



(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 I470257 B

(45)公告日：中華民國 104 (2015) 年 01 月 21 日

(21)申請案號：102136235

(22)申請日：中華民國 102 (2013) 年 10 月 07 日

(51)Int. Cl. : G01S13/93 (2006.01)

G01S13/42 (2006.01)

G01S7/41 (2006.01)

(71)申請人：國立交通大學(中華民國) NATIONAL CHIAO TUNG UNIVERSITY (TW)

新竹市大學路 1001 號

(72)發明人：蔡宗育 TSAI, TSUNG YU (TW)；黃崇榮 HUANG, CHUNG JUNG (TW)；李大嵩

LEE, TA SUNG (TW)

(74)代理人：詹銘文；葉璟宗

(56)參考文獻：

CN 1537237A

CN 101779139A

US 7545313B2

審查人員：沈芳怡

申請專利範圍項數：14 項 圖式數：4 共 30 頁

(54)名稱

角度估計檢測方法及電子裝置

METHOD AND ELECTRONIC DEVICE FOR ANGLE ESTIMATION VERIFICATION

(57)摘要

本發明的角度估計檢測方法適於檢測具有角度估計器的電子裝置所計算的角度估計值，其中此電子裝置具有至少三天線。此方法包括自角度估計器擷取角度估計值。根據各所述天線所接收的接收信號的量測值所形成的信號向量，產生接收信號的自我相關矩陣，以取得多個特徵值；又自任二所述天線組成之多個天線組合所產生的相位差資料中，計算未出現同位角效應的相位差資料所對應的可能角度估計值。接著，根據所述特徵值以及所述可能角度估計值，判斷接收信號對應於單一個目標物或多個目標物，據以檢測角度估計值的可靠性。

A method for angle estimation verification, adapted for verifying an estimated angle calculated by an electronic apparatus having an angle estimator and at least three antennas, is provided. The estimated angle is extracted from the angle estimator. An autocorrelation matrix is generated so as to obtain a plurality of eigenvalues according to a signal vector formed by a plurality of measurements of a received signal received by each of the antennas. Among phase difference data generated by a plurality of antenna groups formed by any two of the antennas, a plurality of possible estimated angles corresponding to the phase difference data not caused by a coterminal angle effect are calculated. According to the eigenvalues and the possible estimated angles, whether the received signal corresponds to a single target or multiple targets is determined so as to verify the reliability of the estimated angle.

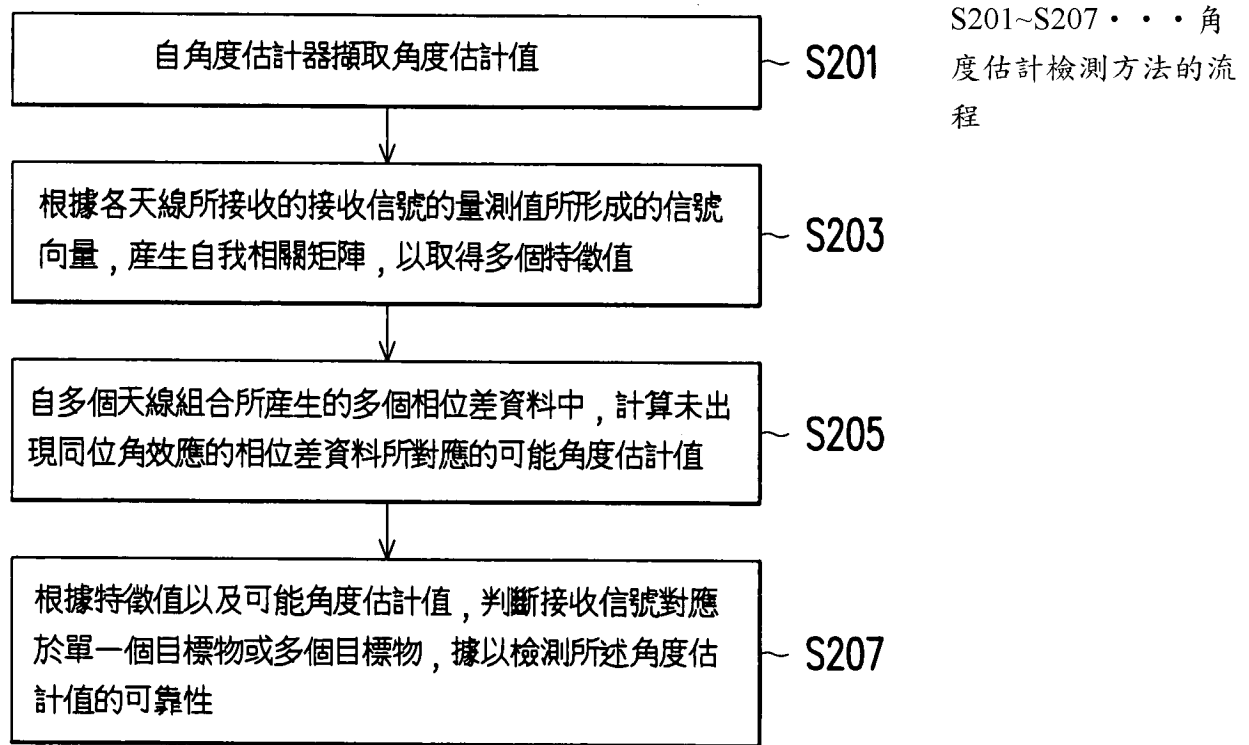


圖 2

發明摘要

※ 申請案號：102136235

※ 申請日：102.10.7

※IPC 分類：G01S 13/93 (2006.01)

G01S 13/42 (2006.01)

G01S 7/41 (2006.01)

【發明名稱】角度估計檢測方法及電子裝置

METHOD AND ELECTRONIC DEVICE FOR ANGLE
ESTIMATION VERIFICATION

【中文】

本發明的角度估計檢測方法適於檢測具有角度估計器的電子裝置所計算的角度估計值，其中此電子裝置具有至少三天線。此方法包括自角度估計器擷取角度估計值。根據各所述天線所接收的接收信號的量測值所形成的信號向量，產生接收信號的自我相關矩陣，以取得多個特徵值；又自任二所述天線組成之多個天線組合所產生的相位差資料中，計算未出現同位角效應的相位差資料所對應的可能角度估計值。接著，根據所述特徵值以及所述可能角度估計值，判斷接收信號對應於單一個目標物或多個目標物，據以檢測角度估計值的可靠性。

【英文】

A method for angle estimation verification, adapted for verifying an estimated angle calculated by an electronic apparatus having an angle estimator and at least three antennas, is provided. The estimated angle is extracted from the angle estimator. An

autocorrelation matrix is generated so as to obtain a plurality of eigenvalues according to a signal vector formed by a plurality of measurements of a received signal received by each of the antennas. Among phase difference data generated by a plurality of antenna groups formed by any two of the antennas, a plurality of possible estimated angles corresponding to the phase difference data not caused by a coterminial angle effect are calculated. According to the eigenvalues and the possible estimated angles, whether the received signal corresponds to a single target or multiple targets is determined so as to verify the reliability of the estimated angle.

