

タクタイルセンサを用いた2指ハンドによる把持制御

柴田 瑞穂 前橋 みらい 平井 慎一 立命館大学ロボティクス学科

Mizuho SHIBATA, Mirai MAEBASHI, Shinichi HIRAI Ritsumeikan Univ.

Grasping Control of Two-Fingered Hand with Tactile Sensor

Abstract: This paper describes a real-time feedback system with tactile information grasping between fingertips and object. We construct a feedback system with tactile sensor and control force. We apply bang-bang control and saturated P control, and confirm that we can control grasping force more exactly by desiding proper ranges at the saturated P control.

Keywords: Tactile Sensor, Control, Grasping

1 緒言

触覚センサは、ハンドと物体の接触状態を計測するセンサの一つとして、視覚センサなどと同様に多くの研究に用いられてきた1)。触覚情報をリアルタイムに取得する方法は確立されているものの、実際にその触覚情報をフィードバックしてハンドを動的に制御する研究は見受けられない2)。しかし、衣料や食品などの柔軟物を把持・操作する場合、過大な力がかかると物体そのものを破損してしまう可能性があり、その点からハンドと物体の把持力をリアルタイムに制御することは必要である。そこで本論文では、柔軟物を把持・操作するという事を前提に、リアルタイムに触覚情報をフィードバックするシステムを構築した。また、そのシステムが有用であるかどうかを確認するために、把持力制御を行った。

2 把持力制御

タクタイルセンサの計測点を (x, y) 、その各々の計測点における計測値を $g(x, y)$ とし、センサ部の面積を S とすると、時刻 t で計測される把持力 $f(t)$ は以下の式で表される。

$$f(t) = S \sum_{x=1}^{MAX} \sum_{y=1}^{MAX} g(x, y) \quad (1)$$

ここで MAX は各列のセル数を表している。

本研究では、物体と指先間の把持力を制御するために、バンバン制御と飽和 P 制御を行った。バンバン制御は時刻 t での指令電圧 $v(t)$ を目標の把持力 f_d に対して、

$$v(t) = \begin{cases} V & : f_d - f(t) > 0 \text{ の時} \\ -V & : f_d - f(t) < 0 \text{ の時} \end{cases} \quad (2)$$

ここで V は定数の電圧値であり、適当に与えるものとする。また、飽和 P 制御は P 制御を行う幅の大きさを f_w と

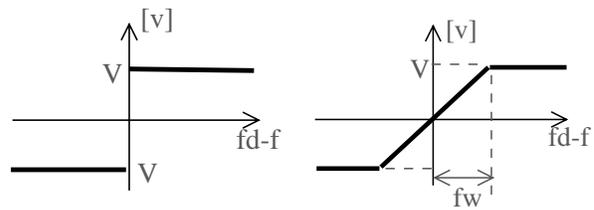
すると、

$$v(t) = \begin{cases} V & : f_d - f(t) > f_w/2 \text{ の時} \\ -V & : f_d - f(t) < -f_w/2 \text{ の時} \\ Kp(f_d - f(t)) & : \text{otherwise} \end{cases} \quad (3)$$

ここで、 Kp はゲインであり、

$$Kp = V/f_w$$

で表される。ここで、この式を $(f_d - f(t)) - v$ 平面で表すと以下のような図になる。



(a) Bang-bang (b) Saturated P

Fig.1 Control law

3 実験

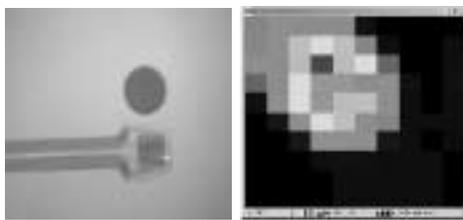
3.1 システム構成

Fig.2 に、本研究で構築したシステムの外観を示す。



(a) full (b) finger

Fig.2 System overview



(a)Sensor (b)Pressure Pattern

Fig.3 Tactile sensor

本研究ではニッタ (株) 製のタクタイルセンサを使用する。1 辺 12[mm] の正方形のセンサ部に 10×10 [cel] の計測点がある。分解能は重さに換算して 0.27[gf] であり、最大 7.2[kgf] まで計測することができる。タクタイルセンサの外観を Fig.3 に示す。この計測点の情報から把持力を計算し、把持力のフィードバックを行う。サンプリングタイムはタクタイルセンサを 1 つ使用した場合は 2.0[msec]、2 つ使用した場合は 2.5[msec] であり、これは把持力算出、AD 出力の動作を含んでいる。

