

# 環境外乱に基づいた乗り心地推定による車椅子型自律移動ロボットの制御 A Control System of a Wheelchair Type Mobile Robot for Improvement of Ride Quality by Estimating Environmental Disturbance

80221556 井上明子 (Akiko Inoue) Supervisor 村上俊之 (Toshiyuki Murakami)

## 1 序論

現在、高齢者の割合が17%であるという我が国では、高齢者の人々への介助技術の開発が進んでいる。特に、自力での移動が困難な人々への介助技術の需要が増している。これに対し、自律移動機能を持つ車椅子の実用化は、介助者の負担の軽減につながる。

従来の移動ロボットの自律移動の研究では、目的地あるいは目標軌道にいかにか追従できるかということが重要視されてきた。これらの研究では、外乱オブザーバ等を用いて環境からの外乱やロボットのモデル化誤差を抑圧するロバスト制御が実現されてきた。一方、人が搭乗し自律移動するロボットを実現する場合、乗り心地の改善が大きな課題として挙げられる。そこで本論文では、このロバスト性と乗り心地の向上の両バランスを考えあわせるため、ISOによって定義された全身振動に暴露される人体の評価手法 [1] を用い、実際の揺れに基づく乗り心地を定量的に評価した自律走行の制御法を提案する。本論文では、実際の車椅子に揺れを与える環境からの力を反力推定オブザーバ [2] を用いてセンサレスで推定を行なう。また、実際の人間の揺れの状態を推定するために、アクティブジョイスティックを人間のインピーダンス推定に応用する。さらに、ISOによる乗り心地評価手法を応用して乗り心地の向上のための移動速度自律生成コントローラを提案する。

## 2 移動ロボットの乗り心地の評価手法

移動ロボットの乗り心地を次の3段階に分けて推定する。

### 2.1 移動ロボットが環境から受ける力の推定

外乱オブザーバによってロバスト制御された移動ロボットが荒い路面を進むときに地面の凸部分から受ける力は図1のように表せる。実際のロボットの乗り心地に影響する上下・前後方向の加速度は図1中の  $N_a$  によって与えられる。 $N_a$  は、ロボットの質量と反力推定オブザーバによって推定したトルクから次の式によって求めること

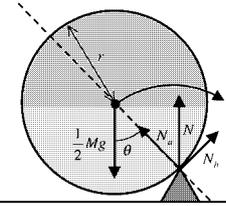


図 1: 荒い路面を進む車輪のモデル

ができる。

$$N_a = \sqrt{\left(\frac{1}{2}Mg\right)^2 - \left(\frac{\hat{\tau}_{enu}}{r}\right)^2} \quad (1)$$

実際の移動ロボットに  $x$  方向、 $z$  方向の加速度を与える力は次のように記述できる。

$$F_{x_{enu}} = N_a \sin \theta \quad (2)$$

$$F_{z_{enu}} = N_a \cos \theta - \frac{1}{2}Mg \quad (3)$$

またここで与えられている  $\theta$  は  $\hat{\tau}_{enu}$  の値を用いて (4) 式から求めることができる。

$$\begin{aligned} \hat{\tau}_{enu} &= rN_b \\ &= r\frac{1}{2}Mg \sin \theta \end{aligned} \quad (4)$$

### 2.2 人のインピーダンス特性推定と等価加速度応答

人間のパラメータを走行中にジョイスティックを用いて測定する。ジョイスティックに力制御を行った場合、モータへの力入力  $f_{cmd}$  と人間からの反作用力  $f_{res}$  の関係は、人のインピーダンスパラメータを用いると次のように記述できる。

$$e = f_{cmd} - f_{res} \quad (5)$$

$$= f_{cmd} - M_{hu}\ddot{x} + D_{hu}\dot{x} + K_{hu}x \quad (6)$$

力偏差  $e$  の二乗を最小にするような  $M_{hu}$ 、 $D_{hu}$ 、 $K_{hu}$  を求め、推定パラメータに基づいたインピーダンスモデル

