

光を利用して距離や位置を計測するセンサーは、人体検知センサーや生産ラインでの検査装置など、さまざまな場所で使用されています。光学的に距離を計測する方式として、三角測量方式、時間飛行法、もしくはドップラー干渉方式など種々の方式がありますが、ここでは、小型で安価に構成でき装置への組み込みが容易な三角測量方式の距離センサーについて、特に、建物や乗り物の自動ドアへの挟まれ防止、危険箇所への接近検知など、公共の場で用いられることの多い人体検知センサーについて、重点的に解説したいと思います。

1. 三角測量の原理

一般的な三角測量の測定原理を図1に示します。センサーは光を照射する光源と、対象物からの散乱光を結像するレンズと、結像した光を電気信号に変換する受光素子によって構成されています。

図に示したように、レンズによって受光素子上に結像される結像位置は、対象物の位置に応じて変化し、光源と受光素子の間隔を c 、結像位置を x 、対象物までの距離を L 、レンズの焦点距離を f としたとき、以下の式で表すことができます。

$$x = cf/L \quad (1)$$

したがって、結像位置 x がわかれば、対象物までの距離 L がわかります。この方式では、光源の性能劣化や対象物の反射率による受光量の変動の影響を受けずに、対象物までの距離を測定できるため、安定した距離検出が可能です。欠点としては、散乱光を結像する方式のため、鏡面のように正反射する物体や、そもそも光を反射しない透明な物体に対しては、検出が困難であることが挙げられます。想定している対象物や要求される信頼性などを考慮して、本方式の採用を決定する必要があります。

2. センサー設計のポイント

まず、検出距離と分解能の関係について説明します。スポット位置 x の微小変動分を Δx 、検出距離 L の微小変動分を ΔL とすると、式(1)を微分することで、

$$\Delta x = -cf/L^2 \cdot \Delta L \quad (2)$$

を得ます。式(2)は、検出距離 L を大きくすると

距離変動 ΔL に対するスポット位置変動 Δx が小さくなることを意味しています。つまり、スポット位置変動が小さくなると、距離検出の分解能が低下します。この問題を避ける方法として、ギャップ c や焦点距離 f を大きくすることが考えられますが、センサーサイズが大きくなります。一方、 f を小さくすると、センサーは小型化できますが、レンズ径が小さくなり受光量の低下を招きます。センサー設置スペースとして与えられた範囲内でギャップ c や焦点距離 f を決定し、検出に必要な光量を確保することが、センサー光学系の設計を行う上で重要なポイントとなります。

3. 素子の選定

まず、光源の選定について述べます。長距離測定を可能にするためには、光源からの出射光を長距離にわたって効率よく伝搬させる必要があります。そのため、インラインや計測に使用される市販の三角測量方式距離センサーでは、光源としてレーザー光源が一般的に使用されています。しかしながら、公共の場でセンサーを使用する場合、5年や10年といった長寿命が要求されます。レーザーにはサドンデスや寿命の観点から信頼性に問題があり、効率の点でレーザーより劣るものの、発光ダイオードと集光レンズの組み合わせを選択する場合が一般的です。

また、光源の波長ですが、計測として使用する場合は、どこまでの距離を計測しているのか、つまり光がどこに照射されているのか、ユーザーが目視で確認できるほうが使い勝手がよいため、一般的に赤色光が使用されます。一方で、人体検知用センサーとして使用する場合は、近赤外光を利用する場合は

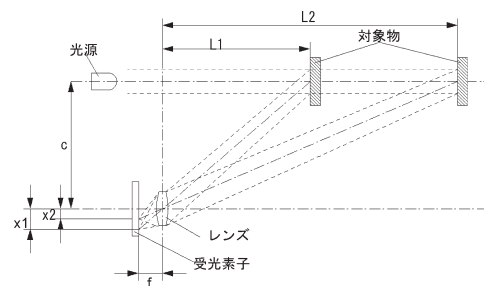


図1 三角測量の原理。

一般的です。その理由として、赤色のスポットを一般利用者上に形成することは、利用者に対する不快感を与えると考えられますし、また、普及しているSiベースの受光素子の分光感度が赤色よりも近赤外のほうが高いため、効率の点から考えても有利であることが挙げられます。

次に受光素子について述べます。受光素子では、レンズによる結像位置がどこにあるかを検出する必要がありますため、スポットの位置を検出できる素子、具体的には、画像素子や位置検出素子（PSD: position sensitive detector）が使用されます。

両者の差を図2に示します。(a)に画像素子を用いたスポット位置検出を示します。画像素子として、一次元に画素が配置された画像素子（ラインセンサー）が使用されます。この場合、素子上に結像されたプロファイルの形状が認識できるので、プロファイルのピーク位置をスポット中心として検出することが可能です。したがって、図に示したように対象物の表面形状の影響でスポット形状が変形しても、正確にピーク位置を検出することが可能です。(b)に、PSDを用いたスポット位置検出を示します。PSDは長尺のフォトダイオードのようなデバイスで、受光面の両端に電極が設けられており、各電極からは電極からスポットの距離に比例した電流が光電流として出力されます。したがって、スポット位置 x は、 k を比例定数として

$$x = k \cdot (I_1 - I_2) / (I_1 + I_2) \quad (3)$$

と求めることができます。図のようにスポット形状が変形した場合、プロファイルの重心をスポット位置として検出することになります。(b)の方式に比べ(a)の方式が検出精度に優れますが、画像素子を駆動する回路やピーク位置を検出する演算部などが必要となるため、回路が複雑で高価なシステムになります。一方、(b)の方式は、アナログの電流値を四則演算するだけでするので、安価なマイコンがあれば十分です。性能は(a)が高いですが、計測器レベルの精度が必要でなく低コストが求められるセンサーでは(b)の方式も十分実用可能です。

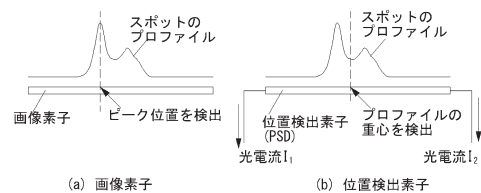


図2 スポット位置の検出。

4. 外光対策

建物や乗り物の自動ドアや危険箇所への接近検知など、公共の場所で距離センサーを使用する場合、施設の照明や太陽光など外光に対する対策が必要になります。上述したように、光源の波長として近赤外を選択することが一般的ですので、フィルターにより波長選択することで、ノイズ（外光）に対する信号レベルを稼ぐことが可能です。

また、投受光の同期検出も信号レベルの向上に有効です。光源を一定周期でパルス点灯させ、発光タイミングと同期した受光信号のみを取り出すことで、太陽光などの直流成分や、商用周波数で明滅する蛍光灯などのノイズ成分を除去することが可能です。さらに、半導体レーザーや、LEDはパルス点灯することで、直流駆動した場合に比べ大きい瞬間電流値で駆動することが可能ですので、ピークパワーとして直流駆動時に比べ高い信号光量を得ることができます。

三角測量による距離検出はいわゆる“枯れた”技術ですが、機器組み込み用として実用に耐えるものに仕上げるためには、使用環境に合わせたさまざまな工夫が必要です。最近では、商業ビル、マンションや電車など公共の場での安全性への関心が高まってきており、人体検知センサーの需要が増加し、その使用環境も多岐にわたるようになるでしょう。多様化するニーズに適応するためには、今後もここで述べたような技術の積み重ねが重要になってくると考えます。

この記事に関するご意見、お問い合わせは、Shiratsuki.Akihide@eb.MitsubishiElectric.co.jpまでお寄せください。

(三菱電機(株) 白附晶英)