【代表圖】

【本案指定代表圖】：圖 2。

【本代表圖之符號簡單說明】：

S201～S207：角度估計檢測方法的流程

【本案若有化學式時，請揭示最能顯示發明特徵的化學式】：

無

autocorrelation matrix is generated so as to obtain a plurality of eigenvalues according to a signal vector formed by a plurality of measurements of a received signal received by each of the antennas. Among phase difference data generated by a plurality of antenna groups formed by any two of the antennas, a plurality of possible estimated angles corresponding to the phase difference data not caused by a coterminial angle effect are calculated. According to the eigenvalues and the possible estimated angles, whether the received signal corresponds to a single target or multiple targets is determined so as to verify the reliability of the estimated angle.

【代表圖】

【本案指定代表圖】：圖 2。

【本代表圖之符號簡單說明】：

S201～S207：角度估計檢測方法的流程

【本案若有化學式時，請揭示最能顯示發明特徵的化學式】：

無

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】 角度估計檢測方法及電子裝置

METHOD AND ELECTRONIC DEVICE FOR ANGLE
ESTIMATION VERIFICATION

【技術領域】

【0001】 本發明是有關於一種檢測方法及電子裝置，且特別是有關於一種角度估計檢測方法及電子裝置。

【先前技術】

【0002】 由於人口急速增長以及世界經濟逐漸復甦，個人可支配所得與消費力已逐年上升，使得全球汽車銷售量也隨之不斷攀升。隨著汽車銷售量不斷成長，車用安全系統、車身系統、駕駛資訊系統、懸吊底盤系統、引擎傳動系統、保全系統等六大方面的車用電子產業亦蓬勃發展，其中又以車用安全系統的年複合成長率為最高。

【0003】 在汽車數量日益增長之下，發生道路事故的機率也逐年增加。歐洲的一項研究顯示：駕駛員只要在發生碰撞的 0.5 秒前得到預警，即可以避免至少 60% 的追尾撞車事故、30% 的迎面撞車事故和 50% 的路面相關事故；若有 1 秒鐘的預警時間，則可避免 90% 的事故。因此，車用安全系統的重要性可見一斑。

【0004】 在車用安全系統中，根據功能及種類不同，主要可分為

主動式及被動式兩種類型。在 2000 年以前，市場上幾乎是以被動式安全系統為主，例如安全帶、各類安全氣囊等。直到 2000 年以後，隨著半導體科技進展及高頻電子電路技術的進步，已能生產出高運算速度及運算量的電子系統，同時，人們對安全的要求也不斷提升，從原本被動地降低意外傷害，轉變為主動地避免意外發生，主動式安全才開始快速發展。在道路行駛的實際狀況中，主動系統能在危險發生前發揮預警功能，提醒駕駛甚至主動操縱車輛閃避危險，達到保護生命安全的目的，將比被動系統扮演更重要的角色。

【0005】 因此，現今主動式安全系統獲得極大發展，主導整體車用安全系統的市場，包括適應性巡航控制（Adaptive Cruise Control，ACC）、智慧型停走系統（Stop & Go）、車道偏離警示系統（Lane Departure Warning System）、環境辨識（Environment Recognition）、智慧型防撞系統（Collision Avoidance）、先進駕駛輔助系統（Advanced Driver Aid System，ADAS）等皆在範疇內。而各國對於主動安全系統主要發展為基本防撞警示技術、進階防撞警示技術以及基本駕駛人資訊設備三大方向。基本防撞警示技術主要是針對適應性巡航控制、防止車輛後方追撞、偵測車輛前方行人與障礙物；進階防撞警示技術主要為避免不當切換車道、十字路口所發生的碰撞事故，以及車輛診斷；基本駕駛人資訊設備主要為路線指引、即時交通、駕駛人資訊與行車導航。

【0006】 目前歐洲的政府研究計畫著重在駕駛者監視系統、路況

偵測系統、及智慧化方向控制等功能開發。美國政府與通用汽車合作，開發並測誦後視汽車防撞系統。日本現正大量進行智慧化公路（Smartway）實際驗證，採用前視雷達及車道偏離警示器等子系統，完成巡航、防撞、循軌前進等先進汽車功能。

【0007】 主動安全系統中的適應性巡航控制（Adaptive Cruise Control, ACC），主要是以往車輛定速駕駛功能的延伸發展，以其應用範圍可分為高速域、低速域及全速域之巡航控制。適應性巡航控制系統的原理為利用裝設於車輛前方的雷達系統，在車輛進行定速駕駛時，同時偵測車輛前方的交通狀況，維持安全距離。當有車輛進入車道使得安全距離不足時，車輛便自動減速駕駛；當車輛前方有足夠安全距離時便自動加速，回復至駕駛者設定的速度，目前高階車款大部份已配備適應性巡航控制系統。Stop & Go 系統功能為適應性巡航控制的進階版，相異處在於可視需求將車輛減速至停止，而非在特定速度下關閉系統功能，亦可在前方車輛再度移動時，自動加速至預設速度且保持車距，預設速度隨交通狀況不同而自動調整，適用於壅塞的市區道路。

【0008】 由上述可知在適應性巡航控制及 Stop & Go 系統中，最前端的防撞雷達是非常關鍵的一部分，一旦雷達判斷失誤而提供不正確的訊息，將導致整個系統對應產生錯誤的控制方式。在車用雷達系統中，目標物的偵測扮演著很重要的角色，一方面提供目標物的相對位置，以大幅提高行駛間的安全性。另一方面，透過前方目標物的運動軌跡，可更進一步準確地預估出車道的變化及

實際遭遇的路況。

【0009】 然而，當雷達系統處於多目標物的環境之下，在頻譜（frequency spectrum）上可能會有多個目標物對應到相近或甚至相同的頻率，稱為「重疊事件」。此時，若雷達系統無適當的判斷機制，會導致對於目標物產生錯誤的估測。

【發明內容】

【0010】 本發明提供一種角度估計檢測方法及電子裝置，其可檢測電子裝置所計算的角度估計值。

【0011】 本發明的角度估計檢測方法適於檢測具有角度估計器的電子裝置所計算的角度估計值，此電子裝置具有至少三天線。角度估計檢測方法包括下列步驟。自角度估計器擷取角度估計值。根據各所述天線所接收的接收信號的量測值所形成的信號向量，產生接收信號的自我相關矩陣，以取得多個特徵值。自多個天線組合所產生的多個相位差資料中，計算多個第一相位差資料所對應的多個可能角度估計值，其中所述天線組合為任二所述天線所組成的多個不同組合，各所述相位差資料為各所述天線組合所接收的接收信號的相位差，各所述第一相位差資料為所述相位差資料中未出現同位角效應的相位差資料。接著，根據所述特徵值以及所述可能角度估計值，判斷接收信號對應於單一個目標物或多個目標物，據以檢測角度估計值的可靠性。

【0012】 在本發明的一實施例中，上述根據各所述天線所接收的

接收信號的量測值所形成的信號向量，產生接收信號的自我相關矩陣，以取得所述特徵值的步驟包括：根據信號向量，產生共軛向後信號向量，其中共軛向後信號向量為信號向量的共軛向後滑動向量；再根據信號向量以及共軛向後信號向量，產生自我相關矩陣；以及將自我相關矩陣進行奇異值分解，以產生所述特徵值。

【0013】 在本發明的一實施例中，上述根據所述量測值所形成的信號向量，產生接收信號的自我相關矩陣，以取得所述特徵值的演算公式包括方程式(1)~(3)：

$$\mathbf{r} = [r_1 \ r_2 \ \dots \ r_N]^T \quad \text{方程式(1)}$$

$$\mathbf{r}_b = [r_N^* \ \dots \ r_2^* \ r_1^*]^T \quad \text{方程式(2)}$$

$$\mathbf{R} = \frac{1}{2}(\mathbf{r}\mathbf{r}^T + \mathbf{r}_b\mathbf{r}_b^T) = \mathbf{U}\mathbf{\Sigma}\mathbf{V}^H \quad \text{方程式(3)}$$

