

Title	建設現場における作業員付随ロボットの開発
Author(s)	大沼, 孝徳; 李, 根浩; 丁, 洛榮
Citation	第12回建設ロボットシンポジウム論文集: 129-134
Issue Date	2010-09-07
Type	Conference Paper
Text version	publisher
URL	<a href="http://hdl.handle.net/10119/9542">http://hdl.handle.net/10119/9542</a>
Rights	Copyright (C) 2010 日本ロボット工業会. 大沼 孝徳, 李 根浩, 丁 洛榮, 第12回建設ロボットシンポジウム論文集, 2010, 129-134.
Description	

# 建設現場における作業員付随ロボットの開発

○大沼 孝徳\*1, 李 根浩\*2, 丁 洛榮\*3

## Development of an assistive robot capable of accompanying a person for use on construction sites

○Takanori OHNUMA, Geunho LEE, and Nak Young CHONG

本論文では建設現場などで作業員に付随して、荷物や工具などを運び肉体的負担を軽減するための補助ロボットを開発した。このロボットは新しいインターフェースシステムによって容易な操縦性を実現することを目的としている。そのために、近接赤外線センサとそれを回転させるサーボモータを用いて使用者の下肢の動きを測定する。まず下肢の動きを測定するために下肢位置の正確な推定が必要である。開発したインターフェースシステムでは「Measurement step」、「Extraction step」、「Calculation step」の3段階を経て使用者の下肢位置を測定する。測定されたデータはモーションコントロールアルゴリズムを介して使用者の動きの推定に利用され、それにより得られた推定結果を基にロボットは使用者の動く方向や速度に協調するように駆動する。本研究の特徴は、使用者が何も身に付けることなく、且つ操縦装置を用いずにロボットを操作できることである。結果として、開発したロボットは使用者の動きに追従することを実験により示した。

キーワード：モバイル補助ロボット, 自然なインターフェース, 作業員追従, 容易な操作性, 建設現場

This paper presents the practical design and hardware/software implementation issues of an assistive mobile robot for use on construction sites. Specifically, the assistive robot is to transport medium and small size equipments or materials for construction tasks while accompanying a worker. Special focus is placed on how to allow easy operability and maneuverability for controlling the assistive robot by creating a natural human-robot interface. For the purpose, we develop a rotating infrared sensor system to detect the worker's lower limb movement. This paper details how to realize the observation and estimation algorithm through the use of the sensing system. Based on the lower limb location data, the motion planning algorithm is proposed to control the motion of the robot adapting to the worker's walking behavior. Through a series of experiments, the effectiveness of the proposed algorithms is verified. Our results so far have been satisfactory in the sense that the assistive robot can autonomously adjust its motion direction and velocity according to the worker's walking behavior without requiring any additional controls.

Key Words: assistive mobile robot, natural interface, accompanying robot, easy operability, construction sites

---

\*1 北陸先端科学技術大学院大学(JAIST) 情報科学研究科 博士課程

\*2 同研究員 博士(工学) \*3 同准教授 博士(工学)

## 1. 諸言

近年ロボット技術の進歩に伴って、様々な分野でロボット技術が応用されている。建設現場においても生産性の向上をはじめ危険な作業や汚れ作業の代行、苦渋な作業の負担などを目的に機器のロボット化や自動化が進められている。例えば、鉄骨玉掛外しロボット、コンクリート床仕上げロボット、建材ハンドリングロボット、外壁塗装ロボット、天井ボード貼りロボット、外壁タイルメンテナンスロボットなど、特殊な作業を行うロボットや、ビルなどの工事を対象とした自動施工システム、そして人間型ロボットと作業員が協調して作業を行う研究など、様々な機関によって開発・実用化されている。しかしながらこれら様々な建設ロボットや自動化システムが開発されても、建設現場においては作業員や技術者の熟練した技術が必要不可欠であるのが現状である。

そこで建設作業員に付随して細かい工具や材料、重たい道具や資材、電源装置などを運搬し、作業員をアシストするロボットを開発する。このアシストロボットを付随させることで一人当たりの作業員の作業効率が上昇し、建設作業全体の生産性向上につながることを期待できる。また開発するアシストロボットが作業や移動の邪魔にならないよう自然に付随することで、作業員は普段通りの作業を行うことができ、且つ「重たい荷物を運ぶ」、「かさばる工具を身につける」といった肉体的負担を軽減する。

本論文では開発した作業員に付随するアシストロボットのプロトタイプについて述べる。提案する車輪型作業支援移動ロボットは建設現場などの環境に対応するためコンパクトなサイズで開発し、取り回しがし易い全方位移動可能な機構とした。また近接赤外線センサを用い使用者の下肢位置を測定し、その情報を基に移動ロボットを駆動させる新しいインターフェースシステムを開発した。その近接赤外線センサを用いた下肢位置の測定方法を述べる。そして下肢位置のデータに基づき移動ロボットが駆動する方法を提案する。このシステムにより使用者が直接機器を操作することなく容易に移動ロボットをコントロールすることが可能である。最後に開発したプロトタイプシステムの有効性を確認するために実機実験を行った様子を示す。



