



(19)中華民國智慧財產局

(12)發明說明書公告本

(11)證書號數：TW I791293 B

(45)公告日：中華民國 112 (2023) 年 02 月 01 日

(21)申請案號：110135482

(22)申請日：中華民國 106 (2017) 年 02 月 18 日

(51)Int. Cl. : **H04B10/43 (2013.01)**
G01S13/02 (2006.01)**H04B10/40 (2013.01)**

(30)優先權：2016/02/18	美國	62/297,112
2017/02/10	美國	15/430,179
2017/02/10	美國	15/430,192
2017/02/10	美國	15/430,200
2017/02/10	美國	15/430,221
2017/02/10	美國	15/430,235

(71)申請人：美商艾依有限公司 (美國) AEYE, INC. (US)
美國

(72)發明人：杜森 路意斯 DUSSAN, LUIS (US)；史坦哈德 亞倫 STEINHARDT, ALLAN (US)；庫克 大衛 COOK, DAVID (US)

(74)代理人：陳長文

(56)參考文獻：

WO 2016/025908A2

審查人員：廖家興

申請專利範圍項數：37 項 圖式數：16 共 64 頁

(54)名稱

雷達系統及用於雷達傳輸及接收之方法

(57)摘要

本文中揭示一種調適性雷射雷達接收器及關聯方法之各種實施例，藉以可至少部分地基於雷射雷達脈衝被定目標之處來調適性地控制用於接收雷射雷達脈衝返回之一光偵測器陣列中的作用像素。額外實施例揭示供該接收器使用之改良式成像光學件及另外用於選擇該光偵測器陣列之哪些像素用於感測入射光之調適性控制技術。

Disclosed herein are various embodiment of an adaptive lidar receiver and associated method whereby the active pixels in a photodetector array used for reception of lidar pulse returns can be adaptively controlled based at least in part on where the lidar pulses were targeted. Additional embodiments disclose improved imaging optics for use by the receiver and further adaptive control techniques for selecting which pixels of the photodetector array are used for sensing incident light.

指定代表圖：

符號簡單說明：

620:步驟

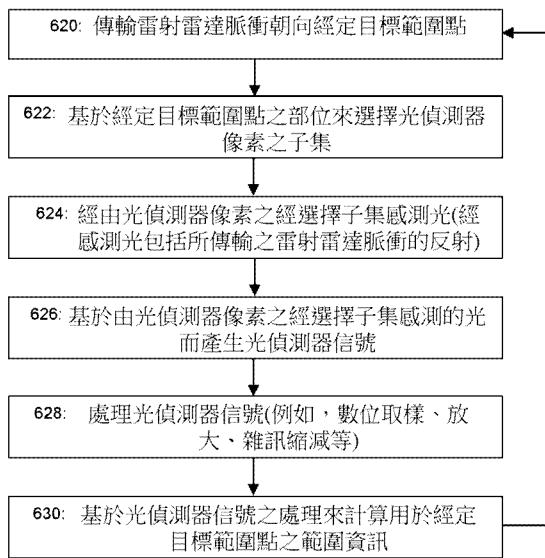
622:步驟

624:步驟

626:步驟

628:步驟

630:步驟



【圖6B】

**公告本**

I791293

【發明摘要】**【中文發明名稱】**

雷達系統及用於雷達傳輸及接收之方法

【英文發明名稱】**LADAR SYSTEM AND METHOD FOR LADAR TRANSMISSION
AND RECEPTION****【中文】**

本文中揭示一種調適性雷射雷達接收器及關聯方法之各種實施例，藉以可至少部分地基於雷射雷達脈衝被定目標之處來調適性地控制用於接收雷射雷達脈衝返回之一光偵測器陣列中的作用像素。額外實施例揭示供該接收器使用之改良式成像光學件及另外用於選擇該光偵測器陣列之哪些像素用於感測入射光之調適性控制技術。

【英文】

Disclosed herein are various embodiment of an adaptive ladar receiver and associated method whereby the active pixels in a photodetector array used for reception of ladar pulse returns can be adaptively controlled based at least in part on where the ladar pulses were targeted. Additional embodiments disclose improved imaging optics for use by the receiver and further adaptive control techniques for selecting which pixels of the photodetector array are used for sensing incident light.

【指定代表圖】

6B

【代表圖之符號簡單說明】

620:步驟

622:步驟

624:步驟

626:步驟

628:步驟

630:步驟

【發明說明書】

【中文發明名稱】

雷達系統及用於雷達傳輸及接收之方法

【英文發明名稱】

LADAR SYSTEM AND METHOD FOR LADAR TRANSMISSION
AND RECEPTION

【技術領域】

【先前技術】

感信，此項技術中極大地需要改良式電腦視覺技術，特別是在諸如汽車電腦視覺之領域中。然而，此等需要並不限於汽車電腦視覺市場，此係因為針對改良式電腦視覺技術之期望遍布於各種各樣的領域中，該等領域包括但不限於自律平台視覺(例如，用於空氣、陸地(包括地下)、水(包括水下)及太空之自律載具，諸如自律陸基載具、自律航空載具等等)、監視(例如，邊界安全、航空無人飛機監測等等)、製圖(例如，地下隧道之製圖、經由航空無人飛機之製圖等等)、目標辨識應用、遙測、安全警戒(例如，對於駕駛員)，及其類似者)。

如本文中所使用，術語“雷射雷達(ladar)”指代且涵蓋雷射雷達(laser radar)、雷射偵測與測距及光偵測與測距(“光達”)中之任一者。雷射雷達為結合電腦視覺而廣泛地使用之技術。在例示性雷射雷達系統中，包括雷射源之傳輸器將諸如雷射雷達脈衝之雷射輸出傳輸至附近環境中。接著，雷射雷達接收器將自附近環境中之物件接收此雷射輸出之反射，且雷射雷達接收器將處理經接收反射以判定至此物件之距離(範圍資訊)。基於此範圍資訊，希望計算諸如避障情境中的路徑規劃、路標點判定等等之事項的主機處理器可獲得對環境之幾何學的較清楚之理解。然而，針對電腦視覺

問題之習知雷射雷達解決方案遭受高成本、大尺寸、大重量及大功率要求，以及大資料頻寬使用。此情形之最佳實例為載具自律性。此等複雜化因素已很大程度上將其有效使用限制於僅需要短視覺範圍、窄視場及/或慢再停留速率之昂貴應用。

【發明內容】

為了解決此等問題，本文中揭示用於一種改良式雷射雷達接收器及/或改良式雷射雷達傳輸器/接收器系統之數個實施例。舉例而言，本發明人揭示用於一種調適性雷射雷達接收器及關聯方法之數個實施例，其中基於由雷射雷達脈衝定目標之範圍點的部位來可控制地選擇一可定址光偵測器陣列中之像素子集。更進一步，本發明人揭示該光偵測器陣列之此調適性控制經擴增以縮減雜訊(包括雷射雷達干擾)、最佳化動態範圍且減輕散射效應以及其他特徵的實例實施例。本發明人展示可如何結合一光偵測器陣列而運用各種光學件來擴增該接收器。經由此等揭示內容，可達成範圍精確度之改良，對於一些實施例包括預期毫米級準確度。下文更詳細地解釋此等及其他實例實施例。

【圖式簡單說明】

圖1A說明雷射雷達傳輸器/接收器系統之實例實施例。

圖1B說明雷射雷達傳輸器/接收器系統之另一實例實施例，其中雷射雷達傳輸器使用掃描鏡面及範圍點淘汰以支援預掃描壓縮。

圖2說明雷射雷達接收器之實例實施例的實例方塊圖。

圖3A說明雷射雷達接收器之偵測光學件的實例實施例，其中成像偵測光學件使用非成像光收集器。

圖3B說明雷射雷達接收器之偵測光學件的另一實例實施例，其中無

焦偵測光學件使用非成像光收集器。

圖4說明雷射雷達接收器之成像偵測光學件的實例實施例，其中成像偵測光學件使用成像光收集器。

圖5A說明成像雷射雷達接收器之直接至偵測器(direct-to-detector)實施例的實例實施例。

圖5B說明非成像雷射雷達接收器之直接至偵測器實施例的另一實例實施例。

圖6A說明雷射雷達接收器內之讀出電路系統的實例實施例，其使用多工器以用於選擇將偵測器陣列內之哪些感測器傳遞至信號處理電路。

圖6B說明雷射雷達接收方法之實例實施例，其可結合圖6A之實例實施例而使用。

圖7A關於圖6A之讀出電路系統而描繪信號處理電路之實例實施例。

圖7B關於圖6A之讀出電路系統而描繪信號處理電路之另一實例實施例。

圖8描繪用於產生多工器控制信號之控制電路的實例實施例。

圖9描繪結合二向色光偵測器之雷射雷達傳輸器的實例實施例。

圖10A描繪雷射雷達接收器使用相關性作為匹配濾波器以估計脈衝傳輸與脈衝偵測之間的延遲的實例實施例。

圖10B描繪用於圖10A之實例實施例的效能模型。

圖11A描繪使用回饋電路以改良經感測光信號之SNR之接收器的實例實施例。

圖11B描繪與回饋電路設計相關之另一實例實施例。

圖12描繪用於經智慧控制之調適性雷射雷達接收器的實例處理程序

流程。

圖13A描繪實例雷射雷達接收器實施例；

圖13B描繪圖13A之雷射雷達接收器實施例之日間使用的信雜比(SNR)對範圍之標繪圖以及額外接收器特性。

圖14A描繪另一實例雷射雷達接收器實施例；

圖14B描繪圖14A之雷射雷達接收器實施例之日間使用的SNR對範圍之標繪圖以及額外接收器特性。

圖15描繪運動增強型偵測器陣列利用之實例。

圖16描繪展示運動增強型偵測器陣列追蹤效能之標繪圖。

【實施方式】

[相關專利申請案之交叉參考及優先權主張]

本專利申請案主張2016年2月18日申請且名為“Ladar Receiver”之美國臨時專利申請案62/297,112的優先權，此美國臨時專利申請案之全部揭示內容係以引用方式併入本文中。

本專利申請案亦主張(1) 2017年2月10日申請且名為“Adaptive Ladar Receiving Method”之美國專利申請案第15/430,179號、(2) 2017年2月10日申請且名為“Adaptive Ladar Receiver”之美國專利申請案第15/430,192號、(3) 2017年2月10日申請且名為“Ladar Receiver with Advanced Optics”之美國專利申請案第15/430,200號、(4) 2017年2月10日申請且名為“Ladar System with Dichroic Photodetector for Tracking the Targeting of a Scanning Ladar Transmitter”之美國專利申請案第15/430,221號及(5) 2017年2月10日申請且名為“Ladar Receiver Range Measurement using Distinct Optical Path for Reference Light”之美國專利申請案第

15/430,235號的優先權，此等所有美國專利申請案主張2016年2月18日申請且名為“Ladar Receiver”之美國臨時專利申請案62/297,112的優先權，此等專利申請案中之每一者之全部揭示內容係以引用方式併入本文中。

圖1A說明雷射雷達傳輸器/接收器系統100之實例實施例。系統100包括雷射雷達傳輸器102及雷射雷達接收器104，其各自與系統介面及控制件106通信。雷射雷達傳輸器102經組態以朝向複數個範圍點110 (出於說明簡易起見，圖1A中展示單一此類範圍點108)傳輸複數個雷射雷達脈衝108。雷射雷達接收器104自範圍點110接收此雷射雷達脈衝之反射112。雷射雷達接收器104經組態以接收及處理經反射雷射雷達脈衝112以支援範圍點距離及強度資訊之判定。下文描述用於創新雷射雷達接收器104之實例實施例。

在一實例實施例中，雷射雷達傳輸器102可採取如下雷射雷達傳輸器之形式：該雷射雷達傳輸器包括掃描鏡面，且使用範圍點淘汰演算法以支援預掃描壓縮(其可在本文中被稱作“壓縮性感測”)，如由圖1B所展示。此實施例亦可包括環境感測系統120，其將環境場景資料提供至雷射雷達傳輸器以支援範圍點淘汰。可在2014年8月15日申請之美國專利申請案第62/038,065號以及美國專利申請公開案2016/0047895、2016/0047896、2016/0047897、2016/0047898、2016/0047899、2016/0047903及2016/0047900中找到此等雷射雷達傳輸器設計之實例實施例，此等各案中之每一者之全部揭示內容係以引用方式併入本文中。經由使用預掃描壓縮，此雷射雷達傳輸器可經由智慧範圍點目標選擇來較佳地管理頻寬。

圖2說明用於雷射雷達接收器104之實例實施例的實例方塊圖。該雷射雷達接收器包含偵測光學件200，其接收包括經反射雷射雷達脈衝112

之光。偵測光學件200與光感測器202光學連通，且光感測器202產生指示經感測之經反射雷射雷達脈衝112的信號。信號讀出電路系統204讀取由感測器202產生之信號以產生用於關於範圍點之資料建立(例如，計算範圍點距離資訊、範圍點強度資訊等等)的信號資料。應理解，雷射雷達接收器104可包括圖2未展示之額外組件。圖3A至圖5B展示可與雷射雷達接收器104一起使用之偵測光學件200的各種實例實施例。光感測器202可包含多個個別可定址光感測器之陣列(例如， n 元件光偵測器陣列)。作為一實例實施例，光感測器202可採取矽PIN陣列(例如，InGaAs PIN陣列)之形式。作為另一實例實施例，光感測器202可採取矽雪崩光二極體(APD)陣列(例如，InGaAs APD陣列)之形式。讀出電路系統204可採取數種形式中之任一者(例如，讀出積體電路(ROIC))，且下文描述用於該讀出電路系統之實例實施例。

圖3A說明用於雷射雷達接收器104之偵測光學件200的實例實施例，其使用非成像光收集器302。因此，諸如複合拋物面聚光器之非成像光收集器302不會將其入射固定光瞳304處之影像平面再成像至與非成像光收集器302在其出射孔徑處接合之光感測器202上。就此實例實施例而言，包括用於聚焦光之成像系統的透鏡300與非成像光收集器302光學連通。在圖3A之實例中，透鏡300經定位及經組態使得該透鏡將光(影像平面)聚焦於光收集器302之入射光瞳304處，即使在經接合之光感測器處不存在實際影像亦如此。

圖3B說明使用非成像光收集器302之偵測光學件200的另一實例實施例。就此實例實施例而言，無焦透鏡群組310與非成像光收集器302光學連通。光收集器302包括入射光瞳304，且光收集器302可與光感測器202

在其出射孔徑處接合。在圖3B之實例中，透鏡310經定位及經組態使得無焦透鏡群組之入射光瞳再成像於光收集器302之入射光瞳304處。本發明人亦注意到，在實踐者需要的情況下，圖3B之實施例可省略無焦透鏡310。

就圖3A及圖3B之實例實施例而言，光收集器302可採取諸如光纖錐光收集器或複合拋物面聚光器之形式。一實例光纖錐光收集器可購自Schott，且一實例複合拋物面聚光器可購自Edmunds Optics。

圖3A及圖3B之實例實施例向實踐者提供各種益處。舉例而言，此等實例實施例准許針對光感測器202使用相對小的偵測器陣列。作為另一實例，此等實施例可為有用的，此係因為其向實踐者提供以偵測器受光角換取偵測器大小以及以SNR換取高未對準容許度之機會。然而，圖3A及圖3B之實施例相對於其他實施例不會產生最佳SNR。

圖4說明使用成像光收集器320之偵測光學件200的實例實施例。因此，成像光收集器320將在其入射光瞳304處所接收之影像再成像至光感測器202上。就此實例實施例而言，包括用於聚焦光之成像系統的透鏡300與成像光收集器320光學連通。該透鏡經定位及經組態使得該透鏡將光(影像平面)聚焦於光收集器302之入射光瞳304處，且光收集器320將此光成像至經接合之光感測器202上。在一實例實施例中，光收集器320可採取相干光纖錐光收集器之形式。一實例相干光纖錐光收集器可購自Schott。

圖4之實例實施例亦向實踐者提供各種益處。舉例而言，如同圖3A及圖3B之實例，圖4之實例實施例准許針對光感測器202使用相對小的偵測器陣列。此實施例亦可有用於向實踐者提供以偵測器受光角換取偵測器大

小以及以SNR換取高未對準容許度之機會。圖4之實例實施例相對於圖3A/圖3B之實例實施例的益處為：圖4之實例實施例通常產生較高SNR。

圖5A說明用於雷射雷達接收器104之“直接至偵測器”偵測光學件200的實例實施例。就此實例實施例而言，包括用於聚焦光之成像系統的透鏡300與光感測器202光學連通。透鏡300經定位及經組態使得該透鏡將光(影像平面)直接地聚焦至光感測器202上。因此，不同於圖3A及圖4之實例實施例，在透鏡300與光感測器202之間不存在光收集器。

圖5B說明用於雷射雷達接收器104之“直接至偵測器”偵測光學件200的另一實例實施例。就此實例實施例而言，無焦透鏡310與光感測器202光學連通。透鏡310經定位及經組態使得透鏡光瞳直接地再成像至光感測器202上。本發明人亦注意到，在實踐者需要的情況下，圖5B之實施例可省略無焦透鏡310。

圖5A及圖5B之實例實施例被預期為針對光感測器202需要較大的偵測器陣列(相對於其他實施例，對於給定系統視場(FOV))，但其亦被預期為展現極好的SNR。在圖5A及圖5B之實施例之間，圖5A之實施例相比於圖5B之實施例通常將展現較佳的SNR，但預期到，圖5B之實施例通常較容忍未對準(此意謂圖5B之實施例將較易於製造)。

亦應理解，在實踐者需要的情況下，偵測光學件200可經設計以提供影像平面相對於光感測器202之部分成像。雖然此將引起略微“模糊”影像，但此模糊度可適合於涉及低填充因素偵測器陣列之數個應用及/或條件。