其中 N 為所述天線的數量， r_1 、 r_2 、 \dots 、 r_N 分別為編號 1、2、 \dots 、 N 的天線所接收的接收信號的量測值， \mathbf{r} 為信號向量， \mathbf{r}_b 為共軛向後信號向量， \mathbf{R} 為自我相關矩陣， \mathbf{U} 與 \mathbf{V} 為 $N \times N$ 階么正矩陣， $(\bullet)^*$ 為共軛運算子， $(\bullet)^H$ 為共軛轉置運算子， $(\bullet)^T$ 為轉置運算子， $\mathbf{\Sigma}$ 為對角矩陣，並且可以方程式(4)表示：

$$\mathbf{\Sigma} = \begin{bmatrix} \lambda_1 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & \lambda_2 & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \dots & \lambda_N \end{bmatrix} \quad \text{方程式(4)}$$

其中 λ_1 、 λ_2 、 \dots 、 λ_N 為所述特徵值，其中 $\lambda_1 \geq \lambda_2 \geq \dots \geq \lambda_N$ 。

【0014】 在本發明的一實施例中，上述自所述天線組合所產生的相位差資料中，計算所述第一相位差資料所對應的可能角度估計

值的步驟包括：於電子裝置的視場角的範圍中，根據各所述天線的天線間距以及接收信號的波長，取得多個第一天線組合，其中各所述第一天線組合分別對應於各所述第一相位差資料；以及根據各所述第一相位差資料，分別計算所述可能角度估計值。

【0015】 在本發明的一實施例中，上述於電子裝置的視場角的範圍中，根據各所述天線的天線間距以及接收信號的波長，取得所述第一天線組合的演算公式為不等式(5)：

$$\sin(\theta_{FOV}) \leq \left| \frac{\lambda}{2 \times (p - q) \times d} \right| \quad \text{不等式(5)}$$

其中 θ_{FOV} 為電子裝置的視場角， λ 為接收信號的波長， d 為各所述天線的天線間距， p 與 q 為任二所述天線所對應的編號。

【0016】 在本發明的一實施例中，上述根據所述特徵值以及所述可能角度估計值，判斷接收信號對應於單一個目標物或多個目標物，據以檢測所述角度估計值的可靠性的步驟包括：將所述特徵值由大到小進行排序，以產生特徵值序列；根據特徵值序列中排序為第一與第二的特徵值之間的比值，產生縮放比值；計算所述可能角度估計值的標準差；將縮放比值以及所述可能角度估計值的標準差分別與第一門檻值以及第二門檻值比較；判斷縮放比值是否大於第一門檻值並且所述可能角度估計值的標準差是否小於第二門檻值；若判斷為是，則判定接收信號對應於單一個目標物，據以判定所述角度估計值為可靠；若判斷為否，則判定接收信號對應於多個目標物，據以判定所述角度估計值為不可靠。

【0017】 在本發明的一實施例中，在根據所述特徵值以及所述可能角度估計值，判斷接收信號對應於單一個目標物或多個目標物，據以檢測所述角度估計值的可靠性的步驟之後，上述角度估計檢測方法更包括：當所述角度估計值判定為不可靠時，通知電子裝置以重新計算角度估計值。

【0018】 一種電子裝置，包括：至少三天線、至少三信號處理單元、角度估計器以及角度檢測單元，其中各所述信號處理單元分別耦接至各所述天線，角度估計器耦接至所述信號處理單元，角度檢測單元耦接至所述信號處理單元以及角度估計器。所述天線是用以接收接收信號，其中任二所述天線組成多個天線組合。所述信號處理單元是用以計算各所述天線所接收的接收信號的量測值，以產生信號向量，並且計算各所述天線組合中所接收的接收信號的相位差，以產生多個相位差資料。角度估計器是用以根據各所述天線所接收的接收信號的量測值，計算角度估計值。角度檢測單元包括特徵值計算單元、相位差分析單元以及比較單元。特徵值計算單元根據所述量測值所形成的信號向量，產生接收信號的自我相關矩陣，以取得多個特徵值。相位差分析單元自多個天線組合所產生的多個相位差資料中，計算未出現同位角效應的多個第一相位差資料所對應的多個可能角度估計值。比較單元根據所述特徵值以及所述可能角度估計值，判斷接收信號對應於單一個目標物或多個目標物，據以檢測所述角度估計值的可靠性。

【0019】 在本發明的一實施例中，上述特徵值計算單元根據信號

向量，產生共軛向後信號向量，又根據信號向量以及共軛向後信號向量，產生自我相關矩陣，以及將自我相關矩陣進行奇異值分解，以產生所述特徵值，其中共軛向後信號向量為信號向量的共軛向後滑動向量。

【0020】 在本發明的一實施例中，上述特徵值計算單元取得所述特徵值的演算公式包括方程式(1)~(3)：

(1)~(3)：

$$\mathbf{r} = [r_1 \quad r_2 \quad \cdots \quad r_N]^T \quad \text{方程式(1)}$$

$$\mathbf{r}_b = [r_N^* \quad \cdots \quad r_2^* \quad r_1^*]^T \quad \text{方程式(2)}$$

$$\mathbf{R} = \frac{1}{2}(\mathbf{r}\mathbf{r}^T + \mathbf{r}_b\mathbf{r}_b^T) = \mathbf{U}\mathbf{\Sigma}\mathbf{V}^H \quad \text{方程式(3)}$$

其中 N 為所述天線的數量， r_1 、 r_2 、 \cdots 、 r_N 分別為編號 1、2、 \cdots 、 N 的天線所接收的該接收信號的該量測值， r 為該信號向量， r_b 為該共軛向後信號向量， \mathbf{R} 為該自我相關矩陣， \mathbf{U} 與 \mathbf{V} 為 $N \times N$ 階么正矩陣， $(\bullet)^*$ 為共軛運算子， $(\bullet)^H$ 為共軛轉置運算子， $(\bullet)^T$ 為轉置運算子， $\mathbf{\Sigma}$ 為對角矩陣，並且可以方程式(4)表示：

$$\mathbf{\Sigma} = \begin{bmatrix} \lambda_1 & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & \lambda_2 & \cdots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \cdots & \lambda_N \end{bmatrix} \quad \text{方程式(4)}$$

其中 λ_1 、 λ_2 、 \cdots 、 λ_N 為所述特徵值，其中 $\lambda_1 \geq \lambda_2 \geq \cdots \geq \lambda_N$ 。

【0021】 在本發明的一實施例中，上述相位差分析單元於電子裝置的視場角的範圍中，根據各所述天線的天線間距以及接收信號的波長，取得多個第一天線組合，以及根據各所述第一相位差資

料，分別計算所述可能角度估計值，其中各所述第一天線組合分別對應於各所述第一相位差資料。

【0022】 在本發明的一實施例中，上述相位差分析單元根據各所述天線的天線間距以及接收信號的波長，取得所述第一天線組合的演算公式為不等式(5)：

$$\sin(\theta_{FOV}) \leq \left| \frac{\lambda}{2 \times (p - q) \times d} \right| \quad \text{不等式(5)}$$

