



(19) 中華民國智慧財產局

(12) 發明說明書公開本

(11) 公開編號：TW 201944743 A

(43) 公開日：中華民國 108 (2019) 年 11 月 16 日

(21) 申請案號：108130461

(22) 申請日：中華民國 100 (2011) 年 11 月 01 日

(51) Int. Cl. : H04B7/04 (2017.01)

H04L29/08 (2006.01)

H04B7/0456 (2017.01)

(30) 優先權：2010/11/01 美國

12/917,257

(71) 申請人：美商李爾登公司 (美國) REARDEN, LLC (US)

美國

(72) 發明人：佛倫沙 安東尼奧 FORENZA, ANTONIO (IT)；林斯寇格 艾瑞克 LINDSKOG, ERIK (SE)；波爾曼 史蒂芬 G PERLMAN, STEPHEN G. (US)

(74) 代理人：陳長文

申請實體審查：有 申請專利範圍項數：33 項 圖式數：42 共 116 頁

(54) 名稱

藉由使用者叢集在分散式無線系統中協調傳輸之系統及方法

(57) 摘要

本發明描述用於經由使用者叢集在分散式無線系統中協調傳輸的系統及方法。舉例而言，一根據本發明之一實施例之方法包含：量測一目標使用者與基地收發器台(BTS)之複數個分散輸入分散輸出(DIDO)分散式天線之間的鏈路品質；使用該等鏈路品質量測來定義一使用者叢集；量測一定義之使用者叢集內的每一使用者與每一 DIDO 天線之間的頻道狀態資訊(CSI)；及基於該量測之 CSI 預編碼該使用者叢集內之每一 DIDO 天線與每一使用者之間的資料傳輸。

Systems and methods are described for coordinating transmissions in distributed wireless systems via user clustering. For example, a method according to one embodiment of the invention comprises: measuring link quality between a target user and a plurality of distributed-input distributed-output (DIDO) distributed antennas of base transceiver stations (BTSs); using the link quality measurements to define a user cluster; measuring channel state information (CSI) between each user and each DIDO antenna within a defined user cluster; and precoding data transmissions between each DIDO antenna and each user within the user cluster based on the measured CSI.

指定代表圖：

符號簡單說明：

501 . . . 用戶端 MC

502 . . . 用戶端 IC

503 . . . 綠十字/目

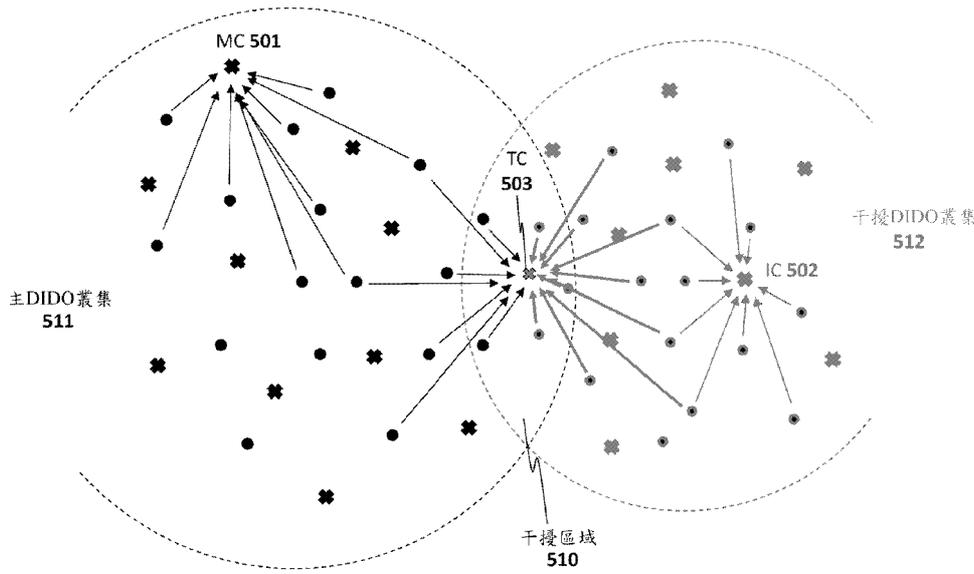
標用戶端 TC

干擾DIDO叢集
512

510 . . . 干擾區域

511 . . . 主叢集

512 . . . 干擾叢集



【圖5】

【發明說明書】

【中文發明名稱】

藉由使用者叢集在分散式無線系統中協調傳輸之系統及方法

【英文發明名稱】

SYSTEMS AND METHODS TO COORDINATE TRANSMISSIONS
IN DISTRIBUTED WIRELESS SYSTEMS VIA USER CLUSTERING

【技術領域】

【先前技術】

先前技術多使用者無線系統可包括僅一單一基地台或若干基地台。

一在一沒有其他WiFi存取點(例如，附接至農村家中之DSL的WiFi存取點)之區域中附接至寬頻有線網際網路連接的單一WiFi基地台(例如，利用2.4 GHz 802.11b、g或n協定)係為一由在其傳輸範圍內之一或多個使用者共用的單一基地台的相對簡單之多使用者無線系統的一實例。若一使用者在與無線存取點相同之房間中，則該使用者通常將經歷一很少有傳輸中斷的高速鏈路(例如，可由於2.4 GHz干擾器(例如，微波爐)而存在封包丟失，但不會由於與其他WiFi器件之頻譜共用而存在封包丟失)，若使用者為中等距離遠或在使用者與WiFi存取點之間的路徑中有幾處障礙，則使用者將可能經歷中速鏈路。若一使用者接近WiFi存取點之範圍的邊緣，則該使用者將可能經歷低速鏈路，且若頻道之變化導致信號SNR降至低於可用位準則使用者可經受週期性脫落。且最終，若使用者在WiFi基地台之範圍之外，則使用者將完全沒有鏈路。

當多個使用者同時存取WiFi基地台時，則在其間共用可用資料輸質量。不同使用者通常將在給定時間對WiFi基地台提出不同輸質量需求，

但有時當聚集輸質量需求超過自WiFi基地台至使用者之可用輸質量時，則一些或所有使用者將接收比其正尋求的資料輸質量少的資料輸質量。在WiFi存取點在非常大量之使用者之間共用的極端情形中。至每一使用者之輸質量可減慢至蠕動速度，且更糟地，至每一使用者之資料輸質量可按由完全沒有資料輸質量之長週期分開的短叢發到達，在該長週期時間期間伺服其他使用者。此「斷斷續續之」資料傳遞可損害類似媒體串流之特定應用。

在具有大量使用者之情形中添加額外WiFi基地台將僅在一定程度上有幫助。在美國之2.4 GHz ISM頻帶內，存在可用於WiFi之3個非干擾頻道，且若在相同涵蓋區域中之3個WiFi基地台經組態以各自使用一不同的非干擾頻道，則在多個使用者之間的涵蓋區域之聚集輸質量將增加達3倍。但除此之外，在相同涵蓋區域中添加更多WiFi基地台將不增加聚集輸質量，因為其將開始在其間共用相同可用頻譜，從而藉由「輪流」使用頻譜而有效地利用分時多工存取(TDMA)。此情形常見於具有高人口密度之涵蓋區域中(諸如，多住宅單元中)。舉例而言，在具有WiFi配接器之大公寓建築物中之使用者可歸因於伺服同一涵蓋區域中之其他使用者的許多其他干擾WiFi網路(例如，在其他公寓中)而充分地經歷非常差之輸質量，即使使用者之存取點在與存取基地台之用戶端器件相同的房間中亦然。雖然鏈路品質可能在該情形中係良好的，但使用者將接收來自操作於同一頻帶中之相鄰WiFi配接器的干擾，從而減少至使用者之有效輸質量。

當前的多使用者無線系統(包括無執照頻譜(諸如，WiFi)及有執照頻譜兩者)遭受若干限制。此等限制包括涵蓋區域、下行鏈路(DL)資料速率及上行鏈路(UL)資料速率。下一代無線系統(諸如，WiMAX及LTE)之關

鍵目標係經由多輸入多輸出(MIMO)技術改良涵蓋區域以及DL及UL資料速率。MIMO在無線鏈路之傳輸及接收側使用多個天線以改良鏈路品質(導致較寬涵蓋)或資料速率(藉由建立至每一使用者之多個非干擾空間頻道)。然而，若足夠之資料速率可用於每一使用者(注意，在本文中術語「使用者」及「用戶端」可互換地使用)，則可需要根據多使用者MIMO(MU-MIMO)技術利用頻道空間分集來建立至多個使用者(而非單一使用者)之非干擾頻道。參見(例如)以下參考文獻：

2003年7月，IEEE Trans. Info. Th.，第49卷，第1691頁至1706頁，G. Caire 及 S. Shamai 之「On the achievable throughput of a multiantenna Gaussian broadcast channel」。

2003年8月，IEEE Trans. Info. Th.，第49卷，第1912頁至1921頁，P. Viswanath 及 D. Tse 之「Sum capacity of the vector Gaussian broadcast channel and uplink-downlink duality」。

2003年10月，IEEE Trans. Info. Th.，第49卷，第2658頁至2668頁，S. Vishwanath, N. Jindal 及 A. Goldsmith 之「Duality, achievable rates, and sum-rate capacity of Gaussian MIMO broadcast channels」。

2004年9月，IEEE Trans. Info. Th.，第50卷，第1875頁至1892頁，W. Yu 及 J. Cioffi 之「Sum capacity of Gaussian vector broadcast channels」。

1983年5月，IEEE Transaction on Information Theory，第29卷，第439頁至441頁，M. Costa 之「Writing on dirty paper」。

2002年8月，感測器陣列及多頻道信號處理研討會之論文集，第130頁至134頁，M. Bengtsson 之「A pragmatic approach to multi-user

spatial multiplexing」。

2002年12月，IEEE Trans. Comm.，第50卷，第1960頁至1970頁，K.-K. Wong, R. D. Murch及K. B. Letaief之「Performance enhancement of multiuser MIMO wireless communication systems」。

2005年2月，IEEE Trans. Info. Th.，第51卷，第506頁至522頁，M. Sharif及B. Hassibi之「On the capacity of MIMO broadcast channel with partial side information」。

舉例而言，在10 MHz頻寬、16-QAM調變及具有3/4速率之前向錯誤校正(FEC)編碼(產生3 bps/Hz之頻譜效率)的MIMO 4×4系統(亦即，四個傳輸天線及四個接收天線)中，對於每一使用者在實體層處可達成之理想峰值資料速率為4×30 Mbps=120 Mbps，其比傳遞高清晰度視訊內容(其可僅需要~10 Mbps)所需的速率高得多。在具有四個傳輸天線、四個使用者及每一使用者單一天線之MU-MIMO系統中，在理想情形(亦即，獨立且相同分佈(i.i.d.)頻道)中，下行鏈路資料速率可在四個使用者中共用且可利用頻道空間分集以建立至使用者之四個平行30 Mbps資料鏈路。已提議不同MU-MIMO方案作為LTE標準之部分，如(例如)2007年3月，3GPP，「Multiple Input Multiple Output in UTRA」，3GPP TR 25.876 V7.0.0；2009年5月，3GPP，「Base Physical channels and modulation」，TS 36.211, V8.7.0；及2009年5月，3GPP，「Multiplexing and channel coding」，TS 36.212, V8.7.0中所描述。然而，此等方案僅可藉由四個傳輸天線提供DL資料速率方面之多達2倍(2×)改良。由類似ArrayComm之公司在標準及專屬蜂巢式系統中對MU-MIMO技術之實際實施(參見(例如)ArrayComm，「Field-proven results」，

<http://www.arraycomm.com/serve.php?page=proof>)已經由分域多重存取(SDMA)產生DL資料速率方面的多達~3倍的增加(藉由四個傳輸天線)。蜂巢式網路中之MU-MIMO方案之關鍵限制係在傳輸側處缺乏空間分集。空間分集隨無線鏈路中之天線間距及多路徑角展度而變。在使用MU-MIMO技術之蜂巢式系統中，基地台處之傳輸天線通常歸因於天線支撐結構(本文中稱為「塔」，不論實體上係高還是不高)上之有限面積並歸因於塔可位於何處之限制而叢集在一起並僅相隔一或兩個波長而置放。此外，因為小區塔通常置放在障礙物之上很高處(10公尺或更多)以產生較寬涵蓋，所以多路徑角展度為低的。

蜂巢式系統部署之其他實際問題包括蜂巢式天線位置的過多成本及位置之有限可用性(例如，歸因於對天線置放之市政限制、不動產之成本、實體障礙物等)及至傳輸器之網路連接性的成本及/或可用性(本文中稱為「空載傳輸」)。此外，蜂巢式系統常歸因於由於牆壁、天花板、地板、傢俱及其他阻礙的損失而難以達到位於建築物深處之用戶端。

的確，廣域無線網路之蜂巢式結構的整個概念預先假定了蜂巢式塔之相當死板的置放、相鄰小區之間的頻率之交替及頻繁地扇區化，以便避免使用同一頻率之傳輸器(基地台或使用者)之間的干擾。結果，給定小區之給定扇區最終成為該小區扇區中之所有使用者之間的DL及UL頻譜之共用區塊，接著主要僅在時域中在此等使用者之間共用該DL及UL頻譜。舉例而言，基於分時多重存取(TDMA)及分碼多重存取(CDMA)之蜂巢式系統皆在時域中在使用者之間共用頻譜。藉由用扇區化覆蓋此等蜂巢式系統，也許可達成2-3倍的空間域益處。且，接著藉由用MU-MIMO系統(諸如先前描述之彼等)覆蓋此等蜂巢式系統，也許可達成另外的2-3倍空間-

時間域益處。但是，考慮到蜂巢式系統之小區及扇區通常在固定位置(常由可置放塔之處指定)中，若在給定時間使用者密度(或資料速率需求)不與塔/扇區安排很好地匹配，則甚至此等有限益處亦難以利用。蜂巢式智慧電話使用者常經歷該結果：今天使用者可能完全無任何問題地在電話中交談或下載網頁，且接著在行駛(或甚至步行)至一新位置之後將突然發現語音品質降低或網頁減緩至蠕動速度，或甚至完全丟失連接。但，在不同日子，使用者可在每一位置中遭遇完全相反之情況。假定環境條件相同，使用者可能經歷的情況係使用者密度(或資料速率需求)為高度變化的，但待在給定位置處在使用者之間共用的可用總頻譜(及藉此總資料速率，使用先前技術之技術)很大程度上固定的事實。

此外，先前技術蜂巢式系統依賴在不同相鄰小區中使用不同頻率，通常3個不同頻率。對於給定頻譜量，此將可用資料速率減少到三分之一。

所以，總而言之，先前技術蜂巢式系統可歸因於蜂巢化而丟失也許3倍的頻譜利用，且可藉由扇區化改良頻譜利用也許3倍並經由MU-MIMO技術再改良也許3倍，從而導致淨 $3 \times 3/3 = 3$ 倍的可能頻譜利用。接著，該頻寬通常基於使用者在給定時間屬於何小區之何扇區而在時域中在使用者之間分割。甚至進一步存在歸因於給定使用者之資料速率需求通常無關於使用者之位置但可用資料速率視使用者與基地台之間的鏈路品質而變化的事實而導致的低效率。舉例而言，距蜂巢式基地台較遠之使用者通常將比較接近基地台之使用者有更小之可用資料速率。因為資料速率通常在給定蜂巢式扇區中之所有使用者之間共用，所以此之結果係所有使用者皆受來自具有差鏈路品質之遠方使用者(例如，在小區之邊緣)的高資料速率需求影

響，因為此等使用者仍將需求相同量之資料速率，然而他們將消耗更多之共用頻譜以得到該資料速率。

其他提議之頻譜共用系統(諸如，由WiFi使用之頻譜共用系統(例如，802.11b、g及n)及由白空間聯盟(White Spaces Coalition)提議之彼等系統)非常低效地共用頻譜，因為由在使用者之範圍內的基地台進行之同時傳輸導致干擾，且因而系統利用衝突避免及共用協定。此等頻譜共用協定係在時域中，且因此當存在大量干擾基地台及使用者時，不論每一基地台自身在頻譜利用方面效率如何，基地台集體地受限於彼此之間的頻譜之時域共用。其他先前技術頻譜共用系統類似地依賴類似方法以減輕基地台(無論是具有在塔上的天線之蜂巢式基地台或是小規模基地台，諸如WiFi存取點(AP))之間的干擾。此等方法包括：限制來自基地台之傳輸功率以便限制干擾之範圍；波束成形(經由合成或實體方式)以使干擾之區域變窄；頻譜之時域多工；及/或在使用者器件、基地台或兩者上具有多個叢集天線的MU-MIMO技術。且，在現今已就緒或在規劃中的進階蜂巢式網路之狀況下，經常同時使用此等技術中之許多技術。

但是，由與單一使用者利用頻譜相比甚至進階蜂巢式系統亦僅可達成頻譜利用之約3倍增加的事實可瞭解：所有此等技術對增加給定涵蓋區域中之共用使用者之間的聚集資料速率成效不彰。詳言之，當給定涵蓋區域在使用者方面縮放時，變得愈加難以在給定頻譜量內縮放可用資料速率以跟上使用者之增長。舉例而言，在使用蜂巢式系統之情況下，為增加給定區域內之聚集資料速率，小區通常經再分成較小小區(通常稱為微型小區或超微型小區)。考慮到對塔可置放於何處的限制，及對塔必須以適當結構化樣式置放以便提供具有最小「死區」之涵蓋，然而避免使用同一頻

率之鄰近小區之間的干擾的要求，此等小小區可變得極端昂貴。實質上，涵蓋區域必須被繪出，用於置放塔或基地台之可用位置必須經識別，且接著考慮到此等約束條件，蜂巢式系統之設計者必須盡其最大努力設法完成。且，當然，若使用者資料速率需求隨時間而增長，則蜂巢式系統之設計者必須再一次重新繪製涵蓋區域，設法找到塔或基地台之位置，並再次在環境之約束條件內工作。且，常常根本沒有好的解決方案，從而導致涵蓋區域中之死區或不充足之聚集資料速率容量。換言之，為了避免利用同一頻率之塔或基地台之間的干擾的對蜂巢式系統之死板實體置放要求導致蜂巢式系統設計中的顯著困難及約束條件，且常常不能滿足使用者資料速率及涵蓋要求。

所謂之先前技術「協作式」及「認知式」無線電系統設法藉由在無線電內使用智慧演算法以使得無線電可最小化彼此之間的干擾及/或使得無線電可潛在地「傾聽」其他頻譜使用以便等到頻道無干擾為止來增加給定區域中之頻譜利用。此等系統被提議以尤其用於無執照頻譜中以便增加對此頻譜之頻譜利用。

行動特用網路 (MANET)(參見 http://en.wikipedia.org/wiki/Mobile_ad_hoc_network)為用以提供同級間通信之協作式自組態網路的一實例，且可用以在沒有蜂巢式基礎架構的情況下在無線電之間建立通信，且在具有充分低功率通信之情況下可潛在地減輕在彼此範圍之外的同時傳輸之間的干擾。大量路由協定已被提議並實施用於MANET系統(對於各種類別之許多路由協定之清單，參見 http://en.wikipedia.org/wiki/List_of_ad-hoc_routing_protocols)，但它們之間的主題係它們皆係為了達到特定效率或可靠性典範之目標的用於

路由(例如，重複)傳輸以使得最小化在可用頻譜內之傳輸器干擾之技術。

所有先前技術多使用者無線系統設法藉由利用允許在基地台與多個使用者之間的同時頻譜利用之技術而改良給定涵蓋區域內之頻譜利用。注意，在所有此等狀況下，用於在基地台與多個使用者之間的同時頻譜利用之技術藉由減輕至多個使用者之波形之間的干擾而達成多個使用者的同時頻譜使用。舉例而言，在3個基地台各自使用一不同頻率來傳輸至3個使用者中之一者的狀況下，因為3個傳輸係在3個不同頻率下，所以其中干擾被減輕。在自基地台至3個不同使用者之扇區化(相對於基地台，每一者分隔180度)狀況下，因為波束成形防止3個傳輸在任一使用者處重疊，所以干擾被減輕。

當此等技術藉由MU-MIMO強化，且(例如)每一基地台具有4個天線時，則此藉由在給定涵蓋區域中建立至使用者之四個非干擾空間頻道而具有將下行鏈路輸質量增加4倍的潛力。但其仍係必須利用一些技術以減輕至不同涵蓋區域中的多個使用者之多個同時傳輸之間的干擾的狀況。

且，如先前所論述，此等先前技術之技術(例如，蜂巢化、扇區化)不僅通常因增加多使用者無線系統之成本及/或部署之靈活性而受損，而且其通常會遇上給定涵蓋區域中對聚集輸質量之實體或實際限制。舉例而言，在蜂巢式系統中，可能沒有足夠可用位置來安裝更多基地台以建立較小小區。且，在MU-MIMO系統中，考慮到在每一基地台位置處的叢集天線間距，隨著更多天線被添加至基地台，有限之空間分集導致漸近遞減的輸質量回報。

且進一步，在使用者位置及密度不可預測之多使用者無線系統的狀況下，其導致不可預測的輸質量(具有頻繁急劇變化)，此對於使用者係不

方便的且致使一些應用(例如，要求可預測輸質量之服務的遞送)不切實際或低品質。因此，先前技術多使用者無線系統在其為使用者提供可預測及/或高品質服務的能力方面仍有許多待改進之處。

儘管隨時間經過先前技術多使用者無線系統已變得非常精密及複雜，但存在共同主題：將傳輸分散於不同基地台(或特用收發器)之間且結構化及/或控制傳輸，以便避免來自不同基地台及/或不同特用收發器之RF波形傳輸在給定使用者之接收器處彼此干擾。

或者，換言之，被認為是已知的事實是若使用者碰巧同時接收到來自一個以上基地台或特用收發器之傳輸，則來自多個同時傳輸之干擾將導致至使用者的信號之SNR及/或頻寬的減小，其(若足夠嚴重)將導致原本會由使用者接收到之潛在資料(或類比資訊)中之所有或一些丟失。

因此，在多使用者無線系統中，必需利用一或多個頻譜共用方法或另一方法來避免或減輕來自同時以同一頻率傳輸之多個基地台或特用收發器的對使用者之此干擾。存在避免此干擾之大量先前技術方法，包括控制基地台之實體位置(例如，蜂巢化)，限制基地台及/或特用收發器之功率輸出(例如，限制傳輸範圍)，波束成形/扇區化，及時域多工。簡言之，所有此等頻譜共用系統皆設法處理多使用者無線系統之限制，即：在同時以同一頻率傳輸之多個基地台及/或特用收發器由同一使用者接收時，所得干擾減少或破壞至受影響使用者之資料輸質量。若多使用者無線系統中之使用者中的大百分比(或所有)經受來自多個基地台及/或特用收發器之干擾(例如，在多使用者無線系統之組件發生故障之情況下)，則其可導致多使用者無線系統之聚集輸質量急劇減少或甚至喪失功能的情形。

先前技術多使用者無線系統增加複雜度並對無線網路引入限制，且

頻繁地導致一給定使用者之體驗(例如，可用頻寬、潛時、可預測性、可靠性)受區域中之其他使用者對頻譜之利用影響的情形。考慮到對於由多個使用者共用之無線頻譜內的聚集頻寬之漸增的需求，及可依賴用於給定使用者之多使用者無線網路的可靠性、可預測性及低潛時的應用之不斷增長，顯然先前技術多使用者無線技術遭受許多限制。實際上，由於適用於特定類型之無線通信(例如，在可有效穿透建築物牆壁的波長下)的頻譜之有限可用性，可能的情況為先前技術無線技術將不足以滿足對於可靠、可預測及低潛時之頻寬的漸增之需求。

關於本發明之先前技術描述用於在多使用者情形中零控(**null-steering**)的波束成形系統及方法。最初構想波束成形以藉由動態地調整饋送至陣列之天線的信號之相位及/或振幅(亦即，波束成形權重)來最大化所接收之信雜比(**SNR**)，藉此朝使用者之方向集中能量。在多使用者情形中，波束成形可用以抑制干擾源並最大化信號對干擾加雜訊比(**SINR**)。舉例而言，當在無線鏈路之接收器處使用波束成形時，計算權重以在干擾源之方向上建立零點(**null**)。當在多使用者下行鏈路情形中在傳輸器處使用波束成形時，計算權重以預先消除使用者間干擾並最大化至每一使用者之**SINR**。用於多使用者系統之替代技術(諸如**BD**預編碼)計算預編碼權重以最大化下行鏈路廣播頻道中之輸質量。同在申請中之申請案(其以引用之方式併入本文中)描述前述技術(參見同在申請中之申請案以獲得特定引用內容)。

【發明內容】

【圖式簡單說明】

圖1說明本發明之一實施例中之由相鄰**DIDO**叢集環繞的主**DIDO**叢

集。

圖2說明用於本發明之一實施例中的分頻多重存取(FDMA)技術。

圖3說明用於本發明之一實施例中的分時多重存取(TDMA)技術。

圖4說明本發明之一實施例中處理的不同類型之干擾區域。

圖5說明用於本發明之一實施例中的構架。

圖6說明展示作為SNR之函數的SER的曲線圖，對於干擾區域中之目標用戶端假定SIR=10 dB。

圖7說明展示自兩種IDCI預編碼技術導出之SER的曲線圖。

圖8說明目標用戶端自主DIDO叢集移動至干擾叢集的例示性情形。

圖9說明作為距離(D)之函數的信號對干擾加雜訊比(SINR)。

圖10說明在平坦衰落窄帶頻道中對於4-QAM調變之三種情形的符號錯誤率(SER)效能。

圖11說明根據本發明之一實施例的用於IDCI預編碼之方法。

圖12說明在一實施例中作為用戶端距主DIDO叢集之中心的距離之函數的SINR變化。

圖13說明其中針對4-QAM調變導出了SER之一實施例。

圖14說明其中有限狀態機實施一交遞演算法的本發明之一實施例。

圖15說明(描繪)在存在遮蔽之情況下一交遞策略之一實施例。

圖16說明當在圖13中之任何兩種狀態之間切換時的滯後迴路機制。

圖17說明具有功率控制之DIDO系統之一實施例。

圖18說明在不同情形中假定四個DIDO傳輸天線及四個用戶端的情況下的SER對SNR。

圖19說明根據本發明之一實施例的針對不同傳輸功率值的作為距RF

輻射源的距離之函數的MPE功率密度。

圖20a至圖20b說明低功率及高功率DIDO分散式天線之不同分佈。

圖21a至圖21b分別說明對應於圖20a及圖20b中之組態的兩個功率分佈。

圖22a至圖22b分別說明圖20a及圖20b中所示之兩種情形的速率分佈。

圖23說明具有功率控制之DIDO系統之一實施例。

圖24說明根據用於傳輸資料之循環排程原則的在所有天線群組上重複的方法之一實施例。

圖25說明具有天線分群之功率控制之未編碼SER效能與美國專利第7,636,381號中之習知本徵模式選擇的比較。

圖26a至圖26c說明其中BD預編碼動態地調整預編碼權重以考慮在DIDO天線與用戶端之間的無線鏈路上之不同功率位準的三種情形。

圖27說明DIDO 2×2系統之在延遲域或瞬時PDP(上部曲線)及頻域(下部曲線)上的低頻率選擇性頻道(假定 $\beta=1$)之振幅。

圖28說明對於DIDO 2×2之頻道矩陣頻率回應的一實施例，其中每一用戶端一單一天線。

圖29說明對於DIDO 2×2之頻道矩陣頻率回應的一實施例，其中對於由高頻選擇性表徵之頻道(例如，其中 $\beta=0.1$)，每一用戶端一單一天線。

圖30說明不同QAM方案(亦即，4-QAM、16-QAM、64-QAM)之例示性SER。

圖31說明一用於實施鏈路調適(LA)技術之方法的一實施例。

圖32說明鏈路調適(LA)技術之一實施例的SER效能。

圖33說明在 $N_{\text{FFT}}=64$ 及 $L_0=8$ 的情況下DIDO 2×2系統的作為OFDM載頻調索引之函數的方程式(28)中之矩陣的輸入項。

圖34說明對於 $L_0=8$ ， $M=N_t=2$ 傳輸天線及一可變數 P 的SER對SNR。

圖35說明對於不同DIDO階數及 $L_0=16$ 之內插方法之一實施例的SER效能。

圖36說明使用超級叢集、DIDO叢集及使用者叢集之系統的一實施例。

圖37說明根據本發明之一實施例的具有使用者叢集之系統。

圖38a至圖38b說明用於本發明之一實施例中的鏈路品質量度臨限。

圖39至圖41說明用於建立使用者叢集之鏈路品質矩陣之實例。

圖42說明用戶端跨越不同DIDO叢集移動的一實施例。

【實施方式】

本申請案係以下同在申請中之美國專利申請案的部分接續案：

2010年6月16日申請之名為「Interference Management, Handoff, Power Control And Link Adaptation In Distributed-Input Distributed-Output (DIDO) Communication Systems」的美國申請案第12/802,988號

2010年6月16日申請之名為「System And Method For Adjusting DIDO Interference Cancellation Based On Signal Strength Measurements」的美國申請案第12/802,976號

2010年6月16日申請之名為「System And Method For Managing Inter-Cluster Handoff Of Clients Which Traverse Multiple DIDO Clusters」的美國申請案第12/802,974號

2010年6月16日申請之名為「System And Method For Managing

Handoff Of A Client Between Different Distributed-Input-Distributed-Output (DIDO) Networks Based On Detected Velocity Of The Client」的美國申請案第12/802,989號

2010年6月16日申請之名為「System And Method For Power Control And Antenna Grouping In A Distributed-Input-Distributed-Output (DIDO) Network」的美國申請案第12/802,958號

2010年6月16日申請之名為「System And Method For Link adaptation In DIDO Multicarrier Systems」的美國申請案第12/802,975號

2010年6月16日申請之名為「System And Method For DIDO Precoding Interpolation In Multicarrier Systems」的美國申請案第12/802,938號

2009年12月3日申請之名為「System and Method For Distributed Antenna Wireless Communications」的美國申請案第12/630,627號

2008年6月20日申請之名為「System and Method For Distributed Input-Distributed Output Wireless Communications」的美國申請案第12/143,503號

2007年8月20日申請之名為「System and Method for Distributed Input Distributed Output Wireless Communications」的美國申請案第11/894,394號

2007年8月20日申請之名為「System and method for Distributed Input-Distributed Wireless Communications」的美國申請案第11/894,362號

2007年8月20日申請之名為「System and Method For Distributed

Input-Distributed Output Wireless Communications」的美國申請案第11/894,540號

2005年10月21日申請之名為「System and Method For Spatial-Multiplexed Tropospheric Scatter Communications」的美國申請案第11/256,478號

2004年4月2日申請之名為「System and Method For Enhancing Near Vertical Incidence Skywave (「NVIS」) Communication Using Space-Time Coding」的美國申請案第10/817,731號。

可結合圖式自以下詳細描述獲得對本發明之較好理解。

克服上述先前技術限制中之許多限制的一解決方案係分散輸入分散輸出(DIDO)技術之一實施例。DIDO技術在以下專利及專利申請案中加以描述，該等專利及專利申請案全部讓與給本專利之受讓人並以引用之方式併入本文。此等專利及申請案有時在本文中統稱為「相關專利及申請案」。

2010年6月16日申請之名為「Interference Management, Handoff, Power Control And Link Adaptation In Distributed-Input Distributed-Output (DIDO) Communication Systems」的美國申請案第12/802,988號

2010年6月16日申請之名為「System And Method For Adjusting DIDO Interference Cancellation Based On Signal Strength Measurements」的美國申請案第12/802,976號

2010年6月16日申請之名為「System And Method For Managing Inter-Cluster Handoff Of Clients Which Traverse Multiple DIDO Clusters」的美國申請案第12/802,974號

2010年6月16日申請之名為「System And Method For Managing Handoff Of A Client Between Different Distributed-Input-Distributed-Output (DIDO) Networks Based On Detected Velocity Of The Client」的美國申請案第12/802,989號

