論説

Paper

搭乗者の体の傾きで走行方向を制御する電動車椅子の開発

遠藤敏夫^{*1}, 飯田 陽^{*2}, 田中慎一^{*2}, 国立 勉^{*1}

Development of an Electric Powered Wheelchair in which the Angle of Recline of the User's Body Controls the Direction

Toshio Endo, Akira Iida, Shinichi Tanaka, and Tutomu Kunitachi

Synopsis

Japan is experiencing a situation where its population demographic is aging more rapidly than any other country in the world. It is estimated that in 15 years a quarter of the total population will be 65 years old or above. With the advent of this aging society, it is important that senior citizens can have a self-sustainable life-style.

In an attempt to assist senior citizens to experience self-reliance, the authors have studied the development of an electric-powered wheelchair in which the user can control the direction of travel by changing the angle of their body. The wheelchair is made full use of the latest sensing and information technologies. We have completed a prototype electric wheelchair that can detect the tilt angle of the user's body by incorporating an acceleration sensor and which controls the directions of travel by employing a personal computer.

Furthermore, after successful trials that have been carried out by senior citizens, we would like to expand our work to practical applications.

1. はじめに

我が国は、世界でかつてない速度で高齢者人口の割合が増加している。Fig.1 は総務省統計局統計センタからインターネットで公開されている「人口の推移と将来人口」の資料をもとにした、高齢人口構成の予測グラフである^{1),2)}。1995 年で高齢人口 (65 歳以上) の割合は、全人口の 14.6%であったものが、2015 年には 25%, すなわち、全人口の 1/4 が高齢人口という構成になる。さらに、2025 年には 27.4%と 1/3 に近くまで上昇する予測がなされている。一方で、出生率の低下とともに、14 歳以下の年少人口は減少の一途である。生産年齢人口の減少と高齢人口の急激な増加、さらには医療の進歩による長寿化は、経済面をはじめとして社会に大きな影響を及ぼすことは避けられない。高齢者介護の面でも、生産年齢人口が減少すれば介護する側の人口が減少するため、介護される側もできる限り自立する必要がある。

Fig.1. Japanese demographic shifts.

このような背景から、筆者らは高齢者自立の一助となる電動車椅子の研究を進めてきた。研究の基本的な考え方は

2003 年 5 月 16 日受付

* 1 大同工業大学情報学部, 工博 (Dr., Eng., School of Informatics, Daido Institute of Technology)

* 2 大同工業大学工学部 (School of Engineering, Daido Institute of Technology)

「個人差に応じた自立支援機能の追加」にある．" 個人差に応じた " の実現には「一品製作」という、コスト面の課題を抱える．筆者らは、この課題を解決するため、市販の電動車椅子にノートパソコンなどのモバイルコンピュータとその周辺機器を搭載することによって、ソフトウェア調整のみで個別対応が可能なシステムの開発を試みてきた．すでに、市販の音声認識ソフトをノートパソコンに搭載し、音声によって走行を制御する電動車椅子を開発してきたが、それに加えて、安価な加速度センサを利用した「搭乗者の体が傾いた方向に走行する」電動車椅子の開発を行ったので、ここに紹介する．

2. 装置の全体構成

この章では、「走行方向制御」部分を除く、装置の構成について述べる．走行方向制御については次章で詳しく述べる．

(1) 車椅子本体とモータ

車椅子本体とモータ部分は、(株)ナブコ製の電動アシスト車椅子を流用した．この流用したアシスト電動車椅子は初期のモデルで、ホイールとモータが一体化されている．モータには大同特殊鋼(株)が開発したNd-Fe-B磁石が使われている．また、モータ自体も大同特殊鋼(株)が開発されたもので、軽量、かつ、低速高トルクという特徴を備えている．電動アシスト車椅子は、坂道における介護者の負担を軽減することを狙いに開発されたもので、自走を目的としていないが、平坦地では体重が50kgの搭乗者でも十分走行で