其中 θ_{FOV} 為電子裝置的視場角， λ 為接收信號的波長， d 為各所述天線的天線間距， p 與 q 為任二所述天線所對應的編號。

【0023】 在本發明的一實施例中，上述特徵值分析單元將所述特徵值由大到小進行排序，以產生特徵值序列，以及根據特徵值序列中排序為第一與第二的所述特徵值之間的比值，產生縮放比值。上述相位差分析單元計算所述可能角度估計值的標準差。上述比較單元將縮放比值以及所述可能角度估計值的標準差分別與第一門檻值以及第二門檻值比較，以判斷縮放比值是否大於第一門檻值並且所述可能角度估計值的標準差是否小於第二門檻值；若判斷為是，則比較單元判定接收信號對應於單一個目標物，據以判定所述角度估計值為可靠；若判斷為否，則比較單元判定該接收信號對應於多個目標物，據以判定所述角度估計值為不可靠。

【0024】 在本發明的一實施例中，當角度估計值判定為不可靠時，上述角度檢測單元通知角度估計器，以重新計算角度估計值。

【0025】 基於上述，在具有至少三天線的電子裝置中，本發明所

提出的角度估計檢測方法，可根據接收信號的多個量測值計算特徵值以及可能角度估計值，判斷接收信號對應於單一個目標物或多個目標物，以檢驗角度估計器所計算的角度估計值。此方法可快速且精確地偵測頻譜上是否發生重疊事件，使電子裝置可更精確地掌握真實目標物的資訊，並進一步地減低後續目標物追蹤等程序的運算量。

【0026】 為讓本發明的上述特徵和優點能更明顯易懂，下文特舉實施例，並配合所附圖式作詳細說明如下。

【圖式簡單說明】

【0027】

圖 1 是依照本發明一實施例所繪示之電子裝置的方塊圖。

圖 2 是依照本發明一實施例所繪示之角度估計檢測方法的流程圖。

圖 3 為三個天線之電子裝置中，針對單一個目標物與多個目標物所模擬出的 K 值分佈圖。

圖 4 為三個天線之電子裝置中，針對單一個目標物與多個目標物所模擬出的標準差分佈圖。

【實施方式】

【0028】 在一個以三角調頻連續波（Frequency Modulation Continuous Wave, FMCW）為發射波型的雷達裝置中，其可透過

傳送天線發送量測信號。當此量測信號接觸目標物並產生反射信號後，雷達裝置可再利用多個接收天線接收反射信號，並且根據所有接收天線所接收的反射信號的量測值，計算目標物以及雷達裝置之間的距離及角度等資訊。然而，在多目標的情況下，若在頻譜（frequency spectrum）上發生目標物的重疊事件，根據雷達裝置中根據所有量測值所計算出來的角度估計值會與真實的角度產生誤差。若要再更進一步掌握角度資訊，就必須依靠額外的陣列天線信號處理的協助。

【0029】然而，在運算量與可靠度的考量上，將所有頻譜上的偵測結果都進行額外的信號處理，大部份需透過成本較高的硬體加速設計來實現即時處理功能或是高運算效能的處理器來執行演算法。因此，本發明設計一個程序來判斷重疊事件是否發生，藉由此程序來檢測前述角度估計值的可靠性。若前述角度估計值為可靠性高，則雷達裝置無須再進一步進行額外的信號處理。透過此篩選的機制可降低雷達裝置整體的運算量。

【0030】本發明的部份實施例接下來將會配合附圖來詳細描述，以下的描述所引用的元件符號，當不同附圖出現相同的元件符號將視為相同或相似的元件。這些實施例只是本發明的一部份，並未揭示所有本發明的可實施方式。更確切的說，這些實施例只是本發明的專利申請範圍中的裝置與方法的範例。

【0031】圖 1 是依照本發明一實施例所繪示之電子裝置的方塊圖，但此僅是爲了方便說明，並不用以限制本發明。首先圖 1 先

介紹電子裝置的所有構件以及配置關係，詳細功能將配合圖 2 一併揭露。

【0032】請參照圖 1，本實施例的電子裝置 100 包括多個天線 110_1~110_N(N 為大於或等於 3 的正整數)、信號處理單元 120_1~120_N、角度估計器 130 以及角度檢測單元 140，其中信號處理單元 120_1~120_N 分別耦接至天線 110_1~110_N，角度估計器 130 耦接至信號處理單元 120_1~120_N，角度檢測單元 140 耦接至信號處理單元 120_1~120_N 以及角度估計器 130。

【0033】天線 110_1~110_N 可用陣列方式配置於電子裝置 100 上，並且兩兩之間的天線間距例如是間距 d 。當電子裝置 100 透過傳送天線（未繪示）發送量測訊號，並且此量測信號接觸目標物而產生反射信號後，天線 110_1~110_N 用以接收反射信號，在此定義為「接收信號」。

【0034】信號處理單元 120_1~120_N 可以是通訊信號處理晶片、處理器或電腦系統等硬體元件，或是具備通訊信號處理功能的軟體元件（例如能對通訊信號解調變的應用程式）。此外，信號處理單元 120_1~120_N 也可以是硬體及軟體元件的組合。信號處理單元 120_1~120_N 用以將天線 110_1~110_N 所接收到的接收信號進行處理，以計算天線 110_1~110_N 所接收的接收信號的量測值 r_1 、 r_2 、 \dots 、 r_N 。

【0035】角度估計器 130 以及角度檢測單元 140 可以是軟體、軟體、或是被實作為一或多個積體電路。角度估計器 130 用以根據

量測值 $r_1, r_2 \dots, r_N$ 來計算電子裝置 100 與目標物之間的角度，在此將前述角度定義為「角度估計值」。角度檢測單元 140 包括特徵值計算單元 142、相位差分析單元 144 以及比較單元 146，用以檢測角度估計器 130 所計算之角度估計值的可靠性。

【0036】 圖 2 是依照本發明一實施例所繪示之角度估計檢測方法的流程圖。請參照圖 2，首先，角度檢測單元 140 自角度估計器 130 擷取角度估計值（步驟 S201）。詳言之，角度估計器 130 是同時根據所有量測值 $r_1, r_2 \dots, r_N$ 來計算電子裝置 100 與目標物之間的角度估計值。在一實施例中，角度估計器 130 可利用最大似然估計方法（maximum likelihood estimation），根據所有量測值 $r_1, r_2 \dots, r_N$ 的資訊，而計算出角度估計值。角度檢測單元 140 將擷取此角度估計值，以在後續步驟中檢測此角度估計值的可靠性。

【0037】 接著，角度檢測單元 140 的特徵值計算單元 142 根據量測值 $r_1, r_2 \dots, r_N$ 所形成的信號向量，產生接收信號的自我相關矩陣，以取得多個特徵值（步驟 S203）。詳言之，特徵值計算單元 142 自信號處理單元 120_1~120_N 取得量測值 $r_1, r_2 \dots, r_N$ 後，可將量測值 $r_1, r_2 \dots, r_N$ 以方程式(1)的形式記錄：

$$\mathbf{r} = [r_1 \ r_2 \ \dots \ r_N]^T \quad \text{方程式(1)}$$

其中 r 為信號向量， $(\bullet)^T$ 表示轉置運算子（transpose operator）。接著，特徵值計算單元 142 再取信號向量的共軛向後滑動（backward conjugate）向量（在此定義為「共軛向後信號向量」），其可寫成方程式(2)的形式：

$$\mathbf{r}_b = [r_N^* \ \cdots \ r_2^* \ r_1^*]^T \quad \text{方程式(2)}$$

其中 \mathbf{r}_b 為共軛向後信號向量， $(\bullet)^T$ 表示共軛運算子 (conjugate operator)。之後，特徵值計算單元 142 根據信號向量以及共軛向後信號向量來產生接收信號的自我相關矩陣，並且再將自我相關矩陣進行奇異值分解 (singular value decomposition, SVD)，以取得上述特徵值。

