

障害物を考慮した電動車椅子のパワーアシスト制御

Power Assist Control of Electric Wheelchair Considering Obstacle

80716843 田子 高視 (Takami Tago)

Supervisor: 村上 俊之 (Toshiyuki Murakami)

1 研究目的

少子高齢化社会においては、介護を受ける側だけでなく、介護をする側も高齢者である老々介護も珍しくなくなっている。このため、高齢者が車椅子を押す機会も増えているが、これには判断速度の低下からの障害物への対応の遅れが懸念される。この問題を解決するために障害物回避についてアシスト方法について様々な研究がなされてきた。例えば、ポテンシャル法と呼ばれる障害物に対して仮想反力を用いる方法 [1] や、障害物が存在しない範囲へと車椅子を誘導する方法がコレに当たる。しかし、これらの制御法は障害物を回避する事だけに念頭が置かれているため多用な目的を持つ実際の操作者に適用するには不向きである。例えば、操作者が机等の障害物とみなされるような物体に近づく際に、それを妨げてしまうだけでなく、急激な回避運動といった操作者の予期しない動作を起こす問題が見られる。また、障害物を認識する為に用いられるセンサとして距離情報、色情報、速度情報などが取得可能なカメラが多くの研究で用いられている。しかし、カメラによる環境認識において、マッチング処理と呼ばれる画面間の比較処理に膨大な計算コストが必要となるため、リアルタイム性を維持する事が困難となるという問題がある。そこで、本論文では SSE 命令と再帰相関命令を利用して更にマッチング範囲を限定することによって実時間障害物認識を実現させる。また、認識した障害物までの距離を元に車椅子の速度を制限する事によって、障害物の回避や、緩やかな接触を可能とする制御法を提案する。

2 モデリング

本章では、カメラを搭載した電動車椅子並びにカメラのモデリングを行う。また、それに基づいて、運動学・動力学に関する方程式を示す。

2.1 電動車椅子

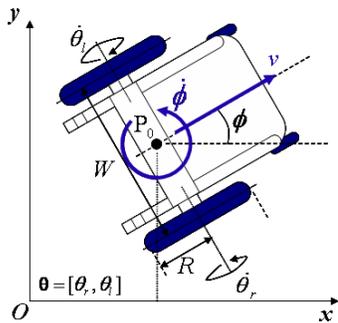


図 1: 電動車椅子のモデル

電動車椅子のモデルを図 1 に示すこのとき運動学は (1) 式、また左右輪への入力トルクを $\tau = [\tau_r \ \tau_l]^T$ と表すと動力学は (2) 式ようになる。

$$\mathbf{v} = \begin{bmatrix} \frac{R_1}{2} & \frac{R_1}{2} \\ \frac{R_1}{W} & -\frac{R_1}{W} \end{bmatrix} \dot{\boldsymbol{\theta}} = \mathbf{T} \dot{\boldsymbol{\theta}} \quad (1)$$

$$\boldsymbol{\tau} = \begin{bmatrix} \frac{mR_1^2}{4} + J_w + \frac{JR_1^2}{W^2} & \frac{mR_1^2}{4} - \frac{JR_1^2}{W^2} \\ \frac{mR_1^2}{4} - \frac{JR_1^2}{W^2} & \frac{mR_1^2}{4} + J_w + \frac{JR_1^2}{W^2} \end{bmatrix} \ddot{\boldsymbol{\theta}} = \mathbf{M} \ddot{\boldsymbol{\theta}} \quad (2)$$

ただし m は車椅子の質量、 J は車体の慣性モーメント、 J_w は車輪の慣性モーメントである。ベクトル $\boldsymbol{\theta} = [\theta_r \ \theta_l]^T$ 、 $\mathbf{v} = [v \ \omega]^T$ はそれぞれシステムの入力と出力に相当する。

2.2 平行ステレオカメラ

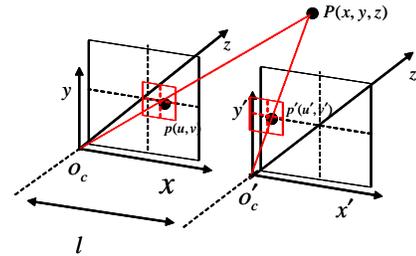


図 2: 平行ステレオカメラ

平行ステレオカメラのモデルを図 2 に示すカメラ座標において $p = (x, y, z)^T$ で表される点を考える。この点は画像座標上において $P = (u, v)^T$ と $P' = (u', v')^T$ に投影されている。ここでカメラの焦点距離を f とすると、画像平面は $z = f$ と表される。したがってカメラ座標と画像座標の関係は透視投影法を用いて、 $u = \frac{f}{z}x, v = \frac{f}{z}y, z = \frac{f}{d}$ のように表現される。

