

測域センサによる窓ガラスの開閉と施錠の確認

○谷垣 絢太 (筑波大学), 大矢 晃久 (筑波大学)

Inspection of opening, shutting, and locking of the window by using LRS

○Kenta TANIGAKI (Univ. of Tsukuba), and Akihisa OHYA (Univ. of Tsukuba)

Abstract: This paper describes how to inspect the opening, shutting, and the locking of the window by using single fixed LRS (Laser Range Sensor) implemented on the robot. For inspection of the opening and shutting, we use scanned sensor data of the window frame. We make histogram of the distance of the reflected data and find the peak. We then determine whether the window is opened or closed by checking where the peak of the histogram exists. For inspection of the locking, we extracted the data of knob from accumulated scanned data. Then calculate the height of its center position to check the key is locked or not.

1. 緒言

凶悪な事件が後を絶たない昨今、人々の警備に対する関心・需要は年々高まっている[1][2]。より効率的な警備を実現するにあたって、解決すべき問題が二つある。一つは、警備業務は危険と隣り合わせであるため、警備員の命が危険に晒されるという点で、もう一つは、夜間の巡回警備等のルーチンワークを人間が行うと負担が大きいという点である。これらの問題を解決する方法として、人間の代わりに警備業務を行うロボットの開発が考えられる。もし建物内部に常駐し自律的に警備業務を行うロボット(以降、警備ロボットと表記)が実現可能ならば、上記の問題を解決でき、さらに不法侵入、強盗、傷害といった犯罪に対する抑止力としての効果も期待できる。このように警備ロボットの開発・導入は有用性が高いと考えられるが、まだ実現できていない警備タスクは多い。本研究では、重要な警備業務の一つであるがまだ実現できていない施設内の窓の開閉と施錠の確認をロボットに行わせるための手法について述べる。本稿では、北陽電機社製レーザ走査型測域センサ URG-04LX (Classic-URG) により得られた反射点のデータから窓の開閉と施錠を判断する方法に焦点をあてて述べる。なお、レーザ走査型測域センサとは、走査平面上にレーザを放射状に投射し、反射点までの距離を測定するセンサである[3]。

2. 関連研究

リボグ Q は、人々の生活空間の中で業務を行うサービスロボットである[4]。このロボットは、火災・漏水を発見し館内防災センターに通報し、侵入者を発見した際は光や音声により威嚇することが可能である。

筆者らは、重要な警備業務の一つである「防火扉の開閉を妨げる物体を確認する業務」をロボットに代替させる研究も行ってきた[5]。ロボットに固定した一つ

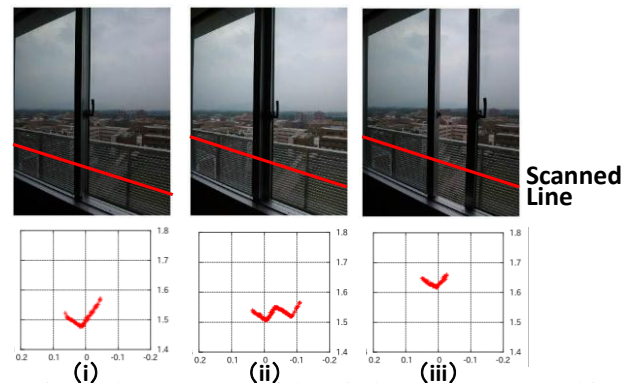


Fig. 1 Three patterns of the window appearance and its URG data

の測域センサのみを使い施設内を障害物回避しながら巡回し、防火扉の開閉を妨げる物体が存在するか確認するものである。これにより、警備員の負担の軽減が期待される。

これらの研究では、人間の代わりにロボットが様々な警備タスクを行っているが、まだ実現できていない警備タスクも多い。その中の一つに、窓ガラスの開閉と施錠の確認がある。本研究では窓の開閉と施錠を、測域センサを用いて確認する手法について述べる。なお本稿では、筑波大学総合研究棟 B の部屋内の窓を対象に実験を行い、その結果について述べる。

3. アルゴリズム

3.1 反射点のデータの取得方法

反射点のデータの取得には、Classic-URG を上向きに俯角を持たせて固定したロボットを使用する。このロボットを窓に向かって 0.01m/s の速度で窓から 1.5m 離れた位置から反射点のデータを取得(蓄積)させながら直進させ、窓から 0.5m の位置でロボットを停止させる (Fig.2)。上記の方法で反射点のデータを蓄積することで、窓の 3次元の反射点データを得ることができる。この反射点データを使い窓の開閉と施錠の判断を行う。