【0038】 上述自我相關矩陣可寫成方程式(3)的形式：

$$\mathbf{R} = \frac{1}{2}(\mathbf{r}\mathbf{r}^T + \mathbf{r}_b\mathbf{r}_b^T) = \mathbf{U}\mathbf{\Sigma}\mathbf{V}^H \quad \text{方程式(3)}$$

其中 \mathbf{R} 為自我相關矩陣， \mathbf{U} 與 \mathbf{V} 為 $N \times N$ 階么正矩陣 (unitary matrix)，運算子 $(\bullet)^H$ 表示共軛轉置運算子 (Hermitian operator)， $\mathbf{\Sigma}$ 為 $N \times N$ 階對角矩陣 (diagonal matrix)，並且 $\mathbf{\Sigma}$ 可寫成方程式(4)的形式：

$$\mathbf{\Sigma} = \begin{bmatrix} \lambda_1 & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & \lambda_2 & \cdots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \cdots & \lambda_N \end{bmatrix} \quad \text{方程式(4)}$$

其中 $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_N$ 為上述特徵值，並且 $\lambda_1 \geq \lambda_2 \geq \dots \geq \lambda_N$ 。

【0039】 當有重疊事件發生時， λ_2 的數值較大，也就是數值較接近 λ_1 ；而當只有單一個目標物時， λ_2 的數值較小，也就是數值較遠離 λ_1 。據此，特徵值計算單元 142 在取得上述特徵值時，可先將所述特徵值由大到小進行排序，以產生特徵值序列，並且根據特徵值序列中排序為第一與第二的特徵值之間的比值，產生縮放比值。

【0040】 在本實施例中，上述縮放比值可以為：

$$K = 10 \log_{10} \left(\frac{\lambda_1}{\lambda_2} \right)$$

特徵值計算單元 142 可根據模擬程序上的 K 值分佈，預先取得適當的數值當作區分一個目標物與多個目標物的門檻值，在此定義為「第一門檻值」。舉例而言，圖 3 為具有三個天線的電子裝置中，針對單一個目標物與多個目標物所模擬出的 K 值分佈圖。曲線 302 代表多個目標物的分佈；曲線 304 代表單一個目標物的分佈。在一實施例中，第一門檻值可事先被設定為曲線 302 與曲線 304 的交錯點（intersection），例如 0.2。在其它實施例中，可以根據曲線 302 與曲線 304 的機率分佈模型以及實務上的考量，以更精確地計算出第一門檻值。

【0041】 然而，以圖 3 而言，曲線 302 以及曲線 304 的分佈仍有重疊處，因此僅藉由特徵值來判斷重疊事件仍有改善的空間。因此，在本發明中，角度檢測單元 140 將利用天線 110_1~110_N 之間的任二兩天線之相位差來輔助角度估測值的可靠性。

【0042】 以天線 110_1~110_N 為例，任二兩天線可產生 $\frac{N(N-1)}{2}$ 個天線組合，而各所述天線組合對應一個相位差資料。也就是說，各所述相位差資料為天線 110_1~110_N 中的任二兩天線的接收信號之間的相位差。角度檢測單元 140 的相位差分析單元 144 自上述相位差資料中，計算未出現同位角效應的相位差資料所對應的可能角度估計值（步驟 S205）。在此將未出現同位角效應的相位

差資料定義為「第一相位差資料」，而第一相位差資料為上述天線組合中的第一天線組合所產生。

【0043】 詳細而言，若無發生重疊事件，假設以天線 110_1 為基準點，天線 110_1~110_N 的接收信號的量測值可寫成下列的形式：

$$\mathbf{r} = [r_1 \ r_2 \ \dots \ r_N]^T = [1 \ e^{j\varphi} \ \dots \ e^{j(N-1)\varphi}]^T \quad \text{方程式(4)}$$

其中 $\varphi = \frac{2\pi}{\lambda} d \sin(\theta)$ ， λ 為接收信號的波長， d 為天線間距， θ 為電子裝置 100 與目標物之間的角度。而若發生重疊事件，天線 110_1~110_N 的接收信號的量測值不會如方程式(4)具有結構性，而根據量測值所計算的相位差資料所對應的可能角度估計值將會有極大的差異。

【0044】 因此，在相位差分析單元 144 在計算所有的可能角度估計值之前，為了避免同位角效應導致的錯誤估計，電子裝置 100 的視場角需滿足不等式(5)或不等式(6)：

$$\sin(\theta_{FOV}) \leq \left| \frac{\lambda}{2 \times (p-q) \times d} \right| \quad \text{不等式(5)}$$

$$e^{-j\pi} \leq e^{-j\frac{2\pi d}{\lambda}(p-q)\sin(\theta_{FOV})} \leq e^{j\pi} \quad \text{不等式(6)}$$

其中不等式(5)是根據相位的定義域（即不等式(6)）所推導而來， θ_{FOV} 為電子裝置 100 的視場角， λ 為接收信號的波長， d 為天線間距， p 與 q 為任二天線所對應的編號。接著，相位差分析單元 144 將取得符合不等式(5)或不等式(6)的天線組合，即第一天線組合，並且根據第一天線組合的相位差資料計算其所對應的可能角度估

計值。

【0045】 接著，相位差分析單元 144 會計算所有第一天線組合所對應的可能角度估計值的標準差。相位差分析單元 144 可根據模擬程序上的標準差分佈，預先取得適當的數值當作區分單一個目標物與多個目標物的門檻值，在此定義為「第二門檻值」。舉例而言，圖 4 為三個天線之電子裝置中，針對單一個目標物與多個目標物所模擬出的標準差分佈圖。若有重疊事件發生，也就是有多個目標物時，則可能角度估計值的標準差之分布會散布在較大的角度範圍且其值較小，也就是區線 402；若無重疊事件發生，也就是僅有單一個目標物時，則可能角度估計值的標準差之分布則會集中在一角度區間且其值較大，也就是區線 404。在一實施例中，第二門檻值可事先被設定為曲線 402 與曲線 404 的交錯點，例如 1.0。在其它實施例中，可以根據曲線 402 與曲線 404 的機率分佈模型以及實務上的考量，以更精確地計算出第二門檻值。

【0046】 接著，比較單元 150 根據特徵值以及可能角度估計值，判斷接收信號對應於單一個目標物或多個目標物，據以檢測所述角度估計值的可靠性（步驟 S207）。也就是說，比較單元 150 將前述的縮放比值以及可能角度估計值的標準差分別與第一門檻值以及第二門檻值進行比較。

【0047】 詳言之，若縮放比值大於第一門檻值並且可能角度估計值的標準差小於第二門檻值時，比較單元 150 則判定無發生重疊事件，亦即接收信號僅對應於單一個目標物，也代表著角度估計

器 130 所計算的角度估計值的可靠性高。反之，若縮放比值及/或可能角度估計值的標準差不符合上述條件時，比較單元 146 則判定有重疊事件，亦即接收信號對應於多個目標物，也代表著角度估計器 130 所計算的角度估計值的可靠性低。