きることが確認されているので、今回の試作に使用した．

(2) 制御装置

今回試作したのは、制御回路およびパソコン・ソフトの部分である．制御は基本的に、パソコンで行っている．Fig.2は制御回路の概略ブロック図で、1チップマイコンを用いることによって簡素な回路としている．パソコンとモータ駆動回路との信号伝送には、マイクロチップテクノロジー社の1チップマイコンであるPIC16F877ならびにEthernetコントローラIC(RTL8019AS)を搭載したNetwork Interface Cardを通して行っている．制御データの通信にEthernetを用いたのは、今後、電動車椅子とネットワークカメラを組み合わせ、インターネットを介して遠隔地より介護が可能なシステムを構築するためである．このような介護システムは、これから更なる発展が予測されるネットワーク社会において利用される在宅介護システムとして実用化されるものと考えられる．Network Interface Cardとパソコン間の通信は無線LANを用いた．

(3) 衝突防止装置

ここでは、超音波送信素子から発せられる周波数40kHzの超音波が、障害物で反射されて受信素子に戻る迄の時間から、電動車椅子と障害物との距離を測定する、簡単な原理の超音波距離計をADC内蔵の1チップマイコンを中心とする回路で実現し、電動車椅子に取り付け、これを衝突防止装置とした．超音波距離計については、ごく一般的な構造であるため、詳細は省く．

障害物検出テストの結果、超音波の反射を利用した衝突

Fig.2. Block diagram for the control system.

防止装置は、壁のような固体の障害物が対象であれば安全装置として用いることが可能であることを確認した。しかし、障害物が「人」の場合には検出動作が不安定で、人が立っている位置によって反射波が検出できないことが確認された。Fig.3 は、そのことを説明したもので、衝突防止装置と人（両足）の位置関係によって、超音波受信素子がどのような反射波を検出しているかを観測した結果である。なお、Fig.3 の信号波形は、受信素子の信号を増幅・整流したものである。Fig.3(b) が示すように、衝突防止装置に対して斜めの位置で立っている「人」に対しては反射波を検出できない場合がある。反射波が検出できない原因は、衝突防止装置と「左右それぞれの足」からの距離が異なるので、両方の足から反射される超音波に位相差が生じ、結果的に「両者の干渉によって反射波が得られない場合が生ずる」と推察される。このため、今回の試作装置では壁など固体の障害物に対して有効な衝突防止装置とした。

電動車椅子の周囲に「人」や犬猫などの「動物」が存在するのは必然的な状況と考える。したがって、人や動物を検知できるような衝突防止装置は必要である。現在、防犯用センサとして使われている焦電センサによる衝突防止装置の導入を検討中である。

Fig.3. Ultrasonic wave patterns reflected from human feet.

3．走行方向の制御

この章では、本報告の中心である「搭乗者の体の動きに合わせて走行方向を制御」するシステムについて述べる。

現在の電動車椅子の殆どは、ジョイスティックなどを操作することにより走行方向の制御が行われている。しかしながら、必ずしも、すべての高齢者が手足の機能を発揮できるとは限らない。高齢者によっては、手足以外を使って走行方向を制御できれば、電動車椅子を利用して自立した日常生活を過ごすことができる人々も多い。この研究は、このような人たちに供することを狙いに、移動したい方向を体の一部を使った動きで表現し、その動きをセンシングすることによって走行方向を制御する電動車椅子の開発を目的としている。すでに、視線の動きで走行方向を制御する電動車椅子が開発されている³⁾。これに対して、本研究では体が動く方向をセンシングして走行方向を制御する電動車椅子の開発を試みた。体が動く方向は、加速度センサによって比較的容易にセンシングすることが可能である。さらに、加速度センサであれば取り付け部位の制約も少ないので、検出する動作の選択にも自由度がある。ここでは、帽子（試作装置ではヘルメットを使用）に取り付けた加速度センサにて「頭部の動き」を検出し、走行方向を制御することを試みた。