2010年6月16日申請之名為「System And Method For Power Control And Antenna Grouping In A Distributed-Input-Distributed-Output (DIDO) Network」的美國申請案第12/802,958號

2010年6月16日申請之名為「System And Method For Link adaptation In DIDO Multicarrier Systems」的美國申請案第12/802,975號

2010年6月16日申請之名為「System And Method For DIDO Precoding Interpolation In Multicarrier Systems」的美國申請案第12/802,938號

2009年12月2日申請之名為「System and Method For Distributed Antenna Wireless Communications」的美國申請案第12/630,627號

2007年8月20日申請之2009年10月6日頒予的名為「System and Method for Distributed Input Distributed Output Wireless Communication」的美國專利第7,599,420號

2007年8月20日申請之2009年12月15日頒予的名為「System and Method for Distributed Input Distributed Output Wireless Communication」的美國專利第7,633,994號

2007年8月20日申請之2009年12月22日頒予的名為「System and Method for Distributed Input Distributed Output Wireless Communication」的美國專利第7,636,381號

2008年6月20日申請之名為「System and Method For Distributed Input-Distributed Output Wireless Communications」的美國申請案第12/143,503號

2005年10月21日申請之名為「System and Method For Spatial-Multiplexed Tropospheric Scatter Communications」的美國申請案第11/256,478號

2004年7月30日申請之2008年8月26日頒予的名為「System and Method for Distributed Input Distributed Output Wireless Communication」的美國專利第7,418,053號

2004年4月2日申請之名為「System and Method For Enhancing Near Vertical Incidence Skywave (「NVIS」) Communication Using Space-Time Coding」的美國申請案第10/817,731號。

為了減少本專利申請案之大小及複雜度，下文不明確地闡述相關專利及申請案中之一些之揭示內容。為獲得該揭示內容之完整詳細描述，請參看相關專利及申請案。

注意以下章節I(來自相關申請案第12/802,988號之揭示內容)利用其自身之參考先前技術參考文獻及讓與給本申請案之受讓人的先前申請案的尾註集合。該等尾註引用係列出於章節I之結尾處(恰好在章節II之標頭之前)。章節II中使用之引用的數字表示可與用於章節I中之彼等數字表示重疊，即使此等數字表示識別不同參考文獻(在章節II之結尾處列出)。因此，可在使用特定數字表示的章節中識別由該數字表示識別之參考文獻。

I. 來自相關申請案第12/802,988號之揭示內容

1. 移除叢集間干擾之方法

下文描述的係使用複數個分散式傳輸天線來在空間中建立具有零RF能量之位置的無線射頻(RF)通信系統及方法。當使用M個傳輸天線時，可在預定義位置中建立多達(M-1)個零RF能量點。在本發明之一實施例中，零RF能量點為無線器件且傳輸天線知曉傳輸器與接收器之間的頻道狀態資訊(CSI)。在一實施例中，CSI係在接收器處計算並回饋至傳輸器。在另一實施例中，假定利用頻道互易性，經由來自接收器之訓練而在傳輸器處計算CSI。傳輸器可利用CSI來判定將被同時傳輸之干擾信號。在一實施例中，在傳輸天線處使用區塊對角化(BD)預編碼以產生零RF能量點。

本文中描述之系統及方法不同於上文描述之習知接收/傳輸波束成形技術。實際上，接收波束成形計算權重以抑制接收側之干擾(經由零控)，而本文中描述的本發明之一些實施例在傳輸側應用權重以建立在空間中導致具有「零RF能量」之一或多個位置之干擾樣式。不同於分別經設計以最大化至每一使用者之信號品質(或SINR)或下行鏈路輸貫量的習知傳輸波束成形或BD預編碼，本文中描述之系統及方法最小化在特定條件下及/或來自特定傳輸器之信號品質，藉此在用戶端器件(本文中有時稱為「使用者」)處建立零RF能量點。此外，在分散輸入分散輸出(DIDO)系統(在吾人之相關專利及申請案中所描述)之內容脈絡下，分散於空間中之傳輸天線提供可用於建立多個零RF能量點及/或至不同使用者之最大SINR的較高自由度(亦即，較高頻道空間分集)。舉例而言，藉由M個傳輸天線，可建立多達(M-1)個RF能量點。對比而言，實際波束成形或BD多使用者系統通常經設計為在傳輸側具有密集的天線，從而針對傳輸天線之任一數目M限制了可在無線鏈路上伺服的同時使用者之數目。

考慮一具有M個傳輸天線及K個使用者之系統，其中 $K < M$ 。吾人假

定傳輸器知曉M個傳輸天線與K個使用者之間的CSI ($\mathbf{H} \in \mathbb{C}^{K \times M}$)。為簡單起見，假定每一使用者皆裝備有單一天線，但相同方法可擴展至每一使用者有多個接收天線。計算在K個使用者之位置處建立零RF能量之預編碼權重 ($\mathbf{w} \in \mathbb{C}^{M \times 1}$)以滿足以下條件

$$\mathbf{H}\mathbf{w} = \mathbf{0}^{K \times 1}$$

其中 $\mathbf{0}^{K \times 1}$ 為具有全零輸入項之向量且 \mathbf{H} 為藉由將自M個傳輸天線至K個使用者之頻道向量 ($\mathbf{h}_k \in \mathbb{C}^{1 \times M}$) 組合而獲得之頻道矩陣如下

$$\mathbf{H} = \begin{bmatrix} \mathbf{h}_1 \\ \vdots \\ \mathbf{h}_k \\ \vdots \\ \mathbf{h}_K \end{bmatrix}$$

在一實施例中，計算頻道矩陣 \mathbf{H} 之奇異值分解(SVD)且將預編碼權重 \mathbf{w} 定義為對應於 \mathbf{H} 之零子空間(由零奇異值識別)的右奇異向量。

傳輸天線使用上文定義之權重向量來傳輸RF能量，同時在K個使用者之位置處建立K個零RF能量點，使得在第k個使用者處接收之信號由下式給出

$$\mathbf{r}_k = \mathbf{h}_k \mathbf{w} s_k + \mathbf{n}_k = \mathbf{0} + \mathbf{n}_k$$

其中 $\mathbf{n}_k \in \mathbb{C}^{1 \times 1}$ 為第k個使用者處之加成性白高斯雜訊(AWGN)。在一實施例中，計算頻道矩陣 \mathbf{H} 之奇異值分解(SVD)且將預編碼權重 \mathbf{w} 定義為對應於 \mathbf{H} 之零子空間(由零奇異值識別)的右奇異向量。

在另一實施例中，無線系統為一DIDO系統且建立零RF能量點以預先消除對在不同DIDO涵蓋區域之間的使用端之干擾。在美國申請案第12/630,627號中，描述一DIDO系統，其包括：

- IDO用戶端
- IDO分散式天線

- IDO基地收發器台(BTS)
- 例展示於圖11中且由以下IDO基地台網路(BSN)

每一BTS經由BSN連接至多個分散式天線，該等分散式天線提供服務至稱為DIDO叢集之給定涵蓋區域。在本專利申請案中，吾人描述一用於移除相鄰DIDO叢集之間的干擾之系統及方法。如圖1中所說明，吾人假定主DIDO叢集代管受來自相鄰叢集之干擾(或目標用戶端)影響的用戶端(亦即，由多使用者DIDO系統伺服之使用者器件)。

在一實施例中，相鄰叢集類似於習知蜂巢式系統根據分頻多重存取(FDMA)技術在不同頻率下操作。舉例而言，在頻率重新使用因子為3之情況下，如圖2中所說明每隔三個DIDO叢集重新使用相同載波頻率。在圖2中，不同載波頻率被識別為 F_1 、 F_2 及 F_3 。雖然此實施例可用於一些實施中，但此解決方案產生頻譜效率之損失，因為可用頻譜被分成多個子頻帶且僅DIDO叢集之一子集在相同子頻帶中操作。此外，需要複雜小區規劃來將不同DIDO叢集與不同頻率相關聯，藉此防止干擾。類似於先前技術蜂巢式系統，此蜂巢式規劃要求天線之特定置放及限制傳輸功率以便避免使用同一頻率之叢集之間的干擾。

在另一實施例中，相鄰叢集根據分時多重存取(TDMA)技術在相同頻帶中但在不同時槽處操作。舉例而言，如圖3中所說明，僅針對特定叢集允許在時槽 T_1 、 T_2 及 T_3 中的DIDO傳輸，如所說明。時槽可被均等地指派給不同叢集，使得根據循環原則來排程不同叢集。若不同叢集以不同資料速率要求(亦即，在擁擠之城市環境中的叢集與每涵蓋區域具有較少數目用戶端的鄉村區域中之叢集相對比)來表徵，則將不同優先級指派給不同叢集，使得較多時槽被指派給具有較大資料速率要求之叢集。雖然如上文

描述之TDMA可用於本發明之一實施例中，但TDMA方法可要求跨越不同叢集之時間同步且可導致較低頻譜效率，因為干擾叢集無法同時使用相同頻率。

在一實施例中，所有相鄰叢集同時在同一頻帶中傳輸且使用跨越叢集的空間處理以避免干擾。在此實施例中，多叢集DIDO系統：(i)在主叢集內使用習知DIDO預編碼以在同一頻率頻帶內傳輸同時非干擾資料串流至多個用戶端(諸如，相關專利及申請案中所描述，包括7,599,420；7,633,994；7,636,381及申請案第12/143,503號)；(ii)在相鄰叢集中使用具有干擾消除的DIDO預編碼以藉由在目標用戶端之位置處建立零射頻(RF)能量點來避免對位於圖4中的干擾區域410中之用戶端產生干擾。若目標用戶端在一干擾區域410中，則其將接收含有來自主叢集411之資料串流的RF與來自干擾叢集412至413之零RF能量之總和，其將簡單地為含有來自主叢集之資料串流的RF。因此，相鄰叢集可同時利用相同頻率而在干擾區域中之目標用戶端不會遭受干擾。

在實際系統中，DIDO預編碼之效能可受不同因素影響，諸如：頻道估計誤差或都卜勒(Doppler)效應(在DIDO分散式天線處產生過時頻道狀態資訊)；多載波DIDO系統中之互調變失真(IMD)；時間或頻率偏移。由於此等效應，達成零RF能量點可為不切實際的。然而，只要在目標用戶端處來自干擾叢集之RF能量與來自主叢集之RF能量相比可忽略，在目標用戶端處之鏈路效能就不受干擾影響。舉例而言，假定用戶端要求20 dB信雜比(SNR)以使用前向錯誤校正(FEC)編碼來解調變4-QAM群集以達成 10^{-6} 之目標位元錯誤率(BER)。若在目標用戶端處之自干擾叢集接收的RF能量比自主叢集接收的RF能量低20 dB，則干擾可忽略且用戶端可成功地

在預定義BER目標內解調變資料。因此，如本文中所使用之術語「零RF能量」不一定意謂來自干擾RF信號之RF能量為零。確切而言，其意謂該RF能量相對於所要RF信號之RF能量充分低，使得所要RF信號可在接收器處被接收。此外，雖然描述了干擾RF能量相對於所要RF能量的特定所要臨限，但本發明之基本原理不限於任何特定臨限值。

存在如圖4中所示之不同類型的干擾區域410。舉例而言，「類型A」區域(如由圖80中之字母「A」所指示)僅受來自一個相鄰叢集之干擾影響，而「類型B」區域(如由字母「B」所指示)說明來自兩個或多個相鄰叢集之干擾。

圖5描繪一用於本發明之一實施例中的構架。點表示DIDO分散式天線，十字指代DIDO用戶端且箭頭指示RF能量之傳播方向。在主叢集中之DIDO天線傳輸預編碼之資料信號至該叢集中之用戶端MC 501。同樣，干擾叢集中之DIDO天線經由習知DIDO預編碼來伺服該叢集中之用戶端IC 502。綠色十字503表示干擾區域中之目標用戶端TC 503。主叢集511中之DIDO天線經由習知DIDO預編碼傳輸預編碼之資料信號至目標用戶端(黑色箭頭)。干擾叢集512中之DIDO天線使用預編碼來建立朝目標用戶端503之方向(綠色箭頭)的零RF能量。

圖4中之任何干擾區域410A、410B中的目標用戶端k處的所接收信號由下式給出

$$\mathbf{r}_k = \mathbf{H}_k \mathbf{W}_k \mathbf{s}_k + \mathbf{H}_k \sum_{\substack{u=1 \\ u \neq k}}^U \mathbf{W}_u \mathbf{s}_u + \sum_{c=1}^C \mathbf{H}_{c,k} \sum_{i=1}^{I_c} \mathbf{W}_{c,i} \mathbf{s}_{c,i} + \mathbf{n}_k \quad (1)$$

其中 $k=1, \dots, K$ ，其中K為干擾區域410A、410B中之用戶端的數目，U為主DIDO叢集中之用戶端的數目，C為干擾DIDO叢集412至413之數目且 I_c 為干擾叢集c中之用戶端的數目。此外， $\mathbf{r}_k \in \mathbb{C}^{N \times M}$ 為含有在用戶端k處

之接收資料串流的向量，假定在用戶端器件處有M個傳輸DIDO天線及N個接收天線； $\mathbf{s}_k \in \mathbb{C}^{N \times 1}$ 為至主DIDO叢集中之用戶端k的傳輸資料串流之向量； $\mathbf{s}_u \in \mathbb{C}^{N \times 1}$ 為至主DIDO叢集中之用戶端u的傳輸資料串流之向量； $\mathbf{s}_{c,i} \in \mathbb{C}^{N \times 1}$ 為至第c個干擾DIDO叢集中之用戶端i的傳輸資料串流之向量； $\mathbf{n}_k \in \mathbb{C}^{N \times 1}$ 為用戶端k之N個接收天線處的加成性白高斯雜訊(AWGN)之向量； $\mathbf{H}_k \in \mathbb{C}^{N \times M}$ 為主DIDO叢集中之用戶端k處的自M個傳輸DIDO天線至N個接收天線的DIDO頻道矩陣； $\mathbf{H}_{c,k} \in \mathbb{C}^{N \times M}$ 為第c個干擾DIDO叢集中之用戶端k處的自M個傳輸DIDO天線至N個接收天線的DIDO頻道矩陣； $\mathbf{W}_k \in \mathbb{C}^{M \times N}$ 為至主DIDO叢集中之用戶端k的DIDO預編碼權重之矩陣； $\mathbf{W}_u \in \mathbb{C}^{M \times N}$ 為至主DIDO叢集中之用戶端u的DIDO預編碼權重之矩陣； $\mathbf{W}_{c,i} \in \mathbb{C}^{M \times N}$ 為至第c個干擾DIDO叢集中之用戶端i的DIDO預編碼權重之矩陣。

為簡化記法且不失一般性，吾人假定所有用戶端皆裝備N個接收天線且在每一DIDO叢集中存在M個DIDO分散式天線，其中 $M \geq (N \cdot U)$ 且 $M \geq (N \cdot I_c), \forall c = 1, \dots, C$ 。若M大於叢集中之接收天線之總數，則將額外傳輸天線用以預先消除對干擾區域中之目標用戶端的干擾或經由相關專利及申請案(包括7,599,420；7,633,994；7,636,381及申請案第12/143,503號)中描述之分集方案改良至同一叢集中之用戶端的鏈路穩健性。

計算DIDO預編碼權重以預先消除同一DIDO叢集內之用戶端間干擾。舉例而言，相關專利及申請案(包括7,599,420；7,633,994；7,636,381及申請案第12/143,503號以及[7])中描述之區塊對角化(BD)預編碼可用以移除用戶端間干擾，使得在主叢集中滿足以下條件

$$\mathbf{H}_k \mathbf{W}_u = \mathbf{0}^{N \times N}; \quad \forall u = 1, \dots, U; \text{ 其中 } u \neq k. \quad (2)$$

相鄰DIDO叢集中之預編碼權重矩陣經設計，使得滿足以下條件

$$\mathbf{H}_{c,k} \mathbf{W}_{c,i} = \mathbf{0}^{N \times N}; \quad \forall c = 1, \dots, C \quad \text{且} \quad \forall i = 1, \dots, I_c. \quad (3)$$

為了計算預編碼矩陣 $\mathbf{W}_{c,i}$ ，估計自M個傳輸天線至干擾叢集中之 I_c 個用戶端以及至干擾區域中之用戶端k的下行鏈路頻道，且藉由干擾叢集中之DIDO BTS計算預編碼矩陣。若將BD方法用以計算干擾叢集中之預編碼矩陣，則建置以下有效頻道矩陣以計算至相鄰叢集中之第i個用戶端的權重

$$\bar{\mathbf{H}}_{c,i} = \begin{bmatrix} \mathbf{H}_{c,k} \\ \tilde{\mathbf{H}}_{c,i} \end{bmatrix} \quad (4)$$

其中 $\tilde{\mathbf{H}}_{c,i}$ 為自用於干擾叢集c之頻道矩陣 $\mathbf{H}_c \in \mathbb{C}^{(N \cdot I_c) \times M}$ 獲得的矩陣，其中對應於第i個用戶端的列被移除。

將條件(2)及(3)代入(1)中，吾人獲得用於目標用戶端k之所接收資料串流，其中叢集內及叢集間干擾被移除

$$\mathbf{r}_k = \mathbf{H}_k \mathbf{W}_k \mathbf{s}_k + \mathbf{n}_k. \quad (5)$$

在相鄰叢集中計算出的(1)中之預編碼權重 $\mathbf{W}_{c,i}$ 經設計以傳輸預編碼資料串流至彼等叢集中之所有用戶端，同時預先消除對干擾區域中之目標用戶端的干擾。目標用戶端僅自其主叢集接收預編碼資料。在不同實施例中，自主叢集及相鄰叢集兩者將相同資料串流發送至目標用戶端以獲得分集增益。在此狀況下，(5)中之信號模型經表示為

$$\mathbf{r}_k = (\mathbf{H}_k \mathbf{W}_k + \sum_{c=1}^C \mathbf{H}_{c,k} \mathbf{W}_{c,k}) \mathbf{s}_k + \mathbf{n}_k \quad (6)$$

其中 $\mathbf{W}_{c,k}$ 為自第c個叢集中之DIDO傳輸器至干擾區域中之目標用戶端k的DIDO預編碼矩陣。注意(6)中之方法要求跨越相鄰叢集的時間同步，此要在大系統中達成可係複雜的，但雖然如此，若分集增益益處證明

實施成本為正當的，則此係非常可行的。

吾人藉由依據作為信雜比(SNR)的函數的符號錯誤率(SER)評估所提議方法之效能來開始。在不失一般性之情況下，吾人假定每一用戶端有單一天線而定義以下信號模型並將(1)重新公式化為

$$r_k = \sqrt{\text{SNR}} \mathbf{h}_k \mathbf{w}_k s_k + \sqrt{\text{INR}} \mathbf{h}_{c,k} \sum_{i=1}^I \mathbf{w}_{c,i} s_{c,i} + n_k \quad (7)$$

其中INR為經定義為 $\text{INR}=\text{SNR}/\text{SIR}$ 之干擾對雜訊比且SIR為信號對干擾比。

圖6展示作為SNR之函數的SER，假定干擾區域中之目標用戶端的 $\text{SIR}=10 \text{ dB}$ 。在不失一般性之情況下，吾人量測沒有前向錯誤校正(FEC)編碼之4-QAM及16-QAM之SER。對於未編碼系統，吾人將目標SER固定為1%。取決於調變階數，此目標對應於SNR之不同值(亦即，對於4-QAM， $\text{SNR}=20 \text{ dB}$ ，且對於16-QAM， $\text{SNR}=28 \text{ dB}$)。當使用FEC編碼時，歸因於編碼增益，針對相同SNR值可滿足較低SER目標。吾人考慮每一叢集具有兩個DIDO天線及兩個用戶端(各自裝備有單一天線)的兩個叢集(一個主叢集及一個干擾叢集)之情形。主叢集中之用戶端中之一者位於干擾區域中。吾人假定平坦衰落窄帶頻道，但以下結果可擴展至頻率選擇性多載波(OFDM)系統，其中每一副載波經歷平坦衰落。吾人考慮兩種情形：(i)一種具有DIDO叢集間干擾(IDCI)之情形，其中在不考慮干擾區域中之目標用戶端的情況下計算預編碼權重 $\mathbf{w}_{c,i}$ ；及(ii)另一種情形，其中藉由計算權重 $\mathbf{w}_{c,i}$ 而移除IDCI以消除對目標用戶端之IDCI。吾人觀察到在存在IDCI之情況下SER為高的且高於預定義目標。藉由在相鄰叢集處之IDCI預編碼，移除了對目標用戶端之干擾且對於 $\text{SNR}>20 \text{ dB}$ 達到SER目標。

圖6中之結果假定如(5)中之IDCI預編碼。若在相鄰叢集處之IDCI預編碼亦用以如(6)中預編碼至干擾區域中的目標用戶端之資料串流，則獲得額外分集增益。圖7比較自兩種技術導出之SER：(i)使用(5)中之IDCI預編碼的「方法1」；(ii)使用(6)中之IDCI預編碼的「方法2」，其中相鄰叢集亦傳輸預編碼資料串流至目標用戶端。與習知IDCI預編碼相比，歸因於由相鄰叢集中之用以傳輸預編碼資料串流至目標用戶端的DIDO天線所提供的額外陣列增益，方法2產生~3 dB增益。更一般而言，方法2相對於方法1之陣列增益與 $10 \cdot \log_{10}(C+1)$ 成正比，其中C為相鄰叢集之數目且因子「1」指代主叢集。

接下來，吾人評估隨目標用戶端相對於干擾區域之位置而變的上述方法之效能。吾人考慮一簡單情形，其中目標用戶端801自主DIDO叢集802移動至干擾叢集803，如圖8中所描繪。吾人假定主叢集802內之所有DIDO天線812使用BD預編碼來消除叢集內干擾以滿足條件(2)。吾人假定單一干擾DIDO叢集，用戶端器件801處之單一接收器天線及自主叢集或干擾叢集中之所有DIDO天線(亦即，按圓形環繞用戶端置放的DIDO天線)至用戶端之相等路徑損失。吾人使用一具有路徑損失指數4(如在典型城市環境中)的簡化路徑損失模型[11]。

下文中之分析係基於擴展(7)以考慮路徑損失之以下簡化信號模型

$$r_k = \sqrt{\frac{\text{SNR} \cdot D_0^4}{D^4}} \mathbf{h}_k \mathbf{w}_k s_k + \sqrt{\frac{\text{SNR} \cdot D_0^4}{(1-D)^4}} \mathbf{h}_{c,k} \sum_{i=1}^I \mathbf{w}_{c,i} s_{c,i} + n_k \quad (8)$$

其中信號對干擾比(SIR)經導出為 $\text{SIR} = ((1-D)/D)^4$ 。在模型化IDCI中，吾人考慮三種情形：i)沒有IDCI之理想狀況；ii)在干擾叢集中經由BD預編碼預先消除IDCI以滿足條件(3)；iii)具有未由相鄰叢集預先消除之IDCI。

圖9展示作為D之函數(亦即，當目標用戶端自主叢集802朝干擾叢集803中之DIDO天線813移動時)的信號對干擾加雜訊比(SINR)。SINR係使用(8)中之信號模型而導出為信號功率與干擾加雜訊功率之比。吾人假定對於 $D=D_0$ ， $D_0=0.1$ 且 $SNR=50$ dB。在沒有IDCI之情況下，無線鏈路效能僅受雜訊影響且SINR歸因於路徑損失而減少。在存在IDCI(亦即，沒有IDCI預編碼)之情況下，來自相鄰叢集中之DIDO天線的干擾有助於減少SINR。

圖10展示針對平坦衰落窄帶頻道中之4-QAM調變的上述三種情形之符號錯誤率(SER)效能。此等SER結果對應於圖9中之SINR。吾人假定用於未編碼系統(亦即，沒有FEC)之1%之SER臨限對應於圖9中之SINR臨限 $SINR_T=20$ dB。SINR臨限取決於用於資料傳輸之調變階數。較高調變階數通常由較高 $SINR_T$ 表徵以達成相同目標錯誤率。藉由FEC，歸因於編碼增益，對於相同SINR值可達成較低目標SER。在沒有預編碼之IDCI的狀況下，僅在 $D<0.25$ 的範圍內達成目標SER。藉由相鄰叢集處之IDCI預編碼，滿足目標SER之範圍擴展達到 $D<0.6$ 。在該範圍外，SINR歸因於路徑損失而增加且SER目標未被滿足。

用於IDCI預編碼之方法的一實施例展示於圖11中且由以下步驟組成：

- **SIR估計1101**：用戶端估計來自主DIDO叢集之信號功率(亦即，基於所接收之預編碼資料)及來自相鄰DIDO叢集之干擾加雜訊信號功率。在單載波DIDO系統中，訊框結構可經設計有短的靜寂週期。舉例而言，靜寂週期可經定義於用於頻道估計之訓練與頻道狀態資訊(CSI)回饋期間的預編碼資料傳輸之間。在一實施例中，來自相鄰叢集之干擾加雜訊信號功

率係在靜寂週期期間自主叢集中之DIDO天線量測。在實際DIDO多載波(OFDM)系統中，通常將零載頻調用以防止直流(DC)偏移及歸因於傳輸及接收側之濾波的在頻帶邊緣處之衰減。在使用多載波系統之另一實施例中，干擾加雜訊信號功率係根據零載頻調估計。校正因子可用以補償頻帶邊緣處之傳輸/接收濾波器衰減。一旦估計了來自主叢集之信號加干擾及雜訊功率(P_S)及來自相鄰叢集之干擾加雜訊功率(P_{IN})，用戶端便將SINR計算為

$$SINR = \frac{P_S - P_{IN}}{P_{IN}} \quad (9)$$

或者，SINR估計係根據用於典型無線通信系統中以量測無線電信號功率的接收信號強度指示(RSSI)導出。

吾人觀察到(9)中之量度無法區別雜訊與干擾功率位準。舉例而言，在無干擾環境中受遮蔽(亦即，在衰減來自主叢集中之所有DIDO分散式天線之信號功率的障礙物後)影響的用戶端可估計低SINR，即使其未受叢集間干擾影響亦然。

用於所提議方法之更可靠量度為SIR，其經計算為

$$SIR = \frac{P_S - P_{IN}}{P_{IN} - P_N} \quad (10)$$

其中 P_N 為雜訊功率。在實際多載波OFDM系統中，(10)中之雜訊功率 P_N 係根據零載頻調估計，假定來自主叢集及相鄰叢集之所有DIDO天線使用零載頻調之相同集合。干擾加雜訊功率(P_{IN})係根據如上文提及之靜寂週期而估計。最後，信號加干擾及雜訊功率(P_S)係根據資料載頻調而導出。根據此等估計，用戶端計算(10)中之SIR。

- **在相鄰叢集處之頻道估計1102至1103**：若在圖8中之叢集802處判定，(10)中之估計之SIR在預定義臨限(SIR_T)之下，則用戶端開始傾聽來

自相鄰叢集之訓練信號。注意 SIR_T 視用於資料傳輸之調變及FEC編碼方案(MCS)而定。視用戶端之MCS而定義不同SIR目標。當來自不同叢集之DIDO分散式天線經時間同步(亦即，鎖定至相同之每秒脈波數(PPS)時間參考)時，在叢集803處用戶端利用訓練序列以遞送其頻道估計至相鄰叢集中之DIDO天線。用於相鄰叢集中之頻道估計之訓練序列經設計為正交於來自主叢集的訓練。或者，當不同叢集中之DIDO天線未經時間同步時，將正交序列(具有良好互相關性質)用於不同DIDO叢集中之時間同步。一旦用戶端鎖定至相鄰叢集之時間/頻率參考，便在1103處執行頻道估計。

- **IDCI預編碼1104**：一旦頻道估計在相鄰叢集中之DIDO BTS處可用，便計算IDCI預編碼以滿足(3)中之條件。相鄰叢集中之DIDO天線僅傳輸預編碼之資料串流至其叢集中之用戶端，同時預先消除對圖4中之干擾區域410中的用戶端之干擾。吾人觀察到若用戶端位於圖4中之B型干擾區域410中，則對用戶端之干擾係由多個叢集產生且IDCI預編碼係由所有相鄰叢集同時執行。

用於交遞之方法

下文中，吾人描述用於跨越DIDO叢集移動的用戶端之不同交遞方法，該等DIDO叢集由位於分離區域中或提供不同種類服務(亦即，低或高行動性服務)之分散式天線填充。

a. 相鄰DIDO叢集之間的交遞

在一實施例中，用以移除上文描述之叢集間干擾的IDCI預編碼器用作DIDO系統中之交遞方法的基線。將蜂巢式系統中之習知交遞設想為用戶端跨越由不同基地台伺服之小區順暢地切換。在DIDO系統中，交遞允許用戶端在不損失連接之情況下自一叢集移動至另一叢集。

為說明DIDO系統之交遞策略的一實施例，吾人再次考慮圖8中之僅具有兩個叢集802及803之實例。當用戶端801自主叢集(C1)802移動至相鄰叢集(C2)803時，交遞方法之一實施例動態地計算不同叢集中之信號品質並選擇對於用戶端產生最低錯誤率效能之叢集。

圖12展示作為用戶端距叢集C1之中心的距離的函數的SINR變化。對於沒有FEC編碼之4-QAM調變，吾人考慮目標SINR=20 dB。當C1及C2皆使用沒有干擾消除之DIDO預編碼時，由圓識別之線表示由C1中之DIDO天線伺服之目標用戶端的SINR。SINR歸因於路徑損失及來自相鄰叢集之干擾而按D之函數關係減少。當IDCI預編碼實施於相鄰叢集處時，SINR損失僅歸因於路徑損失(如由具有三角形之線所展示)，因為干擾被完全移除。當自相鄰叢集伺服用戶端時，經歷對稱行為(Symmetric behavior)。交遞策略之一實施例經定義，使得當用戶端自C1移動至C2時，演算法在不同DIDO方案之間切換以使SINR維持在預定義目標之上。

自圖12中之曲線，吾人導出圖13中之針對4-QAM調變之SER。吾人觀察到，藉由在不同預編碼策略之間切換，將SER維持於預定義目標內。

交遞策略之一實施例如下。

- **C1-DIDO及C2-DIDO預編碼**：當用戶端位於C1內，遠離干擾區域時，叢集C1及C2皆獨立地藉由習知DIDO預編碼操作。

- **C1-DIDO及C2-IDCI預編碼**：當用戶端朝干擾區域移動時，其SIR或SINR降級。當達到目標SINR_{T1}時，目標用戶端開始估計來自C2中的所有DIDO天線之頻道並提供CSI至C2之BTS。C2中之BTS計算IDCI預編碼並傳輸至C2中之所有用戶端同時防止對目標用戶端之干擾。只要目標用戶端在干擾區域中，其將繼續提供其CSI至C1及C2兩者。

• **C1-IDCI及C2-DIDO預編碼**：當用戶端朝C2移動時，其SIR或SINR不斷降低直至其再次達到一目標。此時，用戶端決定切換至相鄰叢集。在此狀況下，C1開始使用來自目標用戶端之CSI以藉由IDCI預編碼建立朝其方向的零干擾，而相鄰叢集使用CSI以進行習知DIDO預編碼。在一實施例中，當SIR估計接近目標時，叢集C1及C2交替地嘗試DIDO預編碼方案及IDCI預編碼方案兩者以允許用戶端估計在兩者狀況下的SIR。接著用戶端選擇最佳方案以最大化特定錯誤率效能量度。當應用此方法時，用於交遞策略之交叉點出現於圖12中的具有三角形及菱形之曲線的交叉點處。一實施例使用(6)中所描述的經修改之IDCI預編碼方法，其中相鄰叢集亦傳輸預編碼之資料串流至目標用戶端以提供陣列增益。藉由此方法，簡化交遞策略，因為用戶端無需估計在交叉點處兩種策略之SINR。

