



(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 I674426 B

(45) 公告日：中華民國 108 (2019) 年 10 月 11 日

(21) 申請案號：104132076 (22) 申請日：中華民國 104 (2015) 年 09 月 30 日

(51) Int. Cl. : **G01S7/497 (2006.01)** **G01S17/06 (2006.01)**

(30) 優先權：2014/10/24 美國 62/068,257
2015/05/21 美國 14/718,563

(71) 申請人：美商英特希爾美國公司 (美國) INTERSIL AMERICAS LLC (US)
美國

(72) 發明人：井樽 博美 ITARU, HIROMI (US)；枸登 菲利普 V GOLDEN, PHILIP V. (IE)；
赫伯斯特 史蒂芬 HERBST, STEVEN (US)

(74) 代理人：閻啟泰；林景郁

(56) 參考文獻：

TW	201202730A	TW	201432283A
US	2004/0056199A1	US	2011/0181861A1
US	2014/0252213A1		

審查人員：黃是衡

申請專利範圍項數：18 項 圖式數：7 共 64 頁

(54) 名稱

用於光學式鄰近偵測器的開路修正

(57) 摘要

本發明提供一種光學式鄰近偵測器，其包括一驅動器、光偵測器、類比前端、感測修正因子(例如，溫度、供電電壓及/或前向電壓降)的感測器及一數位後端。該驅動器驅動該光源以發射光。該光偵測器產生一光偵測信號，其指示反射離開一物件並入射於該光偵測器上之該發射光的一部分之一大小及一相位。該類比前端接收該光偵測信號並輸出經提供至該數位後端的一數位光偵測信號或數位同相信號及正交相位信號。該數位後端執行對於由該類比前端之一部分所引起的增益及/或相位的動態變化的開路修正，使用多項式等式及感測之修正因子以執行對於溫度、供電電壓及/或前向電壓降的動態變化的開路修正，且輸出一距離值。

An optical proximity detector includes a driver, light detector, analog front-end, sensor(s) that sense correction factor(s) (e.g., temperature, supply voltage and/or forward voltage drop), and a digital back end. The driver drives the light source to emit light. The light detector produces a light detection signal indicative of a magnitude and a phase of a portion of the emitted light that reflects off an object and is incident on the light detector. The analog front-end receives the light detection signal and outputs a digital light detection signal, or digital in-phase and quadrature-phase signals, which are provided to the digital back-end. The digital back-end performs closed loop correction(s) for dynamic variation(s) in gain and/or phase caused by a portion of the analog front-end, uses polynomial equation(s) and sensed correction factor(s) to perform open loop correction(s) for dynamic variations in temperature, supply voltage and/or forward voltage drop, and outputs a distance value.

指定代表圖：

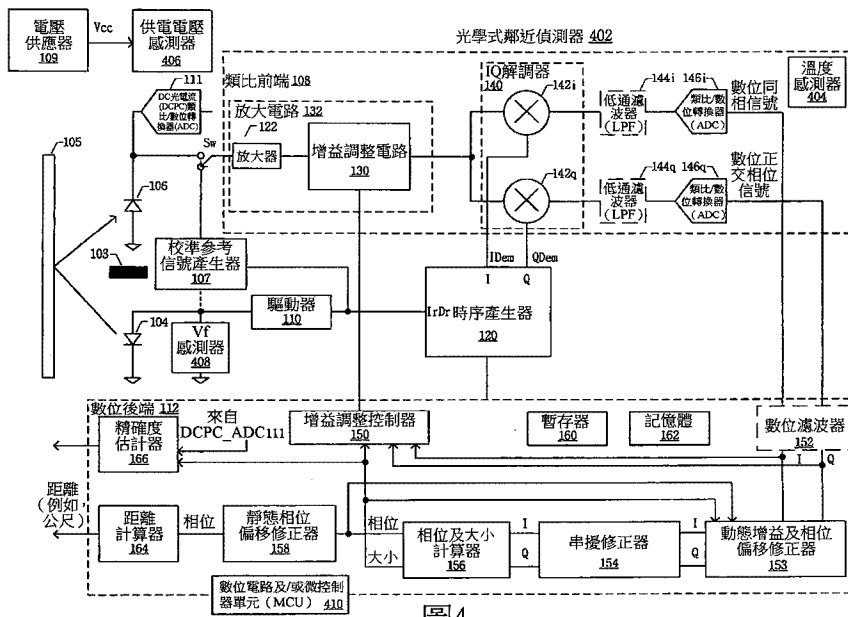


圖4

符號簡單說明：

- 103 . . . 不透明光障壁
- 104 . . . 紅外光源
- 105 . . . 物件/目標
- 106 . . . 光偵測器
- 107 . . . 校準參考信號產生器
- 108 . . . 類比前端電路/前端/類比前端
- 109 . . . 電壓供應器
- 110 . . . 驅動器
- 111 . . . DC 光電流 (DCPC)類比/數位轉換器(ADC)
- 112 . . . 數位後端電路/數位後端
- 120 . . . 時序產生器
- 122 . . . 放大器
- 130 . . . 增益調整電路
- 132 . . . 放大電路/類比放大電路
- 140 . . . IQ 解調器電路/IQ 解調器
- 142i . . . 混頻器
- 142q . . . 混頻器
- 144i . . . 類比低通濾波器
- 144q . . . 類比低通濾波器
- 146i . . . 類比/數位轉換器(ADC)
- 146q . . . 類比/數位轉換器(ADC)
- 150 . . . 增益調整控制器
- 152 . . . 數位濾波器
- 153 . . . 動態增益及相位偏移修正器
- 154 . . . 串擾修正器
- 156 . . . 相位及大小計算器
- 158 . . . 靜態相位偏移修正器
- 160 . . . 暫存器
- 162 . . . 記憶體
- 164 . . . 距離計算器
- 166 . . . 精確度估計器

153 . . . 動態增益及
相位偏移修正器

154 . . . 串擾修正器

156 . . . 相位及大小
計算器

158 . . . 靜態相位偏
移修正器

160 . . . 暫存器

162 . . . 記憶體

164 . . . 距離計算器

166 . . . 精確度估計
器

402 . . . 光學式鄰近
偵測器

404 . . . 溫度感測器

406 . . . 供電電壓感
測器

408 . . . 前向電壓降
感測器(Vf感測器)

410 . . . 數位電路
及/或微控制器單元
(MCU)

I . . . 頻道

Idem . . . 同相解調
變信號

Q . . . 頻道

QDem . . . 正交相
位解調變信號

Sw . . . 開關

Vcc . . . 供電電壓

發明專利說明書

(本說明書格式、順序，請勿任意更動)

【發明名稱】(中文/英文)

用於光學式鄰近偵測器的開路修正

OPEN LOOP CORRECTION FOR OPTICAL PROXIMITY DETECTORS

【優先權主張】

【0001】 本申請案主張 2014 年 10 月 24 日申請的美國臨時專利申請案第 62/068,257 號及 2015 年 5 月 21 日申請的美國專利申請案第 14/718,563 號的優先權，該等申請案以引用的方式併入本文中。

【技術領域】

【0002】 本發明係有關光學式鄰近偵測器、供光學式鄰近偵測器使用的方法和包含光學式鄰近偵測器的系統。

【先前技術】

【0003】 光學式鄰近偵測器(其亦可被稱作光學式鄰近感測器或光學式鄰近偵測感測器)通常包括或使用光源及鄰近感光性光偵測器。此光學式鄰近偵測器可用以基於源自光源之自物件反射且由光偵測器偵測的光來偵測物件之存在、估計物件之鄰近(例如，至物件之距離)及/或偵測物件之運動。在此等偵測器特定地用以偵測至物件之距離的情況下，此等偵測器亦可被稱作光學式距離偵測器或光學距離感測器。在此等偵測器依賴於飛行時間(time-of-flight; TOF)原理偵測至物件之距離的情況下，此等偵測器亦可被稱作光學 TOF 感測器、光學 TOF 鄰近感測器、光學 TOF 鄰近偵測器或類似者。隨著電池操作式手持型裝置(諸如，行動電話)之出現，此等偵測器/感測器之價值已變得更重要。舉例而言，來自行動電話電池之大

量能量用以驅動顯示器，且在當使行動電話或其他裝置處於使用者之耳部（其中無論如何不能觀看行動電話或其他裝置）時關斷顯示器或背光方面存在價值。光學式鄰近偵測器已用於此及許多其他應用。

【0004】 對於其他實例，存在物件之存在可有利地藉由光學式鄰近偵測器偵測之許多其他應用。此等範圍自感測機械上已打開保護蓋、紙已經正確地定位於印表機中或操作者之手有危險地在操作機器附近之時間。亦可將光學式鄰近偵測器用作簡單觸碰或近觸碰啟動式開關，且可將其實施於如鍵盤或具有經密封但允許來自光源之光穿過且反過來由偵測器感測之塑膠外殼的裝置之應用中。

【發明內容】

【0005】 本發明之具體實例係關於光學式鄰近偵測器、供光學式鄰近偵測器使用的方法，及包括光學式鄰近偵測器之系統。根據某些具體實例，光學式鄰近偵測器包括驅動器、光偵測器、類比前端、感測修正因子（例如，溫度、供電電壓及/或前向電壓降）的感測器，及數位後端。驅動器驅動光源發射光。光偵測器產生指示反射離開物件並入射於光偵測器上之該發射光的一部分之大小及相位的光偵測信號。類比前端接收光偵測信號並輸出提供至數位後端的數位光偵測信號或數位同相信號及正交相位信號。數位後端執行對於由類比前端之一部分所引起的增益及/或相位的動態變化的閉路修正，使用多項式等式及感測之修正因子以執行對於溫度、供電電壓及/或前向電壓降的動態變化的開路修正，且輸出距離值。

【圖式簡單說明】

【0006】 圖 1 說明光學式鄰近偵測器之具體實例。

圖 2A 為用以描述用於由諸如圖 1 中介紹之光學式鄰近偵測器的光學式鄰近偵測器在操作模式期間使用之方法的高階流程圖。

圖 2B 為用以描述用於由諸如圖 1 中介紹之光學式鄰近偵測器的光學式鄰近偵測器在動態增益及相位偏移校準模式期間使用之方法的高階流程圖。

圖 2C 為用以描述用於由諸如圖 1 中介紹之光學式鄰近偵測器的光學式鄰近偵測器在串擾校準模式期間使用之方法的高階流程圖。

圖 2D 為用以描述用於由諸如圖 1 中介紹之光學式鄰近偵測器的光學式鄰近偵測器在靜態相位偏移校準模式期間使用之方法之高階流程圖。

圖 3 說明由圖 1 中介紹之驅動器產生的驅動信號之例示性重複率及例示性脈衝寬度。

圖 4 說明根據具體實例的光學式鄰近偵測器之具體實例。

圖 5 為用以描述用於對殘餘誤差執行開路修正以供光學式鄰近偵測器（諸如圖 4 中介紹的光學式鄰近偵測器）使用之方法的高階流程圖。

圖 6 為用以描述用於提供精確度之估計以供光學式鄰近偵測器（諸如圖 4 中介紹的光學式鄰近偵測器）使用的方法之高階流程圖。

圖 7 說明根據具體實例之系統，其包括在圖 1 或圖 4 中介紹之光學式鄰近偵測器。

【實施方式】

【0007】 圖 1 說明 2014 年 9 月 24 日申請的名為「Optical Proximity Detectors」之共同讓渡的美國專利申請案第 14/495,688 號揭示的光學式鄰近偵測器 102。在光學式鄰近偵測器 102 用於偵測至物件（例如，105）之距

離的情況下，光學式鄰近偵測器 102 可替代性地被稱作光學式距離偵測器 102。在光學式鄰近偵測器 102 依賴於飛行時間（TOF）原理偵測至物件的距離之情況下，其亦可更特定地稱作光學式 TOF 距離感測器、光學式 TOF 鄰近感測器、光學式 TOF 鄰近偵測器或類似者。參看圖 1，將光學式鄰近偵測器 102 展示為包括紅外光源 104、光偵測器 106、類比前端電路 108、數位後端電路 112、驅動器 110 及時序產生器 120。亦可將光源 104 及光偵測器 106 視為類比前端電路 108 之一部分。類比前端電路 108 亦可被稱作類比前端（analog front-end；AFE）、前端頻道或簡稱為前端。類似地，數位後端電路 108 亦可被稱作數位後端、後端頻道或簡稱為後端。時序產生器 120 可包括（例如）輸出高頻信號（例如，4.5 MHz 或 5 MHz）的本地振盪器，及將高頻信號移相 90 度的移相器。如以下將按額外細節來描述，高頻信號（例如，4.5 MHz 或 5 MHz）可經提供至驅動器 110 及前端 108，且移相 90 度的高頻信號亦可提供至前端 108。時序產生器 120 亦可包括用以產生可由光學式鄰近偵測器 102 之各種其他區塊使用的其他頻率（例如較低及/或較高頻率）之信號的電路。光學式鄰近偵測器 102 亦展示為包括產生標記為 V_{cc} 的供電電壓之電壓供應器 109。由電壓供應器 109 輸出的供電電壓可用以直接向類比前端 108 及數位後端 112 兩者之各種組件供電。亦有可能由電壓供應器 109 輸出的供電電壓升壓或降壓至用以向類比前端 108 及/或數位後端 112 之特定組件供電的一或多個其他電壓。

【0008】 紅外光源 104 可為（例如）一或多個紅外線發光二極體（LED）或紅外線雷射二極體，但不限於此。雖然紅外線（infrared；IR）光源常用於光學式鄰近偵測器中，但因為人眼不能偵測 IR 光，所以光源可替代性地

產生其他波長之光。因此，紅外光源 104 可更一般地被稱作光源 104。光偵測器 106 可為（例如）一或多個光電二極體（photodiode；PD），但不限於此。當實施為在光導模式中操作之 PD 時，光偵測器 106 將偵測之光轉換成電流信號。若實施為在光電模式中操作之 PD，則光偵測器 106 將使偵測之光轉換成電壓信號。除非另有敘述，否則為了此描述之故而假定光偵測器 106 為在光導模式中操作之 PD。

【0009】 根據具體實例，前端 108 接收廣泛範圍之在高頻（例如，4.5 MHz 或 5 MHz）下的輸入電流（來自光偵測器 106），且調節信號以用於數位化。此調節可包括調整增益以增大且較佳地最佳化動態範圍，濾波以增大且較佳地最佳化信雜比（signal-to-noise ratio；SNR），及 IQ 解調變以簡化數位後端處理。根據具體實例，數位後端 112 執行額外濾波，修正動態增益及相位偏移誤差，修正串擾誤差，且計算指示光學式鄰近偵測器 102 與目標 105 之間的距離之相位。數位後端 112 亦可修正靜態相位偏移誤差。另外，數位後端 112 產生用於類比前端 108 之一或多個控制信號。以下描述類比前端 108 及數位後端 112 之額外細節。

【0010】 仍參看圖 1，根據具體實例，類比前端 108 包括放大器 122、增益調整電路 130、IQ 解調器電路 140、類比低通濾波器 144i、144q 及類比/數位轉換器（analog-to-digital；ADC）146i、146q。雖然將 ADC 146i 及 146q 說明為兩個分開的 ADC，但可替代地使用單一 ADC，在該情況下，該單一 ADC 在 I 頻道與 Q 頻道之間時間共用。根據具體實例，數位後端 112 包括增益調整控制器 150、一或多個數位濾波器 152、動態增益及相位偏移修正器 153、串擾修正器 154、相位及大小計算器 156 及靜態相位偏移修正器 158。

數位後端 112 亦展示為包括距離計算器 164 及精確度估計器 166。根據具體實例，數位後端 112 內的區塊中之每一者係使用數位信號處理器（digital signal processor；DSP）實施。替代性地，數位後端 112 內的區塊中之每一者可使用數位電路來實施。可使用 DSP 實施數位後端 112 的區塊中之一些而使用數位電路實施其他區塊亦係可能的。在某些具體實例中，距離計算器 164 及精確度估計器 166 中之一或兩者係在數位後端 112 外部實施，且視需要在光學式鄰近偵測器外部實施。舉例而言，精確度估計器 166 可藉由專用數位晶片或主機 MCU 實施，但不限於此。