圖6A說明用於雷射雷達接收器內之讀出電路系統204的實例實施例，其使用多工器604以用於選擇將偵測器陣列600內之哪些感測器602傳

遞至信號處理電路606。在此實例實施例中，光感測器202採取包含複數個個別可定址光感測器602之偵測器陣列600的形式。每一光感測器602可被特性化為陣列600之一像素，且每一光感測器602將回應於入射光而產生其自己的感測器信號610。因此，陣列600可包含具有包含複數個光偵測器像素之偵測區的光偵測器。圖6A之實施例使用准許讀出電路系統204隔離在給定時間傳遞至信號處理電路606之傳入感測器信號610的多工器604。藉此，相對於諸如USPN 8,081,301 (其中未揭示選擇性地隔離感測器讀出之能力)所揭示之雷射雷達接收器設計的雷射雷達接收器設計，圖6A之實施例提供較佳的接收SNR，尤其可防止周圍被動光干擾。因此，信號處理電路606可每次對單一傳入感測器信號610 (或傳入感測器信號610之某一子集)進行操作。

多工器604可為提供足夠高之切換速率以符合偵測經反射雷射雷達脈衝之需要的任何多工器晶片或電路。在一實例實施例中，多工器604多工由偵測器陣列600之感測器602產生的光電流信號。然而，應理解，可使用多工器604多工由偵測器陣列600之感測器602產生之所得電壓信號的其他實施例。此外，在包括圖6A之讀出電路系統204之雷射雷達接收器與使用預掃描壓縮性感測之掃描雷射雷達傳輸器配對的實例實施例(諸如以上參考及併入的專利申請案中所描述的使用範圍點淘汰之實例實施例)中，由雷射雷達傳輸器提供之範圍點的選擇性定目標與由多工器604提供之選擇性讀出很好地配對，使得接收器可將偵測器讀出隔離至所關注之像素以便改良SNR。

控制電路608可經組態以產生控管將哪些傳入感測器信號610傳遞至信號處理電路606之控制信號612。在包括圖6A之讀出電路系統204之雷射

雷達接收器與使用根據掃描型樣之預掃描壓縮性感測之掃描雷射雷達傳輸器配對的實例實施例中，控制信號612可致使多工器以遵循傳輸器之射擊清單的型樣連接至個別光感測器602 (以上參考及併入的專利申請案中描述可由此傳輸器使用之射擊清單的實例)。控制信號612可按遵循經由射擊清單對範圍點之定目標的型樣選擇陣列600內之感測器602。因此，若傳輸器正運用雷射雷達脈衝而對像素x,y定目標，則多工器604可產生致使自偵測器陣列600讀出像素x,y之控制信號612。圖8展示用於控制電路608之實例實施例。控制電路608接收射擊清單800作為輸入。此射擊清單為一訊框內將由雷射雷達傳輸器定目標為範圍點之像素的排序清單。在802處，控制電路選擇射擊清單上之範圍點/目標像素中的第一者。在804處，控制電路將經選擇範圍點映射至偵測器陣列600之感測器/像素(或複合像素/超像素)。在806處，控制電路接著產生可有效地使多工器讀出偵測器陣列600之經映射感測器/像素(或複合像素/超像素)的控制信號612。在808處，控制電路前進至射擊清單上之下一範圍點/目標像素且返回至操作802。必要時，控制電路608可包括計時間以考量定目標於每一像素的雷射雷達脈衝的往返時間。

應理解，控制信號612可有效地每次選擇單一感測器602，或其可有效地每次選擇多個感測器602，在此狀況下，多工器604將選擇傳入感測器信號610之子集以供信號處理電路606進一步處理。此多個感測器可被稱作複合像素(或超像素)。舉例而言，陣列600可被劃分成複合像素之 $J \times K$ 柵格，其中每一複合像素包含 X 個個別感測器602。求和器電路可定位於偵測器陣列600與多工器604之間，其中每一求和器電路對應於單一複合像素，且經組態以對來自構成該對應複合像素之像素的讀出(感測器信號

610)求和。

亦應理解，實踐者可視需要而選擇在偵測器陣列600與多工器604之間包括一些前置放大電路系統。

圖6B描繪對應於圖6A之實例實施例的實例雷射雷達接收方法。在步驟620處，朝向經定目標範圍點傳輸雷射雷達脈衝。如上文所指示，視場之掃描區域中的此經定目標範圍點之部位可為雷射雷達傳輸器所知。此部位可自雷射雷達傳輸器傳遞至雷射雷達接收器，或由雷射雷達接收器自身判定，如下文所解釋。

在步驟622處，基於經定目標範圍點之部位來選擇偵測器陣列600中之像素子集。如結合圖8所指示，可在偵測器陣列600之像素與掃描區域中之部位之間作出映射關係，使得若掃描區域中之像素 x_1, y_1 被定目標，則此可被轉譯為偵測器陣列600中之像素 j_1, k_1 。應理解，子集可包括偵測器陣列600之僅單一像素，但在許多狀況下，子集將包含複數個像素(例如，經定目標範圍點映射至之特定像素加環繞該特定像素之某一數目個像素)。此等環繞像素可被預期為亦自範圍點雷射雷達脈衝反射接收能量，儘管其中此能量被預期為低於該特定像素。

在步驟624處，偵測器陣列600中之經選擇像素子集感測入射光，其被預期為包括步驟620處所傳輸之雷射雷達脈衝的反射/返回。包括於經選擇子集中之每一像素將因此產生隨入射經感測光而變之信號(步驟626)。若多個像素包括於經選擇子集中，則此等經產生像素特定信號可組合成隨經選擇子集之所有像素上之入射經感測光而變的經聚集信號。應理解，不包括於經選擇子集中之偵測器像素亦可產生指示由此等像素感測之光的輸出信號，但系統將不在步驟626至630處使用此等信號。此外，應理解，

系統可經組態以在步驟624及626處之讀出之前“零化”經選擇子集中之像素，消除可能已經存在於此等像素上之任何雜散/預存在的光的效應。

在步驟628處，處理步驟626處所產生之光偵測器信號。作為實例，可放大及數位化光偵測器信號以使能夠進行適合於基於經反射雷射雷達脈衝來解析範圍及強度資訊之進一步處理操作。下文進一步論述此等處理操作之實例。

在步驟630處，基於步驟628處的光偵測器信號之處理來計算用於經定目標範圍點之範圍資訊。此範圍計算可依賴於數種技術中之任一者。又，經計算範圍資訊可為指示雷射雷達系統100與經定目標範圍點110之間的距離的任何資料。舉例而言，經計算範圍資訊可為雷射雷達脈衝108自傳輸器102至經定目標範圍點110及經反射雷射雷達脈衝112自經定目標範圍點110回至接收器104之飛越時間的估計。此飛越時間資訊指示雷射雷達系統100與經定目標範圍點110之間的距離。舉例而言，範圍計算可依賴於雷射雷達脈衝被傳輸時與經反射雷射雷達脈衝在步驟628處所處理之信號中被偵測時之間的時間延遲的量測。下文論述用於支援此等範圍計算之技術的實例。

應理解，圖6B之處理程序流程描述一種調適性雷射雷達接收方法，其中偵測器陣列600之作用中感測區將基於雷射雷達傳輸器將雷射雷達脈衝定目標於何處而改變。藉此，感信，將達成顯著的雜訊縮減及範圍解析度改良。更進一步，如下文更詳細地所解釋，可基於自經感測光導出之資訊來調適性地選擇偵測器像素子集以進一步改良效能。

返回至圖6A，信號處理電路606可經組態以放大由多工器604傳遞之經選擇感測器信號，且將經放大信號轉換成指示用於雷射雷達範圍點之範

圍資訊及/或強度的經處理信號資料。圖7A及圖7B展示用於信號處理電路606之實例實施例。

在圖7A之實例中，信號處理電路606包含放大經選擇感測器信號之放大器700、將經放大信號轉換成複數個數位樣本之類比至數位轉換器(ADC) 702，及經組態以對數位樣本執行數個處理操作以產生經處理信號資料之場可程式化閘陣列(FPGA)。

放大器700可採取諸如低雜訊RF放大器或低雜訊運算放大器之低雜訊放大器的形式。ADC 702可採取N通道ADC之形式。

FPGA 704包括經組態以基於經反射雷射雷達脈衝來處理數位樣本且最終傳回關於與範圍點有關之範圍及/或強度之資訊的硬體邏輯。在一實例實施例中，FPGA 704可經組態以對由ADC 702產生之數位樣本執行峰值偵測。在一實例實施例中，此峰值偵測可有效地以少於 ± 10 cm的誤差計算範圍資訊。FPGA 704亦可經組態以對數位樣本執行內插，其中一曲線之樣本擬合至一多項式上以支援較精確地識別經偵測峰值擬合於該曲線上之處的內插。在一實例實施例中，此內插可有效地以少於 ± 5 mm之誤差計算範圍資訊。

當使用諸如由圖7A所展示之信號處理電路的信號處理電路的接收器與使用如以上參考及併入的專利申請案中所描述之壓縮性感測的雷射雷達傳輸器配對時，接收器將具有較多時間以對經偵測脈衝執行信號處理，此係因為雷射雷達傳輸器相比於習知傳輸器將每訊框在空中投入較少雷射雷達脈衝，此縮減對信號處理電路造成之處理負擔。此外，為了進一步改良處理效能，FPGA 704可經設計以充分利用FPGA之平行硬體邏輯資源，使得經偵測信號之不同部分同時由FPGA之不同硬體邏輯資源處理，藉此進

一步縮減計算每一範圍點之準確範圍及/或強度資訊所需要的時間。

此外，圖7A之信號處理電路能夠與展現低SNR(歸因於FPGA可對信號資料施加之信號處理)的傳入信號一起工作以便最大化偵測。

在圖7B之實例中，信號處理電路606包含放大經選擇感測器信號之放大器700，及將經放大信號轉換成表示經感測光(包括經反射雷射雷達脈衝)之複數個數位樣本的時間至數位轉換器(TDC) 710。TDC可使用峰值與保持電路以偵測經偵測信號中之峰值何時到達，且亦結合峰值與保持電路而將斜坡電路用作計時器。TDC 710之輸出可因而為表達可用以界定範圍點之範圍資訊之峰值之間的計時的一系列位元。

圖7B之信號處理電路相比於圖7A之實施例通常要求傳入信號展現較高SNR，但圖7B之信號處理電路相比於圖7A之實施例能夠在範圍上提供高解析度(例如，皮秒解析度)，且受益於實施起來較不昂貴。

圖9揭示雷射雷達傳輸器102及光偵測器900用以向雷射雷達接收器104提供關於雷射雷達傳輸器(經由其掃描鏡面)被定目標之處之追蹤資訊的實例實施例。在此實例中，光偵測器900光學地定位於掃描鏡面下游(例如，在雷射雷達傳輸器102之輸出處)，其中此光偵測器900作為以下各者而操作：(1)展現一頻率之入射光的有效透明窗口，該頻率在包涵將由雷射雷達脈衝108展現之頻率的範圍內(其中此頻率範圍可被稱作透明度頻率範圍)；及(2)展現不在該透明度頻率範圍內的頻率之入射光的光偵測器。因此，可選擇光偵測器之摻雜/本質層及基板，使得雷射雷達脈衝108屬透明度頻率範圍內，而處於另一頻率之光被吸收及偵測。展現此基於入射光頻率之透射性對吸收/偵測之雙重屬性的光偵測器之區可收容於光學透明/透射性罩殼中。支援光偵測操作的光偵測器900之電子電路系統可收

容於光偵測器900之無需為透明/透射性的另一區中。此光偵測器900可被稱作二向色光偵測器。

圖9之雷射雷達傳輸器102被配備有輸出光902之第二光源(例如，第二視軸式光源)，光902處於將由光偵測器900吸收且被轉換成光偵測器輸出信號904 (例如，光電流 q)之頻率。光902可為雷射光、LED光，或適合於由光偵測器900進行精確局域化偵測之任何其他光。雷射雷達傳輸器102可將光902與雷射雷達脈衝108對準，使得掃描鏡面將以與雷射雷達脈衝108之引導方式相同的方式引導光902。光偵測器之輸出信號904將指示光902照射光偵測器900之處的 x,y 位置。歸因於光902與雷射雷達脈衝108之對準，此意謂信號904將亦指示雷射雷達脈衝108照射(及傳遞通過)光偵測器900之處。因此，信號904充當追蹤雷射雷達傳輸器隨著傳輸器之鏡面進行掃描而被定目標之處的追蹤信號。在知道每一雷射雷達脈衝何時由傳輸器102激發的情況下，追蹤信號904可因此用以判定雷射雷達傳輸器在雷射雷達脈衝108被激發朝向範圍點110時正瞄準之處。吾人在下文論述可如何達成關於此激發之計時知識。追蹤信號904可接著由雷射雷達接收器104中之控制電路或系統內之其他智慧處理，以追蹤雷射雷達傳輸器102在雷射雷達脈衝108被激發時被定目標之處。藉由精確地知道傳輸器被定目標之處，系統能夠取得由接收器收集之資料的改良式位置部位。本發明人預期到，系統可針對約10 mrad之射束發散達成1 mrad或更佳的射束指向精確度。此允許進行後續處理以獲得關於大大超過原始光學繞射極限之範圍點返回的位置資訊。

吾人現在將論述雷射光之傳輸時間及接收時間。圖10A揭示實例實施例，其中在雷射雷達傳輸器102與雷射雷達接收器104之間提供相異於由

雷射雷達脈衝108採取的自傳輸器102朝向範圍點且經由雷射雷達脈衝反射112而回至接收器104之路徑的光學路徑，參考光1000係通過該光學路徑而自傳輸器102傳達至接收器104，以便改良範圍準確度。此外，此相異光學路徑足以確保光偵測器600接收參考光1000之乾淨複本。

此相異光學路徑可為自傳輸器102至接收器之光偵測器600的直接光學路徑。就此直接光學路徑而言，可避免與用以將參考光1000路由至接收器之光偵測器600之鏡面或光纖光學件相關聯的額外成本。舉例而言，在傳輸器及接收器呈並排空間配置的配置中，接收器104可包括將光自傳輸器102傳遞至光偵測器600之針孔或其類似者。實務上，可容易保證此直接光學路徑，此係因為雷射傳輸功率顯著地強於經接收雷射返回信號。舉例而言，在1 km處，就1 cm之接收光瞳及10%之反射率而言，由接收器感測之經反射光將比傳輸器輸出處之光小10億倍以上。因此，104處之雷射雷達接收器罩殼中的小(μm 尺度)針孔(其中該罩殼定位於鏡面904之輸出下游)將足以建立此直接鏈路。在另一實施例中，光纖光學饋送件可被從主光纖雷射源分開，且提供用以將參考光1000無失真地導引至光偵測器上之直接光學路徑。

在雷射雷達脈衝108激發至環境中之確切時間及確切部位產生的參考光1000可為與雷射雷達脈衝108相同的脈衝，以促進時間延遲量測以用於範圍判定。換言之，參考光1000包含與發送至場中之光子具有相同脈衝形狀的光子。然而，不同於來自場之雷射雷達脈衝反射，參考光脈衝乾淨而無雜訊且無散佈。

因此，如圖10A中之雷射雷達接收器104的實例展開圖所展示，光偵測器600經由相異光學路徑來接收參考脈衝1000且接著稍後接收經反射雷

射雷達脈衝112。由光偵測器600感測之信號可接著由ADC 1002數位化且被分離至兩個通道。在第一通道中，延遲電路/操作器1004延遲經數位化信號1006以產生經延遲信號1008。接著經由相關性操作1010來比較經延遲信號1008與經數位化信號1006。此相關性操作可為橫越等於或超過(已知)脈衝長度之時間間隔而求和的每一項1006、1008之乘法。隨著信號1006經由相關性操作1010而橫越信號1008有效地滑動，相關性輸出1012將在兩個信號彼此對準時達到最大值。此對準將指示參考脈衝1000與經反射脈衝112之間的延遲，且此延遲可用於高解析度範圍判定。舉例而言，假設參考光信號1000比經反射雷射雷達脈衝112早3個數位樣本地到達。假定此等兩個信號相同(在反射中無脈衝散佈)且相等，在比例因數{1,2,1}內，亦即，傳輸脈衝持續三個樣本。則對於1004中為零之延遲，在對脈衝長度求和兩次的情況下，輸出為{1,2,1,0,0,0}乘{0,0,0,1,2,1}。接下來假設吾人在1004中延遲1個樣本。則輸出為總和[$\{0,1,2,1,0,0\}$ 乘 $\{0,0,0,1,2,1\}$]=1。若吾人再次使延遲遞增1個樣本，則吾人取得4作為相關性輸出1012。對於下一樣本延遲遞增，吾人取得為6之相關性輸出。接著，對於下一樣本延遲遞增，吾人取得為4之相關性輸出。對於接下來的兩個樣本延遲遞增，吾人分別取得為1及接著為零之相關性輸出。第三樣本延遲產生最大相關性輸出，從而正確地得知參考光與經反射雷射雷達脈衝之間的延遲。此外，考慮到，對於1 km之範圍，傳輸器可被預期為能夠每秒激發150,000個脈衝，預期到，將存在足夠計時空間以用於確保接收器取得參考光1000之乾淨複本而沒有由於雷射雷達脈衝反射112而回來的光。由圖10A所展示之延遲及相關性電路亦可被稱作匹配濾波器。匹配濾波器可實施於形成信號處理電路606之部分的FPGA或其他處理器中。

