,y)，即以微量三重差分做為參數，並以雙差分組作為結果。

## 【發明內容】

**【0003】** 本申請提供了一種使用三個區域性參考台 (BS、Rc 及 Rd) 來測量三個 FM 電台導引訊號相位差的方法。該三個區域性參考台 (BS、Rc 及 Rd) 分別位在基本座標(Cardinal Map)的(0, 0)、(Xc, Yc)及(Xd, Yd) 座標處，其中以基地台(BS)為原點(0, 0)。接著，將基地台(BS) 測得相位從兩個參考台(Rc 及 Rd) 測得的相位值相減，得到兩組雙重相位差。然後從已知(Xc, Yc)及 (Xd, Yd) 兩個位置乘以四個未知參數 $\Delta h_{12}$ 、 $\Delta v_{12}$ 、 $\Delta h_{13}$  及 $\Delta v_{13}$  以兩組雙重相位差為結果，可以成立四個線性等式 (在美國專利第 7990314 號定義四參數為三重差分) 可以解出四個線性等式的四個未知參數。一旦解出四個未知參數  $\Delta h_{12}$ 、 $\Delta v_{12}$ 、 $\Delta h_{13}$  及 $\Delta v_{13}$ ，便可利用兩線性等式和四個參數，用移動單元(MU)的雙重差分組可作為結果，來決定移動單元(MU) 的位置(x, y)。

**【0004】** 本發明還探討三個 FM 電台之間不精準導引訊號 (即導引訊號偏離 19 KHz) 的問題。本發明提出一個測量方法來解決由於不精準導引訊號而造成相關的相位隨時間移動問題。

**【0005】** 美國專利第 7990314 號提出了使用三個 LPFM(Low Power Frequency Modulation)電台，LPFM 電台來進行區域性定位或室內定位，此 LPFM 電台係發送符合美國聯邦通信委員會(Federal Communications Commission, FCC)規範的通用頻道，而用 19 KHz 的調頻導引訊號。本發明更進一步將導引訊號一般化成一般正弦波形來調頻載波，以作區域性或室內定位的應用。同時也使用三個 LPFM 電台，且用其中一個 LPFM 電台兼作基地台以定位移動單元。

**【0006】** 為讓本發明之上述內容能更明顯易懂，下文特舉較佳實施例，並配合所附圖式，作詳細說明如下：

#### **【圖式簡單說明】**

**【0007】**

第 1 圖為 BS 和 MU 相位差與雙重相位差分的示意圖。

第 2 圖為三個 FM 電台與三個參考台(3 x 3)的定位技術。

第 3 圖為 BS、Rc、Rd 及 MU 之間進行時間同步對話的例子。

第 4 圖為重複及連續相對主時脈訊號三個正弦波的相位測量示意圖。

第 5 圖為利用三個自設 LPFM 電台以進行區域定位。

第 6 圖為用正弦波形的自生相移預告同步用的主時脈訊號。

第 7 圖為利用四個 LPFM 電台以進行立體定位。

### 【實施方式】

【0008】 本發明提出一種使用三個廣播調頻訊號的定位系統。本發明改良美國專利公告第 7990314 號的概念。在大多數實例中，當廣播調頻電台位於遠處時（超過一公里），便可利用三個參考台(RS) 搭配兩線性等式來決定移動單元(mobile unit, MU) 位置。美國專利第 7990314 號說明書中詳細介紹了利用兩個線性等來式解出移動單元位置(x, y) 的過程。在本文中，「尋位」(locating) 一詞意指決定移動單元相對於基地台的位置，而「定位」(positioning) 一詞意指移動單元必須透過與基地台的通訊而自行定位。

【0009】 本發明遇到如何解決三個不精確導引訊號的相位測量的問題，尤其是以下問題：(1) 不同 FM 電台的導引訊號頻率相對 19 KHz 有些微偏差；(2) 兩導引訊號的相位隨時間移動問題；(3) 導引訊號和相位是用不甚精確的電腦計數頻率來測量。

【0010】 接著，本文探討利用的三個區域性 LPFM 電台發射出的正弦波形訊號調頻的 LPFM 電台載波來定位的情況。本發明會說明問題的細

節並提出上述問題的解決辦法。

**【0011】** 三個參考台及三個 FM 電台(3 x 3)的定位技術

**【0012】** 第 1 圖顯示移動單元(MU) 相對於基地台 (BS) 的情況，其中 FM 電台 (FM1、FM2 及 FM3) 的導引訊號 S1、S2 及 S3 由基地台 (BS)、兩參考台(Rc 和 Rd)及一或多個移動單元(MU) 所接收。一區域性基本座標地圖(Cardinal map)用於未知的移動單元(MU) 定位，基地台 (BS) 及參考台 (Rc 和 Rd)分別位於已知座標(0, 0)、(Xc, Yc)及 (Xd, Yd)。三個 FM 電台的 19K 導引訊號經過四個接收台解頻及濾波。請參閱第 1 圖，基地台 (BS) 及移動單元(MU) 就在附近，可以以波長及相位表示距離 FM1 站、FM2 站及 FM3 站的等式：

**【0013】**  $d_1 = m\lambda + \phi_1$  ,  $d_2 = n\lambda + \phi_2$  ,  $d_3 = p\lambda + \phi_3$  從移動單元(MU)

**【0014】**  $\underline{d}_1 = m\lambda + \underline{\phi}_1$  ,  $\underline{d}_2 = n\lambda + \underline{\phi}_2$  ,  $\underline{d}_3 = p\lambda + \underline{\phi}_3$  從基地台 (BS)

**【0015】** 其中 $\lambda$ 表示 19 KHz 導引訊號具有 15789.47 公尺的波長，而 $\phi$ 是測量的相位以距離為單位。有底線的  $\underline{d}_1$  表示在基地台 (BS) 做的測量。由於該地區限制在區域性，移動單元(MU) 和基地台 (BS) 的波長範圍相同 ( $m$ 、 $n$  和  $p$  波長)。在移動單元(MU) 和基地台 (BS)所測量的 FM 電台間相位差 (根據  $d_1$  和  $d_2$  距離) 是：

**【0016】**

$$d_{12} = d_1 - d_2 = (m-n)\lambda + (\phi_1 - \phi_2) = (m-n)\lambda + \delta_{12} \quad \text{在移動單元(MU)} \quad (1)$$

$$\underline{d}_{12} = \underline{d}_1 - \underline{d}_2 = (m-n)\lambda + (\underline{\phi}_1 - \underline{\phi}_2) = (m-n)\lambda + \underline{\delta}_{12} \quad \text{在基地台 (BS)} \quad (2)$$

**【0017】** 美國專利第 7990314 號已詳細討論測量到的相位差 $\delta_{12}$  和 $\underline{\delta}_{12}$  包含介於 FM 電台間的原始相位差以及真實相位差 (由於從 FM 電台

所傳輸的距離)原始相位差是因為 S1、S2 及 S3 沒有同步傳訊所致。FM 電台間的原始相位差不因傳訊距離而變化，相位差的相減，即 $(\delta_{12} - \underline{\delta}_{12})$ ，在廣播電台間的原始相位差就會互相抵銷。因此，介於  $d_{12}$  及  $\underline{d}_{12}$  的雙重相位差，以及介於  $d_{13}$  及  $\underline{d}_{13}$  的雙重相位差，會反映出其實際測量到雙重相位差，即是：

$$\Delta d_{12} = d_{12} - \underline{d}_{12} = \delta_{12} - \underline{\delta}_{12} \quad \Delta d_{13} = d_{13} - \underline{d}_{13} = \delta_{13} - \underline{\delta}_{13} \quad (3)$$

**【0018】** 值得注意的是，如果基地台 (BS)、參考台 (Rc 和 Rd) 及移動單元(MU) 都位於相同的波長地區 (即位在 15.789 公里的範圍內)，則在相位差相減之後，只會留下相位差，整數波長  $m$ 、 $n$  及  $p$  則都會消失。最重要的是，由於兩個相位差相減後會消除 FM 電台間的原始相位差，將導引訊號相位轉換成距離單位，則測量到的雙重相位差便會是真正「測量到的」兩個 FM 電台間距離差。

**【0019】** 三個 FM 電台，(S1, S2)相減、(S1, S3)相減取得兩組相位差。由於兩組相位差已包含第三相位差，所以不需要第三次相減。因此，在移動單元(MU) 及基地台 (BS) 中獲得的相位差也都是兩組。

**【0020】** 美國專利第 7990314 號曾經討論到：位在數十英里遠的廣大地區上的 FM 電台，非線性雙曲線在區域性應用時趨近於直線性。因此，直線性等式可用來估計靠近 BS 的未知 MU 的位置。MU (x, y)相對於 BS 座標位置(0, 0)可以從 FM 電台測出的雙重差分組 $(\Delta d_{12}, \Delta d_{13})$ 來辨別。先前專利已經探討過，雙重差分的 X 和 Y 座標的微量增加在 X 方向 (水平方向) 定義為  $(\Delta h_{12}, \Delta h_{13})$  三重差分以及 Y 方向 (垂直方向) 定義為  $(\Delta v_{12}, \Delta v_{13})$  三重差分。有下標的  $\Delta h_{12}$  及  $\Delta h_{13}$  表示在 X 座標上從(S1, S2) 和 (S1, S3) 的

微量雙重差分。同樣地，有下標的 $\Delta v_{12}$ 及 $\Delta v_{13}$ 表示 Y 座標上的微量雙重差分。先前專利提出以三重差分微增加量來解決 MU 位置的線性等式如下：

$$\begin{aligned}x \Delta h_{12} + y \Delta v_{12} &= \Delta d_{12m} \\x \Delta h_{13} + y \Delta v_{13} &= \Delta d_{13m}\end{aligned}\quad (4)$$