【0048】 在一實施例中，當角度估計器 130 所計算的角度估計值可靠性低時，比較單元 146 可通知電子裝置 100 進行額外的信號處理，以重新計算更精確的角度估計值。

【0049】 綜上所述，在具有至少三天線的電子裝置中，本發明所提出的角度估計檢測方法，可根據接收信號的多個量測值計算特徵值以及可能角度估計值，判斷接收信號對應於單一個目標物或多個目標物，以檢驗角度估計器所計算的角度估計值。此方法可快速且精確地偵測頻譜上是否發生重疊事件，使電子裝置可更精確地掌握真實目標物的資訊，並進一步地減低後續目標物追蹤等程序的運算量。

【0050】 雖然本發明已以實施例揭露如上，然其並非用以限定本發明，任何所屬技術領域中具有通常知識者，在不脫離本發明的精神和範圍內，當可作些許的更動與潤飾，故本發明的保護範圍當視後附的申請專利範圍所界定者為準。

【符號說明】

【0051】

100：電子裝置

110_1 ~ 110_N : 天線

120_1 ~ 120_N : 信號處理單元

130 : 角度估計器

140 : 角度檢測單元

142 : 特徵值計算單元

144 : 相位差分析單元

146 : 比較單元

d : 天線間距

S201 ~ S207 : 角度估計檢測方法的流程

302、304、402、404 : 曲線

申請專利範圍

1. 一種角度估計檢測方法，適於檢測具有一角度估計器的一電子裝置所計算的一角度估計值，該電子裝置具有至少三天線，該方法包括下列步驟：

自該角度估計器擷取該角度估計值；

根據各所述天線所接收的一接收信號的多個量測值所形成的一信號向量，產生該接收信號的一自我相關矩陣，以取得多個特徵值；

自多個天線組合所產生的多個相位差資料中，計算多個第一相位差資料所對應的多個可能角度估計值，其中所述天線組合為任二所述天線所組成的多個不同組合，各所述相位差資料為各所述天線組合所接收的該接收信號的相位差，各所述第一相位差資料為所述相位差資料中未出現同位角效應的相位差資料；以及

根據所述特徵值以及所述可能角度估計值，判斷該接收信號對應於單一個目標物或多個目標物，據以檢測該角度估計值的可靠性。

2. 如申請專利範圍第 1 項所述的角度估計檢測方法，其中根據各所述天線所接收的該接收信號的所述量測值所形成的該信號向量，產生該接收信號的該自我相關矩陣，以取得所述特徵值的步驟包括：

根據該信號向量，產生一共軛向後信號向量，其中該共軛向後信號向量為該信號向量的共軛向後滑動向量；

根據該信號向量以及該共軛向後信號向量，產生該自我相關矩陣；以及

將該自我相關矩陣進行奇異值分解，以產生所述特徵值。

3. 如申請專利範圍第 2 項所述的角度估計檢測方法，其中根據所述量測值所形成的該信號向量，產生該接收信號的該自我相關矩陣，以取得所述特徵值的演算公式包括方程式(1)~(3)：

$$\mathbf{r} = [r_1 \ r_2 \ \dots \ r_N]^T \quad \text{方程式(1)}$$

$$\mathbf{r}_b = [r_N^* \ \dots \ r_2^* \ r_1^*]^T \quad \text{方程式(2)}$$

$$\mathbf{R} = \frac{1}{2}(\mathbf{r}\mathbf{r}^T + \mathbf{r}_b\mathbf{r}_b^T) = \mathbf{U}\mathbf{\Sigma}\mathbf{V}^H \quad \text{方程式(3)}$$

其中 N 為所述天線的數量， r_1 、 r_2 、 \dots 、 r_N 分別為編號 1、2、 \dots 、 N 的天線所接收的該接收信號的該量測值， \mathbf{r} 為該信號向量， \mathbf{r}_b 為該共軛向後信號向量， \mathbf{R} 為該自我相關矩陣， \mathbf{U} 與 \mathbf{V} 為 $N \times N$ 階么正矩陣， $(\cdot)^*$ 為共軛運算子， $(\cdot)^H$ 為共軛轉置運算子， $(\cdot)^T$ 為轉置運算子，

其中 $\mathbf{\Sigma}$ 為對角矩陣，並且可以方程式(4)表示：

$$\mathbf{\Sigma} = \begin{bmatrix} \lambda_1 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & \lambda_2 & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \dots & \lambda_N \end{bmatrix} \quad \text{方程式(4)}$$

其中 λ_1 、 λ_2 、 \dots 、 λ_N 為所述特徵值，其中 $\lambda_1 \geq \lambda_2 \geq \dots \geq \lambda_N$ 。

4. 如申請專利範圍第 3 項所述的角度估計檢測方法，其中自所述天線組合所產生的所述相位差資料中，計算未出現同位角效應的所述第一相位差資料所對應的所述可能角度估計值的步驟包

括：

於該電子裝置的一視場角的範圍中，根據各所述天線的天線間距以及該接收信號的波長，取得多個第一天線組合，其中各所述第一天線組合分別對應於各所述第一相位差資料；以及

根據各所述第一相位差資料，分別計算所述可能角度估計值。

5. 如申請專利範圍第 4 項所述的角度估計檢測方法，其中於該電子裝置的該視場角的範圍中，根據各所述天線的天線間距以及該接收信號的波長，取得所述第一天線組合的演算公式為不等式(5)：

$$\sin(\theta_{FOV}) \leq \left| \frac{\lambda}{2 \times (p - q) \times d} \right| \quad \text{不等式(5)}$$

其中 θ_{FOV} 為該電子裝置的該視場角， λ 為該接收信號的波長， d 為各所述天線的天線間距， p 與 q 為任二所述天線所對應的編號。

6. 如申請專利範圍第 1 項所述的角度估計檢測方法，其中根據所述特徵值以及所述可能角度估計值，判斷該接收信號對應於單一個目標物或多個目標物，據以檢測所述角度估計值的可靠性的步驟包括：

將所述特徵值由大到小進行排序，以產生一特徵值序列；

根據該特徵值序列中排序為第一與第二的所述特徵值之間的比值，產生一縮放比值；

計算所述可能角度估計值的標準差；

將該縮放比值以及所述可能角度估計值的標準差分別與一第

一門檻值以及一第二門檻值比較；

判斷該縮放比值是否大於該第一門檻值並且所述可能角度估計值的標準差是否小於該第二門檻值；

若判斷為是，則判定該接收信號對應於單一個目標物，據以判定所述角度估計值為可靠；以及

若判斷為否，則判定該接收信號對應於多個目標物，據以判定所述角度估計值為不可靠。

7. 如申請專利範圍第 1 項所述的角度估計檢測方法，其中在根據所述特徵值以及所述可能角度估計值，判斷該接收信號對應於單一個目標物或多個目標物，據以檢測所述角度估計值的可靠性的步驟之後，該角度估計檢測方法更包括：

當所述角度估計值判定為不可靠時，通知該電子裝置以重新計算該角度估計值。

8. 一種電子裝置，包括：

至少三天線，接收一接收信號，其中任二所述天線組成多個天線組合；

至少三信號處理單元，分別耦接至各所述天線，計算各所述天線所接收的該接收信號的多個量測值，以產生一信號向量，並且計算各所述天線組合中所接收的該接收信號的相位差，以產生多個相位差資料；