雖然圖10A之實例在接收器中展示單一光偵測器600及ADC 1002，但應理解，單獨光偵測器可用以偵測返回脈衝112及參考脈衝1000。又，單獨ADC可用以數位化來自此等光偵測器之輸出。然而，咸信，使用由返回脈衝112及參考脈衝114共用之單一光偵測器及ADC將服從於實施方案中的成本節省卻無效能損失。又，亦可使用脈衝1000作為參考來執行經取樣返回脈衝112之內插。在使用上文所描述之處理程序而進行的峰值尋找之後，系統可首先內插參考光信號。此可使用任何所要內插方案而完成，諸如三次仿樣函數、sinc函數內插、零填補及FFT等等。系統接著在峰值周圍內插接收信號，且重複上文所描述之處理程序。新峰值現在為經內插值。返回至吾人的先前實例，假設吾人內插參考光脈衝以取得 $\{1, 1.5, 2, 1.5, 1, 0, 0, 0, 0, 0, 0\}$ ，且吾人同樣地內插接收脈衝以取得 $\{0, 0, 0, 1, 1.5, 2, 1.5, 1\}$ 。接著，系統滑動、相乘及求和。此情形相比於僅僅單獨地“信任”雷射雷達返回內插之優勢為：與參考光之相關性自雷射雷達返回移除雜訊。

使參考脈衝1000與雷射雷達脈衝108在形狀方面相同會促成範圍偵測之改良式準確度，此係因為此配置能夠考量在不同射擊之間的脈衝108之變化。具體言之，自形狀改良範圍，且由強度改良反射率量測，此係使用脈衝能量校準(其為僅僅量測傳輸時之能量的技術)而進行。由圖10B所展示之模型化結果中揭露範圍的狀況。圖10B之垂直軸線為範圍準確度，被量測為 $\pm x$ cm，亦即，以cm為單位而量測之 x 標準偏差；且圖10B之水平軸線為SNR。此模型應用於1 ns半高全寬高斯(Gaussian)脈衝。圖10B所標繪之底部線為理想狀況。附近實線121為具有1皮秒之計時抖動(其為商業上容易從2GHz ADC獲得之抖動位准)之ADC的標繪圖。藉由比較下方指

示為121之兩個曲線的效能，吾人可自圖10B看出，抖動並非在達成次cm解析度方面之限制性因素。具體言之，下部曲線(無抖動)及上部曲線(抖動)在極高的(且通常不可達成的) SNR [~ 1000]下僅相差一毫米。然而，脈衝變化為顯著的限制。此係由120看到，其為在5%之脈衝間形狀變化(商用奈秒脈衝式雷射雷達系統中之常見極限)的情況下可得到的效能。對於峰值尋找及隨SNR而變之內插兩者，120與121之間的差異為由所揭示之圖10A技術之實例實施例達成的改良。

吾人藉由提醒此程序之計算複雜性完全在現有FPGA裝置之範疇內而終結範圍精確度之論述。在一實施例中，可在自經反射光達脈衝到達之資料超越先前臨限值之後實施相關性及內插。此在無效能成本的情況下極大地縮減複雜性。回想到，相關性及內插之意圖係改良測距一而非偵測自身，因此，延遲此等操作且僅在經偵測範圍返回之鄰域周圍應用該等操作會使計算流暢而不損害效能。通常，僅採取參考光脈衝之3個樣本，此係因為其非常短。使用立方模型來內插此20倍會需要僅約200次操作，且每射擊完成一次，標稱為100,000次射擊。預匹配濾波器及相對雷射雷達接收脈衝之內插的總負擔則為20 Mflop。若吾人選擇最大、第一及最後脈衝以供處理，則此上升至小於100 Mflop，此與可用於現代商用裝置中之萬億次浮點運算(teraflop)形成比較。

此外，圖11A揭示使用回饋電路1100以改良由作用中的感測器/像素602感測之信號之SNR的接收器設計之實例實施例。回饋電路1100可經組態為一匹配網路，其與經接收雷射雷達脈衝返回112共振(其中雷射雷達脈衝108及返回脈衝112可在一實例實施例中展現高斯脈衝形狀)，藉此增強信號且延緩雜訊。光偵測器效能隨間距(每一元件之區域)及頻寬而變。被

動成像器缺乏入射時間信號結構之先前知識且因此不能夠調諧效能。然而，在雷射雷達傳輸器使用壓縮性感測的實例實施例中，經傳輸雷射雷達脈衝108係已知的，此係因為其為指定範圍行跡內之到達時間。此知識可促進對偵測器電流濾波、增加信號強度且對接收器雜訊濾波之匹配網路回饋迴路。可經由來自控制電路之控制信號1102來控制由回饋電路提供之回饋增益。此外，應理解，控制電路608亦可與信號處理電路606通信，以便得到關於接收器之操作狀態的較多資訊。

回饋電路1100之匹配網路可嵌入至偵測器600之In-GaAs基板中，以最小化RF耦合雜訊及交叉通道阻抗雜訊。將匹配網路添加至偵測器晶片上之成本係最小的。另外，此匹配允許吾人獲得相比於通常可用的情形更佳的暗電流、周圍光及詹森(Johnson)雜訊抑制。此進一步縮減所需雷射功率，此在與用於雷射雷達脈衝108之1.5 μm 波長組合時產生對眼睛非常安全的解決方案。匹配網路可包含具有多個極、放大器及級之較複雜匹配網路。然而，單一極已經提供顯著益處。應注意，至信號處理電路606之輸入可為高斯性的，而不管多工器之複雜性、回饋，或像素之大小變化性，此係歸因於此核之卷積及乘法不變性。

圖11B展示詳述回饋電路1100可如何設計之實例。匹配網路涉及在具有由控制電路608供給之增益控制器的受控制回饋迴路1104中的一或多個放大器1102。匹配網路可存在於至多工器604之所有輸入線上，且圖11B出於說明簡易起見而在點線方框1120內展示僅僅展示單一此類網路。藉由使用微分方程式以模型化回饋電路之輸入/輸出關係，通常選擇回饋增益以輸出最大SNR。實務上，控制迴路可經設計以監測多工器輸出，且調整放大器1102以考量歸因於使用期限之漂移、熱效應，及周圍光之可能波

動。但本文中亦揭示使用兩個或多於兩個數位通道以建置濾波器(例如，威納(Weiner)濾波器或最小均方濾波器)以拒絕來自強散射體、其他雷射雷達脈衝或甚至為頻帶內日光、前照燈或其他污染物之干擾的實施例。又，可在每一射擊時重設回饋電路以避免在射擊之間來自輸出中之污染的任何飽和。

若將高斯脈衝形狀用於雷射雷達脈衝108 (在此狀況下，所有空間時間信號保持正態分佈，使用1122中之記法)，則可極大地簡化回饋控制。因此，在一實例實施例中，雷射雷達脈衝108及其返回脈衝112可展現高斯脈衝形狀。在此實例實施例(其中雷射脈衝108為高斯性的)中，脈衝之傅立葉(Fourier)表示亦為高斯性的，且由控制電路608進行之增益選擇係易處理的，從而確保快速且精確的調適。

由圖11B展示之設計的另一創新態樣為針對光偵測器陣列600內之複數個感測器602使用六角形形狀之像素。陰影區域1130指示經選擇以在給定時間傳遞至信號處理電路606之經選擇像素子集。藉由調適性地選擇哪些像素602係由多工器604選擇，接收器可藉由添加或減去像素/感測器602來增大或縮小陰影區域1130之大小。像素/感測器602之六角形形狀提供用於容錯之有利形狀，此係因為每一六角形具有6個相鄰者。此外，在實踐者需要的情況下，光偵測器陣列600之像素/感測器602可展現不同大小及/或形狀。舉例而言，一些像素/感測器之大小可較小(例如，參見1132)，而其他像素/感測器之大小可較大(參見1134)。此外，一些像素/感測器可為六角形，而其他像素/感測器可展現不同形狀。

圖12描繪用於實施用於控制接收器如何調適光偵測器陣列600之作用區之調適性控制技術的實例處理程序流程。在步驟1200處，界定有資格

包括於子集1130中之像素清單。此清單可為包括指示哪些像素602有資格被選擇包括於子集1130中之資料的任何資料結構1202。此資料結構可維持於可由實施圖12之處理程序流程之處理器存取的記憶體中。雖然圖12之實例展示識別有資格像素602之清單1202，但應理解，資料結構1202亦可充當識別無資格包括於子集1130中之像素的有效黑名單。

在步驟1204處，可包括處理邏輯(例如，FPGA)及/或其他處理器之電路(例如，信號處理電路606及/或控制電路608)操作以自由陣列600感測之光(其可由該陣列中的作用中的像素子集602感測)或自環境場景(例如，藉由處理攝影機/視訊影像)導出資訊。此經導出資訊可包括諸如是否存在任何飽和條件、任何像素是否發生故障、視場中是否存在任何高雜訊區域等等之資訊。下文論述可有用於調適性控制之經導出資訊的實例。此外，應理解，過飽和條件可歸因於特定像素(例如，由強入射光致盲之像素)，及/或可歸因於由包括於子集1130中之像素所進行的像素讀取之組合引起的經聚集信號(其中像素輸出之聚集使處理電路系統之線性操作範圍過飽和)。

在步驟1206處，基於步驟1204處所導出之資訊來調整有資格像素清單1202。舉例而言，若給定像素被發現為由於步驟1204而發生故障，則可在步驟1206處自清單1202移除此像素。相似地，在步驟1206處，可自清單1202移除任何過飽和像素，及/或可自清單1202移除對應於視場之有過多雜訊區域(例如，雜訊超過臨限值的區)的任何像素。

接下來，在步驟1208處，系統基於經定目標範圍點而自有資格像素清單1202選擇像素。此可如結合圖8之步驟804所描述而執行，但其中清單1202依據掃描區域/視場中的經定目標範圍點之部位而界定有資格被選

擇之像素集區。因此，若經定目標範圍點被映射至陣列中之像素1140且子集1130將通常已包括相鄰於像素1140之所有像素，則圖12之調適性控制技術可操作以界定子集1130，使得若在步驟1206處自清單1202移除像素1140之左上部相鄰像素(例如，歸因於偵測到的故障或其類似者)，則該左上部相鄰像素不包括於子集1130中。此外，應理解，步驟1208亦可操作以使用步驟1204處所導出之資訊以影響哪些有資格像素包括於子集中。舉例而言，可基於經導出資訊而將額外像素添加至子集1130以增加作用感測器區之大小。相似地，可藉由基於經導出資訊而在子集1130中使用較少像素來縮小作用感測器區之大小。因此，亦應理解，由經選擇子集1130界定之作用區的大小可基於步驟1204處所導出之資訊而在射擊之間波動。

在步驟1210處，將步驟1208處所選擇之像素包括於子集1130中，且接著控制MUX讀取/組合來自包括於經選擇子集1130中之像素的輸出(步驟1212)。此後，處理程序流程返回至步驟1204以用於下一雷射雷達脈衝射擊。因此，可看出，圖12之處理程序流程界定用於智慧地及調適性地控制陣列600中之哪些像素用於感測雷射雷達脈衝返回的技術。

此外，應理解，圖12之處理程序流程亦可用以影響傳輸器操作。舉例而言，可將有資格像素清單(或無資格像素清單)提供至雷射雷達傳輸器以供雷射雷達傳輸器使用以調整其射擊清單上之射擊的計時/次序(例如，避免將很可能在接收時受到雜訊破壞之射擊)。更進一步，作為一實例，若步驟1204處所導出之資訊指示由MUX 604產生之經聚集信號過飽和，則雷射雷達傳輸器可縮減由雷射雷達脈衝108使用之功率以縮減接收側上之過飽和的可能性。因此，當此過飽和破壞接收器時，雷射雷達傳輸器可藉由縮減用於雷射雷達脈衝108之功率且重新傳輸功率縮減的脈衝來重複

受破壞射擊。

本文中亦揭示可由雷射雷達系統使用之控制技術的特定實例。雖然每一控制技術將被個別地論述且應被理解為能夠獨自地進行實施，但亦應理解，此等控制技術中之多者可聚集在一起以進一步改良用於調適性接收器之效能。因而，應理解，在許多情況下，此等控制技術之聚集組合將係協同的及加強的。在其他狀況下，可存在將由實踐者基於接收器之所要操作特性而解決的取捨問題。

調適性容錯遮罩：

就習知成像陣列而言，死像素通常導致無法復原之損失。然而，就本文中所描述之調適性控制特徵而言，發生故障的像素602具有最小效應。假設(例如)吾人具有500個像素602之陣列600。接著假設吾人具有將遠場場景映射至7像素超/複合像素1130 (指定像素1140及其相鄰者)之透鏡。損失一個像素會導致淨光子能量之1/7損失。若偵測器陣列為射擊雜訊受限的，則吾人僅具有7%之能量損失，而非全成像陣列之100%損失。下文將用於容錯調適性遮罩之實例控制流程展示為應用於雷射雷達傳輸器使用壓縮性感測的實施例。應理解，遮罩可由控制電路608使用以界定哪些像素602包括於作用感測器之經選擇子集中及哪些像素602不被如此包括。舉例而言，遮罩可為每一位元位置對應於陣列600中之一不同像素的資料信號。對於具有“1”之值的位元位置，對應像素602將包括於經選擇子集中，而對於具有“0”之值的位元位置，對應像素602將不包括於經選擇子集中。

不能夠偵測光之像素602 (亦即，“死”像素或“暗”像素)應不包括於經選擇子集中，此係因為此死像素將向對應於由經選擇子集界定之複合像素

的經聚集之經感測信號添加雜訊而不添加信號。此外，應理解，發生故障的像素並不僅限於死像素。亦應自經選擇子集省略不管入射光是否被接收均產生輸出信號之像素602 (例如，“卡住”像素或“白色”像素)。事實上，白色像素可甚至比暗像素更差，此係因為由白色像素產生之卡住電荷可導致恒定明亮讀取，此向複合像素中之所有返回添加眩光。下文描述用於產生調適性容錯遮罩之實例控制處理程序流程，該調適性容錯遮罩可基於哪些像素602被偵測為發生故障來調整哪些像素602包括於經選擇子集中：

1：**選擇**背景像素狀態探測射擊排程重複速率T

(例如，標稱為每小時一次)。

2：**分解**：在過去先前時間區塊T中，識別S，尚未被選擇以供照明之像素集合。分解成S1、S2，前者為可定址的(場景中之強返回)，而後者被界定為非可定址的(例如：高於地平線)。應注意，S1、S2係時變的。

3：**射擊清單**：將S1、S2送入至射擊清單中。

4：**建構**遮罩以取消選擇根據對來自1至3的返回之分析而識別之有錯誤的圖塊(無返回或異常增益)。超像素大小可基於透鏡及圖塊間距予以設定，但可標稱為7。

5：**遞迴**1至4。

6：**平均**：在上文中，必要時，對像素探測應用移動平均，且包括調適性度量衡。

此方式之容錯可為在改良安全性方面之有用步驟，此係因為：在不加彌補的情況下，單一缺陷可致使整個FOV不操作。

用以控制動態範圍之調適性遮罩：

對哪些像素子集在給定時間被啟動之調適性控制亦可用以調整系統

之動態範圍。基於範圍知識，由複合像素產生之信號將具有可預測強度。可建構藉由調整由包括於經選擇子集中之像素602界定之複合像素的大小來縮減(或增加) ADC前置濾波器及/或ADC自身處的返回之動態範圍的遮罩。舉例而言，若典型複合像素為7個像素(參見圖11B中之1130)，則調整子集使得其自7個像素下降至單一像素會將能量縮減7倍(或大致三個位元)。光偵測器量測光之能量，而非光之振幅。因此，ADC之動態範圍為習知通信及量測振幅之雷達電路之動態範圍的平方。因此，適當地控制動態範圍針對雷射系統為技術挑戰。舉例而言，對於固定反射率及雷射功率，經調諧以在10至500 m上操作之雷射雷達系統將經歷達2500之信號返回動態範圍改變。若附近物件使接收器飽和，則再遠一點的目標將會損失。因此，一實例實施例可包括分析瞬時視場中之先前射擊範圍返回，以評估在多工器電路中自經選擇子集截除任何像素之需要。因此，可期望使MUX丟棄來自區1130之一或多個像素的感測器信號，如下文所概述。下文描述用於產生用於控制返回信號之動態範圍之調適性遮罩的實例控制處理程序流程：

1. **檢測**來自所關注之脈衝返回的範圍返回，該脈衝返回係根據選擇性感測或壓縮性感測而獲得。
2. **識別**任何飽和假影，如由若干範圍樣本之MSB (最高有效位元)處的ADC報告所證明。
3. 將飽和範圍樣本**映射**至原點之精確方位角及仰角。此可涉及探查鄰近單元以自情境判定原點(特別是在射束發散較明顯之較長範圍處)。
4. **修改**遮罩以藉由阻擋在3中所識別之原點中呈現較大增益的像素來

縮減飽和。

5. 需要時，進一步藉由僅選擇較小區域像素來**修改**遮罩。

用以移除干擾雷射雷達脈衝碰撞之調適性遮罩：

由接收器感測之光中的另一潛在雜訊源為來自干擾雷射雷達脈衝之碰撞。舉例而言，在移動汽車上使用雷射雷達系統的應用中，入射於光偵測器陣列600上之傳入光可不僅包括來自攜載本雷射雷達系統之載具的雷射雷達脈衝返回112，而且包括來自由不同載具攜載之不同雷射雷達系統的雷射雷達脈衝或雷射雷達脈衝返回(干擾性“車外”脈衝)。可藉由截除與來自其他雷射雷達系統之強干擾脈衝相關聯的像素來建立經選擇像素602之子遮罩而達成此等干擾脈衝之調適性隔離。以上參考及併入的專利申請案描述可如何使用脈衝編碼以促進解析哪些雷射雷達脈衝為“自己的”脈衝及哪些雷射雷達脈衝為“外部的”脈衝(例如，“車外”脈衝)。舉例而言，考慮到，將此編碼用以偵測像素1134含有來自干擾雷射雷達脈衝之能量。吾人將接著掃描陣列之全部像素(例如，運用叢集1130)以查看哪些像素正接收干擾。在一個實施例中，此將涉及使用編碼來移除“自己的”光達脈衝，在減去之後量測所得信號，且與預定臨限值進行比較。在另一實施例中，系統將僅僅分析MUX輸出，減掉“自己的”脈衝編碼信號，且比較剩餘部分與臨限值。實施例將取決於所遭遇干擾之嚴重性，及可用之處理器資源。在此偵測後，控制電路608就可自用於包括於經選擇子集中之有資格像素清單移除此像素1134，而干擾脈衝係由該像素1132登記。