【0021】 其中 (x, y)表示移動單元(MU)的未知位置， $\Delta d_{12m}$ 及 $\Delta d_{13m}$ 是介於移動單元(MU)（帶有下列 m）及基地台 (BS) 間的雙重差分組；其中三重差分微增量 $\Delta h_{12}$ 、 $\Delta v_{12}$ 、 $\Delta h_{13}$ 及 $\Delta v_{13}$ 可以視為解兩線性等式的參數。在本發明中，一概視為解線性等式的參數，以作移動單元(MU)的定位。

【0022】 在第 2 圖，本發明提出一個新方法，即使用基地台 (BS) 及兩個以上的區域性參考台 (Rc 和 Rd) 以決定參數 $\Delta h_{12}$ 、 $\Delta v_{12}$ 、 $\Delta h_{13}$ 及 $\Delta v_{13}$ ，而不使用先前專利所提出的三重差分微增量的區域性測量方式。

【0023】 基地台 (BS) 和參考台 (Rc 和 Rd) 分別在已知的座標 (0,0)、(Xc, Yc)及 (Xd, Yd)。如第 2 圖所示，如果兩個已知位置的參考台取代未知的(x, y)，則兩個找出參考台 (Rc)位置的線性等式是：

$$\begin{aligned}Xc \Delta h_{12} + Yc \Delta v_{12} &= \Delta d_{12c} \\Xc \Delta h_{13} + Yc \Delta v_{13} &= \Delta d_{13c}\end{aligned}\quad (5)$$

【0024】 找出參考台 (Rd) 位置的線性等式是：

$$\begin{aligned}Xd \Delta h_{12} + Yd \Delta v_{12} &= \Delta d_{12d} \\Xd \Delta h_{13} + Yd \Delta v_{13} &= \Delta d_{13d}\end{aligned}\quad (6)$$

【0025】 其中 $\Delta d_{12c}$ 、 $\Delta d_{13c}$ 、 $\Delta d_{12d}$ 及 $\Delta d_{13d}$ 都是在參考台(Rc 及 Rd)測量其與基地台 (BS) 測量值相減後所獲得的雙重差分。

【0026】 針對目前已知相對於 BS (0, 0)而言的座標(Xc, Yc)和 (Xd,

Yd)，我們可以重新安排 (5) 和 (6) 兩組線性等式，藉以解決如下所示的  $\Delta h_{12}$  ,  $\Delta v_{12}$  ,  $\Delta h_{13}$  ,  $\Delta v_{13}$  等未知變數：

$$\begin{aligned} Xc\Delta h_{12} + Yc\Delta v_{12} &= \Delta d_{12c} \\ Xd\Delta h_{12} + Yd\Delta v_{12} &= \Delta d_{12d} \end{aligned} \quad (7)$$

以及

$$\begin{aligned} Xc\Delta h_{13} + Yc\Delta v_{13} &= \Delta d_{13c} \\ Xd\Delta h_{13} + Yd\Delta v_{13} &= \Delta d_{13d} \end{aligned} \quad (8)$$

【0027】 因此，這裡所介紹的兩組線性等式和兩組未知數，便可解出  $\Delta h_{12}$  ,  $\Delta v_{12}$  ,  $\Delta h_{13}$  ,  $\Delta v_{13}$  等未知參數。

【0028】 解出  $\Delta h_{12}$  ,  $\Delta v_{12}$  ,  $\Delta h_{13}$  ,  $\Delta v_{13}$  後，MU (x, y) 位置便可以利用等式 (4) 解出來。因此，本發明提出一個簡單的方法，即利用兩個靠近基地台 (BS) 的參考台 (Rc, Rd) 來找出可解 MU (x, y) 位置的參數。相較於美國專利第 7990314 號採區域性逐步測量以決定  $\Delta h_{12}$  ,  $\Delta v_{12}$  ,  $\Delta h_{13}$  ,  $\Delta v_{13}$  等參數，本發明所提出的方法是一項進步。

【0029】 導引訊號差異問題及解決辦法

【0030】 一般都認為已解頻的導引訊號基本上為 19 KHz。不過美國聯邦通信委員會允許導引訊號頻率在 FM 電台播送時允許  $19 \text{ KHz} \pm 2 \text{ Hz}$  的變化幅度。表 1 舉例說明導引訊號在四個 FM 電台的差異幅度。

廣播電台	S1	2 S	S3	S4
導引訊號	18999.77	18999.89	18999.89	18999.27

表 1：四個 FM 電台導引訊號頻率的差異

【0031】 請注意在表 1 中各個電台的導引訊號頻率都有些微差異。在本例子中，介於 S2 和 S4 之間最大的變化是每秒 0.636 個週期，這代表每秒介於兩個調頻導引訊號的相移量。基於 19 KHz 的導引訊號的波長是 15789.47 公尺，相移代表每秒距離差是 10042.1 公尺。在不同時間測量兩個導引訊號的相位差時，這是極大的距離差異。因此，兩個導引訊號不是精確的 19 KHz 時，則先前相位差和雙重差分會隨著時間而變化。於是，對於 BS、RS(s) 及 MU 的相位差測量，本發明提出必須在同一瞬間同步來進行。然而，像微秒 ( $\mu\text{s}$ ) 這樣些微的時間差是可以接受的。以上例來說，一微秒的時間差只會導致大約一公分的距離誤差，在定位應用來說這是可以接受的範圍。

【0032】 總言之，對於使用定位法的美國專利第 7990314 號來說，三個 FM 電台都必須以 19 KHz 的導引訊號為基準。一旦導引訊號之間有差異，則必須對導引訊號同步時間的相位測量加上額外的要求。

【0033】 查閱電機電子工程師學會 (IEEE) 的出版品之後會發現，要讓時間同步並不是一個簡單的問題，並無法簡易直接的解決。在各個刊物中都是探討兩個站之間的同步問題。但這些複雜的時間同步技術中，沒有任何技術可以應用在低成本的本發明中。

【0034】 在本發明中，在基地台 (BS) 和參考台 (Rc, Rc) 間進行同步並不成問題，原因在於參考台 (Rc, Rc) 是固定電台，與基地台 (BS) 頻繁保持雙向通訊及接觸。對於移動單元 (MU) 而言，基地台 (BS) 和移動單元 (MU) 之間有許多時間同步的方法。其中一種方式是在所有基地台 (BS)、參考台 (RS) 及移動單元 (MU) 之中使用 GPS 鐘 (可精確測量到  $\mu\text{s}$ )。然而，

要用 GPS 接收器和 GPS 鐘來解決低成本的移動單元(MU) 的同步是相當奢侈且昂貴的。另一個方式是使用兩方同步對話的方式。

【0035】 第3圖為基地台 (BS)、參考台(Rc, Rc) 及許多移動單元(MU) 之間進行區域性或室內通訊的例子。環境限定在不大於一平方公里的範圍內，這是因為每一公里大約會導致  $3.3 \mu\text{s}$  的傳輸延遲。基地台 (BS)、參考台(Rc, Rc)及移動單元(MU)之間可以使用無線通訊，例如 Zigbee 系統、Wi-Fi 網絡等。

【0036】 請參閱第 3 圖。基地台 (BS)向移動單元(MU)用移動單元 (MU)的身分證明 (ID) 提出第一次定位請求 (也可以由移動單元(MU)主動提出定位請求)。參考台(Rc 及 Rd) 也都會收到該定位請求，以準備進行時間同步。接著，移動單元(MU) 接收該請求並回覆確認。接著，基地台 (BS) 傳送同步碼到移動單元(MU)，以及參考台(Rc 及 Rd)，當同步碼完成時馬上啟動時間同步。兩個參考台(Rc 及 Rd) 和移動單元(MU)在時間同步碼即將完成之際便應準備好進行時間同步；或者，在時間同步碼即將完成之際，兩個參考台(Rc 及 Rd) 和移動單元(MU) 可以稍微延遲，而此稍微延遲已事先獲得同意。一公里的最大傳輸延遲為  $3.3 \mu\text{s}$ ，此為同步時刻的最大時間誤差。

【0037】 本發明提出一種讓 MU、Rc 和 Rd 同步的簡單方法，即從 FM 電台中使用預先同意其中一 FM 電台導引訊號作為同步。獲得 MU 同意後，BS 會傳送一同步代碼給 MU、Rc 和 Rd 等。接著，在同步代碼完成後，所有接收台在預先同意的導引訊號正弦波的下一個上升緣定為同步時刻。若要使用這個方法，必須知道同步代碼持續的時間。同步代碼有可能持續

一個週期以上的導引訊號。此後下個上升緣時間定為主時脈訊號 (Master Clock, MC)。主時脈訊號用電腦計數鐘，從零開始計數。MU、Rc 與 Rd、BS 會相對於主時脈訊號的定點時刻進行 S1、S2 及 S3 的相位計算，以連續式或平行式的方式計算。藉此以避免導引訊號不一致的相位移動問題。進行連續計算時，三個調頻導引訊號相位計算以主時脈訊號的定點為基準。因此，在主時脈訊號同步時間點為 MU 定位。由於只需數秒間便可將 MU 定位，因此推測對於非快速移動的物體來說，MU 的定位不會有太大變化。然而要注意的是，導引訊號的上升緣是一個導引波型過零的時間點（是一類比數字），很少在電腦計數器（是一數位）歸零時刻同時發生。這個上升緣和主時脈訊號的小差異會反映在平均相位測量的上升緣對主時脈訊號之上，這些差異很少會歸零。