【0011】 驅動電路 110 取決於由時序產生器 120 產生之驅動時序信號（亦被稱作 IrDr 時序信號）產生驅動信號。驅動時序信號可為（例如）4.5 MHz 方波信號，但不限於此。此驅動信號用以驅動紅外光源 104，回應於此，紅外光源 104 發射紅外光。發射之紅外光的調變頻率（其亦可被稱作載波頻率）取決於驅動時序信號之頻率（例如，4.5 MHz）。換言之，在紅外光源 104 由 4.5 MHz 驅動信號驅動之情況下，則發射之紅外光的載波頻率將為 4.5 MHz。

【0012】 若在光學式鄰近偵測器 102 之感測區（亦即，視野及範圍）內存在一目標 105（其可更一般化地被稱作物件 105），則由紅外光源 104 發射之紅外光將自目標 105 反射，且反射之紅外光的一部分將入射於光偵測器 106 上。回應於偵測到光，光偵測器 106 產生指示偵測之光的大小及相位之光偵測信號。光偵測信號之大小可取決於（例如）目標 105 與光學式鄰近偵測器 102 之間的距離及目標之色彩。一般而言，在所有其他事物皆相等之情況下，目標 105 愈靠近，則光偵測信號之大小愈大。另外，在所有

其他事物皆相等之情況下，若目標具有白色，或另一高度反射性色彩，則光偵測信號之大小將比若目標具有黑色或另一低反射性色彩大。相比之下，光偵測信號之相位應主要地取決於目標 105 與光學式鄰近偵測器 102 之間的距離，且不應取決於目標 105 之色彩或反射率。

【0013】 雖未展示於圖 1 中，但一或多個光學濾光片可位於光偵測器 106 之前部以反射及/或吸收不關注之波長。對於更特定實例，一或多個光學濾光片可用以拒絕環境可見光且使紅外線光通過。可使用用於拒絕及/或補償環境可見光之替代及/或額外技術，如此項技術中已知。

【0014】 由光源 104 發射且由光偵測器 106 偵測之紅外光（其尚未反射離開物件 105）被考慮為降低總體裝置或系統感測距離之能力的光學串擾。一些此光可直接自光源 104 行進至光偵測器 106。為了減少且較佳地防止光直接自光源 104 行進至光偵測器 106，可使用不透明光障壁（在圖 1 中展示為元件 103）來將光源 104 與光偵測器 106 隔離。然而，光障壁常常不完美，導致在障壁下、上及/或經由障壁之光洩漏。另外，光學串擾可自鏡面反射及/或其他類型之反向散射產生，尤其在光源 104 及光偵測器 106 由玻璃或塑膠蓋板覆蓋之情況下，如此項技術中已知。

【0015】 在將由光偵測器 106 產生之光偵測信號提供至增益調整電路 130 前，光偵測信號可由可選放大器 122（其具有固定增益）放大。取決於需要在電壓域或是電流域中執行信號處理，且取決於光偵測器 106 產生指示偵測之光的大小及相位之電壓信號或是電流信號，可選放大器 122 亦可用以將電流信號轉換至電壓信號，或反之亦然。舉例而言，放大器 122 可為具有固定增益之跨阻抗放大器（transimpedance amplifier；TIA）。本文中

描述之多數信號一般被稱作信號，而不指定該信號為電流信號或是電壓信號。此係因為取決於實施，可使用任一類型之信號。除非另有敘述，否則將假定放大器 122 為將由光偵測器 106 產生之電流信號轉換至電壓信號之跨阻抗放大器 (TIA)，且由前端 108 進行之進一步處理在電壓域中進行，如與電流域相反。放大器 122 與增益調整電路 130 共同地或個別地可被稱作放大電路 132，或更特定言之，被稱作類比放大電路 132。

【0016】 光學式鄰近偵測器 102 亦展示為包括 DC 光電流 (DC photocurrent ; DCPC) 類比/數位轉換器 (ADC) 111，其用以產生指示在紅外光源 104 未發射紅外光時由光偵測器 106 產生的 DC 電流的數位值。換言之，DCPC ADC 111 用以量測光學式鄰近偵測器 102 之散粒雜訊。DCPC ADC 111 之輸出提供至精確度估計器 166，其在下文更詳細地論述。

【0017】 仍參看圖 1，增益調整電路 130 包括由增益調整控制器 150 控制之至少一個可變增益放大器 (VGA)。在此文件內，光偵測信號當在本文中該術語時為指示由光偵測器 106 偵測的光之大小及相位之信號，不管該信號是否由可選固定增益放大器 122 放大。增益調整電路 130 取決於自增益調整控制器 150 接收之一或多個增益調整信號調整光偵測信號之振幅，如以下將按額外細節來描述。增益調整電路 130 之輸出 (其可被稱作經振幅調整之光偵測信號) 經提供至 IQ 解調器 140。更一般而言，類比放大電路 132 之輸出可被稱作經振幅調整之光偵測信號。

【0018】 增益調整電路 130 亦可包括 (例如) 帶通濾波器 (band-pass filter ; BPF)，其減小前端 108 之頻寬以拒絕原本不利地影響前端 108 之雜訊。BPF 可 (例如) 具有 5 MHz 之中心頻率、3dB 500 kHz 頻寬、4.75 MHz 之下

截止頻率及 5.25 MHz 之上截止頻率。對於另一實例，BPF 可具有 4.5 MHz 之中心頻率、3dB 500 KHz 頻寬、4.25 MHz 之下截止頻率及 5.75 MHz 之上截止頻率。BPF 可在增益調整電路 130 之一對 VGA 之間。此僅為一實例，其並不意謂為限制性的。

【0019】 IQ 解調器 140 將經振幅調整之光偵測信號分成同相信號及正交相位信號（其亦可分別被稱作 I 分量及 Q 分量，或簡稱為 I 信號及 Q 信號），其中正交相位信號相對於同相信號 90 度異相。在具體實例中，IQ 解調器 140 包括一對混頻器（標記為 142i 及 142q），其亦可被稱作乘法器 142i 及 142q。混頻器 142i、142q 兩者自增益調整電路 130 接收同一經振幅調整之光偵測信號。混頻器 142i 將經振幅調整之光偵測信號乘以由時序產生器 120 產生之同相解調變信號（IDem）。混頻器 142q 將經振幅調整之光偵測信號乘以由時序產生器 120 產生之正交相位解調變信號（QDem）。

【0020】 根據具體實例，同相解調變信號（IDem）具有與由時序產生器 120 產生之驅動時序信號（亦被稱作 IrDr 時序信號）相同的相位（亦即，與驅動時序信號同相），時序產生器 120 用以產生驅動光源 104 之驅動信號；且正交相位解調變信號（QDem）與同相解調變信號（IDem）異相 90 度（且因此，與由時序產生器 120 產生之驅動時序信號異相 90 度）。當將經振幅調整之光偵測信號分成同相及正交相位信號時，混頻器 142i、142q 亦將此等信號降頻轉換至基頻。

【0021】 在具體實例中，同相信號及正交相位信號（其兩者皆由 IQ 解調器 140 輸出）由各別可選類比 LPF 144i、144q 低通濾波且由各別 ADC 146i、146q 數位化。可選類比 LPF 144i、144q 可用以濾出自由混頻器 142i、

142q 執行之混合產生的並非關注之諧波及高頻雜訊。ADC 146i 之輸出可被稱作數位同相信號，且 ADC 146q 之輸出可被稱作數位正交相位信號。

【0022】 由前端 108 輸出的數位同相信號及數位正交相位信號（其可分別稱作數位 I 信號及數位 Q 信號）經提供至數位後端 112。如上所述，數位後端 112 展示為包括一或多個可選數位濾波器 152、動態增益及相位偏移修正器 153、串擾修正器 154、相位及大小計算器 156、靜態相位偏移修正器 158 及增益調整控制器 150。數位後端 112 亦展示為包括距離計算器 164。另外，數位後端 112 展示為包括精確度估計器 166，以下將按額外細節來描述其。距離計算器 164 及/或精確度估計器 166 在數位後端外部且更一般而言在光學式鄰近偵測器 102 外部亦係可能的。

【0023】 數位濾波器 152 中之每一者可（例如）實施為積分與倒卸（integrate-and-dump）電路，在該情況下，其亦可被稱作抽選器、積分與倒卸抽選器或積分與倒卸濾波器。舉例而言，一數位濾波器 152 可在時間段內積分數位同相信號且接著輸出（亦稱為，倒卸）結果，此時其經重設並在另一時間段內重複積分與倒卸功能等；且另一數位濾波器 152 可在時間段內積分數位正交相位信號且接著輸出（亦稱為，倒卸）結果，此時其經重設並在另一時間段內重複積分與倒卸功能等。數位濾波器 152 之其他實施亦係可能的。

【0024】 根據具體實例，增益調整控制器 150 判定或估算經提供至其的 IQ 向量之振幅，以藉此調整類比前端 108 的增益調整電路 130 之 VGA 的增益，使得 IQ 向量之振幅實質上等於目標振幅，以便增大且較佳地最佳化前端 108 之動態範圍。若 IQ 向量之振幅低於目標振幅，則增大在增益調整

電路 130 內的 VGA 之增益。相反地，若 IQ 向量之振幅高於目標振幅，則減小在增益調整電路 130 內的 VGA 之增益。換言之，使用增益調整反饋迴路調整 IQ 向量之振幅。增益調整控制器 150 可判定 IQ 向量之振幅，例如，藉由計算數位 I 信號平方之振幅與數位 Q 信號平方之振幅的總和之平方根。替代性地，增益調整控制器 150 可藉由僅假定 IQ 向量之振幅等於數位 I 信號之振幅及數位 Q 信號之振幅中的較大者來估算 IQ 向量之振幅。換言之，增益調整控制器 150 可將數位 I 信號之振幅與數位 Q 信號之振幅比較，且選擇較大之任一振幅作為 IQ 向量之振幅的近似值。增益調整控制器 150 可替代地使用其他技術來判定或估算 IQ 向量之振幅。替代性地，峰值偵測器可用以監視經振幅調整之光偵測信號的擺動，且增益調整控制器 150 可調整增益以調整至指定位準之擺動。

【0025】 動態增益及相位偏移修正器 153 修正歸因於類比前端 108 之溫度及/或操作電壓位準的變化的類比前端 108 的增益及相位偏移之動態變化。操作電壓位準的此等變化可（例如）歸因於用以向類比前端 108 之組件供電的電壓位準之變化。串擾修正器 154 視實施而修正電串擾及/或光學串擾。相位及大小計算器 156 取決於自類比前端 108 接收之數位 I 信號及數位 Q 信號且（更特定言之）基於其經修正之版本計算相位值及大小。由相位及大小計算器 156 接收的數位 I 信號及數位 Q 信號之經修正之版本亦可被稱作經修正之 IQ 向量。諸如（但不限於）CORDIC 演算法之各種熟知演算法可用以自經修正之 IQ 向量計算相位。靜態相位偏移修正器 158 修正光學式鄰近偵測器 102 之靜態相位偏移，其亦可被稱作距離偏移校準。自靜態相位偏移修正器 158 輸出之相位值可儲存於在數位後端 112 內或在數位後

端外部之暫存器（例如，160）或記憶體（例如，162）中。總之，此暫存器或記憶體可由回應於該相位或更一般而言回應於目標 105 與光學式鄰近偵測器 102 之間的距離之另一子系統存取。存取儲存之相位的子系統僅回應目標 105 在光學式鄰近偵測器 102 之範圍及視野內之存在亦係可能的。

【0026】 根據某些具體實例，距離計算器 164 基於其自靜態相位偏移修正器 158 接收的相位值輸出數位距離值。舉例而言，距離計算器 164 可使用其接收的相位值來判定光學式鄰近偵測器 102 與目標 105 之間的距離，該距離亦可被稱作至目標 105 的距離。舉例而言，相位值（其亦可被稱作相位偏移（關於由 IR 光源發射的光））可轉換成時間延遲（因為對於任何載波頻率，存在相位偏移與時間延遲之間的對應關係）。可藉由將時間延遲乘以熟知光速來將時間延遲轉換至往返距離，如通常在使用飛行時間（TOF）原理時所進行。可藉由將往返距離除以二來將往返距離轉換至單向距離，該單向距離為光學式鄰近偵測器 102 與物件 105 之間的距離。更特定言之，光學式鄰近偵測器 102 與物件 105 之間的距離 (d) 可使用以下等式來判定： $d = (c * t) / 2$ ，其中 c 為光速且 t 為時間延遲。距離計算器可使用算術邏輯單元（arithmetic logic unit；ALU）或查找表（look-up-table；LUT）來實施，但不限於此。由距離計算器 164 輸出的數位值（其可被稱作數位距離值）可為至物件的距離之實際值，例如 1.2 米。替代性地，由距離計算器 164 輸出的數位距離值可為一與距離成正比或以其他方式與至物件之距離相關的值，至物件的距離之實際值可自該值（例如，藉由將該值乘以常數或將該值插入預定等式中）而計算。更一般而言，由距離計算器 164 輸出的數位值指示光學式鄰近偵測器 102 與在光學式鄰近偵測器 102 之感測區（即，視

野及範圍)內的物件(例如,物件 105)之間的距離。靜態相位偏移修正器 158 修正光學式鄰近偵測器 102 之靜態相位偏移,其亦可被稱作距離偏移校準。自距離計算器 164 輸出的數位距離值可儲存於在數位後端 112 內或在數位後端外部的暫存器(例如,160)或記憶體(例如,162)中。總之,此暫存器或記憶體可由回應於目標 105 與光學式鄰近偵測器 102 之間的距離之另一子系統存取。存取儲存之數位距離值的子系統僅回應目標 105 在光學式鄰近偵測器 102 之範圍及視野內之存在亦係可能的。

【0027】 以下論述動態增益及相位偏移修正器 153、串擾修正器 154 及靜態相位偏移修正器 158 的操作之額外細節。參看圖 1 描述的在 IQ 域中執行修正及計算的數位後端 112 之益處為 IQ 域為線性且可藉由線性函數估算。此有利地允許使用線性處理技術,此可顯著減輕實施複雜性。

【0028】 在圖 1 中,IQ 解調器 140 經展示為類比前端 108 之一部分並在 ADC 146i、146q 之上游在類比域中執行 IQ 解調變。在替代具體實例中,IQ 解調器可為數位後端 112 之部分且可在數位域中執行 IQ 解調變。更特定言之,由放大電路 132 輸出的經振幅調整之光偵測信號可由類比前端 108 之 ADC 146 轉換至數位經振幅調整之光偵測信號。數位後端 112 可接著將數位經振幅調整之光偵測信號分成其數位同相及正交相位版本(其亦可分別被稱作 I 分量及 Q 分量,或簡被稱為 I 信號及 Q 信號),其中數位正交相位信號相對於數位同相信號異相 90 度。換言之,IQ 解調變可替代性地在 ADC 146(例如,實施為帶通積分三角 ADC,但並不限於此)與動態增益及相位偏移修正器 153 之間執行,而非執行在放大電路 132 與 ADC 146 之間的 IQ 解調變。下文所描述之動態增益及相位偏移修正器 153、串擾修正器

154 及靜態相位偏移修正器 158 可與上述具體實例中之任一者一起使用，亦即，不管 IQ 解調器是類比前端或是數位後端之一部分。

動態類比增益及相位偏移修正

【0029】 存在提供電力至類比前端 108 之類比組件（諸如但不限於放大器 122 及增益調整電路 130 之一或多個 VGA）的類比電壓調節器及/或其他類比電壓供應器。此等類比組件大體由圖 1 中之電壓供應器 109 表示。此等類比組件之操作可取決於此等組件之溫度及/或提供至此等組件之供電電壓而改變。更特定言之，此等類比組件之增益可取決於此等組件之溫度及/或此等組件之操作電壓而變化（例如，漂移）。另外，由此等組件引起之相位偏移可取決於此等組件之溫度及/或此等組件之操作電壓而變化。若未動態補償，則增益及相位偏移之此等動態改變可不利地影響用以判定物件（例如，105）相對於光學式鄰近偵測器 102 之距離的相位計算。現在將描述之特定具體實例用以補償類比前端 108 之類比組件的增益及相位偏移之此等動態改變。