3 計算量の低減

3.1 再帰相関法

座標 $p = (u, v)$ と座標 $p' = (u', v') = (u - d, v - d)$ との誤差の指標 $C(u, v)$ を以下のように定める

$$C(u, v, d) = \sum_{i,j} |I(u+i, v+j) - I(u-d+i, v-d+j)| \quad (3)$$

この誤差指標 $C(u, v, d)$ が最小になった時の視差 d をその座標における視差とする。再帰相関法を用いる事によって視差 d の計算にかかる計算量を減らす。局所相関法の計算量を $O(N_u N_v W^2 D)$ と表す。但し、画像の大きさを $N_u(\text{pixel}) \times N_v(\text{pixel})$ 、局所相関領域を $W(\text{pixel}) \times W(\text{pixel})$ 、視差の最大値を D とする。この計算量のうち $O(W^2)$ 回は同じ画素同士の計算を行う無駄な計算である。これを省くアルゴリズムを以下に示す。 $P(u, v, d) = |I(u+d, v) - I(u, v)|$ とすると式 (3) は以下のように表せる。

$$C(u, v, d) = \sum_{i,j} P(u+i, v+j, d) \quad (4)$$

ここで $Q(u, 0, d) = \sum_j P(u, j, d)$ と定義すると Q は次のように再帰的に求められる。

$$Q(u, v+1, d) = Q(u, v, d) + P(u, v + \frac{W-1}{2} + 1, d) - P(u, v - \frac{W-1}{2}, d) \quad (5)$$

また $C(0, v, d) = \sum_j Q(i, v, d)$ を利用して C も同様に求められる. このように計算する事によって, 計算量が $O(N_u N_v D)$ に低減される.

3.2 マッチング範囲の限定

殆どの距離情報は一部の視差情報から推定できる. そこで, 細部の情報に関してはカメラの速度情報から推定した視差の存在範囲を利用する. カメラ速度を $\mathbf{V} = (V_x, V_y, V_z)^T$, $\mathbf{\Omega} = (\Omega_x, \Omega_y, \Omega_z)^T$, とすると, 点 $\mathbf{P} = (x, y, z)^T$ の視差は次の画面で $d_{est} = \frac{fl}{z \cos(\Omega_y) - x \sin(\Omega_y) + V_z}$ となる. この予測視差のうち, 一番大きいものを d_{max} とし, 視差の検索範囲を $0 \leq D \leq d_{floor}$ or $d_{max} - area \leq D \leq d_{max} + area$ とする. ここで, d_{floor} は床の視差. よって, 計算量は $O(N_u N_v D \frac{2area + d_{floor}}{N_u})$ となる.

3.3 SSE 命令

SSE 命令はレジスタ上にあるデータ配列の和積等を一括で行う事が可能となる SIMD(Single Instruction Multi Data) な命令である. この命令セットを使用することにより, 計算量を約 $\frac{1}{\frac{128(bit)}{cast(bit)}}$ に低減出来る.

4 制御系の構成

得られた距離情報を用いて障害物を回避するシステムを考える. このシステムのブロック線図を図 3 に示す.

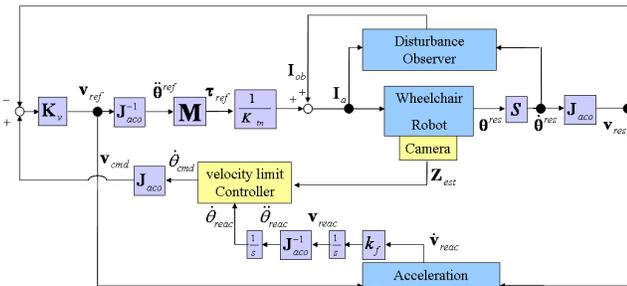


図 3: コントロールシステム

視覚情報より得られた障害物までの距離を元に制限車輪速度場を導入し, その制限車輪速度を速度コントローラに適用する事によって, 障害物の回避並びに軟接触を実現する. なお, 車輪速度が制限車輪速度以下の場合, $\dot{\theta}_{reac}$ がそのまま $\dot{\theta}_{cmd}$ となる. また, 制限車輪速度は以下のように決定する.

