

障害児のための全方向移動機器の開発

-第6報: 移動体験のための人追従システム-

Development of omnidirectional vehicle for a handicapped child

-6th Report: The function to follow person for the experience of the locomotion-

○ 町田康輔 (滋賀県立大) 安田寿彦 (滋賀県立大) 塚本卓也 (滋賀県立大)

西岡靖貴 (滋賀県立大) 高塩純一 (びわこ学園) 口分田政夫 (びわこ学園)

Kousuke MACHIDA, Univ. of Shiga Pref.

Toshihiko YASUDA, Univ. of Shiga Pref.

Takuya TSUKAMOTO, Univ. of Shiga Pref.

Yasutaka NISHIOKA, Univ. of Shiga Pref.

Junichi TAKASHIO, Biwako Gakuen

Masao KUMODE, Biwako Gakuen

Abstract: The child who has handicaps in the motor function is difficult to move independently. Our research group is building the omnidirectional vehicle, which supports children in the experience of the locomotion. If the children have severe handicaps, the experience of the locomotion may give frustration to the children, because the children cannot go to where they want to go. Therefore, this research has equipped an omnidirectional vehicle with the ability to follow the target person, in order that children with severe handicaps enjoy the experiences of the locomotion. We propose the method for yielding the command to follow the target, using the target person's position without body direction. The person following function has achieved the following movement like us, by means of the combination of the following movement by gyrating movement and the obstacle avoidance by the parallel movement.

Key Words: Omnidirectional vehicle, Kinect sensor, Person following, Obstacle avoidance

1. 序文

人間は成長していく過程で、まずハイハイをし、つかまり立ちをし、そして、歩行をはじめるといように幼少期に自立移動機能が急速に発達する。早期に獲得した自立移動機能をはじめとする運動機能を駆使することによって、幼児は周囲の環境に働きかけることが可能となる。幼少期の移動体験は、そのすべてがその後の行動に影響を及ぼすと言われるほど重要であり、ここで学習した「物事の原因」や「人との関わり」は認知や情緒などの心理的発達を促す。しかし、幼少期から運動機能に障害を持つ子ども達は自立移動することが困難であるために、周囲の環境に働きかけることが難しく、運動、認知、情緒といった様々な能力の学習が制限されてしまう。また、運動機能障害のために幼少期から介護を受け続けることによって、自主性を損ない受動的かつ依存的になる。さらに、思うように身体が動かないために、自らの行動で社会に働きかけることを失敗し続けた子どもは無気力になり、再び試みることを諦めてしまうことがある⁽¹⁾。このように幼少期の子どもの運動機能障害は運動することを妨げるだけではなく、心理的発達においても障害となると言われている。

このような状況を踏まえ、我々の研究室では、運動機能に障害を持つ子ども達が、単独で、もしくは介助者と共に移動体験できるような移動支援機器を製作している。移動支援機器によって能動的に周囲の環境に働きかけ様々な体験をすることで、自立移動が困難な子ども達の発達を支援することを目指している。

我々の研究グループでは、自由度が高く、直感的に操作することが可能な全方向移動機器を試作し、その移動能力を活かした移動支援システムを開発している。しかし、運

動機能に障害を持つ子ども達は、判断力・操作能力・環境の認識能力に大きな個人差がある。障害の度合いが重度で、操作能力の低い子どもが移動支援機器を操作すると、自分の思った通りに移動機器が動かず、子ども達にフラストレーションを与える移動体験となってしまうことがある。そこで、本研究では、運動機能に障害を持つ子ども達の中でも、とくに操作能力が低い子ども達が、介助者とコミュニケーションをとり、一緒に楽しみながら自発的に移動体験を行うことを目的として、全方向移動機器の高い移動能力を活かし、障害物を回避しつつ介助者を追いかける人追従機能の開発に取り組んだ。

2. 全方向移動機器の概要

本研究で試作した全方向移動支援機器の外観および主要諸元を図1および表1に示す。この全方向移動機器は、4つの駆動輪全てに、メカナムホイール TDAM-0083 (土佐電子製)を採用している。メカナムホイールを図2のように配置することで、「向きを変えずに平行移動する」全方向移動を可能としている。



Fig.1 Proposing omnidirectional vehicle

Table 1 Dimension and specifications

Outside diameter	700 [mm]
Weight	40 [kg]
The number of wheels	4
Drive motor	150 [W] × 4
Battery	24 [V]
Drive method	4 wheels drive
Maximum speed	4 [km/h]