【0030】 類比前端 112 之放大器 122 及增益調整電路 130（且更一般而言，類比前端之在 IQ 解調器前的類比電路）的動態回應可由以下等式以數學方式表示：

$$H(s) = H_0(s) \cdot A(V, T) \cdot e^{j\phi(V, T)}$$

其中

$H(s)$ 表示類比前端之放大器及增益調整電路的總回應，

$H_0(s)$ 表示類比前端之放大器及增益調整電路的標稱回應，

$A(V, T)$ 表示作為操作電壓及溫度之函數的類比前端之放大器及增益

調整電路之動態增益偏移，且

$\Phi(V, T)$ 表示作為操作電壓及溫度之函數的類比前端之放大器及增益調整電路之動態相位偏移。

【0031】 根據具體實例，為了補償類比前端之在 IQ 解調器之前的類比電路之動態增益及相位偏移，動態增益及相位偏移修正器 153 具有實質上等於 $H_0(s)/H(s) = 1/[A(V, T) \cdot e^{j\Phi(V, T)}]$ 的轉移函數。換言之，動態增益及相位偏移修正器 153 具有實質上等於類比前端 112 之放大器 122 及增益調整電路 130（且更一般而言，類比前端之在 IQ 解調器前的類比電路之動態部分）之轉移函數之動態部分的逆之轉移函數。若動態增益及相位偏移修正器 153 之轉移函數為 $H_0/H'(s)$ ，則需要 $H'(s)$ 儘可能靠近 $H(s)$ 。更一般而言，動態類比增益及相位偏移修正器 153 修正歸因於溫度及/或用以對類比前端 108 之電力組件供電之供應電壓位準之改變的類比前端 108 之增益及相位偏移之動態變化。

【0032】 根據具體實例，為了估計類比前端 112 之放大器 122 及增益調整電路 130（且更一般而言，類比前端之在 IQ 解調器前的類比電路）之回應，校準參考信號由校準參考信號產生器 107 產生，且在校準模式期間使用開關 Sw 提供至類比前端 108，校準模式可更特定地被稱作動態增益及相位偏移校準模式或程序。更特定言之，開關 Sw 在動態增益及相位偏移校準模式期間將類比前端 108 之輸入端連接至校準參考信號產生器 107 之輸出端，且開關 Sw 在操作模式期間將類比前端 108 之輸入端連接至光偵測器 106。

【0033】 根據某些具體實例，由校準參考信號產生器 107 產生的校準

參考信號基本上為由驅動器 110 輸出的驅動信號之衰減版本，其在相位上與由驅動器 110 輸出之驅動信號匹配。在一個具體實例中，校準參考信號接收經提供至驅動器 110 之輸入端的同一信號（即，IrDr 時序信號）且產生在相位上匹配於驅動器 110 之輸出的輸出，但具有在類比前端 108 之動態範圍內的一大小。在另一具體實例中，校準參考產生器 107 包括經組態為光學耦合器之另外光源及光偵測器（不同於 104 及 106），其中由（光學耦合器之）另外光偵測器產生的信號為校準參考信號。在再一具體實例中，校準參考信號產生器 107 包括：感測電阻器，其感測由驅動器 110 輸出之驅動信號；及衰減器，其衰減感測之驅動信號的大小而不改變驅動信號之相位。替代性地，在校準模式期間，驅動器 110 可輸出用作校準參考信號的具有減小之大小之驅動信號。與不顧實施如何無關，校準參考信號經產生且在動態增益及相位偏移校準模式期間使用開關 Sw 提供至類比前端 108，其中校準參考信號具有與由驅動器 110 輸出之驅動信號相同的相位，且具有類比前端 108 之動態範圍內的大小。此校準參考信號亦可被稱作零相（ZP）校準參考信號。

【0034】 若不存在由類比前端 112 之放大器 122 及增益調整電路 130（且更一般而言，由類比前端之在 IQ 解調器前的類比電路）引起之動態增益偏移，則由 ADC 146i、146q 回應於校準參考信號經提供至類比前端 108 而輸出的 IQ 向量（包括數位 I 信號及數位 Q 信號）之大小應僅取決於校準參考信號之大小、由放大器 122 引起的增益之標稱位準，及由增益調整電路 130 引起的增益之標稱位準。因此，IQ 向量（回應於校準參考信號經提供至類比前端 108 而產生）之預期大小可易於計算，或以其他方式藉由直

接計算畢達哥拉斯定理或 CORDIC 演算法來判定，但不限於此。然而，因為由放大器 122 及增益調整電路 130 引起的增益之實際位準將歸因於溫度及/或操作電壓之變化而改變，所以 IQ 向量（回應於校準參考信號經提供至類比前端 108 而產生）之實際大小將不同於預期大小，其中其間之差為由類比前端 108 之放大器 122 及增益調整電路 130（且更一般而言，由類比前端之在 IQ 解調器前的類比電路）引起之動態增益偏移。可在校準模式期間判定的 IQ 向量之實際大小與 IQ 向量之預期大小之間的差將被稱作零相增益偏移或簡稱為 A_{zp} 。

【0035】 若不存在由類比前端 108 之放大器 122 及增益調整電路 130（且更一般而言，由類比前端之在 IQ 解調器前的類比電路）引起之動態相位偏移，則由 ADC 146i、146q 回應於校準參考信號提供至類比前端 108 而輸出的 IQ 向量（包括數位 I 信號及數位 Q 信號）之相位應為標稱相位偏移。換言之，IQ 向量（回應於校準參考信號經提供至類比前端 108 而產生）之預期相位為標稱相位。然而，因為放大器 122 及增益調整電路 130 引起將歸因於溫度及/或操作電壓之變化而變化的相位偏移，所以 IQ 向量（回應於校準參考信號經提供至類比前端 108 而產生）之實際相位將不同於預期標稱相位偏移，其中其間之差為由類比前端 108 之放大器 122 及增益調整電路 130（且更一般而言，由類比前端之在 IQ 解調器之前的類比電路）引起的動態相位偏移。可在校準模式期間判定的 IQ 向量之實際相位與 IQ 向量之預期相位之間的差將被稱作零相相位偏移或簡稱為 Φ_{zp} 。

【0036】 根據具體實例，零相增益偏移（亦即， A_{zp} ）及零相相位偏移（亦即， Φ_{zp} ）在校準模式期間被判定，且用以判定由動態增益及相位偏

移修正器 153 在操作模式期間應用之轉移函數。更特定言之，根據具體實例，動態增益及相位偏移修正器 153 之轉移函數為 $H_o/H'(s) = \frac{1}{A_{ZP}} \cdot e^{-j\theta_{ZP}}$ 。

【0037】 取決於實施，由動態增益及相位偏移修正器 153 應用之前述轉移函數亦可用以修正由光源 104 及/或光偵測器 106 引起之動態增益及相位偏移。

串擾修正

【0038】 如上文所提，取決於實施，串擾修正器 154 修正電串擾及/或光學串擾。電串擾可（例如）由藉由驅動器 110 產生的單端相對高電流同相驅動信號產生，驅動器 110 用以驅動光源 104。更一般而言，電串擾亦可由自一電路、電路之一部分或頻道至另一者的非所要電容、電感及/或導電耦合所引起，及/或歸因於非所要電力供應耦合而引起。光學串擾可（例如）自經由分開光源 104 與光偵測器 106 之光障壁 103 的鏡面反射、朗伯反射或洩漏而產生。光學串擾之原因及根源之例示性另外細節如上所論述。

【0039】 最佳地，若驅動器 110 驅動紅外光源 104 且在光學式鄰近偵測器 102 之感測區（亦即，視野及範圍）內不存在目標（例如，105），則無由紅外光源 104 發射之紅外光應入射於光偵測器 106 上，且無信號應被提供至類比前端，在該情況下，數位 I 信號及數位 Q 信號應具有零大小。然而，歸因於電串擾及光學串擾，將並非為該情況。本文中所描述的某些具體實例修正此串擾，如以下所解釋。

【0040】 根據具體實例，在串擾校準程序或模式期間判定串擾，在此期間使光偵測器 106 不對自光學式鄰近偵測器 102 之外部入射於光偵測器

106 上的光作出回應，且光源 104 由驅動器 110 以其將在操作模式期間相同的方式驅動。光偵測器 106 應不回應之光包括源自光源 104 及退出光學式鄰近偵測器 102 之兩個光，以及源自另一光源之環境光。在一個具體實例中，開關 Sw 可用以將放大器 122 之輸入端與光偵測器 106 斷開連接，且取而代之將放大器 122 之輸入端連接至另一光偵測器（例如，虛設或校準光偵測器），該另一光偵測器實質上與光偵測器 106 相同，但永久地覆蓋有不透明材料或封於不透明材料內，使得從來不會有光入射於該另一光偵測器上。在此具體實例中，由 ADC 146 輸出之數位 I 信號及數位 Q 信號包含 IQ 向量，其指示由類比前端 108 產生之電串擾，但不指示光學串擾。

【0041】 在另一具體實例中，藉由以不透明材料暫時覆蓋光偵測器 106 使得入射於光學式鄰近偵測器 102 上的光將不入射於光偵測器 106 上，可使光偵測器 106 不對自光學式鄰近偵測器 102 之外部入射於光偵測器 106 上的光作出回應。在再一具體實例中，藉由將光學式鄰近偵測器暫時置放於不包括在光學式鄰近偵測器 102 之感測區內的目標（例如，105）的完全暗環境（例如，密封腔室或空間）中，可使光偵測器 106 不對自光學式鄰近偵測器 102 之外部入射於光偵測器 106 上之光作出回應。在此等後兩個具體實例中，由光偵測器 106 產生的信號將包括電及光學串擾兩者。更特定言之，在此等後兩個具體實例中，由 ADC 146 輸出之數位 I 信號及數位 Q 信號將包含指示由類比前端 108 產生之電串擾的 IQ 向量，其亦指示光學串擾。指示此 IQ 向量的串擾誤差資料儲存於（例如）一或多個暫存器 160 中及/或記憶體 162 中（較佳地，非揮發性記憶體中）以在光學式鄰近偵測器 102 之操作模式期間供串擾修正器 154 使用。更特定言之，在操作模式期

間，指示串擾的 IQ 向量可自藉由動態增益及相位偏移修正器 153 輸出的經動態增益及相位偏移修正之 IQ 向量減去以產生經動態相位及偏移修正且經串擾修正之 IQ 向量。

【0042】 上述串擾誤差資料可（例如）儲存於一或多個暫存器 160 中或記憶體 162 中，暫存器 160 或記憶體 162 可為串擾修正器 154 所存取。上述串擾校準程序可僅一次性（例如，在工廠設定中）執行，或不定期（例如週期性地及/或回應於觸發事件）執行。

靜態相位偏移修正

【0043】 由串擾修正器 154 輸出之 IQ 向量可被稱作經動態相位及偏移修正且經串擾修正之 IQ 向量，或更簡單地稱作經修正之 IQ 向量。相位及大小計算器 156 取決於此經修正之 IQ 向量（例如）使用查找表或演算法計算相位值及大小，但不限於此。大小可由增益調整控制器 150 用以調整由增益調整電路 130 提供之增益。可使用相位值計算光學式鄰近偵測器 102 與目標 105 之間的距離，該距離亦可被稱作至目標 105 之距離。舉例而言，亦可被稱作相位偏移（相對於由 IR 光源發射之光）之相位值可經轉換至時間延遲（因為對於任一載波頻率，在相位偏移與時間延遲之間存在對應關係）。可藉由將時間延遲乘以熟知光速來將時間延遲轉換至往返距離，如通常在使用飛行時間（TOF）原理時所進行。可藉由將往返距離除以二來將往返距離轉換至單向距離，該單向距離為光學式鄰近偵測器 102 與物件 105 之間的距離。更特定言之，光學式鄰近偵測器 102 與物件 105 之間的距離(d)可使用以下等式來判定： $d = (c * t) / 2$ ，其中 c 為光速且 t 為時間延遲。最佳地，若目標 105 位於距光學式鄰近偵測器 102 已知距離（例如，6 吋）處，

則由相位及大小計算器 156 判定之相位應對應於目標 105 為距光學式鄰近偵測器 102 之彼已知距離（例如，6 吋）。然而，歸因於與類比前端 108 相關聯之靜態相位偏移，情況將並非如此。換言之，前端 108 內之類比電路將影響由相位及大小計算器 156 判定的相位之準確度係固有的。本文中所描述的某些具體實例修正此靜態相位偏移，如以下所解釋。

【0044】 根據具體實例，在靜態相位偏移校準程序或模式期間，將目標 105 置放於距光學式鄰近偵測器 102 已知距離處，且將由相位及大小計算器 156 輸出之相位與實際上對應於已知距離之相位比較。舉例而言，若實際上對應於已知距離的相位為 Φ_1 ，但相位及大小計算器 156 判定在物件 105 在彼已知距離處時相位為 Φ_2 ，則可使用等式 $\Phi_{spo} = \Phi_2 - \Phi_1$ 判定靜態相位偏移 Φ_{spo} 。靜態相位偏移值誤差資料可（例如）儲存於一或多個暫存器 160 中或記憶體 162 中，暫存器 160 或記憶體 162 可為靜態相位偏移修正器 158 存取。在操作模式期間，靜態相位偏移修正器 158 修正光學式鄰近偵測器 102 之靜態相位偏移，其亦可被稱作距離偏移校準。更特定言之，在操作模式期間，靜態相位偏移修正器 158 自由相位及大小計算器 156 輸出之相位值減去靜態相位偏移（在靜態相位偏移校準程序期間所判定）。

【0045】 根據某些具體實例，在與操作模式相關聯的步驟之前執行與各種校準模式或程序相關聯之步驟。舉例而言，每當待執行與操作模式相關聯之步驟時可執行與各種校準模式相關聯之步驟，或每 N 次待執行與操作模式相關聯之步驟僅執行與各種校準模式相關聯之步驟一次，或當待執行與操作模式相關聯之步驟時執行與各種校準模式相關聯之步驟，且其為自從執行校準模式中之一或多者之最後時間的最小指定時間量。在特定具

體實例中，將與串擾校準模式及靜態偏移校準模式相關聯之步驟執行一次（例如，在工廠中），且每當待執行與操作模式相關聯之步驟時執行與動態增益及相位偏移校準模式相關聯之步驟，或每 N 次待執行與操作模式相關聯之步驟僅執行與動態增益及相位偏移校準模式相關聯之步驟一次，或當待執行與操作模式相關聯之步驟時執行與動態增益及相位偏移校準模式相關聯之步驟，且其為自從執行校準模式之最後時間的最小指定時間量。此等僅為幾個實例，其並不意欲涵蓋全部。

方法

【0046】 圖 2A、圖 2B、圖 2C 及圖 2D 之高階流程圖現將用以描述供光學式鄰近偵測器（諸如參看圖 1 描述之光學式鄰近偵測器 102）使用之方法。參看圖 2A 描述之步驟意欲在光學式鄰近偵測器之操作模式期間執行。參看圖 2B 描述之步驟意欲在光學式鄰近偵測器之動態增益及相位偏移校準模式或程序期間執行。參看圖 2C 描述之步驟意欲在串擾校準模式或程序期間執行。參看圖 2D 描述之步驟意欲在靜態相位偏移校準程序期間執行。

【0047】 如自以下論述將瞭解，且如上所述，應在參看圖 2A 描述的操作程序或模式之第一實例前執行參看圖 2B、圖 2C 及圖 2D 描述的校準程序之至少一個實例，使得該光學式鄰近偵測器可判定（在校準程序期間）在操作模式期間使用之恰當值、向量、轉移函數及/或類似者。

【0048】 參看圖 2A，產生具有載波頻率之驅動信號，如在步驟 202 中所指示。可（例如）由以上參看圖 1 描述之驅動器 110 執行步驟 202。如在步驟 204 處所指示，藉由驅動信號驅動光源（例如，圖 1 中之 106）以藉此使光源發射具有載波頻率之光。在步驟 206 處，產生類比光偵測信號，