• **C1-DIDO及C2-DIDO預編碼**：當用戶端朝C2移出干擾區域外時，主叢集C1停止經由IDCI預編碼預先消除朝該目標用戶端之干擾並對於保留於C1中之所有用戶端切換回至習知DIDO預編碼。吾人之交遞策略中的此最終交叉點可用於避免自目標用戶端至C1之不必要的CSI回饋，藉此減少回饋頻道上之額外負擔。在一實施例中，定義一第二目標 $SINR_{T2}$ 。當SINR(或SIR)增加到此目標之上時，策略經切換至C1-DIDO及C2-DIDO。在一實施例中，叢集C1持續在DIDO預編碼與IDCI預編碼之間交替以允許用戶端估計SINR。接著用戶端選擇自上方更緊密接近目標 $SINR_{T1}$ 的用於C1之方法。

上文描述之方法即時計算用於不同方案之SINR或SIR估計且使用其來選擇最佳化方案。在一實施例中，交遞演算法係基於圖14中說明之有限狀態機而設計。當SINR或SIR降至在圖12中說明之預定義臨限之下或之上

時，用戶端記住其當前狀態並切換至下一狀態。如上文所論述，在狀態1401中，叢集C1及C2皆獨立地藉由習知DIDO預編碼而操作且用戶端係由叢集C1伺服；在狀態1402中，用戶端係由叢集C1來伺服，C2中之BTS計算IDCI預編碼且叢集C1使用習知DIDO預編碼來操作；在狀態1403中，用戶端係由叢集C2來伺服，C1中之BTS計算IDCI預編碼且叢集C2使用習知DIDO預編碼來操作；及在狀態1404中，用戶端係由叢集C2來伺服，且叢集C1及C2皆獨立地藉由習知DIDO預編碼而操作。

在存在遮蔽效應之情況下，信號品質或SIR可如圖15中所示在臨限周圍波動，從而引起在圖14中之連續狀態之間重複切換。重複變化之狀態為一非所要之效應，因為其導致用戶端與BTS之間的控制頻道上之用以允許實現在傳輸方案之間切換的顯著額外負擔。圖15描繪在存在遮蔽之情況下的交遞策略之一實例。在一實施例中，遮蔽係數係根據具有方差3之對數正態分佈來模擬[3]。下文中，吾人定義一些用以防止在DIDO交遞期間之重複切換效應的方法。

本發明之一實施例使用一滯後迴路來解決狀態切換效應。舉例而言，當在圖14中之「C1-DIDO、C2-IDCI」1402與「C1-IDCI、C2-DIDO」1403狀態(或反之)之間切換時，可調整臨限 $SINR_{T1}$ 為在範圍 A_1 內。此方法在信號品質在 $SINR_{T1}$ 周圍振盪時避免在狀態之間的重複切換。舉例而言，圖16展示在圖14中之任何兩個狀態之間切換時的滯後迴路機制。為了自狀態B切換至狀態A，SIR必須大於 $(SIR_{T1} + A_1/2)$ ，但為了自A切換回至B，SIR必須降至 $(SIR_{T1} - A_1/2)$ 之下。

在不同實施例中，調整臨限 $SINR_{T2}$ 以避免在圖14中之有限狀態機之第一狀態與第二狀態(或第三狀態與第四狀態)之間的重複切換。舉例而

言，可定義值 A_2 的範圍，使得視頻道條件及遮蔽效應而在該範圍內挑選臨限 $SINR_{T2}$ 。

在一實施例中，視無線鏈路上預期之遮蔽的方差而定，在範圍 $[SINR_{T2}, SINR_{T2}+A_2]$ 內動態地調整 $SINR$ 臨限。當用戶端自其當前叢集移動至相鄰叢集時，可根據所接收之信號強度(或RSSI)的方差而估計對數正態分佈之方差。

上述方法假定用戶端觸發交遞策略。在一實施例中，假定啟用跨越多個BTS之通信，延期至DIDO BTS的交遞決策。

為簡單起見，假定無FEC編碼及4-QAM而導出上述方法。更一般而言，針對不同調變編碼方案(MCS)而導出 $SINR$ 或 SIR 臨限且結合鏈路調適(例如，參見美國專利第7,636,381號)而設計交遞策略以最佳化至干擾區域中的每一用戶端之下行鏈路資料速率。

b. 在低都卜勒與高都卜勒DIDO網路之間的交遞

DIDO系統使用封閉迴路傳輸方案來預編碼下行鏈路頻道上之資料串流。封閉迴路方案固有地受回饋頻道上之潛時約束。在實際DIDO系統中，當將CSI及基頻預編碼資料自BTS遞送至分散式天線時，計算時間可藉由具有高處理能力之收發器減少且預期大多數潛時係由DIDO BSN引入。BSN可包含各種網路技術，包括(但不限於)數位用戶線(DSL)、電纜數據機、光纖環(fiber ring)、T1線、光纖同軸混合(HFC)網路及/或固定無線(例如，WiFi)。專用光纖通常具有非常大頻寬及低潛時(在局部區域中可能小於毫秒)，但其部署範圍不及DSL及電纜數據機廣泛。現今，在美國DSL及電纜數據機連接通常具有在10 ms至25 ms之間的最後一英里(last-mile)潛時，但其被非常廣泛地部署。

BSN上之最大潛時判定在無DIDO預編碼之效能降級的情況下在DIDO無線鏈路上可容許的最大都卜勒頻率。舉例而言，在[1]中吾人展示在400 MHz之載波頻率下，具有約10毫秒之潛時的網路(亦即，DSL)可容許用戶端之速度高達8 mph(奔跑速度)，而具有1毫秒潛時之網路(亦即，光纖環)可支援高達70 mph之速度(亦即，高速公路交通)。

吾人視BSN上可容許之最大都卜勒頻率而定義兩個或多個DIDO子網路。舉例而言，具有DIDO BTS與分散式天線之間的高潛時DSL連接之BSN可僅遞送低行動性或固定無線服務(亦即，低都卜勒網路)，而低潛時光纖環上之低潛時BSN可容許高行動性(亦即，高都卜勒網路)。吾人觀察到大多數寬頻使用者在其使用寬頻時不移動，且進一步大多數人不太可能位於許多高速物件移動經過之區域附近(例如，靠近高速公路)，因為此等位置通常係不太理想的居住或辦公地點。然而，存在將在高速下(例如，當在一行駛在高速公路上之汽車中時)使用寬頻或將在高速物件附近(例如，在位於高速公路附近之商店中)的寬頻使用者。為處理此等兩種不同使用者的都卜勒情形，在一實施例中，低都卜勒DIDO網路由散佈在廣大區域上的具有相對低功率(亦即，對於室內或屋頂安裝，1 W至100 W)的通常較大數目之DIDO天線組成，而高都卜勒網路由具有高功率傳輸(亦即，對於屋頂或塔安裝，100 W)的通常較低數目之DIDO天線組成。低都卜勒DIDO網路伺服通常較大數目之低都卜勒使用者且可使用便宜之高潛時寬頻連接(諸如，DSL及電纜數據機)而以通常較低連接性成本執行之。高都卜勒DIDO網路伺服通常較少數目之高都卜勒使用者且可使用較昂貴之低潛時寬頻連接(諸如，光纖)而以通常較高連接性成本執行之。

為了避免跨越不同類型DIDO網路(例如，低都卜勒及高都卜勒)之干

擾，可使用不同多重存取技術，諸如：分時多重存取(TDMA)、分頻多重存取(FDMA)或分碼多重存取(CDMA)。

下文中，吾人提議用以將用戶端指派給不同類型DIDO網路並允許實現其間之交遞的方法。網路選擇係基於每一用戶端之行動性的類型。根據以下方程式，用戶端之速度(v)與最大都卜勒頻移成正比[6]

$$f_d = \frac{v}{\lambda} \sin \theta \quad (11)$$

其中 f_d 為最大都卜勒頻移， λ 為對應於載波頻率之波長且 θ 為指示傳輸器-用戶端之方向的向量與速度向量之間的角。

在一實施例中，每一用戶端之都卜勒頻移係經由盲估計技術來計算。舉例而言，類似於都卜勒雷達系統，可藉由發送RF能量至用戶端及分析反射之信號來估計都卜勒頻移。

在另一實施例中，一或多個DIDO天線發送訓練信號至用戶端。基於彼等訓練信號，用戶端使用諸如計數頻道增益之零交叉率或執行頻譜分析的技術來估計都卜勒頻移。吾人觀察到對於固定速度v及用戶端之軌跡，(11)中之角速度 $v \sin \theta$ 可視用戶端距每一DIDO天線之相對距離而定。舉例而言，在移動用戶端附近之DIDO天線產生比遙遠天線大的角速度及都卜勒頻移。在一實施例中，都卜勒速度係根據在距用戶端不同距離處的多個DIDO天線估計，且將平均、加權平均或標準偏差用作用戶端行動性之指示器。基於所估計之都卜勒指示器，DIDO BTS決定是否指派用戶端給低或高都卜勒網路。

針對所有用戶端週期地監視都卜勒指示器且將其發送回至BTS。當一或多個用戶端改變其都卜勒速度(亦即，用戶端乘坐公共汽車對比用戶端步行或坐著)時，彼等用戶端被動態地重新指派給可容許其行動性等級

之不同DIDO網路。

儘管低速用戶端之都卜勒可因在高速物件附近(例如，靠近高速公路)而受影響，但該都卜勒通常遠小於自身在運動中的用戶端之都卜勒。因而，在一實施例中，估計用戶端之速度(例如，藉由使用一諸如使用GPS監視用戶端位置之方式)，且若速度為低，則用戶端經指派給一低都卜勒網路，且若速度為高，則用戶端經指派給一高都卜勒網路。

用於功率控制及天線分群之方法

在圖17中描繪具有功率控制之DIDO系統的方塊圖。首先將每一用戶端(1,...,U)之一或多個資料串流(s_k)乘以由DIDO預編碼單元產生之權重。將預編碼之資料串流乘以由功率控制單元基於輸入頻道品質資訊(CQI)而計算的功率縮放因子。CQI係自用戶端回饋至DIDO BTS或假定上行鏈路-下行鏈路頻道互易性而根據上行鏈路頻道導出。不同用戶端之U個預編碼之串流接著經組合及多工成M個資料串流(t_m)，一資料串流針對M個傳輸天線中之每一者。最後，將串流 t_m 發送至數位/類比轉換器(DAC)單元、射頻(RF)單元、功率放大器(PA)單元並最終至天線。

功率控制單元量測用於所有用戶端之CQI。在一實施例中，CQI為平均SNR或RSSI。視路徑損失或遮蔽而定，CQI對於不同用戶端變化。吾人之功率控制方法調整用於不同用戶端之傳輸功率縮放因子 P_k 且將其乘以經產生用於不同用戶端之預編碼之資料串流。注意，可針對每一用戶端產生一或多個資料串流，此視用戶端之接收天線的數目而定。

為了評估所提議方法之效能，吾人基於(5)來定義包括路徑損失及功率控制參數的以下信號模型

$$\mathbf{r}_k = \sqrt{\text{SNR } P_k \alpha_k} \mathbf{H}_k \mathbf{W}_k \mathbf{s}_k + \mathbf{n}_k \quad (12)$$

其中 $k=1, \dots, U$ ， U 為用戶端之數目， $SNR=P_o/N_o$ ，其中 P_o 為平均傳輸功率， N_o 為雜訊功率且 α_k 為路徑損失/遮蔽係數。為了模型化路徑損失/遮蔽，吾人使用以下簡化模型

$$\alpha_k = e^{-a \frac{k-1}{U}} \quad (13)$$

其中 $a=4$ 為路徑損失指數且吾人假定路徑損失隨用戶端索引(亦即，用戶端位於距DIDO天線之漸增距離處)而增加。

圖18展示在不同情形中之假定四個DIDO傳輸天線及四個用戶端的情況下的SER對SNR。理想狀況假定所有用戶端具有相同路徑損失(亦即， $a=0$)，從而針對所有用戶端產生 $P_k=1$ 。具有正方形之曲線指代用戶端具有不同路徑損失係數且無功率控制之狀況。具有點之曲線係根據功率控制係數經選擇使得 $P_k=1/\alpha_k$ 之相同情形(具有路徑損失)導出。藉由功率控制方法，將較多功率指派給意欲至經歷較高路徑損失/遮蔽之用戶端的資料串流，從而與沒有功率控制之狀況相比導致9 dB SNR增益(對於此特定情形)。

聯邦通信委員會(FCC)(及其他國際管理機構)定義對於可自無線器件傳輸的最大功率之約束條件以限制人體在電磁(EM)輻射下的曝露。存在兩種類型限制[2]：i)「職業/受控」限制，其中經由柵欄、警告或標記使人完全知曉射頻源；ii)「一般人群/不受控」限制，其中對曝露沒有控制。

將不同發射等級定義用於不同類型無線器件。大體而言，用於室內/室外應用之DIDO分散式天線合乎FCC之「行動」器件種類之要求，其經定義為[2]：「經設計成不在固定位置使用、通常在輻射結構保持在距使用者或附近人員身體20公分或以上距離處的情況下使用之傳輸裝置」。

「行動」器件之EM發射係依據最大允許曝露量(MPE)(以 mW/cm^2 表示)來量測。圖19展示在700 MHz載波頻率下針對傳輸功率之不同值的作為距RF輻射源之距離的函數的MPE功率密度。用以滿足通常在距人體20 cm外操作的器件之FCC「不受控制之」限制的最大允許傳輸功率為1 W。

針對安裝於遠離「一般人群」之屋頂或建築物上的傳輸器定義了較少限制性的功率發射約束條件。對於此等「屋頂傳輸器」，FCC定義依據有效輻射功率(ERP)量測的1000 W之較寬鬆發射限制。

基於上述FCC約束條件，在一實施例中，吾人定義用於實際系統之兩種類型之DIDO分散式天線：

- **低功率(LP)傳輸器**：位於任何高度之任何地方(亦即，室內或室外)，具有1 W之最大傳輸功率及5 Mbps消費者級寬頻(例如，DSL、電纜數據機、光纖到家(FTTH))空載傳輸連接性。

- **高功率(HP)傳輸器**：在約10公尺高度之屋頂或建築物安裝之天線，具有100 W之傳輸功率及商業級寬頻(例如，光纖環)空載傳輸(與DIDO無線鏈路上可用之輸貫量相比，具有實際上「無限」資料速率)。

注意，具有DSL或電纜數據機連接性之LP傳輸器為低都卜勒DIDO網路(如先前章節中所描述)之良好候選者，因為其用戶端大部分為固定的或具有低行動性。具有商業光纖連接性之HP傳輸器可容許較高用戶端行動性且可用於高都卜勒DIDO網路中。

為了得到對具有不同類型LP/HP傳輸器之DIDO系統的效能之實際直觀感覺，吾人考慮在Palo Alto市區(CA)中的DIDO天線安裝之實際狀況。圖20a展示Palo Alto中的 $N_{LP}=100$ 個低功率DIDO分散式天線之隨機分佈。在圖20b中，50個LP天線以 $N_{HP}=50$ 個高功率傳輸器來替代。

基於圖20a至圖20b中之DIDO天線分佈，吾人得到使用DIDO技術之系統的在Palo Alto中之涵蓋圖。圖21a及圖21b分別展示對應於圖20a及圖20b中之組態的兩個功率分佈。假定在700 MHz之載波頻率下由3GPP標準[3]定義的用於城市環境之路徑損失/遮蔽模型而導出所接收之功率分佈(以dBm表示)。吾人觀察到使用50%之HP傳輸器產生對所選區域之較好涵蓋。

圖22a至圖22b描繪上述兩種情形之速率分佈。輸質量(以Mbps表示)係基於[4,5]中3GPP長期演進(LTE)標準中所定義的不同調變編碼方案之功率臨限而導出。在700 MHz載波頻率下，總可用頻寬固定至10 MHz。考慮兩個不同頻率分配計劃：i)僅分配5 MHz頻譜至LP台；ii)分配9 MHz至HP傳輸器及分配1 MHz至LP傳輸器。注意，較低頻寬通常歸因於其具有有限輸質量之DSL空載傳輸連接性而分配至LP台。圖22a至圖22b展示當使用50%之HP傳輸器時可顯著增加速率分佈，從而將平均每用戶端資料速率自圖22a中之2.4 Mbps提高至圖22b中之38 Mbps。

接下來，吾人定義演算法以控制LP台之功率傳輸，使得在任一給定時間允許較高功率，藉此增加圖22b中之DIDO系統的下行鏈路頻道上之輸質量。吾人觀察到對於功率密度之FCC限制係基於時間平均而定義為[2]

$$S = \frac{\sum_{n=1}^N S_n t_n}{T_{MPE}} \quad (14)$$

其中 $T_{MPE} = \sum_{n=1}^N t_n$ 為MPE平均時間， t_n 為曝露至具有功率密度 S_n 的輻射的時間週期。對於「受控」曝露，平均時間為6分鐘，而對於「不受控」曝露，其增加達30分鐘。接著，允許任一功率源以大於MPE限制之功率位準傳輸，只要(14)中之平均功率密度滿足FCC的對於「不受控」曝露之

30分鐘平均限制便可。

基於此分析，吾人定義適應性功率控制方法以增加瞬時每天線傳輸功率，同時將每DIDO天線之平均功率維持在MPE限制之下。吾人考慮具有比作用中用戶端多之傳輸天線的DIDO系統。考慮到DIDO天線可被設想為便宜的無線器件(類似於WiFi存取點)且可置放於存在DSL、電纜數據機、光纖或其他網際網路連接性的任何地點，此係一合理假定。

具有適應性每天線功率控制之DIDO系統的構架在圖23中加以描繪。在被發送至DAC單元235之前，由多工器234產生的數位信號之振幅被用功率縮放因子 S_1, \dots, S_M 動態地調整。功率縮放因子係由功率控制單元232基於CQI 233來計算。

在一實施例中，定義 N_g 個DIDO天線群組。每一群組含有至少與作用中用戶端之數目(K)一樣多的DIDO天線。在任一給定時間，僅一個群組具有以大於MPE限制(\overline{MPE})之功率位準(S_o)傳輸至用戶端的 $N_a > K$ 個作用中DIDO天線。一方法根據圖24中描繪之循環排程原則跨越所有天線群組重複。在另一實施例中，將不同排程技術(亦即，比例公平排程[8])用於叢集選擇以最佳化錯誤率或輸質量效能。

假定循環功率分配，自(14)吾人將每一DIDO天線之平均傳輸功率導出為

$$S = S_o \frac{t_o}{T_{MPE}} \leq \overline{MPE} \quad (15)$$

其中 t_o 為天線群組為作用中的時間週期且 $T_{MPE}=30 \text{ min}$ 為由FCC準則[2]定義的平均時間。(15)中之比為該等群組之工作因數(DF)，其經定義使得來自每一DIDO天線之平均傳輸功率滿足MPE限制(\overline{MPE})。根據以下定義，工作因數視作用中用戶端之數目、群組之數目及每一群組之作用中

天線而定

$$DF \triangleq \frac{K}{N_g N_a} = \frac{t_o}{T_{MPE}} \quad (16)$$

在具有功率控制及天線分群的DIDO系統中獲得之SNR增益(以dB計)被如下表示為工作因數之函數

$$G_{dB} = 10 \log_{10} \left(\frac{1}{DF} \right) \quad (17)$$

吾人觀察到(17)中之增益係以所有DIDO天線上之 G_{dB} 額外傳輸功率為代價而達成。

大體而言，來自所有 N_g 個群組之所有 N_a 的總傳輸功率經定義為

$$\bar{P} = \sum_{j=1}^{N_g} \sum_{i=1}^{N_a} P_{ij} \quad (18)$$

其中 P_{ij} 為平均每天線傳輸功率，其由下式給出

$$P_{ij} = \frac{1}{T_{MPE}} \int_0^{T_{MPE}} S_{ij}(t) dt \leq \overline{MPE} \quad (19)$$

且 $S_{ij}(t)$ 為第 j 個群組中之第 i 個傳輸天線的功率譜密度。在一實施例中，針對每天線設計(19)中之功率譜密度以最佳化錯誤率或輸質量效能。

為了獲得對於所提議方法之效能的某種直觀感覺，考慮在給定涵蓋區域中之400個DIDO分散式天線及訂用經由DIDO系統提供之無線網際網路服務的400個用戶端。不可能每一網際網路連接皆一直被完全地利用。假定用戶端中之10%將在任一給定時間有效地使用無線網際網路連接。接著，400個DIDO天線可分成各自有 $N_a=40$ 個天線之 $N_g=10$ 個群組，每一群以工作因數 $DF=0.1$ 在任一給定時間伺候 $K=40$ 個作用中用戶端。由此傳輸方案產生的SNR增益為 $G_{dB}=10 \log_{10}(1/DF)=10$ dB，由來自所有DIDO天線之10 dB額外傳輸功率提供。然而，吾人觀察到平均每天線傳輸功率為恆

定的且在MPE限制內。

圖25比較具有天線分群之上述功率控制與美國專利第7,636,381號中之習知本徵模式選擇的(未編碼之)SER效能。所有方案使用BD預編碼，具有四個用戶端，每一用戶端裝備有單一天線。SNR指代每傳輸天線功率與雜訊功率之比(亦即，每天線傳輸SNR)。以DIDO 4×4表示之曲線假定四個傳輸天線及BD預編碼。具有正方形之曲線表示具有本徵模式選擇的具有兩個額外傳輸天線及BD的SER效能，從而產生相對於習知BD預編碼之10 dB SNR增益(在1% SER目標處)。具有天線分群及DF=1/10之功率控制亦在相同SER目標處產生10 dB增益。吾人觀察到歸因於分集增益，本徵模式選擇改變SER曲線之斜率，而吾人之功率控制方法歸因於增加之平均傳輸功率而將SER曲線向左位移(維持相同斜率)。為了比較，展示具有較大工作因數DF=1/50之SER而提供與DF=1/10相比的額外7 dB增益。

注意，吾人之功率控制可具有比習知本徵模式選擇方法低的複雜度。實際上，每一群組之天線ID可被預先計算並經由查找表在DIDO天線與用戶端之間共用，使得在任一給定時間僅要求K個頻道估計。對於本徵模式選擇，計算(K+2)個頻道估計且需要額外計算處理以選擇在任一給定時間最小化所有用戶端之SER的本徵模式。

接下來，吾人描述用以在一些特殊情形中減少CSI回饋額外負擔的涉及DIDO天線分群之另一方法。**圖26a**展示其中用戶端(點)隨機散佈於由多個DIDO分散式天線(十字)涵蓋之一區域中的一種情形。每一傳輸接收無線鏈路上之平均功率可經計算為

$$A = \{|H|^2\}。 \quad (20)$$

其中H為可用於DIDO BTS處之頻道估計矩陣。

藉由在1000個例項上平均頻道矩陣而在數值上獲得圖26a至圖26c中之矩陣**A**。圖26b及圖26c中分別描繪兩種替代情形，其中環繞DIDO天線之子集而將用戶端分群在一起且用戶端接收來自位於遙遠地方之DIDO天線的可忽略功率。舉例而言，圖26b展示產生區塊對角矩陣**A**之兩個天線群組。一極端情形為當每一用戶端僅非常接近一個傳輸器且傳輸器彼此遠離，使得來自所有其他DIDO天線之功率可忽略時。在此狀況下，DIDO鏈路在多個SISO鏈路中退化且**A**為如圖26c中之對角矩陣。

在上述所有三種情形中，BD預編碼動態地調整預編碼權重以考慮DIDO天線與用戶端之間的無線鏈路上之不同功率位準。然而，識別DIDO叢集中之多個群組並僅在每一群組內操作DIDO預編碼係方便的。吾人提議之分群方法產生以下優點：

- **計算增益**：僅在叢集中之每一群組內計算DIDO預編碼。舉例而言，若使用BD預編碼，則奇異值分解(SVD)具有複雜度 $O(n^3)$ ，其中 n 為頻道矩陣**H**之最小維數。若**H**可縮減為一區塊對角矩陣，則以減少之複雜度計算每一區塊之SVD。實際上，若頻道矩陣經分成具有維數 n_1 及 n_2 之兩個區塊矩陣，使得 $n=n_1+n_2$ ，則SVD之複雜度僅為 $O(n_1^3)+O(n_2^3)<O(n^3)$ 。在極端狀況下，若**H**為對角矩陣，則DIDO鏈路縮減至多個SISO鏈路且無需SVD計算。

- **減少之CSI回饋額外負擔**：當DIDO天線及用戶端被分成群組時，在一實施例中，僅在同一群組內計算自用戶端至天線的CSI。在TDD系統中，假定頻道互易性，天線分群減少用以計算頻道矩陣**H**的頻道估計之數目。在其中CSI係在無線鏈路上回饋的FDD系統中，天線分群進一步產生DIDO天線與用戶端之間的無線鏈路上的CSI回饋額外負擔之減少。

用於DIDO上行鏈路頻道之多重存取技術

在本發明之一實施例中，不同多重存取技術經定義用於DIDO上行鏈路頻道。此等技術可用以在上行鏈路上自用戶端至DIDO天線地回饋CSI或傳輸資料串流。下文中，吾人將回饋CSI及資料串流稱為上行鏈路串流。

- **多輸入多輸出(MIMO)**：上行鏈路串流係經由開放迴路MIMO多工方案自用戶端傳輸至DIDO天線。此方法假定所有用戶端經時間/頻率同步。在一實施例中，用戶端之間的同步係經由來自下行鏈路之訓練而達成且所有DIDO天線經假定為鎖定至同一時間/頻率參考時脈。注意在不同用戶端處之延遲擴展的變化可產生在不同用戶端之時脈之間的可影響MIMO上行鏈路方案之效能的抖動。在用戶端經由MIMO多工方案發送上行鏈路串流後，接收DIDO天線可使用非線性(亦即，最大似然，ML)或線性(亦即，逼零、最小均方差)接收器來消除同頻道干擾並個別地解調變上行鏈路串流。

- **分時多重存取(TDMA)**：不同用戶端經指派給不同時槽。每一用戶端在其時槽可用時發送其上行鏈路串流。

- **分頻多重存取(FDMA)**：不同用戶端經指派給不同載波頻率。在多載波(OFDM)系統中，載頻調之子集經指派給同時傳輸上行鏈路串流之不同用戶端，藉此減少潛時。

- **分碼多重存取(CDMA)**：每一用戶端經指派給一不同偽隨機序列且在碼域中達成跨用戶端之正交性。

在本發明之一實施例中，用戶端為以比DIDO天線低得多之功率傳輸的無線器件。在此狀況下，DIDO BTS基於上行鏈路SNR資訊定義用戶端

子群，使得跨越子群之干擾經最小化。在每一子群中，將上述多重存取技術用以建立在時域、頻域、空間域或碼域中之正交頻道，藉此避免跨越不同用戶端之上行鏈路干擾。

在另一實施例中，結合先前章節中提出的天線分群方法使用上文描述之上行鏈路多重存取技術以定義DIDO叢集內之不同用戶端群組。

用於DIDO多載波系統中之鏈路調適之系統及方法

在美國專利第7,636,381號中定義利用無線頻道之時間、頻率及空間選擇性的DIDO系統之鏈路調適方法。下文所描述的係用於利用無線頻道之時間/頻率選擇性的多載波(OFDM)DIDO系統中之鏈路調適的本發明之實施例。

吾人根據[9]中之按指數規律衰減功率延遲概況(PDP)或Saleh-Valenzuela模型來模擬瑞雷衰落頻道。為簡單起見，吾人假定具有多路徑PDP之單一叢集頻道經定義為

$$P_n = e^{-\beta n} \quad (21)$$

其中 $n=0, \dots, L-1$ 為頻道分接頭之索引， L 為頻道分接頭之數目且 $\beta=1/\sigma_{DS}$ 係為頻道相干性頻寬之指示器、與頻道延遲擴展(σ_{DS})成反比的PDP指數。 β 之低值產生頻率平坦頻道，而 β 之高值產生頻率選擇性頻道。

(21)中之PDP經正規化，使得所有 L 頻道分接頭之總平均功率為一

$$\bar{P}_n = \frac{P_n}{\sum_{i=0}^{L-1} P_i} \quad (22)$$

圖27描繪DIDO 2×2系統之在延遲域或瞬時PDP(上部曲線)及頻域(下部曲線)上的低頻率選擇性頻道(假定 $\beta=1$)之振幅。第一下標指示用戶端，第二下標指示傳輸天線。高頻率選擇性頻道(其中 $\beta=0.1$)展示於圖28中。

接下來，吾人研究在頻率選擇性頻道中DIDO預編碼的效能。假定

(1)中之信號模型滿足(2)中之條件，吾人經由BD計算DIDO預編碼權重。吾人藉由(2)中之條件將(5)中之DIDO接收信號模型重新公式化為

$$\mathbf{r}_k = \mathbf{H}_{ek} \mathbf{s}_k + \mathbf{n}_k。 \quad (23)$$

其中 $\mathbf{H}_{ek} = \mathbf{H}_k \mathbf{W}_k$ 為使用者k之有效頻道矩陣。對於每一用戶端一單一天線之DIDO 2×2 ，有效頻道矩陣減少至具有圖29中所示之頻率回應並用於由圖28中之高頻率選擇性(例如，其中 $\beta=0.1$)表徵之頻道的一值。圖29中之實線指代用戶端1，而具有點之線指代用戶端2。基於圖29中之頻道品質量度，吾人定義視變化之頻道條件而動態地調整MCS之時間/頻率域鏈路調適(LA)方法。

吾人以評估AWGN及瑞雷衰落SISO頻道中之不同MCS之效能開始。為簡單起見，吾人假定無FEC編碼，但以下LA方法可擴展至包括FEC之系統。

圖30展示不同QAM方案(亦即，4-QAM、16-QAM、64-QAM)之SER。在不失一般性的情況下，吾人對於未編碼之系統假定1%之目標SER。用以在AWGN頻道中滿足該目標SER之SNR臨限對於三個調變方案分別為8 dB、15.5 dB及22 dB。在瑞雷衰落頻道中，熟知上述調變方案之SER效能比AWGN差[13]且SNR臨限分別為：18.6 dB、27.3 dB及34.1 dB。吾人觀察到DIDO預編碼將多使用者下行鏈路頻道變換成平行SISO鏈路之集合。因此，在逐用戶端基礎上，用於SISO系統之與圖30中相同之SNR臨限適用於DIDO系統。此外，若執行瞬時LA，則使用AWGN頻道中之臨限。

用於DIDO系統的所提議LA方法之關鍵思想係當頻道經歷時域或頻域中之深衰落(圖28中所描繪)時使用低MCS階數以提供鏈路穩健性。相

反，當頻道由大增益表徵時，LA方法切換至較高MCS階數以增加頻譜效率。與美國專利第7,636,381號相比，本申請案之一貢獻係使用(23)中及圖29中之有效頻道矩陣作為一量度以允許實現調適。

LA方法之總構架在圖31中加以描繪並經定義如下：

- **CSI估計**：在3171處，DIDO BTS計算來自所有使用者之CSI。使用者可裝備有單一或多個接收天線。

- **DIDO預編碼**：在3172處，BTS計算用於所有使用者之DIDO預編碼權重。在一實施例中，將BD用以計算此等權重。預編碼權重係逐載頻調地計算。

- **鏈路品質量度計算**：在3173處，BTS計算頻域鏈路品質量度。在OFDM系統中，根據CSI及用於每一載頻調之DIDO預編碼權重而計算量度。在本發明之一實施例中，鏈路品質量度為所有OFDM載頻調上之平均SNR。吾人將此方法定義為**LA1**(基於平均SNR效能)。在另一實施例中，鏈路品質量度為(23)中之有效頻道之頻率回應。吾人將此方法定義為**LA2**(基於逐載頻調效能以利用頻率分集)。若每一用戶端具有單一天線，則頻域有效頻道描繪於圖29中。若用戶端具有多個接收天線，則鏈路品質量度經定義為用於每一載頻調之有效頻道矩陣的Frobenius範數。或者，對於每一用戶端定義多個鏈路品質量度作為(23)中之有效頻道矩陣的奇異值。