一角度估計器，耦接至所述信號處理單元，根據各所述天線

所接收的該接收信號的所述量測值，計算一角度估計值；以及

一角度檢測單元，耦接所述信號處理單元以及該角度估計器，該角度檢測單元包括：

一特徵值計算單元，根據所述量測值所形成的一信號向量，產生該接收信號的一自我相關矩陣，以取得多個特徵值；

一相位差分析單元，自多個天線組合所產生的多個相位差資料中，計算多個第一相位差資料所對應的多個可能角度估計值，其中各所述第一相位差資料為所述相位差資料中未出現同位角效應的相位差資料；以及

一比較單元，根據所述特徵值以及所述可能角度估計值，判斷該接收信號對應於單一個目標物或多個目標物，據以檢測所述角度估計值的可靠性。

9. 如申請專利範圍第 8 項所述的電子裝置，其中該特徵值計算單元根據該信號向量，產生一共軛向後信號向量，又根據該信號向量以及該共軛向後信號向量，產生該自我相關矩陣，以及將該自我相關矩陣進行奇異值分解，以產生所述特徵值，其中該共軛向後信號向量為該信號向量的共軛向後滑動向量。

10. 如申請專利範圍第 9 項所述的電子裝置，其中該特徵值計算單元取得所述特徵值的演算公式包括方程式(1)~(3)：

(1)~(3)：

$$\mathbf{r} = [r_1 \ r_2 \ \dots \ r_N]^T \quad \text{方程式(1)}$$

$$\mathbf{r}_b = [r_N^* \quad \cdots \quad r_2^* \quad r_1^*]^T \quad \text{方程式(2)}$$

$$\mathbf{R} = \frac{1}{2}(\mathbf{r}\mathbf{r}^T + \mathbf{r}_b\mathbf{r}_b^T) = \mathbf{U}\mathbf{\Sigma}\mathbf{V}^H \quad \text{方程式(3)}$$

其中 N 為所述天線的數量， r_1, r_2, \dots, r_N 分別為編號 1、2、 \dots 、 N 的天線所接收的該接收信號的該量測值， \mathbf{r} 為該信號向量， \mathbf{r}_b 為該共軛向後信號向量， \mathbf{R} 為該自我相關矩陣， \mathbf{U} 與 \mathbf{V} 為 $N \times N$ 階么正矩陣， $(\bullet)^*$ 為共軛運算子， $(\bullet)^H$ 為共軛轉置運算子， $(\bullet)^T$ 為轉置運算子，

其中 $\mathbf{\Sigma}$ 為對角矩陣，並且可以方程式(4)表示：

$$\mathbf{\Sigma} = \begin{bmatrix} \lambda_1 & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & \lambda_2 & \cdots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \cdots & \lambda_N \end{bmatrix} \quad \text{方程式(4)}$$

其中 $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_N$ 為所述特徵值，其中 $\lambda_1 \geq \lambda_2 \geq \dots \geq \lambda_N$ 。

11. 如申請專利範圍第 10 項所述的電子裝置，其中該相位差分析單元於該電子裝置的一視場角的範圍中，根據各所述天線的天線間距以及該接收信號的波長，取得多個第一天線組合，以及根據各所述第一相位差資料，分別計算所述可能角度估計值，其中各所述第一天線組合分別對應於各所述第一相位差資料。

12. 如申請專利範圍第 11 項所述的電子裝置，該相位差分析單元根據各所述天線的天線間距以及該接收信號的波長，取得所述第一天線組合的演算公式為不等式(5)：

$$\sin(\theta_{FOV}) \leq \left| \frac{\lambda}{2 \times (p-q) \times d} \right| \quad \text{不等式(5)}$$

其中 θ_{FOV} 為該電子裝置的該視場角， λ 為該接收信號的波長， d 為各所述天線的天線間距， p 與 q 為任二所述天線所對應的編號。

13. 如申請專利範圍第 8 項所述的電子裝置，其中

該特徵值分析單元將所述特徵值由大到小進行排序，以產生一特徵值序列，以及根據該特徵值序列中排序為第一與第二的所述特徵值之間的比值，產生一縮放比值，

該相位差分析單元計算所述可能角度估計值的標準差，

該比較單元將該縮放比值以及所述可能角度估計值的標準差分別與一第一門檻值以及一第二門檻值比較，以判斷該縮放比值是否大於該第一門檻值並且所述可能角度估計值的標準差是否小於該第二門檻值，其中

