



(21)申請案號：104108991

(22)申請日：中華民國 104 (2015) 年 03 月 20 日

(51)Int. Cl. : *H04B10/25 (2013.01)*(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：楊啟瑞 YUANG, MARIA C. (TW)；田伯隆 TIEN, PO LUNG (TW)；陳星宇 CHEN, HSING YU (TW)

(74)代理人：葉璟宗；詹東穎；劉亞君

申請實體審查：有 申請專利範圍項數：15 項 圖式數：6 共 42 頁

(54)名稱

光資料中心網路系統以及光交換器

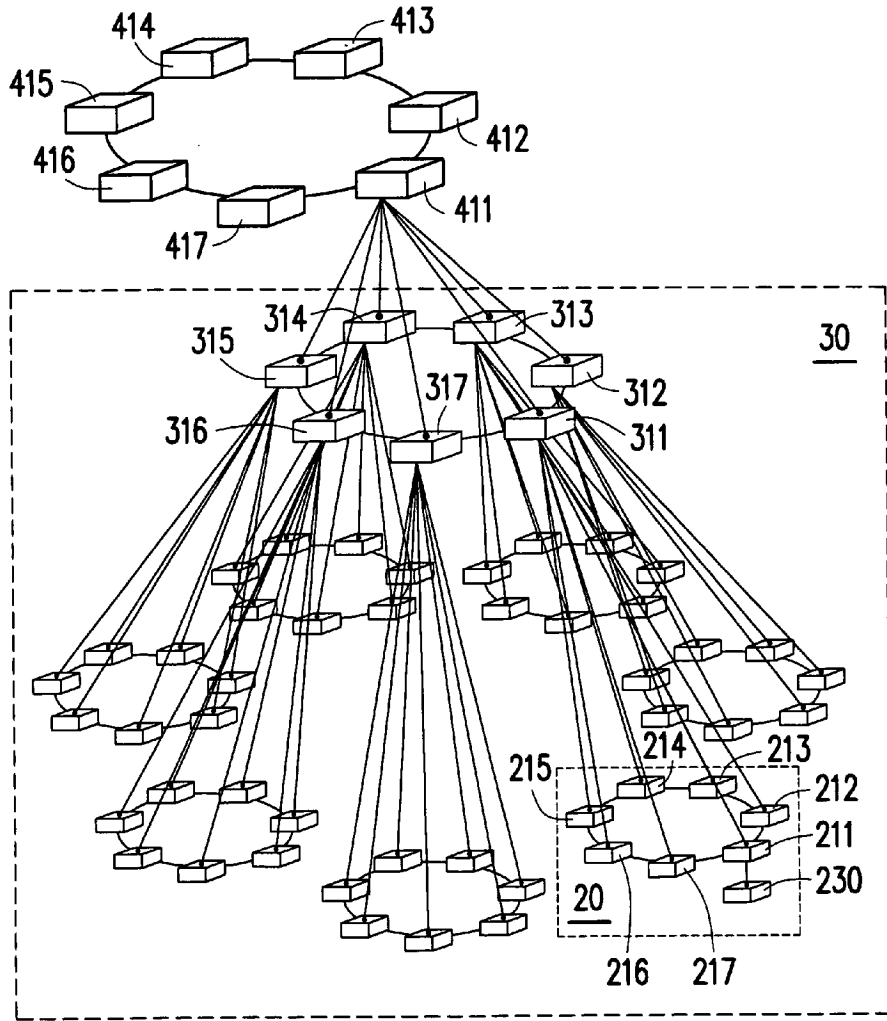
OPTICAL DATA CENTER NETWORK SYSTEM AND OPTICAL SWITCH

(57)摘要

一種光資料中心網路系統包括多個第一層光交換器、多個第二層光交換器以及多個第三層光交換器。其中，多個第一層光交換器透過帶狀光纖(ribbon fiber)互相連接形成一群組(pod)。而多個第二層光交換器透過帶狀光纖互相連接形成一巨群組(macro pod)，而且每一個第二層光交換器並與一個群組中的所有第一層光交換器連接。最後，多個第三層光交換器也是透過帶狀光纖互相連接，而且每一個第三層光交換器並與一個巨群組中的所有第二層光交換器連接。特別的是每一層的光交換器皆是由已大量商用化的光選擇交換器(Wavelength Selective Switch,WSS)為基本元件所實現。

An optical data center network system including multiple tier 1 optical switches, multiple tier 2 optical switches and multiple tier 3 optical switches is provided. A pod is formed by the tier 1 optical switches, which are connected to each other through ribbon fibers. A macro pod is formed by the tier 2 optical switches, which are connected to each other through ribbon fibers, and each of the tier 2 optical switches is connected to all of the tier 1 optical switches in one pod. Lastly, the tier 3 optical switches are connected to each other through ribbon fibers, and each of the tier 3 optical switches is connected to all of the tier 2 optical switches in one macro pod. The optical switches in every tier could be implemented by using the Wavelength Selective Switch (WSS) as a basic element, which has been commercialized numerously.

指定代表圖：



符號簡單說明：

10 . . . 光資料中心
網路系統

20 . . . 群組

211~217 . . . 第一層
光交換器

30 . . . 巨群組

311~317 . . . 第二層
光交換器

411~417 . . . 第三層
光交換器

230 . . . 架頂交換器

圖 1

發明摘要

※ 申請案號：104108991

※ 申請日：104. 3. 20

※IPC 分類：H04B 10/25 (2013.01)

【發明名稱】

光資料中心網路系統以及光交換器

OPTICAL DATA CENTER NETWORK SYSTEM AND OPTICAL SWITCH

【中文】

一種光資料中心網路系統包括多個第一層光交換器、多個第二層光交換器以及多個第三層光交換器。其中，多個第一層光交換器透過帶狀光纖（ribbon fiber）互相連接形成一群組（pod）。而多個第二層光交換器透過帶狀光纖互相連接形成一巨群組（macro pod），而且每一個第二層光交換器並與一個群組中的所有第一層光交換器連接。最後，多個第三層光交換器也是透過帶狀光纖互相連接，而且每一個第三層光交換器並與一個巨群組中的所有第二層光交換器連接。特別的是每一層的光交換器皆是由已大量商用化的光選擇交換器（Wavelength Selective Switch, WSS）為基本元件所實現。

【英文】

An optical data center network system including multiple tier 1 optical switches, multiple tier 2 optical switches and multiple tier 3

optical switches is provided. A pod is formed by the tier 1 optical switches, which are connected to each other through ribbon fibers. A macro pod is formed by the tier 2 optical switches, which are connected to each other through ribbon fibers, and each of the tier 2 optical switches is connected to all of the tier 1 optical switches in one pod. Lastly, the tier 3 optical switches are connected to each other through ribbon fibers, and each of the tier 3 optical switches is connected to all of the tier 2 optical switches in one macro pod. The optical switches in every tier could be implemented by using the Wavelength Selective Switch (WSS) as a basic element, which has been commercialized numerously.

【代表圖】

【本案指定代表圖】：圖 1。

【本代表圖之符號簡單說明】：

10：光資料中心網路系統

20：群組

211～217：第一層光交換器

30：巨群組

311～317：第二層光交換器

411～417：第三層光交換器

230：架頂交換器

【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】

光資料中心網路系統以及光交換器

OPTICAL DATA CENTER NETWORK SYSTEM AND OPTICAL SWITCH

【技術領域】

【0001】 本發明是有關於一種網路系統，且特別是有關於一種光資料中心網路系統以及光交換器。

【先前技術】

【0002】 資料中心網路 (Data Center Networks, DCNs) 被設計用來在資料中心提供可靠以及有效率的網路架構以支援今日各式各樣雲端或企業的應用和服務，例如，網格/雲端計算 (grid/cloud computing)、資料儲存 (data storage)、資料挖掘 (data mining) 或社群網路 (social networking) 等。而許多證據則顯示這些應用服務不只在 DCNs 中產生許多流進流出的客戶端/伺服器方向之流量 (即對應於 DCNs 中的南北向流向)，更產生了伺服器-伺服器間的巨大資料流量 (即對應於 DCNs 中的東西向流向)。上述的這些應用原生地具有大量的資料，對於資料的處理具有高頻寬 (bandwidth) 以及低傳輸延遲 (transmission latency) 的需求。而且，近年的研究更顯示，雲端以及企業之應用與服務更將持續的

朝向多樣化以及複雜化的趨勢發展。這樣的趨勢促使我們迫切需求一個能提供高頻寬、低延遲以及低功耗的巨型（large-scale）DCN。對巨型 DCNs 而言，其架構發展逐漸的走向模組化（modular design）的設計。模組導向的資料中心可由目的導向的模組所構築而成，例如群組（pod）或容器（container），可靈活地以相容於現有資料中心架構的方式擴展。更重要的是讓 DCNs 的可接受漸進式設計（incremental design），允許小部份的以及無縫的擴展，使得 DCNs 可以靈活並且經濟地根據需求而佈署來提供資源。

【0003】 現有的 DCNs 架構可用有無配備全光交換機來做區隔。其中未配備全光交換機的 DCNs 架構多半仍使用電交換器作為資料的交換用途。這樣使用電交換器的架構雖然在交換機與交換機之間採用光纖傳輸，但傳輸速率仍受限於電交換器。此外，資料的傳遞過程必須經過光電轉換器做多次的光電、電光轉換，造成龐大的電能消耗。而且，電交換器的進出埠（input/output port）數量有限，而一條光纖只能容納一個波長頻帶，導致網路連線的線材數目相當龐大，大幅增加佈建及維護的困難度，進而產生了擴充不易的問題。

【0004】 為解決上述問題，相關文獻提出許多光電混和型架構以及全光型架構。光電混合型架構中依然存在電光轉換問題，因此並未有效解決能耗問題。相對的，全光型架構不透過電交換資料，因此可大幅減少電光交換的能耗。例如一雙層環狀分波多工（Wavelength Division Multiplexing, WDM）光資料中心網路架構