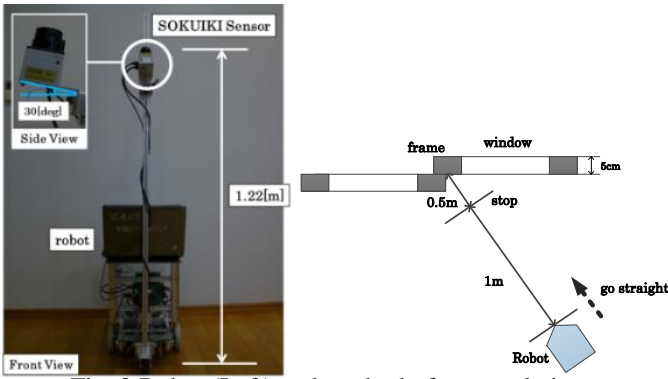


Fig. 2 Robot (Left) and method of accumulating URG data (right)

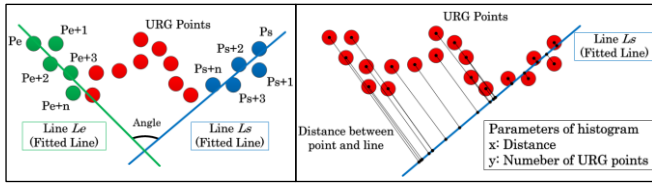


Fig. 3 Evaluation criteria of which the URG data indicates window frame or not (left) and the parameters of the histogram (right)

3.2 窓ガラスの開閉の判断方法

Fig.1 に(i)窓が閉まっているとき, (ii)手前側の窓のフレームと奥側の窓のフレームがずれているとき, (iii)窓が開いているときの反射点のデータと, その時 Classic-URG によって得られた反射点群を示す. Fig.1 に示すように, (i), (ii), (iii)のいずれのデータも, 反射点が窓のフレームの形状上に散らばっており, 各々特徴があることが分かる. そのため, 窓ガラスの開閉の判断は窓のフレーム上に散らばる反射点のデータを調べることで行うこととした. 窓のフレームの形状から窓の開閉を判断する方法は以下の通りである. なお, 取得した反射点のデータは, 全て 2 次元平面上に落とすとして処理をしている.

1. ロボットを停止させたときに取得した 3 スキャン分の反射点のデータを取り出す.
2. 1.で取り出した 3 スキャン分のデータに対してクラスタリング (最短距離法: 閾値 3cm) する.
3. 各クラス $C_i [P_s, \dots, P_n, \dots, P_e]$ に対して, 最小二乗法を用いてそのクラスターの右端の点 P_s から始まる反射点 n 個を用いて直線 L_s を求める. また, 左端の点 P_e から始まる反射点 n 個を用いて直線 L_e を求める (Fig.3 左図). なお, 今回は $n=10$ 個の反射点を使用し近似直線を求めた.
4. 直線 L_s と直線 L_e のなす角度を求めて垂直に近い角度 ($80\text{deg} < \text{Angle} < 100\text{deg}$) だったらこのクラスターは窓のフレーム部分を測距して得られた反射点であると判断する (Fig.3 左図).

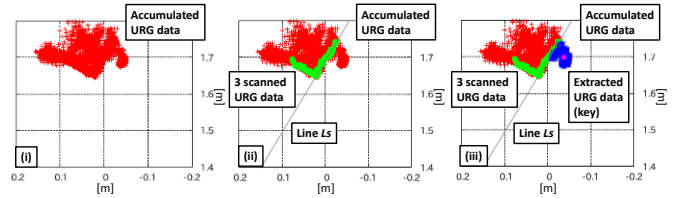


Fig. 4 Extraction of key data from accumulated URG data (Top View)

5. 4.で窓のフレーム部分を測距して得られた反射点のデータであると判断された全てのデータと直線 L_s との距離を求める (Fig.3 右図).
6. ヒストグラムを作る. なお, ヒストグラムの x 軸は 5.で得られた距離値, y 軸は反射点の数とする. なお, このときヒストグラムの x 軸の値の範囲は $0.3n - 0.15 [\text{cm}] < \text{Dis} < 0.3n + 0.15 [\text{cm}]$ とする.
7. 6.で作成したヒストグラムのうち最大値を探す.