系統亦可在夜間操作期間基於根據被動視訊的前照燈源局域化而移除像素(此處之操作保守假定為具有前照燈之每一載具具有一雷射雷達傳輸器)。此外，因為脈衝碰撞偵測可用以揭露車外脈衝，所以此資訊可用

以將任何經選擇車外雷射源視為所要信號，減掉其餘部分(包括自己的車的雷射雷達脈衝)，且掃描陣列之全部像素以尋找此干擾最大之處。藉此，吾人將識別出每一干擾雷射雷達源之源，其可接著被隨後移除。

用於強散射體移除之調適性遮罩：

由接收器感測之光中的另一潛在雜訊源為當雷射雷達脈衝照射展現強散射效應之物件(例如，強烈傾斜且具反射性的物件，與垂直於雷射雷達脈衝108之照射角的更理想定向的物件截然相反)時。展現多個返回之目標具有承載內容之資訊。然而，此內容可歸因於過度動態範圍而損失，此係因為最大返回飽和，從而將接收器驅動成非線性模式，及/或將較弱返回驅動為低於感測器偵測底限。通常，直接返回為最大者，而逐次返回係藉由地面彈跳分散而弱化，但當反射率在彈跳返回中較高時不為此狀況。在任一狀況下，需要調整遮罩，使得臨近的範圍樣本接收較高光瞳(擴張)(例如，其中經選擇子集界定陣列600之較大區域)，而再遠一點的範圍樣本經歷光瞳收縮(例如，其中經選擇子集界定陣列600之較小區域)。在遠範圍處，將存在雷射光點之大角展。強的近範圍散射體脈衝返回有可能在經傳輸脈衝之資料獲取窗口內到達。調適性遮罩之使用將允許藉由在接收時過解析光點射束(例如，由射擊返回射束涵蓋之多於一個像素)來移除此散射體，藉此縮減飽和或至目標單元中之散射體洩漏。舉例而言，假設，理論上吾人觀測到，範圍返回在1134處開始，遷移至1132處之雙像，且在1130處在最近的範圍出現。吾人可接著指示控制電路藉由在雷射脈衝橫越感測器陣列而掃掠時選擇不同多工器線來修改遮罩。

連結至遮罩回饋控制之調適性射擊計時：

在壓縮性感測中，可藉由用傳輸器對雷射脈衝故意地計時來進一步

縮減動態範圍，使得雷射峰值強度不屬於目標上，而是偏離近目標的干擾，藉此增加信號對雜波比率。此允許臨近的干擾抑制，其高於及超出由其他手段獲得之干擾抑制。舉例而言，理論上，假設上部感測器單元1132含有極強的目標，且亦被標記為1132之下部附近感測器單元含有一目標。接著，吾人可設定射擊計時以使經接收脈衝射擊照明移動遠離1132之雙像且使其更朝向1130定中心。吾人在此處正使用射擊計時之靈活性(經由壓縮性感測而提供)、傳輸時射束指向之知識(參見圖9)及感測器元件之選擇性(例如，參見圖11B)，以最佳地調諧接收器及傳輸器以獲得最佳可能信號品質。藉由確保遮罩經調諧使得接收射束之射束峰值遠離雜訊源(例如，迎面車輛)，吾人可縮減來自附近載具之強返回同時遠距成像，在一些狀況下一毫弧度就足以將強散射體縮減95%，同時使目標物件衰減僅百分之幾。在一實例實施例中，可使用選擇性感測以判定遮罩參數，但亦可選擇壓縮性感測，或基於固定道路圖之解決方案。此處之實例為車道結構，此係因為相對車道車輛產生最大干擾量。系統可藉此調整射擊或射擊排序以避免有雜訊區域，同時保持所要物件資訊。

藉由遮罩失配進行之動態範圍減輕的調適性遮罩：

若選擇1130中之遮罩以提供最大雷射雷達反射量測，則中心像素將具有最多能量。因此，其將在其他像素中之任一者之前飽和。因此，一種用於縮減飽和風險之途徑係在存在飽和之證據或關於飽和之憂慮的情況下僅僅自遮罩1130移除中心像素。

用於功率相干干擾拒絕之調適性遮罩：

本文中所揭示之進階接收器的一個益處為僅需要單一資料通道，而非M個，其中M為像素計數。然而，吾人仍可保持低成本且藉由添加第二

通道來調換系統。類似於第一通道，此第二通道可為全增頻類比至數位轉換器(參見圖7A)或飛行時間數位化器(參見圖7B)。任一實施例允許進行相干組合(在強度上)以使用濾波(諸如威納濾波或最小均方(LMS)濾波)來最佳地抑制干擾。在具有兩個通道 x, y 的情況下及在目標返回加權為 w_x, w_y 的情況下，此等效於求解權數及將權數應用於資料，使得 $w_x x + w_y y$ 之SNR最大化。經由此調適性遮罩，可縮減經感測光信號中之空間定向雜訊分量。

圖6A至圖12之實施例可在與諸如由圖4及圖5A所展示之偵測光學件(其中經感測光被成像至偵測器陣列600上)的偵測光學件配對時特別有用。在影像脈衝未成像至偵測器陣列600上的實施例(例如，圖3A、圖3B及圖5B之實施例(或影像歸因於部分成像而“模糊”的實施例)中，實踐者則可選擇省略多工器604，此係因為較少地需要將經偵測信號隔離至特定像素。

圖13A描繪實例雷射雷達接收器實施例，其中使用諸如由圖5A所展示之偵測光學件的“直接至偵測器”偵測光學件且使用圖7A之讀出電路系統。在此實例中，雷射雷達接收器經設計為具有大約 60×60 度FOV，及大約150 m範圍(@SNR=8，10%反射率)。接收器使用諸如矽或InGaAs PIN/APD陣列之低數目N元件偵測器陣列。當使用InGaAs PIN陣列時，接收器可展現2 cm輸入孔徑、14 mm焦距，且其可結合約4微焦耳/脈衝之大約0.2至5.0奈秒雷射脈衝而工作。可使用空間/角隔離以抑制干擾，且可使用場透鏡以確保在偵測器不具有足夠高的填充因素的狀況下在偵測器平面中不存在“死光點”。圖13B描繪針對圖13A之雷射雷達接收器實施例之日間使用的SNR對範圍之標繪圖。圖13B亦展示此實施例之額外接收器特

性。值得注意的是，反射率為80%(金屬)時的範圍超過600 m。此外，最大範圍包絡取決於現實目標反射率及構形/形狀而介於約150 m與約600 m之間。

圖14A描繪實例雷射雷達接收器實施例，其中使用諸如由圖3B所展示之偵測光學件的偵測光學件且使用圖7A之讀出電路系統。在此實例中，雷射雷達接收器經設計為具有大約50×50度FOV，及大約40 m範圍(@SNR=8，10%反射率)。如同圖13A之實施例，接收器使用諸如矽或InGaAs PIN/APD陣列之低數目N元件偵測器陣列。當使用InGaAs PIN陣列時，圖14A之接收器可展現2 cm輸入孔徑，使用無焦非成像透鏡，且其可結合約4微焦耳/脈衝之大約0.2至5.0奈秒雷射脈衝而工作。圖14B描繪針對圖14A之雷射雷達接收器實施例之日間使用的SNR對範圍之標繪圖。圖14B亦展示此實施例之額外接收器特性。值得注意的是，反射率為80%(金屬)時的範圍為約180 m。此外，最大範圍包絡取決於現實目標反射率及構形/形狀而介於約40 m與約180 m之間。

亦有可能藉由利用配備有雷射雷達系統之載具的運動或其正追蹤之物件的運動或此兩者來顯著地改良偵測範圍、SNR，且因此改良偵測機率，或此兩者。此可尤其有用於歸因於道路表面之低反射率(~20%)以及脈衝散佈及關聯SNR損失而繪製道路表面。

雙向(已知)射束型樣之隨機調變將位置資訊嵌入於所獲得之點雲端(point cloud)上。吾人可自此嵌入來提取改良式參數估計。此在雷達遙測中基本上為雙重之ISAR (逆合成孔徑雷達)。圖15中展示此情形，其中吾人展示給定方位角及仰角像素之偵測器輸出，其中每一列為來自單一射擊之範圍返回。隨著吾人聚集射擊，吾人獲得積分增益。在圖15中，實線白

色曲線1502展示指定的固定地面參考點如何歸因於載具運動而垂直地變化。應注意，該運動可導致非線性輪廓。此係歸因於如下事實：即使對於固定速度，地面平面投影亦不會在附近範圍處呈現平面投影。換言之，地面平面投影之亞可比行列式(Jacobian)係參數化變異的。吾人提出之相對運動利用方案係沿著此等輪廓對偵測器陣列輸出(二進位或強度)積分以重新建立地面平面地圖。此積分實務上因如下事實而成為必要：脈衝散佈，且因此，每一射擊將呈現弱返回。另外：瀝青傾向於具有相當低的反射率，大約20%，從而進一步使範圍資訊提取複雜。白色矩形區1502展示相對於雷射源載具呈現相對運動之載具的射擊遷移。為了簡化標繪圖，吾人展示速度差[接近速度]恒定的狀況。矩形1502之寬度呈現此差之不確定性。刻度展示出此寬度比用於上文所描述之地面製圖的寬度大得多。此係因為吾人必須使用雷射雷達來估計速度差，而自己的車具有GPS、加速計及其他儀器以增強度量衡。仔細檢測將展示出，在白色傾斜矩形1502內部存在較多偵測。此實例係針對為2之SNR，其展示出，即使在低SNR下，沿著軌道之積分[二進位]亦可提供適當效能。可容易計算且在圖16中展示接收器操作曲線。展示偵測機率1600 (右上部之細線)以及假警報曲線(左底部) 1602。吾人針對細線自一個射擊移動至30個射擊。水平軸線為在積分後位准下之臨限值，其按照圖15而形成運動學空間中之線。在為1.5之臨限值下觀測到，吾人在15個射擊處取得95% 6% Pd Pfa，此對於50 m/s之接近速度為25 m目標載具進入，或½秒。

雖然上文已關於本發明之實例實施例而描述本發明，但可對該等實例實施例進行仍屬於本發明之範疇內的各種修改。在檢閱本文中之教示後就將可辨識對本發明之此等修改。

【符號說明】

- 100:雷射雷達傳輸器/接收器系統
- 102:雷射雷達傳輸器
- 104:雷射雷達接收器
- 106:系統介面及控制件
- 108:雷射雷達脈衝
- 110:範圍點
- 112:經反射雷射雷達脈衝
- 114:參考脈衝
- 120:環境感測系統
- 121:實線
- 200:偵測光學件
- 202:光感測器
- 204:信號讀出電路系統
- 300:透鏡
- 302:非成像光收集器
- 304:入射固定光瞳
- 310:無焦透鏡群組
- 320:成像光收集器
- 600:偵測器陣列
- 602:感測器
- 604:多工器
- 606:信號處理電路

608:控制電路
610:感測器信號
612:控制信號
620:步驟
622:步驟
624:步驟
626:步驟
628:步驟
630:步驟
700:放大器
702:類比至數位轉換器(ADC)
704:場可程式化閘陣列(FPGA)
710:時間至數位轉換器(TDC)
800:射擊清單
802:操作
804:操作
806:操作
808:操作
900:光偵測器
902:光
904:光偵測器輸出信號
1000:參考光
1002:類比至數位轉換器(ADC)

1004:延遲電路/操作器
1006:經數位化信號
1008:經延遲信號
1010:相關性操作
1012:相關性輸出
1100:回饋電路
1102:控制信號
1104:受控制回饋迴路
1120:點線方框
1130:陰影區域
1132:像素
1134:像素
1140:像素
1200:步驟
1202:資料結構
1204:步驟
1206:步驟
1208:步驟
1210:步驟
1212:步驟
1502:曲線
1600:偵測機率
1602:假警報曲線

【發明申請專利範圍】

【請求項1】

一種雷達(ladar)系統，其包括：

一雷射雷達傳輸器，其包括複數個可掃描鏡面，該雷射雷達傳輸器經組態以進行以下操作：(1)對於複數個訊框中之每一者，每訊框選擇一訊框內的一範圍點子集；(2)針對每一訊框選擇性地掃描該等可掃描鏡面以定目標(target)於該等經選擇範圍點；及(3)經由該等經掃描鏡面而朝向該等經定目標範圍點傳輸複數個雷射雷達脈衝；及

一雷射雷達接收器，其包括：

一透鏡；

一光感測器；及

一光收集器，其定位於該透鏡與該光感測器之間；

其中該透鏡經組態以接收光，該經接收光包含自該等經定目標範圍點反射之複數個雷射雷達脈衝；

其中該光收集器經組態以將來自該透鏡的光收集至該光感測器上；且

其中該光感測器經組態以感測由該光收集器收集之該光且產生指示該經感測光之一信號。

【請求項2】

如請求項1之系統，其中該光收集器包括一複合拋物面聚光器。

【請求項3】

如請求項1之系統，其中該光收集器包括一光纖錐光收集器(fiber taper light collector)。

【請求項4】

如請求項3之系統，其中該光纖錐光收集器包括一相干(coherent)光纖錐光收集器。

【請求項5】

如請求項4之系統，其中該透鏡包含一成像系統，該透鏡經組態以將該經接收光聚焦至該相干光纖錐光收集器之一入射光瞳(entrance pupil)上。

【請求項6】

如請求項1至5中任一項之系統，其中該透鏡包含一成像系統，該透鏡經組態以將該經接收光聚焦至該光收集器之一入射光瞳上。

【請求項7】

如請求項1之系統，其中該透鏡包括一無焦透鏡。

【請求項8】

如請求項1之系統，其中該光感測器包括一多元件偵測器陣列。

【請求項9】

如請求項1之系統，其中該雷射雷達接收器進一步包括一讀出積體電路(ROIC)，該ROIC經組態以自該光感測器讀出該等經產生信號以支援用於該等經定目標範圍點之範圍資訊的計算。

【請求項10】

如請求項9之系統，其中該光感測器包括個別可定址光感測器之一陣列，每一個別可定址光感測器經組態以感測指示自該等經定目標範圍點反射之複數個雷射雷達脈衝的光，且產生指示該經感測光之一信號；且

其中該ROIC包括經組態以選擇性地連接複數個該等個別可定址光

感測器與一信號處理電路以用於使該信號處理電路處理來自該複數個個別可定址光感測器之該經產生信號的一多工器。

【請求項11】

一種用於雷達傳輸及接收之方法，其包括：

對於複數個訊框中之每一者，每訊框選擇一訊框內的一範圍點子集；

針對每一訊框選擇性地掃描複數個鏡面以定目標於該等經選擇範圍點；

經由該等掃描鏡面而朝向該等經定目標範圍點傳輸複數個雷射雷達脈衝，於是該等雷射雷達脈衝自該等範圍點反射；

經由一透鏡來接收包含該等經反射雷射雷達脈衝之光；

一光收集器將來自該透鏡的光收集至一光感測器上；及

該光感測器感測該經收集光且產生指示該經感測光之一信號。

【請求項12】

如請求項11之方法，其中該光收集器包括一複合拋物面聚光器。

【請求項13】

如請求項11之方法，其中該光收集器包括一光纖錐光收集器。

【請求項14】

如請求項13之方法，其中該光纖錐光收集器包括一相干光纖錐光收集器。

【請求項15】

如請求項14之方法，其進一步包括該透鏡將該經接收光聚焦至該相干光纖錐光收集器之一入射光瞳上。

【請求項16】

如請求項11之方法，其進一步包括該透鏡將該經接收光聚焦至該光收集器之一入射光瞳上。

【請求項17】

如請求項11之方法，其中該透鏡包括一無焦透鏡。

【請求項18】

如請求項11之方法，其中該光感測器包括一多元件偵測器陣列。

【請求項19】

如請求項11之方法，其進一步包括一讀出積體電路(ROIC)自該光感測器讀出該等經產生信號以支援用於該等經定目標範圍點之範圍資訊的計算。

【請求項20】

如請求項19之方法，其中該光感測器包括個別可定址光感測器之一陣列，每一個別可定址光感測器經組態以感測指示自該等經定目標範圍點反射之複數個雷射雷達脈衝的光，且產生指示該經感測光之一信號；且

其中該讀出步驟包括一多工器選擇性地連接複數個該等個別可定址光感測器與一信號處理電路以用於使該信號處理電路處理來自該複數個個別可定址光感測器之該經產生信號。

【請求項21】

如請求項11之方法，其進一步包括：

由該光感測器感測來自傳輸該等雷射雷達脈衝之一雷射雷達傳輸器的參考光，其中該參考光係由該光感測器經由相異於由該等雷射雷達脈衝行進至該光感測器之一光學路徑的一光學路徑而接收；及