中，在所述的環網中的各個節點僅有頭尾兩個節點連接到上一層的節點，若信號要傳送至不同環狀架構中的某一節點，必須要經過兩個環網中頭或尾端的節點，再依序由環狀方式傳送到目的地，這一來將可能產生較大的延遲。再者，此架構所使用的 WDM 加入/取下 (add/drop) 模組的連接埠需對應固定的波長，因此大幅限制了架構中伺服器間路徑選擇的能力。此外，所述的架構僅設計到第二層的交換節點，若要擴充架構，僅能增加前兩層的節點數量。但同一層的環若使用過多節點會造成大量延遲，因此嚴重限制了架構的擴充性。

【0005】 在另一 DCNs 的架構中則需包括包含可調式光收發器、可調式波長轉換器 (tunable wavelength converter, TWC)、陣列波導柵路由器 (arrayed waveguide grating router, AWGR)、緩衝暫存器等元件。其中可調式光收發器價錢昂貴，而緩衝暫存器是電元件而非光元件，需要增加電光轉換才能暫存資料。而且，這樣的 DCNs 結構的系統擴充性將受限於 AWGR 的連接埠數量，因此擴充性不佳。

【0006】 而一 DCNs 架構中採用了微機電系統 (micro-electro-mechanical systems, MEMS) 來確保各個架頂 (Top of Rack, ToR) 交換器之間都有直接連結，因而提高系統 MEMS 建立路徑的複雜度。而且 MEMS 路徑重建時間需數毫秒 (millisecond)，因此這樣的架構無法提供速度高於 MEMS 路徑重建速度的資料交換。綜合上述，現存的這些架構皆只解決或滿足

部分全光交換系統的瓶頸與需求，而無法以較為經濟或是簡便的方式完成全光資料中心網路交換系統的需求。

【發明內容】

【0007】 本發明提供一種光資料中心網路系統以及光交換器，具有可擴展性（scalable）、高頻寬、低延遲、高可靠性、低功耗以及低佈線複雜度（wiring complexity）的特性。

【0008】 本發明的光資料中心網路系統包括多個第一層光交換器、多個第二層光交換器以及多個第三層光交換器。其中，多個第一層光交換器透過帶狀光纖（ribbon fiber）互相連接形成一群組（pod）。而多個第二層光交換器透過帶狀光纖互相連接形成一巨群組（macro pod），而且每一個第二層光交換器並與一個群組中的所有第一層光交換器連接。最後，多個第三層光交換器也是透過帶狀光纖互相連接，而且每一個第三層光交換器並與一個巨群組中的所有第二層光交換器連接。

【0009】 本發明的光交換器，適用於光資料中心網路系統的第一層，包括多個橫向埠、多個縱向埠、多工器、波長選擇交換器以及光信號放大器。光信號分離器的輸入端耦接光信號放大器，以及光信號分離器的輸出端耦接縱向埠之一以及橫向埠中第一橫向埠以及第二橫向埠，其中第一橫向埠以及第二橫向埠的光傳遞方向相反。其中，多工器接收多個光信號，並將光信號合併為合成光信號。光信號放大器接收合成光信號並放大合成光信號。以及，

光信號分離器接收合成光信號，分離光信號為第一傳送光信號、第二傳送光信號以及第三傳送光信號，並透過光信號分離器的光信號分離器的輸出端分別傳送第一傳送光信號、第二傳送光信號以及第三傳送光信號至其輸出端耦接縱向埠之一以及橫向埠中第一橫向埠以及第二橫向埠。

【0010】 在本發明一實施例中，所述光交換器更包括一波長選擇交換器（wavelength selective switch, WSS）以及解多工器。波長選擇交換器耦接橫向埠的部份或全部以及縱向埠的部份或全部。解多工器耦接波長選擇交換器。其中，波長選擇交換器從橫向埠的部份或全部以及縱向埠的部份或全部接收多個接收光信號，並切換以傳送接收光信號之一至解多工器。以及，解多工器解多工所述的接收光信號為多個光信號，並傳送光信號。

【0011】 本發明的光交換器，適用於光資料中心網路系統中的第二層，包括多個橫向埠、多個縱向埠以及一波長選擇交換器。其中光交換器透過橫向埠連接帶狀光纖以與光資料中心網路系統中一巨群組中其他的光交換器連接，並且透過縱向埠與光資料中心網路系統中一群組以及巨群組所連接的一第三層光交換器連接。波長選擇交換器具有 M 個輸入埠以及 N 個輸出埠，其中 M 和 N 為正整數，並且 M 和 N 的和等於第二層光交換器的橫向埠以及縱向埠的數量，其中，橫向埠的數量大於等於 $\text{round}\left[\frac{B \cdot P \cdot (1-P)}{2}\right] \cdot (B-1) \cdot 2$ ，其中 P 值為介於 0 到 1 之間的一預設常數

值以及 B 值為巨群組中光交換器的數量。縱向埠包括多個北縱向埠以及多個南縱向埠，其中北縱向埠的數量大於等於 $\text{round}[B \cdot (1-P)] \cdot 2$ 。

【0012】本發明的光交換器適用於光資料中心網路系統中的第三層，包括多個橫向埠、多個縱向埠以及一波長選擇交換器。其中，光交換器透過橫向埠連接帶狀光纖以與其他的光交換器連接，並且縱向埠與光資料中心網路系統中的巨群組連接。波長選擇交換器具有 Q 個輸入埠以及 R 個輸出埠，其中 Q 和 R 為正整數，並且 Q 和 R 的和等於光交換器的橫向埠與縱向埠的數量和。其中，各第三層光交換器的橫向埠的數量大於等於 $\text{round}\left[\frac{B^2 \cdot P \cdot (1-P)}{2}\right] \cdot (B-1) \cdot 2$ ，其中 P 值為介於 0 到 1 之間的預設常數值，以及 B 值為光交換器的數量。

【0013】基於上述，本發明提供一種光資料中心網路系統以及光交換器，以模組化方式形成光交換網路系統的架構，以堆疊式的錐形（pyramid）結構大量減少了光交換網路系統所需的連線數量，也大幅縮短了伺服器之間資料交換需要經過的路徑長度，並且藉此達到低延遲、低互連複雜度的要求。且模組化的設計使得整個交換系統易於增加新的模組（即，新的群組或是單一光交換器等），達到高系統擴充性的要求。

【0014】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】**【0015】**

圖 1 為根據本發明一實施例所繪示光資料中心網路系統的系統架構示意圖。

圖 2 為根據本發明一實施例所繪示光交換器的結構示意圖。

圖 3 為根據本發明一實施例所繪示第一層光交換器之間連接方式的關係示意圖。

圖 4A 為根據本發明一實施例所繪示光交換器的結構示意圖。

圖 4B 為圖 4A 所示的光交換器中 WSS 的結構示意圖。

圖 5 為根據本發明一實施例所繪示光交換器中一模組的結構示意圖。

圖 6 為根據本發明一實施例所繪示光資料中心網路系統中最長資料傳遞路徑的示意圖。

【實施方式】

【0016】 許多目前現有的資料中心網路 (Data Center Network, DCNs) 雖然運用了光纖傳輸 (optical transmission), 但仍使用電交換器 (electrical switch) 來交換封包, 例如架頂 (Top of Rack, ToR) 交換器、聚合 (aggregation) 交換器以及核心交換器 (core switch) 等。而這些電交換器通常以兩種架構互相連接: 向上擴展 (scale-up) 架構以及向外擴展 (scale-out) 架構。

【0017】 向上擴展架構中使用了階層式結構 (hierarchical

structure)，其中在所述階層式結構階層越高的交換器則具有越高的容量（capacity）以及較多的連接埠以滿足逐漸增加的流量需求。而爲了確保足夠的擴充性，所述的向上擴展架構則採用了層與層之間的過訂閱（oversubscription），使得其所能提供的對分頻寬（bisection bandwidth）可低於聚合頻寬（aggregate bandwidth）的最差值（worst case）。所述的向上擴展架構以短期而言可以說十分具有效率，但是但其貧弱的模組化能力以及可能逐漸增加的延遲以及延遲變異則仍可能造成不少問題。

【0018】 另一方面，在向外擴展架構中使用了巨量的低價第一層架頂交換器以及第二層聚合交換器以伺服器間的大規模路徑選擇性（path diversity）提供完整的對分頻寬。所述的向外擴展架構確保了整個 DCNs 在任何時間都可以爲無壅塞（congestion-free）的，並且達到了較佳的模組化能力以及低延遲的特性。然而，其代價包括了較高的佈線複雜度、管理複雜度以及平均情況中頻寬的利用不足。而由於運用了功耗極高（power-hungry）的光/電（Optical to Electrical, O/E）以及電/光（Electrical/Optical, E/O）轉換收發器，向上擴展架構以及向外擴展架構皆有高功耗的缺點。

【0019】 一般而言，無壅塞 DCNs 的過訂閱率（oversubscription ratio）趨近於 1。也就是說，在 DCNs 中的各個交換器的總輸入鏈結率（total input link rate）相同於總輸出鏈結率（total output link rate）。然而要達到這樣的目標所需耗費的成本，對向上擴展架構而言需要複雜的交換器，對向外擴展架構而言則是管理以及佈線

複雜度等問題。因此，在本發明中欲提出一種無壅塞的光資料網路系統，同時達到可管理性以及高可擴展頻寬的能力。

【0020】圖 1 為根據本發明一實施例所繪示光資料中心網路系統的系統架構示意圖。請參照圖 1，完整規模的光資料中心網路系統 10 包括多個第一層 (tier 1) 光交換器、多個第二層 (tier 2) 光交換器以及多個第三層 (tier 3) 光交換器，例如圖 1 中所繪示的第一層光交換器 211~217、第二層光交換器 311~317 以及第三層光交換器 411~417。第一層光交換器 211~217 形成群組 20，其中群組 20 中的第一層光交換器 211~217 透過帶狀光纖 (ribbon fiber) 互相連接。第二層光交換器 311~317 形成巨群組 30，其中巨群組 30 中的第二層光交換器 311~317 透過帶狀光纖互相連接，而每一個第二層光交換器 311~317 並與一群組中的所有第一層光交換器連結 (例如在本實施例中，第二層光交換器 311 連接群組 20 中的所有第一層光交換器 211~217)。第三層光交換器 411~417 透過帶狀光纖互相連接，其中其中每一個第三層光交換器 411~417 並與一巨群組中的所有第二層光交換器相連 (例如於本實施例中，第三層光交換器 411 連接到巨群組 30 中的所有第二層光交換器 311~317)。