$$\dot{\theta}_{lim} = \frac{K_{lim}}{R_1} Z_{lim} \quad (6)$$

ここで K_{lim} はゲイン, $\dot{\theta}_{lim} = (\dot{\theta}_{liml}, \dot{\theta}_{limr})^T$ とする. また, 制限車輪速度決定のための距離 $Z_{lim} = (Z_l, Z_r)^T$ を以下のように定義する.

$$Z_l = \min Z_{est}(u, v) \quad (u > 0) \quad (7)$$

$$Z_r = \min Z_{est}(u, v) \quad (u < 0) \quad (8)$$

5 シミュレーション

提案手法の有効性を確認する為にシミュレーションを行った.

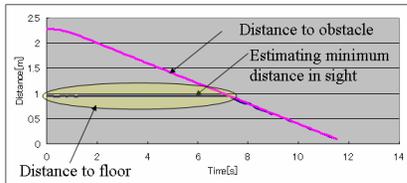


図 4: 推定精度

表 1 は計算量を低減させた時の計算速度の比較である. 全ての手法を適応させる事で計算速度大幅な向上が見られた. 図 4 は障害物までの距離と, カメラから推定された最小距離 Z_{lim} と

表 1: 計算速度

Normal	10.78~ 10.86(s)
Recursivecorrelation	0.687~ 0.703(s)
Recursivecorrelation + SSEcommand	0.141~ 0.157(s)
Recursivecorrelation + SSEcommand + limitationofrange	0.0061~ 0.078(s)

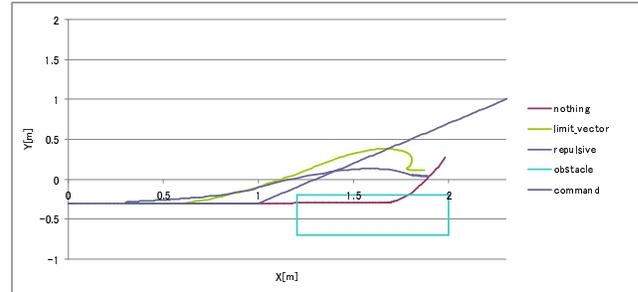


図 5: 障害物回避

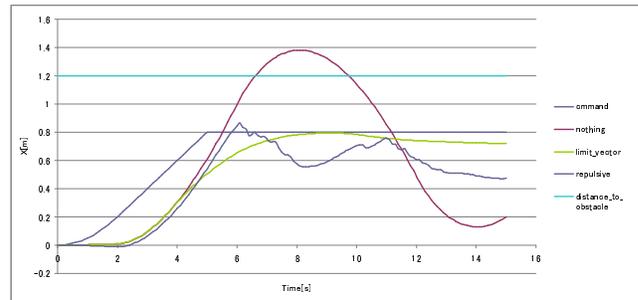


図 6: 障害物への近接静止

の比較である. 初め最小距離は視界内の床までの距離を捉えているが, 障害物が接近した時には障害物までの距離を捉えている事が見て取れる. 図 5 は PD コントローラにより車椅子を制御し, 障害物の直前で回避を行う指令を与えた際の車椅子の右車輪の位置のスティック線図である. この時反応が機敏でない人の操作と仮定し制御周期を二秒とした. なお, repulsive は従来手法である斥力場による障害物回避法を適応したものであり, 本手法, 従来手法共に障害物を回避する軌道が取れている事が解る. 図 6 は同様に車椅子を制御し, 障害物の直前で静止する指令を与えた際の重心位置の応答である. これより, 本手法を適用する事によって障害物に衝突する事なく滑らかに接近する事が可能となる事が解る.

6 結論

本論文では, 車椅子の車輪速度に制限を加えるという, より車椅子のアシストに適した障害物回避法を提案し, シミュレーションにより確認した. また, 本手法は車椅子だけでなく, 歩行補助機や手押し車など, 歩行の手助けや, 重いものを運ぶ際のアシスト等にも期待できる.

参考文献

- [1] 村上佳史, 久野義徳, 島田伸敬, 白井良明, “知的車椅子のための歩行者の観察に基づく衝突回避,” 日本ロボット学会誌, vol.20, no.2, pp.206 - 213, 2002