結合該經感測參考光而使用該經接收參考光以促進用於該等經定目標範圍點之一範圍量測；且

其中該參考光展現與該等雷射雷達脈衝之脈衝形狀相同的一脈衝形狀。

【請求項22】

如請求項11之方法，其進一步包括：

使用一二向色光偵測器來追蹤傳輸該等雷射雷達脈衝之一雷射雷達傳輸器被定目標之處。

【請求項23】

如請求項11之方法，其中該光感測器包括一光感測器陣列，該方法進一步包括：

基於該等經定目標範圍點來調適性地選擇將該等光感測器中之哪些用於產生該經感測光信號。

【請求項24】

一種雷達系統，其包括：

一雷射雷達傳輸器，其包括複數個可掃描鏡面，該雷射雷達傳輸器經組態以進行以下操作：(1)對於複數個訊框中之每一者，每訊框選擇一訊框內的一範圍點子集；(2)針對每一訊框選擇性地使該等可掃描鏡面進行掃描以定目標於該等經選擇範圍點；及(3)經由該等經掃描鏡面而朝向該等經定目標範圍點傳輸複數個雷射雷達脈衝；及

一雷射雷達接收器，其包括：

一透鏡；及

一光感測器；

其中該透鏡經組態以將光直接地傳遞至該光感測器，該經傳遞光包含自該等經定目標範圍點反射之複數個雷射雷達脈衝；

其中該光感測器經組態以感測來自該透鏡之該光且產生指示該經感測光之一信號。

【請求項25】

如請求項24之系統，其中該透鏡包含一成像系統，該透鏡經組態以將該光直接地聚焦至該光感測器上。

【請求項26】

如請求項24之系統，其中該透鏡包括一無焦透鏡。

【請求項27】

如請求項24之系統，其中該雷射雷達接收器在該透鏡與該光感測器之間不包含一光收集器。

【請求項28】

如請求項24之系統，其中該光感測器包括一多元件偵測器陣列。

【請求項29】

如請求項24之系統，其中該雷射雷達接收器進一步包括一讀出積體電路(ROIC)，該ROIC經組態以自該光感測器讀出該等經產生信號以支援用於該等經定目標範圍點之範圍資訊的計算。

【請求項30】

如請求項29之系統，其中該光感測器包括個別可定址光感測器之一陣列，每一個別可定址光感測器經組態以感測指示自該等經定目標範圍點反射之複數個雷射雷達脈衝的光，且產生指示該經感測光之一信號；且

其中該ROIC包括經組態以選擇性地連接複數個該等個別可定址光

感測器與一信號處理電路以用於使該信號處理電路處理來自該複數個個別可定址光感測器之該經產生信號的一多工器。

【請求項31】

一種用於雷達傳輸及接收之方法，其包括：

對於複數個訊框中之每一者，每訊框選擇一訊框內的一範圍點子集；

針對每一訊框選擇性地使複數個鏡面進行掃描以定目標於該等經選擇範圍點；

經由該等掃描鏡面而朝向該等經定目標範圍點傳輸複數個雷射雷達脈衝，於是該等雷射雷達脈衝自該等範圍點反射；

一透鏡接收包括該等經反射雷射雷達脈衝之光；

該透鏡將該經接收光直接地傳遞至一光感測器；及

該光感測器感測該經傳遞光且產生指示該經感測光之一信號。

【請求項32】

如請求項31之方法，其進一步包括該透鏡將該經接收光直接地聚焦至該光感測器上。

【請求項33】

如請求項31之方法，其中該透鏡包括一無焦透鏡。

【請求項34】

如請求項31之方法，其中彼處該經傳遞光不傳遞通過在該透鏡與該光感測器之間的一光收集器。

【請求項35】

如請求項31之方法，其中該光感測器包括一多元件偵測器陣列。

【請求項36】

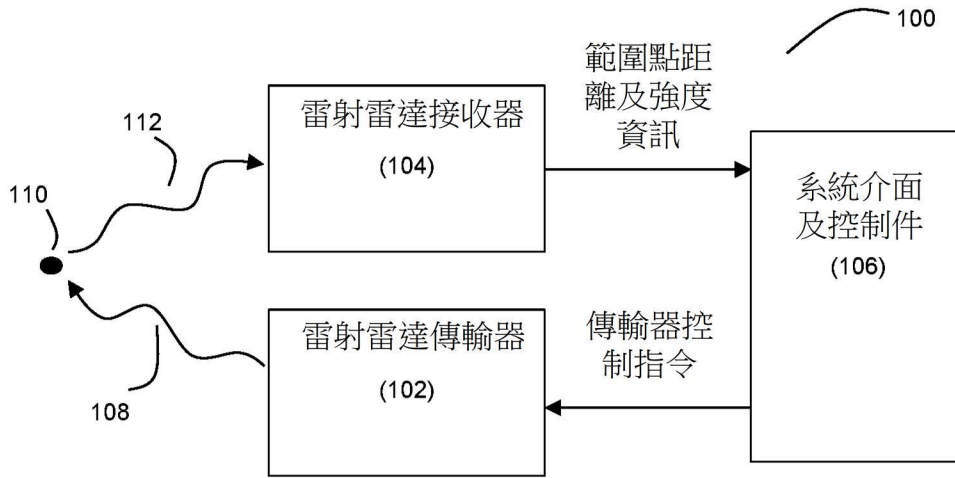
如請求項31之方法，其進一步包括一讀出積體電路(ROIC)自該光感測器讀出該等經產生信號以支援用於該等經定目標範圍點之範圍資訊的計算。

【請求項37】

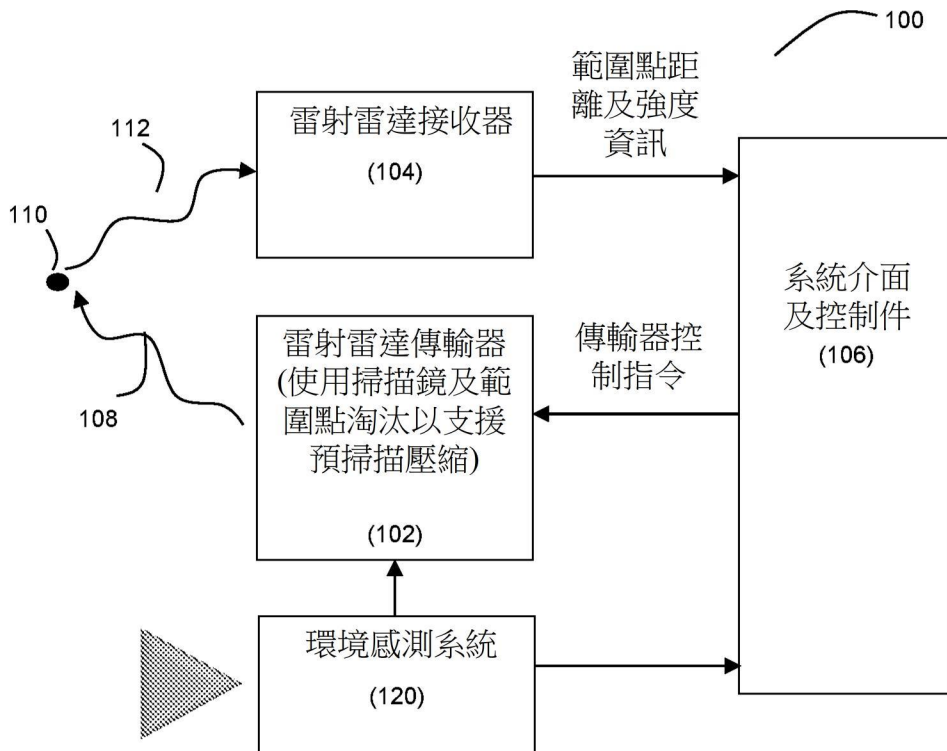
如請求項36之方法，其中該光感測器包括個別可定址光感測器之一陣列，每一個別可定址光感測器經組態以感測指示自該等經定目標範圍點反射之複數個雷射雷達脈衝的光，且產生指示該經感測光之一信號；且

其中該讀出步驟包含一多工器選擇性地連接複數個該等個別可定址光感測器與一信號處理電路以用於使該信號處理電路處理來自該複數個個別可定址光感測器之該經產生信號。

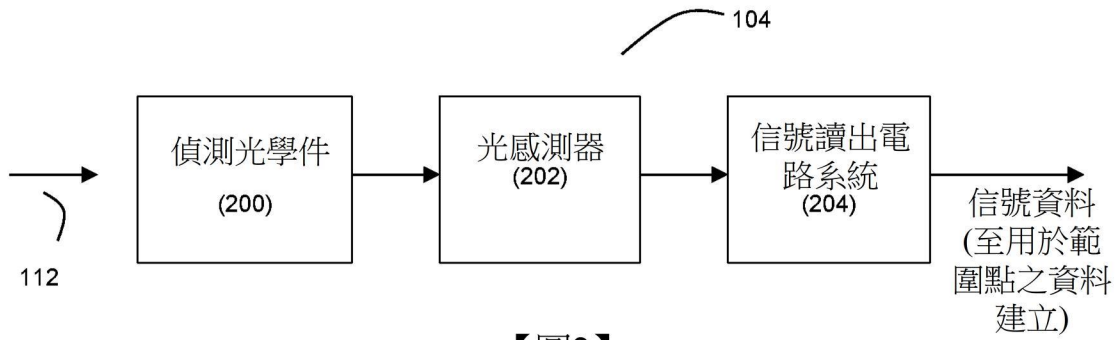
【發明圖式】



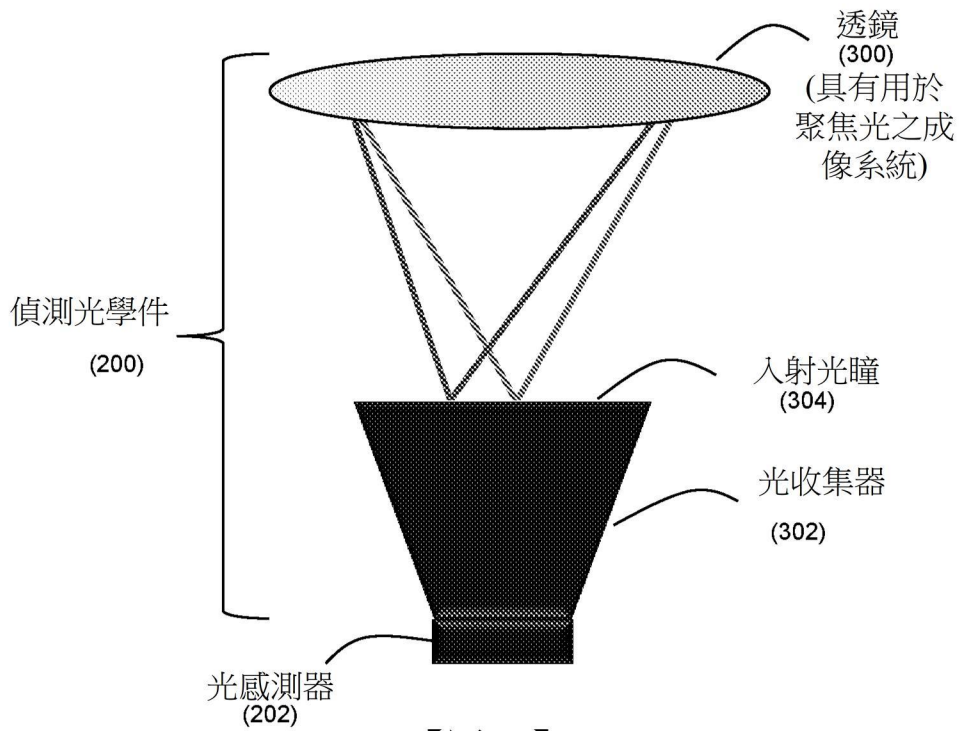
【圖1A】



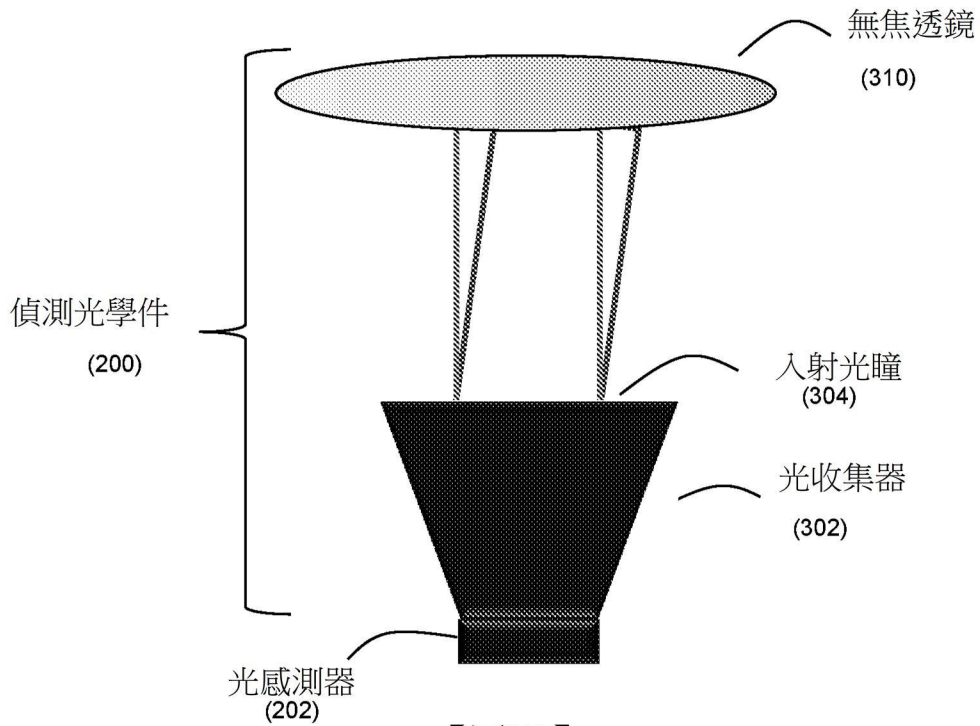
【圖1B】



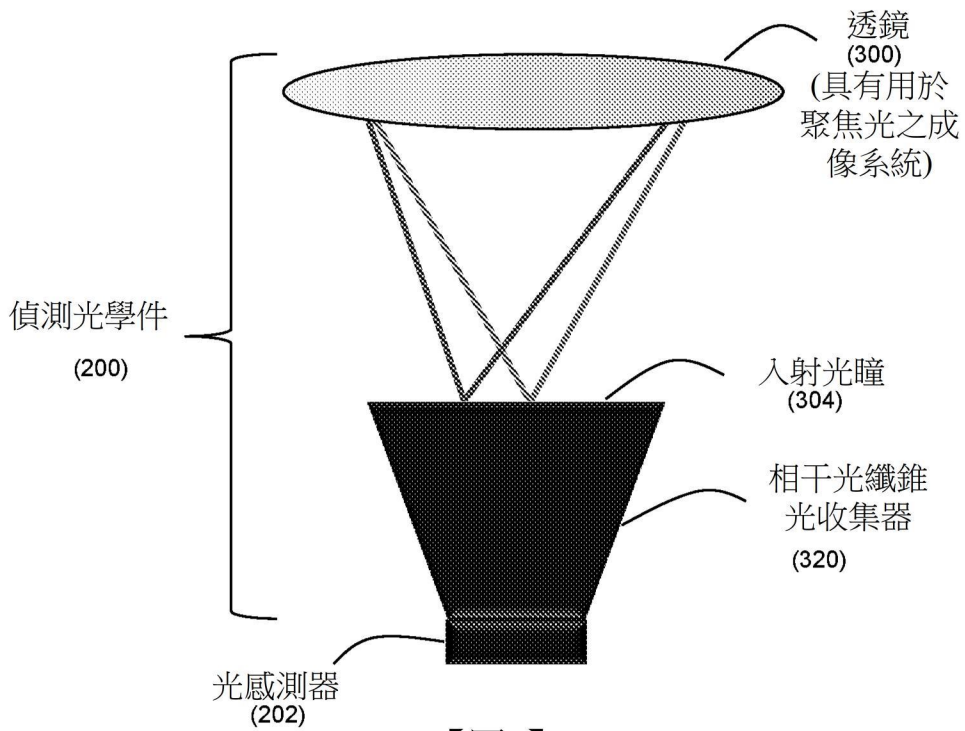
【圖2】



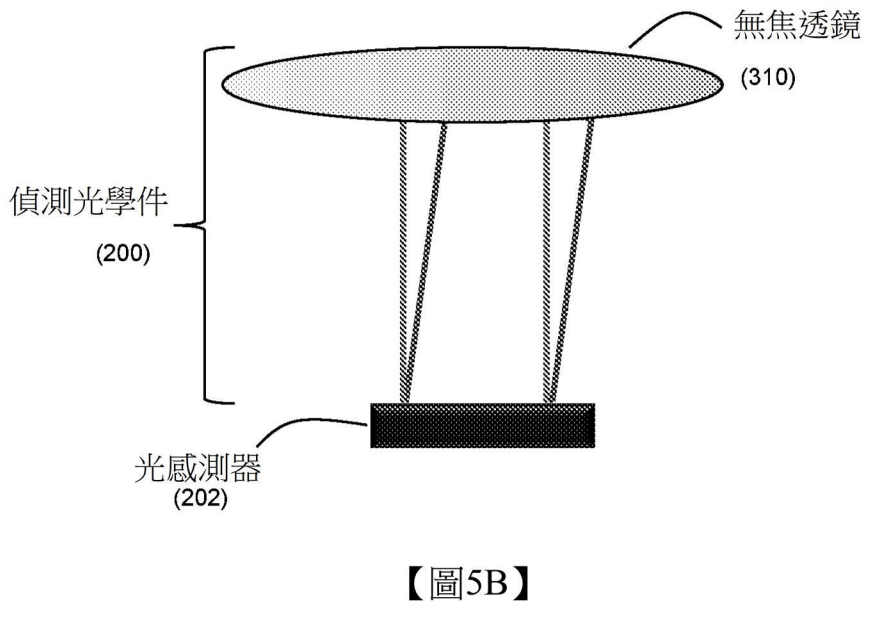
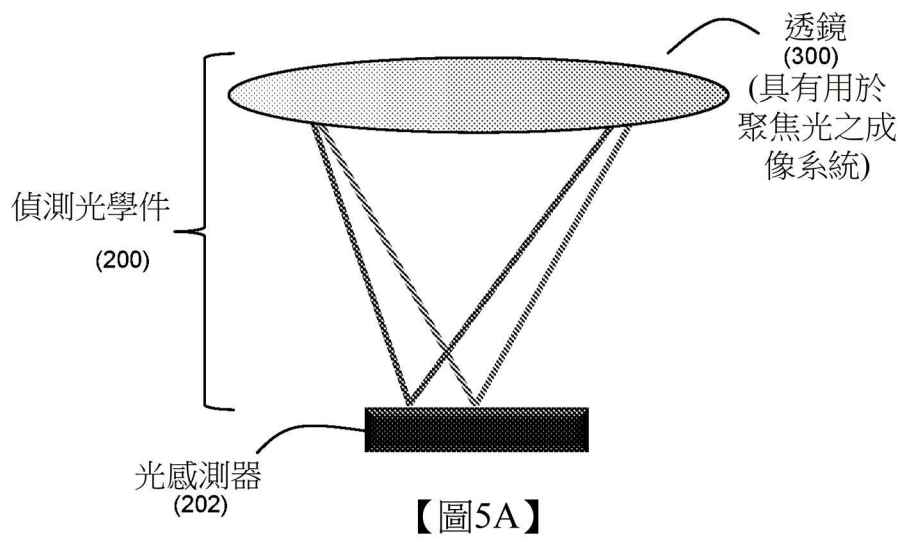
【圖3A】