3.3 鍵の施錠の判断方法

鍵の施錠の確認は, 窓が閉まっていると判断されたときのみ行う. 鍵の施錠は, 蓄積した反射点のデータのうち鍵を測距したときに得られた反射点のデータを抽出し, その重心位置の高さを調べることで判断する. 窓ガラスの開閉の判断方法の 1 から 4 までの処理を行い, 取得した窓のフレーム部分を測距して得られた全ての反射点のデータを使用する. なお, 窓ガラスの開閉の判断方法とは違い, 取得した反射点のデータは, 2 次元平面上に落とさずそのまま使用している.

具体的な方法は以下の通りである.

1. 窓のフレーム部分を測距して得られた反射点のデータであると判断された全てのデータに対して, 直線 L_s を境界線とし, 蓄積した全ての反射点を分ける (Fig.4 中央図).
2. 直線 L_s に対してロボットから見て右側にある反射点を, 鍵を測距して得られた反射点群のデータであると判断する (Fig.4 右図).
3. 7.で鍵を測距したときに得られた反射点と判断された全ての反射点に対してその重心位置を求める. この重心位置が, 鍵が固定されている位置より下にあった場合は施錠, 上にあった場合は開錠であると判断する.

4. 実験

提案した手法 (窓の開閉の判断方法: 2.1 節, 鍵の施錠の判断方法: 2.2 節) が有効であるか確かめるため実験を行った. 実験には独立二輪駆動の車輪型移動ロボットを使用する (Fig.2 左図). Classic-URG は, 地面から 1.22[m] の位置に地面に対して 30deg 上向きに俯角を

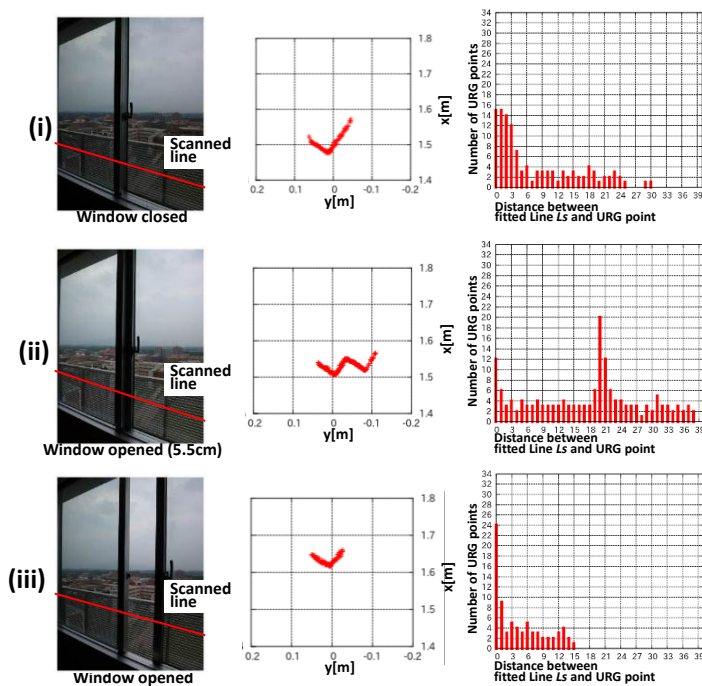


Fig. 5 Three patterns of 3 scanned URG data of the window frame (left) and histogram of the distance and the number of the URG data (right).