を用いることによって，人に作用する加速度応答を得ることができる。

$$F_{rotot} \times \frac{s^2}{M_{hu}s^2 + D_{hu}s + K_{hu}} = \ddot{x}_{hu} \quad (7)$$

$$a_i = \sum_t \ddot{x}_{hu} e^{-j2\pi f t} \quad (8)$$

(7)式で得られた等価加速度に基づいた離散フーリエ系列  $a$  と ISO 2631-1[1] に示された重み付け関数  $W_i$  を用い，周波数ごとにフーリエ系列の重み付けを行う。重み付けされた各周波数の加速度を合成し，それを乗り心地の評価対象とする。 $a_W$  が次の条件式を満たすとき乗り心地がよいと判断する。

$$1.0 < a_W < 2.0 \quad (9)$$

$a_W$  が (9) 式を満たさない場合は，速度が  $k^j$  倍になると外乱の周波数は  $k^j$  倍になり対応するフーリエ系列の振幅は  $k^{j^2}$  倍になるという関係を利用して速度が変わった場合の乗り心地を推定し  $a_W$  が (9) 式を満たすような速度指令値を生成する。新たな速度指令値は (10) 式で表せる。

$$v_i = k^j v_0 \quad (10)$$

そのときの乗り心地は次のように表せる。

$$a_{W_j} = \left[ \sum_i (W_i a_{i+j})^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (11)$$

### 3 シミュレーション

提案したコントローラによるシミュレーションを行った。乗り心地を示す  $a_W$  と速度指令値  $v_{cmd}$  を図2に示す。人間に加わる揺れの加速度の変化を図3, 4に示す。シミュレーション結果から，初速からだんだん乗り心地の良い速度に収束したことがわかる。

### 4 実験

提案手法の有効性を確かめるため実際の路面で実験を行った。乗り心地を表す  $a_W$  と速度指令値  $v_{cmd}$  の変化を図5に，揺れの加速度のスペクトルを図6, 7に示す。

実験ではアスファルトの凹凸のある路面から受ける揺れが速度コントローラによって減少するのを被験者は確認することができた。

### 5 結論

移動ロボットの乗り心地に影響する，環境から加わる力をセンサレスで推定するアルゴリズムを提案した。さらに人のインピーダンス特性を推定し，推定された路面とインピーダンス特性に応じた車椅子の移動速度を，ISOの乗り心地指標に基づいて自動生成するコントローラ構成法を提案した。提案手法の有効性はシミュレーションおよび実機実験により確認した。

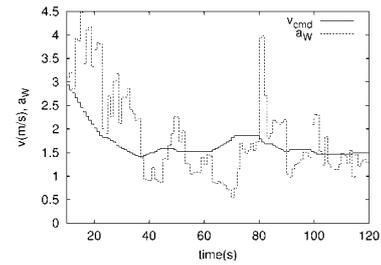


図 2: 乗り心地と速度指令値のシミュレーション結果

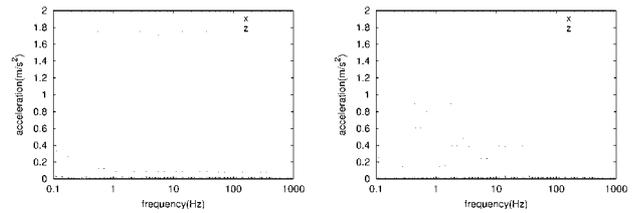


図 3: 揺れの加速度の周波数領域表示 (t=10.0) 図 4: 揺れの加速度の周波数領域表示 (t=120.0)

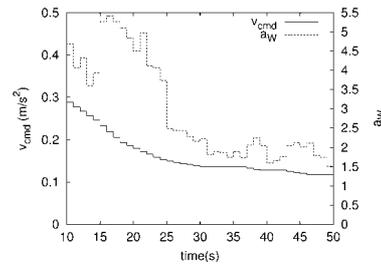


図 5: 乗り心地と速度指令値の実験結果

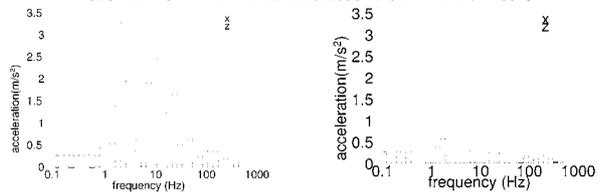


図 6: 揺れの加速度の周波数領域表示 (t=10.0) 図 7: 揺れの加速度の周波数領域表示 (t=120.0)

### 参考文献

- [1] ISO 2631-1 "Mechanical vibration and shock – Evaluation of human exposure to whole-body vibration – Part 1: General requirements", International Organization for Standardization, 1997.
- [2] 村上 俊之, 中村 亮, 郁 方銘, 大西 公平: “反作用力推定オブザーバに基づいた多自由度日ボットの力センサレスコンプライアンス制御”, 日本ロボット学会誌, vol.11, No.5, pp.765–768, 1993.
- [3] Akiko INOUE, Seiichiro KATSURA, Toshiyuki MURAKAMI: "Autonomous Mobile Robot Control for Ride Quality Improvement by Estimated Human Parameter and Road Condition", 6th Japan-France Congress on Mechatronics & 4th Asia-Europe Congress on Mechatronics, September 9-12, 2003.