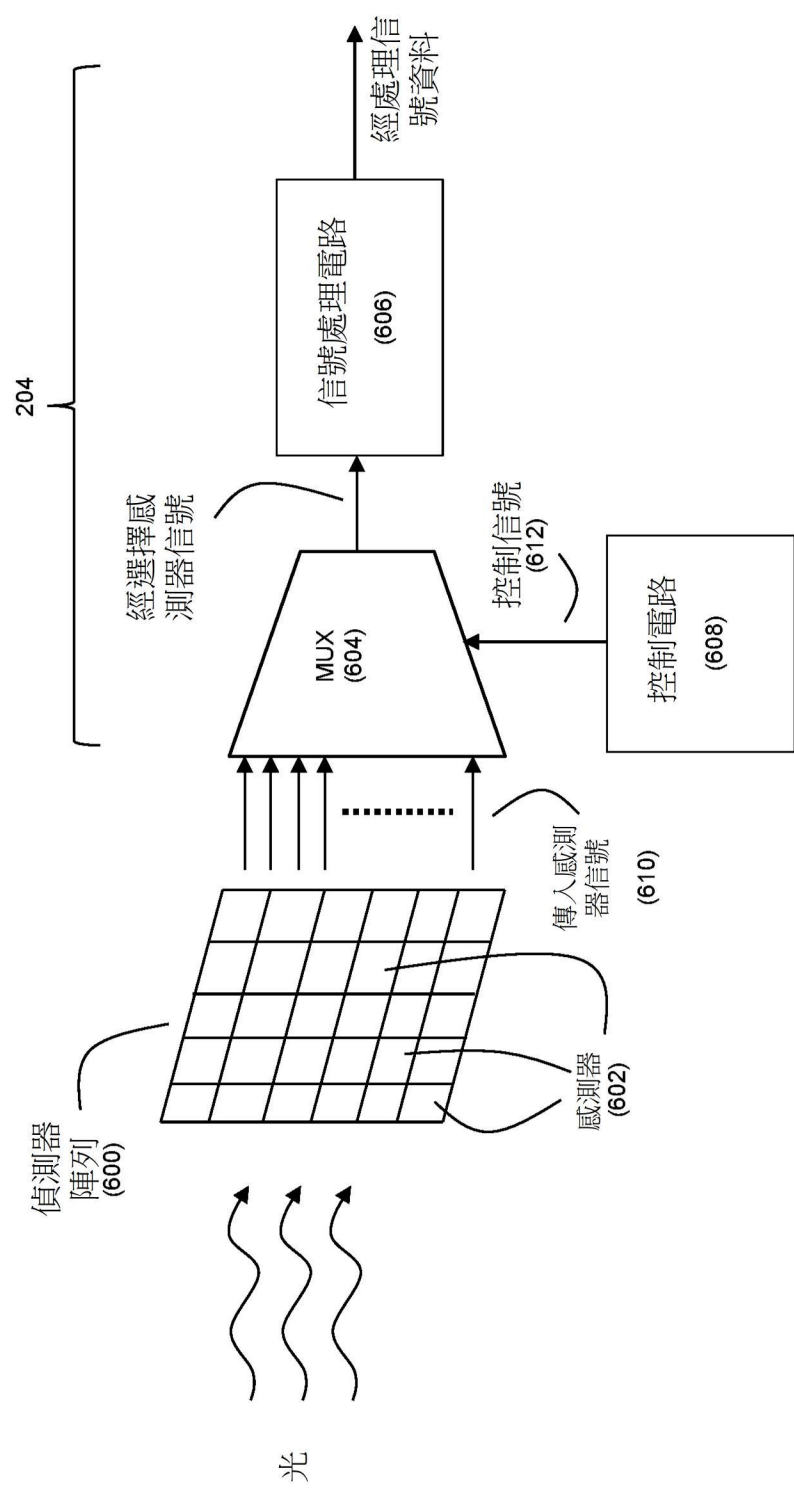


【圖3B】

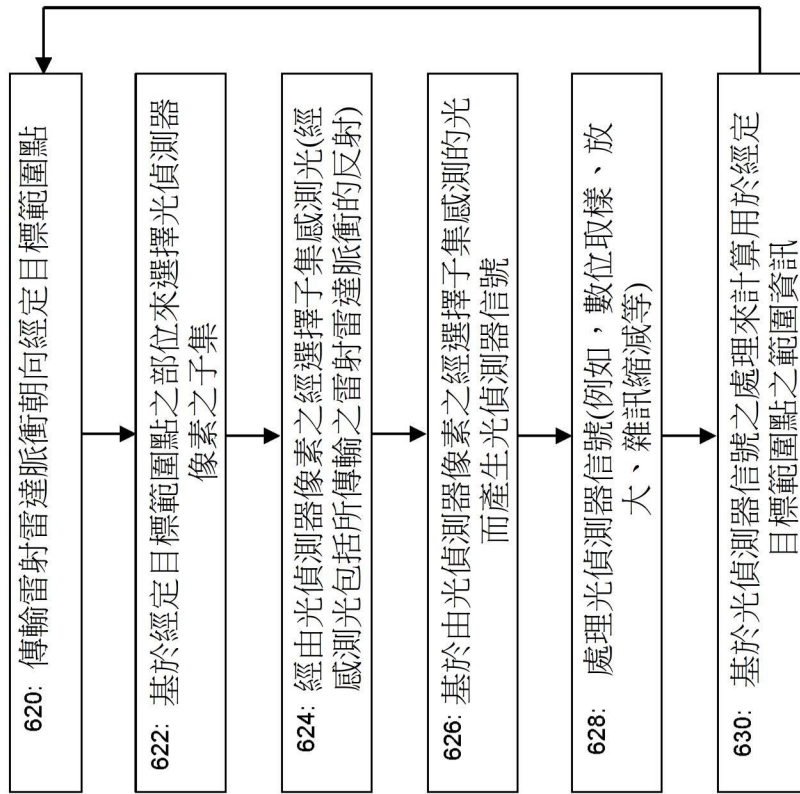


【圖4】

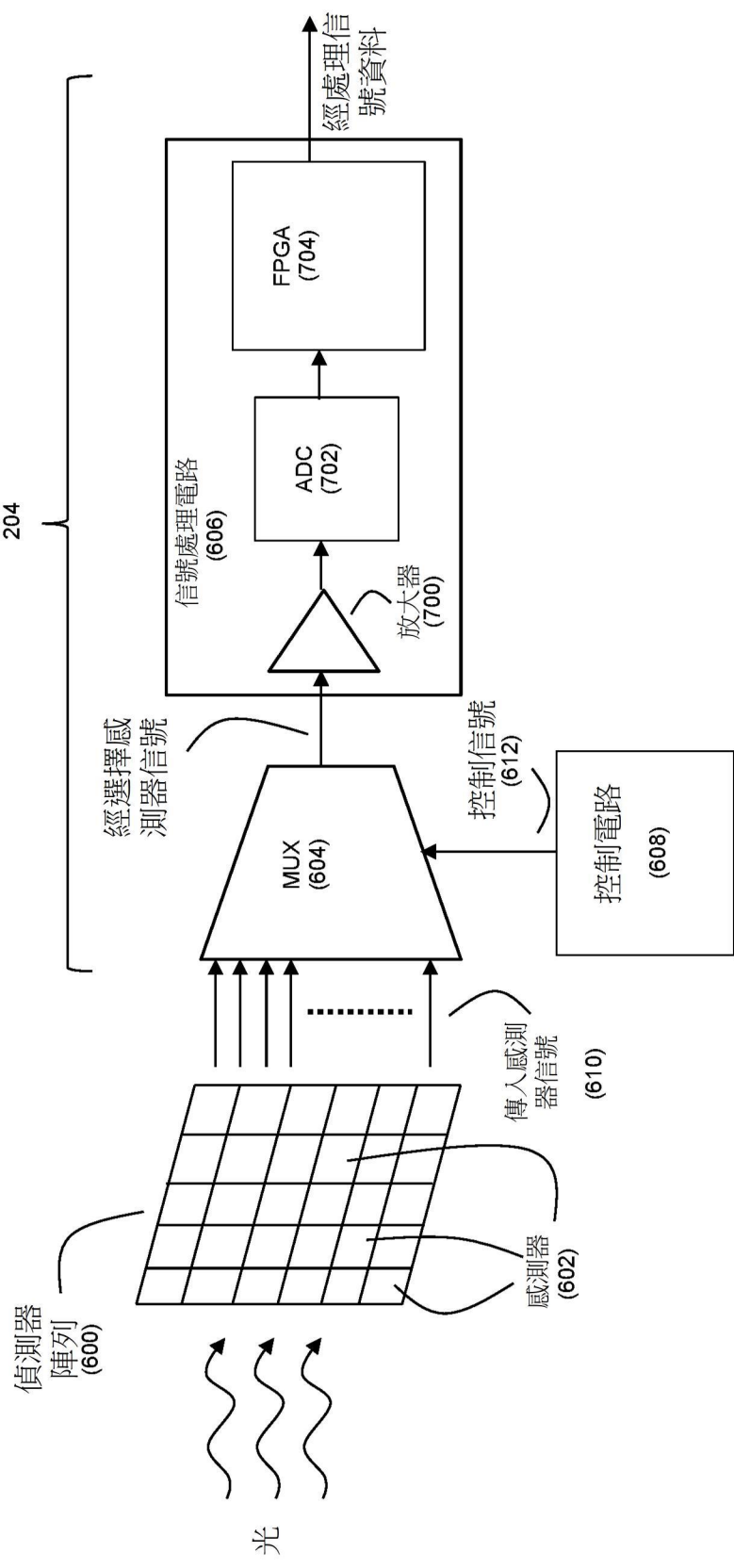




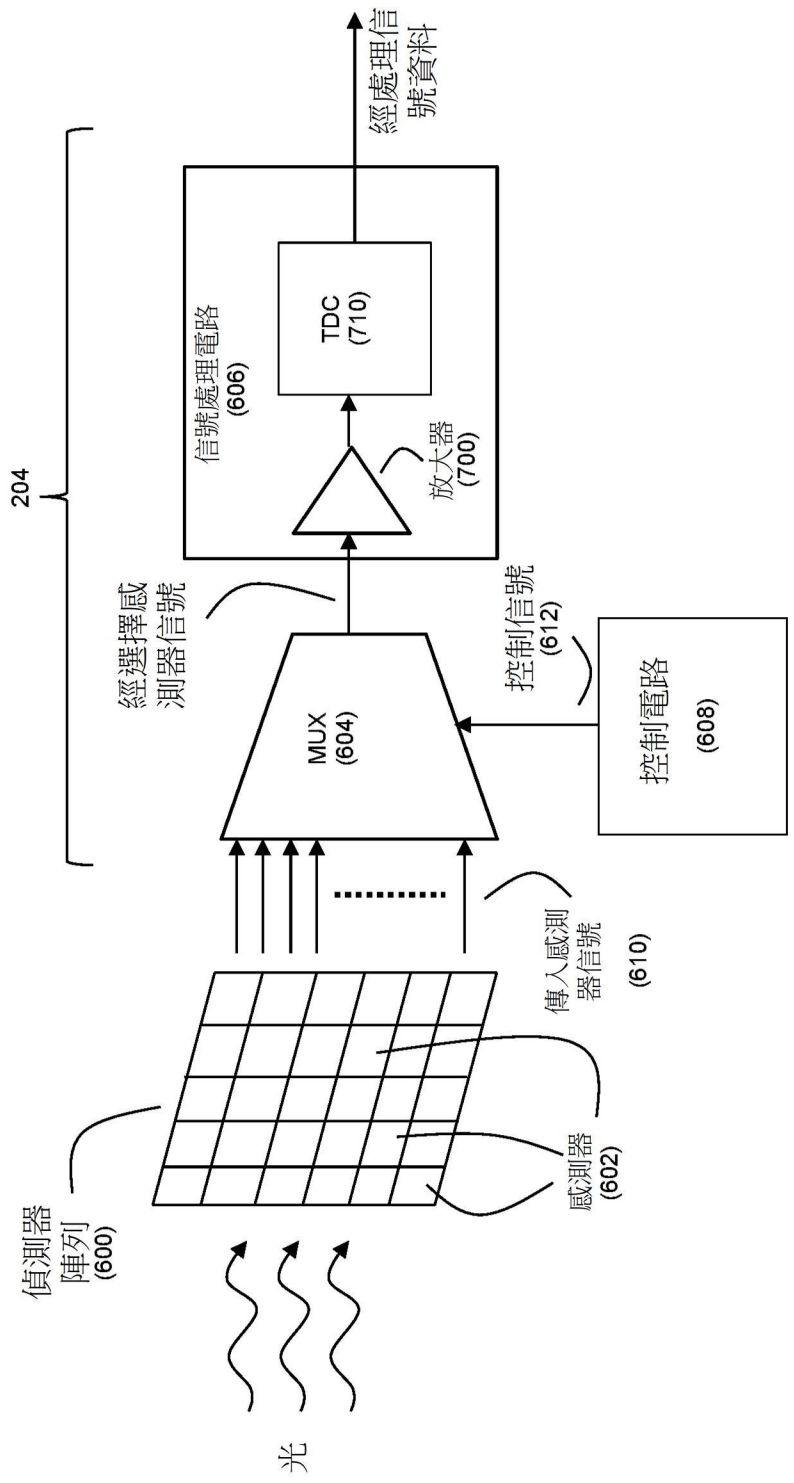
【圖6A】



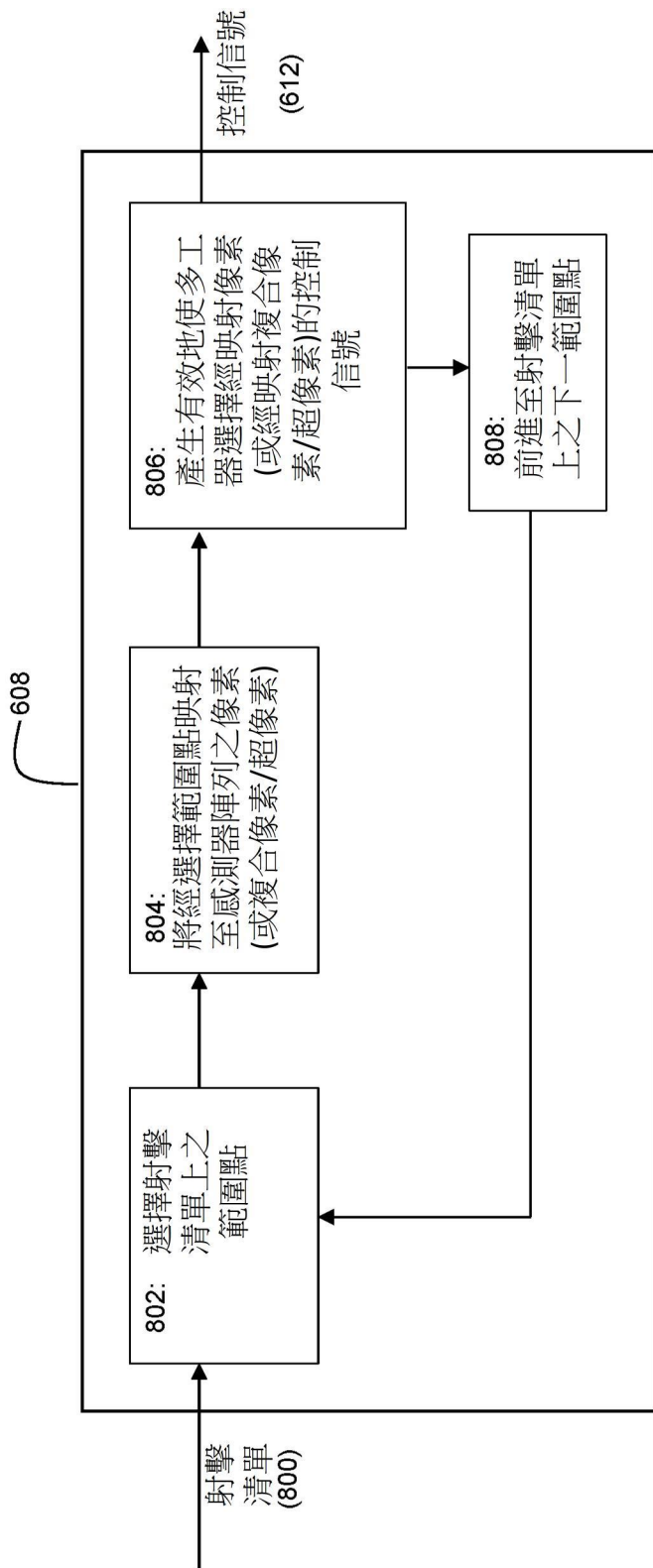
【圖6B】



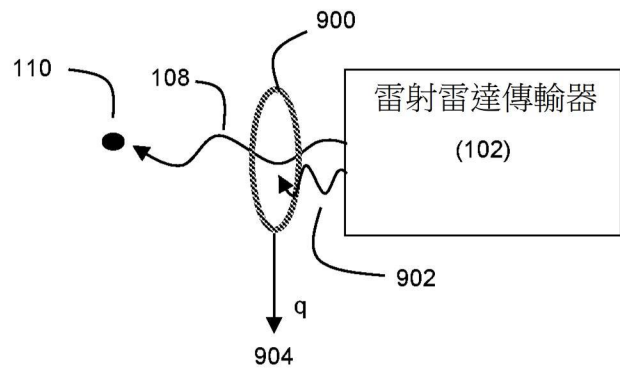
【圖7A】



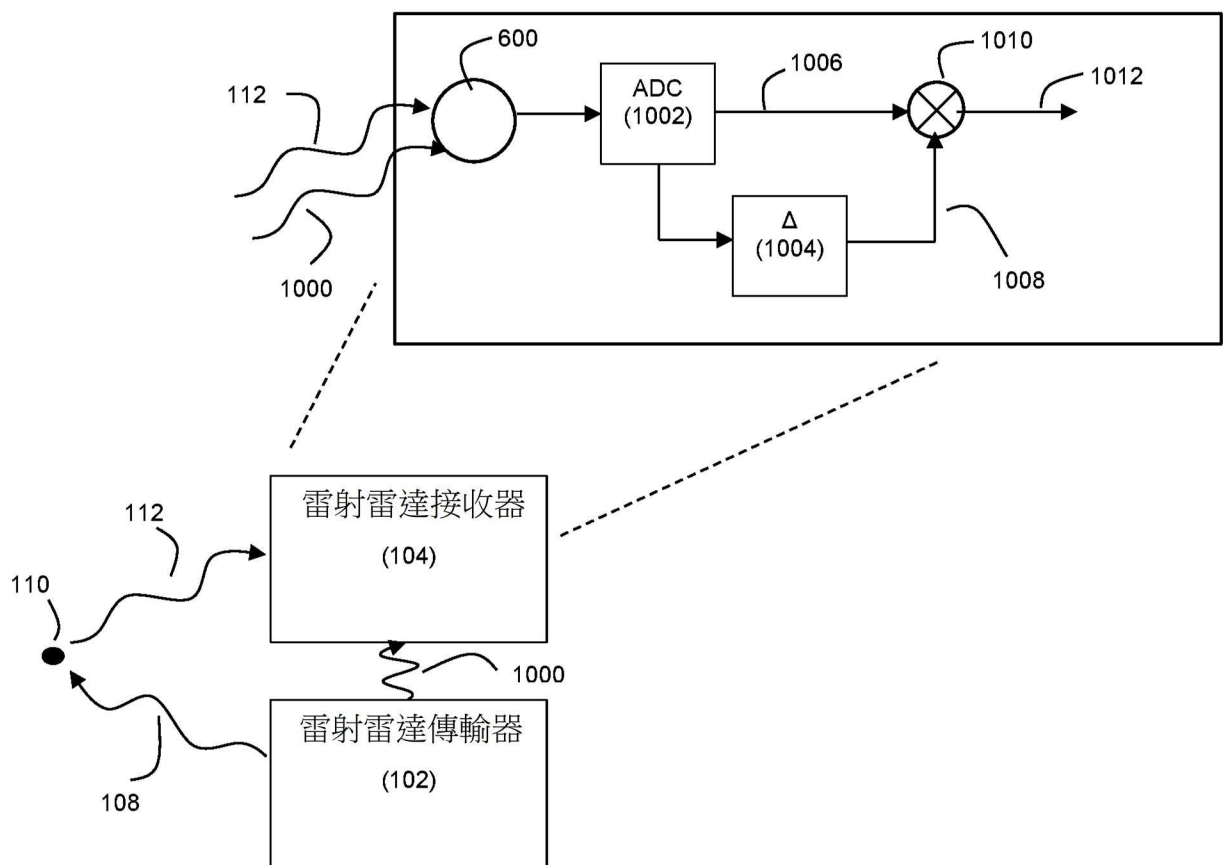
【圖7B】



【圖8】

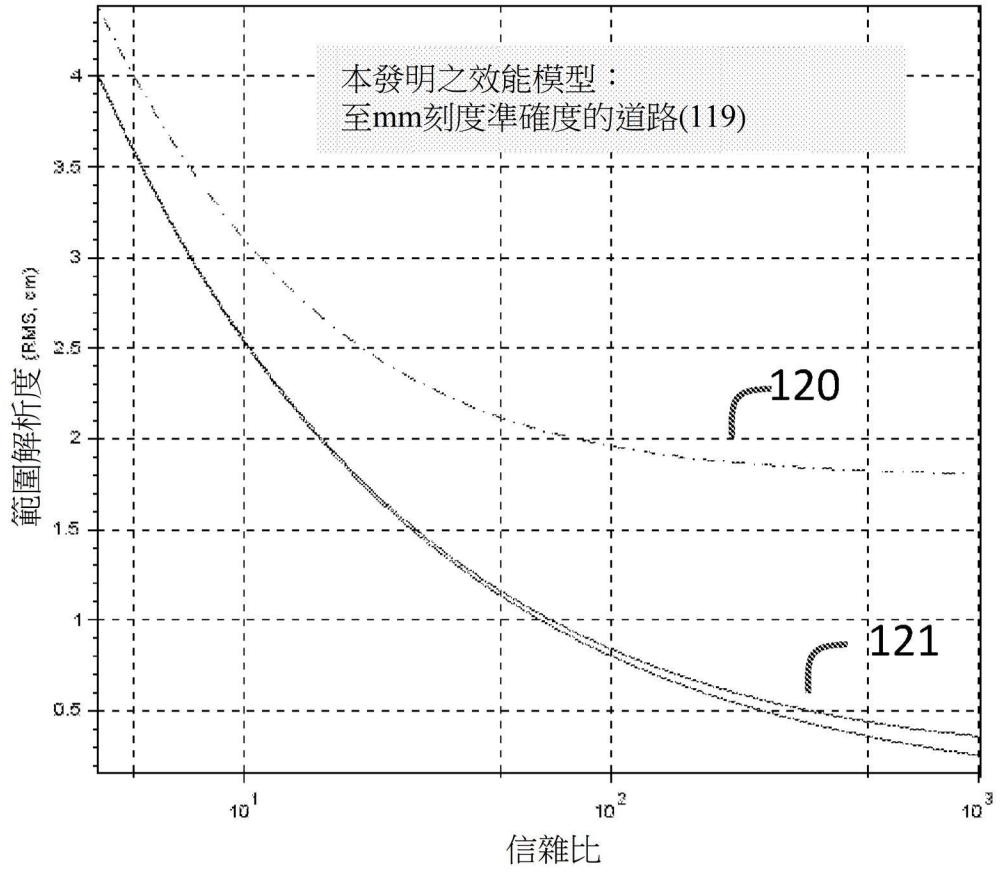


【圖9】

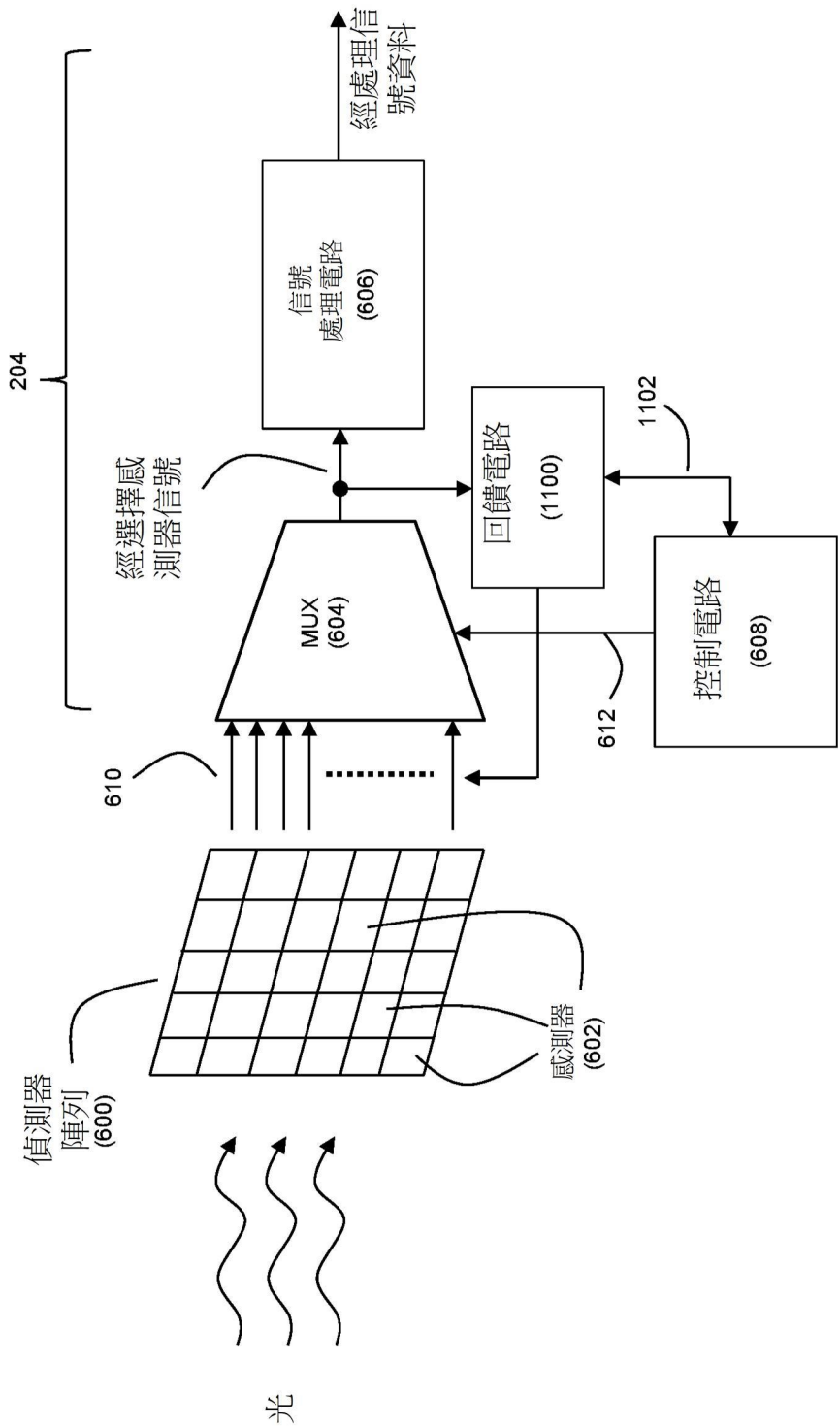


【圖10A】

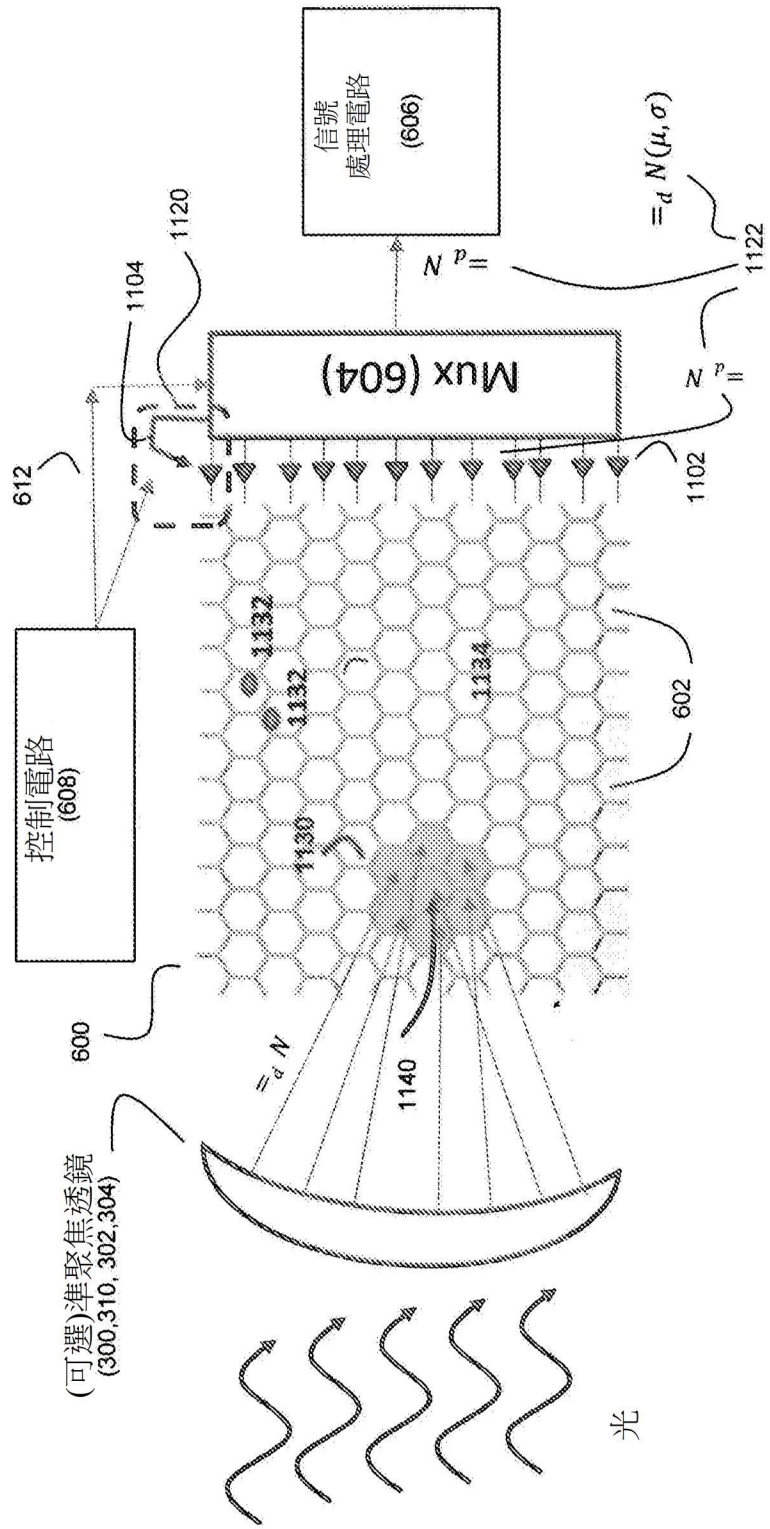
範圍準確度之改良



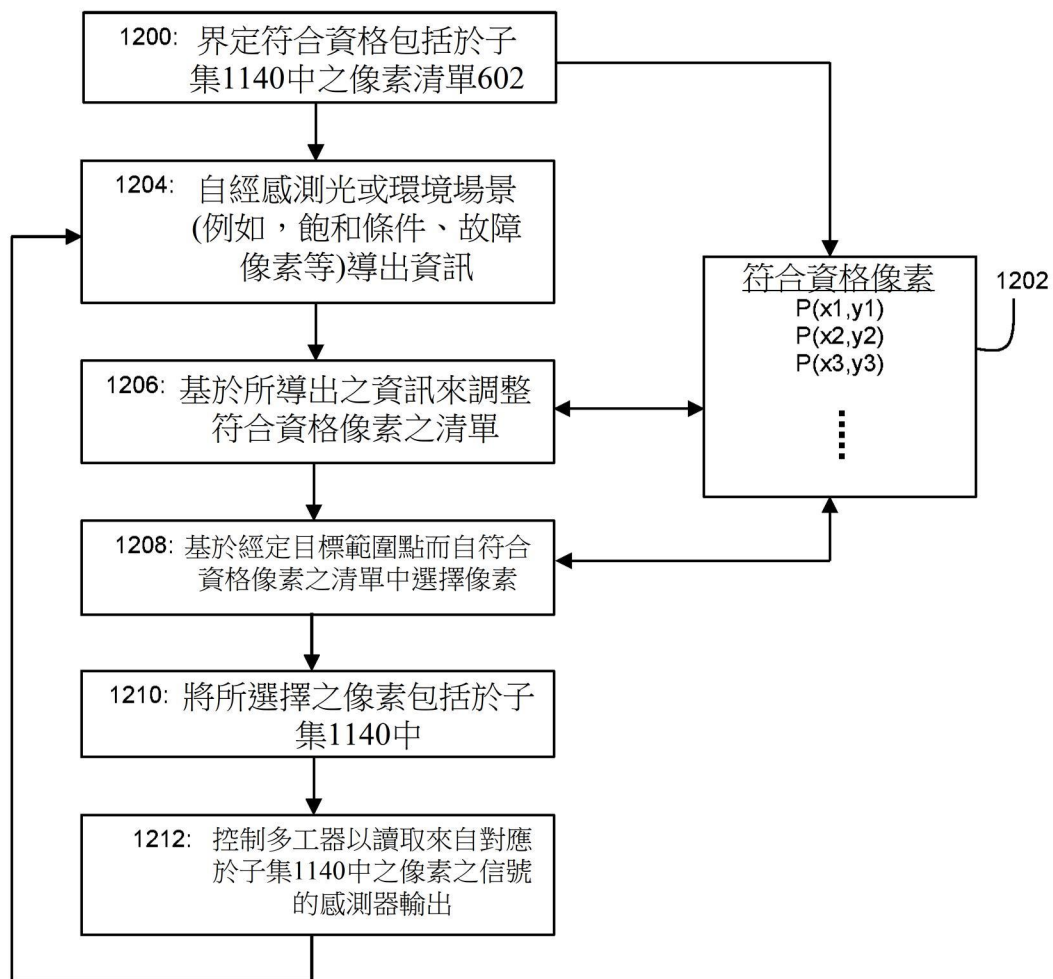
【圖10B】



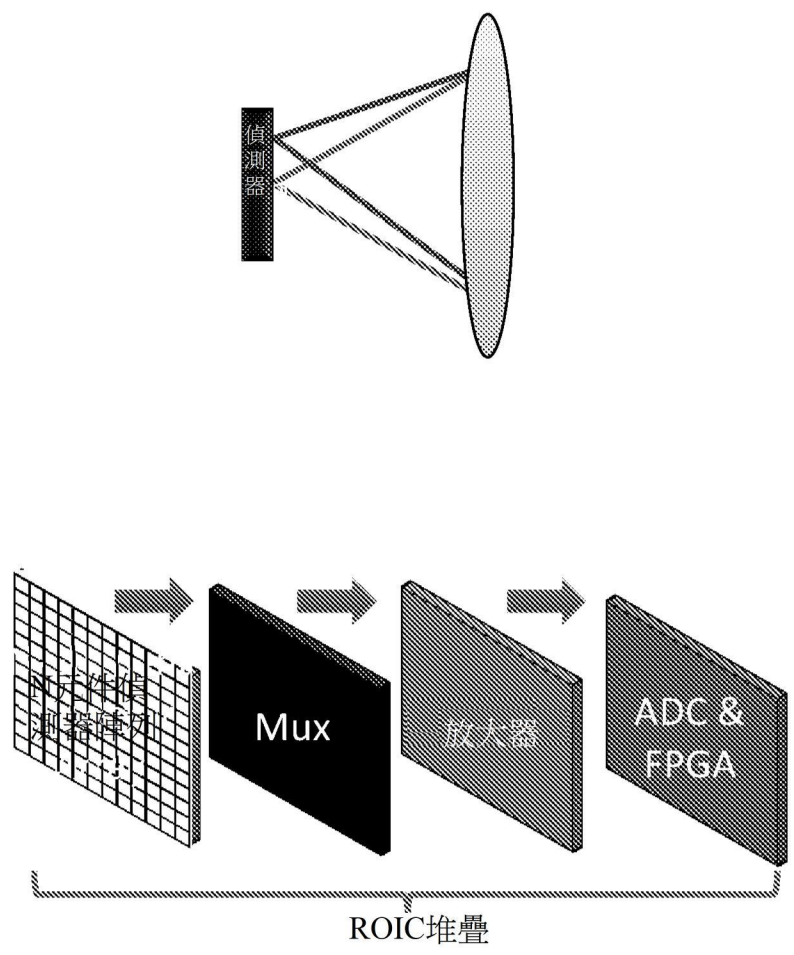
【圖11A】



【圖11B】



【圖12】



【圖13A】

瞬時Rx FOV