持たせ固定している。このロボットを用いて、提案した手法でデータを取得し、各処理を行った。

4.1 窓ガラスの開閉の確認実験

4.1.1 窓の開閉実験

この実験では、Fig.5 に示した、(i) 窓が開いているとき、(ii) 窓が 5.5cm 開いているとき(手前側の窓のフレームと奥側の窓のフレームがずれているとき)、(iii) 窓が閉まっているとき、の3パターンにおいて、3.2節で説明した方法が有効に働くかを確認した。Fig.5 に窓のフレーム付近で取得された反射点のデータとそのヒストグラムを示す。Fig.5 に示すように(i)、(iii)のヒストグラムのピーク値が距離値 $x=0$ の位置にでてきているのに対して、(ii)のピーク値は距離値 $x=20$ の位置にある。これは、(ii)は手前側の窓のフレームと奥側の窓のフレームがずれているため、直線 L_s から 5.5cm 離れた位置に、直線 L_s と平行に反射点がいくつも散らばっているデータが取れたため、ヒストグラムの距離値 $x=20$ の位置にピーク値が現れたと思われる。続いて(i)と(iii)の違いについて考察した。(iii)では手前側の窓のフレームしか反射点のデータは得られないので、直線 L_s 上に散らばっている反射点のデータは少ない。一方、(i)では、手前側と奥側の窓のフレームがちょうど重なっているため、(iii)と比べて直線 L_s 上に散らばっている反射点の数

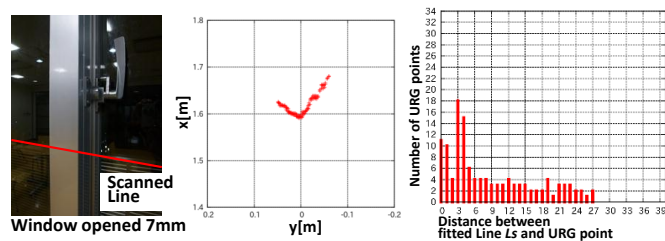


Fig.6 Experimental result of window opened 7mm

は多い。このことを考慮して(i)と(iii)の直線 L_s から 1cm までの間に存在するデータの個数を調べた。その結果、(i)窓が閉まっている場合では 56 個、(iii)窓が開いている場合では 41 個のデータが存在し、データ数の差が 15 個と多くみられた。このことから、直線 L_s から 1cm までの間に存在する反射点の個数を調べることで、窓が開いているときと窓が閉まっているときの違いを判別することが可能であると考えられる。

4.1.2 窓の開閉精度の確認実験

窓の開閉を判断するシステムを作る際に重要になってくるのは、窓がわずかに開いていてもそれを検出することが可能なシステムを作ることである。本稿で実験対象としている窓を調べたところ、窓が 7mm より閉まっていれば、鍵を閉めることが可能であった。そのため、窓が 7mm 開いているときに提案した手法を用いて窓の開閉を判断できるかどうか確かめた。

実験結果を Fig.6 に示す。Fig.6 のヒストグラムを確認すると、距離値 $x=3$ の位置(直線 L_s から 9mm 付近の距離)にピーク値があることが分かる。Classic-URG の測距精度が距離の $\pm 1\%$ であり、このデータが窓から 50cm 離れた位置で測距されたものであると考えると、この実験結果は 7mm の窓の開きを確認できていると考えられる[3]。

4.2 鍵の施錠の確認実験

この実験では、提案した手法で鍵の開錠と施錠を蓄積した反射点のデータから判断可能か調べた。実験は、(1)鍵が閉まっている状態(0deg)、(2)鍵のバーが地面に対して 45deg 下向きの場合(45deg)、(3)鍵のバーが地面に対して水平の場合(90deg)、(4)鍵のバーが地面に対して 45deg 上向きの場合(135deg)、(5)鍵が開いている場合(180deg)、の5パターンに対して、蓄積した反射点のデータから鍵のデータを抽出しその重心位置の高さを求めることを行った。なお、本稿で対象とした窓では、(1) 0deg、(2)45deg、(3)90deg、の3パターンは鍵が施錠している状態であり、それ以外の2パターンは鍵が開錠している状態である。そのため、(3)90deg と(4)135deg の鍵の重心位置の高さの間に閾値を置けば鍵の開錠と施錠の判断が可能であると考えられる。