【0021】在本實施例中，光資料中心網路系統 10 基於錐形 (pyramid) 架構遞迴地建構，包括了具有奇數個 (即，B 個) 透過帶狀光纖互相連接之交換節點的多邊形基底 (polygonal base)。在光資料中心網路系統 10 中包括了兩種基本組件 (building

block)：群組 (pod) 以及巨群組 (macro pod)。群組是第一層的基本組件，包括了 B 個第一層光交換器位於錐形 (即，第一層錐形) 的底部，例如在圖 1 所示實施例中，B 為 7，群組 20 中則包括了 7 個第一層光交換器 211~217。

【0022】 光資料中心網路系統 10 中亦包括多個架頂 (Top of Rack, ToR) 交換器以及多個伺服器。各個第一層光交換器 (例如圖 1 中第一層光交換器 211~217) 連接至其錐形的頂點 (apex, 即，第二層光交換器 311)，並且與架頂交換器之間利用數個波長光收發器連接，例如，第一層光交換器 211 與架頂交換器 230 透過多個波長光收發器 (未繪示) 而連接。所述的架頂交換器 (例如架頂交換器 230) 通常與一機櫃 (Rack, 未繪示) 共同設置，而機櫃中則可包括 1 或多個與架頂交換器 230 連接的伺服器。而伺服器傳送至架頂交換器 230 的資料以電信號的方式傳送至架頂交換器 230，而架頂交換器 230 則切換以將所述的資料選擇性地傳送至上述波長光收發器之一。所述的波長光收發器則將接收到的電信號轉換為光信號後再傳送至第一層光交換器 211。而所述波長光收發器可分別設置於第一層光交換器與架頂交換器連接的連接埠之上或是設置於架頂交換器與第一層光交換器連接的連接埠上，本發明並不限定於上述。

【0023】 另一方面，雖然由圖 1 中所示，第一層光交換器 211~217 是以環狀的方式來表示互相連結，各個第一層光交換器 211~217 (例如，第一層光交換器 211) 與同樣屬於同一個群組的第一層光

交換器（例如，第一層光交換器 212~217）是利用帶狀光纖以點對點相連而組成所述的群組，如同網狀（mesh）網路一般。而第一層光交換器 211~217 亦同樣地透過帶狀光纖連線至群組 20 所連接之第二層光交換器（例如，群組 20 連線至第二層光交換器 311）。

【0024】 巨群組則為較大，並且延伸第一層以及第二層的基本組件，其中包括了 B 個（或是大於 B 個）互相以網狀方式連接的第二層光交換器以組成錐形（即，第二層錐形）的基底（例如圖 1 所示第二層光交換器 311~317）。而巨群組中的各第二層光交換器向下連接一群組，而向上連接至其錐狀的頂點，即第三層光交換器之一，例如在圖 1 所示實施例中，巨群組 30 中的第二層光交換器 311 向下連接群組 20，向上連接第三層光交換器 411。這麼一來，巨群組中則至少包括了 B 個群組以及 B^2 個第一層光交換器。甚者，一個完整規模的光資料中心網路系統 10 包括了 B 個（或大於 B 個）透過 B 個（或大於 B 個）第三層光交換器而互相連接的巨群組，而所述的 B 個第三層光交換器（例如圖 1 所示第三層光交換器 411~417）亦同樣地網狀的互相連接（即透過帶狀光纖而一對一連接）。

【0025】 值得注意的是，上述的基本組件可根據需求而設置（on demand basis）。例如，當光資料中心網路系統 10 中的機櫃之數量為 $3B$ 時，光資料中心網路系統 10 將僅包括三個第一層錐形，具有 B 個第一層光交換器於錐形的基底以及 1 個第二層光交換器位

於錐形的頂點，而三個錐形的頂點之第二層光交換器則彼此以網狀方式互相連接。而在此需求下的光資料中心網路系統 10 則不需要第三層的第三層光交換器，即，不需建構對應於巨群組的第二層錐形之頂點。

【0026】 在本發明中，所述的第一層光交換器 211~217、第二層光交換器 311~317 以及第三層光交換器 411~417 皆為以波長選擇交換器（wavelength selective switch, WSS）為基本元件建構的全光交換節點（optical switching node）。WSS 具有低成本、低功率消耗、高可靠度、及可以在室溫下非常彈性且快速重新組態（例如，反應時間 < 10ms）等優點，因此非常適合應用在光資料中心網路系統 10 中。

【0027】 而光資料中心網路系統 10 亦包括了一中央控制器，以無線或有線的方式連接光資料中心網路系統 10 中的所有交換節點，所述的交換節點則包括第一層光交換器（例如第一層光交換器 211~217）、第二層光交換器（例如第二層光交換器 311~317）、第三層光交換器（例如第三層光交換器 411~417）以及架頂交換器（例如架頂交換器 230）。所述的中央控制器傳送多個控制信號至光資料中心網路系統 10 中的所有交換節點以控制光資料中心網路系統 10 中的所有交換節點，以建立伺服器-伺服器之間的資料傳遞路徑。例如，所述的第一層光交換器 211~217、第二層光交換器 311~317 以及第三層光交換器 411~417 中的 WSS 可分別從中央控制器接收所述的控制信號之一，並根據所接收的控制信號選擇性

地切換以輸出不同的光信號。以下則將以 $B=7$ 為例，針對以第一層光交換器、第二層光交換器以及第三層光交換器的實施方式進行說明。

【0028】圖 2 為根據本發明一實施例所繪示光交換器的結構示意圖，其中，圖 2 所示光交換器適用於光資料中心網路系統，例如可為圖 1 所示的第一層光交換器。請參照圖 2，光交換器 211 包括連接帶狀光纖 RF1、RF2 中光纖之一的多個橫向埠（例如繪示於圖 2 左側之西橫向埠 PW1~PW6 以及圖 2 右側之東橫向埠 PE1~PE6）、連接帶狀光纖 RF3 的縱向埠 PH1~PH2、多工器（multiplexer, MUX）2111、耦接多工器 2111 的光信號放大器 2112、光信號分離器 2113、波長選擇交換器 2114 以及解多工器（de-multiplexer, DEMUX）2115。其中，光交換器 211 透過西橫向埠 PW1~PW6 與位於光交換器 211 西邊的 $(B-1)/2$ 個光交換器連接以及透過東橫向埠 PW1~PW6 與位於光交換器 211 東邊的 $(B-1)/2$ 個光交換器連接。例如，在圖 1 實施例中， $(B-1)/2 = 3$ ，光交換器 211 透過西橫向埠 PW1~PW6 與第一層光交換器 215~217 連接，以及透過東橫向埠 PE1~PE6 與第一層光交換器 212~214。值得注意的是，同一個來源的封包/光信號將透過同一個光纖連結（對應於上述橫向埠或縱向埠之一）傳送，而不同來源的封包/光信號將經由不同的光纖連結傳送至同一個目的地。

【0029】光信號分離器 2113 的輸入端耦接光信號放大器 2112，以及光信號分離器 2113 的輸出端耦接縱向埠 PH1 以及橫向埠中第一

橫向埠以及第二橫向埠，其中第一橫向埠以及第二橫向埠的光傳遞方向相反，例如，在本實施例中，第一橫向埠為西橫向埠 PW6，而第二橫向埠則為東橫向埠 PE3。其中，資料上行的方向（由架頂伺服器 230 往西橫向埠 PW4~PW6、東橫向埠 PE1~PE3 以及縱向埠 PH1 的方向），多工器 2111 透過多個（例如，W 個）波長光收發器（未繪示）從架頂伺服器 230 接收多個光信號。由不同波長光收發器所接收的這些光信號可能具有不同的波長（例如，W 個波長），而多工器 2111 則將這些光信號合併為合成光信號，透過單一光纖傳送至光信號放大器 2112。光信號放大器 2112 可為摻鉕光纖放大器（erbium doped fiber amplifier, EDFA）或其他的光信號放大器，接收合成光信號並放大合成光信號以確保合成光信號具有足夠的功率。

【0030】 光信號分離器 2113 接收合成光信號，分離光信號為 3 道光信號，也就是第一傳送光信號、第二傳送光信號以及第三傳送光信號，並透過光信號分離器的輸出端分別傳送第一傳送光信號、第二傳送光信號以及第三傳送光信號至其輸出端耦接縱向埠之一以及橫向埠中第一橫向埠以及第二橫向埠，也就是向第二層光交換器 311 傳送的縱向埠 PH1、向西傳送的西橫向埠 PW6（例如朝第一層光交換器 217、216、215 傳送之方向），以及向東傳送的東橫向埠 PE3（例如朝第一層光交換器 212~214 傳送之方向）。在本實施例中，光信號分離器 2113 中可包括被動光信號分離器，例如三向光信號分離器以及多個分接連接器（tap coupler）。另外，

在本實施例中，光信號分離器 2113 雖然將合成光信號分成 3 道傳送光信號，但在其他實施例中，傳送光信號的數量可根據實際需求而修改，在此則不限制。

【0031】 波長選擇交換器（即，WSS）2114，耦接所有橫向埠（即，西橫向埠 PW1～PW6、東橫向埠 PE1～PE6）的部份或全部以及縱向埠 PH1、PH2 的部份或全部。解多工器 2115 則耦接波長選擇交換器 2114 並且連接至架頂交換器 230。其中，波長選擇交換器從橫向埠的部份或全部以及縱向埠的部份或全部接收多個接收光信號，並根據接收自中央控制器的控制信號之一切換以傳送接收光信號之一至解多工器。簡單來說，波長選擇交換器 2114，耦接資料下行的方向（即，由西橫向埠 PW1～PW6、東橫向埠 PE1～PE6 以及縱向埠 PH1～PH2 往架頂伺服器 230 的方向）的所有連接埠，也就是西橫向埠 PW1～PW3、東橫向埠 PE4～PE6 以及縱向埠 PH2）。WSS 2114 具有 N 個輸入埠以及 1 個輸出埠（N×1 WSS），根據中央控制器傳來的控制信號從 B 個輸入埠中選出 W 個光信號（(B-1)/2 個來自西橫向埠 PW1～PW3、(B-1)/2 個來自東橫向埠 PE4～PE6 以及 1 個來自縱向埠 PH2）。因此，自本實施例中，WSS 的輸入埠數量 N 等於 B（即等於 7）。解多工器 2115 則解多工接收光信號為多個不同波長的光信號，並將光信號透過對應的波長光收發器而傳送至架頂交換器 230。