$$FOV_{deg}(\text{Det_size, EFL-ViewMag}) = 4.03$$

SNR=8情況下之範圍 (距離)=150 m

每脈衝能量 $E_{pp} = 4 \mu J$

脈衝重複頻率PRF = 200 kHz

近似光學帶通 $\Delta\lambda = 50 \text{ nm}$

光學帶通中心 $\lambda_c = 1550 \text{ nm}$

雷射中心 $\lambda = 1550 \text{ nm}$

雷射發散 $\theta_{div}(M_{sq}, D_o) = 4.3 \text{ mrad}$

輸入光瞳大小 $D_{eq} = 20 \text{ mm}$

偵測器頻寬 $\Delta f = 150 \text{ MHz}$

所使用之平QE $\eta = 0.68$

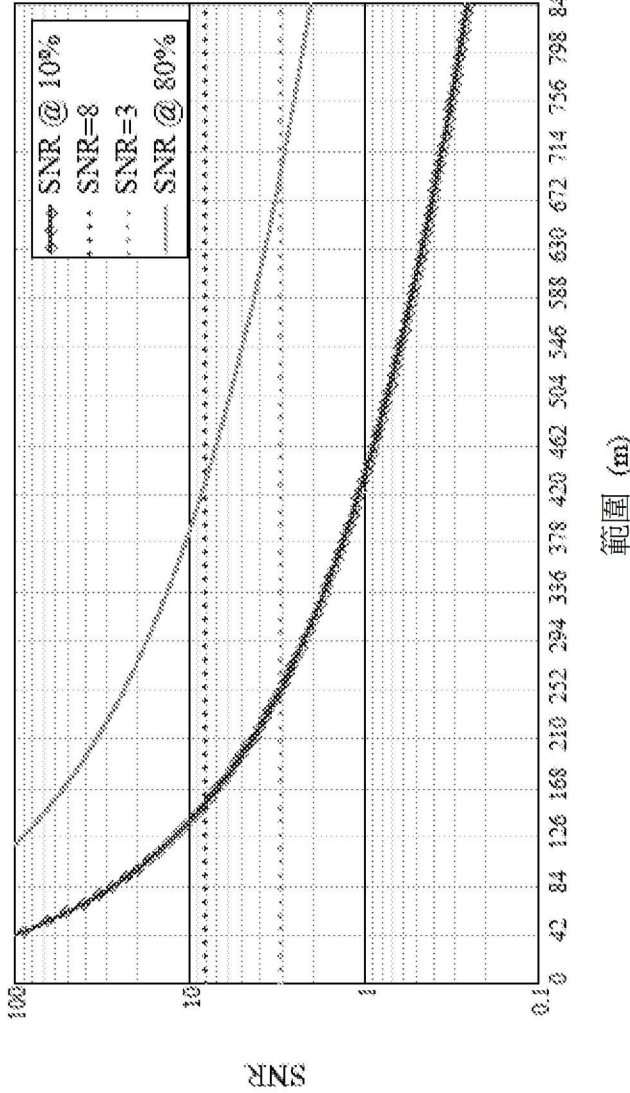
Rx效率 $Rx_{Trans} = 98\%$

目標反射率 $R_{ref} = 10\%$

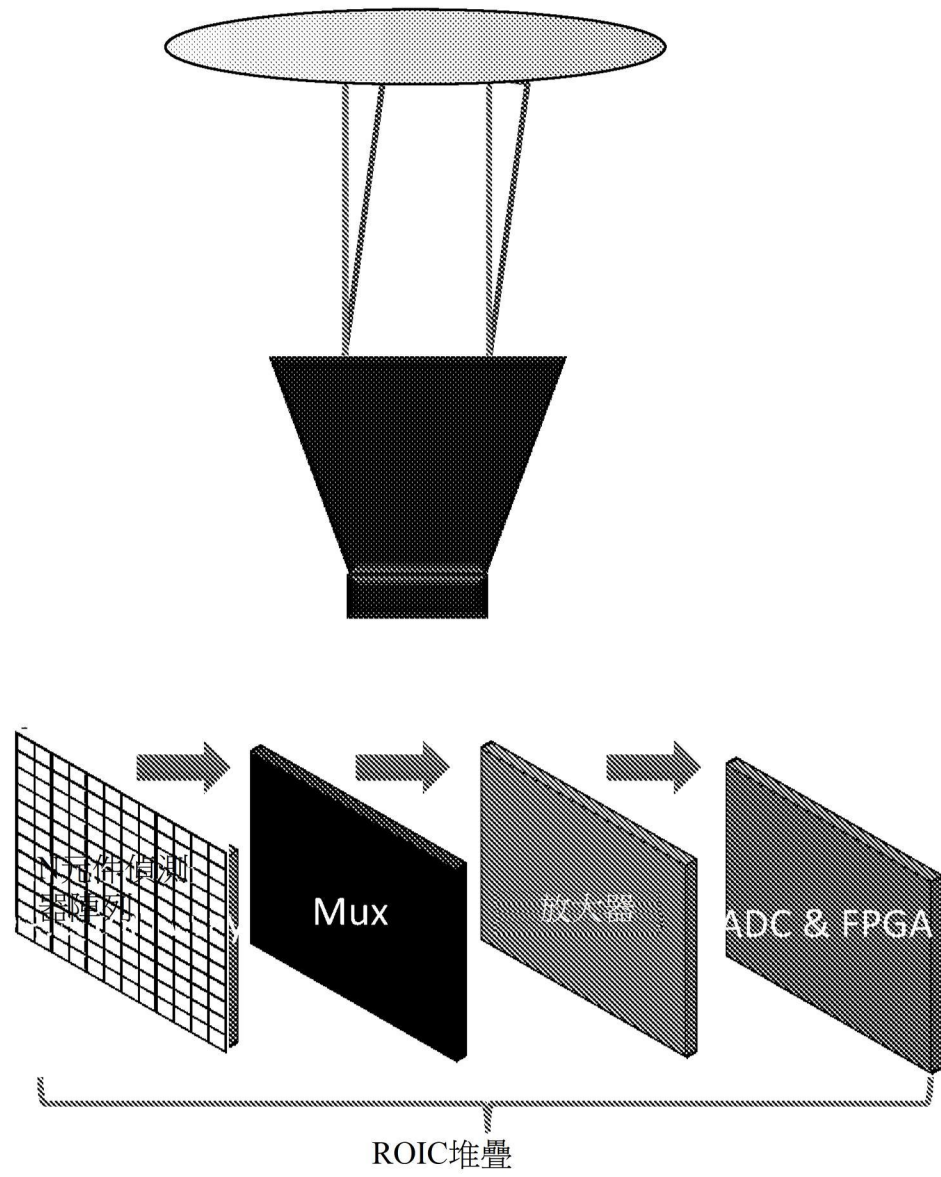
平均射中目標之射束的百分比 $P_{hit} = 50\%$

偵測器視角(以弧度為單位) $\theta_{2deg}(\theta_d) = 20$

SNR對比距離



【圖13B】



【圖14A】

