

環境情報に基づくパワーアシスト車椅子のモーションコントロール Motion Control of Power-Assisted Wheelchair Based on Environmental Information

80223737 宮澤崇 (Takashi Miyazawa) Supervisor 大西公平 (Kouhei Ohnishi)

1 緒論

少子高齢化が進む現代社会において、医療・福祉機器開発の必要性が頻りに叫ばれてはいるが、将来避けることができない問題として、介護する側の人手不足が挙げられる。また、介護保険制度以前は身体障害者福祉法で、車椅子は舗装具として、医師の診断により個々の身体機能に合わせて採寸、製作され給付されていたが、制度後は標準型の車椅子をレンタル利用することが原則となったため、今後は経済的・生産コストの側面についても深く考慮していく必要がある。

そのような社会的背景の中で、本研究は肢体障害者の自立支援を目指し、ロボット制御工学の技術を福祉・リハビリテーション分野に応用することを目的としている。

2 パワーアシスト車椅子への入力

従来のパワーアシスト車椅子は、両車輪に装着したトルクセンサにより人間の駆動力を検出し、モータがアシストを行っているが、本研究では、反作用トルク推定オブザーバによってセンサレスで駆動力を検出し、コンプライアンス制御によりモータへ指令を与える。この際、推定されるトルクは次の(1)式のように表される。

$$\hat{\tau}_{reac} = \frac{g_{reac}}{s + g_{reac}} (I_a^{ref} K_{t_n} + g_{reac} J_n \dot{\theta} - \tau_{init}) - g_{reac} J_n \dot{\theta} \quad (1)$$

コンプライアンス制御は、外界から外力を受けた場合に外力に倣うように軌道を生成する制御系であり、ロボットに柔軟性を持たせることが可能となる。本論文では、外乱オブザーバに基づくロバストな位置制御系にコンプライアンス制御を適用し、(2)式によって生成された $\ddot{\mathbf{X}}_{reac}$, $\dot{\mathbf{X}}_{reac}$, \mathbf{X}_{reac} を、(3)式に示すように位置制御系に指令値として加えることにより、コンプライアンス動作を実現する。

$$\mathbf{A}_{reac} \mathbf{F}_{reac} = \mathbf{M}_{reac} \ddot{\mathbf{X}}_{reac} + \mathbf{D}_{reac} \dot{\mathbf{X}}_{reac} + \mathbf{K}_{reac} \mathbf{X}_{reac} \quad (2)$$

$$\begin{aligned} \ddot{\mathbf{X}}^{ref} &= \mathbf{K}_p (\mathbf{X}^{cmd} - \mathbf{X}^{res} - \mathbf{X}_{reac}) \\ &+ \mathbf{K}_v (\dot{\mathbf{X}}^{cmd} - \dot{\mathbf{X}}^{res} - \dot{\mathbf{X}}_{reac}) \\ &- \ddot{\mathbf{X}}_{reac} \end{aligned} \quad (3)$$

3 センサレスパワーアシスト制御

本研究におけるパワーアシスト制御の概念を図1に示す。本研究では、同定試験により得られた車椅子の進行

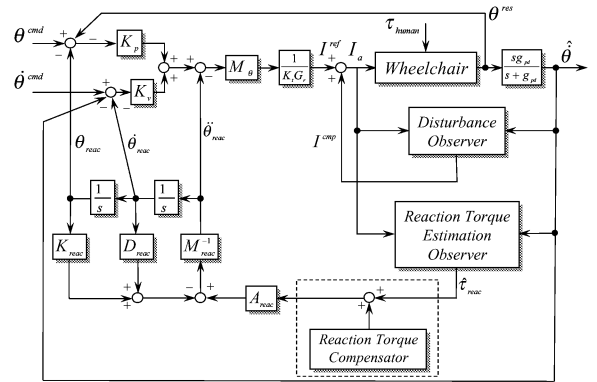


図 1: パワーアシストの概念

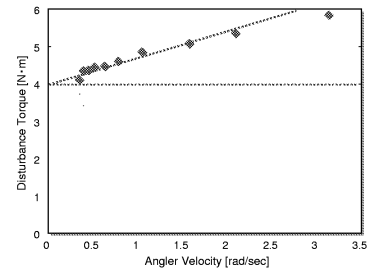


図 2: 反力分布

方向への摩擦を補償することにより、パワーアシストを実現する。オブザーバによって観測された外乱から、厳密に非線形項を含む摩擦項を抽出することは困難であるため、外乱を定常摩擦 ($\tau_{coulomb}$) と駆動輪の角速度に依存する粘性摩擦 ($\tau_{viscous}$) とに簡易的に分類し、補償することとした。図2は車輪を空回りさせた際の反力の分布図であり、(4)式のように定式化することができる。

$$\tau_{dis}(\hat{\theta}) = 4.0 + 0.56\hat{\theta} \quad (4)$$

$$= \tau_{coulomb} + \tau_{viscous}(\hat{\theta}) \quad (5)$$

進行方向への補償をこの定式化に基づき行うことにより、操作者は軽い操作感と、人力解放後の車椅子の速度維持の2つを同時に得ることができる。

図3, 4, 5はそれぞれ反力の増幅フィードバックゲインを上げた場合、仮想インピーダンス特性の粘性項、バネ定数を上げた場合、そして本論文が提案する、環境から車輪に加わる反力を補償した場合における実験結果である。図5より、提案手法は軽い力で車輪を漕ぐことがで