- **位元載入演算法**：在3174處，基於鏈路品質量度，BTS判定用於不同用戶端及不同OFDM載頻調之MCS。對於LA1方法，基於圖30中之瑞雷衰落頻道的SNR臨限而將相同MCS用於所有用戶端及所有OFDM載頻調。對於LA2，將不同MCS指派給不同OFDM載頻調以利用頻道頻率分

集。

• **預編碼資料傳輸**：在3175處，BTS使用自位元載入演算法導出之MCS將預編碼之資料串流自DIDO分散式天線傳輸至用戶端。將一標頭附接至預編碼資料以將用於不同載頻調之MCS傳達至用戶端。舉例而言，若八個MCS可用且OFDM符號係以 $N=64$ 個載頻調定義，則需要 $\log_2(8)*N=192$ 個位元來將當前MCS傳達至每一用戶端。假定將4-QAM(2位元/符號頻譜效率)用以將彼等位元映射至符號中，僅需要 $192/2/N=1.5$ 個OFDM符號來映射MCS資訊。在另一實施例中，多個副載波(或OFDM載頻調)被分群成子頻帶，且相同MCS被指派給相同子頻帶中之所有載頻調以減少歸因於控制資訊之額外負擔。此外，基於頻道增益之時間變化(與相干時間成正比)調整MCS。在固定無線頻道(由低都卜勒效應表徵)中，每隔頻道相干時間之一部分重新計算MCS，藉此減少控制資訊所需之額外負擔。

圖32展示上文描述之LA方法的SER效能。為了比較，針對所使用之三個QAM方案中之每一者繪製瑞雷衰落頻道中之SER效能。LA2方法調適MCS以適應有效頻道在頻域中之波動，藉此與LA1相比提供用於低SNR(亦即， $SNR=20\text{dB}$)之頻譜效率的1.8 bps/Hz增益及SNR(對於 $SNR>35\text{ dB}$)中之15 dB增益。

用於多載波系統中之DIDO預編碼內插的系統及方法

DIDO系統之計算複雜度主要侷限於中央處理器或BTS。計算上代價最大之運算為根據所有用戶端之CSI計算所有用戶端的預編碼權重。當使用BD預編碼時，BTS必須執行與系統中之用戶端的數目一樣多的奇異值分解(SVD)運算。減少複雜度之一方式為經由平行處理，其中SVD係在用

於每一用戶端之單獨處理器上計算。

在多載波DIDO系統中，每一副載波經歷平坦衰落頻道且在每一副載波上針對每一用戶端執行SVD。顯然，系統之複雜度隨副載波之數目而線性地增加。舉例而言，在具有1 MHz信號頻寬之OFDM系統中，循環首碼(L₀)必須具有至少八個頻道分接頭(亦即，8微秒之持續時間)以避免在具有大延遲擴展之室外城市巨型小區環境中的符號間干擾[3]。用以產生OFDM符號的快速傅立葉變換(FFT)之大小(N_{FFT})通常經設定為L₀之倍數以減少資料速率之損失。若N_{FFT}=64，則系統之有效頻譜效率由因子N_{FFT}/(N_{FFT}+L₀) =89%限制。N_{FFT}之較大值以DIDO預編碼器處之較高計算複雜度為代價產生較高頻譜效率。

減少DIDO預編碼器處之計算複雜度之一方式係在載頻調之一子集(吾人稱為導頻載頻調)上執行SVD運算並經由內插導出用於剩餘載頻調之預編碼權重。權重內插為導致用戶端間干擾的一誤差源。在一實施例中，將最佳化權重內插技術用以減少用戶端間干擾，從而在多載波系統中產生改良之錯誤率效能及較低計算複雜度。在具有M個傳輸天線、U個用戶端及每用戶端N個接收天線之DIDO系統中，保證對其他用戶端u的零干擾的第k個用戶端之預編碼權重(W_k)的條件係自(2)導出為

$$\mathbf{H}_u \mathbf{W}_k = \mathbf{0}^{N \times N}; \quad \forall u = 1, \dots, U; \text{ 其中 } u \neq k \quad (24)$$

其中H_u為對應於系統中之其他DIDO用戶端的頻道矩陣。

在本發明之一實施例中，權重內插方法之目標函數經定義為

$$f(\theta_k) = \sum_{\substack{u=1 \\ u \neq k}}^U \|\mathbf{H}_u \hat{\mathbf{W}}_k(\theta_k)\|_F \quad (25)$$

其中θ_k為待針對使用者k最佳化之參數之集合， $\hat{\mathbf{W}}_k(\theta_k)$ 為權重內插矩陣且 $\|\cdot\|_F$ 表示矩陣之Frobenius範數。最佳化問題經公式化為

$$\boldsymbol{\theta}_{k,\text{opt}} = \arg \min_{\boldsymbol{\theta}_k \in \Theta_k} f(\boldsymbol{\theta}_k) \quad (26)$$

其中 Θ_k 為最佳化問題之可行集合且 $\boldsymbol{\theta}_{k,\text{opt}}$ 為最佳解。

(25)中之目標函數經定義用於一OFDM載頻調。在本發明之另一實施例中，目標函數經定義為待內插之所有OFDM載頻調的矩陣之(25)中之Frobenius範數的線性組合。在另一實施例中，將OFDM頻譜分成載頻調之子集且最佳解由下式給出

$$\boldsymbol{\theta}_{k,\text{opt}} = \arg \min_{\boldsymbol{\theta}_k \in \Theta_k} \max_{n \in A} f(n, \boldsymbol{\theta}_k) \quad (27)$$

其中 n 為OFDM載頻調索引且 A 為載頻調之子集。

(25)中之權重內插矩陣 $\mathbf{w}_k(\boldsymbol{\theta}_k)$ 經表示為參數 $\boldsymbol{\theta}_k$ 之集合的函數。一旦根據(26)或(27)判定最佳化集合，便計算最佳化權重矩陣。在本發明之一實施例中，給定OFDM載頻調 n 之權重內插矩陣經定義為導頻載頻調之權重矩陣的線性組合。用於具有單一用戶端之波束成形系統之權重內插函數的一實例定義於[11]中。在DIDO多用戶端系統中，吾人將權重內插矩陣寫成

$$\hat{\mathbf{W}}_k(lN_0 + n, \boldsymbol{\theta}_k) = (1 - c_n) \cdot \mathbf{W}(l) + c_n e^{j\theta_k} \cdot \mathbf{W}(l + 1) \quad (28)$$

其中 $0 \leq l \leq (L_0 - 1)$ ， L_0 為導頻載頻調之數目且 $c_n = (n - 1)/N_0$ ，其中 $N_0 = N_{\text{FFT}}/L_0$ 。接著正規化(28)中之權重矩陣，使得 $\|\hat{\mathbf{W}}_k\|_F = \sqrt{NM}$ 以保證自每一天線之單一功率傳輸。若 $N=1$ (每一用戶端單一接收天線)，則(28)中之矩陣變成一關於其範數而正規化的向量。在本發明之一實施例中，在OFDM載頻調之範圍內均勻地挑選導頻載頻調。在另一實施例中，基於CSI適應性地挑選導頻載頻調以最小化內插誤差。

吾人觀察到[11]中之系統及方法與本專利申請案中所提議之系統及方法的一關鍵差異為目標函數。詳言之，[11]中之系統假定多個傳輸天線及

單一用戶端，因而相關方法經設計以最大化預編碼權重乘頻道之積以最大化用戶端之接收SNR。然而，此方法在多用戶端情形中不起作用，因為其歸因於內插誤差而產生用戶端間干擾。相反，吾人之方法經設計以最小化用戶端間干擾，藉此對於所有用戶端改良錯誤率效能。

圖33展示對於其中 $N_{\text{FFT}} = 64$ 及 $L_0 = 8$ 之 DIDO 2×2 系統的作為 OFDM 載頻調索引之函數的(28)中之矩陣的輸入項。頻道 PDP 係根據(21)中之模型(其中 $\beta=1$)而產生，且該頻道由僅八個頻道分接頭組成。吾人觀察到 L_0 必須經挑選為大於頻道分接頭之數目。**圖33**中之實線表示理想函數，而虛線為內插函數。根據(28)中之定義，對於導頻載頻調，內插權重匹配理想函數。在剩餘載頻調上計算的權重歸因於估計誤差而僅近似於理想狀況。

實施權重內插方法之一方式為經由對(26)中之可行集合 Θ_k 的竭盡式搜尋。為了減少搜尋之複雜度，吾人將可行集合量化成均勻地在範圍 $[0, 2\pi]$ 內之 P 值。**圖34**展示對於 $L_0 = 8$ 、 $M=N_t=2$ 個傳輸天線及 P 之可變數目的 SER 對 SNR。當量化等級之數目增加時，SER 效能改良。吾人觀察到由於歸因於減少的搜尋數目之低得多的計算複雜度， $P=10$ 的狀況接近 $P=100$ 之效能。

圖35展示針對不同 DIDO 階數及 $L_0 = 16$ 的內插方法之 SER 效能。吾人假定用戶端之數目與傳輸天線之數目相同且每一用戶端裝備有單一天線。當用戶端之數目增加時，SER 效能歸因於由權重內插誤差產生的用戶端間干擾增加而降級。

在本發明之另一實施例中，使用不同於(28)中之彼等權重內插函數的權重內插函數。舉例而言，可將線性預測自我回歸模型[12]用以基於對頻道頻率相關性之估計而跨越不同 OFDM 載頻調內插權重。

參考文獻

[1] 2009年12月2日申請之名為「System and Method For Distributed Antenna Wireless Communications」的美國申請案第12/630,627號，A. Forenza及S. G. Perlman之「System and method for distributed antenna wireless communications」

[2] 1997年8月，OET Bulletin 65(Ed. 97-01)，FCC之「Evaluating compliance with FCC guidelines for human exposure to radiofrequency electromagnetic fields」

[3] 2003年4月22日，SCM Text V6.0，3GPP之「Spatial Channel Model AHG (Combined ad-hoc from 3GPP & 3GPP2)」

[4] 3GPP TR 25.912之「Feasibility Study for Evolved UTRA and UTRAN」，V9.0.0 (2009年10月)

[5] 3GPP TR 25.913之「Requirements for Evolved UTRA (E-UTRA) and Evolved UTRAN (E-UTRAN)」，V8.0.0 (2009年01月)

[6] 1974年，W. C. Jakes，Microwave Mobile Communications, IEEE Press

[7] 2003年7月，IEEE Trans. Wireless Comm.，第2卷，第773至786頁，K. K. Wong等人之「A joint channel diagonalization for multiuser MIMO antenna systems」；

[8] 2002年6月，IEEE Trans. On Inform. Theory，第48卷，第1277至1294頁，P. Viswanath等人之「Opportunistic beamforming using dumb antennas」。

[9] 1987年2月，IEEE Jour. Select. Areas in Comm.，第195卷

SAC-5, no. 2, 第128頁至137頁，A. A. M. Saleh等人之「A statistical model for indoor multipath propagation」。

[10] 2003年，A. Paulraj等人，Introduction to Space-Time Wireless Communications，劍橋大學出版社，40 West 20th Street, New York, NY, USA。

[11] 2005年11月，IEEE Trans. on Signal Processing，第53卷，第11號，第4125頁至4135頁，J. Choi等人之「Interpolation Based Transmit Beamforming for MIMO-OFDM with Limited Feedback」。

[12] 2004年11月7日至10日，Proc. of the IEEE Asilomar Conf. on Signals, Systems, and Computers，第1卷，第723頁至736頁，Pacific Grove, CA, USA，I. Wong等人之「Long Range Channel Prediction for Adaptive OFDM Systems」。

[13] 1994年，J. G. Proakis之Communication System Engineering，Prentice Hall

[14] 1988年4月，IEEE ASSP Magazine，B.D.Van Veen等人之「Beamforming: a versatile approach to spatial filtering」。

[15] 1988年11月，IEEE Trans. On Vehic. Tech.，第137卷，第4號，第181頁至188頁，R.G. Vaughan之「On optimum combining at the mobile」。

[16] 1995年2月，IEEE Trans. On Sign. Proc.，第43卷，第2號，第506頁至515頁，F.Qian之「Partially adaptive beamforming for correlated interference rejection」

[17] 1996年7月，IEEE Signal Proc. Magazine，第67頁至94頁，

H.Krim等人之「Two decades of array signal processing research」

[19] 1977年1月，美國專利第4,003,016號，W.R. Remley之「Digital beamforming system」

[18] 1988年9月，美國專利第4,771,289號，R.J. Masak之「Beamforming/null-steering adaptive array」

[20] 1997年2月，美國專利5,600,326，K.-B.Yu等人「Adaptive digital beamforming architecture and algorithm for nulling mainlobe and multiple sidelobe radar jammers while preserving monopulse ratio angle estimation accuracy」

[21] 2003年4月，IEEE Vehic. Tech. Conf.，第1卷 H.Boche等人之「Analysis of different precoding/decoding strategies for multiuser beamforming」

[22] 2002年12月，第2卷，第536頁至540頁，M.Schubert等人之「Joint 'dirty paper' pre-coding and downlink beamforming」

[23] 2002年12月，第1卷，第87頁至91頁，H.Boche等人之「A general duality theory for uplink and downlink beamforming」

[24] 2003年7月，IEEE Trans. Wireless Comm.，第2卷，第773頁至786頁，K. K. Wong, R. D. Murch，及K. B. Letaief之「A joint channel diagonalization for multiuser MIMO antenna systems」；

[25] 2004年2月，IEEE Trans. Sig. Proc.，第52卷，第461頁至471頁，Q. H. Spencer, A. L. Swindlehurst，及M. Haardt之「Zero forcing methods for downlink spatial multiplexing in multiuser MIMO channels」。

II. 本申請案之揭示內容

下文描述使用協作地操作以建立至給定使用者之無線鏈路同時抑制對其他使用者之干擾的複數個分散式傳輸天線的無線射頻(RF)通信系統及方法。經由使用者叢集而允許實現跨越不同傳輸天線之協調。使用者叢集為其信號可由給定使用者可靠地偵測(亦即，所接收信號強度在雜訊或干擾位準之上)的傳輸天線之子集。系統中之每一使用者定義其自身使用者叢集(user-cluter)。由同一使用者叢集中之傳輸天線發送的波形相干地組合以在目標使用者之位置處建立RF能量，並在可由彼等天線達到之任何其他使用者之位置處建立零RF干擾點。

考慮在一使用者叢集內具有M個傳輸天線及具有可由彼等M個天線達到之K個使用者的系統，其中 $K \leq M$ 。吾人假定傳輸器知曉M個傳輸天線與K個使用者之間的CSI ($\mathbf{H} \in \mathbb{C}^{K \times M}$)。為簡單起見，假定每一使用者裝備有一單一天線，但相同方法可擴展至每一使用者多個接收天線。考慮藉由將自M個傳輸天線至K個使用者的頻道向量 ($\mathbf{h}_k \in \mathbb{C}^{1 \times M}$) 組合而獲得之如下頻道矩陣 \mathbf{H}

$$\mathbf{H} = \begin{bmatrix} \mathbf{h}_1 \\ \vdots \\ \mathbf{h}_k \\ \vdots \\ \mathbf{h}_K \end{bmatrix}。$$

計算建立至使用者k之RF能量及至所有其他K-1個使用者的零RF能量的預編碼權重 ($\mathbf{w}_k \in \mathbb{C}^{M \times 1}$) 以滿足以下條件

$$\tilde{\mathbf{H}}_k \mathbf{w}_k = \mathbf{0}^{K \times 1}$$

其中 $\tilde{\mathbf{H}}_k$ 為藉由移除矩陣 \mathbf{H} 之第k列而獲得的使用者k之有效頻道矩陣，且 $\mathbf{0}^{K \times 1}$ 為具有全零輸入項之向量。

在一實施例中，無線系統為一DIDO系統且使用使用者叢集以建立至目標使用者之無線通信鏈路，同時預先消除對可由位於使用者叢集內之天線達到的任何其他使用者之干擾。在美國申請案第12/630,627號中，描述一DIDO系統，其包括：

- **DIDO用戶端**：裝備有一或多個天線之使用者終端機；
- **DIDO分散式天線**：收發器台，其協作地操作以傳輸預編碼之資料串流至多個使用者，藉此抑制使用者間干擾；
- **DIDO基地收發器台(BTS)**：集中式處理器，其產生至DIDO分散式天線的預編碼之波形；
- **DIDO基地台網路(BSN)**：有線空載傳輸，其連接BTS與DIDO分散式天線或其他BTS。

DIDO分散式天線視其相對於BTS或DIDO用戶端之位置的空間分佈而被分群成不同子集。吾人定義三種類型的叢集，如圖36中所描繪：

- **超級叢集3640**：為連接至一或多個BTS之DIDO分散式天線之集合，使得所有BTS與各別使用者之間的往返潛時係在DIDO預編碼迴路之約束條件內；
- **DIDO叢集3641**：為連接至同一BTS之DIDO分散式天線之集合。當超級叢集僅含有一個BTS時，其定義與DIDO叢集一致；
- **使用者叢集3642**：為協作地傳輸預編碼資料至給定使用者的DIDO分散式天線之集合。

舉例而言，BTS為經由BSN連接至其他BTS及DIDO分散式天線的本端集線器。BSN可包含各種網路技術，包括(但不限於)數位用戶線(DSL)、ADSL、VDSL [6]、電纜數據機、光纖環、T1線、光纖同軸混合

(HFC)網路及/或固定無線(例如，WiFi)。同一超級叢集內之所有BTS經由BSN共用關於DIDO預編碼之資訊，使得往返潛時在DIDO預編碼迴路內。

在圖37中，分別地，點表示DIDO分散式天線，十字為使用者且虛線指示使用者U1及U8之使用者叢集。下文中描述之方法經設計以建立一至目標使用者U1之通信鏈路，同時建立對於使用者叢集內部或外部之任何其他使用者(U2至U8)的零RF能量點。

吾人提議[5]中之類似方法，其中建立零RF能量點以移除DIDO叢集之間的重疊區域中之干擾。需要額外天線來傳輸信號至DIDO叢集內之用戶端同時抑制叢集間干擾。本申請案中所提議之方法的一實施例不試圖移除DIDO叢集間干擾；而是其假定叢集繫結於用戶端(亦即，使用者-叢集)並保證不對在該鄰域中之任何其他用戶端產生干擾(或干擾可忽略)。

與所提議方法相關聯之一思想係距使用者-叢集足夠遠的使用者歸因於大的路徑損失而不受來自傳輸天線之輻射影響。靠近或在使用者-叢集內之使用者歸因於預編碼而接收無干擾信號。此外，可添加額外傳輸天線至使用者-叢集(如圖37中所示)，使得滿足條件 $K \leq M$ 。

使用使用者叢集之方法的一實施例由以下步驟組成：

a. 鏈路品質量測：將每一DIDO分散式天線與每一使用者之間的鏈路品質報告至BTS。鏈路品質量度由信雜比(SNR)或信號對干擾加雜訊比(SINR)組成。

在一實施例中，DIDO分散式天線傳輸訓練信號且使用者基於該訓練來估計所接收信號品質。訓練信號經設計以在時域、頻域或碼域中正交，使得使用者可區別不同傳輸器。或者，DIDO天線以一特定頻率(亦即，信

標頻道)傳輸窄帶信號(亦即，單一載頻調)，且使用者基於該信標信號估計鏈路品質。一臨限經定義為用以成功地解調變資料的在雜訊位準之上的最小信號振幅(或功率)，如圖38a中所示。在此臨限之下的任一鏈路品質量度值皆被假定為零。在有限數目之位元上量化鏈路品質量度，且將其回饋至傳輸器。

在不同實施例中，訓練信號或信標係自使用者發送且鏈路品質係在DIDO傳輸天線處被估計(如圖38b中)，假定上行鏈路(UL)路徑損失與下行鏈路(DL)路徑損失之間的互易性。注意，當UL及DL頻率頻帶相對接近時，路徑損失互易性為分時雙工(TDD)系統(具有在同一頻率下之UL及DL頻道)及分頻雙工(FDD)系統中的現實假定。如圖37中所描繪，經由BSN跨越不同BTS共用關於鏈路品質量度之資訊，使得所有BTS知曉跨越不同DIDO叢集的每一天線/使用者耦合之間的鏈路品質。

b.使用者-叢集之定義：DIDO叢集中的所有無線鏈路之鏈路品質量度為經由BSN跨越所有BTS共用之鏈路品質矩陣之輸入項。圖37中之情形的鏈路品質矩陣之一實例描繪於圖39中。

將鏈路品質矩陣用以定義使用者叢集。舉例而言，圖39展示用於使用者U8的使用者叢集之選擇。首先識別至使用者U8之具有非零鏈路品質量度之傳輸器的子集(亦即，作用中傳輸器)。此等傳輸器填充用於使用者U8之使用者-叢集。接著選擇含有自該使用者-叢集內之傳輸器至其他使用者之非零輸入項的子矩陣。注意因為鏈路品質量度僅用以選擇使用者叢集，所以其可僅藉由兩個位元來量化(亦即，以識別在圖38中之臨限之上或之下的狀態)，藉此減少回饋額外負擔。

在圖40中描繪用於使用者U1之另一實例。在此狀況下，作用中傳輸

器之數目低於子矩陣中之使用者的數目，藉此違犯條件 $K \leq M$ 。因此，將一或多行添加至子矩陣以滿足該條件。若傳輸器之數目超過使用者之數目，則可將額外天線用於分集方案(亦即，天線或本徵模式選擇)。

在圖41中展示用於使用者U4之又一實例。吾人觀察到該子矩陣可作為兩個子矩陣之組合來獲得。

c. 至BTS之CSI報告：一旦選擇使用者叢集，就使自使用者-叢集內之所有傳輸器至由彼等傳輸器達到之每一使用者的CSI可用於所有BTS。經由BSN跨越所有BTS共用CSI資訊。在TDD系統中，可利用UL/DL頻道互易性以自UL頻道上之訓練導出CSI。在FDD系統中，需要自所有使用者至BTS之回饋頻道。為了減少回饋量，僅回饋對應於鏈路品質矩陣之非零輸入項的CSI。

d. DIDO預編碼：最終，將DIDO預編碼應用於對應於不同使用者叢集的每一CSI子矩陣(例如，如相關美國專利申請案中所描述)。

在一實施例中，計算有效頻道矩陣 $\tilde{\mathbf{H}}_k$ 之奇異值分解(SVD)且將用於使用者k之預編碼權重 \mathbf{w}_k 定義為對應於 $\tilde{\mathbf{H}}_k$ 之零子空間的右奇異向量。或者，若 $M > K$ 且SVD將有效頻道矩陣分解為 $\tilde{\mathbf{H}}_k = \mathbf{V}_k \mathbf{\Sigma}_k \mathbf{U}_k^H$ ，則用於使用者k之DIDO預編碼權重由下式給出

$$\mathbf{w}_k = \mathbf{U}_0 (\mathbf{U}_0^H \cdot \mathbf{h}_k^T)$$

其中 \mathbf{U}_0 係行為 $\tilde{\mathbf{H}}_k$ 的零子空間之奇異向量的矩陣。

根據基本線性代數考慮，吾人觀察到矩陣 $\tilde{\mathbf{H}}_k$ 之零子空間中的右奇異向量等於對應於零本徵值的C之本徵向量

$$\mathbf{C} = \tilde{\mathbf{H}}^H \tilde{\mathbf{H}} = (\mathbf{V}\mathbf{\Sigma}\mathbf{U}^H)^H (\mathbf{V}\mathbf{\Sigma}\mathbf{U}^H) = \mathbf{U} \mathbf{\Sigma}^2 \mathbf{U}^H$$

其中根據SVD而將有效頻道矩陣分解為 $\tilde{\mathbf{H}} = \mathbf{V}\mathbf{\Sigma}\mathbf{U}^H$ 。接著，計算 $\tilde{\mathbf{H}}_k$ 之

SVD的一替代方法為計算**C**之本徵值分解。存在計算本徵值分解之若干方法，諸如冪方法。因為吾人僅對對應於**C**之零子空間的本徵向量感興趣，所以吾人使用由迭代描述之逆冪法

$$\mathbf{u}_{i+1} = \frac{(\mathbf{C} - \lambda \mathbf{I})^{-1} \mathbf{u}_i}{\|(\mathbf{C} - \lambda \mathbf{I})^{-1} \mathbf{u}_i\|}$$

其中首先迭代之向量(\mathbf{u}_i)為隨機向量。

考慮到零子空間之本徵值(λ)已知(亦即，零)，該逆冪法僅要求一次迭代以收斂，從而減少了計算複雜度。接著，吾人將預編碼權重向量寫為

$$\mathbf{w} = \mathbf{C}^{-1} \mathbf{u}_1$$

其中 \mathbf{u}_1 為具有等於1之實輸入項的向量(亦即，預編碼權重向量為 \mathbf{C}^{-1} 之行的總和)。

DIDO預編碼計算要求一次矩陣反轉。存在若干數值解決方案來減少矩陣反轉之複雜度，諸如Strassen之演算法[1]或Coppersmith-Winograd之演算法[2,3]。因為**C**在定義上為Hermitian矩陣，所以替代解決方案為將**C**分解成其實部及虛部，且根據[4，章節11.4]中之方法計算實矩陣之矩陣反轉。

所提議方法及系統之另一特徵為其可重組態性。當如圖42所示用戶端跨越不同DIDO叢集移動時，使用者-叢集跟隨其移動。換言之，當用戶端改變其位置時，傳輸天線之子集不斷地更新且有效頻道矩陣(及相應預編碼權重)被重新計算。

本文中所提議之方法在圖36中之超級叢集內起作用，因為經由BSN之BTS之間的鏈路必須為低潛時的。為了抑制不同超級叢集之重疊區域中的干擾，可使用[5]中之吾人之方法，其使用額外天線在DIDO叢集之間的干擾區域中建立零RF能量點。

應注意術語「使用者」及「用戶端」在本文中可互換地使用。

參考文獻

- [1] 2005年11月，SIAM News，第38卷，第9號，S. Robinson之「Toward an Optimal Algorithm for Matrix Multiplication」
- [2] 1990年，J. Symb. Comp.，第9卷，第251頁至280頁，D. Coppersmith及S. Winograd之「Matrix Multiplication via Arithmetic Progression」
- [3] 2005年11月，第379頁至388頁，H. Cohn, R. Kleinberg, B. Szegedy, C. Umans之「Group-theoretic Algorithms for Matrix Multiplication」
- [4] 1992年，劍橋大學出版社，W.H. Press, S.A. Teukolsky, W. T. Vetterling, B.P. Flannery之「NUMERICAL RECIPES IN C: THE ART OF SCIENTIFIC COMPUTING」
- [5] 2010年6月16日申請之專利申請案第12/802,988號，A. Forenza及S.G.Pearlman之「INTERFERENCE MANAGEMENT, HANDOFF, POWER CONTROL AND LINK ADAPTATION IN DISTRIBUTED-INPUT DISTRIBUTED-OUTPUT (DIDO) COMMUNICATION SYSTEMS」
- [6] 2006年，Ericsson Review，第1號，Per-Erik Eriksson及Björn Odenhammar之「VDSL2: Next important broadband technology」

本發明之實施例可包括如上文闡述之各種步驟。該等步驟可體現於使通用或專用處理器執行特定步驟之機器可執行指令中。舉例而言，上文描述之基地台/AP及用戶端器件中的各種組件可實施為在一通用或專用處

理器上執行之軟體。為了避免使本發明之有關態樣模糊不清，諸圖中已省去諸如電腦記憶體、硬碟機、輸入器件等之各種熟知個人電腦組件。

或者，在一實施例中，本文中說明之各種功能模組及相關聯步驟可由含有用於執行該等步驟之固線式邏輯之特定硬體組件(諸如，特殊應用積體電路(「ASIC」))或由程式化電腦組件與定製硬體組件之任一組合來執行。

在一實施例中，諸如上文描述之編碼、調變及信號處理邏輯903之特定模組可實施於一可程式化數位信號處理器(「DSP」)(或DSP之群組)(諸如，使用Texas Instruments之TMS320x架構(例如，TMS320C6000、TMS320C5000，...等)之DSP)上。此實施例中之DSP可嵌入於個人電腦之附加卡(諸如，PCI卡)內。當然，在仍遵守本發明之基本原理的同時，可使用各種不同DSP架構。

本發明之元件亦可經提供為一用於儲存機器可執行指令的機器可讀媒體。機器可讀媒體可包括(但不限於)快閃記憶體、光碟、CD-ROM、DVD ROM、RAM、EPROM、EEPROM、磁性或光學卡、傳播媒體或適於儲存電子指令的其它類型之機器可讀媒體。舉例而言，本發明可作為一可藉由體現於載波或其他傳播媒體中之資料信號經由一通信鏈路(例如，數據機或網路連接)自遠端電腦(例如，伺服器)傳送至請求電腦(例如，用戶端)的電腦程式而下載。

貫穿前述描述，為解釋之目的，闡述了眾多特定細節以便提供對本發明之系統及方法之澈底理解。然而，熟習此項技術者將顯而易見可在無此等特定細節中之一一些的情況下實踐系統及方法。因此，應依據以下申請專利範圍來判斷本發明之範疇及精神。

此外，貫穿前述描述，引用了眾多公開案以提供對本發明之更澈底理解。所有此等引用之參考文獻皆以引用之方式併入本申請案中。

【符號說明】

232	功率控制單元
233	頻道品質資訊(CQI)
234	多工器
235	DAC單元
410	干擾區域
411	主叢集
412	干擾叢集/干擾DIDO叢集
413	干擾叢集/干擾DIDO叢集
501	用戶端MC
502	用戶端IC
503	綠十字/目標用戶端TC
510	干擾區域
511	主叢集
512	干擾叢集
801	用戶端器件/用戶端/目標用戶端
802	主DIDO叢集/主DIDO叢集(C1)
803	干擾叢集/相鄰叢集(C2)
812	DIDO天線
813	DIDO天線
3640a	相鄰超級叢集

3640b	超級叢集
3640c	相鄰超級叢集
3641	DIDO叢集
3642	使用者叢集
F_1	載波頻率
F_2	載波頻率
F_3	載波頻率
T_1	時槽
t_1	資料串流
T_2	時槽
t_2	資料串流
T_3	時槽
t_M	資料串流

【發明摘要】

【中文發明名稱】

藉由使用者叢集在分散式無線系統中協調傳輸之系統及方法

【英文發明名稱】

SYSTEMS AND METHODS TO COORDINATE TRANSMISSIONS
IN DISTRIBUTED WIRELESS SYSTEMS VIA USER CLUSTERING

【中文】

本發明描述用於經由使用者叢集在分散式無線系統中協調傳輸的系統及方法。舉例而言，一根據本發明之一實施例之方法包含：量測一目標使用者與基地收發器台(BTS)之複數個分散輸入分散輸出(DIDO)分散式天線之間的鏈路品質；使用該等鏈路品質量測來定義一使用者叢集；量測一定義之使用者叢集內的每一使用者與每一DIDO天線之間的頻道狀態資訊(CSI)；及基於該量測之CSI預編碼該使用者叢集內之每一DIDO天線與每一使用者之間的資料傳輸。

【英文】

Systems and methods are described for coordinating transmissions in distributed wireless systems via user clustering. For example, a method according to one embodiment of the invention comprises: measuring link quality between a target user and a plurality of distributed-input distributed-output (DIDO) distributed antennas of base transceiver stations (BTSs); using the link quality measurements to define a user cluster; measuring channel state information (CSI) between each user and each DIDO antenna within a defined user cluster; and

precoding data transmissions between each DIDO antenna and each user within the user cluster based on the measured CSI.