瞬時Rx FOV $FOV_{deg}\{Det_{size}, EFL\} = 30$

SNR=8情況下之範圍 (距離)=40 m

每脈衝能量 $E_{pp} = 4 \mu J$

脈衝重複頻率PRF = 200 kHz

近似光學帶通 $\Delta\lambda = 100 \text{ nm}$

光學帶通中心 $\lambda_c = 1550 \text{ nm}$

雷射中心 $\lambda = 1550 \text{ nm}$

射束發散 $\theta_{div}\{M_{sq}, D_o\} = 2 \text{ mrad}$

有效單PIN直徑 $D_{exp} = 5.4 \text{ mm}$

偵測器頻寬 $\Delta f = 150 \text{ MHz}$

所使用之平QE $\eta = 0.68$

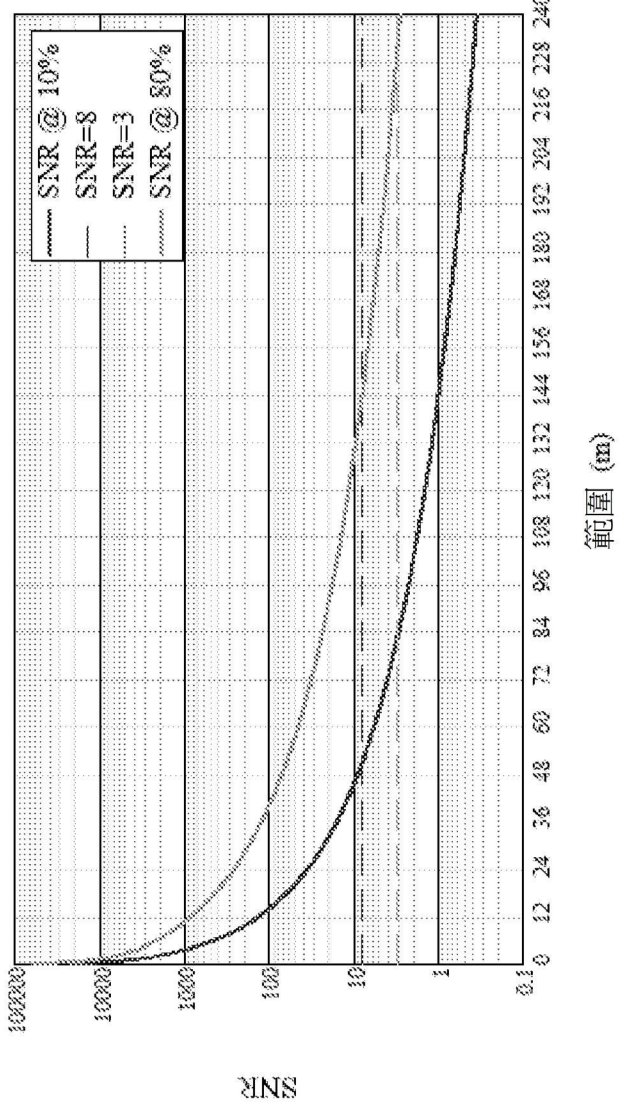
Rx效率 $R_{xTrans} = 98\%$

目標反射率 $R_{ref} = 10\%$

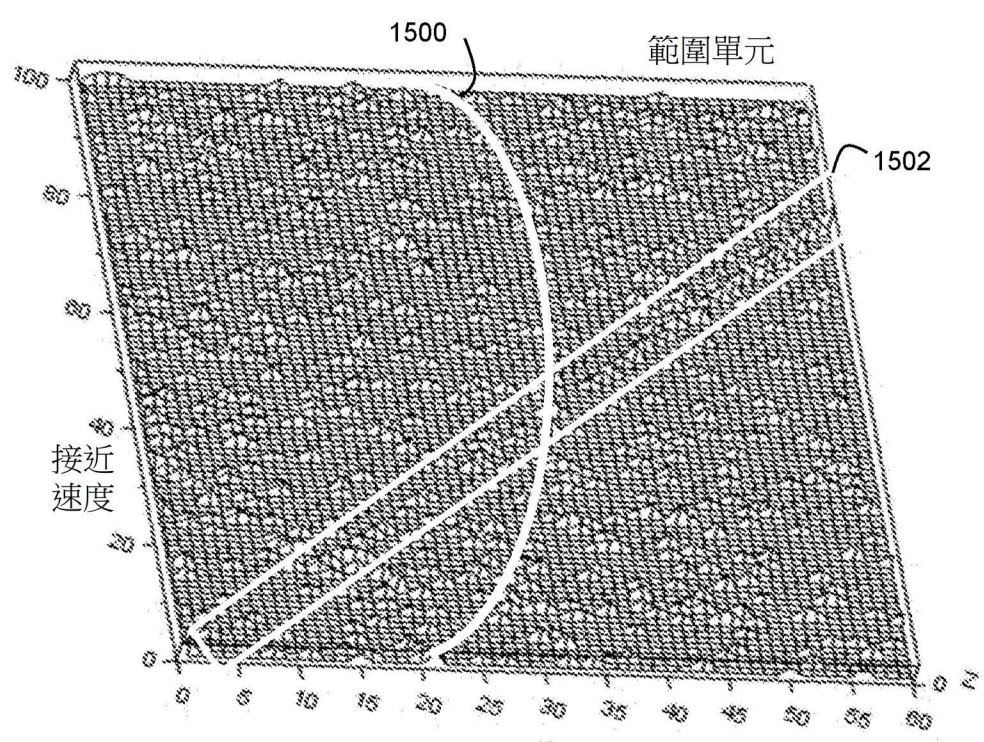
平均射中目標之射束的百分比 $P_{hit} = 50\%$

偵測器視角(以弧度為單位) $\theta_{deg}\{\theta_d\} = 20$

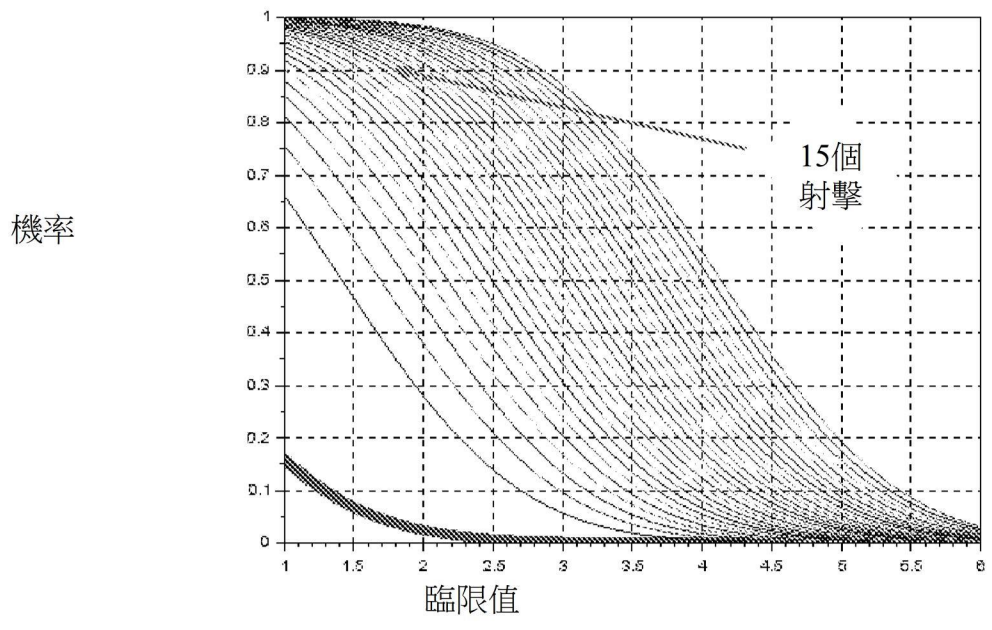
SNR對比距離



【圖14B】



【圖15】



【圖16】