【0032】 圖 3 為根據本發明一實施例所繪示第一層光交換器之間連接方式的關係示意圖。請參照圖 1 及圖 2，在此示意圖中，以第

一層光交換器 211 要往東邊方向，即透過東橫向埠 PE1~PE3 傳送光信號為例說明如下。首先，第一層光交換器 211 中要往東邊傳送的光信號經由一光纖連接至東邊相鄰的第一層光交換器 212。此光信號經由第一層光交換器 212 中的分接耦合器(tap coupler)2121 複製成兩份，其中一道光信號傳送至第一層光交換器 212 中的 WSS 2124，另一道光信號經由一光纖繼續連接至東邊相鄰的第一層光交換器 213。接著第一層光交換器 213 中的分接耦合器 2131 一樣將此光信號複製成兩道，一道傳送至第一層光交換器 2131 中的 WSS 2134，另一道經由一光纖再連接至東邊相鄰的第一層光交換器 214。因第一層光交換器 214 是第一層光交換器 211 東邊的最後一個節點，此光信號直接傳送至第一層光交換器 214 中的 WSS 2144 而不再續傳下去。

【0033】 藉著上述般如廣播 (broadcast) 傳送以及連接方式，從架頂交換器 230 發出而至第一層光交換器 211 的光信號可以傳送到第一層光交換器 212~214，而第一層光交換器 212~214 接收此光信號與否則可以由各第一層光交換器 212~214 中的 WSS 2124、2134、2144 選擇。值得注意的是，在圖 3 中所示的所有光纖連結皆可全部包在一條帶狀光纖中，因此一個群組 (例如圖 1 所示群組 20) 於圖 1 中繪示 (或真實設置時的外觀) 看起來就像是環狀一般。另外，在圖 1 以及圖 3 所示實施例中使用的節點數量 $B=7$ ，因此在同一個群組 (例如圖 1 所示群組 20) 中交換資料/光信號最遠的距離為 3 (往東邊傳 3 個交換節點 (即，第一層光交

換器)或往西邊傳3個交換節點)。

【0034】圖4A為根據本發明一實施例所繪示光交換器的結構示意圖，其中圖4A所繪示的光交換器對應於圖1所示光資料中心網路系統中的第二層光交換器311~317。請參照圖4A，在本實施例中，光交換器311可被視為一波長跨接器(wavelength cross connect, WXC)，其中包括了WSS 3111、多個橫向埠(包括西橫向埠PW1~PW6以及東橫向埠PE1~PE6)、縱向埠(包括北縱向埠PN1~PN8以及南縱向埠PS1~PS14)以及分接耦合器3112~3115。

【0035】如同圖1所示實施例，在群組以及巨群組中的節點數量 $B=7$ 時，光交換器311相似於第一層光交換器211~217的方式連接到東側以及西側相鄰的3個第二層光交換器。詳細而言，即光交換器311利用西橫向埠PW1~PW6以及東橫向埠PE1~PE6分別透過帶狀光纖RF1、RF2連接同群組中位於光交換器311西側的光交換器(例如圖1所示第二層光交換器315~317)以及光交換器311東側的光交換器(例如圖1所示第二層光交換器312~314)。

【0036】光交換器311亦利用北縱向埠PN1~PN8透過帶狀光纖RF3與第三層光交換器(例如圖1所示第三層光交換器411)連接並且利用南縱向埠PS1~PS14透過帶狀光纖RF4分別與第三層的群組(例如圖1所示群組20)中的 B 個第一層光交換器211~217連接。值得注意的是，在此實施例中，向北側連接的帶狀光纖RF3中包括了4對平行的光纖(分別耦接北縱向埠PN1~PN8)，這是

因爲在第二層與第三層之間的容量需要接近 $4W$ ，才可以確保所述第二層與第三層之間的過訂閱率可趨近於 1。

【0037】 一般而言，在 $B=7$ 的情況下，光交換器 311 具有 17 個輸入埠以及 17 個輸出埠（各自爲， $3+3+7+4=17$ ）。但由於西橫向埠以及東橫向埠中有兩組埠互相直通並未連接 WSS 3111，因此 WSS 3111 可因應修正（streamlined to）爲具有 17 組輸入埠以及 13 組輸出埠（ 17×13 ），而非 17×17 。

【0038】 圖 4B 爲圖 4A 所示的光交換器中 WSS 的結構示意圖。請參照圖 4B，在圖 4B 所繪示的 WSS 3111 的結構中，運用了較小型的 WSS 元件以及分離器來實現 17×13 的 WSS 3111。其中， 17×13 的 WSS 3111 是由多個 1×6 、 1×7 的分離器（圖 4B 中以三角表示）與 7×1 、 10×1 WSS 元件（圖 4B 中以方塊表示）組成。其中，連接第一層的群組 20（即，連接南縱向埠 PS2、PS4、PS6、PS8、PS10、PS12、PS14）的 7 個的 1×6 分離器分別連接到 6 個的 7×1 WSS，一個爲耦接東橫向埠 PE6 的 WSS，另一個則爲耦接西橫向埠 PW5 的 WSS，而另 4 個則爲耦接北縱向埠 PN2、PN4、PN6、PN8 的 WSS。而耦接東橫向埠 PE1、PE3、PE5、西橫向埠 PW2、PW4、PW6 以及北縱向埠 PN1、PN3、PN5、PN7 的 1×7 分離器，收來自光交換器 311 西側、東側以及第三層光交換器 411 的資料/光信號，並將資料/光信號傳送至每一個第一層的群組方向的 10×1 WSS（即，耦接南縱向埠 PS1、PS3、PS5、PS7、PS9、PS11、PS13 的 7 個 WSS）。光交換器 211 與其他第二層光交換器（例如圖 1 所

示第二層光交換器 312~317) 之間的連接則與第一層的群組 20 中第一層光交換器 211~217 之間的連接關係相同，即，位於同一巨群組 (巨群組 30) 的第二層光交換器 211~217 連成一個點對點的網狀網路。

【0039】 值得注意的是，為簡潔起見，在圖 4B 中所繪示輸入埠與輸出埠之間的連接關係僅為例示。例如，圖 4B 中繪示連接南縱向埠 PS1 的 10x1 WSS 連接到了耦接東橫向埠 PE1、PE3、PE5、西橫向埠 PW2、PW4、PW6 以及北縱向埠 PN1、PN3、PN5、PN7 的分離器，耦接 PS3、PS5、PS7、PS9、PS11、PS13 的 WSS 亦同樣地連接到耦接東橫向埠 PE1、PE3、PE5、西橫向埠 PW2、PW4、PW6 以及北縱向埠 PN1、PN3、PN5、PN7 的分離器。同理，圖 4B 中繪示連接北縱向埠 PN2 的 7x1 WSS 連接至連接南縱向埠 PS2、PS4、PS6、PS8、PS10、PS12、PS14 的 7 個的 1x6 分離器。連接北縱向埠 PN4、PN6、PN8 的 7x1 WSS 亦同樣地連接至連接南縱向埠 PS2、PS4、PS6、PS8、PS10、PS12、PS14 的 7 個的 1x6 分離器。

【0040】 第三層光交換器 411~417 的硬體架構與第二層光交換器 311~317 類似，主要包括一個 WSS，而所有的光信號交換都由此 WSS 的選擇來決定 (例如，根據中央控制器所傳送的指令而決定)，但只有連結三個方向的節點 (東、西以及南，而無向北)。其中跟每個第二層光交換器的連結如上所述共需 4 組輸入/輸出埠，因而跟 7 個第二層光交換器共需要 28 個進出口。而跟東西向

的其他的第三層光交換器（例如，第三層光交換器 411 與其他第三層光交換器 412~417 連結，考慮需求的頻寬後，需設置為東西向各為 12x3 組輸入/輸出埠。因此，理論上需要一個 100x100 WSS。然而，目前商用的 WSS 較難實現這樣輸入/輸出埠龐大的 WSS。為了解決這個問題，在本實施例中，同樣設定與前述實施例一樣將 B 設定為 7，並且將每個第三層光交換器拆解成 4 組獨立的模組，而第三層光交換器中各模組只跟其他 6 個第三層光交換器中的一個模組互相連結。

【0041】圖 5 為根據本發明一實施例所繪示光交換器中一模組的結構示意圖，其中圖 5 所示即對應於圖 1 所示實施例中第三層光交換器中的 4 個模組之一。請參照圖 5，第三層光交換器每一個模組 50 往東跟西各只需要 9 個輸入埠及 9 個輸出埠（ $= (12/4) \times 3$ ）。同時，在此第三層光交換器 411 的模組 50 與每個第二層光交換器（例如第二層光交換器 311~317 之一）相連只需一組輸入/輸出埠，因此與一個巨群組（例如巨群組 30）相連共需要 7 組輸入/輸出埠。總結在第三層光交換器 411 中的一個模組中的 WSS 511 只需要 25 個輸入埠（即， $9+9+7$ ）及 13 個輸出埠（即， $3+3+7$ ），也就是 25x13 WSS 511，即使是 4 個模組的輸入/輸出埠之總和亦小於上述 100 個輸入埠以及 100 輸出埠的理論值。

【0042】而 25x13 WSS 511 的組成則與圖 4A~圖 4B 所述的第二層光交換器 311 中 17x13 WSS 3111 的結構類似。不同的地方在於，第三層光交換器中模組 50 的 25x13 WSS 511 往西與往東的光

纖連線數量（同時對應於輸入/輸出埠的數量）是第二層光交換器 311 的 3 倍，因此要使用更多的分離器以及小型的 WSS（即，如圖 4B 所示 10x1 的 WSS）來組成 25x13 WSS 511。另一方面，第三層光交換器 411~417 之間的連接方式亦與第一層的群組 20 中第一層光交換器 211~217 之間的連接關係類似。同一組的第三層光交換器（即，互相連接的 7 個第三層光交換器 411~417）透過點對點連結成一個網狀網路。由於各個第三層光交換器 411~417 以 4 個不互相連結的獨立模組來實現，整體資料流吞吐量可能因此而降低，但經實驗證明這樣的設置事實上大約僅造成 2% 的影響，對整體效率而言似乎微乎其微。