【指定代表圖】

圖5

【代表圖之符號簡單說明】

501	用戶端MC
502	用戶端IC
503	綠十字/目標用戶端TC
510	干擾區域
511	主叢集
512	干擾叢集

【發明申請專利範圍】

【第1項】

一種在一無線傳輸系統內實施之方法，該無線傳輸系統包含複數個無線用戶裝置、一基地台及通信地耦合至該基地台之複數個分散式收發器(distributed transceivers)裝置，包含：

自該複數個分散式收發器裝置同時發射經預編碼(pre-coded)之無線電信號，該經預編碼之無線電信號產生包含無線電頻率(radio frequency)波形之一經控制建設性及破壞性干擾之故意(deliberate)無線電頻率干擾，以便在每一接收天線上實現(enable)資料接收且導致在該複數個分散式收發器裝置與該複數個無線用戶裝置之間的一共同頻率內之同時複數個非干擾頻道。

【第2項】

如請求項1之方法，其進一步包含：

在該複數個無線用戶裝置之每一者處估計頻道狀態資訊(CSI)；及在發射之前使用該CSI預編碼資料流(data streams)，該預編碼導致該等頻道成為非干擾頻道。

【第3項】

如請求項2之方法，其中估計CSI進一步包含：

發射一訓練信號至該複數個無線用戶裝置之每一者，藉由該複數個無線用戶裝置之每一者解調變該訓練信號以估計該CSI。

【第4項】

如請求項2之方法，其中預編碼資料流進一步包括：

使用接收自該複數個無線用戶裝置之每一者之該CSI計算複數個預

編碼權重，該等預編碼權重之每一者與具有一特定無線用戶裝置之一通信頻道相關聯。

【第5項】

如請求項2之方法，進一步包含：

自一無線用戶裝置接收對於網路內容之一請求；

在一資料網路上轉遞(forward)該請求至具有儲存經請求之網路內容於其上之一伺服器；

自含有該經請求之網路內容之該伺服器接收一回應；

在於該無線發射系統上發射之前使用該CSI預編碼含有該經請求之網路內容之一資料流。

【第6項】

如請求項1之方法，其中該複數個分散式收發器裝置係通信地耦合至包含至少一光纖通信鏈路之一高速基地台網路(BSN)上之該基地台。

【第7項】

如請求項1之方法，其進一步包含：

在該複數個無線用戶裝置之每一者處估計頻道狀態資訊(CSI)；

在發射之前使用該CSI預編碼資料流以產生經預編碼之基頻帶資料流；及

在於該等分散式收發器裝置之每一者上發射之前以一特定載體頻率調變該等經預編碼之基頻帶資料流。

【第8項】

如請求項7之方法，其中在一基地台網路(BSN)上發射每一個別資料流至每一分散式收發器裝置且在發射之前在每一分散式收發器裝置處調變

每一個別資料流。

【第9項】

如請求項7之方法，其中在一基地收發器台(BTS)處調變每一個別資料流以產生一經調變之資料流，及在該基地台網路(BSN)上發射該經調變之資料流至每一分散式收發器裝置。

【第10項】

如請求項1之方法，其進一步包含：

執行該等分散式收發器裝置之每一者之時間及頻率同步。

【第11項】

如請求項10之方法，其中執行時間及頻率同步進一步包含：

在連接該等分散式收發器裝置之每一者之一網路上之信號傳播中引入人工(artificial)延遲。

【第12項】

如請求項10之方法，其進一步包含：

使用GPS紀律(disciplined)振盪器(GPSDO)以執行該時間及頻率同步。

【第13項】

如請求項10之方法，其進一步包含：

利用來自一電力線(power line)之一60赫茲(Hz)功率信號以執行該時間及頻率同步。

【第14項】

如請求項10之方法，其進一步包含：

使用一外部時脈參考以執行該時間及頻率同步。

【第15項】

如請求項2之方法，其中預編碼進一步包含調整該等資料流之每一者之相對相位及振幅以導致該等頻道成為非干擾頻道。

【第16項】

如請求項1之方法，其進一步包含：

藉由利用上行/下行頻道互易性(reciprocity)在該基地收發器站(BTS)處估計頻道狀態資訊(CSI)；及

在發射之前使用該CSI預編碼資料流，該預編碼導致該等頻道成為非干擾頻道。

【第17項】

如請求項16之方法，其中估計CSI進一步包含：

從該複數個無線用戶裝置之每一者透過該複數個分散式收發器裝置之每一者發射一訓練信號至該等BTS，藉由該BTS解調變該訓練信號以估計該CSI。

【第18項】

一種無線傳輸系統，其包含：

複數個無線用戶裝置；

一或多個基地收發器台(BTS)；

複數個分散式收發器裝置，其在一基地台網路(BSN)上通信地耦合至該等BTS，其中該等BTS對於自該等分散式收發器裝置之每一者至該複數個無線用戶裝置之同時發射預編碼資料流，該預編碼產生包含無線電頻率波形之一經控制建設性及破壞性干擾之故意無線電頻率干擾，以便在每一接收天線上實現資料接收且導致在該複數個

分散式收發器裝置與該複數個無線用戶裝置之間的一共同頻率內之同時複數個非干擾頻道。

【第19項】

如請求項18之系統，其中該複數個無線用戶裝置對於該等分散式收發器裝置與該等無線用戶裝置之每一者之間的通信頻道估計頻道狀態資訊(CSI)，及其中在發射之前該等BTS使用該CSI預編碼該等資料流，該預編碼導致該等頻道成為非干擾頻道。

【第20項】

如請求項19之系統，其中該等BTS自該等分散式收發器裝置發射一訓練信號至該複數個無線用戶裝置之每一者，藉由該等無線用戶裝置之每一者解調變該訓練信號以估計該CSI。

【第21項】

如請求項19之系統，其中該BTS使用接收自該複數個無線用戶裝置之每一者之該CSI計算複數個預編碼權重以預編碼該等資料流，該等預編碼權重之每一者與具有一特定無線用戶裝置之一通信頻道相關聯。

【第22項】

如請求項19之系統，其中一BTS自一無線用戶裝置接收對於網路內容之一請求，在一資料網路上轉遞該請求至具有儲存經請求之網路內容於其上之一伺服器，自含有該經請求之網路內容之該伺服器接收一回應，及在自該等分散式收發器裝置之發射之前使用該CSI預編碼含有該經請求之網路內容之一資料流。

【第23項】

如請求項19之系統，其中該BSN包含至少一光纖通信鏈路。

【第24項】

如請求項18之系統，其中該等無線用戶裝置對於該等分散式收發器裝置與該等無線用戶裝置之每一者之間的通信頻道估計頻道狀態資訊(CSI)，及其中該等BTS使用該CSI預編碼資料流以產生經預編碼之基頻帶資料流且在該BSN上發射該等經預編碼之基頻帶資料流至該等分散式收發器裝置，該等分散式收發器裝置之每一者具有用於在發射之前以一特定載體頻率調變該等經預編碼之基頻帶資料流之一收發器。

【第25項】

如請求項18之系統，其中該等無線用戶裝置對於該等分散式收發器裝置與該等無線用戶裝置之每一者之間的通信頻道估計頻道狀態資訊(CSI)，及其中該等BTS使用該CSI預編碼資料流以產生經預編碼之基頻帶資料流且以一特定載體頻率調變該等經預編碼之基頻帶資料流以產生經調變經預編碼之資料流，及在該BSN上發射該等經調變經預編碼之資料流至該等分散式收發器裝置。

【第26項】

如請求項19之系統，其中該等BTS及/或該等分散式收發器裝置在發射之前執行該等經預編碼之資料流之每一者之時間及頻率同步。

【第27項】

如請求項26之系統，其中執行時間及頻率同步進一步包含在該BSN上之信號傳播中引入人工延遲。

【第28項】

如請求項26之系統，其中執行時間及頻率同步進一步包含：

在該等BTS及/或該等分散式收發器裝置處之GPS紀律

(disciplined)振盪器(GPSDO)經組態用於執行該時間及頻率同步。

【第29項】

如請求項26之系統，其進一步包含：

一電力線，其提供一60赫茲(Hz)功率信號至該等BTS及/或該等分散式收發器裝置以執行該時間及頻率同步。

【第30項】

如請求項26之系統，其進一步包含：

一外部時脈參考，其耦合至該等BTS及/或該等分散式收發器裝置用於執行該時間及頻率同步。

【第31項】

如請求項19之系統，其中預編碼進一步包含調整該等資料流之每一者之相對相位及振幅以導致該等頻道成為非干擾頻道。

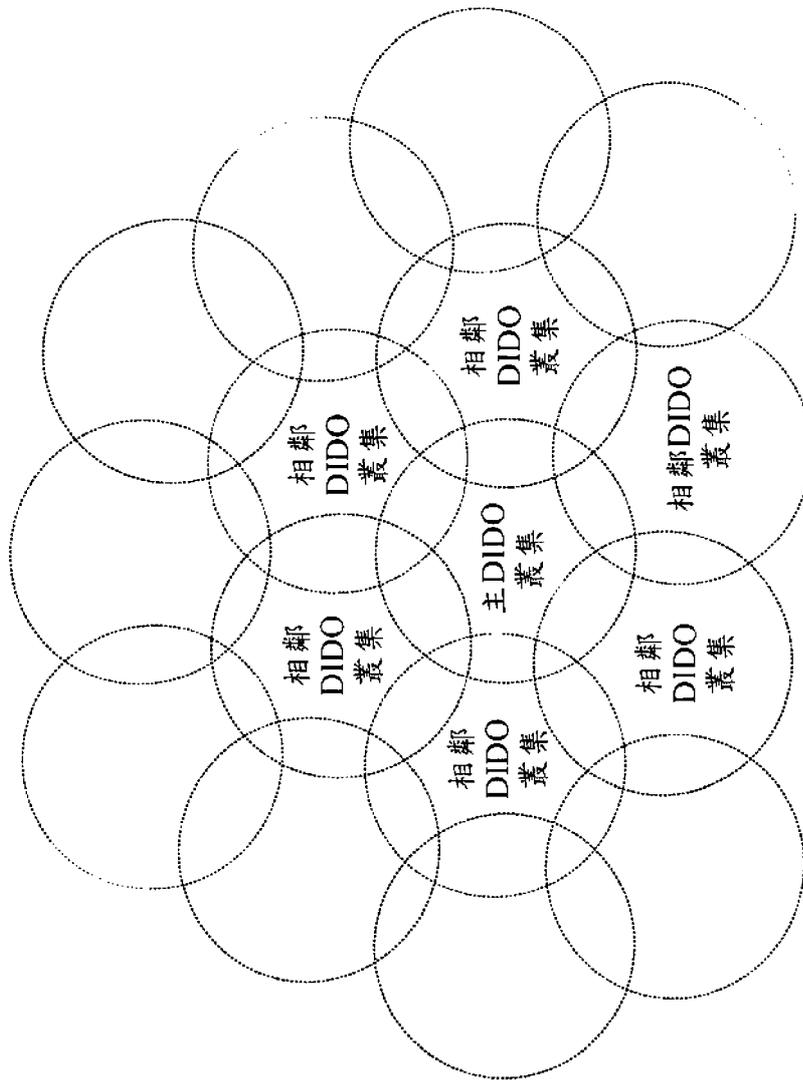
【第32項】

如請求項18之系統，其中該基地台對於該等無線用戶裝置與該等分散式收發器裝置之每一者之間的通信頻道估計頻道狀態資訊(CSI)，及其中該BTS在發射之前使用該CSI預編碼該等資料流，該預編碼導致該等頻道成為非干擾頻道。