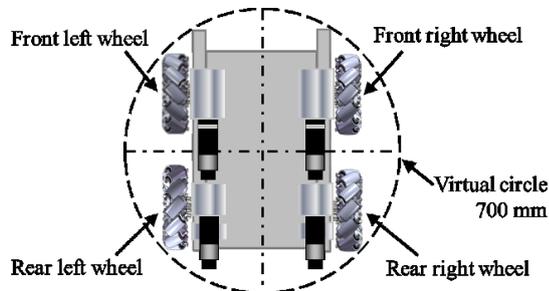


Fig.2 The layout of mechatronic wheel

3. Kinect センサによる環境情報取得

3-1 Kinect センサ概要

人を追従するためには、人を認識するセンサが必要となる。本研究では Microsoft 社製のゲーム用センサーデバイスである Kinect センサを用いて、移動機器周辺の環境情報取得を行った。Kinect センサは、32bit のカラー画像を取得することが可能な RGB カメラおよび三次元的に距離を測定できる深度センサによって構成されており、各機能を使用するためのライブラリである OpenNI を用いることで、三次元の距離情報の取得や、マーカーなしでのユーザの認識、ポーズの認識などの各種機能を使用することが可能である。Kinect センサの仕様を表 2 に示す。

Table 2 Specification of Kinect Sensor

Frame rate	30fps(15fps)
Resolution Width*Height	640*480
Viewing angle	H:58° V:48°
Sensing range (DepthImage)	0.5-20[m]

3-2 移動機器搭載時の問題

Kinect センサは本来、据え置きで使用するものであるが、本研究では移動機器に搭載し、移動しながら情報の取得を行うため、Kinect センサ自体も移動してしまう。このとき、OpenNI のユーザ認識機能は、人でない物体をユーザとして抽出してしまったり、同じ人物でもユーザ ID が定まらないことがあり、計測が不安定である。移動機器に Kinect を搭載して実施した実験から、全方向移動機器に Kinect センサを搭載し人を追従する機能を実現するためには、OpenNI に装備されているユーザ認識機能だけでは不十分であることが分かった。そこで、本研究では OpenNI のユーザ認識機能に、独自に作成した「オープンソースの画像処理ライブラリである OpenCV を用いた画像処理による追従目標の決定機能」を組み合わせて、人を認識する機能を開発した。

4. 人追従機能

4-1 基本構想

本研究では、人追従走行に障害物回避⁽²⁾を組み合わせたことによって、追従対象を回避しつつ介助者を追いかける機能を構築する。全方向移動を活かした回避を行うことで、

対象の方向を向いたまま追いかけるような健常者の追従動作に近い動きができると考えた。

障害者支援施設で実際に子どもが移動支援機器を使って移動体験を行っている様子を観察すると、移動体験中の子どもは、同伴者や周囲の人のリアクションに反応し、楽しんでいる。このことから、周囲の人とコミュニケーションをとりながら移動できる人追従機能は子どもにとって有効な移動体験を提供すると考えた。

移動体験に同伴している介助者は、幼児を楽しませるために体を大きく使っている。さらに、周囲の障害物を確認し、安全を確保しなければならない。こうしたことから、移動体験に同伴している介助者の身体の向きは大きく変化し続けることがわかる。したがって、リハビリテーションの現場で移動体験として追従を行う際には、介助者の顔や、身体の向きは利用せずに追従を行うことが必要である。本研究では、向きによらないシンプルな追従として「赤い服を着た人を追う」という規則を設けて追従を行う。この方法では、ユーザの向きが変わったり、手前の物体による隠れが発生しても、認識したユーザの一部に赤色の部分さえ見えていれば追従対象と認識し続けるので、リハビリテーションの現場に適した「向きに依存しない追従」である。

4-2 追従目標の決定

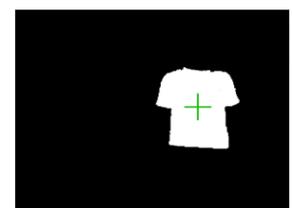
Kinect センサの人認識機能を用いて、画像 (図 3 (a)) 中の赤色の割合が最大のユーザを追従対象として抜き出す (図 3 (b)参照)。次に、追従対象の赤色部分のみを抜き出し、その画像重心を追従目標とする (図 3 (c)参照)。



(a) Original Color Image



(b) Extract target



(c) Center of red color

Fig. 3 Determination of a target

また、服の柄などの細かな赤色だけで赤色の画像重心を決定してしまうと追従目標の点がぶれてしまい全方向移動機器が不安定な移動をしてしまう。そこで、画面中の追従対象の面積における赤色部分の割合が 25% 以下の場合、追従を行わないようにした。さらに、一度追従目標を決定すると次のフレームからは、前のフレームにおける追従目標の周辺でのみ追従目標の探索を行う。この方法で追従目標を選択することによって、Kinect センサのユーザの誤認識に対応することができ、安定して同じ追従対象を追従することが可能となった。

4-3 追従指令の決定

Kinect センサによって、追従目標と移動支援機器の距離 L と進行方向の中心との角度 θ を取得し、追従指令の決定を行う (図 4 参照)。追従対象が一定の距離で、かつ、図 4

における 0° である「移動機器正面」にくるように移動機器を走行させることで追従を実現した. 図4に追従目標の位置による追従方法(旋回, その場旋回, 停止)を示す.