其指示由光源發射而反射離開物件且入射於光偵測器(例如,圖 1 中之 106)上之光的一部分之大小及相位。在步驟 208 處,使用類比放大電路(例如,圖 1 中之 132)放大類比光偵測信號,以藉此產生經振幅調整之類比光偵測信號。在步驟 210 處,執行 IQ 解調變以將經振幅調整之類比光偵測信號分成類比同相信號及類比正交相位信號。可(例如)由以上參看圖 1 描述之 IQ 解調器 140 執行步驟 210。在步驟 212 處,將類比同相及正交相位信號轉換成數位同相及正交相位信號。可(例如)由以上參看圖 1 描述之 ADC 146i、146q 執行步驟 212。更一般而言,步驟 202 至 212 可由諸如(但不限於)以上參看圖 1 描述之類比前端 108 之類比前端執行。

【0049】 如以上在圖 1 之論述中所解釋,並非在類比域中執行 IQ 解調變,而可替代地在數位域中由數位後端 112 執行 IQ 解調變。因此,更一般而言,在圖 2A 中之步驟 208 與 214 之間,取決於經振幅調整之類比光偵測信號,存在數位同相及正交相位信號之產生。

【0050】 在步驟 214 處,針對由類比前端之一部分引起的增益及相位偏移之動態變化執行修正,以藉此產生經動態增益及相位偏移修正之數位同相信號及正交相位信號。在步驟 216 處,執行針對電串擾及/或光學串擾之修正以藉此產生經串擾修正之數位同相信號及正交相位信號。在步驟 216 及 218 處的修正為依賴於閉合反饋迴路以執行修正的閉路修正之實例。在步驟 218 處,取決於經串擾修正之數位同相信號及正交相位信號判定相位值及大小。在步驟 220 處,執行針對與類比前端相關聯之靜態相位偏移的修正以藉此產生指示至物件之距離的相位值。步驟 214 至 220 可由諸如(但不限於)以上參看圖 1 描述之數位後端 112 的數位後端執行。更特定言之,

步驟 214、216、218 及 220 可分別由動態增益及相位偏移修正器 153、串擾修正器 154、相位及大小計算器 156 及靜態相位偏移修正器 158 執行。

【0051】 返回參照步驟 214，類比前端之增益及相位偏移之動態變化經修正的部分可包括用以執行在步驟 208 處之放大的放大電路（例如，圖 1 中之 132）。如上所解釋，增益及相位偏移之此等動態變化可歸因於溫度及/或與放大電路相關聯之操作電壓的動態變化。另外，類比前端之增益及相位偏移之動態變化經在步驟 214 修正的部分可包括光源及/或光偵測器（例如，圖 1 中之 104 及/或 106）。

【0052】 用以執行在步驟 208 處之放大的放大電路具有一轉移函數，其包括對應於放大電路之標稱回應的一標稱部分及對應於放大電路之動態增益偏移及動態相位偏移的一動態部分。根據具體實例，使用 DSP 及/或數位電路執行在步驟 214 處執行的對於增益及相位偏移之動態變化之修正，該 DSP 及/或數位電路應用實質上等於類比放大電路之轉移函數之動態部分的逆之轉移函數。若前述轉移函數（其包括標稱部分及動態部分）亦包括光源及/或光偵測器之回應，則在步驟 214 處使用的前述逆轉移函數亦可修正由光源及/或光偵測器引起的增益及相位偏移之動態變化。

【0053】 根據具體實例，步驟 202 至 212 由光學式鄰近偵測器之類比前端執行，且步驟 214 至 220 由光學式鄰近偵測器之數位後端執行。如上所述，參看圖 2A 描述之步驟 202 至 220 係在光學式鄰近偵測器之操作模式期間執行。圖 2B、圖 2C 及圖 2D 現將用以描述可在光學式鄰近偵測器之各種校準模式期間執行之步驟。

【0054】 圖 2B 為用以描述用於由諸如圖 1 中介紹之光學式鄰近偵測

器的光學式鄰近偵測器在動態增益及相位偏移校準模式期間使用之方法的高階流程圖。參看圖 2B，在步驟 222，產生具有與用於驅動光源之驅動信號相同的相位之校準參考信號。可（例如）使用以上參看圖 1 所描述之校準參考信號產生器 107 執行步驟 222。在步驟 224 處，（例如）使用圖 1 中之開關 Sw 將校準參考信號提供至類比前端。在步驟 226 處，判定對應於自類比前端接收的數位同相信號及正交相位信號或其經濾波版本之 IQ 向量之實際大小及實際相位。在步驟 228 處，判定 IQ 向量之實際大小與 IQ 向量之預期大小之間的差，以便判定零相增益偏移。在步驟 230 處，判定 IQ 向量之實際相位與 IQ 向量之預期相位之間的差，以便判定零相相位偏移。在步驟 232 處，基於零相增益偏移及零相相位偏移，判定用於在光學式鄰近偵測器之操作模式期間在步驟 214 處修正增益及相位偏移之動態變化的轉移函數。步驟 232 亦可包括儲存指示判定之轉移函數的資料。可（例如）由圖 1 中之動態增益及相位偏移修正器 153 或 DSP 或（更一般而言）處理器執行步驟 224 至 232。此 DSP 或（更一般而言）處理器可或可不為用以實施圖 1 中之動態增益及相位偏移修正器 153 的同一者。

【0055】 圖 2C 為用以描述用於由光學式鄰近偵測器（諸如，圖 1 中介紹之光學式鄰近偵測器）在串擾校準模式期間用以判定用於在步驟 216 處（在操作模式期間）用以修正電及/或光學串擾之值或向量之方法。參看圖 2C，在步驟 234，使光偵測器（例如，圖 1 中之 106）不回應自光學式鄰近偵測器 102 外入射於光偵測器 106 上之光。如何執行步驟 234 之例示性細節如上所述，且因此，不需要重複。在步驟 236 及 238 處，分別地，（例如，由圖 1 中之驅動器 110）產生具有載波頻率之驅動信號，且藉由驅動信號驅

動光源以藉此使光源發射具有載波頻率之光。在步驟 240 處，產生指示電及光學串擾之類比偵測信號。在步驟 242 處，使用放大電路（例如，圖 1 中之 132）放大類比偵測信號以藉此產生經振幅調整之類比偵測信號。在步驟 244 處，執行 IQ 解調變以將經振幅調整之類比偵測信號分成類比同相信號及類比正交相位信號。在步驟 246 處，將類比同相信號及正交相位信號轉換成指示電及光學串擾之數位同相信號及正交相位信號。在步驟 248 處，保存指示電及光學串擾之串擾誤差資料（例如，在圖 1 中之暫存器 160 或記憶體 162 中），用於在操作模式期間使用。較佳地，將串擾誤差資料保存於非揮發性記憶體中。

【0056】 圖 2D 為用以描述用於由諸如圖 1 中介紹之光學式鄰近偵測器的光學式鄰近偵測器在靜態相位偏移校準模式期間使用之方法之高階流程圖。參看圖 2D，當將物件置放於距光學式鄰近偵測器（例如，102）一已知距離處時，獲得經動態相位及偏移修正且經串擾修正之 IQ 向量，如在步驟 250 處所指示。可藉由基本上執行以上參看圖 2A 描述之步驟 202 至 216 來執行此步驟，同時將物件置放於距光學式鄰近偵測器一已知距離處。在步驟 252，取決於經動態相位及偏移修正且經串擾修正之 IQ 向量，計算相位值。可藉由基本上執行以上參看圖 2A 描述之步驟 218 來執行此步驟。在步驟 254 處，判定在步驟 252 處計算之相位值與對應於置放物件距光學式鄰近偵測器之已知距離的一相位值之間的差，以藉此判定靜態相位偏移。在步驟 256 處，保存指示靜態相位偏移之資料（例如，在暫存器或記憶體中），用於在操作模式期間在步驟 220 處使用。

【0057】 圖 3 說明由驅動器 110 產生的驅動信號之例示性重複率及例

示性脈衝寬度。

殘餘誤差之修正

【0058】 當使用實際電路實施時利用飛行時間 (TOF) 原理的光學式鄰近感測器趨向於對若干因素敏感，因素包括 (但不限於) 溫度、供電電壓、光源前向電壓降、環境光及信號強度的動態變化。換言之，溫度、供電電壓、光源前向電壓降、環境光及信號強度的動態變化可影響利用 TOF 原理的光學式鄰近感測器之實際電路，且因此可影響由此等光學式鄰近感測器產生的相位及/或距離值之準確度。利用校準參考信號之閉路校準可用以減少由此等動態變化產生的誤差。上文描述此等閉路校準的實例。雖然此等閉路校準可用以顯著減少誤差，且藉此顯著增加由利用 TOF 原理的光學式鄰近感測器產生的相位及/或距離值之準確度，但仍可保留不利地影響準確度之殘餘誤差。

【0059】 殘餘誤差可產生在溫度、供電電壓、光源前向電壓降、環境光及/或信號強度的動態變化比可修正此等變化的閉路校準更快發生之情況下殘餘誤差亦可由藉由增益調整電路 (例如，圖 1 中之 130)，且更特定言之藉由此電路之 VGA 使用的增益值的改變而產生。殘餘誤差亦可由在一或多個閉路校準迴路之外部的相位誤差產生。對於更特定實例，殘餘誤差可歸因於以下因素中之一或多者而發生：與入射於光偵測器 (例如，圖 1 中之 106) 上之環境光的改變相關聯的跨阻抗放大器 (例如，圖 1 中之 122) 相位變化；校準參考信號之相位漂移 (例如，由圖 1 中之校準參考信號產生器 107 產生)；與增益調整電路 (例如，圖 1 中之 130) 相關聯的相位誤差；與光偵測器 (例如，圖 1 中之 106) 相關聯的延遲漂移；與光源 (例如，

圖 1 中之 104) 相關聯的延遲漂移；及由振盪器飄移所引起的恆定時間延遲 (例如，與圖 1 中之時序產生器 120 相關聯)。另外，或替代地，殘餘誤差可歸因於歸因於入射於光偵測器 (例如，圖 1 中之 106) 上的環境光的動態變化及/或歸因於溫度的動態變化而發生的光學串擾及/或電串擾的動態變化而發生。殘餘誤差亦可歸因於用以驅動光源 (例如，圖 1 中之 104) 之驅動電流的動態變化或漂移、跨越光源之前向電壓降的動態變化或漂移以及光源的電光效率的動態變化或漂移而發生。殘餘誤差之其他可能來源係關於與跨阻抗放大器(TIA)(例如，圖 1 中之 122)及/或低雜訊放大器(low noise amplifier；LNA) 相關聯的共模抑制比 (common-mode rejection ratio；CMRR) 及/或電源抑制比 (power-supply rejection ratio；PSRR) 的變化。殘餘誤差亦可由光源 (例如，圖 1 中之 104) 之發光效率之溫度依賴性變化及/或回應於光偵測器 (例如，圖 1 中之 106) 的溫度依賴性變化產生。

【0060】 圖 4 說明根據具體實例的可修正上文所提及殘餘誤差中之一或多者的光學式鄰近偵測器。參看圖 4，其中展示的光學式鄰近偵測器 402 包括包括於上文參看圖 1 所描述的光學式鄰近偵測器 102 中的全部組件加一些額外組件。圖 4 中以與其在圖 1 中相同之方式標記的組件以相同方式操作，且因此無需再次描述。

【0061】 參看圖 4，光學式鄰近偵測器 402 展示為亦包括溫度感測器 404、供電電壓感測器 406 及光源前向電壓降感測器 408。根據具體實例：溫度感測器 404 監視光學式鄰近偵測器 402 之溫度並輸出數位溫度信號；供電電壓感測器 406 監視由電壓供應器 109 產生的供電電壓 (V_{cc}) 並輸出數位供電電壓信號；且光源前向電壓降感測器 408 (亦稱作 V_f 感測器) 監視

跨越光源 104 的前向電壓降 (Vf) 並輸出數位前向電壓降信號。對於給定驅動信號, 跨越光源 104 的 Vf 之變化將主要歸因於光源 104 之溫度的改變。在一具體實例中, 溫度感測器 404 係使用類比溫度傳感器及類比/數位轉換器 (ADC) 而實施, 該類比/數位轉換器輸出具有與光學式鄰近偵測器 402 之溫度成正比的大小的數位信號。在一具體實例中, 供電電壓感測器 406 可使用輸出具有與供電電壓 (Vcc) 成正比之大小的數位信號的類比/數位轉換器 (ADC) 而實施。在一具體實例中, Vf 感測器 408 係使用電阻分壓器網路及類比/數位轉換器 (ADC) 而實施, 該類比/數位轉換器輸出具有與跨越光源 104 之前向電壓降 (Vf) 成正比之大小的數位信號。由溫度感測器 404、供電電壓感測器 406 及 Vf 感測器 408 產生的數位信號亦可被稱作感測數位值, 或更特定言之, 被稱作感測修正因子。另一例示性修正因子為由增益調整電路 (例如, 130) 使用的增益值。根據具體實例, 一或多個多項式等式用以修正上述殘餘誤差中的一或多者。例示性二階多項式等式為 $P = P_0 + P_1(x - x_0) + P_2(x - x_0)^2$, 其中 P 為經修正值, P_0 、 P_1 及 P_2 為經由測試判定的係數, 變數 x 為經感測或量測的修正值, 且 x_0 為變數 x 在標稱條件 (例如, 室溫) 下之值。如自此等式可瞭解, 當 $x_0 = x$ 時, 則 $P = P_0$ 。換言之, 在標稱條件 (例如, 室溫) 下, P_0 為 P 之值, 且因此 P_0 亦可被稱作因子 P 之標稱值。多項式等式中之變數 (例如, x) 可為 (例如) 由溫度感測器 404 輸出的數位溫度值、由供電電壓感測器 406 輸出的數位供電電壓值, 或由 Vf 感測器 408 輸出的 Vf 值, 但不限於此。

【0062】 可用於對上述因子中之一或多者執行相位修正的二階多項式等式之實例為 $\phi = \phi_0 + \phi_1(x - x_0) + \phi_2(x - x_0)^2$ 。此等式可用以修正由相位

及大小修正器 156 產生的相位值及/或由靜態相位偏移修正器 158 產生的相位值。變數 x 可為（例如）由溫度感測器 404 輸出的數位溫度值、由供電電壓感測器 406 輸出的數位供電電壓值或由 Vf 感測器 408 輸出的 Vf 值中之任一者，但不限於此。假定需要修正溫度、供電電壓及 Vf 的變化，則可使用以下多項式等式：

$$\phi = \phi_0 + \phi_{1x}(x - x_0) + \phi_{2x}(x - x_0)^2 + \phi_{1y}(y - y_0) + \phi_{2y}(y - y_0)^2 + \phi_{1z}(z - z_0) + \phi_{2z}(z - z_0)^2$$

其中 x 對應於溫度， y 對應於供電電壓，且 z 對應於 Vf。標稱條件下之係數及變數可經由實驗而判定，例如，藉由在距離光學式鄰近偵測器 402 之已知距離處定位物件 105 並改變溫度及供電電壓來判定。標稱條件可包括標稱溫度（例如，攝氏 21 度）、標稱供電電壓（例如，3.30 V）及標稱 Vf（例如，0.70 V），但不限於此。

【0063】 可用於對上述因子中之一或多者執行串擾修正的類似等式為 $I = I_0 + I_1(x - x_0) + I_2(x - x_0)^2$ ，及 $Q = Q_0 + Q_1(x - x_0) + Q_2(x - x_0)^2$ 。此等等式可用以修正由動態增益及相位偏移修正器 153 產生的 I 及 Q 值及/或由串擾修正器 154 產生的 I 及 Q 值。變數 x 可（例如）為由溫度感測器 404 輸出的數位溫度值、由供電電壓感測器 406 輸出的數位供電電壓值或由 Vf 感測器 408 輸出的 Vf 值中之任一者，但不限於此。假定需要修正溫度、供電電壓及 Vf 的變化，則可使用以下多項式等式：

$$I = I_0 + I_{1x}(x - x_0) + I_{2x}(x - x_0)^2 + I_{1y}(y - y_0) + I_{2y}(y - y_0)^2 + I_{1z}(z - z_0) + I_{2z}(z - z_0)^2$$

及 $Q = Q_0 + Q_{1x}(x - x_0) + Q_{2x}(x - x_0)^2 + Q_{1y}(y - y_0) + Q_{2y}(y - y_0)^2 + Q_{1z}(z - z_0) + Q_{2z}(z - z_0)^2$ ，其中 x 對應於溫度， y 對應於供電電壓，且 z 對應於 Vf。在標稱條件下之係數及變數可經由實驗而判定，例如，藉由在距離光學式鄰近偵