き、また、人力解放後も速度が高いレベルで維持されていることがわかる。

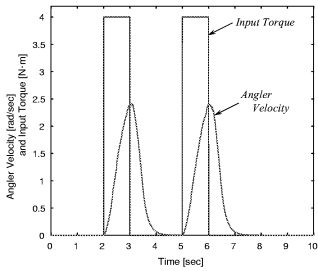


図 3: 角速度応答 (1)

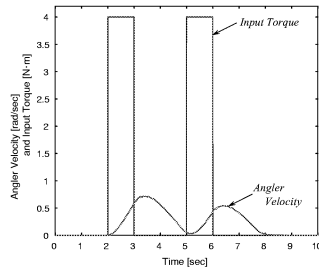


図 4: 角速度応答 (2)

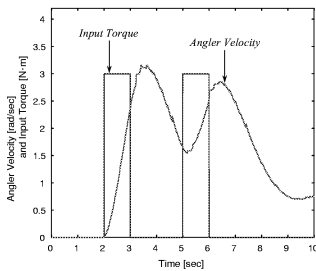


図 5: 角速度応答 (3)

4 走行環境を考慮したパワーアシスト制御

本研究では傾斜角センサを用い、重力補償および粗い路面への対応という2つの課題を解決する。

4.1 傾斜における車椅子の重力補償

本研究は、前後・左右2つの軸の回転行列から車椅子に加わる重力項を導出し、補償を行うこととした。ワールド座標系から傾斜座標系への変換行列および、両車輪の動力学を考慮することで、(6)式、(7)式に示すように左右それぞれの重力項を導くことができる。

$$\tau_{gL} = MgR(-\frac{2h}{W} \sin \alpha \sin \beta \cos \beta - \frac{1}{2} \sin \alpha) \quad (6)$$

$$\tau_{gR} = MgR(\frac{2h}{W} \sin \alpha \sin \beta \cos \beta - \frac{1}{2} \sin \alpha) \quad (7)$$

この重力項を、傾斜角センサからの角度情報に基づき補償することによって、操作者は坂道であっても平坦と同様の力で車椅子を操作することができる。なお、図6は重力項の理論値と実験値の比較を示し、図7は実際に車椅子が傾斜を上った際の傾斜角と、その場合における重力項を示したものである。

4.2 粗い路面への対応

本論文では、以下の2つの条件を同時に満たしたとき、車椅子が路面を粗いと認識することとした。

1. 傾斜角センサからの角度応答がある一定以上の振幅を持つ
2. 路面の凹凸がある一定以上の周波数を持つ

このとき、環境および車椅子のモデルを設定することにより、1つ目の条件を満たすための角度情報の振幅の閾値、

そして2つ目の条件を満たすために、角度応答に通過させるローパスフィルタのゲインを決定することができる。

図8にシミュレーション結果を、図9に実験結果をそれぞれ示す。図8は、適当に与えられた角度とその際の路面認識結果を示し、図9は、実際に傾斜角センサを用い、振動を断続的に与えた際の角度応答およびその際の認識結果を示している。なお、図において「angle」と指されている線分が角度情報を示し、「condition」と指されている線分が路面認識の結果を表している。ここで、「condition」が0を通過しているとき、車椅子は路面を滑らかであると認識し、1を通過しているとき、路面を粗いと認識している。それぞれの結果より、提案する路面認識手法の有効性を確認することができる。

5 結論

走行する路面から車椅子に加わる反力情報に基づき、肢体障害者の自立支援を目的とする新しいセンサレスパワーアシストを実現した。また、傾斜角センサを利用することにより得られる角度情報を利用し、車椅子の重力補償の手法および、振動による路面状況の認識手法を提案し、それらの有効性を実際に実験を行うことにより確認した。

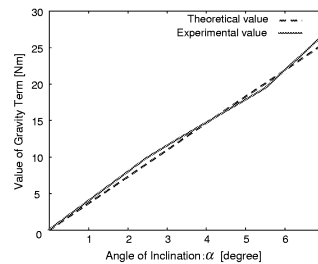


図 6: 重力項の理論値と実験値 ($\beta = 0$)

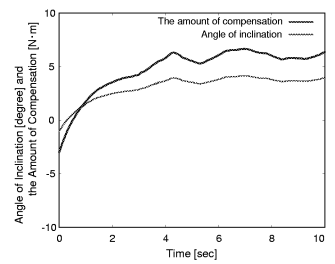


図 7: 実験結果

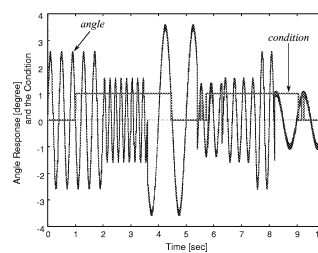


図 8: 路面認識のシミュレーション結果

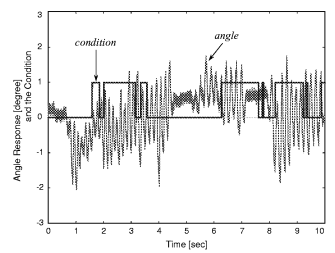


図 9: 路面認識の実験結果

参考文献

- [1] 宮澤 崇, 桂 誠一郎, 大西公平: "走行環境を考慮した自走式パワーアシスト車椅子の一構成法", 電気学会産業計測制御研究会資料, Vol. 2, pp.29-34, 2003.(横浜)
- [2] T. Miyazawa, S. Katsura, K. Ohnishi: "A Power-Assisted Wheelchair Taking Running Environment Into Account", Proceedings of the 29th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society, pp.1343-1348, 2003.(Roanoke, VA, USA)