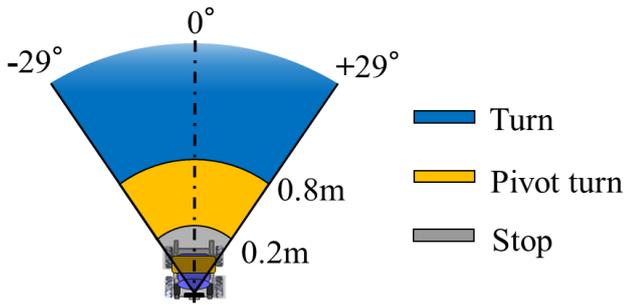


Fig.4 Following command by target position

駆動モータの回転速度指令は平行移動の出力指令 A と旋回の出力指令 S によって決定する. それぞれの車輪の回転速度指令 rl, fl, fr, rr は, 式(1)によって決定される. 全方向移動機器は各モータの出力指令値の位相を $\pi/2$ ずつずらすことにより, 全方向移動を可能としている.

$$\begin{cases} rl = A \sin(\theta + \frac{\pi}{4}) + S \\ fl = A \sin(\theta + \frac{3\pi}{4}) + S \\ fr = A \sin(\theta + \frac{5\pi}{4}) + S \\ rr = A \sin(\theta + \frac{7\pi}{4}) + S \end{cases} \quad (1)$$

式(1)における全方向移動の出力指令値 A は追従目標との距離 L により制御し, 旋回の出力指令値 S は全方向移動機器の中心線と追従対象の方向がなす角度 θ により制御する. 追従対象との距離を一定に保つために, 距離 L が離れるほど平行移動の出力指令 A を増加させることによって, 移動速度を大きくする. 出力指令 A を算出するにあたり, 加速開始距離 L_{min} を 800mm , 減速開始距離 L_{max} を 2500mm と定める. 平行移動の出力指令 A は,

$$A = \begin{cases} 0 & (L < L_{min}) \\ \sin\left(\frac{L - L_{min}}{L_{max} - L_{min}} \times \pi - \frac{\pi}{2}\right) \times 0.5 + 0.5 & (L_{min} \leq L < L_{max}) \\ 1 & (L_{max} \leq L) \end{cases} \quad (2)$$

によって算出する. 式(2)で与えられる平行移動の出力指令 A と追従対象までの距離 L との関係を図5に示す.

旋回速度も全方向移動機器の中心線と追従対象の方向がなす角度 θ によって旋回の出力指令 S を変化させることで, 移動機器が速やかに追従対象の方向を向くようにした. 旋回指令 S は次式によって算出する.

$$S = \begin{cases} \sin\left(\frac{\theta}{29} \pi - \frac{\pi}{2}\right) \times 0.5 + 0.5 & (0 < \theta \leq 29) \\ \sin\left(\frac{\theta}{29} \pi + \frac{\pi}{2}\right) \times 0.5 - 0.5 & (-29 \leq \theta < 0) \end{cases} \quad (3)$$

式(3)で与えられる旋回の出力指令 S と追従対象の角度 θ との関係を図6に示す.

式(2)および式(3)では, 追従指令の決定に三角関数を用いることにより, 静止状態から走行状態に移行する際に急な加減速を行わないようにした.