【0043】 但另一方面，光資料中心網路系統 10 反而可因為上述的實現方式而增加硬體系統的可靠度。例如，當第三層光交換器中的一個模組發生故障時，其他的模組並不會受到影響，光資料中心網路系統 10 仍可正常運作而不受阻礙。

【0044】 而在本發明中，決定所有各層交換節點間以及和上下層交換節點彼此連結的光纖連線數目亦為重要的議題之一。由於所有資料必須經由各個光纖連線來傳遞，因此所需光纖數目與流經每個交換節點的資料流量以及每一個交換模組（例如群組或是巨群組）內交換節點（例如第一層光交換器、第二層光交換器或第三層光交換器）的個數（即，上述的 B 值）有關。假設每一條光纖可以容納 W 種不同波長的光信號，而每個資料流需求的頻寬為單一個波長的光信號，以下我們將算出為達到過訂閱率

(oversubscription) 等於 1 的情況下交換節點與相鄰交換節點 (橫向以及縱向) 之間所需要的不同波長數目, 我們稱此為邊容量 (edge capacity)。因伺服器間的資料交換會遍及整個資料中心 (即, 整個光資料中心網路系統 10), 在此以 P 代表給定一個來源伺服器其目的地伺服器會在同一個巨群組的機率。而 $1-P$ 便為目的地伺服器位於跨出該巨群組的機率。因此, P 值越高代表資料流侷限在地區性 (locality) 交換的現象越明顯, 反之則跨群組 (層) 交換資料的趨勢越顯著。因此, 經計算後可得到下述表 1:

交換節點	與東西向相鄰的邊容量	與東西向相鄰的光纖數
第一層光交換器	W	$(B-1)$
第二層光交換器	$\frac{B \cdot W \cdot P \cdot (1-P)}{2}$	$\text{round}\left[\frac{B \cdot P \cdot (1-P)}{2}\right] \cdot (B-1) \cdot 2$
第三層光交換器	$\frac{B^2 \cdot W \cdot P \cdot (1-P)}{2}$	$\text{round}\left[\frac{B^2 \cdot P \cdot (1-P)}{2}\right] \cdot (B-1) \cdot 2$
交換節點	與北向相鄰的邊容量	與北向相鄰的光纖數
第一層光交換器	W	2
第二層光交換器	$B \cdot W \cdot P \cdot (1-P)$	$\text{round}[B \cdot W \cdot P \cdot (1-P)] \cdot 2$
第三層光交換器	無	無

表 1

【0045】 在表 1 中亦包括各種交換節點與相鄰交換節點為滿足上

述邊容量所實際需要的光纖數目。考量本發明中系統中各交換節點的連線方式（如圖 1、3 所示），在東西向是以點對點網狀網路的方式連接，而所有的所述連線都會經過每個交換節點。因此每個交換節點往東及往西的頻寬必須是 $(B-1)/2$ 倍的邊容量。再考慮接收所需要的頻寬，因此，總共會需要 $(B-1)$ 倍的邊容量。已知每條光纖可以容納 W 條不同波長的光信號，即可得到總需求的光纖數目（取 round 函數而得到整數）。另一方面，往北向的頻寬僅考慮往外傳輸及接收兩種情況即可，也就是需要兩倍的邊容量。詳細數值則可參照表 1，而在表中的 P 值可根據需求或是實際量測結果而設定。值得注意的是，表中的所需的數條光纖都可以被包含在一般的帶狀光纖內，因此同一層的網路連結外部看起來就像一個環狀（如圖 1 所示），非常簡潔。

【0046】而在本發明所提出的光資料中心網路系統 10 中，在同一層光交換節點之間信號的傳遞，只會經過分離器與一個 WSS 進行不同波長的光信號之選擇。因此除了能量損失以外，信號品質並不會受到影響。圖 6 為根據本發明一實施例所繪示光資料中心網路系統中最長資料傳遞路徑的示意圖。請參照圖 6，在圖 6 中，光信號 SNG 從第一層光交換器 211 接收，並由第一層光交換器 211 傳送至屬於同一巨群組的第二層光交換器 311。光交換器 311 透過其 WSS 的選擇將光信號 SNG 傳送至第三層光交換器 411。第三層光交換器 411 以一廣播方式將光信號 SNG 傳送至其他的第三層交換器 412~414。而第三層交換器 414 則將光信號 SNG 透過 WSS

的選擇而傳送至其連接的巨群組 31 中的第二層交換器 321。第二層交換器 321 則進一步根據其 WSS 的選擇而傳送光信號 SNG 至其所連接的群組 21 中的第三層交換器 221。

【0047】 在所述的最長路徑中，總共會經過 5 個 WSS，且根據光資料網路系統的設計，此路徑中總共會經過 5 個光信號放大器，1 個位於第一層、兩個位於第二層，以及兩個位於第三層，而各層的光信號放大器則可能具有不同的增益，從 5dB 到 10dB 不等。而經實驗證明，所述的光信號 SNG 在經過五個 WSS 之後，並沒有因為 WSS 之濾波效應造成信號失真。另外，考慮上述的最長路徑中被動元件的能量損失與放大器的增益，即可知道每個放大器輸入與輸出的光信號能量。經實驗證明，光信號 SNG 即使經過最長路徑以後，由輸出端（即第一層光交換器 221）所接收到的光信號 SNG 的功率依然可以符合光資料中心網路系統 10 的要求。

【0048】 綜上所述，本發明提供一種錐形的光資料中心網路系統及其中位於各層的光交換器，同時具備高擴充性、高頻寬、低延遲、低功率消耗、以及簡化線路佈建，容錯性高等優點。基於模組化及可漸進式擴充的設計，光資料中心網路的建置者可隨時根據需求增減交換節點，亦可根據需求更改架構中各參數（例如上述的 B 值、W 值或 P 值）。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】**【0049】**

10：光資料中心網路系統

20、21：群組

211～217、221：第一層光交換器

2111：多工器

2112：光信號放大器

2113：光信號分離器

2114、2124、2134、2144、3111、511：WSS

2121、2131、3112～3115：分接耦合器

2115：解多工器

30、31：巨群組

311～317、321：第二層光交換器

411～417：第三層光交換器

50：第三層光交換器中的模組

230：架頂交換器

PH1、PH2：縱向埠

PN1～PN8：北縱向埠

PS1～PS8：南縱向埠

PW1～PW18：西橫向埠

PE1～PE18：東橫向埠

RF1～RF4：帶狀光纖

申請專利範圍

1. 一種光資料中心網路系統，包括：

多個第一層光交換器，其中該些第一層光交換器透過帶狀光纖（ribbon fiber）互相連結而形成一第一群組；

多個第二層光交換器，其中該些第二層光交換器透過帶狀光纖（ribbon fiber）互相連結而形成一第一巨群組，而且該第一巨群組中的每一個第二層光交換器皆與該第一群組中的所有第一層光交換器互相連接；以及

多個第三層光交換器，其中該些第三層光交換器透過帶狀光纖（ribbon fiber）互相連接，並且每一個該第三層光交換器並與該第一巨群組中的所有第二層光交換器互相連接。

2. 如申請專利範圍第 1 項所述的光資料中心網路系統，其中所述光資料中心網路系統更包括：

一第二群組，耦接該第一巨群組中該些第二層光交換器之一，其中該第一群組與該第二群組不耦接該第一巨群組中該些第二層光交換器之同一者；以及

一第二巨群組，耦接該些該些第三層光交換器之一，其中該第一巨群組與該第二巨群組不耦接該些第三層光交換器中同一者。

3. 如申請專利範圍第 1 項所述的光資料中心網路系統，其中所述光資料中心網路系統更包括：

一架頂（Top of Rack, ToR）交換器，透過多個波長光收發器

連接該些第一層光交換器之一；以及

一中央控制器，連接該些第一層光交換器、該些第二層光交換器、該些第三層光交換器以及該些架頂交換器，傳送多個控制信號至該些第一層光交換器、該些第二光交換器、該些第三層光交換器以及該些架頂交換器以控制該些第一層光交換器、該些第二層光交換器、該些第三層光交換器以及該些架頂交換器。

4. 如申請專利範圍第3項所述的光資料中心網路系統，其中：

該第一群組中包括 B 個第一層光交換器，其中 B 為正整數並且為奇數；

該第一巨群組中具有 B 個或是大於 B 個第二層光交換器；以及

該第三層光交換器的數量大於等於 B 。

5. 如申請專利範圍第4項所述的光資料中心網路系統，其中：

各該第一層光交換器包括多個橫向埠以及多個縱向埠，其中各該第一層光交換器透過該些橫向埠連接帶狀光纖以與該第一群組中其他的該些第一層光交換器連接，並且透過該些縱向埠與該第一群組所連接的該第二層光交換器連接，

其中，各該第一層光交換器的該些橫向埠的數量大於等於 2 ($B-1$)，以及各該第一層光交換器的該些縱向埠的數量大於等於 2 。

6. 如申請專利範圍第5項所述的光資料中心網路系統，其中各該第一層光交換器包括：

一多工器，連接該架頂交換器；

一光信號放大器，耦接該多工器；以及

一光信號分離器，其輸入端耦接該光信號放大器，以及其輸出端耦接該些縱向埠之一以及該些橫向埠中一第一橫向埠以及一第二橫向埠，其中該第一橫向埠以及該第二橫向埠的一光傳遞方向相反，

其中，該多工器從該架頂交換器接收多個光信號，並將該些光信號合併為一合成光信號；

該光信號放大器接收該合成光信號並放大該合成光信號；以及

該光信號分離器接收該合成光信號，複製該合成光信號為一第一傳送光信號、一第二傳送光信號以及一第三傳送光信號，並透過該光信號分離器的輸出端分別傳送該第一傳送光信號、該第二傳送光信號以及該第三傳送光信號至其輸出端所耦接的該些縱向埠之一、該第一橫向埠以及該第二橫向埠。