頭部の動きを加速度センサでセンシングする方法としては、動きの加速度をセンシングする、傾斜角度をセンシングする、ことが考えられる。このうち、試作装置ではのセンシングを利用した。すなわち、傾斜方向で電動車椅子の走行方向を制御する方式とした。

3.1 頭部の傾斜角検出

センサとしてはアナログデバイセ社の加速度センサ ADXL202 を用いた。ADXL202 を選択した主な理由は、加速度と同時に傾斜角度をもセンシングできる点である。

センサと 1 チップマイコン（マイクロチップテクノロジー社製：PIC16F84）を組み合わせたセンサ回路を Fig.4 に示す。ADXL202 の原理と使い方については、テクニカルノート⁴⁾ に詳しく記載されているが、本試作装置と関連ある部分について、Fig.4 をもとに簡単に述べる。

ADXL202 は、測定範囲が $\pm 2g$ ・2 軸の加速度センサとして提供されている。このセンサを頭部の傾斜センサとして使用している状況について述べる。頭部の頂点に平面を想定する。この平面をセンサ平面と呼ぶことにする。この平面は、背筋を伸ばした状態で重力に垂直となる。さらに、Fig.5 に示すように、頭部頂点を原点とする $x y z$ の 3 次元座標系を考える。ここで、 z 軸の向きは反重力方

Fig.4. Block diagram for the tilt angle sensor.

Fig.5. 3-D co-ordinate system and the tilt angle.

向, x - y 平面は重力に垂直とする(地表に平行). また, 視線の方向を y 軸に, 右肩の方向を x 軸に選ぶ. この座標系において, ADXL202 をセンサ面上に取り付ける. このような状態で頭部を傾斜させるとセンサ面が x , y 軸に対して成す角度は, それぞれ x , y となり, センサ面に取り付けられた傾斜センサ (ADXL202) にて x , y を得ることができる. x , y を Fig.6 で説明すると, センサ面法線の x - y 平面への射影が y - z 平面と成す角が x で, x - z 平面と成す角が y となる. 傾斜センサの ADXL202 からはアナログとデジタル(デューティサイクル)で x , y が出力されている. 試作装置では 1 チップマイコンとの接続性に優れたデューティサイクル出力(周期 T_1 に対するパルス幅 T_2 の比)にて x , y を得ている.

ADXL202 のテクニカルノートでは, 傾斜角と Duty 比 (T_2/T_1) との関係が $x(y) = \sin^{-1}\{(T_2/T_1) - 0.5\}/0.125$ となることが示されている. この関係を図示したのが Fig.6 の曲線である. Fig.6 から, 重力に垂直な近辺と, 平行な近辺では感度が異なることが確認されるが, 重力に垂直(地面に水平)な $x(y)=0$ 近辺では直線で近似することができる. 実際, 頭部を鋭く傾斜させることは考えられないので, 傾斜角は $x(y) \pm 45^\circ$ の範囲を考慮すれば十

分で、この範囲において、傾斜角は Duty 比で直線近似することができる。

Fig.6 における は、測定値である。原点（水平）を移動させるならテクニカルノートで示される値に、ほぼ一致する。両者の差は、測定における水平度やセンサ固有の誤差によるものと推察されるが、センサを取り付けた帽子（試作装置ではヘルメット）を装着したとき、搭乗者が“水平”と判断した状態を原点として選ぶことになるので、この誤差は無視することができる。Fig.7 は測定値をもとに、傾斜角が $\pm 45^\circ$ の範囲で直線近似したもので、直線で十分近似できることを示している。

3.2 走行制御

傾斜センサのデジタル出力を 1 チップマイコンに入力すれば、マイコンが得意とするカウントアップ機能で容易に Duty 比が得られ、傾斜角 x (y) を検出することが

Fig.6. Output of the tilt angle sensor.

Fig.7. Linearity of the output data of the tilt angle sensor.