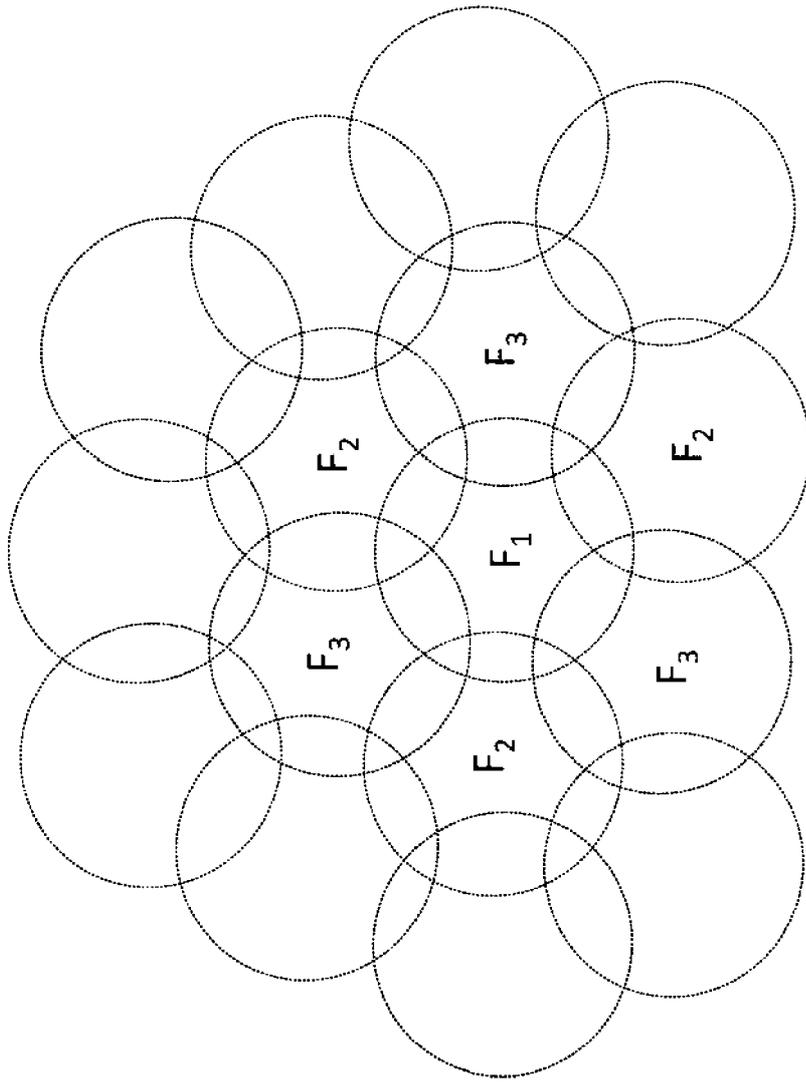
【第33項】

如請求項32之系統，其中該等無線用戶裝置透過該複數個分散式收發器裝置之每一者發射一訓練信號至該BTS，藉由該BTS解調變該訓練信號以估計該CSI。

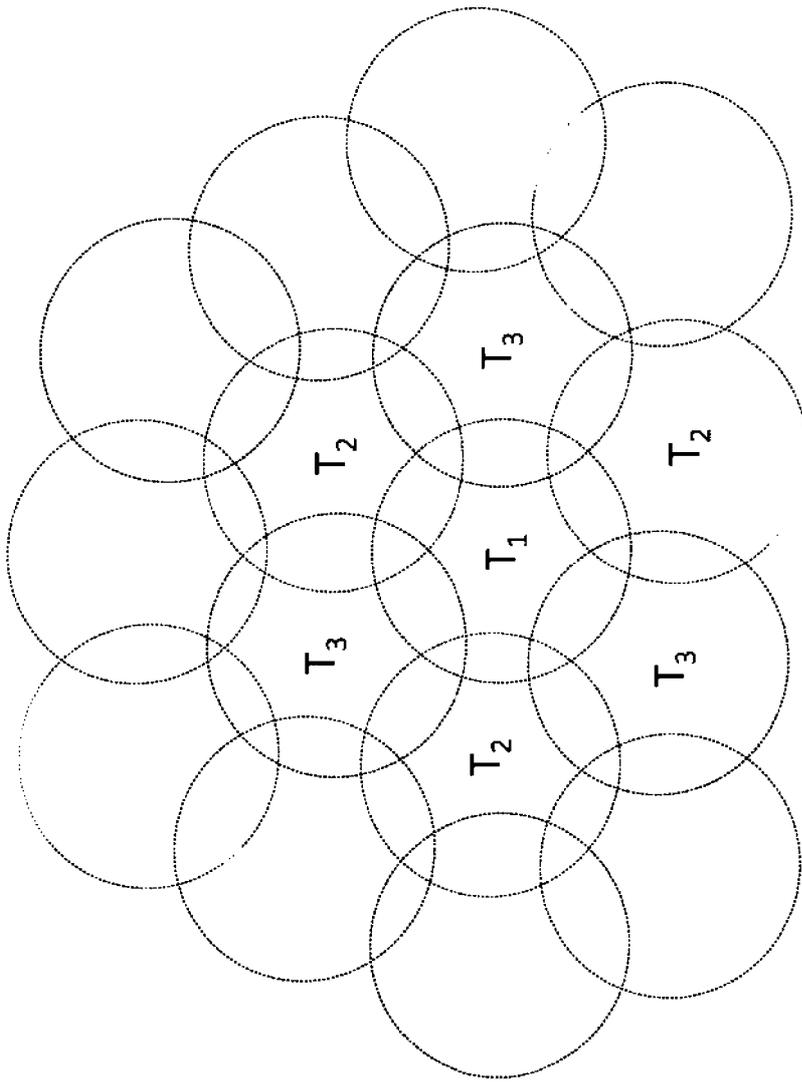
【發明圖式】



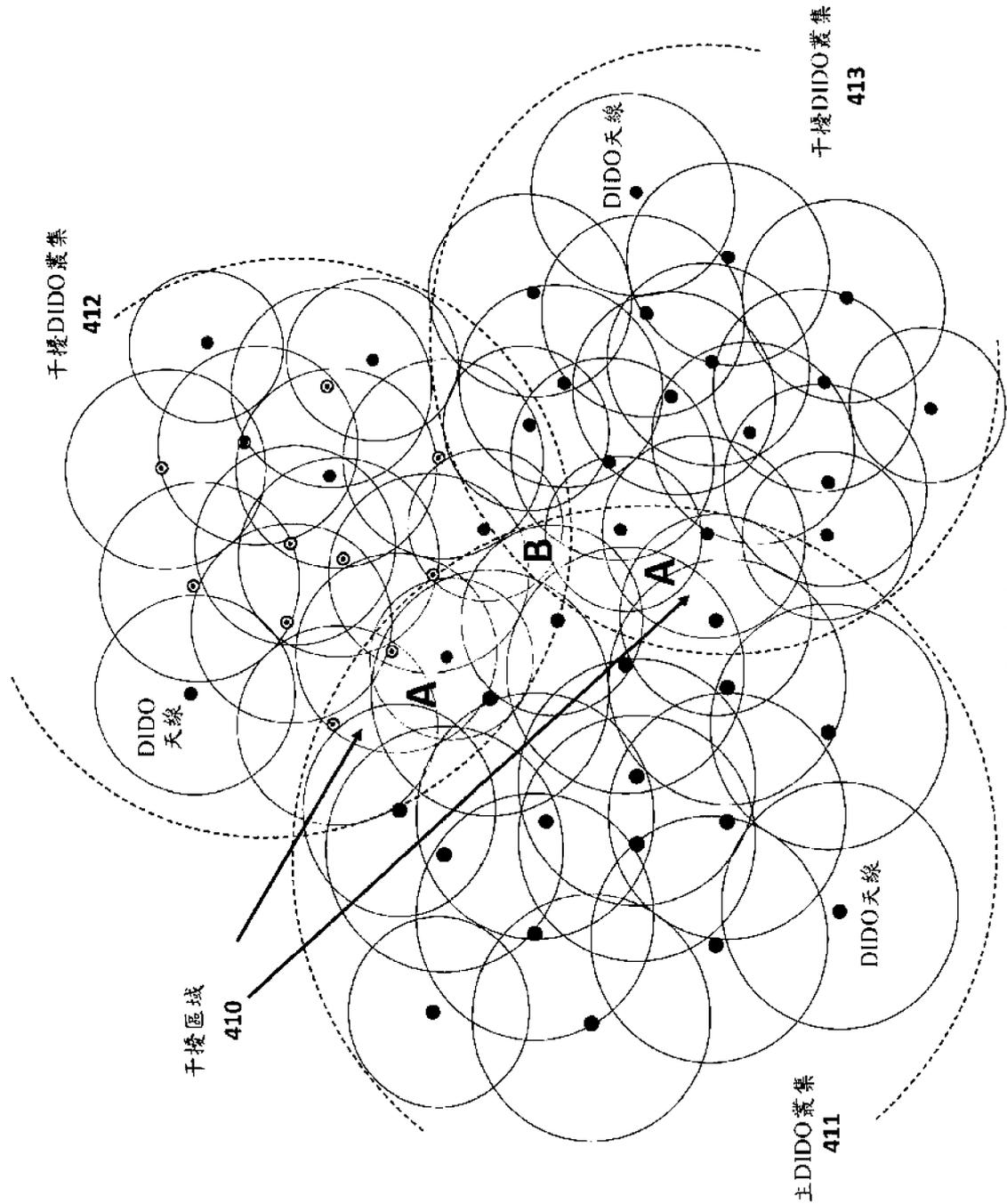
【圖1】



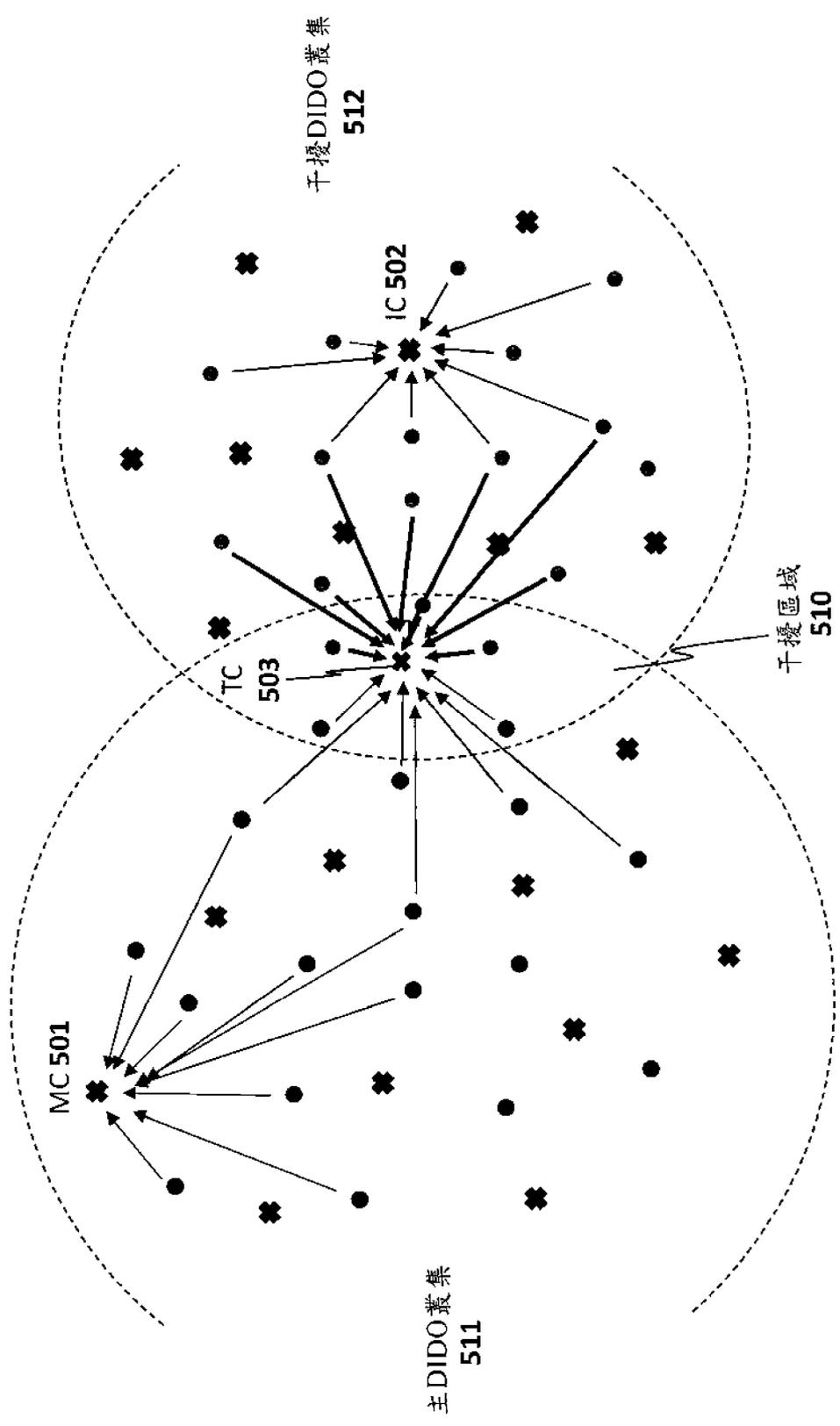
【圖2】



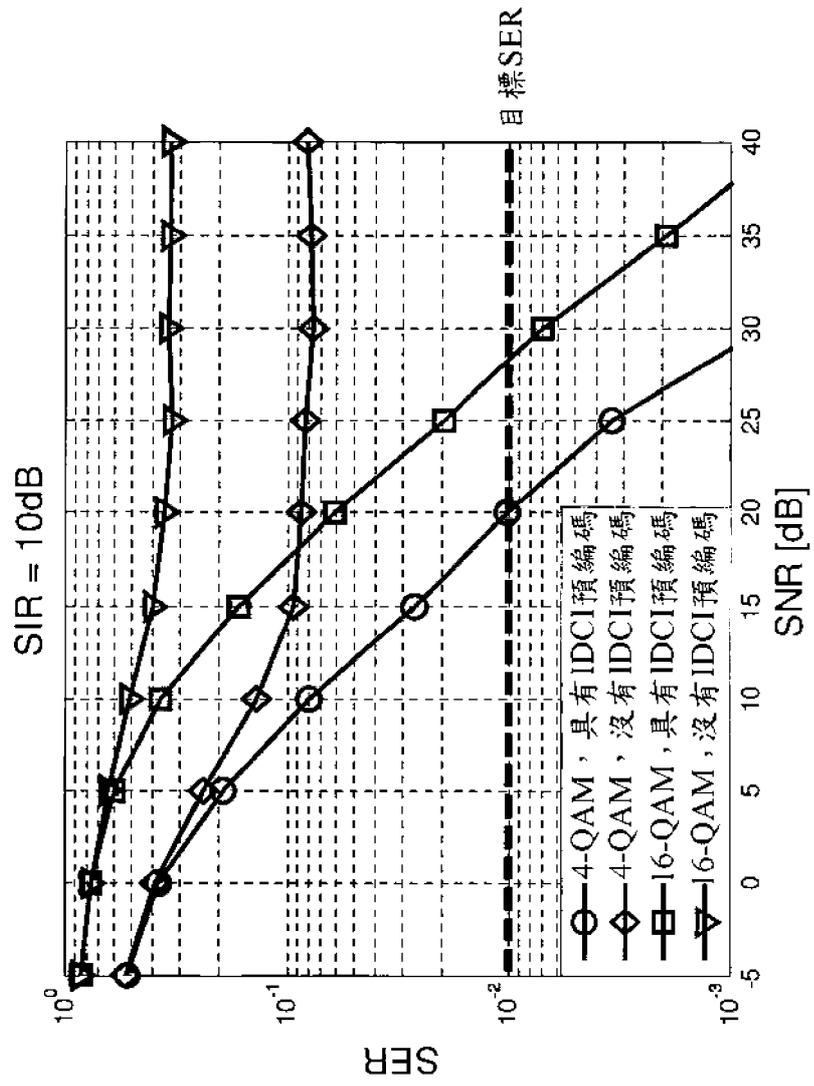
【圖3】



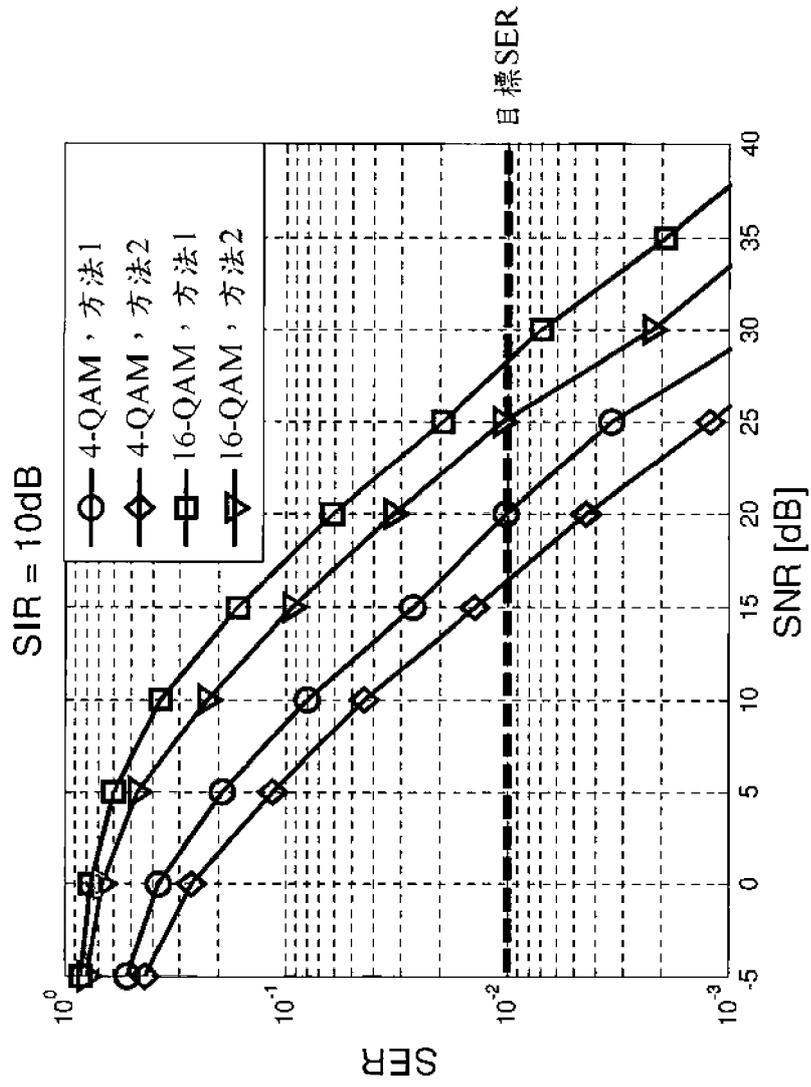
【圖4】



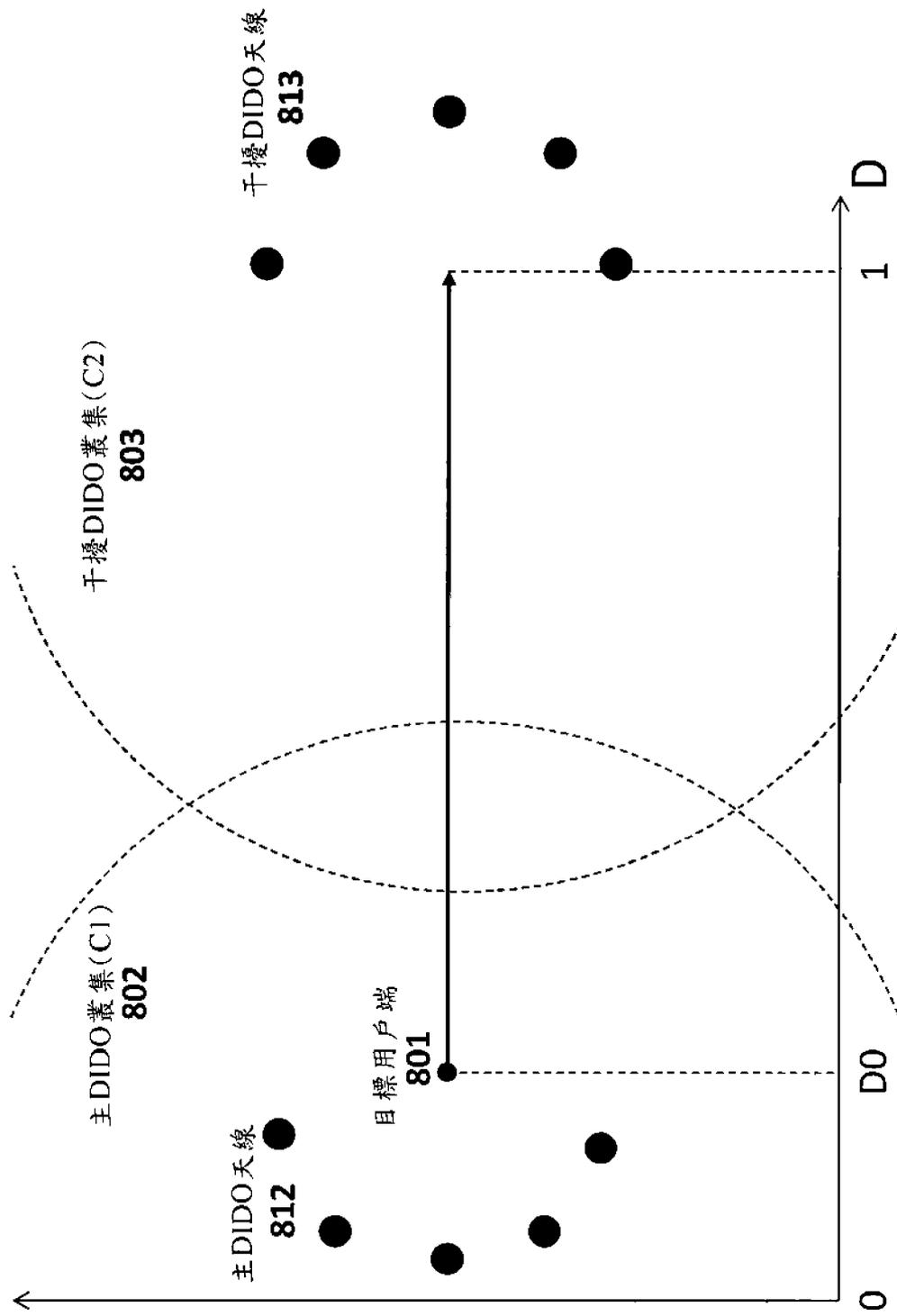
【圖5】



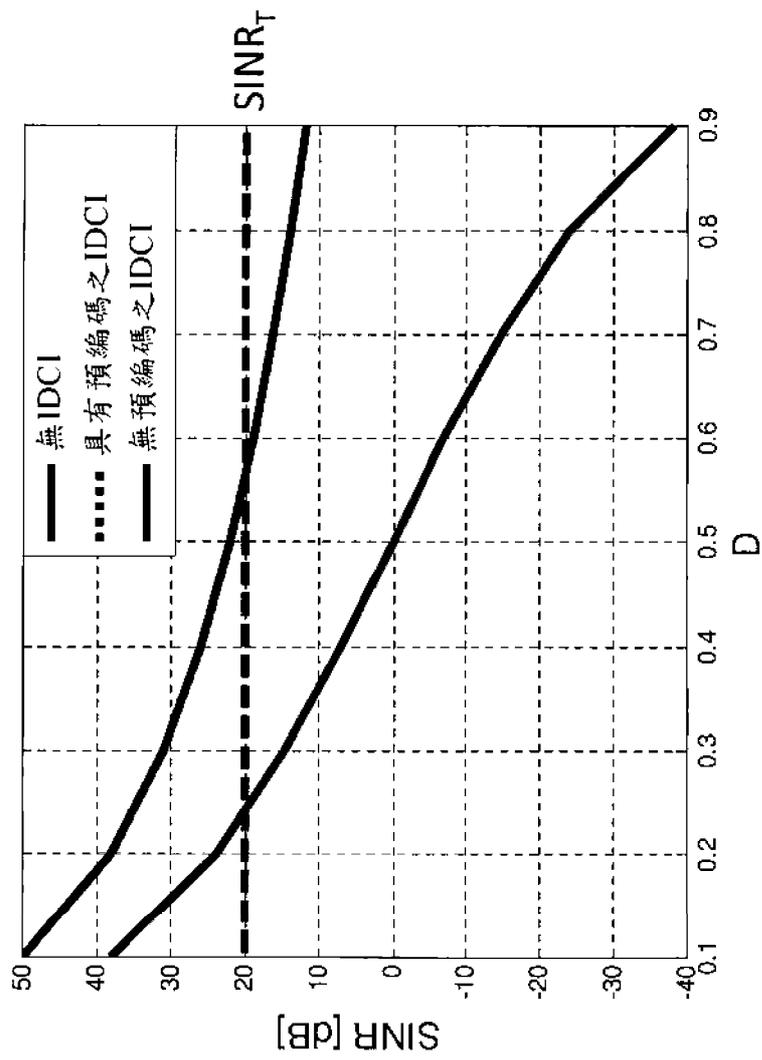
【圖6】



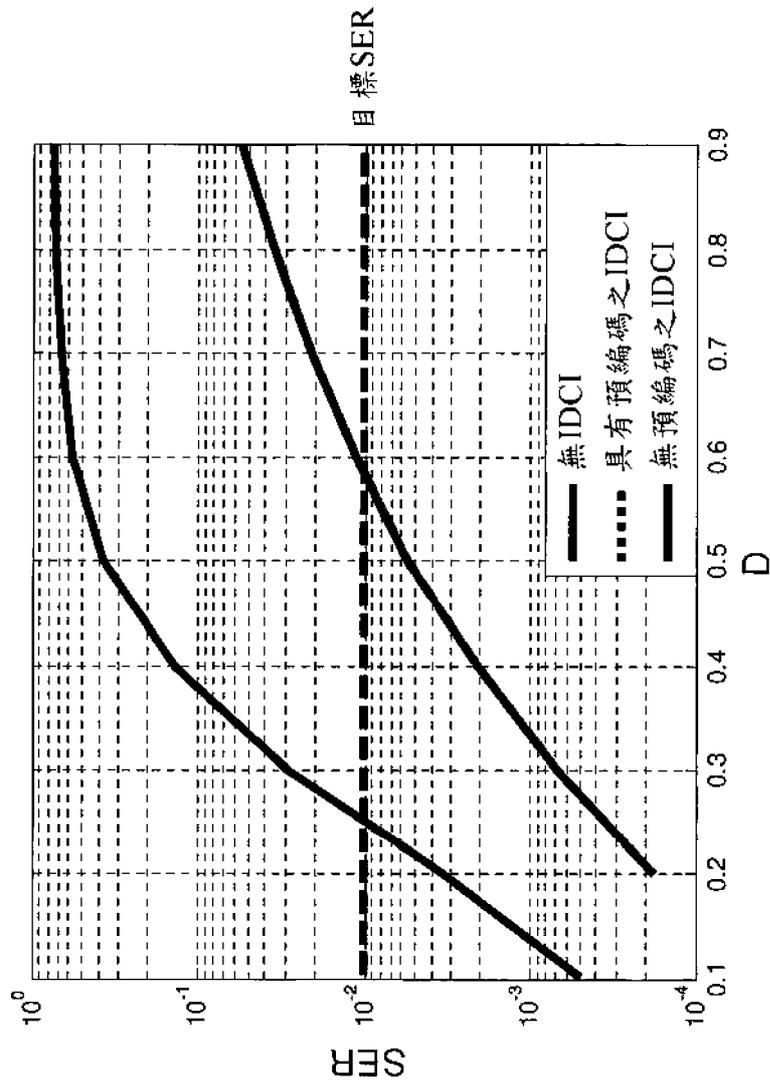
【圖7】



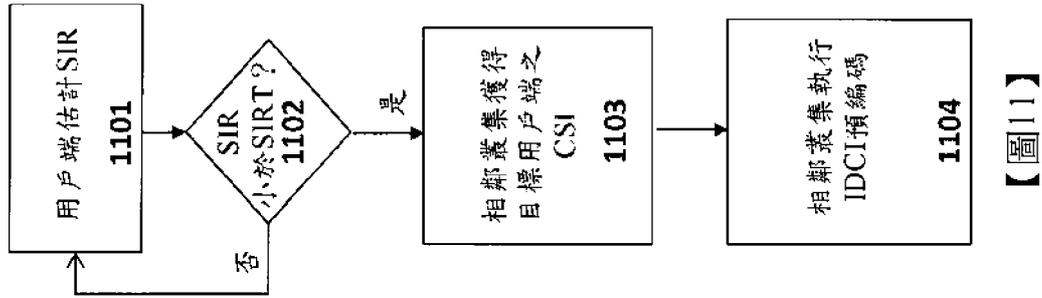
【圖8】



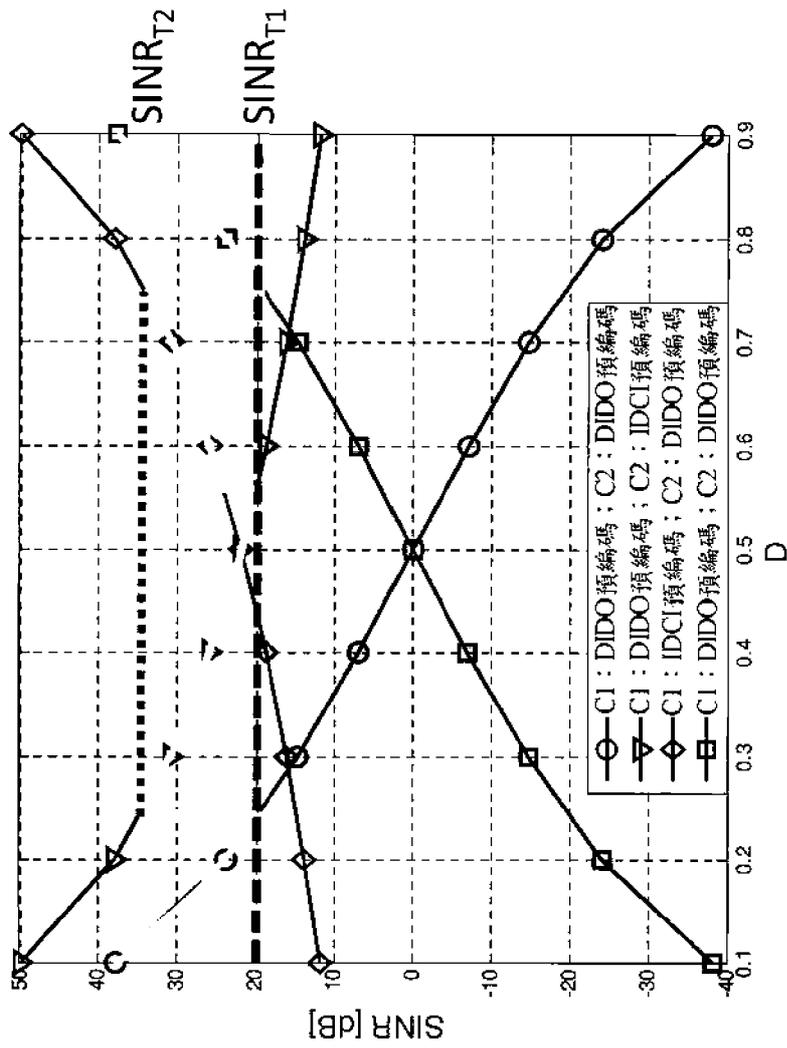
【圖9】



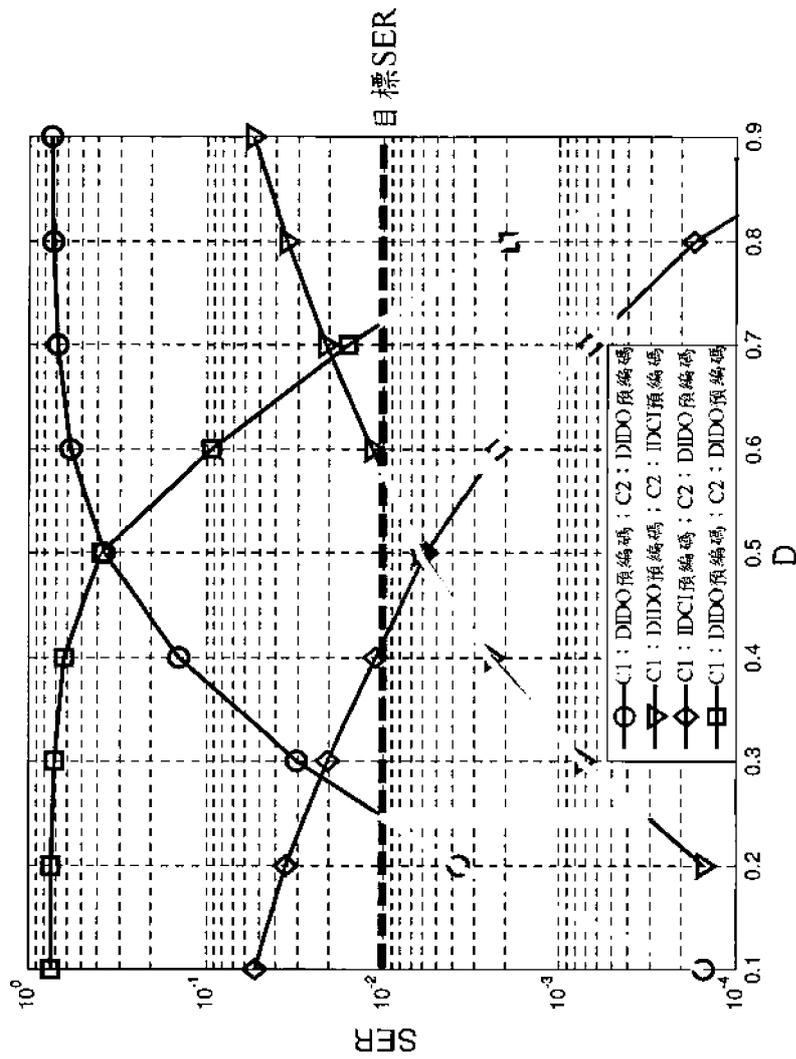
【圖10】



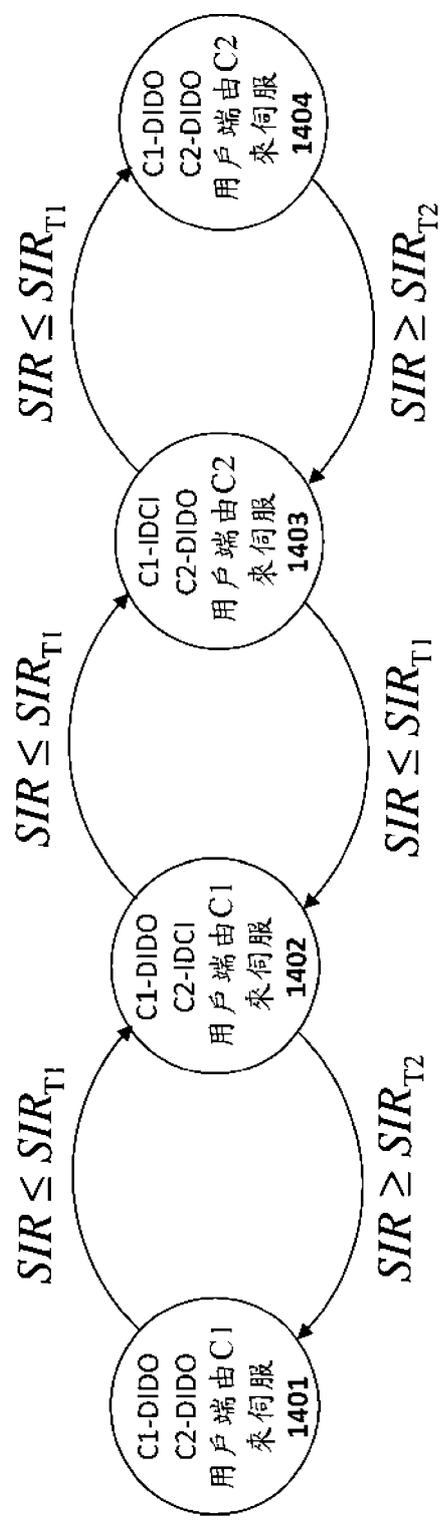
【圖11】



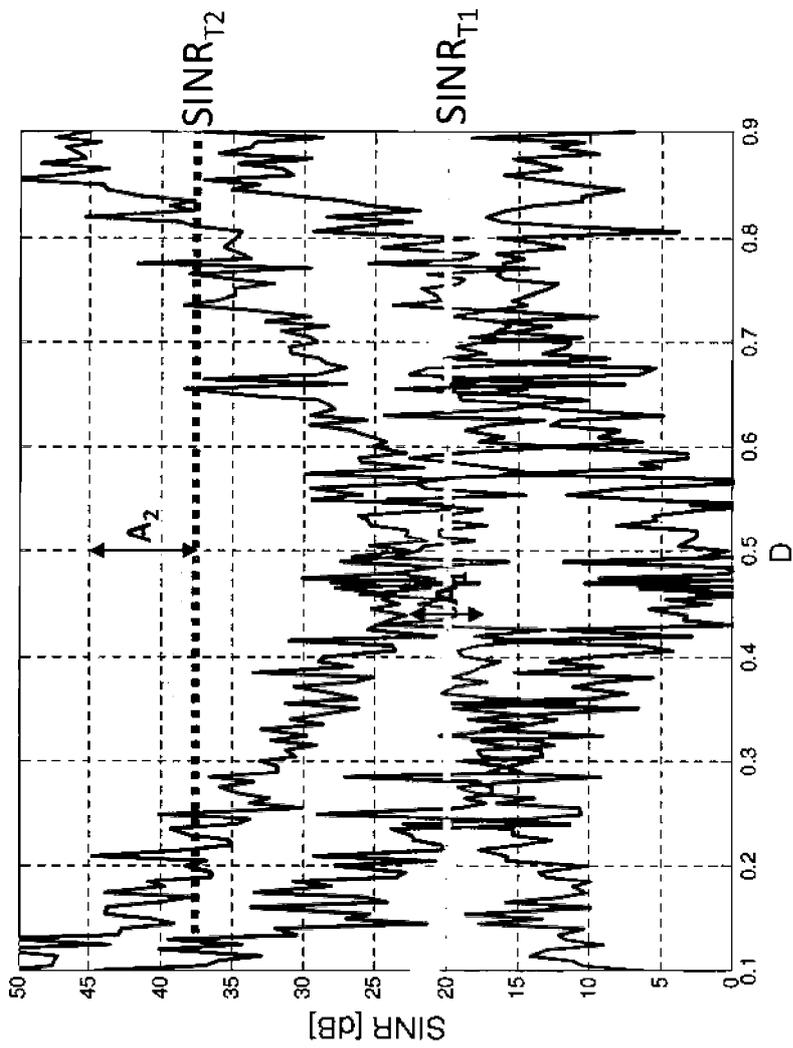
【圖12】



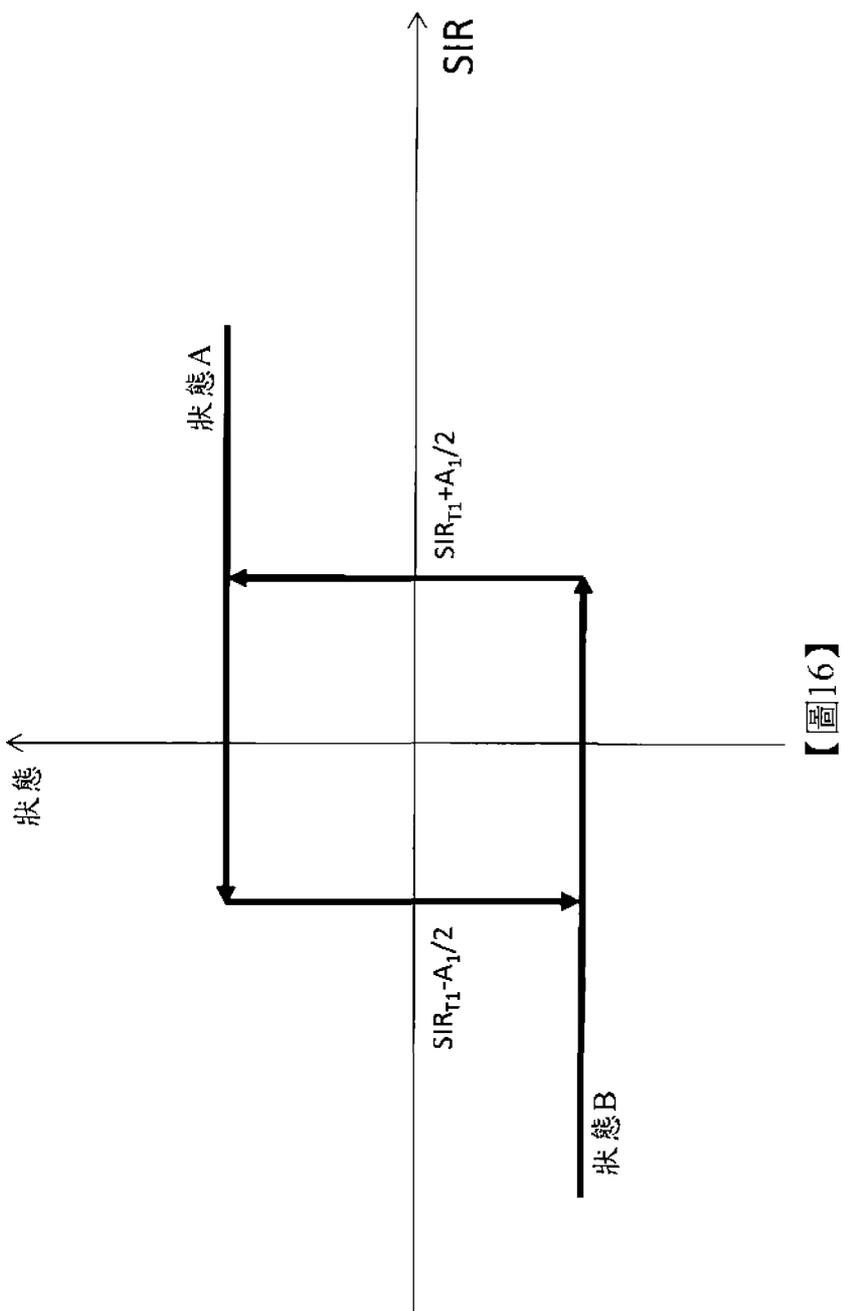
【圖13】

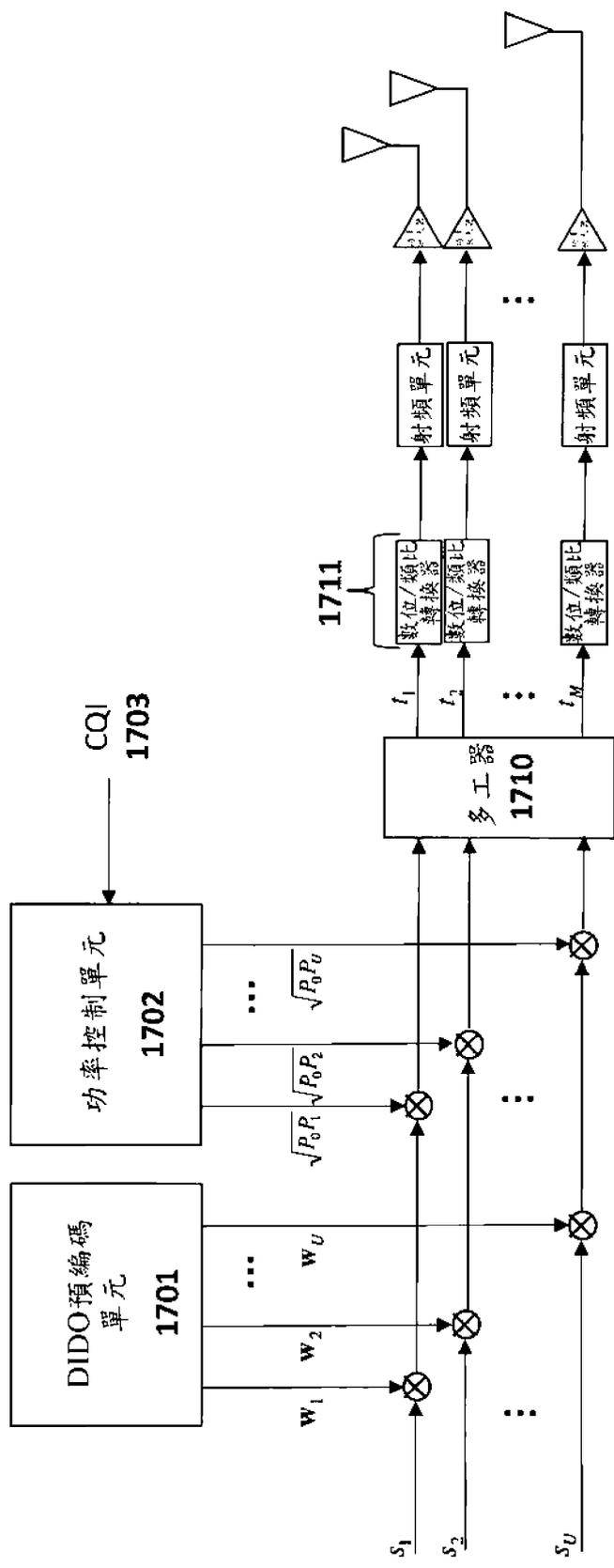


【圖14】

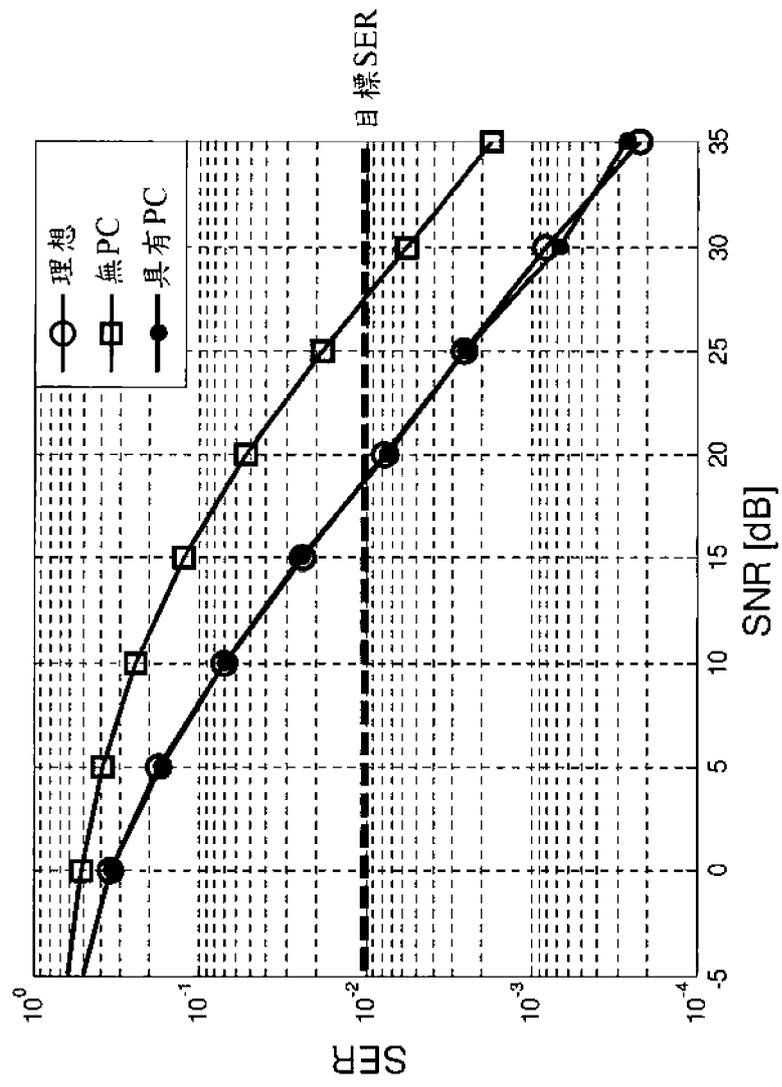


【圖15】

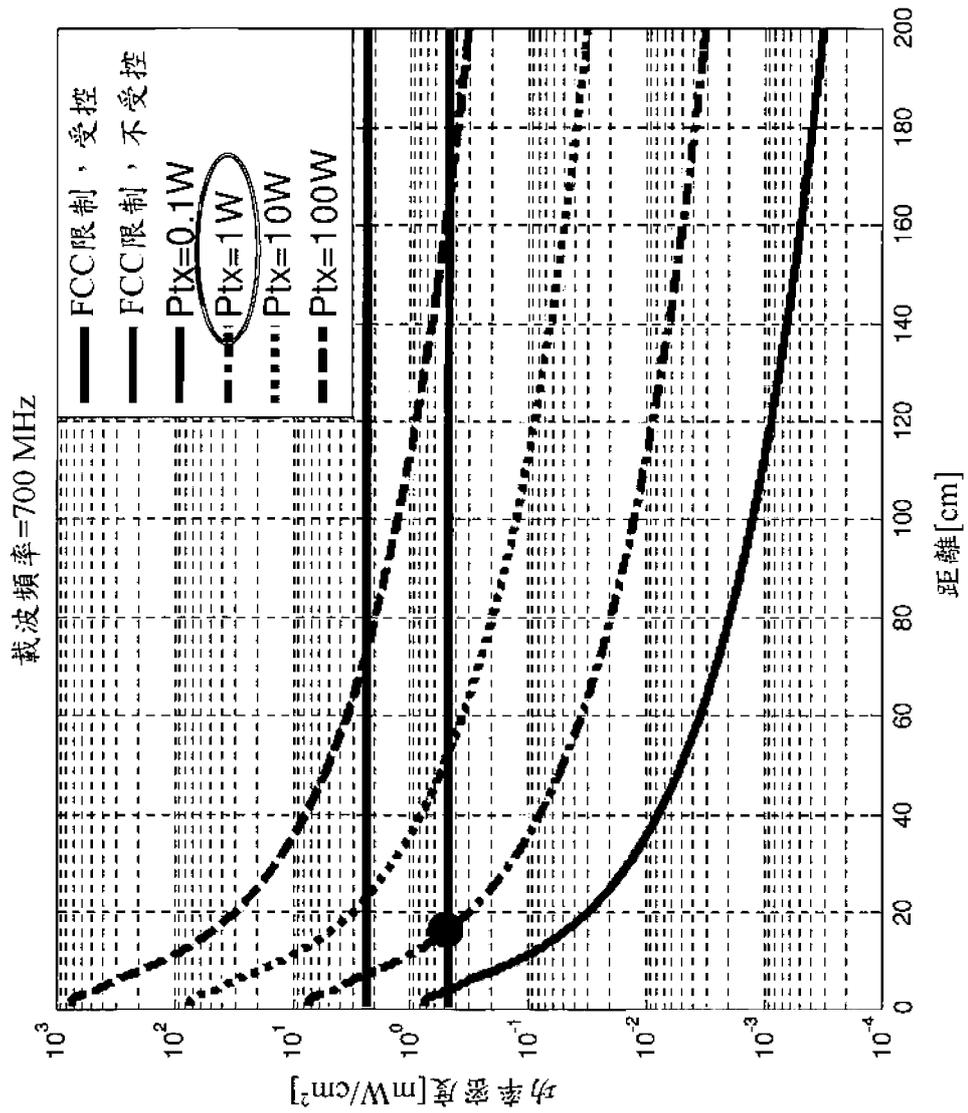




【圖17】

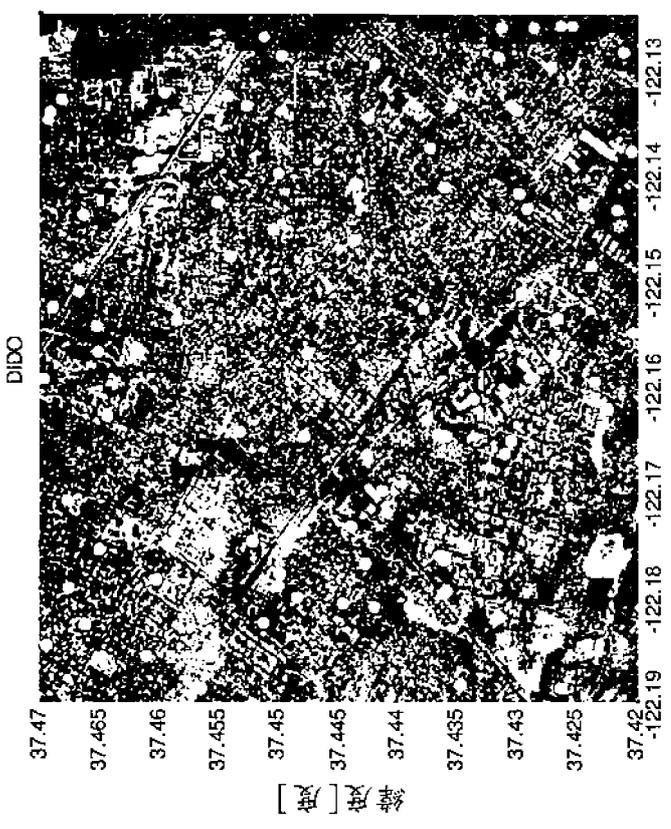


【圖18】



【圖 19】

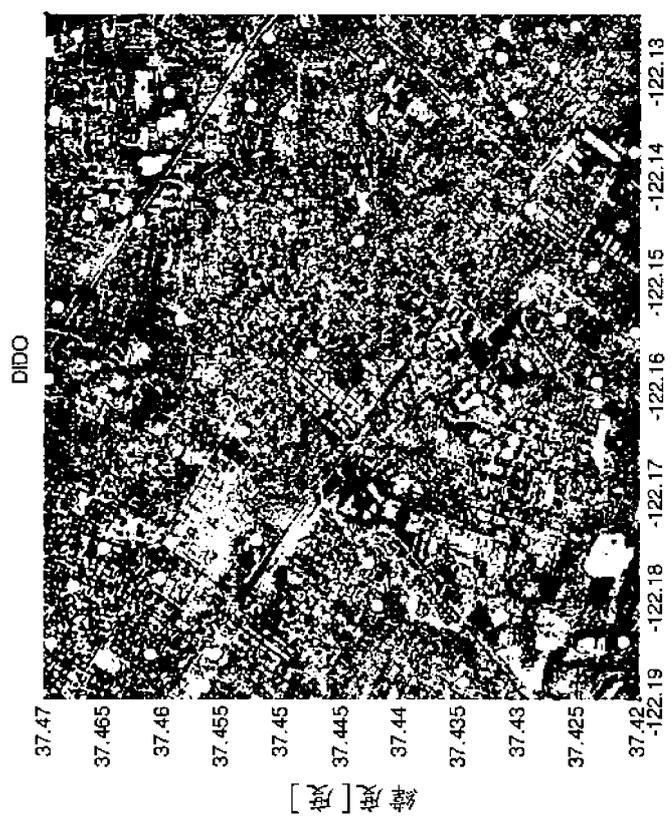
$N_{HP}=0, N_{LP}=100$



經度[度]