測器 402 之已知距離處定位物件 105 並改變溫度及供電電壓。標稱條件可包括標稱溫度（例如，攝氏 21 度）、標稱供電電壓（例如，3.30 V）及標稱 V_f （例如，0.70 V），但不限於此。對於另一實例，標稱條件可包括由增益調整電路使用的標稱增益值。可排除用於上述演算法的變數中之每一者，同時享有由變數之剩餘部分提供的功能性。類似地，其他變數可以相對低遞增成本添加至實施。雖然上文所論述的多項式等式為二階多項式等式，但可替代性地使用高階等式，如可為負冪項。使用一階多項式等式亦在本文中所描述的具體實例之範疇內，但二階或更高階多項式等式應產生更準確修正。

【0064】 可使用數位電路執行上述等式，例如，數位電路為包括光學式鄰近感測器 402 之其他組件的相同晶片之一部分。替代性地，獨立數位晶片可專用於執行此等演算法。在再一具體實例中，此等演算法可使用主機微控制器單元（microcontroller unit；MCU）或微處理器之韌體而執行。此數位電路及/或 MCU 係由圖 4 中之區塊 410 表示。其他變化亦係可能的，且在具體實例之範疇內。根據具體實例，數位電路或微控制器次常式藉由將自身重應用於所要變數之每一組合而遞回地計算每一變數之比重。

【0065】 圖 5 為用以描述用於對殘餘誤差執行開路修正以供光學式鄰近偵測器（諸如圖 4 中介紹的光學式鄰近偵測器）使用之方法的高階流程圖。參看圖 5，產生具有載波頻率之驅動信號，如在步驟 502 中所指示。可（例如）由以上參看圖 1 及圖 4 描述之驅動器 110 執行步驟 502。如在步驟 504 處所指示，藉由驅動信號驅動光源（例如，圖 1 及圖 4 中之 104）以藉此使光源發射具有載波頻率之光。在步驟 506 處，產生類比光偵測信號，

其指示由光源發射而反射離開物件且入射於光偵測器（例如，圖 1 及圖 4 中之 106）上之光的一部分之大小及相位。在步驟 508 處，使用類比放大電路（例如，圖 1 及圖 4 中之 132）放大類比光偵測信號，以藉此產生經振幅調整之類比光偵測信號。

【0066】 在步驟 510 處，數位同相信號及正交相位信號取決於經振幅調整類比光偵測信號而產生。此步驟可包括，例如使用 IQ 解調器（例如，圖 1 及 4 中之 140）而執行 IQ 解調變以將經振幅調整之類比光偵測信號分成類比同相信號及類比正交相位信號。此等類比同相信號及正交相位信號可使用 ADC（例如，圖 1 及圖 4 中之 146i、146q）轉換成數位同相信號及正交相位信號。更一般而言，步驟 510 可藉由類比前端（諸如但不限於上文參看圖 1 及圖 4 所描述的類比前端 108）執行。如上述在圖 1 之論述中解釋，並非在類比域中執行 IQ 解調變，而可替代性地在數位域中由數位後端（例如，圖 1 及圖 4 中之 112）執行 IQ 解調變。

【0067】 步驟 512 涉及量測一或多個修正因子，包括（例如）溫度、供電電壓及/或前向電壓降。此等修正因子可（例如）使用溫度感測器（例如，圖 4 中之 404）、供電電壓感測器（例如，圖 4 中之 406）及/或前向電壓降感測器（例如，圖 4 中之 408）來量測。

【0068】 步驟 514 涉及對於由用以執行步驟 502、504、506 或 508 中之一或多者的電路之至少一部分所引起的增益及/或相位的動態變化執行一或多個閉路修正。可（例如）使用動態增益及相位偏移修正器（例如，圖 1 及圖 4 中之 153）、串擾修正器（例如，圖 1 及圖 4 中之 154）及/或增益調整控制器（例如，圖 1 及圖 4 中之 150）中執行步驟 514。

【0069】 步驟 516 涉及使用一或多個多項式等式及一或多個感測修正因子中的至少一者（在步驟 512 處量測）以對用以執行步驟 502、504、506 或 508 中之一或多者之電路相關聯的溫度、供電電壓或與前向電壓降中之至少一者的動態變化執行一或多個開路修正。可（例如）藉由數位電路（例如，其為包括光學式鄰近感測器之其他組件的相同晶片之一部分）、藉由專用於執行此等演算法及/或使用主機 MCU 之韌體的獨立數位晶片執行步驟 516，其中之每一者及所有由圖 4 中之區塊 410 表示。

【0070】 對於特定實例，步驟 512 可涉及量測光學式鄰近偵測器之溫度，且步驟 516 可涉及使用一或多個多項式等式及所量測溫度以對光學式鄰近偵測器之溫度的動態變化執行開路修正。另外，或替代地，步驟 512 可涉及量測光學式鄰近偵測器之供電電壓，且步驟 516 可涉及使用一或多個多項式等式及所量測供電電壓以對光學式鄰近偵測器之供電電壓的動態變化執行開路修正。另外，或替代地，步驟 512 可涉及量測跨越由驅動信號驅動的光源之前向電壓降，且步驟 516 可涉及使用一或多個多項式等式及跨越光源的所量測前向電壓降以對跨越光源之前向電壓降的動態變化執行開路修正。如自上文論述可瞭解，此方法亦可包括藉由將物件定位於距光學式鄰近感測器之已知距離處及故意地改變光學式鄰近感測器之溫度及光學式鄰近感測器之供電電壓而判定在標稱條件下的一或多個多項式等式之變數之係數。在一具體實例中，步驟 508 涉及使用一或多個增益值以控制一或多個變數增益放大器，且步驟 516 涉及使用一或多個多項式等式以修正一或多個增益值中的至少一者的動態變化。

【0071】 仍參看圖 4，步驟 518 涉及輸出指示光學式鄰近偵測器與物

件之間的距離的距離量測結果（亦稱作距離值），其中藉由光源發射之光反射離開該物件並入射於光偵測器上。可（例如）藉由距離計算器（例如，圖 1 及圖 4 中之 164）執行步驟 518。作為上文所論述之各種閉路及開路修正結果而產生在步驟 518 處輸出的距離值。

精確度估計

【0072】 依賴於 TOF 技術且更特定言之依賴於正弦波調變 TOF (sine wave modulation TOF ; SWM TOF) 技術的光學式鄰近偵測器（諸如上文所描述的光學式鄰近偵測器）可用以獨立於返回信號強度而偵測至物件的距離。然而，距離資訊不單獨提供資料精確度如何（可能提供誤導性結果）的指示。本文中所描述的特定具體實例允許主機系統或使用者即時評估距離及精確度資訊兩者，藉此允許進行統計決策。舉例而言，精確度資訊可用以在基於距離之二進位偵測方案中減少錯誤負及/或錯誤正偵測速率。

【0073】 一般而言，基於 TOF 之光學式鄰近偵測器中的雜訊隨環境光誘發之 DC 光電流之平方根以及雜訊頻寬而增加。由雜訊所引起的距離誤差與信雜比 (SNR) 成反比。舉例而言，2x 整合雜訊將導致距離之標準差的 2x 增大（即，精確度的 2x 減少），而信號強度的 2x 增大將使標準差減半（亦即，具有雙倍精確度）。

【0074】 存取距離值之精確度可具有許多益處，範圍為不良資料之簡單篩選，或作為複雜演算法（諸如卡爾曼濾波）之輸入。

【0075】 根據本發明技術之特定具體實例，光學式鄰近偵測器或包括光學式鄰近偵測器或與光學式鄰近偵測器通信的系統基於以下資訊計算精確度值：

- 積分時間 (Tint)，其設定雜訊頻寬 (Noise Bandwidth；NBW)；
- DC 光電流 (DCPC)，其指示光電流誘發之散粒雜訊；及
- 信號振幅/大小，其指示用以判定至目標之距離的所偵測信號之大小。

【0076】 根據具體實例，此計算係使用操作一序列代數運算以計算最終結果的算術邏輯單元 (ALU) 實施。在另一具體實例中，可實施基於查找表 (LUT) 之解決方案。其他實施亦係可能的且在具體實例之範疇內。

【0077】 可使用單片實施實施精確度估計，或多個子系統可協作以執行精確度估計。舉例而言，可使 DCPC ADC 111 在晶片外。對於另一實例，數位演算法可移至專用數位晶片，或主機 MCU。

【0078】 根據具體實例，精確度估計器 166 以與距離讀出碼相同之單位 (例如以米為單位) 提供距離精確度的估計，但不限於此。對於更特定實例，在距離計算器 164 產生 1.2 米之距離值的情況下，精確度估計器可輸出 0.1 米之值，意謂該距離值較好表示為 1.2 米 \pm 0.1 米。替代性地，精確度估計器 166 產生百分比值，例如 8.3%。舉例而言，在距離計算器 164 產生 1.2 米的距離值，且精確度估計器輸出 8.3%米之值的情況下，此意謂該距離值實際上為 1.2 米 \pm 8.3%。如上文所提，由距離計算器 164 輸出的數位距離值可為至物件之距離的實際值。替代性地，由距離計算器 164 輸出的數位距離值可為一與距離成正比或以其他方式與至物件之距離相關的值，至物件的距離之實際值可自該值 (例如，藉由將該值乘以常數或將該值插入預定等式中) 而計算。更一般而言，由距離計算器 164 輸出的數位距離值指示光學式鄰近偵測器 102 與在光學式鄰近偵測器 102 之感測區 (即，視野及

範圍)內的物件(例如,物件 105)之間的距離,且由精確度估計器輸出的數位值指示由距離計算器 164 輸出的數位距離值之精確度。

【0079】 自 SWM TOF 光學式鄰近偵測器(諸如上文所描述的光學式鄰近偵測器)獲取的資訊可視為兩個正交同相及正交分量 I 及 Q 之組合,或視為具有大小 A 及相位 ϕ 之向量。兩個域之間的轉換如下:

$$I = A \cdot \cos(\phi)$$

$$Q = A \cdot \sin(\phi)$$

$$A = \sqrt{I^2 + Q^2}$$

$$\phi = \arctan(I/Q)$$

【0080】 可藉由進行梯度/小信號分析而進行此等兩個域之間的誤差傳播。若在同相及正交分量中引入誤差,則相位誤差可藉由進行小信號分析,採用 $\arctan2$ 的偏導數估算。舉例而言,以下等式可用以估計藉由同相及正交分量引入的誤差:

$$\frac{\delta\phi}{\delta I} = \frac{Q}{I^2 + Q^2}$$

$$\frac{\delta\phi}{\delta Q} = \frac{I}{I^2 + Q^2}$$

$$\Delta\phi = \frac{Q\Delta I + I\Delta Q}{I^2 + Q^2}$$

【0081】 在誤差項變得超過信號項之 10%後,此估算開始降級,此時全向量代數可適於計算誤差。

【0082】 若 I 及 Q 頻道中之每一者的誤差被視為與信號不相關且彼此不相關,則表達式可簡化為以下各者:

$$\begin{aligned} \text{Var}(\phi) &= \text{Var}\left(\frac{Q\Delta I}{I^2 + Q^2} + \frac{I\Delta Q}{I^2 + Q^2}\right) \\ \text{Var}(\phi) &= \text{Var}\left(\frac{Q\Delta I}{I^2 + Q^2}\right) + \text{Var}\left(\frac{I\Delta Q}{I^2 + Q^2}\right) \\ \text{Var}(\phi) &= \frac{\text{Var}(I) + \text{Var}(Q)}{(I^2 + Q^2)} \\ \sigma(\phi) &= \frac{\sqrt{\sigma_I^2 + \sigma_Q^2}}{\sqrt{I^2 + Q^2}} \end{aligned}$$

【0083】 若誤差來自在解調變點之前的源，則可使用以下等式：

$$\sigma_I = \sigma_Q = \sqrt{\text{NoisePSD}|_{f_{mod}} \cdot \text{NBW}} \cdot \frac{1}{\sqrt{2}}$$

其中：

NBW 為系統之雜訊頻寬。

【0084】 整個表達式可簡化為以下等式：

$$\begin{aligned} \sigma_{\phi} &= \frac{\sqrt{\text{NoisePSD}|_{f_{mod}} \cdot \text{NBW}}}{A} = \frac{1}{\text{SNR}} \\ \sigma_{\text{distance}} &= \frac{1}{\text{SNR}} \cdot \frac{c}{4\pi f_{mod}} \end{aligned}$$

其中 σ （即，西格馬）表示標準差， f_{mod} 表示操作頻率，且 c 為光速。

【0085】 據具體實例，精確度估計器 166 使用用於 σ_{distance} 之上述等式以產生其輸出的數位精確度值。如自上述等式可瞭解，SWM TOF 距離量測結果的精確度與 SNR 成反比，以及與操作頻率（ f_{mod} ）成反比。

【0086】 根據具體實例，SNR 係基於由相位及大小計算器 156 輸出的信號大小（Mag.或 A）、對應於環境光之由光偵測器 106 偵測的散粒雜訊頻譜密度 I_{shot} 、對應於類比前端 108 之類比電路的類比電路雜訊頻譜密度 I_{ckt} 及對應於數位濾波器 152 之積分時間 T_{int} 而計算。更特定言之，根據具體實例，

用以計算精確度值之 SNR 值可根據以下等式來判定：

$$\text{SNR} = \frac{I_{4.5\text{MHz}}}{\sqrt{I_n^2/(2T_{\text{int}})}}$$

【0087】 替代性地，依據輸入電流方波之峰至峰擺動，SNR 可根據以下等式判定：

$$\text{SNR} = \frac{I_{\text{square}}}{\sqrt{I_n^2/(2T_{\text{int}})}} \cdot \frac{2}{\pi}$$

【0088】 根據具體實例， I_n^2 係根據以下等式判定：

$$\begin{aligned} I_n^2 &= I_{\text{shot}}^2 + I_{\text{ckt}}^2 \\ I_{\text{shot}}^2 &= m \cdot 2qID \end{aligned}$$

其中：

ID 為經過光電二極體之 DC 電流。

m=1.5 為 AFE 之雜訊因子。

【0089】 I_{shot} 為由光偵測器 106 偵測的環境光的雜訊功率譜密度比重。此與由光偵測器偵測的起源於 IR 光源 104、反射離開目標 105，且入射於光偵測器 106 上的 IR 光相反。根據具體實例， I_{shot} 係使用 DCPC ADC 111 在 IR 光源 104 並未發射 IR 光的時間段期間量測。根據具體實例，類比電路雜訊頻譜密度 I_{ckt} 係基於光學式鄰近偵測器 102 之設計而判定，且經處理為常數，且可經由模擬及/或實驗及/或使用電路設計及/或數學軟體而判定。雜訊因子 m 通常將在 1 至 3 的範圍內，且對於此實例假定對於光學式鄰近偵測器 102 為 1.5。此雜訊因子對於不同設計可不同，如一般熟習此項技術者將瞭解。

【0090】 圖 6 為用以描述用於提供精確度之估計以供光學式鄰近偵

測器（諸如圖 4 中介紹的光學式鄰近偵測器）使用的方法之高階流程圖。參看圖 6，產生具有載波頻率之驅動信號，如在步驟 602 中所指示。可（例如）由以上參看圖 1 及圖 4 描述之驅動器 110 執行步驟 602。如在步驟 604 處所指示，藉由驅動信號驅動光源（例如，圖 1 及圖 4 中之 104）以藉此使光源發射具有載波頻率之光。在步驟 606 處，產生類比光偵測信號，其指示由光源發射而反射離開物件且入射於光偵測器（例如，圖 1 及圖 4 中之 106）上的光之一部分之大小及相位。在步驟 608 處，使用類比放大電路（例如，圖 1 及圖 4 中之 132）放大類比光偵測信號，以藉此產生經振幅調整之類比光偵測信號。

