物体の移動動作における人間の把持特性に関する研究

○中沢 信明, 池浦良淳, 猪岡光 (東北大学情報科学研究科)

Analysis of Grasping Characteristics in Moving an Object

Nobuaki NAKAZAWA, Ryojun IKEURA and Hikaru INOOKA

(Dept. of Information Science, Tohoku Univ.)

1. はじめに

対象物体を床面に置く動作をロボットハンドによって実現させるのは、位置および力制御のモード切り換えや、衝撃力緩和と作業効率を考慮した最適な接触速度の制御などが必要となり、容易なものではない[1][2]。また衝突後の動きが柔軟に行われなければ、押さえ付けによる物体の破損などの問題が生じてくる。これに対して人間は無意識のうちに床へ衝撃を与えることなくスムーズにこれらの動作を行うことができる。

そこで本報告では、ロボットハンドへの適用を前提に、把持物体と外部環境との接触動作として、親指と中指によって把持した対象物体を床面に置くときの、把持力、床に加わる力および床面に対する対象物体の接近速度について測定し、その特性解析を行った。

2. 実験装置

把持物体および測定装置のシステム構成を図1に示す。被験者は、点A、Bをそれぞれ親指と中指により把持する。物体に加えられた把持力および鉛直方向の摩擦力は、2組の歪ゲージにより同時に計測することができる。歪ゲージの出力は、ブリッジ回路を用いて電圧信号に換え、ゲージアンプを通してサンプリング間隔5(ms)毎にA/D変換器を経てコンピュータに取り込まれる。また本実験ではノイズ成分を除去するため、10(Hz)のローパスフィルタを用いる。床反力は、図2に示されるように設置した3個のロードセルにより測定され、接触時には3点支持となる。床との相対距離は3個のレーザ式変位センサ〔分解能 $50\mu\text{m}$ 〕により測定される。

3. 実験方法

被験者は高さ450(mm)の椅子に座り、対面した高さ800(mm)の机上に配置された物体の移動動作を行う。実験の基本動作は、高さ50(mm)の位置で対象物体を安定把持し数秒間静止させた後、机上へ「置く」というものである。ここで動作速度については、次の2種類の条件で実験を行う。

条件1: 動作速度を指示しない場合

条件2: 動作速度を意識的に変化させた場合

図1 把持物体および測定装置のシステム構成

図2 床反力の測定装置

条件1での実験は、人間が日常生活で無意識のうちにやっている動作を想定して行う。

4. 結果および考察

図3に、条件1の下で測定したときの物体の変位および把持力を示す。図中の F は把持力、 f は片側の指先に生じる鉛直方向の摩擦力、 F_{ay} は床反力である。 t_1 は物体と床とが接触し始めた時刻、 t_2 は2点接触、 t_3 は3点接触到達した時刻である。図によると接触する前から僅かずつ把持力を減少させていることが分かる。時刻 $t_1 \sim t_2$ の間では、鉛直方向の摩擦力 f は著しく変化せず、時刻 t_2 すなわち2点接触到達した時点から大きく変化し始める。この時刻 t_2 以降から把持力は急激に減少する。時刻 $t_1 \sim t_3$ の接触状態遷移は接触直前の物体の姿勢により異なるが、一般的には2点接触到達してから把持力が減少し始める。

物体が床面に接触した時刻 t_1 での把持力の大きさを

図3 変位および力の測定結果

図4に示す。図中では質量180, 360, 720(g)の物体について各々、条件1の実験試行の10回の平均値を取ったものである。上下のバーはその標準偏差、点線は次式で与えられる最小把持力 F^* の半分の値である。

$$F^* = \frac{f_v}{\mu} \quad (1)$$

ただし f_v は鉛直方向の合力、 μ は静摩擦係数であり予め実験により求める。ここで $\mu = 0.89$ である。これより接触する時点での把持力は、把持物体の質量によらず最小把持力に近い値になっていることが分かる。その大きさは、最小把持力の1.2~1.5倍の大きさである。条件1の実験においては、接触直前の速度は45(mm/s)以下であった。そこで接触直前の物体の速度を意識的に変化させた場合の、接触時の把持力について調べた。

条件2の実験における接触直前の速度および把持力の関係について図5に示す。なお把持物体の質量は360(g)であり、図中の横点線は最小把持力 F^* である。縦点線は、横軸を45(mm/s)毎に区切る境界線であり、条件1の測定値は左の範囲内に存在する。これより接触直前の速度の大きさによらず、接触時の把持力は最小把持力に近い大きさになっていることが分かる。

次に接触時の把持力の大きさが接触後の動作に及ぼす影響について調べた。図6に接触時の把持力と単位時間当たりの変位量との関係を示す。ここで単位時間当たりの変位量とは、レーザ変位計 ch_1 において時刻 $t_1 \sim t_3$ の間に測定される変位量を時刻 $(t_3 - t_1)$ で割ったものである。なお接触時の速度は、45(mm/s)以下である。これより把持力が小さい程、単位時間当たりの変位量は大きくなることが分かる。すなわち接触時の把持力が最小把持力に近い大きさであれば、衝突後の接触状態遷移がスムーズに行われると思われる。

図4 各把持物体質量における衝突時の把持力

図5 接触速度と把持力との関係

図6 把持力と単位時間当たりの変位量との関係

5. おわりに

本報告では、人間による物体を置く動作の力関係に着目し、特性解析を行った。その結果、接触時の把持力は物体の質量、接触速度によらず最小限の大きさとなっており、そのため衝突直後のモーメントによる把持物体の回転運動を阻止することなくスムーズに接触状態遷移が行われていることが分かった。

参考文献

- [1] 北垣ら, "外部環境に対するマニピュレータの最適接近速度". 日本ロボット学会誌, Vol.8.4.413/420.1990
- [2] 横井ら, "据え付け作業のための把持力制御法". 日本機械学会講演論文集, No.940-21.1085/1086.1994
- [3] 金ら, "人間の把持力制御特性の実験的考察". 人間工学, Vol.29.No.2.95/102.1993