**【0038】** 相位測量轉換成距離單位，以獲得測量到的距離差組( $d_{12}$ ,  $d_{13}$ )。在參考台(Rc 及 Rd) 及移動單元(MU) 測量到的距離差組( $d_{12}$ ,  $d_{13}$ )會經由雙向通訊頻道（例如 Zigbee 系統或 Wi-Fi 網絡）傳送到基地台 (BS)。基地台 (BS) 接著會進行雙重差分減法，以獲得如等式 (3) 所述的雙重差分組。該雙重差分組可帶入前面所討論的線性等式 (7)、(8) 及 (4)，便可解出移動單元(MU) 的位置。

**【0039】** 上述技術只是時間同步技術中的其中一種。現行還有很多種技術可以實現基地台 (BS) 和移動單元(MU) 間的時間同步。本發明所提出的時間同步技術是利用現有的導引訊號波形，並未使用外在的同步訊號。

**【0040】** 在導引訊號頻率差異下進行相位測量

**【0041】** 在 GPS 定位中，移動單元(MU) 和 GPS 衛星之間以及 GPS

衛星彼此之間的時間同步是決定能否精確定位的關鍵因素。當光速是每秒 300,000,000 公尺，十億分之一秒 ( $10^{-9}$  S) 的時間誤差會導致 30 公分的距離誤差，距離誤差便擴大成定位誤差。因此，若要解決 GPS 的問題，需要第四個衛星等式，以解決接收器和 GPS 鐘間的時間誤差變數。

**【0042】** 本發明的前面單元中已經討論了相位測量時間精確度也是影響位置是否精確的關鍵因素。既然本發明強調以低成本定位的方法，所以就不會考慮到高精度高成本相位測量的方法。利用 FM 硬體接收導引訊號和電腦來測量一次導引訊號的上升緣，相位測量的精確度將會粗糙且局限電腦計時數位化的結果，這是因為導引訊號和其相位都是類比數字。使用數位電腦計時器來計算類比數字的導引訊號波長和相位會導致計算上的量化錯誤。然而，將數千個數位計數進行平均之後，波長和相位轉換成真實波長和相位有小數位的類比數值。這些有小數位數值接著轉換成以公尺計算的距離。本發明提出一個具體技術來測量三 FM 電台的相位差，尤其是處理三個不同微小差異導引訊號。

**【0043】** 如果使用三道 FM 接收硬體和電腦來測量三個 FM 電台的導引訊號相位，則不同 FM 接收硬體很有可能會產生不同的時間的延遲，而這小延遲變化會導致相位到達時間相對的誤差。如果只用單一 FM 接收硬體處理三個調頻導引訊號，則時間延遲在這三個調頻導引訊號之間都會一樣。兩個相位測量相減之後，時間延遲就會抵消。因此，這裡可以做個結論：最省成本且能精準偵測相位的方式是利用單一硬體連續反覆地處理多數 FM 電台。然而，隨著科技進步，高端的並行數位處理器可同時找到在 MC 時刻兩正弦訊號的相位差。本發明提出一個方法，便能以低成本的方式

使用連續處理硬體。本發明未排除使用較複雜的數位處理器並行的處理方法。

**【0044】** 第 4 圖繪示連續對三個調頻導引訊號進行相位測量。調頻導引訊號為 S1、S2 及 S3。如同上述所討論的，相位值必須基於時間同步，即相對於第 4 圖所指出的主時脈訊號。這裡使用電腦計數器記錄 S1、S2 及 S3 的上升緣在連續數列之中出現的 N 次。FM 電台 Si 導引訊號的開始上升緣以 Ci0 表示，導引訊號 N 週期的上升緣以 Cin 表示。因此 Si 導引訊號的平均週期 Cti(ave) 以數學式表達如下：

$$\text{【0045】 } C_{ti}(\text{ave}) = (C_{in} - C_{i0}) / N \quad (9)$$

其中 Cti(ave)會轉換成導引訊號的波長，準度可達數位小數（小於厘米）。

**【0046】** 為了正確計算一個導引訊號的頻率，電腦會產生 19KHz 作為基頻（例如以 GPS 鐘校準）。類似先前測量 FM 電台導引訊號的方法平均電腦所計算的 Ct(19k)。FM 電台導引訊號的頻率 Pilot(i)可利用下面等式得出：

$$\text{【0047】 } \text{Pilot}(i) = 19 \text{ KHz} \times (C_{ti}(\text{ave}) / C_{t}(19k)) \quad (10)$$

**【0048】** 此外，導引訊號 Cti(ave)的波長 WLi 是：

$$\text{【0049】 } W_{Li} = 300,000,000\text{m} / \text{Pilot}(i), \quad (11)$$

**【0050】** 此導引訊號的真波長 WLi 用以轉換成以距離計算的平均相位數。

**【0051】** 下一步是測量三個導引訊號相對於 MC 的相位。儲存於記憶體的同組上升緣數可以用於計算相位。每一個相對於 MC 的上升緣數包含平均波長數 Cti(ave)的整數和餘數。相對於 MC，餘數(REM) 就是接近相

位值。要注意的是，當電腦的計數歸零時，MC 在當下是一個定點。而且，在平均波長的整數移除後，導引訊號的相位相對於 MC 並未改變。因此，相位在之後的兩個 FM 電台並未因為時間延遲而改變。這是因為調頻導引訊號相位在測量的過程中（幾秒）都是一致的。測量導引訊號  $S_i$  在第  $j$  個相位的數學公式如下：

$$P_{ij} = \text{REM}(C_{ij}/C_{ti}(\text{ave})), \text{ 其中 } C_{ij} \text{ 是 } S_i \text{ 的第 } j \text{ 個上升緣數} \quad (12)$$

【0052】 而  $N$  個重複平均相位  $P_i(\text{ave})$  是  $N$  個餘數的總和(SUM)除以  $N$ 。

$$P_i(\text{ave}) = \text{SUM}(P_{ij})/N, \text{ 其中 } j = 1, 2, \dots \text{ 到 } N \quad (13)$$

【0053】  $P_i(\text{ave})$  相位轉換成距離如下：

$$d_i = \text{WL}(i) \times (P_i(\text{ave})/C_{ti}(\text{ave})), \text{ 其中 } i = 1, 2 \text{ 或 } 3 \text{ 對 } S_1, S_2, S_3 \quad (14)$$

【0054】 接著可以同樣利用等式(13)和(14)繼續計算  $S_2$  及  $S_3$  的時長和相位。

【0055】 在連續處理  $S_1$ 、 $S_2$  及  $S_3$  三個導引訊號之後，可得出三個相對於主時脈訊號 MC 的平均相位測量值，並轉換成  $d_1$ 、 $d_2$  及  $d_3$  距離。在移動單元(MU) 處測得介於  $S_1$ 、 $S_2$  和  $S_1$ 、 $S_3$  間相對於主時脈訊號 MC 的的相位差將為：

$$d_{12m} = d_{1m} - d_{2m} \text{ 及 } d_{13m} = d_{1m} - d_{3m} \quad (15)$$

【0056】 其中下標  $m$  表示在移動單元(MU) 的測量值。這些測量值是計算列在等式 (1) 中的移動單元(MU) 點時所是必備的數值。

【0057】 同樣地，使用等式(12)、(13)及(14)可測量並計算參考台( $R_c$  及  $R_d$ ) 對主時脈訊號(MC) 的相位差。結果如下所示：

$$d_{12c} = d_{1c} - d_{2c} \quad \text{及} \quad d_{13c} = d_{1c} - d_{3c} \quad (16)$$

$$d_{12d} = d_{1d} - d_{2d} \quad \text{及} \quad d_{13d} = d_{1d} - d_{3d} \quad (17)$$

【0058】 由等式(15)、(16)及(17)得出的距離差傳送至基地台 (BS)，以計算雙重相位差組  $(\Delta d_{12m}, \Delta d_{13m})$ ,  $(\Delta d_{12c}, \Delta d_{13c})$  and  $(\Delta d_{12d}, \Delta d_{13d})$ 。要特別注意的是，有一個替代方法是直接將三個相位值 MU、Rc、Rd 傳送到基地台 (BS)，以計算雙重相位差組。

【0059】 接著，在 BS 以等式(7)和(8)進行參數 $\Delta h_{12}$ 、 $\Delta h_{13}$ 、 $\Delta v_{12}$ 及 $\Delta v_{13}$ 的計算，運用已知 Rc 及 Rd 的位置與已知  $(\Delta d_{12c}, \Delta d_{13c})$  及  $(\Delta d_{12d}, \Delta d_{13d})$  兩雙重相位差分組作為等式的結果。然後就可以利用兩線性等式 (4)、已解出的參數 $\Delta h_{12}$ 、 $\Delta h_{13}$ 、 $\Delta v_{12}$ 及 $\Delta v_{13}$ ，以及 $(\Delta d_{12m}, \Delta d_{13m})$  雙重相位差分為結果算出移動單元(MU) 的位置。如果本應用是要透過基地台 (BS) 來定位移動單元(MU)，則無須把四個參數送至移動單元(MU)。如果本應用是要移動單元(MU) 自身定位，則基地台 (BS) 會傳送給移動單元(MU) 的所在位置，或傳送移動單元(MU) 的四個參數及雙重相位差分給移動單元(MU) 用座標地圖來決定其位置。

【0060】 要注意的是，計算位置的過程中不需要三個 FM 電台位置，只需要利用三個區域性參考台位置來定位移動單元(MU)。由於不需要知道 FM 電台的位置，因此大大簡化了區域性或室內定位過程。然而，三個 FM 電台的三角位置會影響定位是否精準。在全球定位系統 (GPS) 中，此稱為精度稀釋(dilution of precision, DOP)。簡單來說，三個 FM 電台構成近正三角形 (即約 120 度)，則會得到最佳精度稀釋，因此精準度最高。