【0091】 在步驟 610 處，數位同相信號及正交相位信號取決於經振幅調整之類比光偵測信號而產生。此步驟可包括，例如使用 IQ 解調器（例如，圖 1 及 4 中之 140）而執行 IQ 解調變以將經振幅調整之類比光偵測信號分成類比同相信號及類比正交相位信號。此等類比同相信號及正交相位信號可使用 ADC（例如，圖 1 及圖 4 中之 146i、146q）轉換成數位同相信號及正交相位信號。更一般而言，步驟 510 可藉由類比前端（諸如但不限於上文參看圖 1 及圖 4 所描述的類比前端 108）執行。如上述在圖 1 之論述中解釋，並非在類比域中執行 IQ 解調變，而可替代性地在數位域中由數位後端（例如，圖 1 及圖 4 中之 112）執行 IQ 解調變。

【0092】 在步驟 612 處，指示光學式鄰近偵測器與物件之間的距離的數位距離值係取決於數位同相信號及正交相位信號而產生。步驟 616 可至少部分藉由距離計算器（例如，圖 4 中之 164）而執行。在某些具體實例中，步驟 612 可涉及（例如）執行上文參看圖 1 至圖 5 所描述的閉路及/或開路

修正中之一或多者。閉路修正可（例如）使用動態增益及相位偏移修正器（例如，圖 1 及圖 4 中之 153）、串擾修正器（例如，圖 1 及圖 4 中之 154）及/或增益調整控制器（例如，圖 1 及圖 4 中之 150）而執行。開路修正可（例如）藉由數位電路（例如，其為包括光學式鄰近感測器之其他組件的相同晶片之一部分）、藉由專用於執行此等演算法及/或使用主機 MCU 之韌體的獨立數位晶片而執行，其中之每一者及所有係由圖 4 中之區塊 410 表示。

【0093】 在步驟 614 處，產生指示數位距離值之精確度的數位精確度值。在一具體實例中，步驟 614 可包括判定與在步驟 606 處產生的類比光偵測信號相關聯的信雜比（SNR），及取決於 SNR 而產生數位精確度值。判定與在 606 處產生的類比光偵測信號相關聯的 SNR 可包括（例如）判定藉由光偵測器偵測的環境光之雜訊頻譜密度比重，及取決於藉由光偵測器偵測的環境光之所判定雜訊頻譜密度比重而判定 SNR，如上文按額外細節來描述。在一特定具體實例中，步驟 614 可包括取決於設定光學式鄰近偵測器之雜訊頻寬的積分時間、與產生類比光偵測信號之光偵測器相關聯的 DC 光電流及使用光偵測器產生的類比光偵測信號之大小而判定數位精確度值。在某些具體實例中，在步驟 614 處產生的數位精確度值為指示標準差之量測結果。舉例而言，數位精確度值可為標準差之恆定倍數，此取決於所要行為及實施。步驟 614 可藉由（例如）精確度估計器（例如，圖 4 中之 166）執行。

【0094】 在步驟 616 處，輸出數位距離值及數位精確度值。舉例而言，數位距離值可藉由距離計算器（例如，圖 1 及圖 2 中之 164）輸出，且數位精確度值可藉由精確度估計器（例如，圖 4 中之 166）輸出。輸出的數

位距離值及數位精確度值可皆為相同長度單位形式。替代性地，輸出的數位距離值係以長度為單位，且輸出的數位精確度值對應於百分比，如上文所解釋。其他變化亦係可能的。

【0095】 根據本發明的具體實例，數位精確度值愈小，信號完整性愈好。換言之，與距離量測相關聯的誤差棒較小。相反，數位精確度值愈大，信號完整性愈壞。換言之，與距離量測結果相關聯的誤差棒較大，且因此數位距離值可能不受信任。更一般而言，數位精確度值之大小可與數位距離值之精確度成反比，以使得數位距離值之大小愈小，數位距離值之精確度愈大。

【0096】 在某些具體實例中，方法亦可包括取決於數位精確度值判定是否使用數位距離值來選擇性地啟用或停用子系統。舉例而言，數位精確度值可與指示指定最小可接受精確度的精確度臨限值準相比。在此具體實例中，若數位精確度值低於精確度臨限值準，則存在數位距離值應用以選擇性地啟用或停用子系統的判定。另一方面，若數位精確度值高於精確度臨限值準，則存在數位距離值應不用以選擇性地啟用或停用子系統的判定。

系統

【0097】 本文中所描述的光學式鄰近偵測器可用於各種系統，包括（但不限於）手機及手持型裝置。參照圖 7 之系統 700，例如，光學式鄰近偵測器 102 或 402 可用以控制是啟用抑或停用子系統 706（例如，觸控式螢幕、顯示器、背光、虛擬滾輪、虛擬小鍵盤、導覽墊、攝影機、另一感測器、中央處理單元（central processing unit；CPU）、機械致動器等）。舉例而言，光學式鄰近偵測器可偵測諸如人的手指之物件接近之時間，且基於該

偵測，啟用（或停用）子系統 706。更特定言之，鄰近偵測器 102 或 402 之輸出可提供至比較器或處理器 704，其可（例如）將鄰近偵測器之輸出與一臨限值比較，以判定物件是否在應啟用（或停用，取決於所需要）子系統 706 之範圍內。可使用多個臨限值（例如，儲存之數位值），且一個以上可能回應可基於物件的偵測之鄰近而出現。舉例而言，若物件在第一鄰近範圍內，則第一回應可出現，且若物件在第二鄰近範圍內，則第二回應可出現。例示性回應可包括開始各種系統及/或子系統操作。

【0098】 雖然以上已描述本發明之各種具體實例，但應理解，其已藉由實例且非限制來呈現。熟習相關技術者將顯而易知，在不背離本發明之精神及範疇之情況下可在形式及細節方面進行各種變化。舉例而言，雖然圖 1 及圖 4 中之光源 104 及光偵測器 106 經展示為在光學式鄰近偵測器外部，但光源 104 及光偵測器 106 中之一或兩者可取決於實施而視為光學式鄰近偵測器 102 或 402 之一部分，且更特定言之光學式鄰近偵測器的類比前端之一部分。

【0099】 本發明之範圍及範疇不應由上文所描述例示性具體實例中之任一者限制，而應僅根據以下申請專利範圍及其等效物進行定義。

【符號說明】

【0100】

102：光學式鄰近偵測器/光學式距離偵測器

103：不透明光障壁

104：紅外光源

105：物件/目標

- 106：光偵測器
- 107：校準參考信號產生器
- 108：類比前端電路/前端/類比前端
- 109：電壓供應器
- 110：驅動器
- 111：DC 光電流（DCPC）類比/數位轉換器（ADC）
- 112：數位後端電路/數位後端
- 120：時序產生器
- 122：放大器
- 130：增益調整電路
- 132：放大電路/類比放大電路
- 140：IQ 解調器電路/IQ 解調器
- 142i：混頻器
- 142q：混頻器
- 144i：類比低通濾波器
- 144q：類比低通濾波器
- 146i：類比/數位轉換器（ADC）
- 146q：類比/數位轉換器（ADC）
- 150：增益調整控制器
- 152：數位濾波器
- 153：動態增益及相位偏移修正器
- 154：串擾修正器

- 156：相位及大小計算器
- 158：靜態相位偏移修正器
- 160：暫存器
- 162：記憶體
- 164：距離計算器
- 166：精確度估計器
- 402：光學式鄰近偵測器
- 404：溫度感測器
- 406：供電電壓感測器
- 408：前向電壓降感測器（Vf 感測器）
- 410：數位電路及/或微控制器單元（MCU）
- 700：系統
- 704：比較器或處理器
- 706：子系統
- I：頻道
- Idem：同相解調變信號
- Q：頻道
- QDem：正交相位解調變信號
- Sw：開關
- Vcc：供電電壓

發明摘要

I674426

※ 申請案號：

※ 申請日：

※IPC 分類：

【發明名稱】(中文/英文)

用於光學式鄰近偵測器的開路修正

OPEN LOOP CORRECTION FOR OPTICAL PROXIMITY DETECTORS

【中文】

本發明提供一種光學式鄰近偵測器，其包括一驅動器、光偵測器、類比前端、感測修正因子（例如，溫度、供電電壓及/或前向電壓降）的感測器及一數位後端。該驅動器驅動該光源以發射光。該光偵測器產生一光偵測信號，其指示反射離開一物件並入射於該光偵測器上之該發射光的一部分之大小及一相位。該類比前端接收該光偵測信號並輸出經提供至該數位後端的一數位光偵測信號或數位同相信號及正交相位信號。該數位後端執行對於由該類比前端之一部分所引起的增益及/或相位的動態變化的閉路修正，使用多項式等式及感測之修正因子以執行對於溫度、供電電壓及/或前向電壓降的動態變化的開路修正，且輸出一距離值。

【英文】

An optical proximity detector includes a driver, light detector, analog front-end, sensor(s) that sense correction factor(s) (e.g., temperature, supply voltage and/or forward voltage drop), and a digital back end. The driver drives the light source to emit light. The light detector produces a light detection signal indicative of a

magnitude and a phase of a portion of the emitted light that reflects off an object and is incident on the light detector. The analog front-end receives the light detection signal and outputs a digital light detection signal, or digital in-phase and quadrature-phase signals, which are provided to the digital back-end. The digital back-end performs closed loop correction(s) for dynamic variation(s) in gain and/or phase caused by a portion of the analog front-end, uses polynomial equation(s) and sensed correction factor(s) to perform open loop correction(s) for dynamic variations in temperature, supply voltage and/or forward voltage drop, and outputs a distance value.

【代表圖】

【本案指定代表圖】：第（ 4 ）圖。

【本代表圖之符號簡單說明】：

103：不透明光障壁

104：紅外光源

105：物件/目標

106：光偵測器

107：校準參考信號產生器

108：類比前端電路/前端/類比前端

109：電壓供應器

110：驅動器

111：DC 光電流（DCPC）類比/數位轉換器（ADC）

112：數位後端電路/數位後端

120：時序產生器

122：放大器

130：增益調整電路

132：放大電路/類比放大電路

140：IQ 解調器電路/IQ 解調器

142i：混頻器

142q：混頻器

144i：類比低通濾波器

144q：類比低通濾波器

146i：類比/數位轉換器（ADC）

- 146q：類比/數位轉換器（ADC）
- 150：增益調整控制器
- 152：數位濾波器
- 153：動態增益及相位偏移修正器
- 154：串擾修正器
- 156：相位及大小計算器
- 158：靜態相位偏移修正器
- 160：暫存器
- 162：記憶體
- 164：距離計算器
- 166：精確度估計器
- 402：光學式鄰近偵測器
- 404：溫度感測器
- 406：供電電壓感測器
- 408：前向電壓降感測器（Vf 感測器）
- 410：數位電路及/或微控制器單元（MCU）
- I：頻道
- Idem：同相解調變信號
- Q：頻道
- QDem：正交相位解調變信號
- Sw：開關
- Vcc：供電電壓