指先はポリウレタン系のシリコンゲルを用いて自作しており、その解析も当研究室で平行して行われている 3)。

使用したハンドはそれぞれの指が 1 自由度で直動する 2 自由度 2 指ハンドを使用し、対象物は剛体とみなせるプラスチックケースを使用した。

3.2 結果と考察

Fig.4, Fig.5 に、実験結果を示す。実験は把持力の目標値を 576[gf] としてバンバン制御、飽和 P 制御を行った。

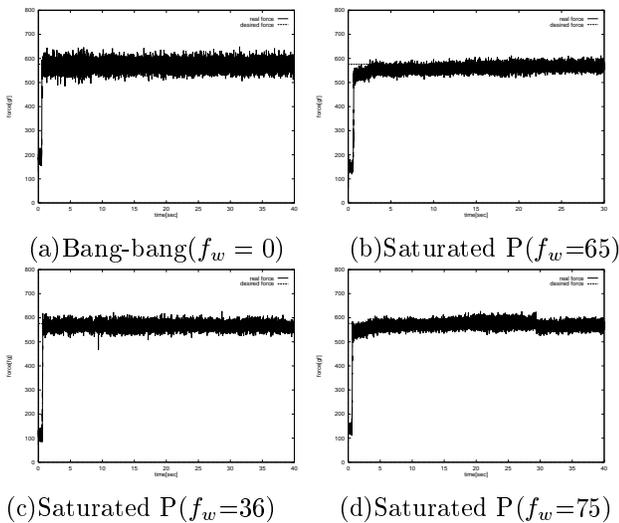


Fig.4 Measured grasping force($V=2.4$ [v])

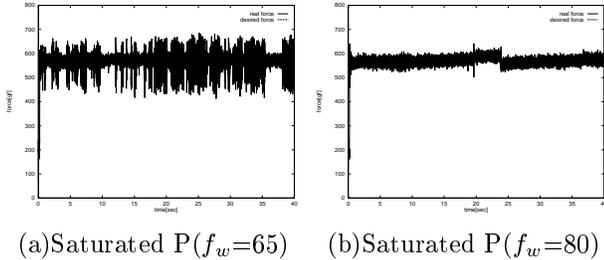


Fig.5 Measured grasping force($V=4.8$ [v])

Fig.4 に最大指令電圧を 2.4[v] に設定した際のバンバン制御と飽和 P 制御の比較を示す。(a) がバンバン制御のグラフであり、(b) ~ (d) は f_w を適当に設定したものである。(a) の実験では、目標把持力で指令電圧を短時間で急激に変化させるためにチャタリングが発生している。そこでこのチャタリングの幅をデータから実測し、このチャタリングの幅で P 制御が行われるように f_w を設定した飽和 P 制御が (b) である。また、この f_w より小さな f_w を設定した飽和 P 制御の結果が (c) であり、大きく設定した場合の結果が (d) である。(c), (d) では (b) と比較して把持力の分散が大きくなっていることが読み取れる。これは、チャタリングの幅に対して f_w が適切に設定されておらず有効に P 制御が行われていないためであると考えられる。

Fig.5 に最大指令電圧を 4.8[v] に設定した際の飽和 P 制御の比較を示す。(a) は Fig.4(b) の状態から最大指令電圧を 4.8[v] にしたグラフである。Fig.4(b) ではチャタリングの幅に適切に f_w が設定されていたが、最大指令電圧が大きくなったことによりチャタリングの幅が大きくなり、オーバーシュートを起こしている。そこで、このオーバーシュートの幅に合わせて f_w を設定したグラフが (b) である。Fig.4(b) 同様、把持力の分散が小さくなっている。つまり適切に f_w を設定することによって小さな分散で把持力を制御できると考えられる。

4 結言

本論文では、触覚情報をリアルタイムにフィードバックし、把持力を制御するシステムを構築した。またそのシステムを用いて実験を行い、その有効性を確認した。また、ある最大指令電圧で把持力制御を行う際、バンバン制御におけるチャタリングの幅にあわせて飽和 P 制御の幅 f_w を適当に定めることによって、把持力をより小さい分散で制御可能であることを示した。今後の課題としては、このシステムをモデル化して制御則の解析を行うこと、把持力制御だけでなく視覚情報を用いて物体の操作まで含めた制御則を確立すること、直動と回転運動を組み合わせた 4 自由度 2 指ハンドへ拡張すること、実際の柔軟物体の把持・操作を行うことが挙げられる。

参考文献

- 1) 小野 栄一, 喜多 伸之, 坂根 茂幸, "視覚情報を用いた輪郭情報に基づく折れ重なった布生地を展開", 日本ロボット学会誌, Vol.15, No.2, pp.113-121, 1997.
- 2) 前川 仁, "触覚情報を利用した多指ハンドによる把握・操り", 日本ロボット学会誌, Vol.18, No.6, pp.18-23, 2000.
- 3) 朴 貴浩, 金 丙鎬, 平井 慎一, "物体操作のためのタクタイルセンサを用いた柔らかい指先のモデリング", 日本ロボット学会 創立 20 周年記念学術講演会論文集, 2002.