

30 磁気抵抗素子とインダクタによるハイブリッド触覚センサ

中本裕之, 松本哲也, 北川洋一

1 目 的

これまで産業用ロボットは主に決められた動作パターンを繰り返すティーチングプレイバック方式で運用されてきたが、現在では多品種少量生産やこれまで対象としていなかった加工食品、野菜、果実などへの適用求められている。これらを可能とするためには、自由度の高いロボットハンドと把持状態を認識する触覚センサの実用化が挙げられ、当センターでも 5 本指のロボットハンドや分布型触覚センサの研究開発を行ってきた。特に触覚センサに関しては、コスト面での制約が強く、一般に用いられるグリッパ（開閉型 2 指ハンド）に適用するためには安価という条件が重要であり、センサの基板や信号処理にコストを要する分布型触覚センサでは難しい。そこで、本研究では分布型ではなく単一型で、磁界の変化に基づいて接触時の変位や接触面に加わる応力を出力する触覚センサ（以下、磁気式触覚センサとする）の提案を行う。このセンサは安価に構成でき構造も単純でありながら、接触力やすべりの有無を取得できる。本論文では、磁気式触覚センサが接触時の力の大きさと方向に加えて、すべり発生時のスリップスティックの検出も可能なことを実験により検証する。

2 構 造

磁気式触覚センサの検出素子として巨大磁気抵抗効果（Giant Magneto Resistive effect）を応用した GMR センサと、インダクタを用いる。GMR センサは磁界強度によって電気抵抗値が変化することから、その電気抵抗値を計測することで磁界強度を求めることができる。インダクタはコイルの原理から磁界強度の変化を受けて誘導起電力を発生する。したがって、GMR センサは静的な磁界強度を、インダクタは動的な磁界強度を検出できる。これら素子に磁界を与える永久磁石としてはネオジム磁石を用いる。開発した触覚センサの構造を図 1 に示す。磁気式触覚センサには対象との滑らかな接触のためにウレタンゲルによる柔軟層を設けた。柔軟層は磁石を内包しており、対象物と接触して柔軟層が変形すると同時に磁石も変位する。この変位を柔軟層の下に配置した基板層上の 4 つの GMR センサの出力から求める。さらには、柔軟層が弾性体であるとみなし、その変位から柔軟層に作用する接触力を算出する。また、すべりに伴うスティックスリップ現象の検出として同じ基板層上に配置したインダクタの出力を用いる。

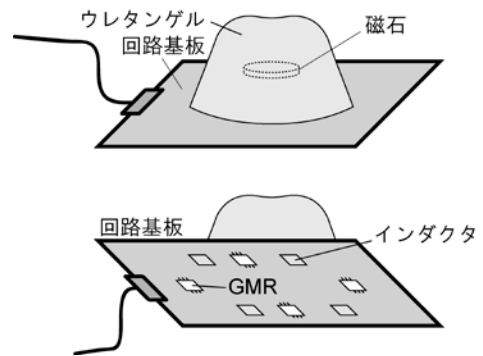


図 1 センサの構造

試作したセンサを図 2 に示す。柔軟層の形状は平成 19 年度産学官ビジネスインキュベーション事業で設計したものをを用いており¹⁾、磁界強度に対する GMR センサの出力特性から磁石と GMR センサ間の距離を決定した。GMR センサの出力は差動増幅回路で約 100 倍に増幅した。インダクタについては後段の増幅回路の設計を容易とするためインダクタンスの高いものを選定し、増幅には 2 段の反転増幅回路を用いて約 10000 倍の増幅を行った。各増幅した電圧は PC に装着した AD 変換ボードで計測する。

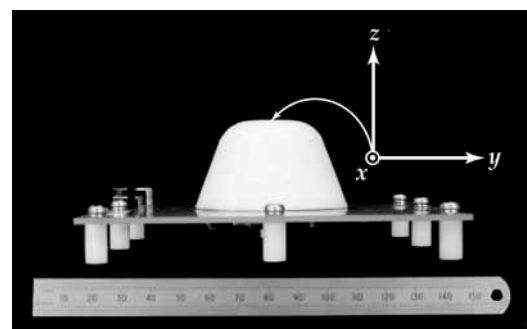


図 2 試作したセンサ

3 実 験

3.1 変位と接触力

試作したセンサに変位、接触力を与える実験を行った。事前にキャリブレーション用のデータとして変位、接触力と GMR センサ出力の関係を計測した。図 2 に示すように柔軟層の上面中央を原点として、z 軸方向に -2mm と -4mm、xy 軸方向にそれぞれ ± 2 mm だけ変位（接触力）を与えてその時の GMR センサの出力を計測し、事