【0061】 三個 LPFM 電台進行區域性到達時間差 TDOA 定位

【0062】 對於室內或區域性定位應用來說，本發明提出只使用三個區域性 LPFM 電台的新方法，其中一個 LPFM 電台兼作參考台，以簡化 MU 的定位程序。在第 5 圖中，三個 LPFM 電台在已知地點以 FM1、FM2 及 FM3 來表示。該已知地點播送三個一般化後的調頻載波，該三個調頻載波以三個具有相同頻率的正弦訊號 S1、S2 及 S3 來調變（此後稱作導引訊號 (Pilot)）。由第 5 圖可知，較佳的情況是把三個 LPFM 電台安置在區域性地圖的邊緣處，形成一個三角形，具有最佳精度稀釋。還要注意的是，該載波無須介於 88MHz 到 108MHz（商業廣播頻帶），可介於任何允許的民用頻帶，例如介於民用頻帶 26 MHz 到 28 MHz，或最高到熱門的無線網路 WiFi 頻帶 2.4 GHz。此外，導引訊號不必是 19 KHz，而可為介於 9 KHz 到 1 MHz 頻率的正弦波。舉例來說，如果調變頻率是 1 MHz，則導引訊號波長經解頻後為 300 公尺，這比大部分大樓內部的面積還大。然而，300 公尺並未涵蓋一平方英里的範圍，此範圍會對接受器產生模稜兩可的波長數。FM 導引訊號一般的正弦波（如 10 KHz），與 19KHz 導引訊號類似。本發明採用一般化後的導引訊號 S1、S2 及 S3，具有更彈性選擇不同導引訊號載波頻帶的自由，也能選擇在單一頻帶（而非立體頻帶）來調頻。

【0063】 至於區域性或室內定位，由於三個 LPFM 電台靠近移動單元(MU)，用線性方程式來近似取代雙曲線方程式（較彎曲的線）會導致較大的定位誤差。因此，這裡採用先前美國專利第 7990314 號的做法，即在區域性或室內預設有限方格點基本座標地圖 (Cardinal Map)。每一個方格點對應一個儲存相位差分組的記憶體。所有的方格點和相位差分組在電腦記憶體內建立成一個「對照表」(look-up table)。

【0064】 本發明針對先前專利主要改善的地方是：只利用三個 LPFM 電台及用 FM1 電台兼作為唯一的基地台 (BS)。此外，相較於先前關於使用三個參考台與三個 FM 電台(3 × 3)作為定位系統的比較，本系統簡化成只利用三個 LPFM 電台及及一台兼作為基地台 (BS)。換言之，本發明從六個電台簡化成三個電台，即大大簡化室內或區域性定位系統。

【0065】 FM1/BS 位於基本座標(0, 0)。由於已經知道 FM2 和 FM3 的座標，每一個方格點(x,y)可以利用距離（即相位）d1, d2, d3 預先計算離三個 FM 電台的距離並得出每一個方格點的相位差分組(d<sub>12</sub>, d<sub>13</sub>)。地圖上全部方格點的相位差分組儲存在電腦記憶體的對照表中。須知此(d<sub>12</sub>, d<sub>13</sub>)表示真實的相位差分組，並以(d<sub>12m</sub>, d<sub>13m</sub>)表示在移動單元(MU) 所測量到的相位差分組。

【0066】 計算出來的相位差分組和測量出來的距離差組的差異便是後者包含電台間的原始相位差（即正弦波不同步傳送相位差），這已在美國專利第 7990314 號做了詳細的討論。當移動單元(MU)測量導引訊號訊號 S1、S2 及 S3 時，它測量的是這三個導引訊號的相位相減以獲得相位差分組(d<sub>12m</sub>, d<sub>13m</sub>)。該相位差分組(d<sub>12m</sub>, d<sub>13m</sub>)混合著 FM 電台的原始相位差。同時，在 FM1 的 BS 也測量該相位差分組(d<sub>12b</sub>, d<sub>13b</sub>)；此相位差分組也與 FM 電台的原始相位差混合。然而，如第 5 圖所示，D12 和 D13 表示 FM2 和 FM3 到 BS 之間的固定距離，因此在 BS 測量到的相位差會增加 D12 和 D13 傳送距離的延遲。因此，以 $\chi_{12}$  及  $\chi_{13}$  表示原電台原始相位差可從 BS 測量值(d<sub>12b</sub>, d<sub>13b</sub>)減去從 Rc 及 Rd 到 BS，(即 d<sub>2b</sub> 和 d<sub>3b</sub>) 的傳輸值中減去 D12 和 D13 延遲之後便可得出原始相位差  $\chi_{12}$  及  $\chi_{13}$ ，如下：

$$\chi_{12} = \underline{d}_{1b} - (\underline{d}_{2b} - D12) = \underline{d}_{12b} + D12, \quad \chi_{13} = \underline{d}_{13b} + D13 \quad (18)$$

【0067】 要注意的是，由於上升緣（上升緣類比測量值）和 MC（電腦數位計數器）幾乎不會在同一時間發生，所以 FM1 對 BS (0,0) 的上升緣的測量值  $\underline{d}_{1b}$  不會是零。還要注意的是，所有相位測量值是相對於 FM1 上升緣 MC 同步。由 MU 測量相位差分組減去原始相位差後，可以定義出一個新的雙重差分組  $(\Delta d_{12m}, \Delta d_{13m})$ ，即

$$\begin{aligned} \Delta d_{12m} &= d_{12m} - \chi_{12} = d_{12m} - \underline{d}_{12b} - D12 \\ \Delta d_{13m} &= d_{13m} - \chi_{13} = d_{13m} - \underline{d}_{13b} - D13 \end{aligned} \quad (19)$$

即是移動單元(MU)的測量值( $d_{12m}, d_{13m}$ ) 減去原始相位差後的值的結果。

【0068】 這裡所定義的「測量出的」雙重差分組  $(\Delta d_{12m}, \Delta d_{13m})$ 事實上相對於儲存於記憶體中對照表中的一組「計算出的」相位差分組  $(d_{12}, d_{13})$ 。以測量出的雙重差分組  $(\Delta d_{12m}, \Delta d_{13m})$  用電腦尋找與對照表上相近的項目，可以使用最小平方差 (least square error, LSE) 方法。最小平方差是介於雙重差分組  $(\Delta d_{12m}, \Delta d_{13m})$ 及對照表上某相位差分組 $(d_{12}, d_{13})$ 的最小距離 (minimum distance, MIN)，即是

$$LSE = \text{MIN} (\text{SQRT} ( (\Delta d_{12m} - d_{12})^2 + (\Delta d_{13m} - d_{13})^2 ) ) \quad (20)$$

$$\text{或僅 } \text{MIN}((\Delta d_{12m} - d_{12})^2 + (\Delta d_{13m} - d_{13})^2) \quad \text{對所有對照表項目} \quad (21)$$

這裡無須計算平方根，所以 MU 的位置由 $(d_{12}, d_{13})$ 組和方格點 $(x, y)$ 的最小距離決定。

【0069】 要注意的是，使用三個 LPFM 電台來定位移動單元(MU)，與前述的三個參考台相比，最大的優點是無須另外兩個廣播電台（即 Rc 和 Rd）作測量，只須測量移動單元(MU)對基地台(BS) 的相位關係、移除廣播

電台原始相位差並查閱對照表即可。這樣大大簡化室內和區域性定位的計算程序。

**【0070】** 三個 LPFM 電台定位時間同步法

**【0071】** 根據前述的內容來看，計算相位和相位差時，移動單元(MU)和基地台(BS) 必須基於主時脈訊號的同步時間（即計數器為零）。解頻後 S1、S2 及 S3 的頻率若出現些微差異，會導致相位差隨時間的變化。本發明進一步提出一簡易同步技術來建定主時脈訊號 MC。由於導引訊號是 FM1 自生的訊號，因此可以如第 6 圖所敘述的方式來操縱正弦波；這無法在公共商業 FM 電台進行廣播時執行。如果導引訊號的波形特意在某一時間進行相位變動，則下一個週期的上升緣可預約成移動單元(MU)及基地台(BS)的同步主時脈訊號 MC。此時間同步技術的優點是只要移動單元(MU)及基地台(BS) 準備好同步。下面是進行移動單元(MU)時間同步和定位的步驟：

**【0072】** 1. 移動單元(MU)或基地台 (BS) 都可發出定位請求，移動單元(MU)對基地台 (BS) 發出同意訊息。

**【0073】** 2. 接著，基地台 (BS)S1 作出相移，示意 S1 導引訊號的下一個上升緣將會是主時脈訊號(MC)。

**【0074】** 3. 移動單元(MU)偵測到 FM1 導引訊號的相移並等待下一個上升緣作為主時脈訊號(MC)，以連續且重覆地測量 S1、S2 及 S3 的相位。

**【0075】** 4. 測量完三個 LPFM 電台的相位後，移動單元(MU)獲得平均相位值  $d_1$ 、 $d_2$  及  $d_3$ ，並計算出  $d_{12m}$  及  $d_{13m}$ ，最後再將  $d_{12m}$  及  $d_{13m}$  傳送給基地台 (BS)。基地台 (BS) 算出雙重差分 ( $\Delta d_{12m}$ ,  $\Delta d_{13m}$ )以對照表及方格點來定位 MU。等式(21)中具有最小平方差的方格點便是移動單元(MU)的位