【本案若有化學式時，請揭示最能顯示發明特徵的化學式】：

無

圖式

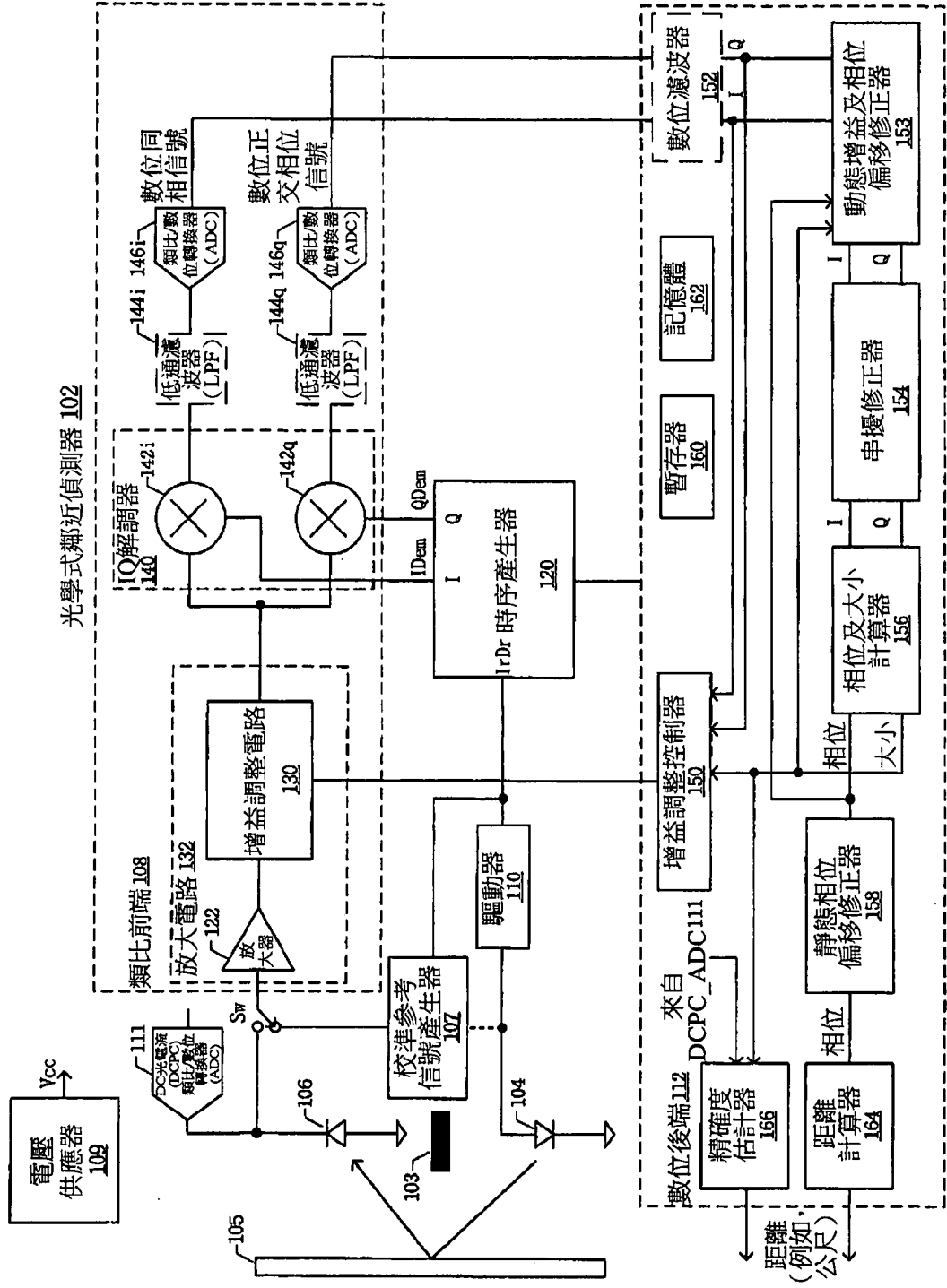


圖1

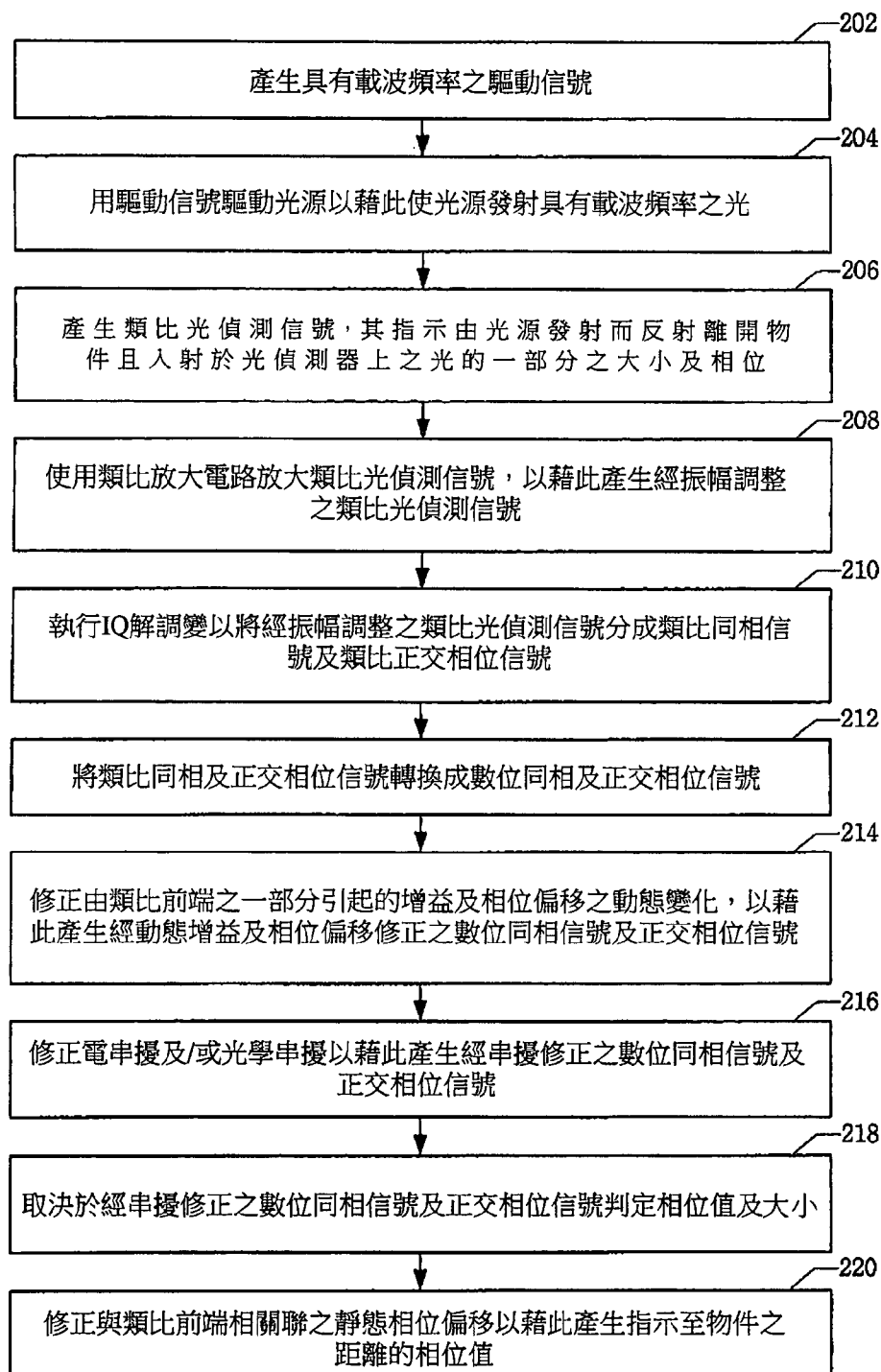


圖2A

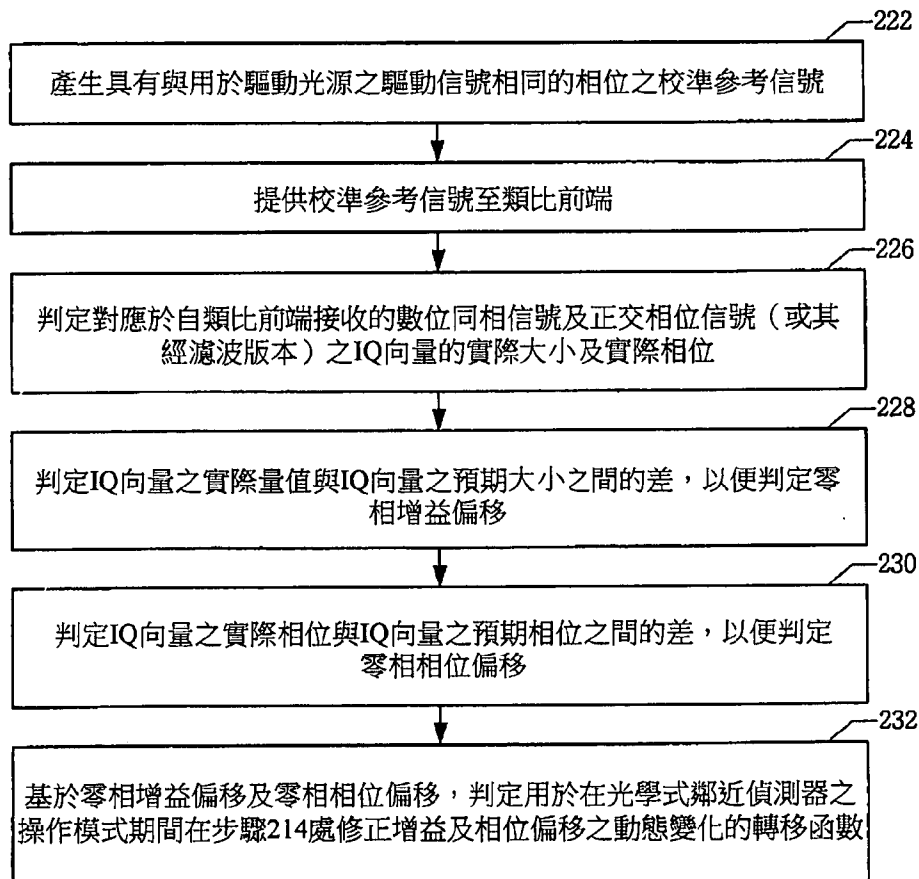


圖2B

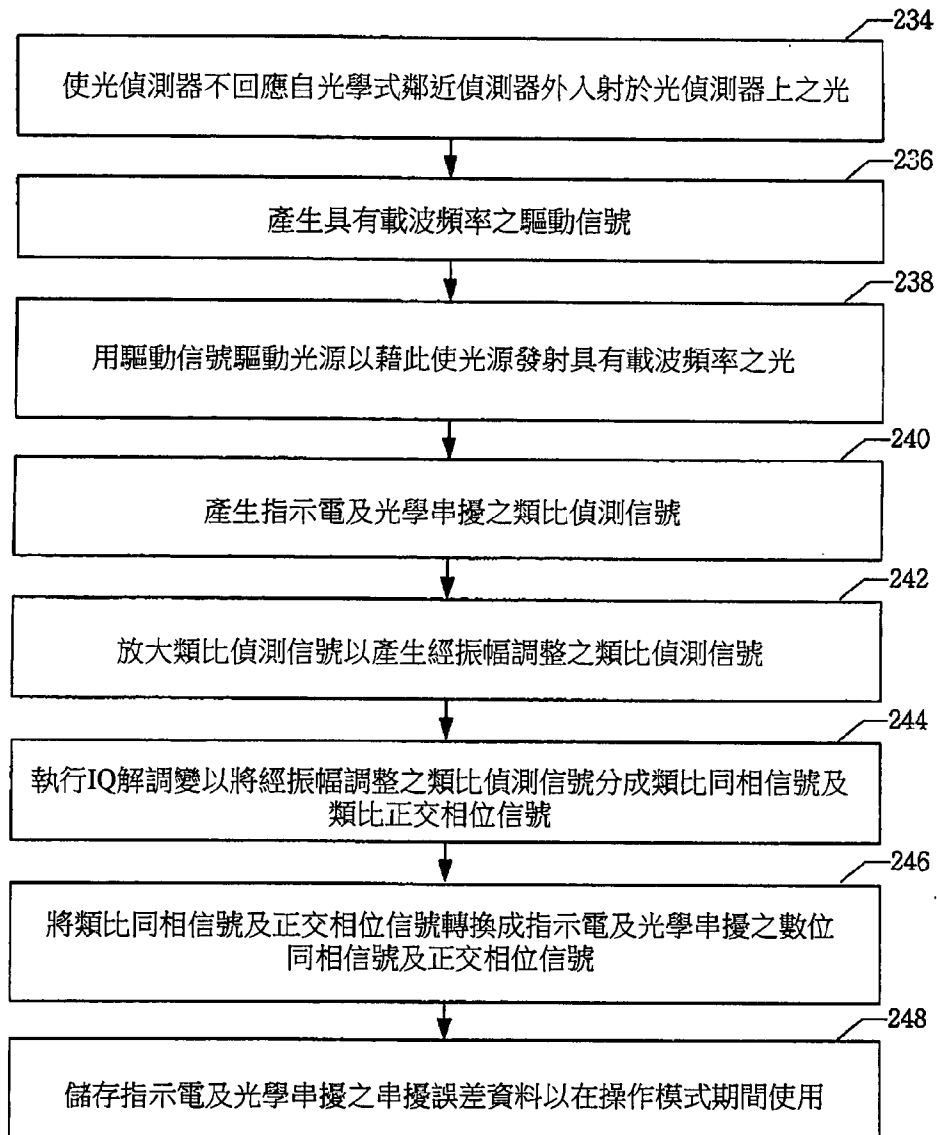


圖2C

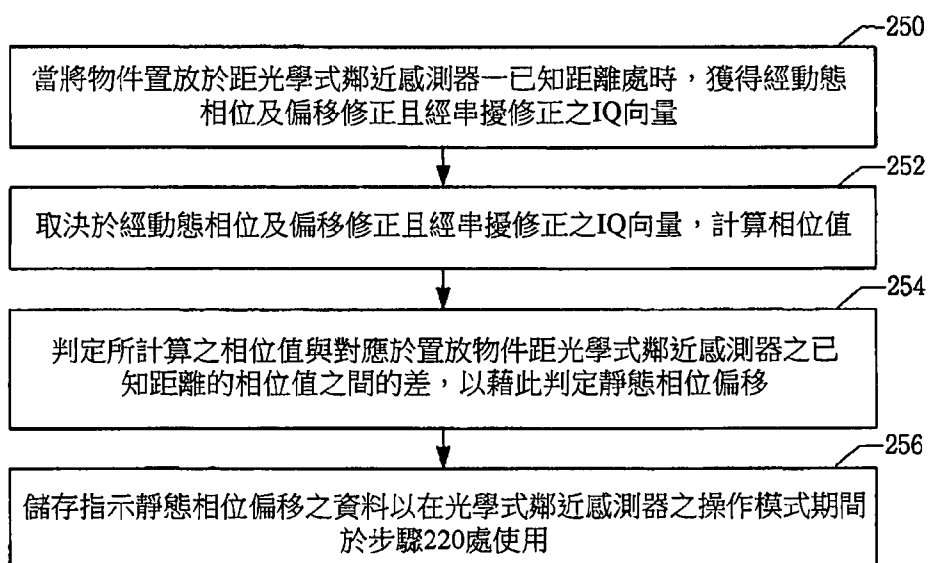


圖2D

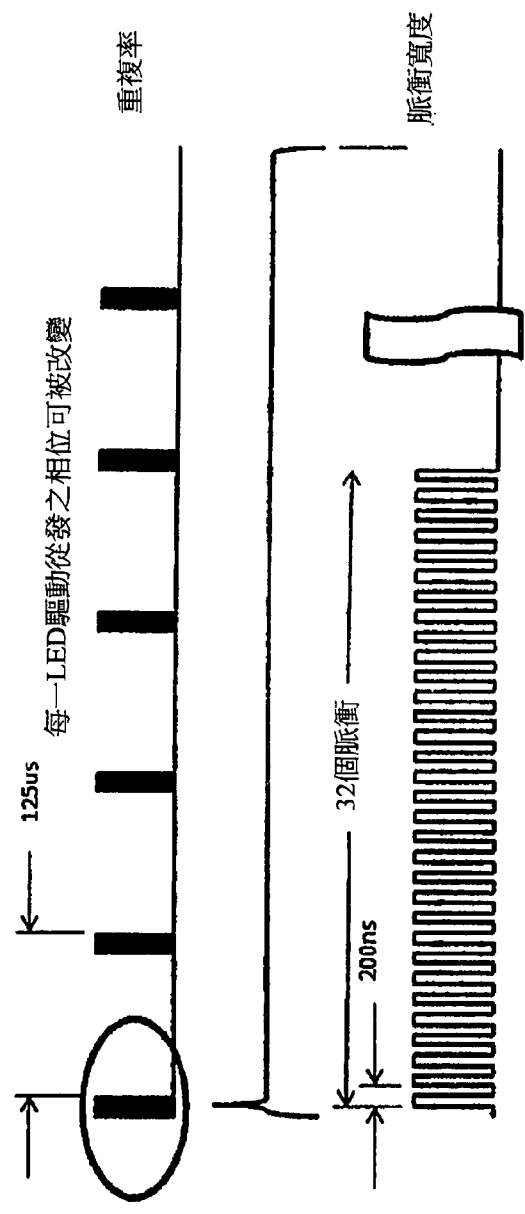


圖3



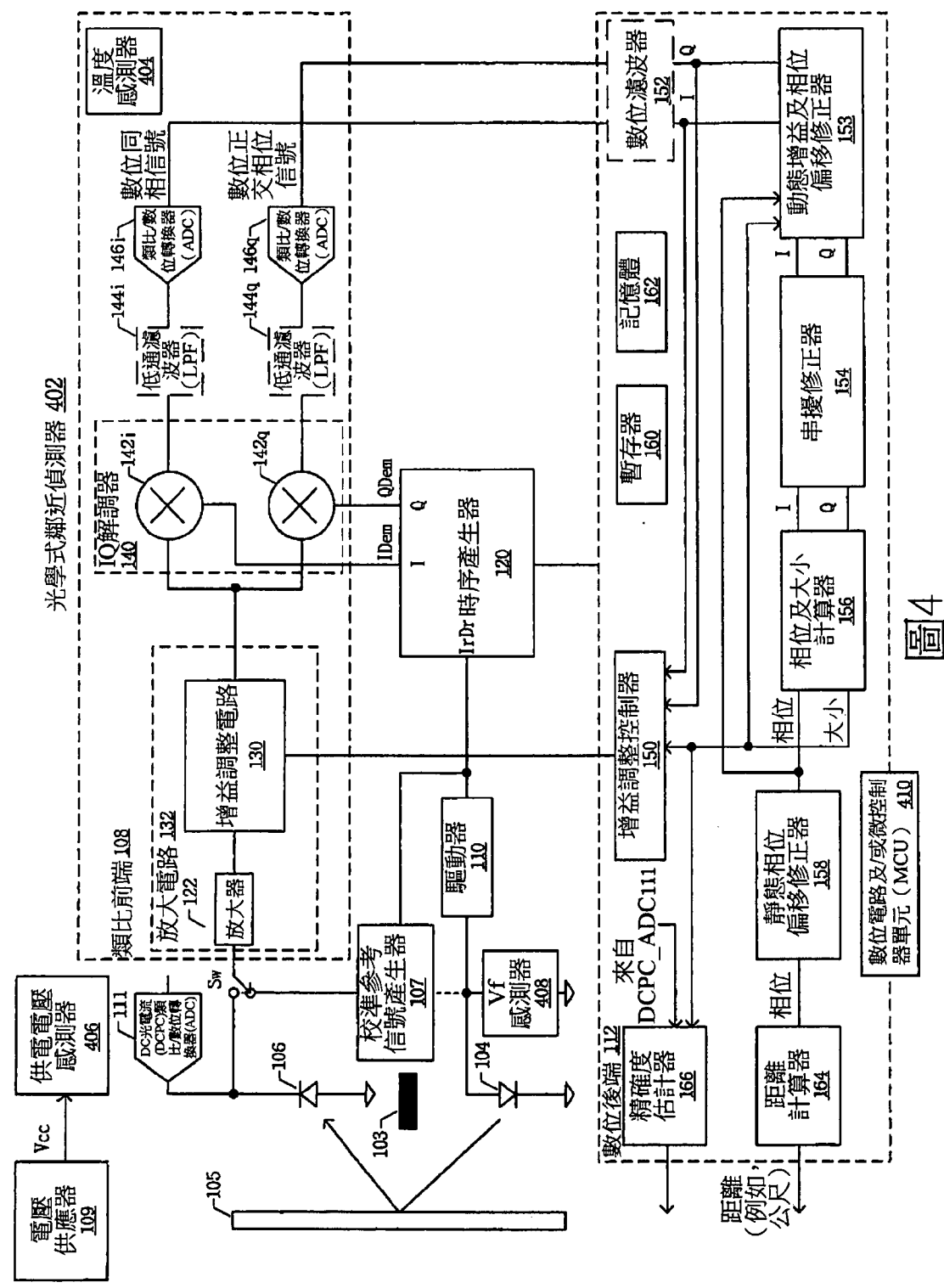


圖4

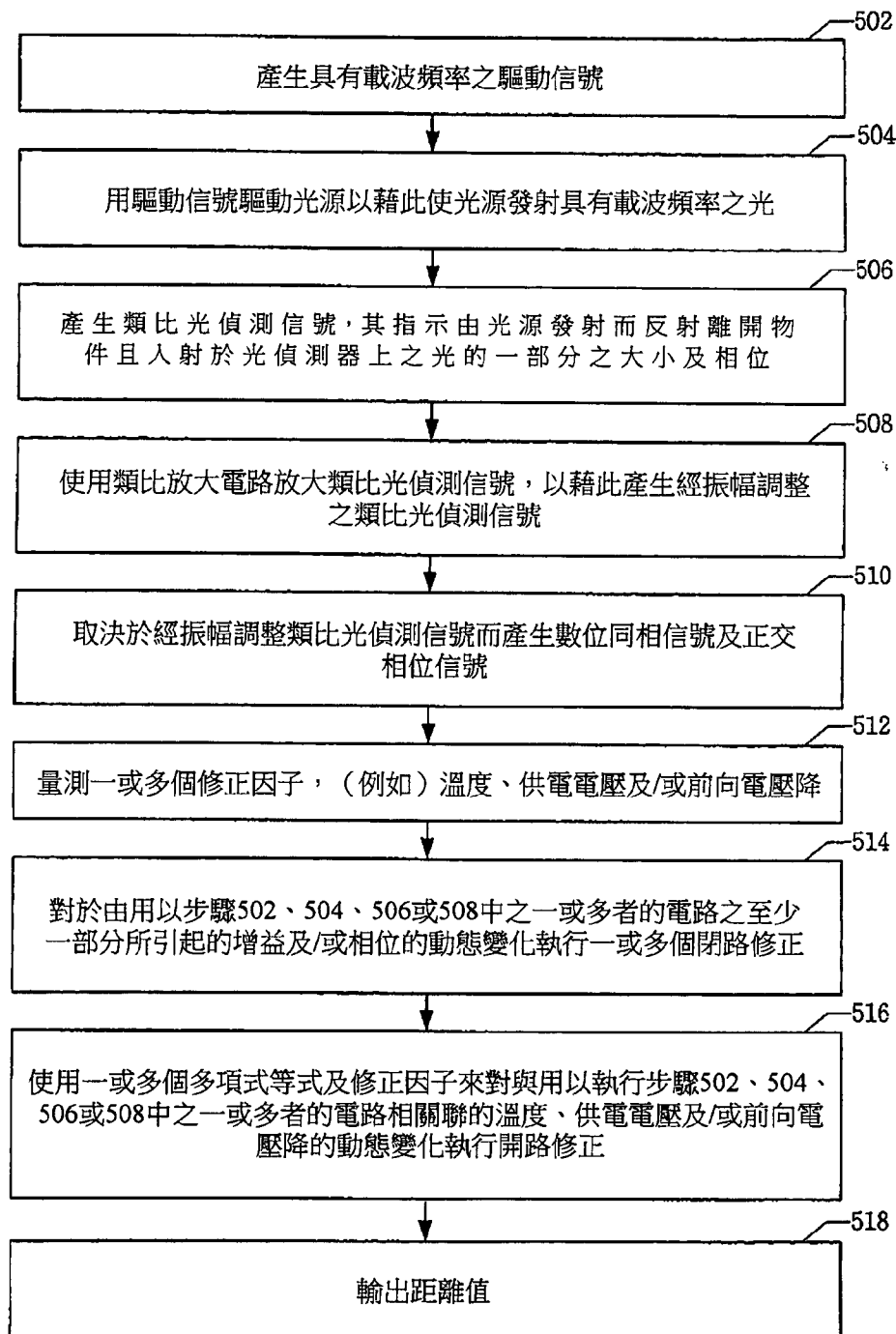


圖5

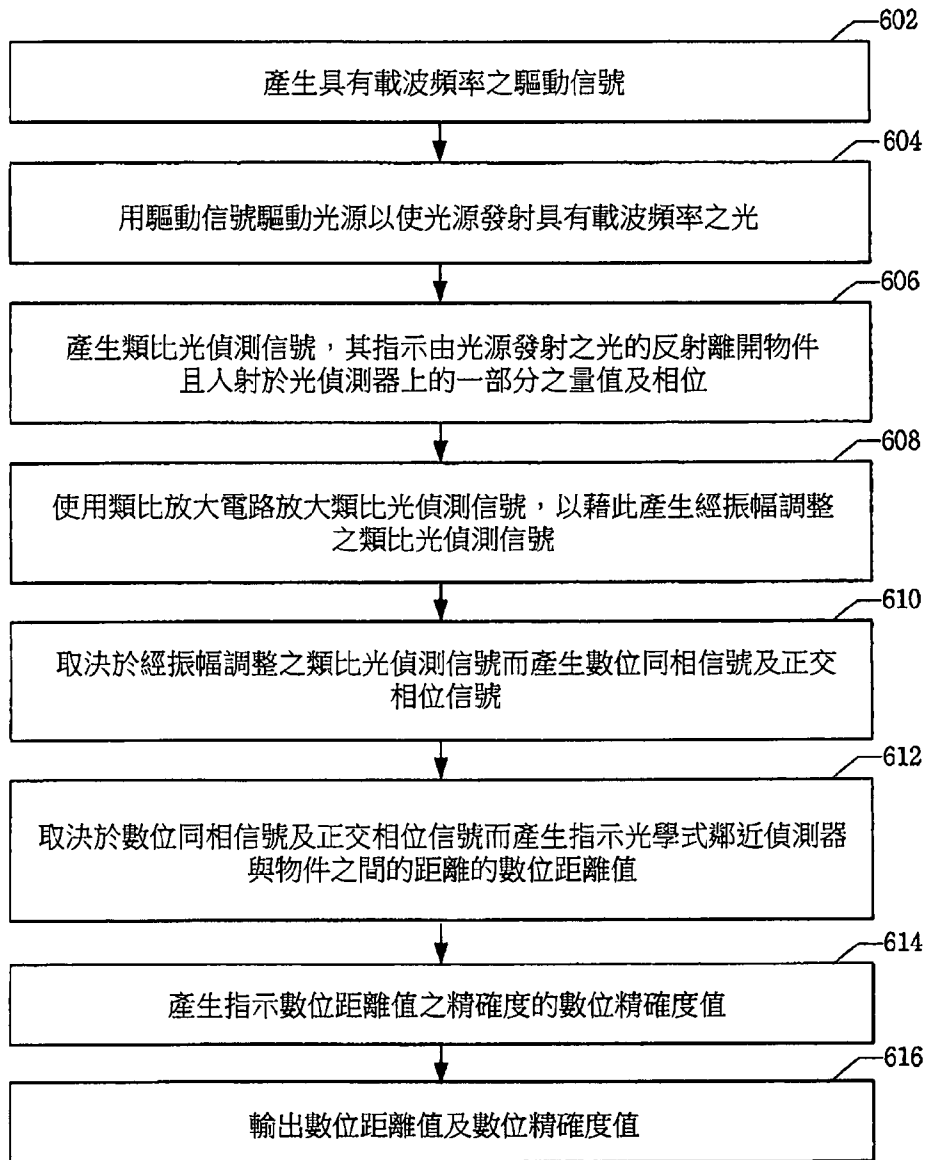


圖6

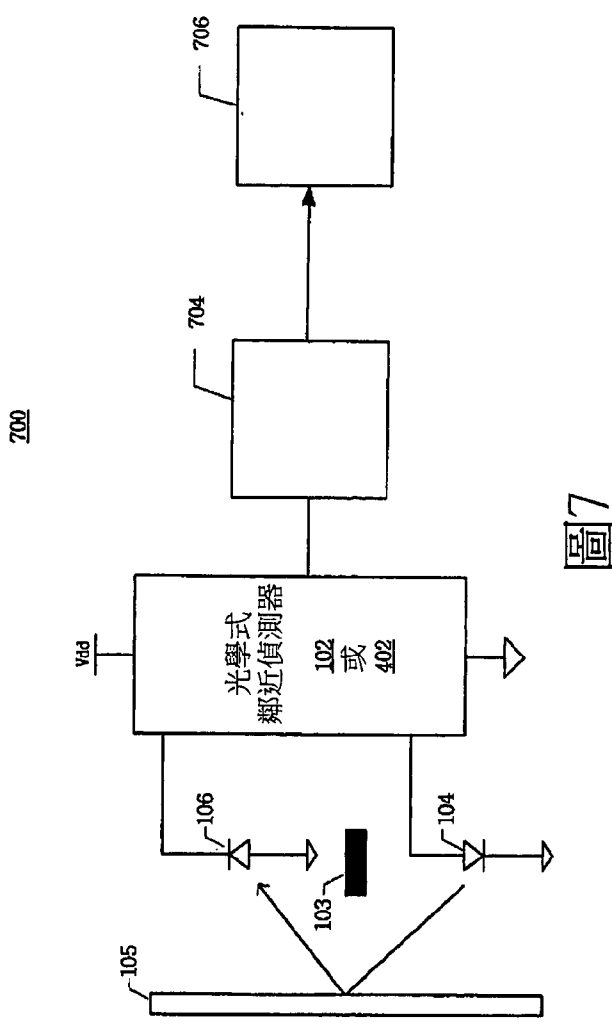


圖7



申請專利範圍

1. 一種光學式鄰近偵測器，其包含：
 - 一驅動器，其調適以產生一驅動信號，該驅動信號用於驅動一光源以藉此使該光源發射光；
 - 一光偵測器，其調適以產生一光偵測信號，該光偵測信號指示由該光源發射而反射離開一物件且入射於該光偵測器上的光的一部分之大小及相位；
 - 一類比前端，其調適以接收由該光偵測器產生的該光偵測信號並取決於該光偵測信號而輸出一數位光偵測信號，或數位同相信號及數位正交相位信號；以及
 - 一數位後端，其調適以
 - 自該類比前端接收該數位光偵測信號，或該數位同相信號及該數位正交相位信號，
 - 對由該類比前端之一部分所引起的增益或相位中之至少一者的動態變化執行一或多個閉路修正，且
 - 使用一或多個多項式等式來對溫度、供電電壓或前向電壓降中之至少一者的動態變化執行一或多個開路修正，以便藉此判定一指示在該光學式鄰近偵測器與該物件之間的距離之距離值。
2. 如申請專利範圍第 1 項之光學式鄰近偵測器，其進一步包含一溫度感測器，其調適以量測該光學式鄰近偵測器之溫度，其中該數位後端進一步調適以使用該一或多個多項式等式中之至少一者及由該溫度感測器所量測之該溫度來對該光學式鄰近偵測器之該溫度的動態變化執行

開路修正。

3. 如申請專利範圍第 1 項之光學式鄰近偵測器，其進一步包含一供電電壓感測器，其調適以量測該光學式鄰近偵測器之供電電壓，其中該數位後端進一步調適以使用該一或多個多項式等式中之至少一者及由該供電電壓感測器所量測的該供電電壓來對該光學式鄰近偵測器之該供電電壓的動態變化執行開路修正。
4. 如申請專利範圍第 1 項之光學式鄰近偵測器，其進一步包含一前向電壓降感測器，其調適以量測跨越由該光學式鄰近偵測器之該驅動器所驅動的該光源之前向電壓降，其中該數位後端進一步調適以使用該一或多個多項式等式中之至少一者及由該前向電壓降感測器所量測的該前向電壓降來對跨越由該光學式鄰近偵測器之該驅動器所驅動的該光源之該前向電壓降的動態變化執行開路修正。
5. 如申請專利範圍第 1 項之光學式鄰近偵測器，其進一步包含：
一溫度感測器，其調適以量測該光學式鄰近偵測器之溫度，
一供電電壓感測器，其調適以量測該光學式鄰近偵測器之供電電壓，以及
一前向電壓降感測器，其調適以量測跨越由該光學式鄰近偵測器之該驅動器所驅動的該光源的前向電壓降，
其中該數位後端進一步調適以使用該一或多個多項式等式中之至少一者、所量測之溫度、所量測之供電電壓及所量測之前向電壓降來對該溫度、該供電電壓及該前向電壓降的動態變化執行開路修正。
6. 如申請專利範圍第 1 項之光學式鄰近偵測器，其中：