若判斷為是，則該比較單元判定該接收信號對應於單一個目標物，據以判定所述角度估計值為可靠，

若判斷為否，則該比較單元判定該接收信號對應於多個目標物，據以判定所述角度估計值為不可靠。

14. 如申請專利範圍第 13 項所述的電子裝置，當該角度估計值判定為不可靠時，該角度檢測單元通知該角度估計器以重新計算該角度估計值。

圖式

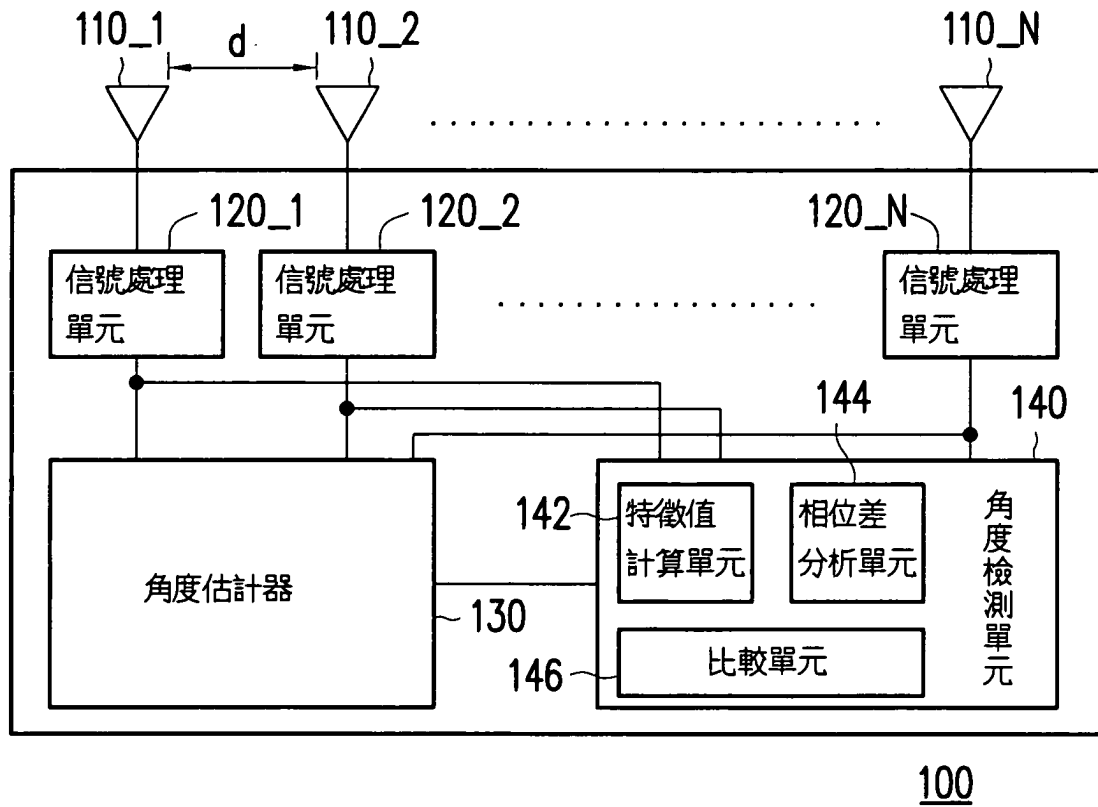


圖 1

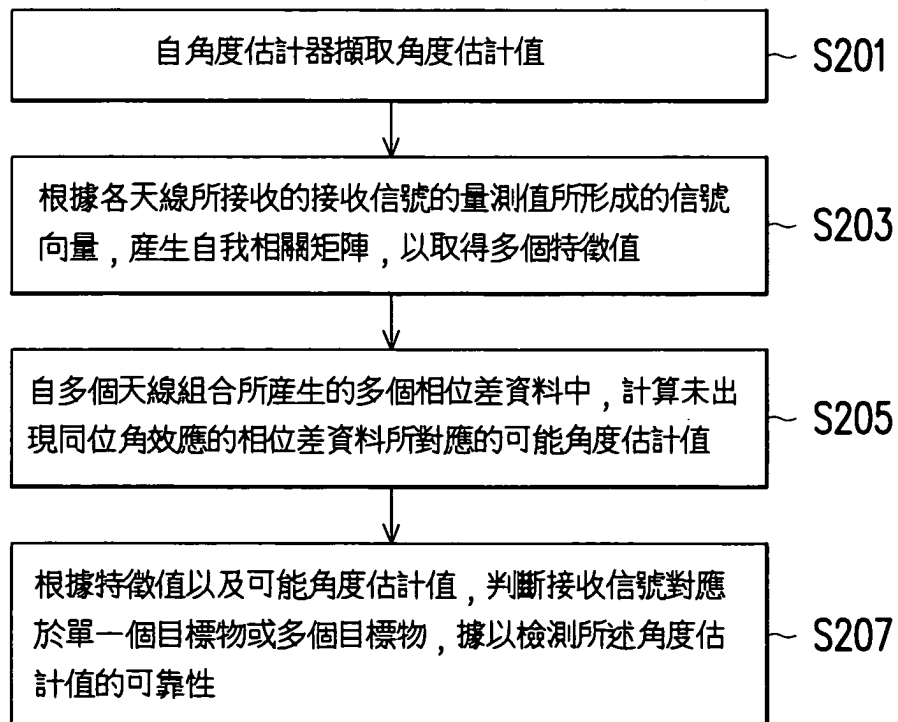


圖 2

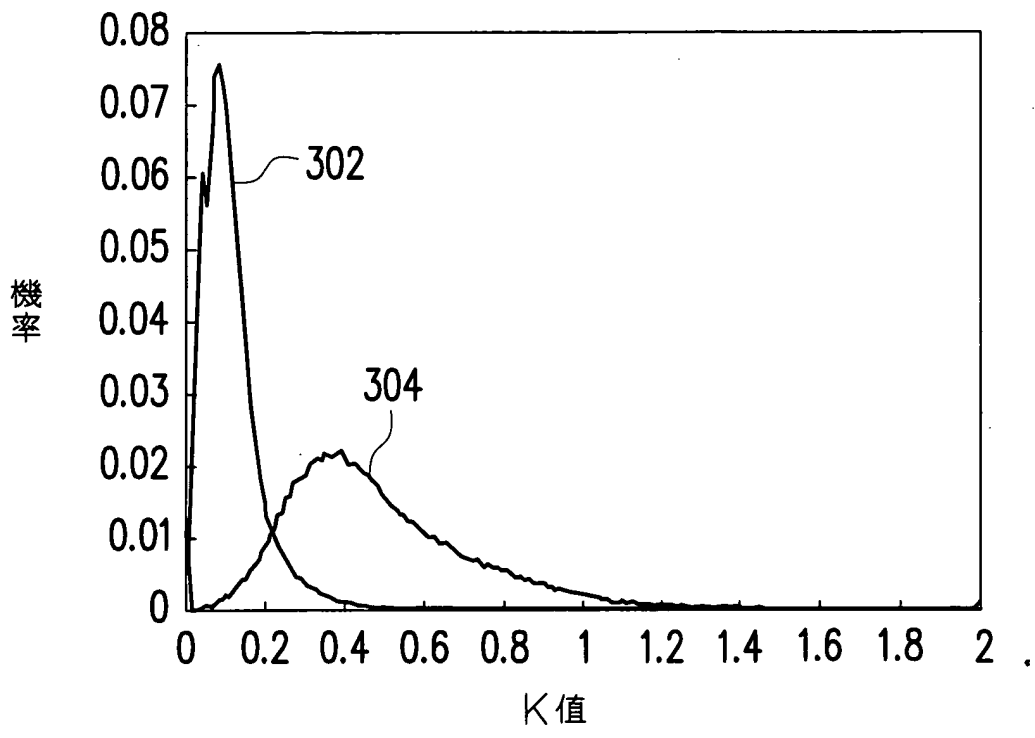


圖 3

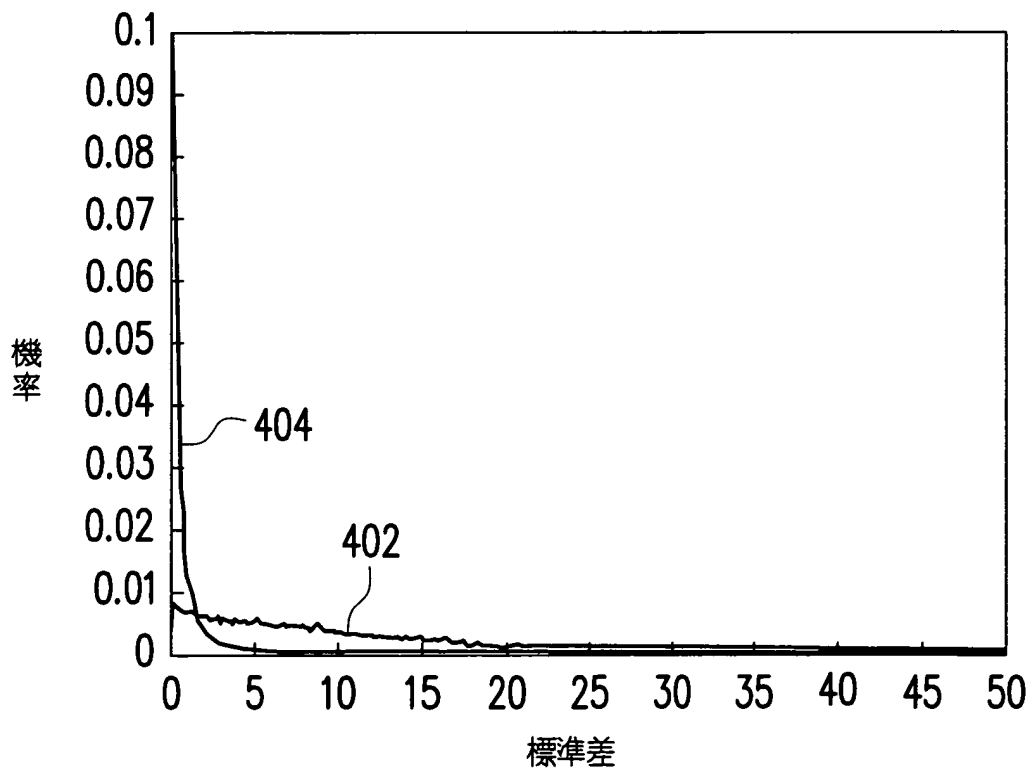


圖 4