7. 如申請專利範圍第 5 項所述的光資料中心網路系統，其中各該第一層光交換器包括：

一波長選擇交換器 (wavelength selective switch, WSS)，耦接該些橫向埠的部份或全部以及該些縱向埠的部份或全部；以及

一解多工器，耦接該波長選擇交換器並且連接至該些架頂交換器之一，

其中，該波長選擇交換器從該些橫向埠的部份或全部以及該

縱向埠的部份或全部接收多個接收光信號，並根據接收自該中央控制器的該控制信號之一切換以傳送該些接收光信號之一至該解多工器；以及

該解多工器解多工該接收光信號為多個光信號，並將該些光信號傳送至該架頂交換器。

8. 如申請專利範圍第 5 項所述的光資料中心網路系統，其中：

各該第二層光交換器包括多個橫向埠以及多個縱向埠，其中各該第二層光交換器透過該些橫向埠連接帶狀光纖以與該第一巨群組中其他的該些第二層光交換器連接，並且透過該些縱向埠與該第一群組以及該第一巨群組所連接的該第三層光交換器連接，

其中，各該第二層光交換器的該些橫向埠的數量大於等於：

$$\text{round}\left[\frac{B \cdot P \cdot (1-P)}{2}\right] \cdot (B-1) \cdot 2$$

，其中 P 值為介於 0 到 1 之間的一預設

常數值，以及

各該第二層光交換器的該些縱向埠包括多個北縱向埠以及多個南縱向埠，其中該些北縱向埠的數量大於等於：

$$\text{round}[B \cdot (1-P)] \cdot 2。$$

9. 如申請專利範圍第 8 項所述的光資料中心網路系統，其中各該第二層光纖網路交換器包括：

一波長選擇交換器，其中該波長選擇交換器具有 M 個輸入埠以及 N 個輸出埠，其中 M 和 N 為正整數，並且 M 和 N 的和等於該第二層光交換器的該些橫向埠以及該些縱向埠的數量和。

10. 如申請專利範圍第 5 項所述的光資料中心網路系統，其中：

各該第三層光交換器包括多個橫向埠以及多個縱向埠，其中各該第三層光交換器透過該些橫向埠連接帶狀光纖以與其他的該些第三層光交換器連接，並且該第三層光交換器之一透過該第三層光交換器的該些縱向埠與該第一巨群組連接，

其中，各該第三層光交換器的該些橫向埠的數量大於等於：

$$\text{round}\left[\frac{B^2 \cdot P \cdot (1-P)}{2}\right] \cdot (B-1) \cdot 2, \text{ 其中 } P \text{ 值為介於 } 0 \text{ 到 } 1 \text{ 之間的一預}$$

設常數值。

11. 如申請專利範圍第 10 項所述的光資料中心網路系統，其中：

一波長選擇交換器，其中該波長選擇交換器具有 Q 個輸入埠以及 R 個輸出埠，其中 Q 和 R 為正整數，並且 Q 和 R 的和等於該第三層光交換器的該些橫向埠與該些縱向埠的數量和。

12. 一種光交換器，適用於一光資料中心網路系統中的一第一層，包括：

多個橫向埠以及多個縱向埠；

一多工器；

一光信號放大器，耦接該多工器；以及

一光信號分離器，其輸入端耦接該光信號放大器，以及其輸出端耦接該些縱向埠之一以及該些橫向埠中一第一橫向埠以及一

第二橫向埠，其中該第一橫向埠以及該第二橫向埠的一光傳遞方向相反，

其中，該多工器接收多個光信號，並將該些光信號合併為一合成光信號；

該光信號放大器接收該合成光信號並放大該合成光信號；以及

該光信號分離器接收該合成光信號，複製該合成光信號為一第一傳送光信號、一第二傳送光信號以及一第三傳送光信號，並透過該光信號分離器的輸出端分別傳送該第一傳送光信號、該第二傳送光信號以及該第三傳送光信號至其輸出端所耦接的該些縱向埠之一、該第一橫向埠以及該第二橫向埠。

13. 如申請專利範圍第 12 項所述的光交換器，其中所述光交換器更包括：

一波長選擇交換器 (wavelength selective switch, WSS)，耦接該些橫向埠的部份或全部以及該些縱向埠的部份或全部；以及

一解多工器，耦接該波長選擇交換器，

其中，該波長選擇交換器從該些橫向埠的部份或全部以及該縱向埠的部份或全部接收多個接收光信號，並切換以傳送該些接收光信號之一至該解多工器；以及

該解多工器解多工該接收光信號為多個光信號，並傳送該些光信號。

14. 一種光交換器，適用於一光資料中心網路系統中的一第

二層，包括：

多個橫向埠以及多個縱向埠，其中所述光交換器透過該些橫向埠連接帶狀光纖以與光資料中心網路系統中一巨群組中其他的該些光交換器連接，並且透過該些縱向埠與光資料中心網路系統中一群組以及該巨群組所連接的一第三層光交換器連接；以及

一波長選擇交換器，其中該波長選擇交換器具有 M 個輸入埠以及 N 個輸出埠，其中 M 和 N 為正整數，並且 M 和 N 的和等於該第二層光交換器的該些橫向埠以及該些縱向埠的數量和，

其中，該些橫向埠的數量大於等於：

$$\text{round}\left[\frac{B \cdot P \cdot (1-P)}{2}\right] \cdot (B-1) \cdot 2$$

，其中 P 值為介於 0 到 1 之間的一預設

常數值以及 B 值為該巨群組中該些光交換器的數量，以及

該些縱向埠包括多個北縱向埠以及多個南縱向埠，其中該些北縱向埠的數量大於等於：

$$\text{round}[B \cdot (1-P)] \cdot 2。$$

15. 一種光交換器，適用於一光資料中心網路系統中的一第三層，包括：

多個橫向埠以及多個縱向埠，其中光交換器透過該些橫向埠連接帶狀光纖以與其他的該些光交換器連接，並且該些縱向埠與該光資料中心網路系統中的一巨群組連接；

一波長選擇交換器，其中該波長選擇交換器具有 Q 個輸入埠以及 R 個輸出埠，其中 Q 和 R 為正整數，並且 Q 和 R 的和等於該

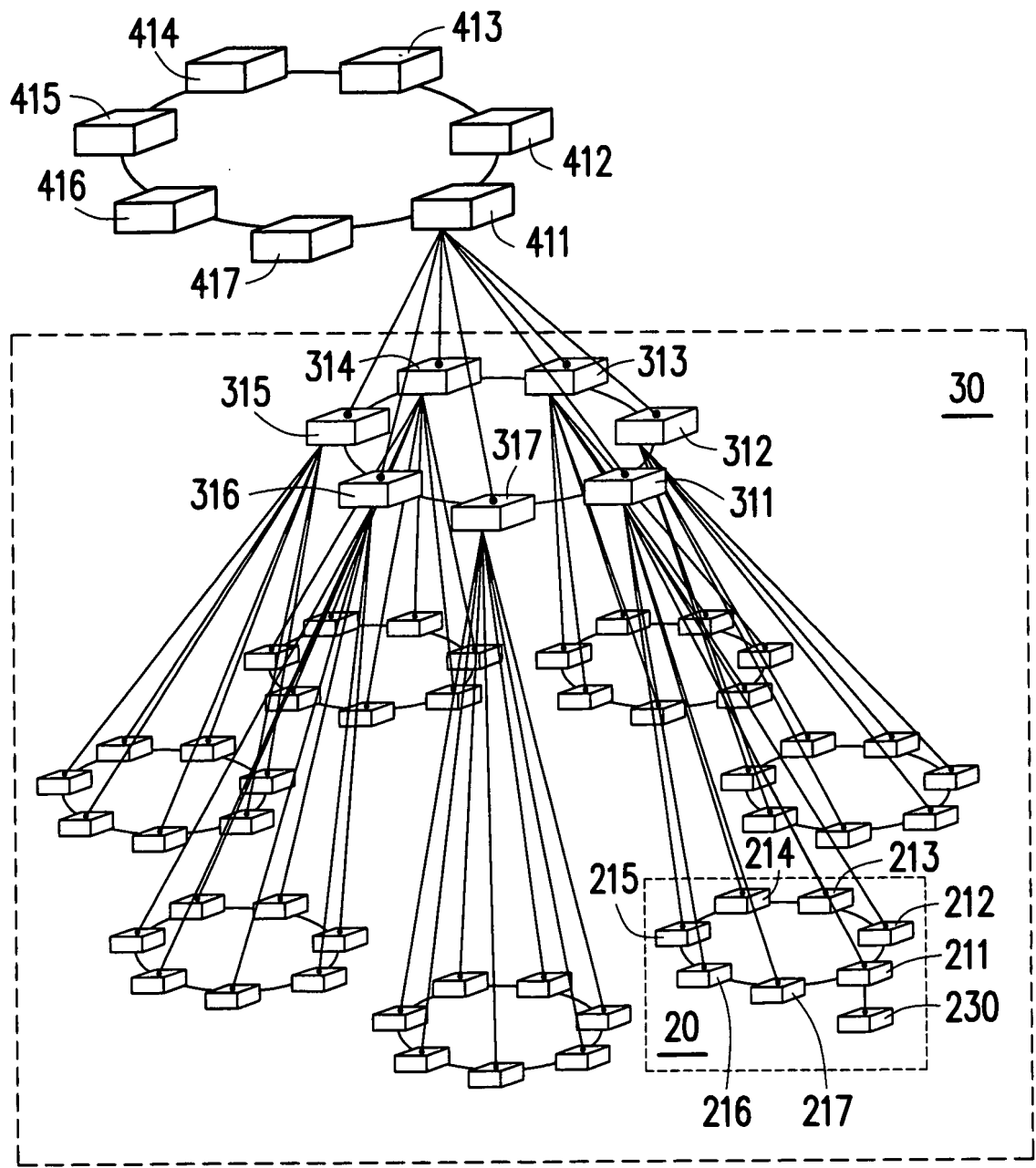
光交換器的該些橫向埠與該些縱向埠的數量和，

其中，各該第三層光交換器的該些橫向埠的數量大於等於：

$$\text{round}\left[\frac{B^2 \cdot P \cdot (1-P)}{2}\right] \cdot (B-1) \cdot 2, \text{ 其中 } P \text{ 值為介於 } 0 \text{ 到 } 1 \text{ 之間的一預}$$