該類比前端包括放大電路，其在該光偵測信號轉換成該數位光偵測信號或該數位同相信號及該數位正交相位信號之前使用一或多個增益值來控制由該光偵測器產生的該光偵測信號之放大；且

該數位後端係調適以使用該一或多個多項式等式中之至少一者來修正該一或多個增益值中之至少一者的動態變化。

7. 如申請專利範圍第 1 項之光學式鄰近偵測器，其中該一或多個多項式等式中之至少一者包含一二階多項式等式。
8. 如申請專利範圍第 1 項之光學式鄰近偵測器，其中該數位後端包括調適以實施該一或多個多項式等式之數位電路。
9. 如申請專利範圍第 1 項之光學式鄰近偵測器，其中該數位後端包括調適以實施該一或多個多項式等式的微控制器或微處理器。
10. 如申請專利範圍第 1 項之光學式鄰近偵測器，進一步包含由該驅動器所產生的該驅動信號所驅動的該光源。
11. 一種供一光學式鄰近偵測器使用的方法，其包含：
 - (a) 用一驅動信號驅動一光源以藉此使該光源發射光；
 - (b) 產生一類比光偵測信號，其指示由該光源發射而反射離開一物件且入射於一光偵測器上之光的一部分之大小及相位；
 - (c) 使用放大電路放大該類比光偵測信號以藉此產生一經振幅調整之類比光偵測信號；
 - (d) 取決於該經振幅調整之類比光偵測信號而產生數位同相信號及數位正交相位信號；
 - (e) 對由用以執行步驟 (a)、(b)、(c) 或 (d) 中之一或多者的電路

之至少一部分所引起的增益或相位中之至少一者的動態變化執行一或多個閉路修正；以及

(f) 使用一或多個多項式等式來對與用以執行步驟 (a)、(b)、(c) 或 (d) 中之一或多者的電路相關聯的溫度、供電電壓或前向電壓降中之至少一者的動態變化執行一或多個開路修正，以便藉此判定一指示在該光學式鄰近偵測器與該物件之間的距離之距離值。

12. 如申請專利範圍第 11 項之方法，其進一步包含：

(g) 量測該光學式鄰近偵測器的溫度，

其中步驟 (f) 進一步包含使用該一或多個多項式等式中之至少一者及所量測之溫度來對該光學式鄰近偵測器之該溫度的動態變化執行開路修正。

13. 如申請專利範圍第 11 項之方法，其進一步包含：

(g) 量測該光學式鄰近偵測器的供電電壓，

其中步驟 (f) 進一步包含使用該一或多個多項式等式中之至少一者及所量測之供電電壓來對該光學式鄰近偵測器之該供電電壓的動態變化執行開路修正。

14. 如申請專利範圍第 11 項之方法，其進一步包含：

(g) 量測跨越由該驅動信號所驅動的該光源之前向電壓降，

其中步驟 (f) 進一步包含使用該一或多個多項式等式中之至少一者及所量測之前向電壓降來對跨越該光源之該前向電壓降的動態變化執行開路修正。

15. 如申請專利範圍第 11 項之方法，其進一步包含：

- (g) 量測該光學式鄰近偵測器的溫度，
- (h) 量測該光學式鄰近偵測器的供電電壓，以及
- (i) 量測跨越由該驅動信號所驅動的該光源之前向電壓降，

其中步驟 (f) 進一步包含使用該一或多個多項式等式中之至少一者、所量測之溫度、所量測之供電電壓及所量測之前向電壓降來對該光學式鄰近偵測器的溫度的動態變化、該光學式鄰近偵測器的供電電壓的動態變化、以及跨越該光源之該前向電壓降的動態變化執行開路修正。

16. 如申請專利範圍第 11 項之方法，其中在步驟 (c) 處，一或多個增益值係用以控制該放大，且其中在步驟 (f) 處，該一或多個多項式等式中之至少一者係用以修正該一或多個增益值中之至少一者的動態變化。
17. 如申請專利範圍第 11 項之方法，其中該一或多個多項式等式中的至少一者包含一二階多項式等式。
18. 如申請專利範圍第 11 項之方法，進一步包含藉由將一物件定位於距該光學式鄰近感測器一已知距離處並故意地改變該光學式鄰近感測器之溫度及該光學式鄰近感測器之供電電壓來判定標稱條件下該一或多個多項式等式的變數之係數。