【圖20a】

$N_{HP}=50, N_{LP}=50$

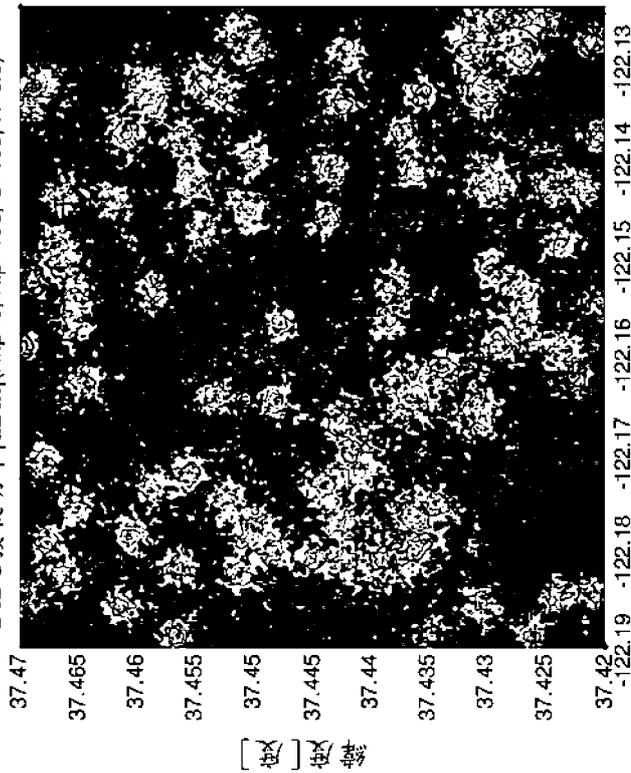


經度[度]

【圖20b】

$N_{HP}=0, N_{LP}=100$

DIDO接收功率 [dBm] (Nhp=0, Nlp=100, U=100, K=0.9)

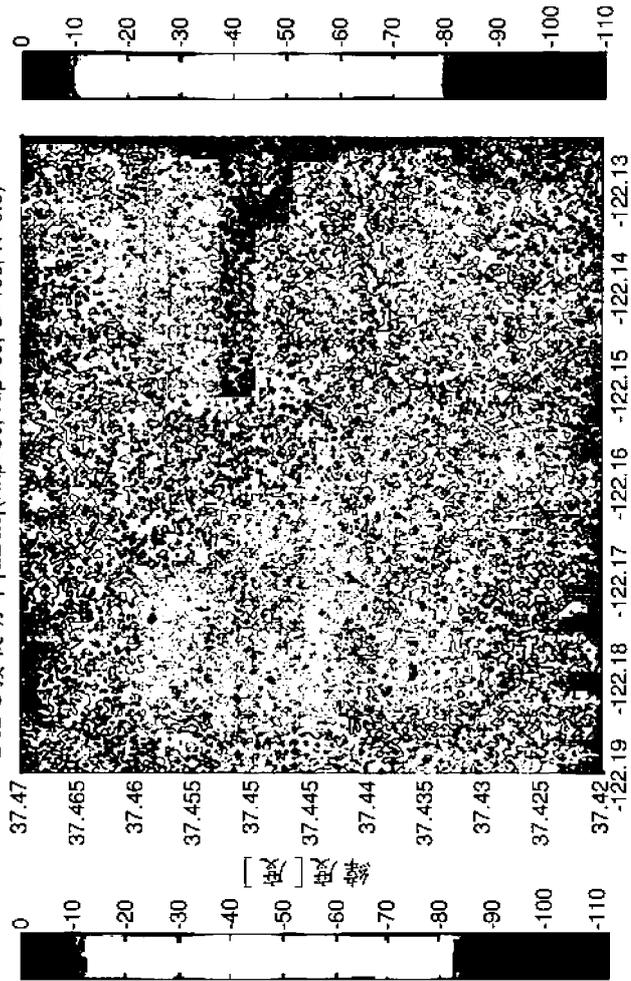


經度 [度]

【圖21a】

$N_{HP}=50, N_{LP}=50$

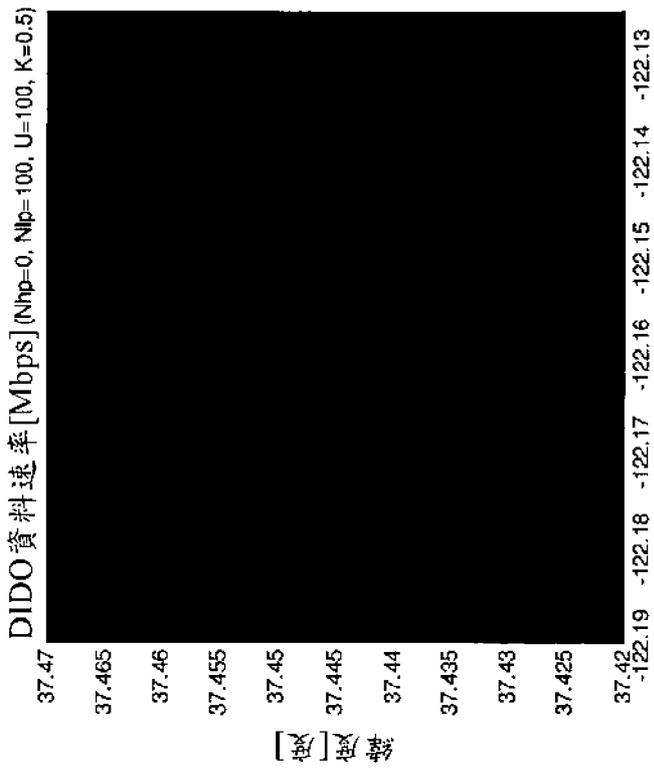
DIDO接收功率 [dBm] (Nhp=50, Nlp=50, U=100, K=0.9)



經度 [度]

【圖21b】

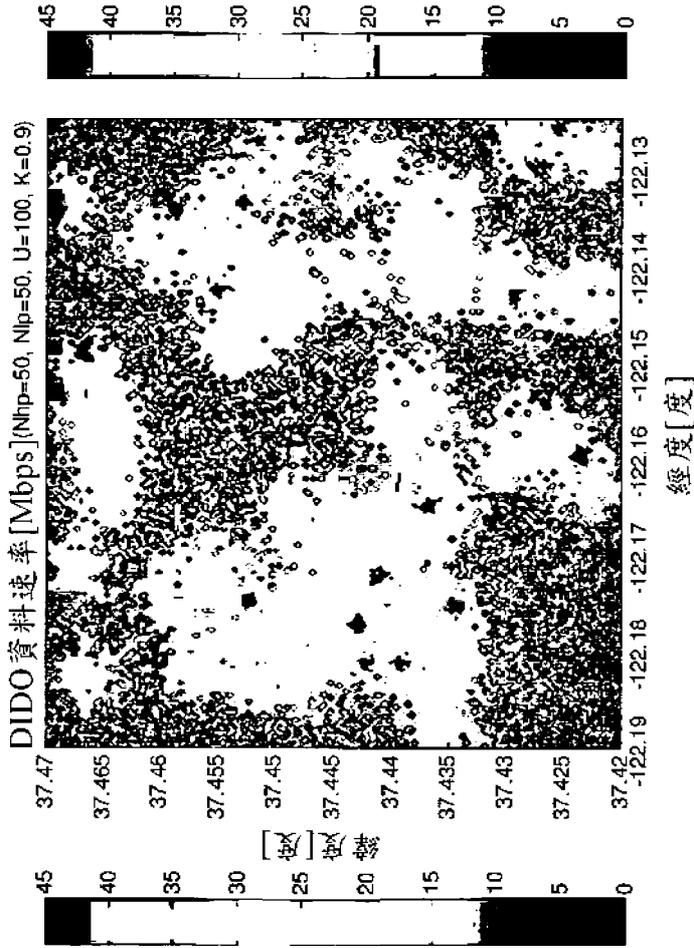
$N_{HP}=0, N_{LP}=100$



- 無 HP 台
- 5 MHz 至 100 LP 台
- 使用者資料速率 **2.4Mbps**

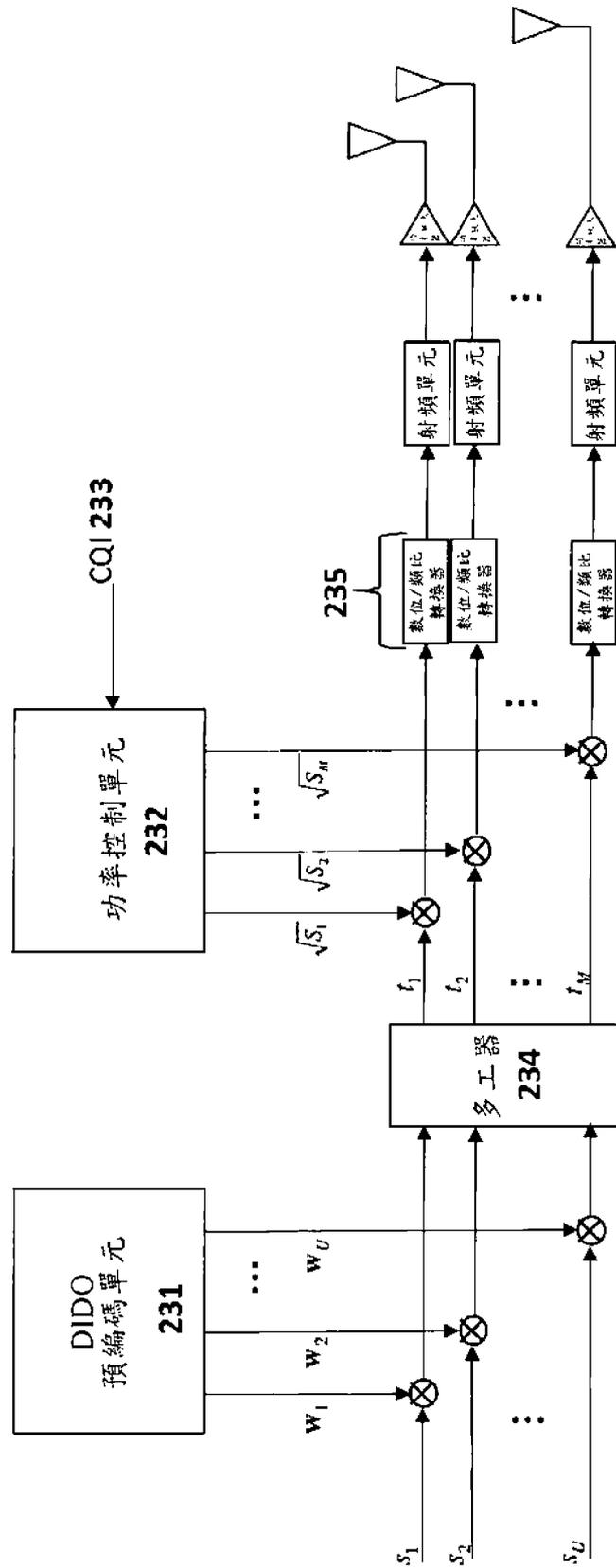
【圖 22a】

$N_{HP}=50, N_{LP}=50$

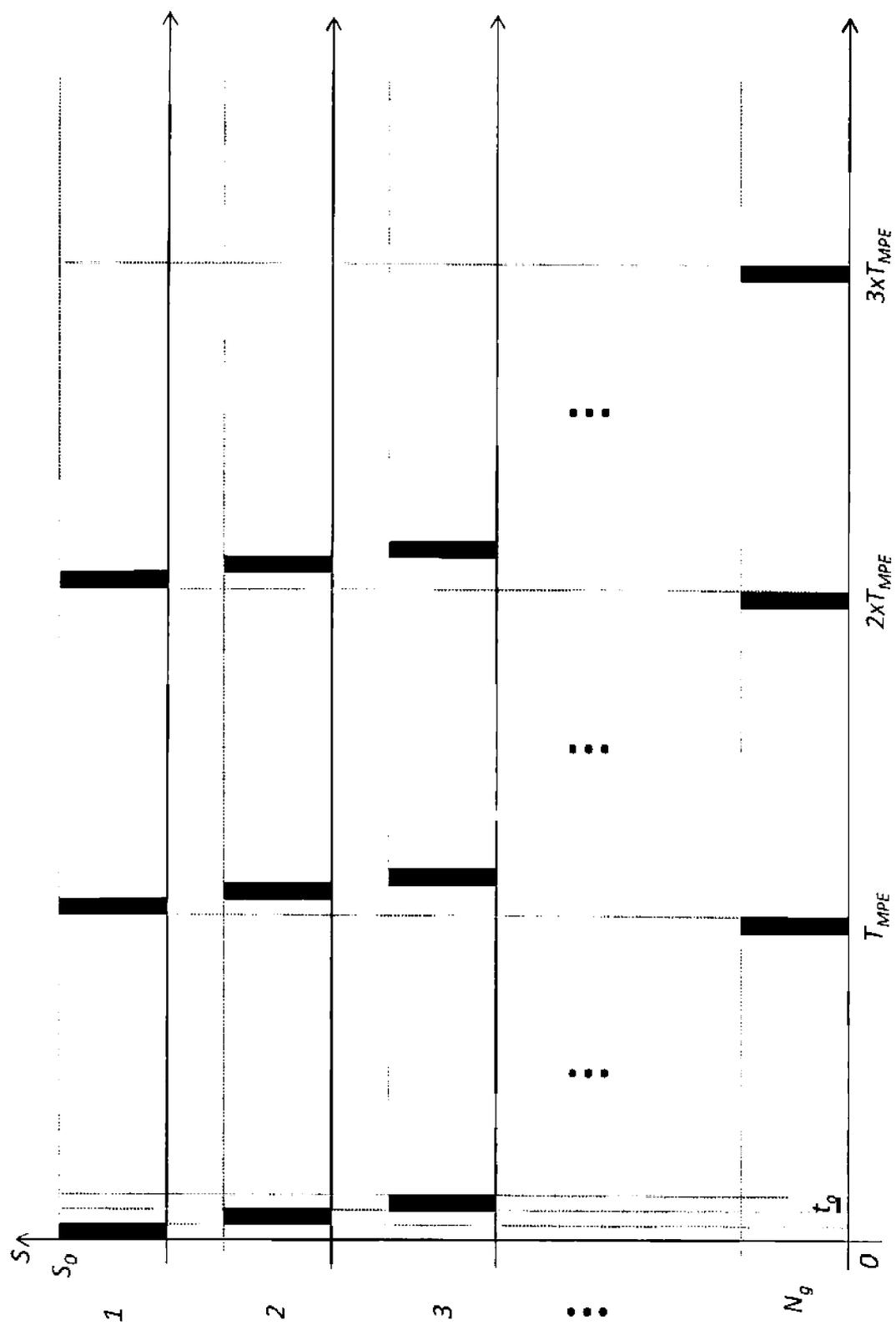


- 9 MHz 至 50 HP 台
- 1 MHz 至 50 LP 台
- 使用者資料速率 **38Mbps**

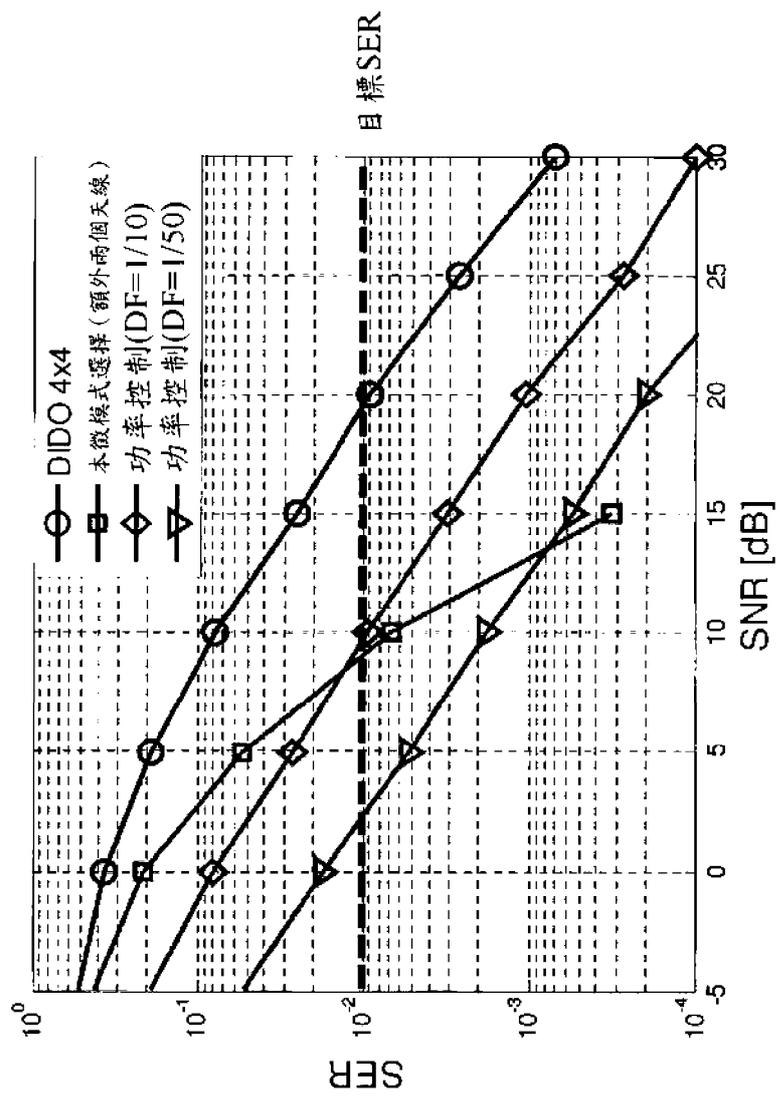
【圖 22b】



【圖23】



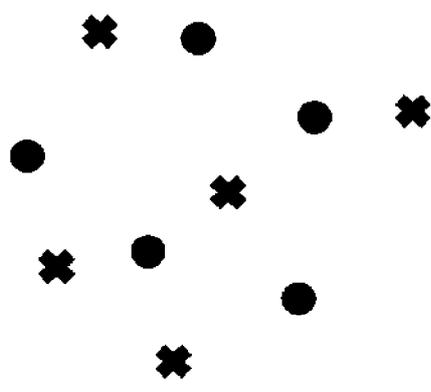
【圖24】



【圖25】

$$E\{|H|^2\}$$

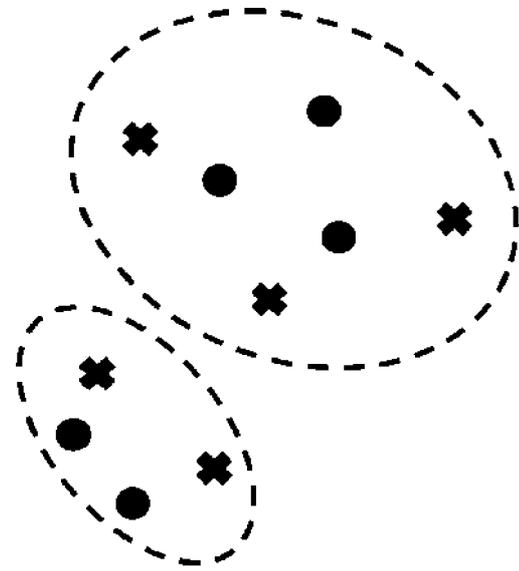
0.9945	1.0025	0.9951	0.9987	1.0054
0.9977	1.0195	0.9811	1.0142	1.0125
0.9857	0.9953	0.9952	1.0268	0.9988
0.9917	0.9853	1.0135	1.0053	0.9828
0.9981	0.9923	0.9973	0.9915	1.0250



【圖26a】

$$E\{|H|^2\}$$

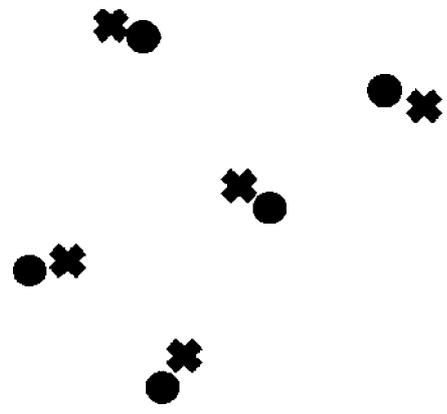
1.0163	0.9877	0	0	0
1.0317	0.9755	0	0	0
0	0	0.9904	0.9917	1.0002
0	0	1.0300	0.9748	1.0116
0	0	0.9978	1.0253	0.9953



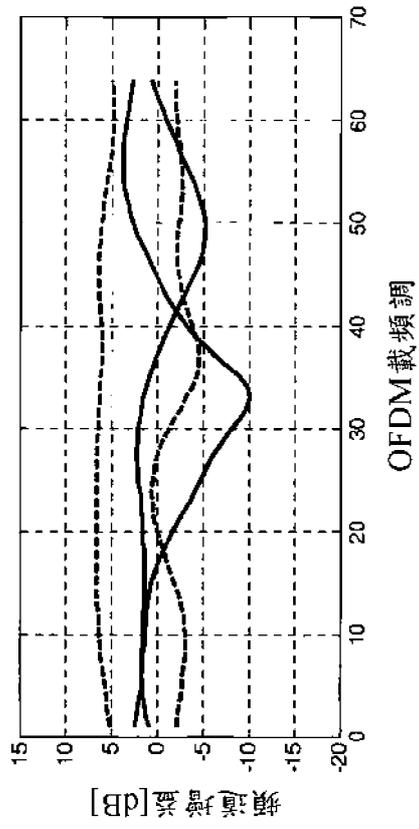
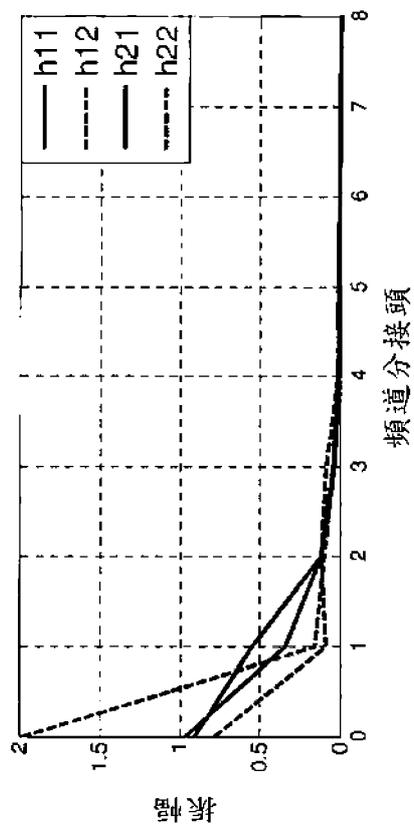
【圖26b】

$$E\{|H|^2\}$$

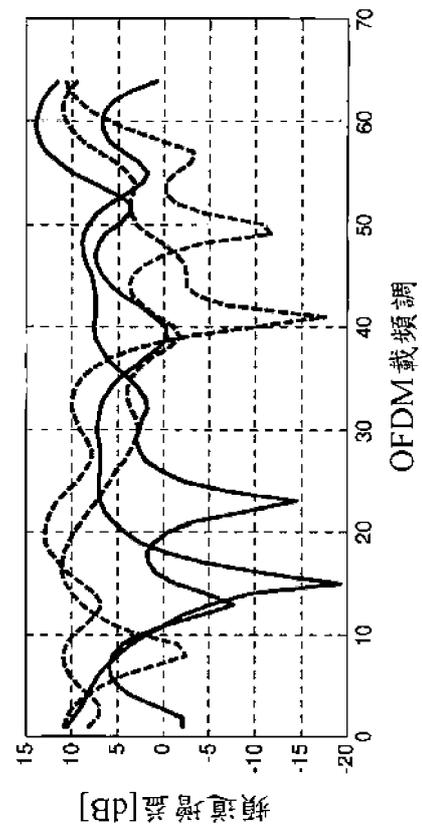
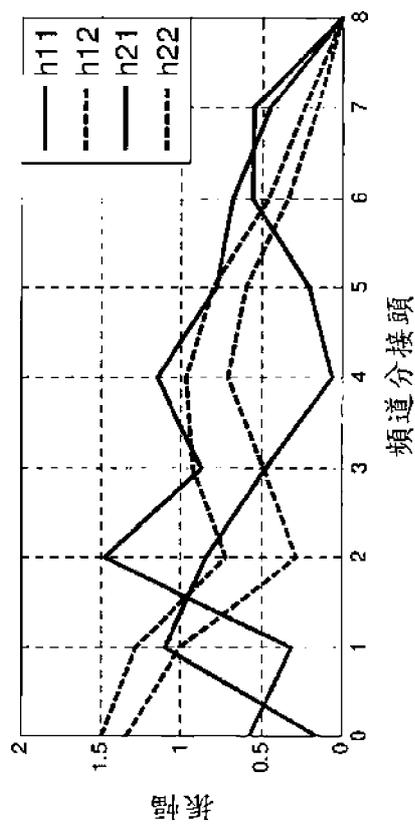
1.0298	0	0	0	0
0	0.9903	0	0	0
0	0	1.0033	0	0
0	0	0	1.0255	0
0	0	0	0	1.0143