置(x, y)。

**【0076】** 更精密的方格點定位

**【0077】** 前一節提到室內或區域性定位的正確度受限於方格點的解析度與相位測量的精確度。解析度愈高，則對照表的記憶體愈大，同時電腦尋找及比較的時間也會更長。

**【0078】** 本發明提出了一個兩階（或多階）對照表格的方法，以簡化並增進移動單元(MU) 解析度的定位方式。例如在尋找第一表的過程中，用較低解析度（1 公尺 x 1 公尺）對照表，若每一個方格點進一步劃分成較高解析度（10 公分 x 10 公分）的二階對照表，每一個方格點都儲存代表更高解析度的 $(d_{12}, d_{13})$ 值。也就是說，該兩階對照表在本範例會擴大 100 倍。另一方面想，假若只選擇使用高解析度（10 公分 x 10 公分）的一階對照表，則記憶體容量也是原始表格的 100 倍。記憶體容量在這兩種情況下幾乎一樣大。然而，使用兩階對照表和使用一階對照表所需的尋找時間相比則大大減少。這是因為使用兩階對照表尋找時，在第一階段的尋找時間只有使用一階對照表的尋找時間的百分之一。第二階段的尋找(10x10) 的小表格時間只稍微增加一點而已。因此使用兩階對照表可以大大減少了決定移動單元(MU)位置的所需時間。很明顯地，若有需要進一步改善定位時間，也可以將兩階對照表擴大成三階對照表或更多階對照表。

**【0079】** 用四個以上的 LPFM 電台進行三維空間 TDOA 定位

**【0080】** 對於室內或區域性定位而言，有必要決定物體的三維座標。

第 7 圖繪示一個三維方格點地圖及四個 LPFM 電台。若採用四個以上的

LPFM 電台，則先採用對移動單元(MU)而言，四個具有最佳接收訊號強度 (RSSI)指標的 LPFM 電台來定位。先前單元所提出三個 LPFM 電台可在較高地點（例如在天花板的頂端或在屋頂）另外加上一個 LPFM 電台。目的是為了能在為四個低功率 FM 電台做三度空間測量時，得到較佳的垂直精度稀釋(VDOP)。前述的雙差分組可簡易的擴大成三元的雙差分組。以三維定位來說，具有對照表的記憶體會包含三元的項目 ( $d_{12}$ ,  $d_{13}$ ,  $d_{14}$ )，相應地，移動單元(MU)及基地台 (BS)會獲得三元的相位差 ( $d_{12m}$ ,  $d_{13m}$ ,  $d_{14m}$ ) 及 ( $d_{12b}$ ,  $d_{13b}$ ,  $d_{14b}$ )。像先前一樣將  $D_{12}$ 、 $D_{13}$  及  $D_{14}$  加回到 ( $d_{12b}$ ,  $d_{13b}$ ,  $d_{14b}$ ) 後，便可以獲得三元原史相位差( $\chi_{12}$ ,  $\chi_{13}$ ,  $\chi_{14}$ )。在基地台利用對照表上三元差距來決定移動單元(MU) 位置。在基地台從 ( $d_{12m}$ ,  $d_{13m}$ ,  $d_{14m}$ ) 減掉 ( $d_{12b}$ ,  $d_{13b}$ ,  $d_{14b}$ ) 和  $D_{12}$ 、 $D_{13}$  及  $D_{14}$  後，便會獲得三元的雙重差分組( $\Delta d_{12m}$ ,  $\Delta d_{13m}$ ,  $\Delta d_{14m}$ )用來比較對照表上三元差距組來決定移動單元(MU) 位置。同樣的用最小平方差方法可用於決定已測量的三元雙重差分組與對照表上某項目的最小距離，以得出移動單元(MU) 的位置。先前討論的具有兩階或多階的對照表可達到更精準該三維定位。

**【0081】** 利用三個以上的 LPFM 電台進行二維區域性定位

**【0082】** 對於二維的室內定位應用來說，可能會有金屬牆阻擋 LPFM 電台的訊號傳播。如此一來，當多個 LPFM 電台進行傳播時，會有一或多 LPFM 電台收訊不佳。因此用三個以上的 LPFM 電台之中選擇具有較佳收訊的 LPFM 電台來定位，可以避免因金屬牆阻擋的問題。在此情況下，以最佳三 LPFM 電台來定位，也就是說，最好的三個 LPFM 接收訊號強度指

標 (Radio Signal Strength Indicator, RSSI)來選擇。多個選擇需採用多數個對照表來進行定位。舉例來說，如果使用四個 LPFM 電台，則需要四組（四選三的組合）的對照表。

**【0083】** 本發明是對先前美國專利第 7990314 號進行改進。具體來說，本發明所提出的一項改進內容是在區域性的基地台(BS)之外增加兩個額外的參考台(RS)。兩個已知位置的參考台(RS)用於計算兩線性等式的參數，以解出未知的移動單元(MU)的位置(x, y)，而非使用點接點的測量方式。要注意的是，此改進內容不需知道 FM 電台的位置。

**【0084】** 本發明也發現到任何些微的導引訊號差異都會造成相位對時間上的相對相移。本發明提出的解決辦法是對相位測量時使用相對於同步主時脈訊號 MC 來避免相移。本發明也提出兩個特殊的時間同步方法，即使用其中之一導引訊號的上升緣作為同步主時脈的記號。

**【0085】** 本發明進一步提出使用一般化正弦波形（包含 19 KHz 導引訊號）以調頻任何美國聯邦通信委員會所批准的載波頻帶，從民用頻帶(26 MHz)到 WiFi 頻帶(2.4 GHz)。具體而言，為應用於室內或區域性定位，可使用美國聯邦通信委員會所批准的任何頻帶及一普通的正弦調頻波形。本定位法只需要利用三個 LPFM 電台，且其中一電台兼作基地台。考量到 LPFM 電台的區域性，本發明採用一對照表格的方式來定位移動單元 (MU)，與先前美國專利第 7990314 號類似。這樣做是考量到線性等式會發生較大定位誤差。再者，在三個 LPFM 電台系統中，本發明提出使用 (BS) /LPFM 電台，將導引訊號的下一個上升緣定為同步的主時脈訊號。

**【0086】** 本發明接著提出一個兩階或多階的對照表，以改進定位的精準性及節省尋找比較及計算的時間。此外，本發明提出使用三個以上的 LPFM 電台，以進行三維區域性定位，或使用多個 LPFM 電台，以避免在室內進行二維定位時訊號的阻礙情況。

**【0087】** 1. 本發明針對先前專利做了改進，即使用兩個以上區域性參考台，以簡化參數的計算方式。該參數用於兩線性等式，以確定移動單元(MU) 的位置。

**【0088】** 2. 本發明發現到如果 FM 電台的導引訊號並非完全一致時，導致不同的測量時間會出現相移的情況時，本發明提出使用一主時脈訊號(MC)作為進行 BS、RS 及 MU 相位測量時的參考時刻來連續及反覆測量所有電台訊號的相位。再者，本發明提出特殊的時間同步技術，即使用調頻導引訊號上升緣作為主時脈訊號(MC)，以進行相位測量。

**【0089】** 3. 本發明進一步將室內或區域性定位系統一般化：a) 使用一正規化正弦波形以調頻任何美國聯邦通信委員會所批准的頻帶，亦即從 26 MHz 到 2.4 GHz 的頻帶；b) 使用三個 LPFM 電台，其中一台兼作基地台 (BS)，用來測量原始相位差，以決定移動單元(MU) 的位置；c) 使用一兩階對照表來決定移動單元(MU) 的更精準位置，以及節省尋找及比較的時間。

**【0090】** 4. 本發明認出 LPFM 電台自生正弦波訊號的好處。進一步提出使用基地台 (BS)/FM1 以自生正弦波相移，進而示意下一個上升緣為時間同步主時脈訊號(MC)。

【0091】 5. 本發明提出使用四個以上的 LPFM 電台，以進行三維區域性定位。

【0092】 6. 本發明進一步提出使用三個以上的 LPFM 電台，以避免在二維定位時所發生的訊號被阻礙情況。

【0093】 對於熟知本領域之技術人員，根據上述本發明的實施例可知，本發明可以落實在多個方面，例如使用三個不同頻率的導引訊號來調頻。也可以使用自生成的三個週期性波形，比如矩形波形來調頻，以進行相位差分及雙差分來定位。

【0094】 雖然本發明已用較佳實施例揭露如上，然其並非用以限定本發明，任何熟習此技藝者，在不脫離本發明之精神和範圍內，當可作各種之更動與修改，因此本發明之保護範圍當視後附之申請專利範圍所界定者為準。

### 【符號說明】

#### 【0095】

S1-S3	導引訊號	FM1-FM3	調頻廣播電台
LPFM	低功率調頻廣播電台	BS	基地台
MU	移動單元	Rc、Rd、Re	參考台
Pi	相位計數	Cti	上升緣計數
SUM	總和	REM	餘數
TDOA	到達時間差	TOA	到達時間
d1~d3、 <u>d1</u> ~ <u>d3</u>	距離	d <sub>12</sub> 、 <u>d</u> <sub>12</sub>	距離差分
$\Delta d_{12}$ 、 $\Delta d_{13}$	雙重差分	$\Delta h_{12}$ 、 $\Delta v_{12}$ 、 $\Delta h_{13}$ 、 $\Delta v_{13}$	參數
MC	主時脈訊號	$\chi_{12}$ 、 $\chi_{13}$	原始相位差
D12、D13	實測距離		



## 申請專利範圍

1. 一種用於室內及／或室外的定位系統，使用三個 FM 電台或區域性安裝之 FM 電台來廣播三個導引訊號，該三個導引訊號用於進行到達時間差(TDOA)的雙曲線定位；其中又有三台接收參考台包含第一參考台(Rc)、第二參考台(Rd)及基地台(BS)用於定位一移動單元(MU)，該基地台(BS)與該第一參考台(Rc)、該第二參考台(Rd)及該移動單元(MU)進行雙向通訊，傳送並接收資料以計算移動單元(MU)的位置，其中該基地台(BS)、該第一參考台(Rc)、該第二參考台(Rd)及該移動單元(MU)皆配備有調頻接收器及數位運算器以測量該三個導引訊號的相位，該三個導引訊號的相位以指定的順序相減後得出該三個導引訊號在該第一參考台(Rc)、該第二參考台(Rd)及該移動單元(MU)的相位差分組，並將該第一參考台(Rc)、該第二參考台(Rd)、該移動單元(MU)的相位差分組傳送到該基地台(BS)以定位該移動單元(MU)，其中在該基地台(BS)所測量的該相位差分組從該第一參考台(Rc)、該第二參考台(Rd)及該移動單元(MU)所測量的該相位差分組中減除而分別形成三對雙重差分組( $\Delta d_{12c}$ ,  $\Delta d_{13c}$ )、( $\Delta d_{12d}$ ,  $\Delta d_{13d}$ ) 及 ( $\Delta d_{12m}$ ,  $\Delta d_{13m}$ )，且該三對雙重差分組用於該基地台(BS) 計算該移動單元(MU) 的位置。