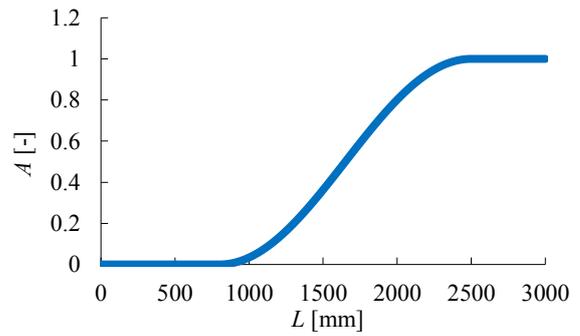


Fig.5 The relation between the distance L and the command A

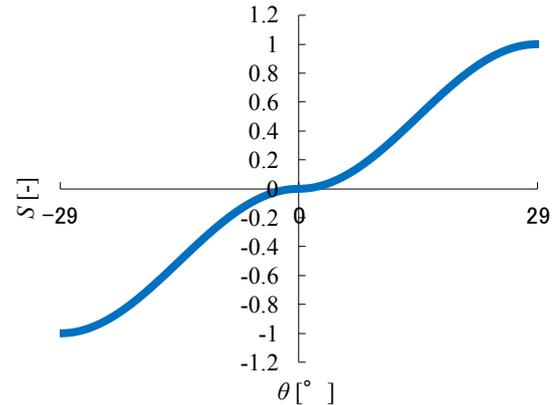


Fig.6 The relation between the degree θ and the command S

5. 平行移動による衝突防止機能

追従走行を行う際, 追従対象を見失わないことが非常に重要となる. 全方向移動を活かした衝突防止機能を利用すれば, 障害物が存在しても追従対象の方向を向いたまま回避が行えるため, 追従対象が視野内から外れることを防止できる. 図7に衝突防止機能のアルゴリズムの概要図を示す.

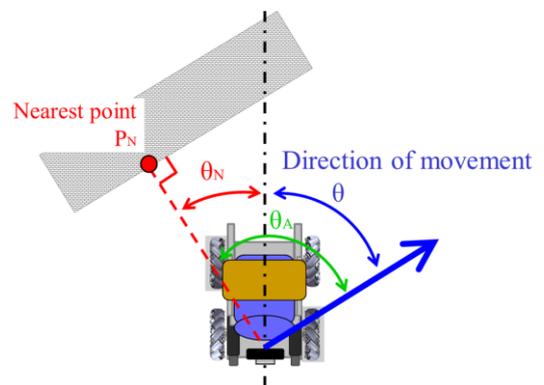


Fig.7 The explanatory diagram of collision prevention

Kinect センサを用いて, 障害物上の移動機器に最も近い点 P_N の座標を求め, その位置情報をもとに衝突防止機能を作成した. Kinect センサから P_N までの距離 L_N が L_{stop} (600mm) より近い場合は全方向移動機器を停止し, L_{avoid} (1000mm) より近い場合は回避を行う. 全方向移動機器の進行方向を θ , 「最も近い点 P_N とセンサを結ぶ線 (P_N 方向)」と「全方向移動機器の中心線」がなす角を θ_N , P_N 方向と進行方向がなす回避方向の角度を θ_A とすると, 進行方向 θ は

$$\theta = \theta_A - \theta_N \quad (4)$$

から算出する. 角度 θ_A が L_N の値によって 90° から 60° の間を線型に変化させることにより, 滑らかな回避を行う. すなわち, 回避方向の角度 θ_A は

$$\theta_A = \begin{cases} 90 - \frac{L_N - L_{90}}{L_{avoid} - L_{90}} \times 30 & (L_{90} < L_N < L_{avoid}) \\ 90 & (L_N \leq L_{90}) \end{cases} \quad (5)$$

により算出する. 障害物が近距離にあった場合でも確実に回避するために, これ以上近づくと回避方向の角度 θ_A が最大の 90° となる距離 L_{90} を 750mm と設定した. 図8に最も近い点までの距離 L_N と回避方向の角度 θ_A の関係を示す.

式(4)および式(5)で算出した θ の方向に全方向移動を行うことによって, 障害物を回避しながら追従対象を見失うことなく移動することができる. $\theta + \theta_N = 90^\circ$ のとき, 図9のように壁に対し平行に動くため, 壁沿い移動となる. 以上のことから, 衝突防止機能により, 壁に対しては壁を沿うように進行することができ, 障害物に対しては滑らかに回避することが可能となった.

6. 実機走行実験による検証

本研究で提案した人追従機能の有効性を検証するために, 試作した実機を使用して追従実験を行った. 前方に障害物を設置し, 障害物を回避しながら人追従を行なえたかを検証する. 追従対象の走行経路と追従の様子を図9に, 追従対象との距離 L の変化を図10に示す.