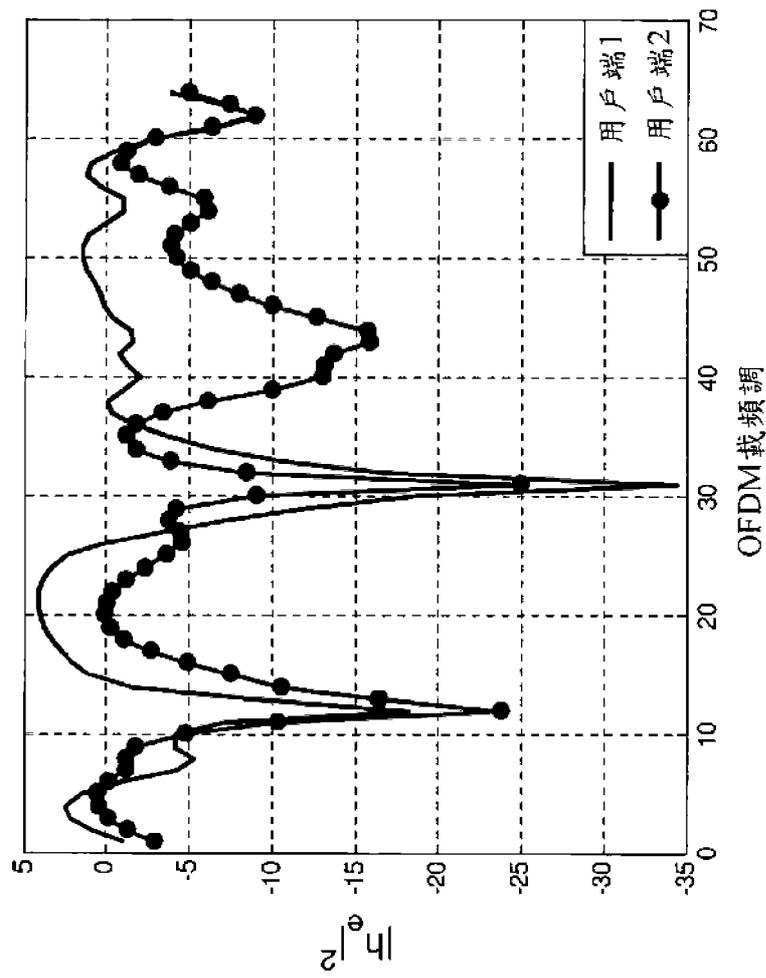
【圖26c】



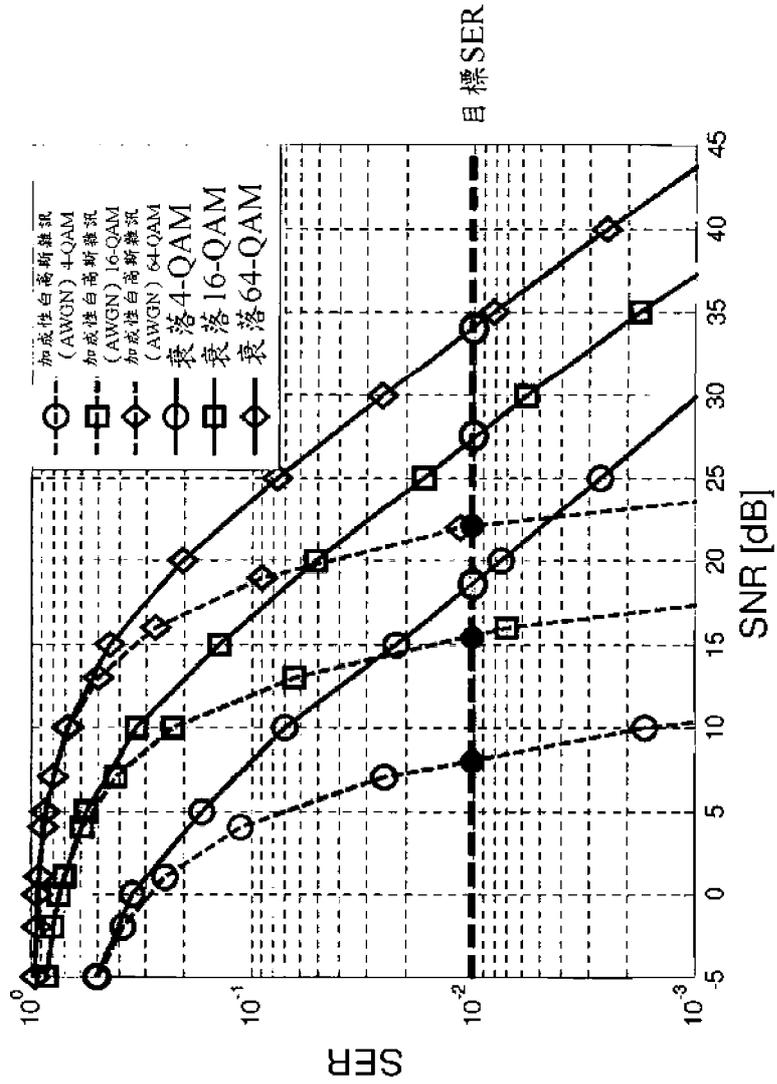
【圖27】



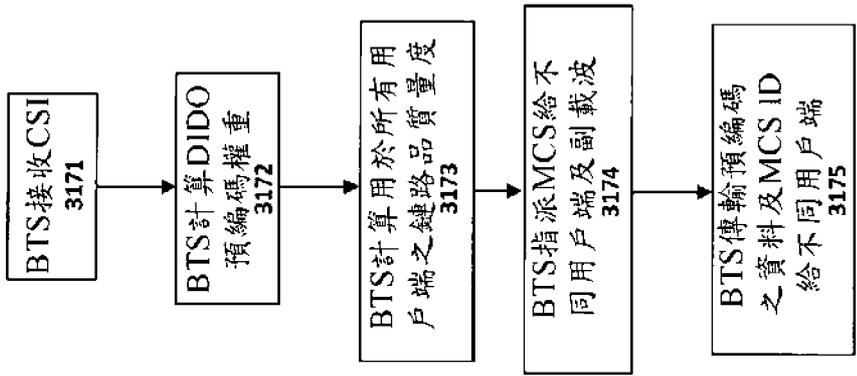
【圖28】



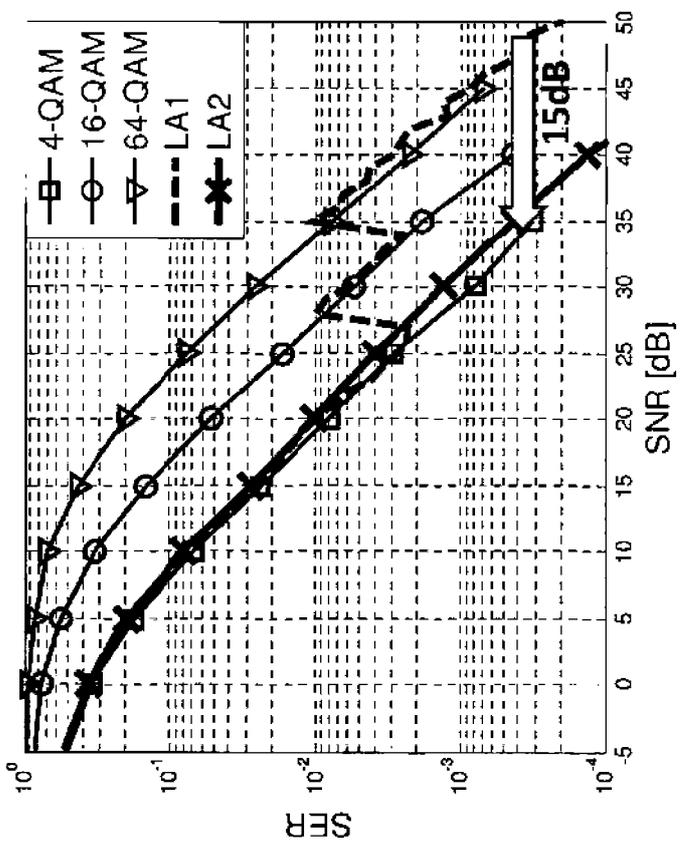
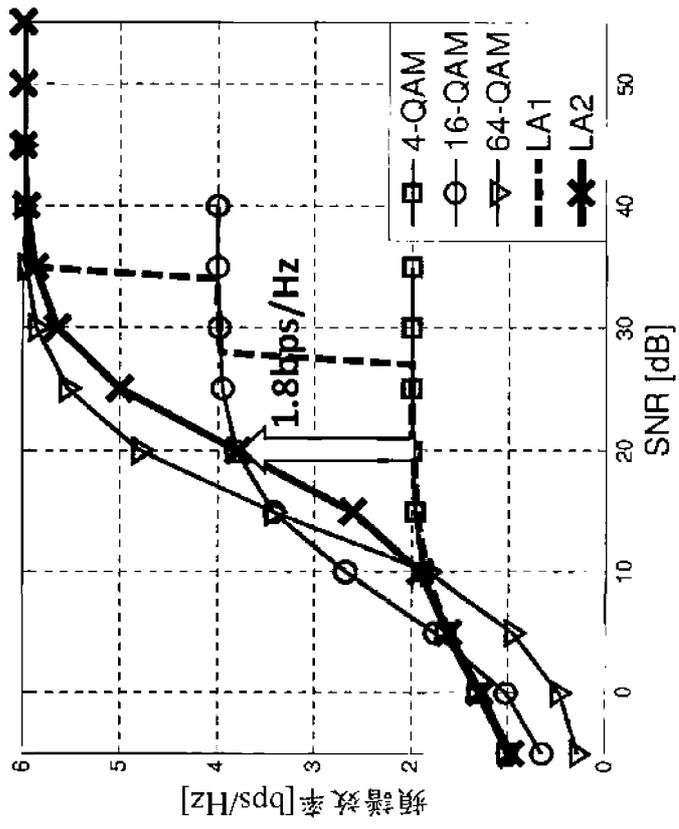
【圖29】



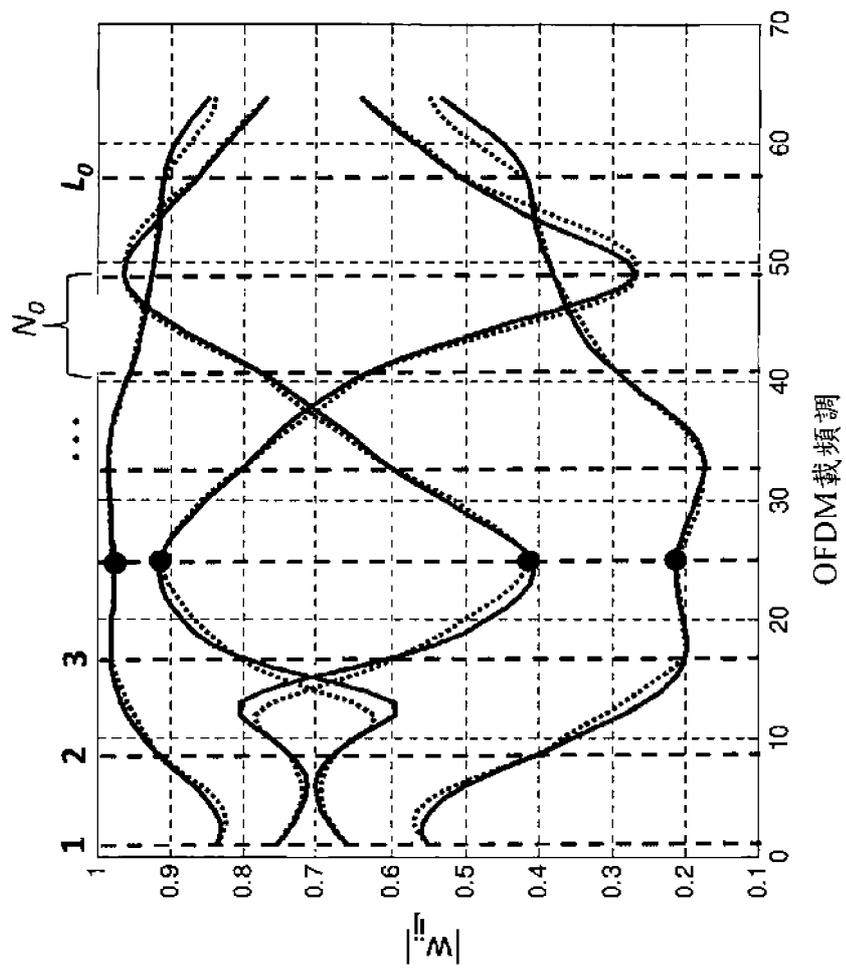
【圖30】



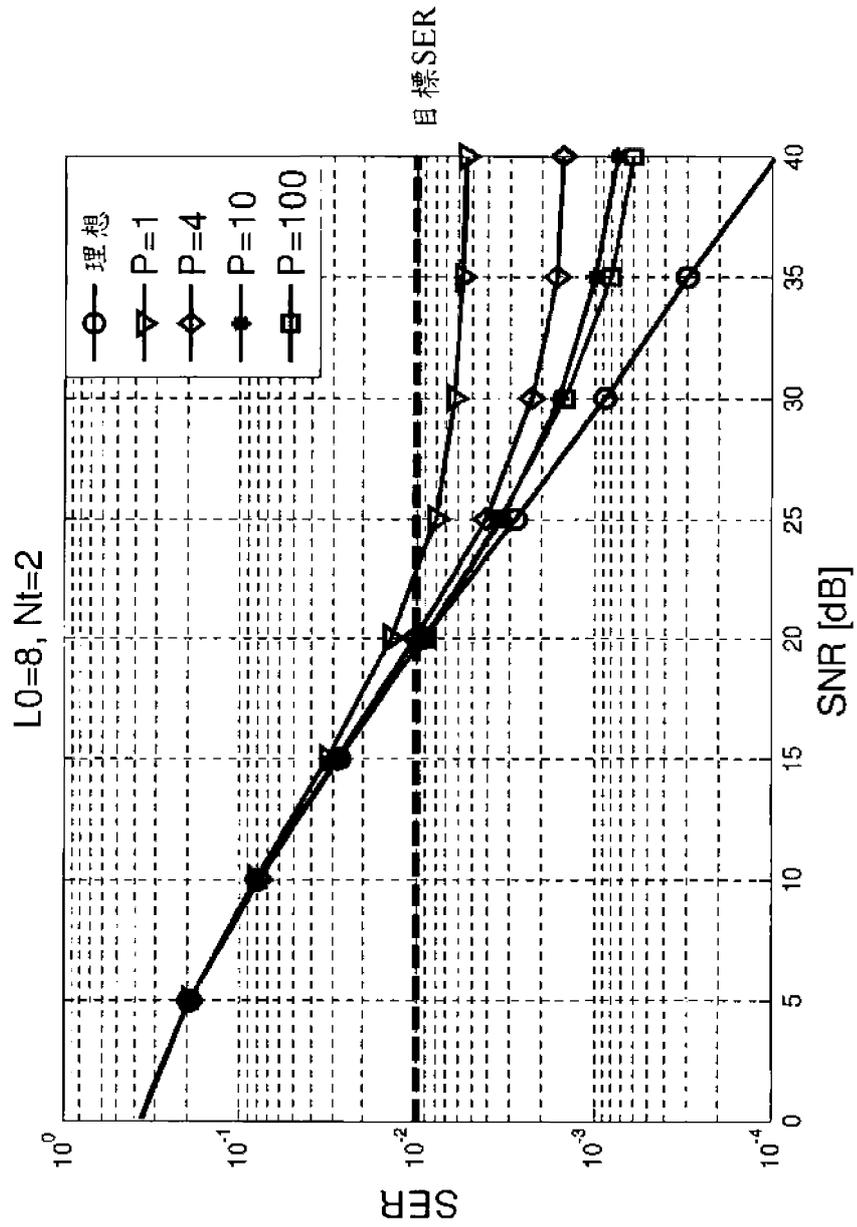
【圖31】



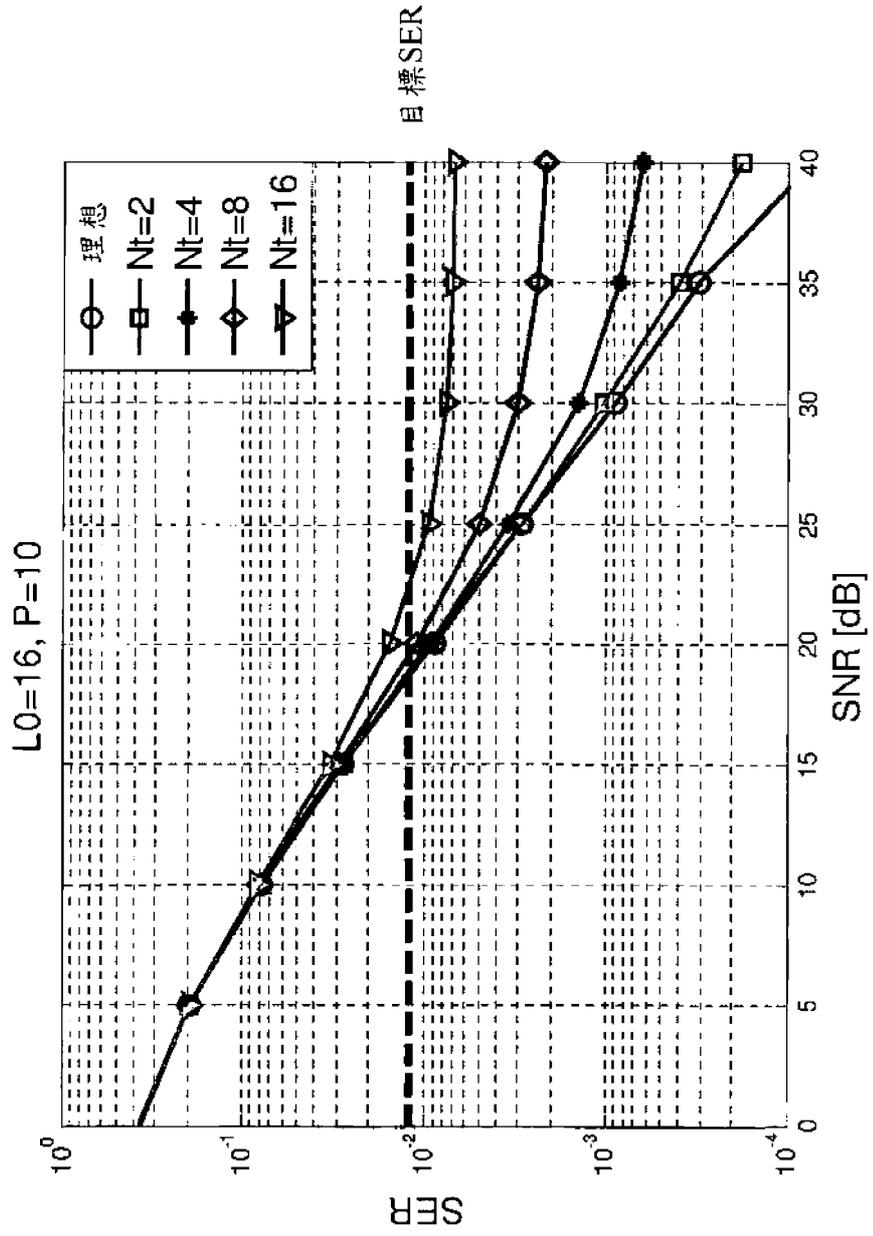
【圖32】



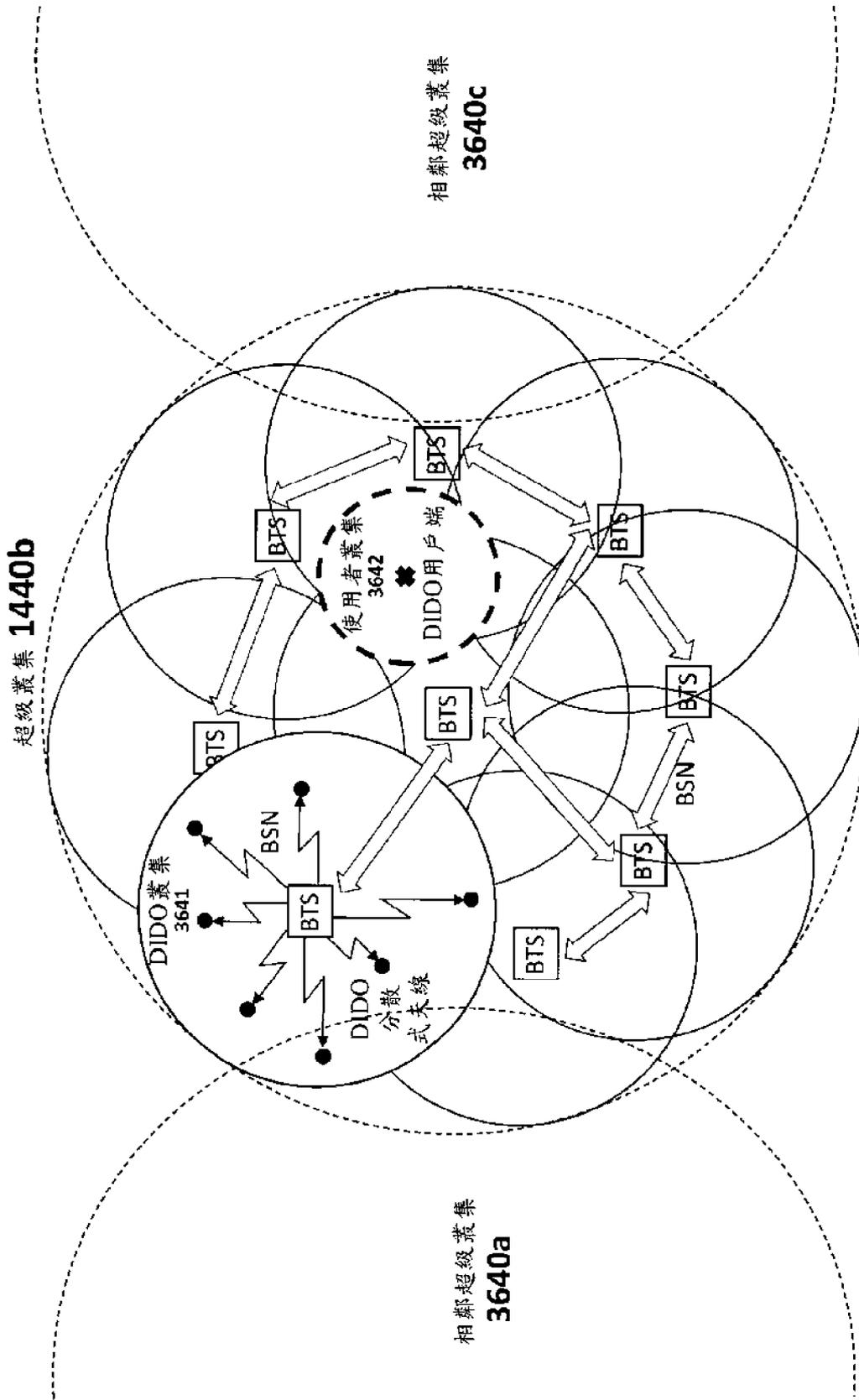
【圖33】



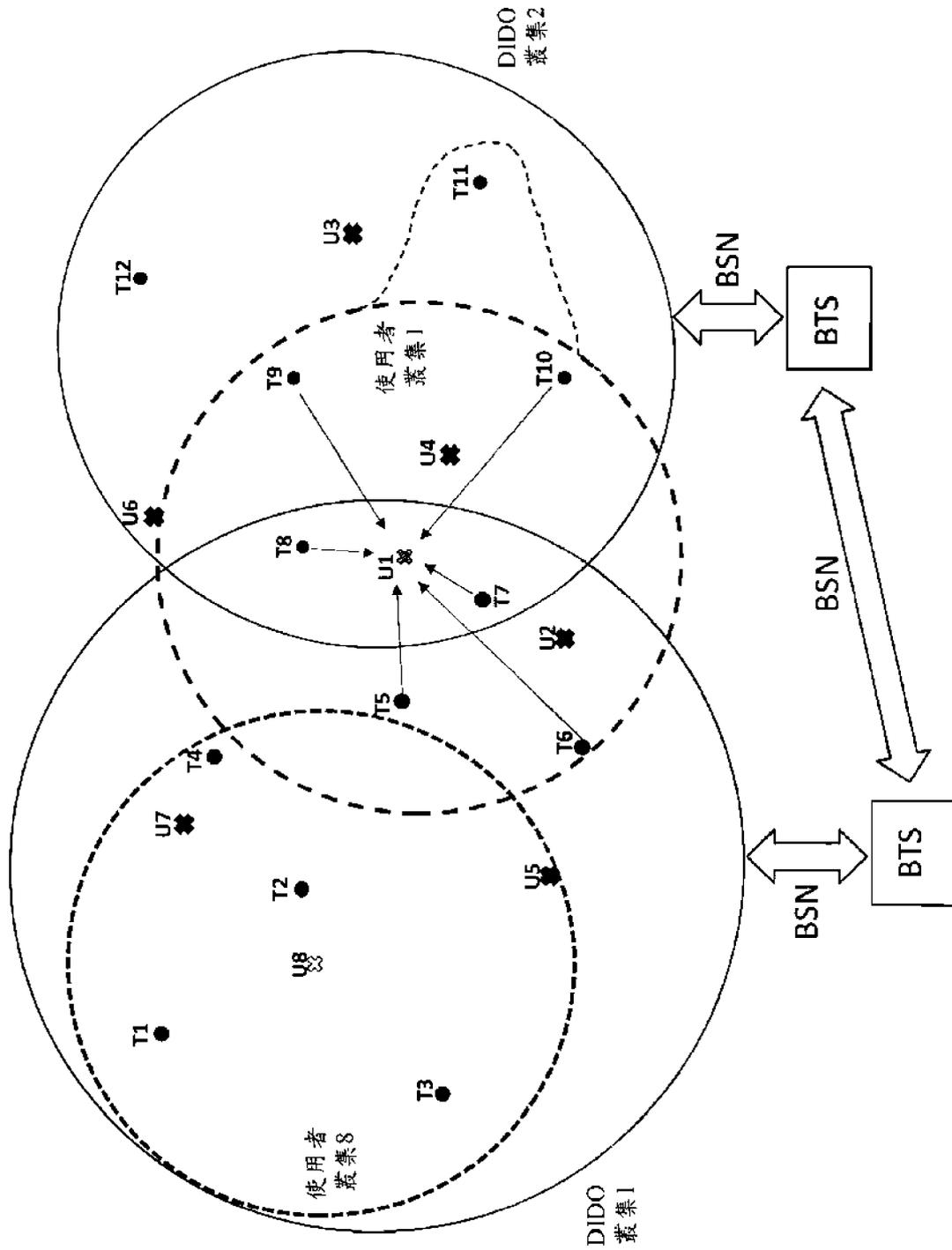
【圖34】



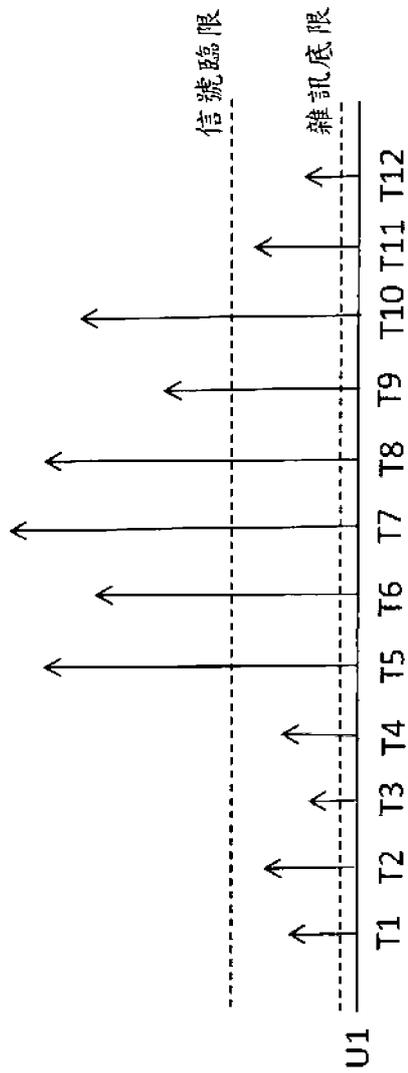
【圖35】



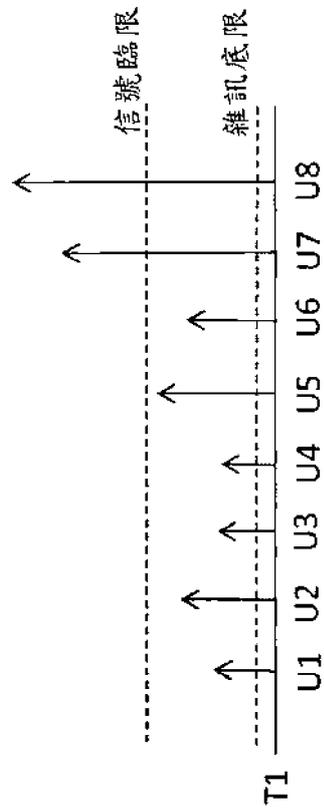
【圖36】



【圖37】



【圖38a】



【圖38b】

	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12
U1	0	0	0	0	C _{1,5}	C _{1,6}	C _{1,7}	C _{1,8}	C _{1,9}	C _{1,10}	0	0
U2	0	0	0	0	C _{2,5}	C _{2,6}	C _{2,7}	0	0	0	0	0
U3	0	0	0	0	0	0	0	0	C _{3,9}	C _{3,10}	C _{3,11}	C _{3,12}
U4	0	0	0	0	0	0	C _{4,7}	C _{4,8}	C _{4,9}	C _{4,10}	0	0
U5	0	C _{5,2}	C _{5,3}	0	C _{5,5}	C _{5,6}	0	0	0	0	0	0
U6	0	0	0	C _{6,4}	0	0	0	C _{6,8}	C _{6,9}	0	0	C _{6,12}
U7	C _{7,1}	C _{7,2}	0	C _{7,4}	C _{7,5}	0	0	0	0	0	0	0
U8	C _{8,1}	C _{8,2}	C _{8,3}	C _{8,4}	0	0	0	0	0	0	0	0

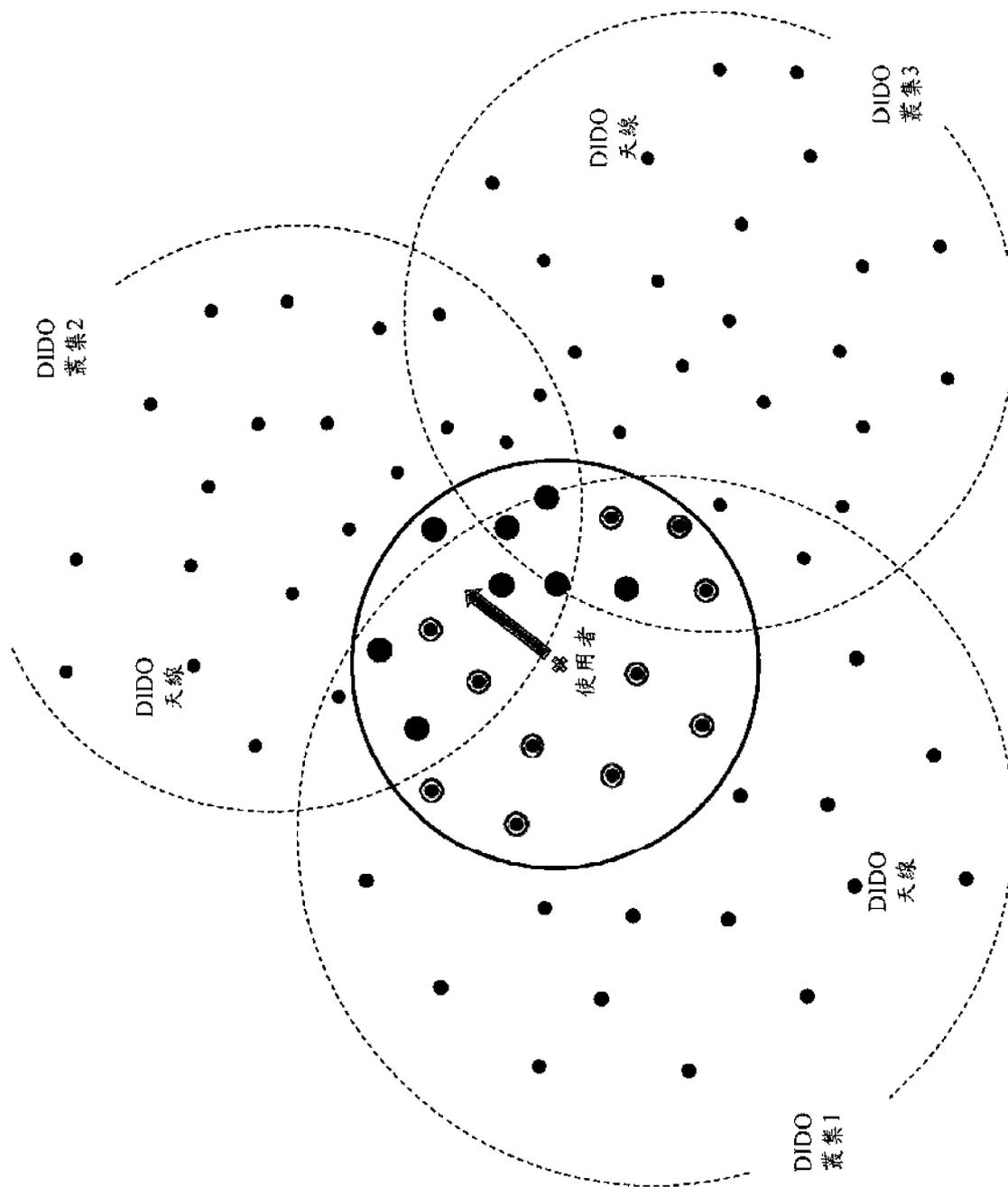
【圖39】

	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12
U1	0	0	0	0	C _{1,5}	C _{1,6}	C _{1,7}	C _{1,8}	C _{1,9}	C _{1,10}	0	0
U2	0	0	0	0	C _{2,5}	C _{2,6}	C _{2,7}	0	0	0	0	0
U3	0	0	0	0	0	0	0	0	C _{3,9}	C _{3,10}	C _{3,11}	C _{3,12}
U4	0	0	0	0	0	0	C _{4,7}	C _{4,8}	C _{4,9}	C _{4,10}	0	0
U5	0	C _{5,2}	C _{5,3}	0	C _{5,5}	C _{5,6}	0	0	0	0	0	0
U6	0	0	0	C _{6,4}	0	0	0	C _{6,8}	C _{6,9}	0	0	C _{6,12}
U7	C _{7,1}	C _{7,2}	0	C _{7,4}	C _{7,5}	0	0	0	0	0	0	0
U8	C _{8,1}	C _{8,2}	C _{8,3}	C _{8,4}	0	0	0	0	0	0	0	0

【圖40】

	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12
U1	0	0	0	0	C _{1,5}	C _{1,6}	C _{1,7}	C _{1,8}	C _{1,9}	C _{1,10}	0	0
U2	0	0	0	0	C _{2,5}	C _{2,6}	C _{2,7}	0	0	0	0	0
U3	0	0	0	0	0	0	0	0	C _{3,9}	C _{3,10}	C _{3,11}	C _{3,12}
U4	0	0	0	0	0	0	C _{4,7}	C _{4,8}	C _{4,9}	C _{4,10}	0	0
U5	0	C _{5,2}	C _{5,3}	0	C _{5,5}	C _{5,6}	0	0	0	0	0	0
U6	0	0	0	C _{6,4}	0	0	0	C _{6,8}	C _{6,9}	0	0	C _{6,12}
U7	C _{7,1}	C _{7,2}	0	C _{7,4}	C _{7,5}	0	0	0	0	0	0	0
U8	C _{8,1}	C _{8,2}	C _{8,3}	C _{8,4}	0	0	0	0	0	0	0	0

【圖41】



【圖42】