2. 如申請專利範圍第 1 項所述之定位系統，建造一區域性基本座標地圖(Cardinal map)，將該基地台(BS)的位置設在原點(0,0)，將該第一參考台(Rc)及該第二參考台(Rd)的位置分別在已知座標( $X_c$ ,  $Y_c$ )及( $X_d$ ,  $Y_d$ )，以及該移動單元(MU)的位置在未知座標( $x$ ,  $y$ )，其中用兩線性等式用來取代近似該雙曲線的定位公式，以及設定四個參數( $\Delta h_{12}$ ,  $\Delta v_{12}$ ) 及 ( $\Delta h_{13}$ ,  $\Delta v_{13}$ )分別與該移動

單元(MU)的座標(x, y)相乘以形成兩線性等式，而該移動單元(MU)的該雙重差分組( $\Delta d_{12m}$ ,  $\Delta d_{13m}$ )分別為該兩線性等式的結果。

3. 如申請專利範圍第 2 項所述之定位系統，其中該兩線性等式應用於該兩已知座標 ( $X_c, Y_c$ ) 及 ( $X_d, Y_d$ ) 以取代該移動單元(MU)的該未知座標 (x, y)，該四個參數( $\Delta h_{12}$ ,  $\Delta v_{12}$ ) 及 ( $\Delta h_{13}$ ,  $\Delta v_{13}$ )和該兩已知座標( $X_c, Y_c$ )及 ( $X_d, Y_d$ )相乘，分別形成四個線性等式，而該雙重差分組( $\Delta d_{12c}$ ,  $\Delta d_{13c}$ ) 及 ( $\Delta d_{12d}$ ,  $\Delta d_{13d}$ )分別是該四個線性等式的結果，如此解出該四個線性等式的該四個參數( $\Delta h_{12}$ ,  $\Delta v_{12}$ ) 及 ( $\Delta h_{13}$ ,  $\Delta v_{13}$ )的結果帶便可用在二元方程式來解出該移動單元(MU)的位置 (x, y)。

4. 如申請專利範圍第 1 項所述之定位系統，其中當該三個 FM 導引訊號的頻率有些微差異時，該基地台(BS)、該第一參考台(Rc)、該第二參考台(Rd)及該移動單元(MU)用相對於同步的主時脈訊號(MC) 來測量相位差，以避免該三個導引訊號隨時間的相移，而且該主時脈訊號作為該基地台(BS)、該第一參考台(Rc)、該第二參考台(Rd)及該移動單元(MU)的唯一參考時間訊號以對該三個 FM 導引訊號進行連續性或平行性的相位測量。

5. 如申請專利範圍第 4 項所述之定位系統，其中將該三個 FM 導引訊號之一指定為同步訊號波形，該基地台(BS)送出一同步準備訊號給該第一參考台(Rc)、該第二參考台(Rd)及該移動單元(MU)，而且在該同步準備訊號完成接收後，該同步訊號波形的下一個上升緣被所有該第一參考台(Rc)、該第二參考台(Rd)、該移動單元(MU)及該基地台(BS)識別為該主時脈訊號(MC)的開始時間點。

6. 如申請專利範圍第 5 項所述之定位系統，其中該三個導引訊號會在

該基地台(BS)、該第一參考台(Rc)、該第二參考台(Rd)及該移動單元(MU) 以相對該主時脈訊號(MC) 照順序及連續地對每 FM 台做 N 次測量,而且該三 FM 電台導引訊號相對該主時脈訊號(MC) 進行 N 次反覆測量後所得到的平均相位值用於決定該移動單元(MU)的位置。

7. 如申請專利範圍第 1 項所述之定位系統,其中該三個 FM 廣播電台是自設的 LPFM 電台,分別定為 FM1、FM2 及 FM3,該 FM1、該 FM2 及該 FM3 位於已知位置 BS、Rc 及 Rd,分別形成 FM1/BS 電台、FM2/Rc 電台及 FM3/Rd 電台,其中該 BS, Rc 及 Rd 位置是在區域地圖的週邊成三角形,該 FM1/BS 電台與該移動單元(MU) 執行雙向通訊,而且該三個 LPFM 電台傳送符合政府規範的通用載波頻率,以及該導引訊號為一正弦波,用於調頻該三個 LPFM 電台的載波頻率。

8. 如申請專利範圍第 7 項所述之定位系統,其中建造一具備有基本座標(Cardinal)的區域性地圖,該 FM1/BS 電台位於座標 (0, 0),該 FM2/Rc 電台及 FM3/Rd 電台分別位於已知座標 (Xc, Yc) 及 (Xd, Yd),該移動單元(MU) 位於未知座標 (x, y),其中該基地台(BS)與該第一參考台(Rc)及該第二參考台(Rd) 的距離分別是 D12 及 D13,其中該區域性地圖是由已知基本座標有限方格點組成,每一方格點對應一距離差組 ( $d_{12}$ ,  $d_{13}$ ),該距離差組是將該方格點距離該基地台(BS)減去與該方格點距離該第一參考台(Rc)及該第二參考台(Rd)而成,而且每一方格點的距離差組記錄成對照表並儲存於該基地台(BS)的記憶體中。

9. 如申請專利範圍第 8 項所述之定位系統,其中該移動單元(MU) 及該基地台(BS)測量該 FM1、該 FM2 及該 FM3 的導引訊號相對於該主時脈

訊號(MC) 的相位, 其中在該移動單元(MU) 及該基地台(BS)對該 FM1 的導引訊號的相位測量值和該 FM2 及該 FM3 的導引訊號的相位測量值相減, 分別形成一相位差分組並定名為 $(d_{12m}, d_{13m})$ 及  $(d_{12b}, d_{13b})$ , 以及將該相位差分組 $(d_{12m}, d_{13m})$ 傳送至該基地台(BS), 然後該相位差分組 $(d_{12m}, d_{13m})$ 減去該相位差分組 $(d_{12b}, d_{13b})$ 及該 $(D12, D13)$ 結果定義為一雙重差分組  $(\Delta d_{12m}, \Delta d_{13m})$ , 該雙重差分組  $(\Delta d_{12m}, \Delta d_{13m})$ 接著與每個儲存於該對照表中的某距離差組 $(d_{12}, d_{13})$ 相比, 以最小距離配對來決定該移動單元(MU)的位置, 其中該 $(\Delta d_{12m}, \Delta d_{13m})$ 組及某 $(d_{12}, d_{13})$ 組做一最小平方差的減法, 來決定該移動單元(MU)在相應方格點的位置。

10. 如申請專利範圍第 9 項所述之定位系統, 其中每一個該方格點再分成更高解析度的方格點, 該高解析度的方格點離該基地台(BS) 及離該第一參考台(Rc), 該第二參考台(Rd)的距離差組  $(d_{12}, d_{13})$  經計算後儲存在對應每一方格點的第二階對照表的記憶體中, 該 MU 的第一階方格點位置決定後, 一對應該方格點的該第二階對照表用來決定該移動單元(MU)更高解析度的位置, 其中該雙重差分組 $(\Delta d_{12m}, \Delta d_{13m})$ 及該第二階對照表中的某距離差組 $(d_{12}, d_{13})$ 的最小平方差 (LSE)用於決定 MU 更高解析度的位置。

11. 如申請專利範圍第 8 項所述之定位系統, 其中以三個以上的 LPFM 電台用於二維定位, 其中該三個以上的 LPFM 中任三台組合都有其相應對照表, 其中該移動單元(MU)接收自各台訊號強度指標 (Radio Signal Strength Indicator, RSSI) 被用來選擇三個最佳 LPFM 電台標準, 且該三個最佳 LPFM 電台及其相應的對照表用來定位該移動單元(MU)。