前に計測した変位と GMR センサの出力のキャリブレーション値から変位を算出した。接触力については変位と力覚センサの出力のキャリブレーション値から算出した。

与えた変位と算出した変位を図3に示す。垂直方向の変位すなわち z 軸方向の変位が異なっても、x、y 軸方向の変位の算出には大きな差は出ていない。誤差は 5% 程度であり、変位センサとして精度の高い出力が得られている。次に、力覚センサで計測した接触力と触覚センサで算出した接触力を図4に示す。接触力の算出については図3で示した変位を用いているため、変位の誤差の影響を受けたものとなっている。接触力の誤差は 10% 程度であった。厳密な接触力を必要とする用途には向かないが、接触力の大まかな方向や大きさを得るには十分と考えられる。さらには、この接触力の算出には変位を用いるのではなく、GMR センサの出力から直接算出する方法を検討することで、誤差を小さくできる可能性がある。それについては、今後の課題としたい。

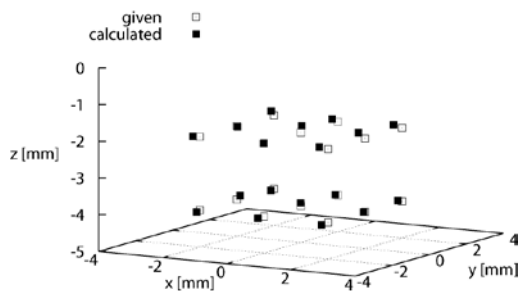


図3 与えた変位と算出した変位

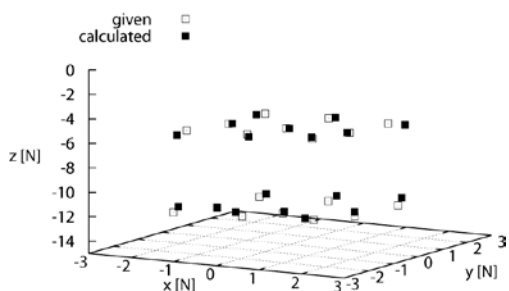


図4 与えた力と算出した力

3.2 すべり検出

試作したセンサですべり検出の実験を行った。サンプリングレートは 100Hz とした。摩擦係数が 0 でない接触の場合、すべりを生じると固着とすべりを繰り返すスティックスリップ現象が起こる。予備実験ではスティックスリップ現象の発生時にインダクタの出力が大きく変化したことから、本研究ではこの出力変化を 6 管理で行う。6 管理は、現在の出力値から決められた数だけ時間的にさかのぼったデータの平均値と標準偏差を求め、その平均値の ± 3 内に現在値が収まっているかを判定する。収まっていなければデータに変化があったことを

意味し、本研究ではその場合をすべりと判定した。ただし、インダクタは 4 個配置しているので 4 出力すべてがすべりと判定した場合のみすべりと判定する。

アクリルの棒材を用いてセンサに対して 2N の垂直力で押下した後、センサに対して水平に棒材を 3 回すべらせた際のインダクタの出力と 6 管理によるすべり判定出力を図5に示す。横軸は 10ms 刻みのタイムステップで 10 秒間、左の縦軸はインダクタの出力電圧、右の縦軸はすべり判定出力を示す。インダクタの出力によると、4 つすべての出力が大きく変動したタイミングが 3 回だけあり、これがすべりの発生した時間であることがわかる。判定結果をみるとその 3 回のすべり判定ができています。各インダクタの 6 管理の判定結果をみると、そのすべりを発生させた 3 回のタイミング以外の時間で判定ありの出力となる場合が各インダクタの出力で 1、2 回程度あるが、他のインダクタの判定がそろわず全体としてすべり判定となっていない場合があった。これは接触面積全体でスティックスリップ現象ではなく、接触面の一部ですべりが発生する局所すべりと呼ばれる現象を捉えられていると考えられるが、提案する方法では実際にすべりの発生したスティックスリップ現象だけを検出できたことがわかる。さらに追加で計 20 回の実験を行ったところ 18 回のすべり判定ができ、90% の検出率となった。6 管理のデータ数や接触力の大きさなど調整すべきパラメータは残されているものの、すべりが安定して検出できることが分かった。

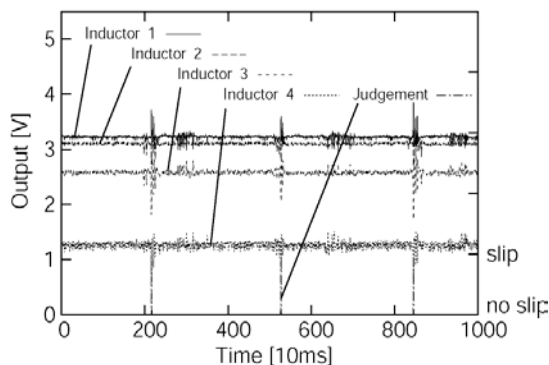


図5 すべり検出結果

4 結論

本研究では接触に伴う磁界強度の変化を検出原理とする触覚センサの提案を行った。今後は産業用ロボットに限らず、食品等の異分野での適用の可能性を検証していく予定である。

参考文献

- 1) 中本, 武縄, 北川, 兵庫県立工業技術センター研究報告書, 第 17 号, pp.39-40(2008).
(文責 中本裕之) (校閲 北川洋一)