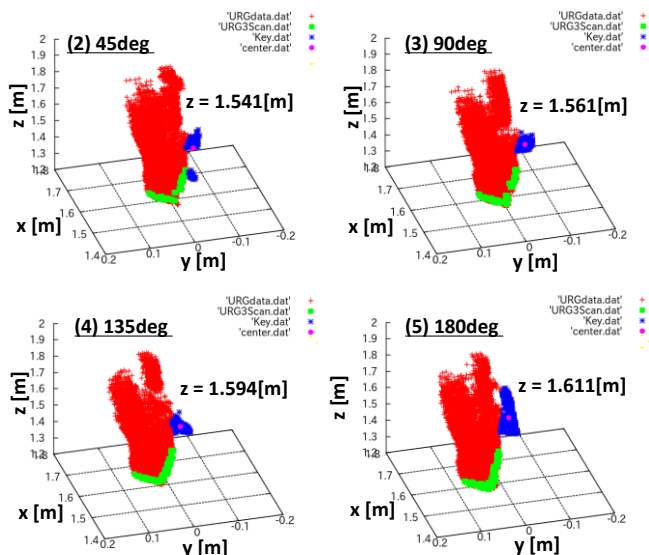
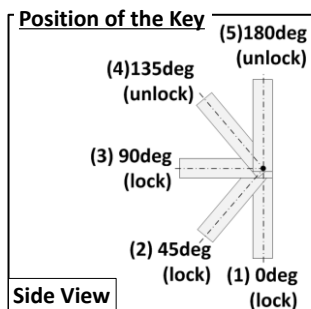


Fig.7 Experimental result of window locking inspection from extracted key data in each key position. (red: accumulated URG data, green: 3 scanned URG data, blue: extracted key data, pink: center of the key data)

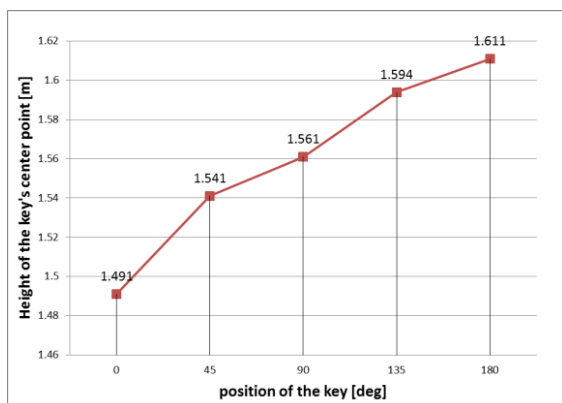


Fig.8 Experimental result of window locking inspection

Fig.7, Fig.8 に実験結果を示す. Fig.7 では反射点のデータを色分けしているが、各色はそれぞれ以下のことを指している.

- 赤：窓のフレームを測距して得られた反射点のデータ
- 緑：3 スキャン分の反射点のデータ
- 青：抽出した鍵の反射点のデータ
- ピンク：鍵の重心位置

Fig.7 より、全ての鍵の姿勢に対して蓄積した反射点データから鍵を抽出できておりその重心位置が求めら

れていることが分かる. (2)45deg のときの鍵の反射点データは一部測距できていないと思われる部分が存在するが、鍵のバーの先端部分と終端部分が測距できているので、重心位置を求めてその重心位置の高さから鍵の開錠・施錠を判断する本手法ではあまり影響しないと考えられる. また、Fig.8 より各鍵の姿勢が(1)0deg から(5)180deg になるにつれて、鍵の重心位置の高さは比例して高くなっている. このことから、鍵の重心位置の高さを正しく検出できていることが分かる. 実験結果から、(3)90deg と(4)135deg の鍵の重心位置の高さの間に閾値を置くことで鍵の開錠と施錠の判断が可能であると考えられる.

5. 結言

本稿では、窓の開閉と施錠の確認を蓄積した Classic-URG の反射点データから判断する方法について提案した. 実験の結果、本手法の有効性を確認することができた. 今後は、反射点のデータの蓄積の方法も含めてロボットに本システムを搭載し、実験を行いたい. また、今回筑波大学総合研究棟 B の部屋内の窓を対象に実験を行ったので、他の窓に対しても実験を行い、本手法の有効性を検証していきたい.

参考文献

- [1] 総務省統計局, “平成 16 年サービス業基本調査統計表”, 2005.
- [2] 松日楽信人, 小池秀樹, “先端技術をリードするホームロボットの開発動向”, 東芝レビュー, Vol.59 No.9, pp2-8, 2004.
- [3] 北陽電機株式会社
<http://www.hokuyo-aut.co.jp/>
- [4] 総合警備保障株式会社, “巡回警備ロボット Reborg-Q”,2010,7/6,
http://www.alsok.co.jp/corporate/robot/reborg_q.html
- [5] 谷垣絢太,大矢晃久,“移動ロボットによる施設内の巡回警備 -単一固定測域センサによる走行中の障害物検知と防火扉の開閉領域検査-”, 日本機械学会 2011 年度年次大会, 2011, S151021