設常數值，以及 B 值為該些光交換器的數量。

圖式



10

圖 1



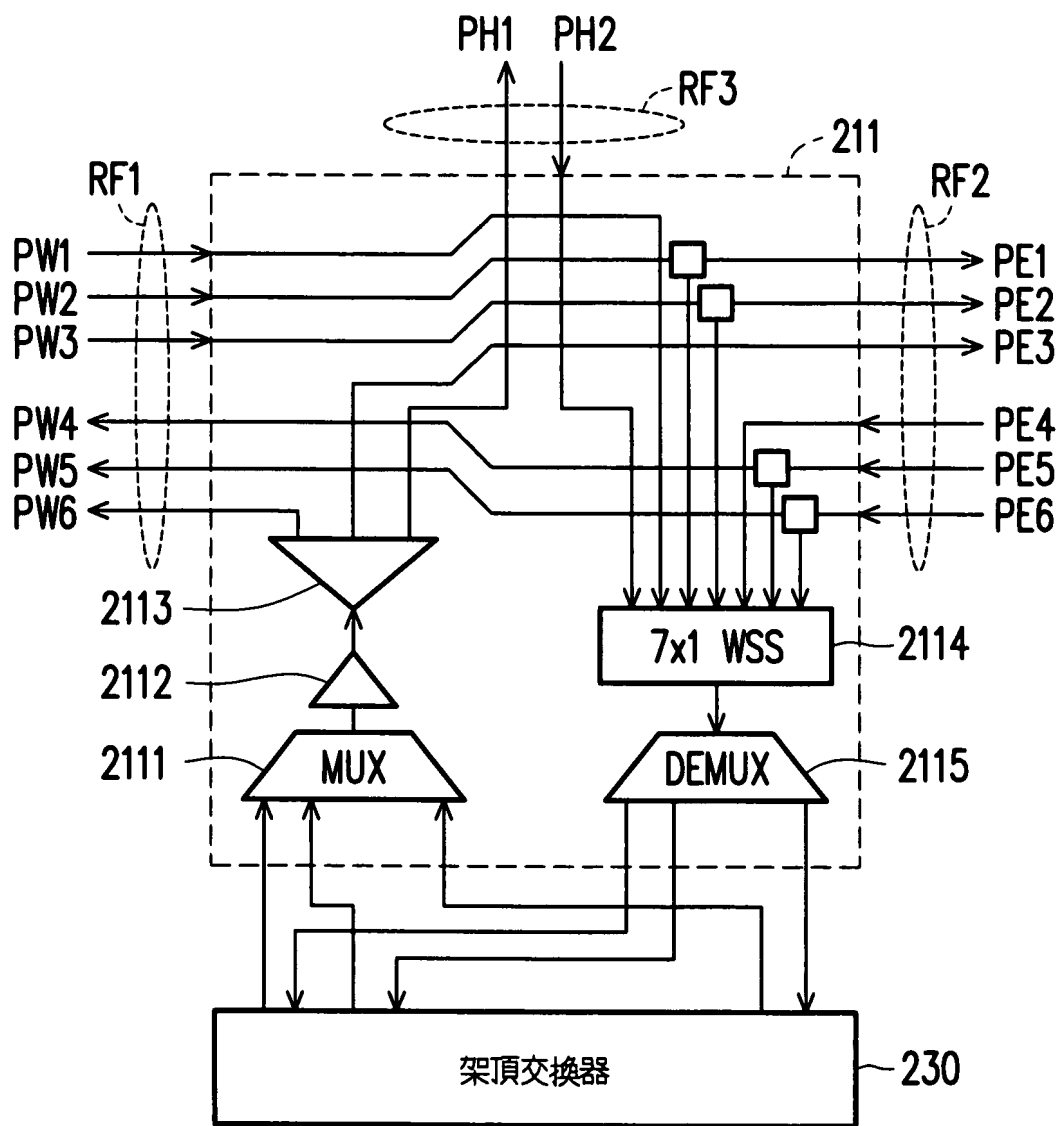


圖 2

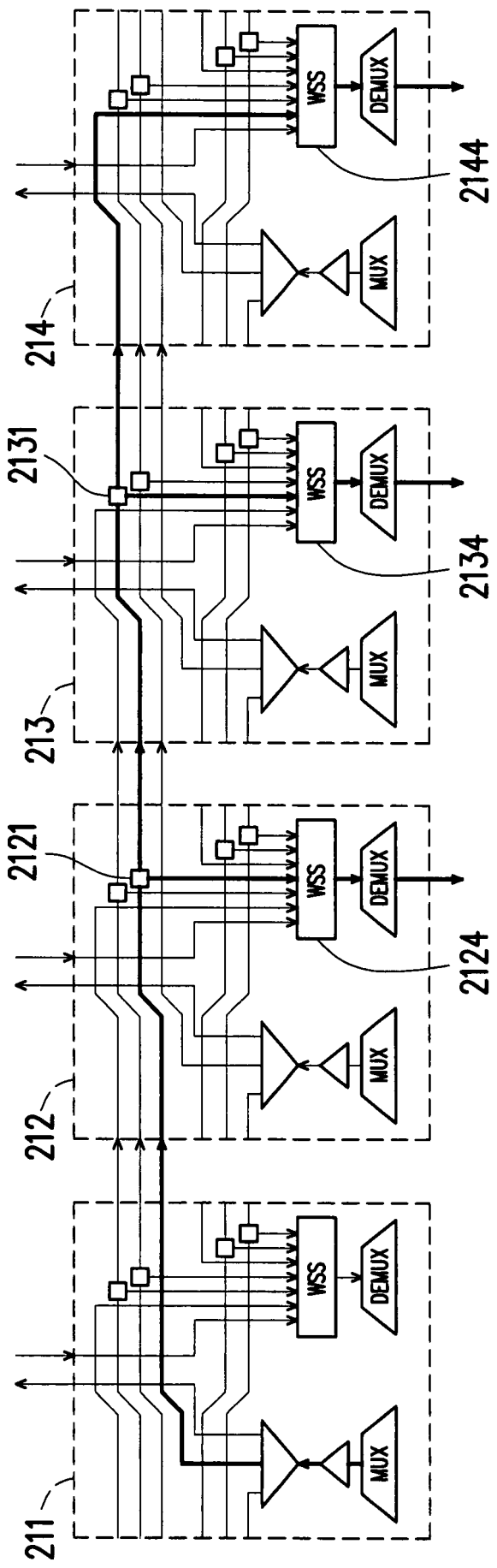


圖3



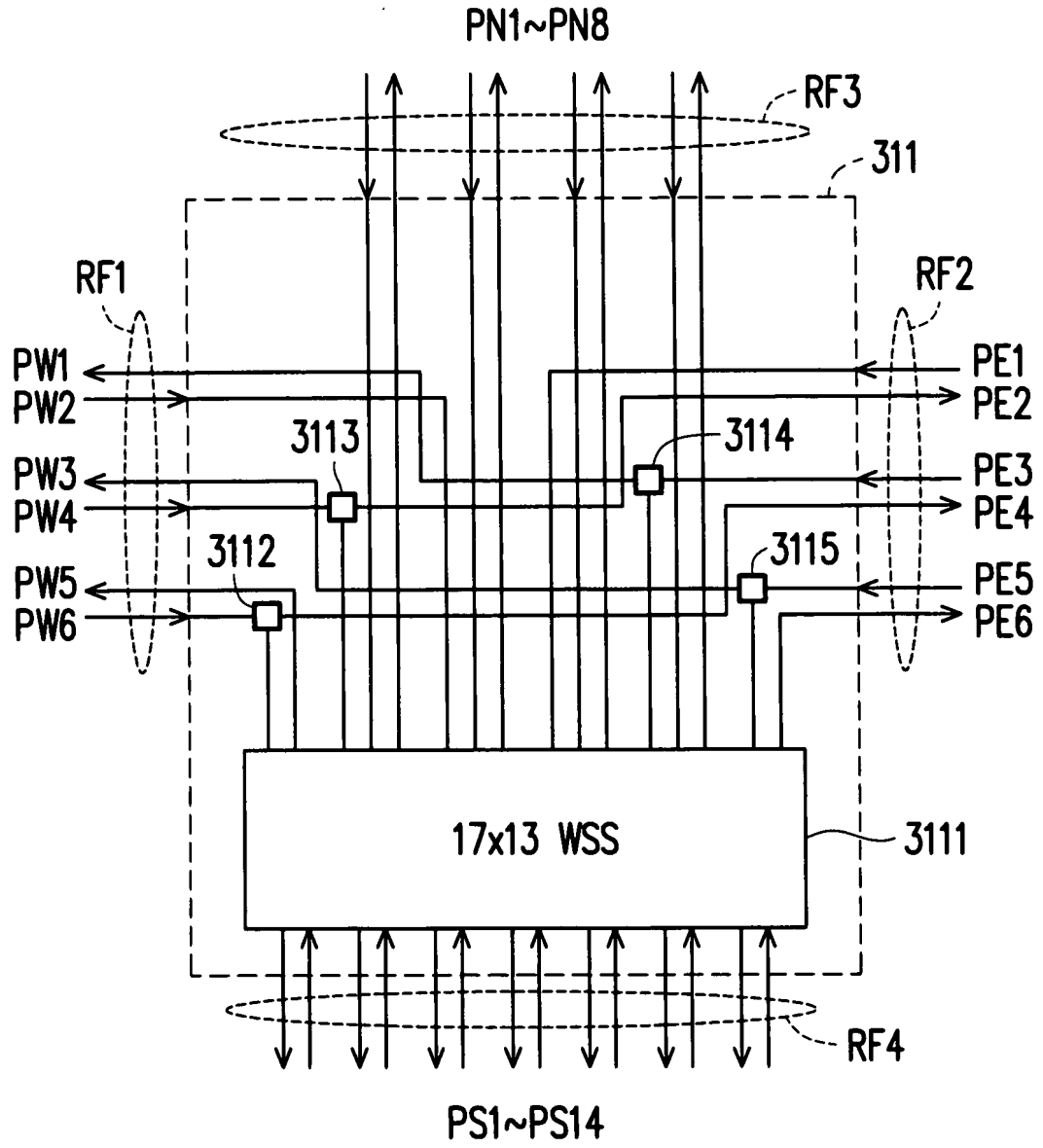