できる。そして、検出された頭部の傾斜角をパソコンに転送し、パソコンにて左モータおよび右モータの回転速度を設定し走行方向を制御する。具体的な記述は省き、制御の要点のみを以下に列記する。

(1) 不感帯の設定

頭部の僅かな傾きに応答して車椅子が走行するのは制御として不適であるので、不感帯を設けた。この不感帯は、車椅子に座ったときに初期設定動作の中で定めている。車椅子に座る姿勢は個人差があるので、センサ面の初期値を設定し、この初期値を基準面として Fig.8 に示すような立体角の範囲を定めて不感帯とし、センサ面の法線がこの範囲内にあるときは走行を停止させる方式としている。

(2) 走行制御

x と y から、左右のモータの回転方向と速度を設定している。速度は単に比率制御としている。

(3) 走行可能状態の検知

頭部を傾斜させても車椅子を走行させたくない場合があるので、車椅子が走行動作できるのは『背もたれに体を預けているときのみ』とした。背もたれに体を預けている状態は圧力センサによって検知する方式とした。なお、圧力センサを肘掛けに取り付ければ、肘掛けに腕を乗せているときのみ車椅子の走行を可能とすることができる。

Fig.8. Dead zone of control.

4. 試作結果

試作した装置を Fig.9 に示す。テストにより、ほぼ設計通りの制御が実現できることを確認した。今回の試作では傾斜角の検出に加速度センサを用いているので、走行中に振動によるノイズが発生することが懸念された。ADXL202 ではフィルタキャパシタ C_x , C_y (Fig.4 参照) によって帯域幅を設定することができる。試作装置では帯域幅を約 10Hz にすることによって、センサの応答性に対する要求を満たし、なおかつ、振動によるノイズを抑制す

ることができた。参考のため、走行中の振動による影響を測定した結果を Fig.10 に示す。測定は、試作した電動車椅子の座席に加速度センサを置き、車椅子を平坦な床面の室内で、小刻みに前進後退ならびに左右動を繰り返した状況での結果である。図の結果によるなら、振動による測定データ 3 で 5° 程度であり、殆ど無視することができる。と考える。

なお、試作した車椅子は室内での使用を想定しているので、走行中の振動による加速度センサへの影響調査は、床

Fig.9. A prototype electric powered wheelchair that moves toward the direction of the user's reclined body.

Fig.10. Suppression of vibration noise for the tilt angle sensor.

面が平坦な状況での測定に限定して実施した。また、静止時における測定データのバラツキ(電氣的ノイズ)は 3 で 1.5° であった。

現在、装置の試作が完了したところで、実際に高齢者の搭乗による評価がなされていないため、完成された段階にあるとは言えないが、「ヘルメットから帽子への変更」「帽子にはセンサのみ取り付け」を行い、センサ部を実用的なものにしたうえで、高齢者によるテストを重ね、実用化をめざしたいと考える。

5. おわりに

ここでは、安価な加速度センサとノートパソコンおよびその周辺汎用インターフェイスにて、搭乗者の体の傾きによって走行方向を制御する電動車椅子の試作について報告した。ほぼ、設計通りに動作することを確認したので、今後は高齢者による使用テストを行っていく考えである。試作装置の走行テスト状況については、ホームページ「<http://cuprite.daido-it.ac.jp/~endo/>」の動画で確認されたい。

高齢者介護に関しては我々にとって身近な問題であり、医療の進歩に伴い、ますます長寿化が進むことは必然である。近年、飛躍的に進歩を遂げた情報技術や電子情報技術を駆使して高齢者の自立に供し得る機器装置の開発によって、少しでも高齢化社会に貢献できれば幸いと考える。

(文 献)

- 1) 総務省統計局統計センタ: 日本統計年鑑, 第2章・人口世帯・将来人口推計 (2002)
- 2) 国立社会保障・人口問題研究所: 日本の将来人口推計, (2002)
- 3) 例えば, 伊藤智行, 松本吉央, 今井正和, 小笠原司: 顔と視線方向による電動車椅子の走行支援, 第18回ロボット学会学術講演会予稿集 (2000) 405.
- 4) ANALOG DEVICES: テクニカルノート, デジタル出力付き低価格 $\pm 2g$ ・2軸加速度センサー (2003)