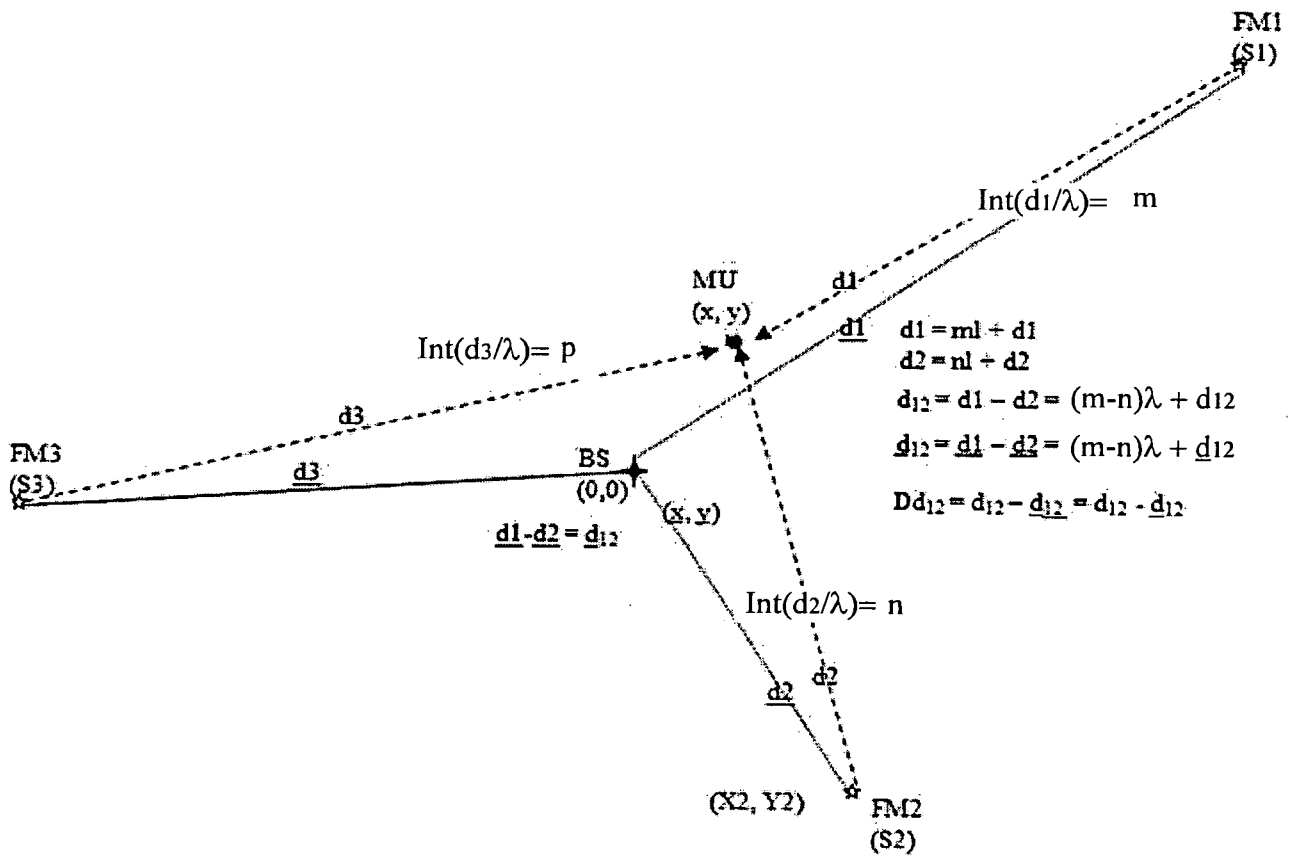
12. 如申請專利範圍第 8 項所述之定位系統, 其中以四個以上 LPFM

電台用於該移動單元(MU)的三維定位，其中一個位於較高的垂直位置上的 LPFM 電台指定為第三參考台(Re) 以作三維定位，並選擇在該移動單元(MU)接收到最佳訊號強度指標的其他三個 LPFM 電台指定為該基地台(BS)、該第一參考台(Rc)及該第二參考台(Rd)，其中該基地台(BS)、該第一參考台(Rc)、該第二參考台(Rd)及該第三參考台(Re)形成四個最佳 LPFM 電台以定位該移動單元(MU)，其中該基地台(BS)對該第一參考台(Rc)、該第二參考台(Rd)及該第三參考台(Re)的距離分別為  $D_{12}$ 、 $D_{13}$  及  $D_{14}$ ，其中該方格點座標地圖對應該四個最佳 LPFM 電台而擴大成為一三維方格點座標地圖，其中每一方格點對該四個 LPFM 電台的距離分別計算出的三元距離差組為  $(d_{12}, d_{13}, d_{14})$ ，該三元距離差組儲存在一對照表的記憶體中，其他四個 LPFM 電台的組合形成各自的三元距離差組對照表，該移動單元(MU)及該基地台(BS) 相對於該主時脈訊號(MC) 分別進行測量該四個最佳 LPFM 電台的相位分別形成三元相位差分組  $(d_{12m}, d_{13m}, d_{14m})$  及  $(d_{12b}, d_{13b}, d_{14b})$ ，接著該  $D_{12}$ 、 $D_{13}$  及  $D_{14}$  要從該三元相位差分組  $(d_{12m}, d_{13m}, d_{14m})$  及  $(d_{12b}, d_{13b}, d_{14b})$  相減而成的雙重差分組中扣除，如此在該基地台(BS)得出一三元雙差分組  $(\Delta d_{12m}, \Delta d_{13m}, \Delta d_{14m})$ ，然後該三元雙差分組  $(\Delta d_{12m}, \Delta d_{13m}, \Delta d_{14m})$  與該對照表中該三元距離差組  $(d_{12}, d_{13}, d_{14})$  表格的每一個項目進行比較以獲得最小距離配對，介於該測量得到的三元雙差分組與該對照表中的該三元距離差組之間的最小平方差(LSE)來決定該移動單元(MU) 對應方格點的位置。

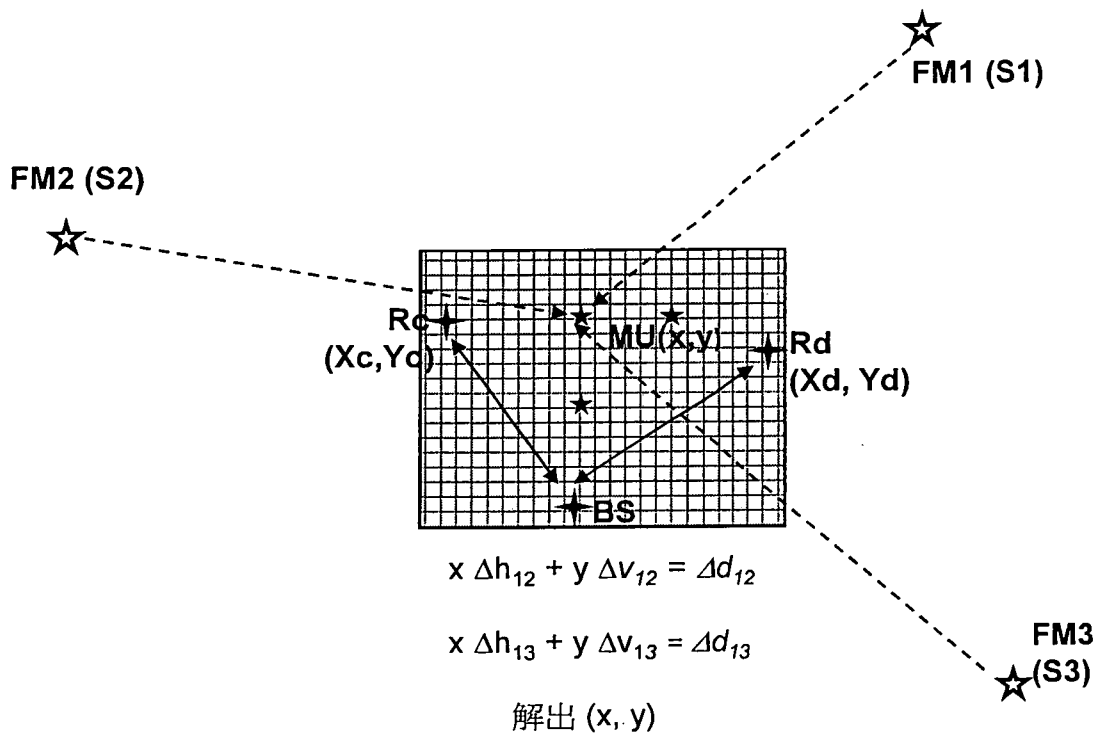
13. 如申請專利範圍第 7 項所述之定位系統，其中該 FM1/BS 電台傳送導引訊號波形用來作為同步訊號，當該移動單元(MU)準備進行同步時，由該基地台(BS)執行該導引訊號的相移，在該導引訊號相移之後的下一個上升