圖 4A

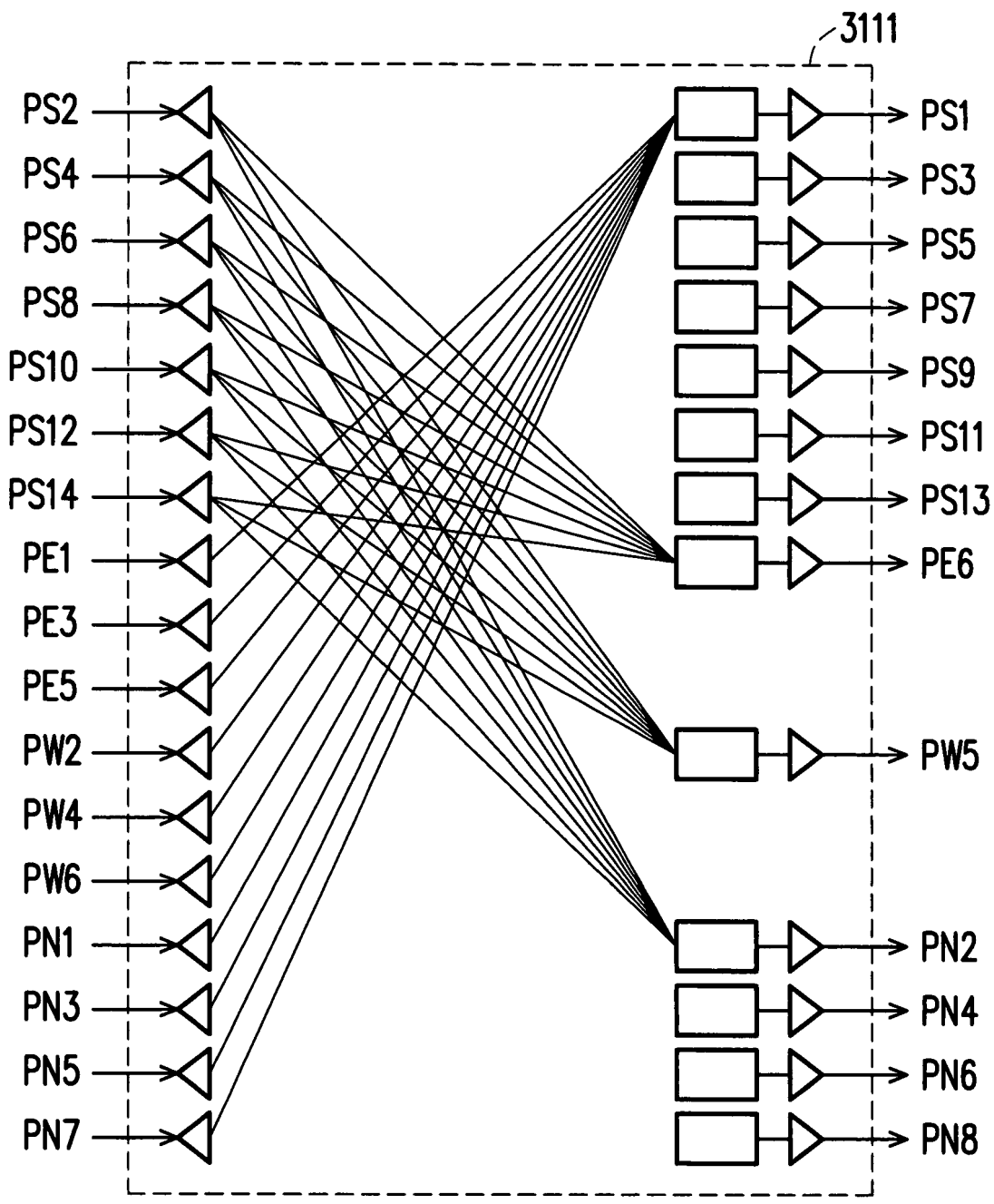


圖 4B

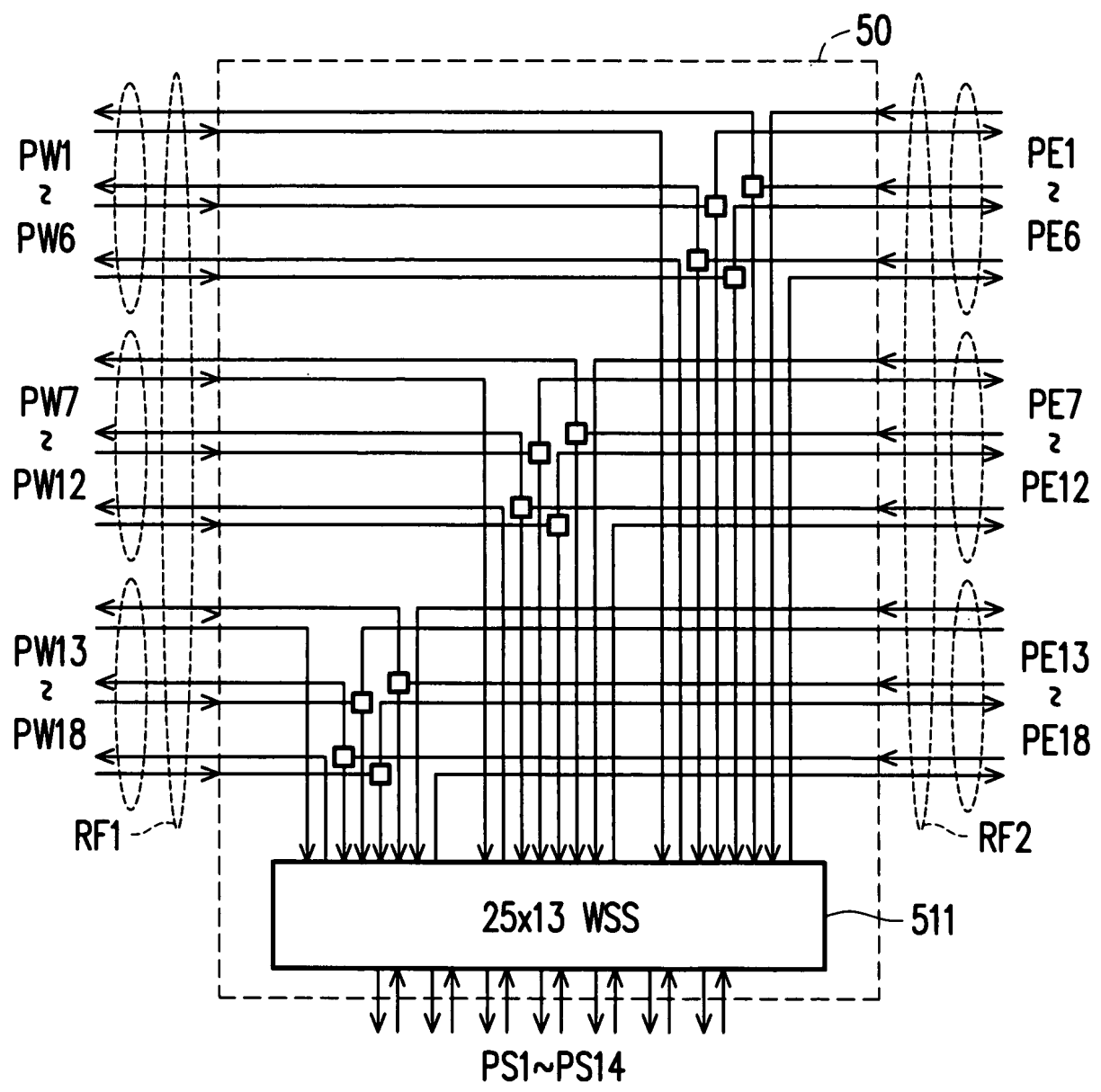


圖 5

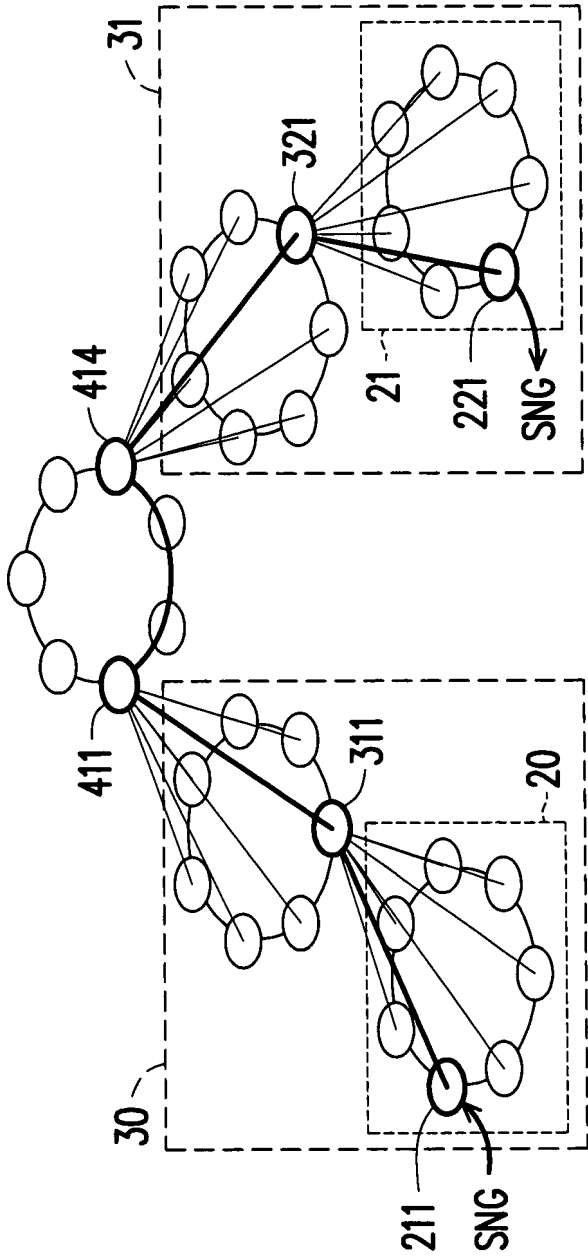


圖 6