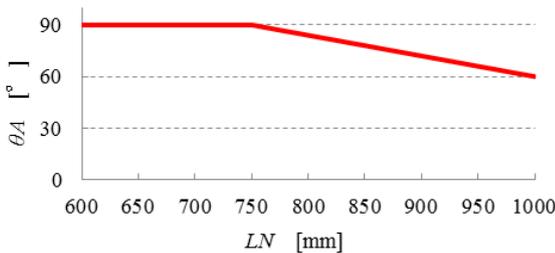


Fig.8 The Relation between the distance L_N and the degree θ_A

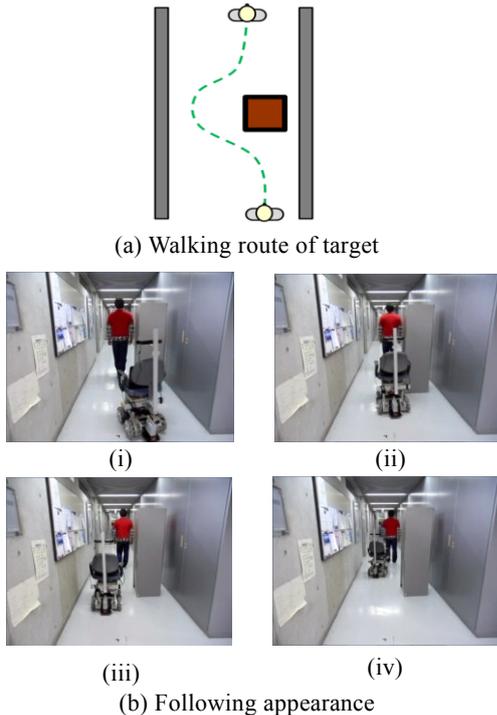


Fig.9 A following in the case of obstacles existing

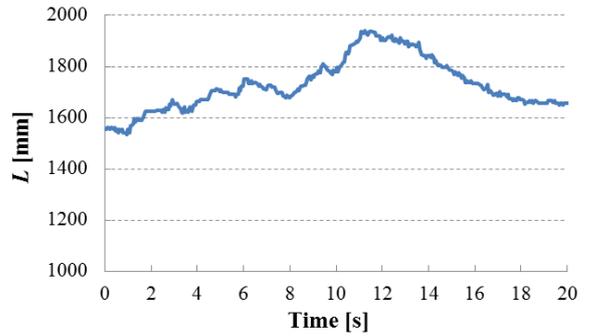


Fig.10 Changes of the distance L between the target and the vehicle

図9の追従の様子から, 開発した人追従機能は, 旋回移動による追従と全方向移動による障害物回避を組み合わせることによって, 追従対象の方向を常に向きつつ, 追従していることがわかる. また, 図10において計測開始後8秒あたりから急に追従対象との距離 L が離れてしまうのは, 障害物回避を行っていたために追従対象との距離を保つことができなかったからであると考えられる. しかし, 回避が終わった12秒付近から再び追従対象との距離 L が元の 1700mm 付近まで近づき落ち着いていることから, 問題なく障害物回避と追従を行なえていることが確認できる.

健常者が何かについていく場合, 追従対象の移動した経路を辿ってついていくことは少ない. 周りの障害物に接触することのないように気を配りつつ, 追従対象の方向を向いたまま追いかけるのが通常である. このようなことから, 本研究で開発した人追従機能の追従動作は, 日常で健常者が行っている追従動作に非常に近いものであることがわかる.

7. 結言

本研究では, 操作能力が低いためにこれまでの操作支援機器では満足に操縦できなかった子ども達が介助者と一緒に自発的に楽しみながら行えるような移動体験を行うことを目的として, 障害物を回避しつつ介助者を追いかける人追従機能の開発に取り組んだ. Kinect センサの人認識機能と OpenCV を用いた画像処理を組み合わせることによって, 身体の向き情報に依存しない人認識機能を構築した. この人認識機能により取得した追従対象の位置情報をもとに, 旋回移動による追従指令を決定し, 全方向移動による衝突防止機能と組み合わせることによって, 障害物回避時も追従対象の方向を向きながら追従することが可能となった. 健常者の追従動作に近く, 子ども達の移動体験に適したコミュニケーションのとりやすい追従を実現した. 例えば, 追いかけたいときのみ, ボタンを押すことによって, 操作能力が低い子ども達でも「追いかけてこ」が可能となる.

参考文献

- (1) 高塩 純一 他, 姿勢制御・粗大運動機能に障害をもった子どものための機器開発, ベビーサイエンス 2006.vol.6, 2006
- (2) 大島 章, 遊歩道を走るロボットや人間の後を追うロボットを開発 自律移動ロボットによる測域センサの活用, インターフェイス 第34巻6号 CQ出版社, 2008/6
- (3) 佐竹純二, 三浦 純, ステレオビジョンを用いた移動ロボットの人物追従制御, 日本ロボット学会誌, Vol.28 No.9, pp.1091-1099, 2010