緣定為該移動單元(MU)及該基地台(BS)的主時脈訊號(MC)，而且該移動單元(MU)及該基地台(BS)相對於該主時脈訊號(MC)測量該三個LPFM電台的相位。

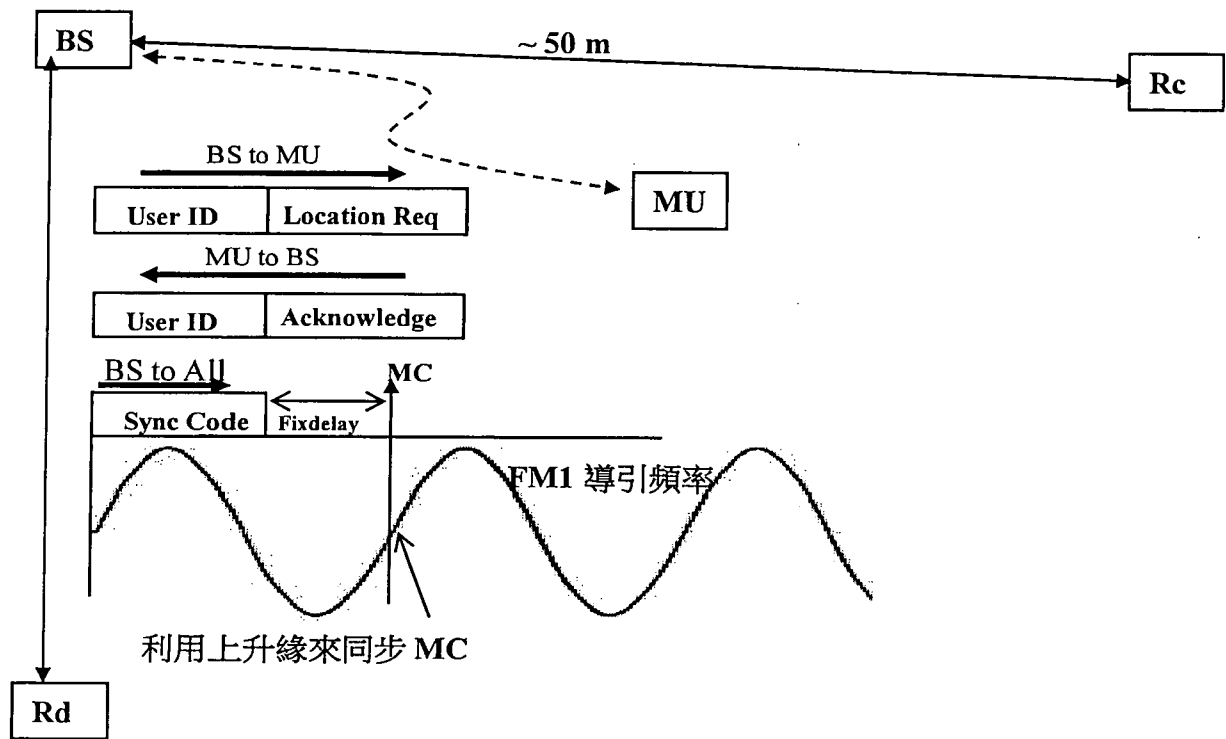
圖式



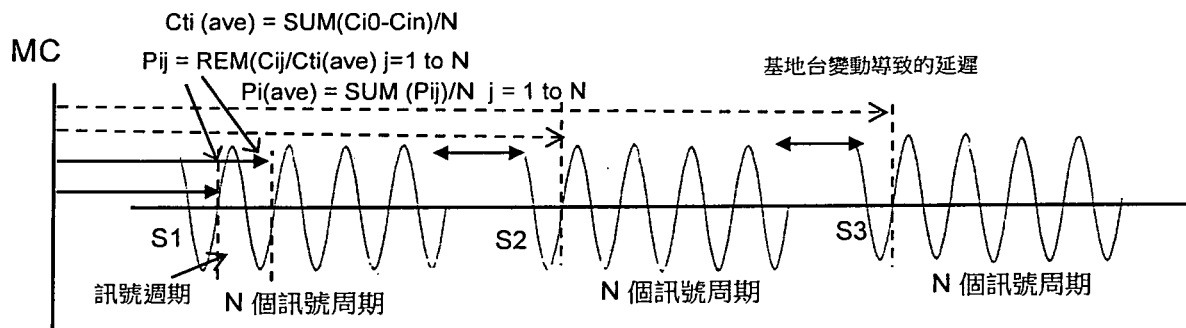
第 1 圖



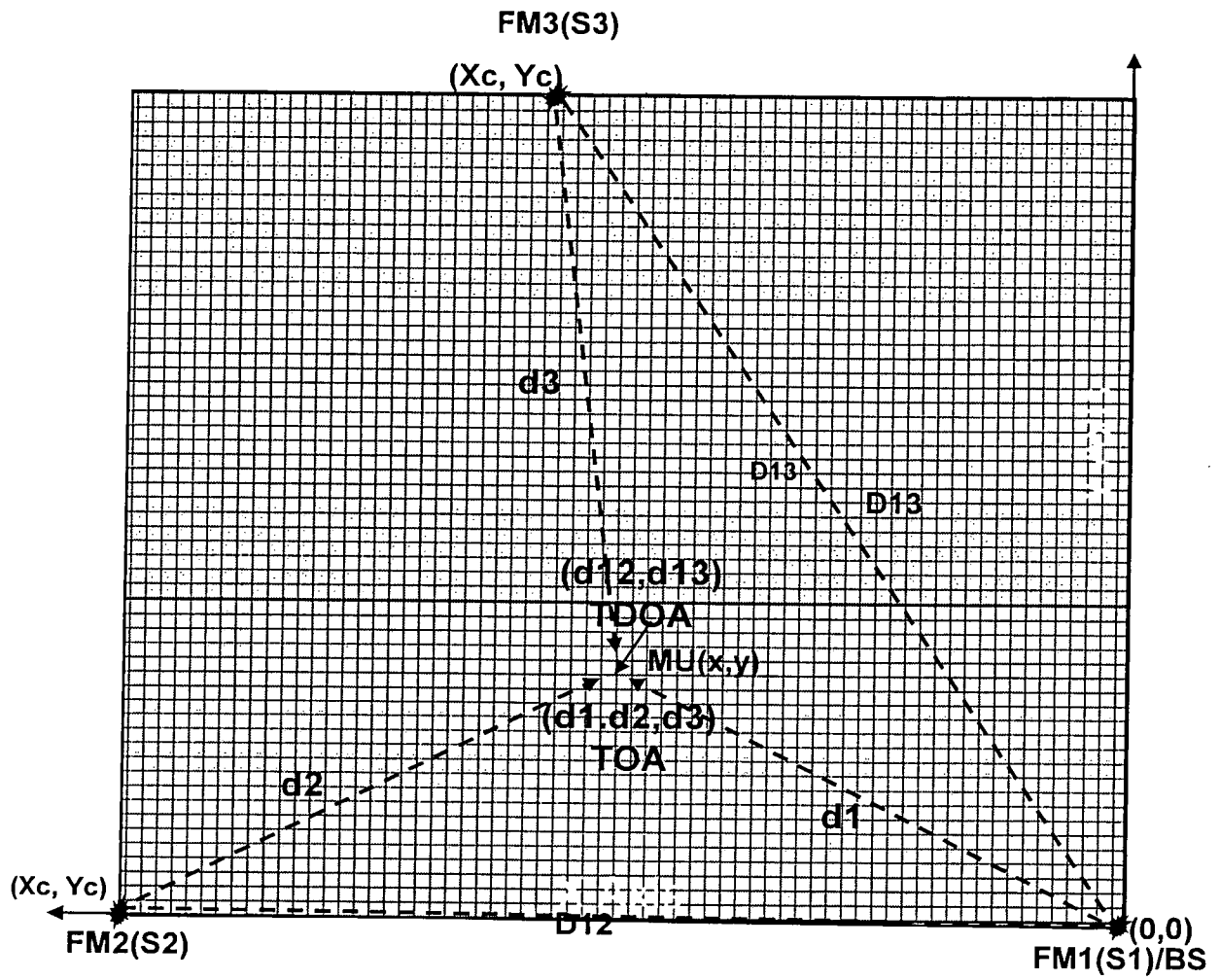
第 2 圖



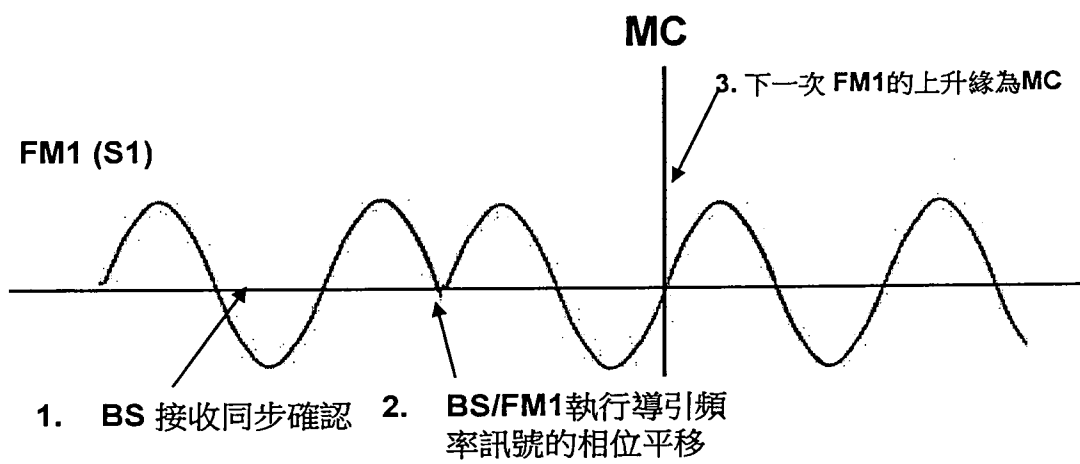
第 3 圖



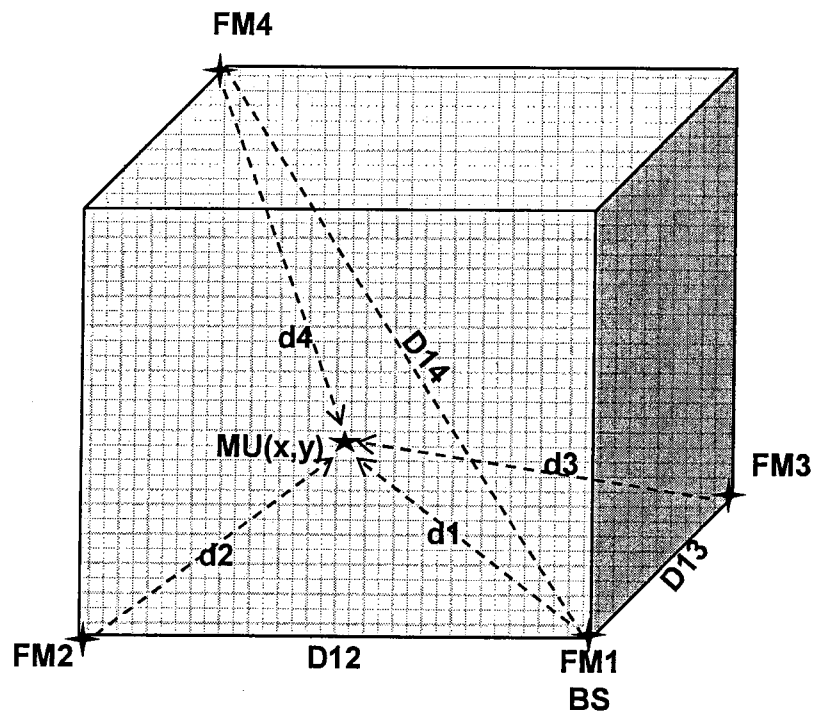
第 4 圖



第 5 圖



第 6 圖



第 7 圖