Fig.1 Construction workers on site

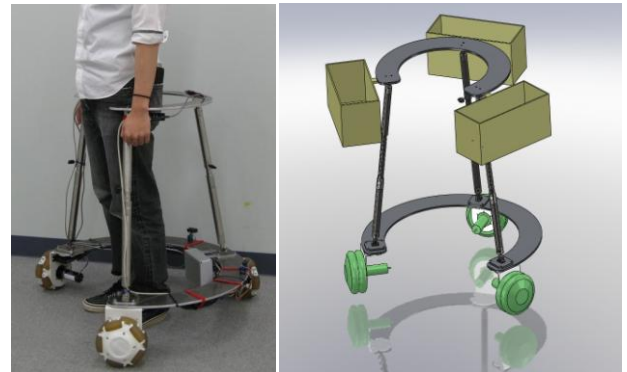


Fig.2 JAIST assistive robot capable of accompanying a construction worker

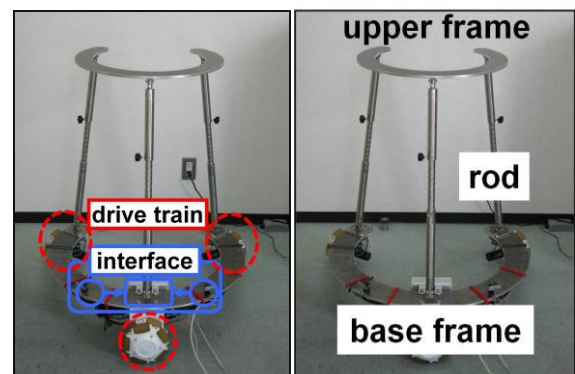


Fig.3 Mechanical structure of the assistive robot

## 2. 開発したロボットの構成

### 2.1 設計と構成

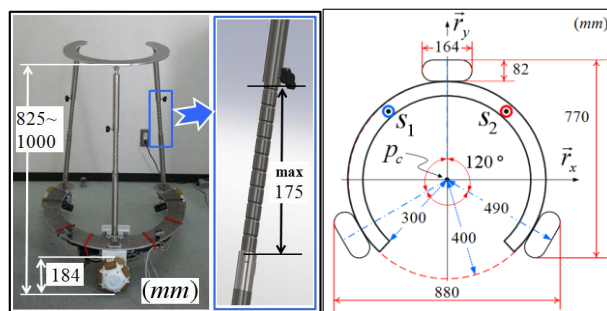
図 2 に開発した支援ロボットのプロトタイプの外観図を示す。円形フレームの中心部に使用者が入りロボットを使用する。図 3 に示すように支援ロボットはドライブトレイン部、インターフェース部、フレーム部より構成されている。フレーム部は上部フレーム (upper frame)、ドライブトレイン部やインターフェース部が設置される土台フレーム (base frame)、それらを結合する 3 本の支柱 (rod) より構成される。図 2 に示すように上部フレームや支柱部分に様々なアタッチメントを取

り付けることで、工具・道具入れを任意に配置することができ、また作業に使う電源の搭載や資材の運搬など様々な用途に使うことが可能である。図 4 に示すように全高は使用者の身長や好みに合わせた可変式で 825mm~1000mm、全幅は 880mm、全長は 770mm である。総重量は約 20kg で耐荷重は 75kg である。また全方位移動を実現するために直径 164mm のオムニホイールを移動ロボットの中心から等距離に  $120^\circ$  間隔で配置する。図 5 にドライブトレイン部の構成を示す。ドライブトレイン部は 3 つのオムニホイールユニットと Maxon 社製モータコントローラ (1-Q-EC DEC500/5)、それらを統合する 1 つの基板から構成されている。オムニホイールユニットは相愛社製のオムニホイールと Maxon 社製出力 120kw モータ、ギアヘッドから構成されている。オムニホイールユニットの最大連続トルク時最高速度は 6.58[km/h] であり、前後・回転移動時最大速度 5.70[km/h]、平行移動時最大速度 3.29[km/h] となり作業員を追従するにあたり十分な性能を有する。

## 2.2 インターフェースシステム

図 6 に支援ロボット全体のシステムについて示す。まず使用者の下肢位置をインターフェース部により計測する。得られた計測データはメインコントローラ (Laptop) に送られる。メインコントローラでデータを処理した後、使用者の動きにロボットが同調するようにドライブトレイン部に適切な速度が伝えられる。

図 7 にインターフェース部の構成を、図 8 にシステムフローをそれぞれ示す。インターフェース部は 2 つのセンサユニット、それらを統合するインターフェースコントローラである制御基板 (Atmel 製 ATmega128)、5V 電源より構成される。センサユニットは近接赤外線センサ (Sharp 製 GP2Y0A02YK) とその向きを変えるためのサーボモータ (MiniStudio 製 MiniSRB90) で構成され、センサの角度を  $0\sim 180^\circ$  まで任意に変えることが出来る。コントローラによりサーボモータの角度と、得られたセンサデータの A/D 変換を行う。それらのデータは RS232C でメインコントローラに伝えられる。図 9 に示すように 2 つセンサユニットを土台フレームに設置することで使用者の下肢位置を計測する。ここで 2 つのセンサを便宜上  $S_1$  と  $S_2$  と呼称する。 $S_1$ ,  $S_2$  はそれぞれ



(a) dimension (b) base frame

Fig.4 Specification of the base frame

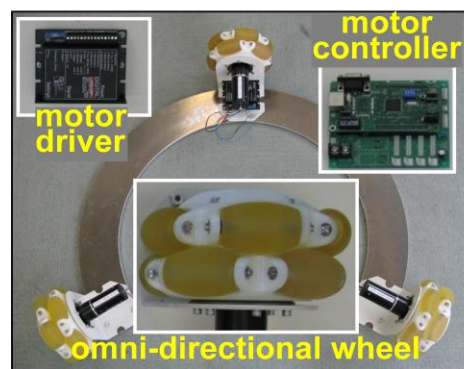


Fig.5 Wheel control system

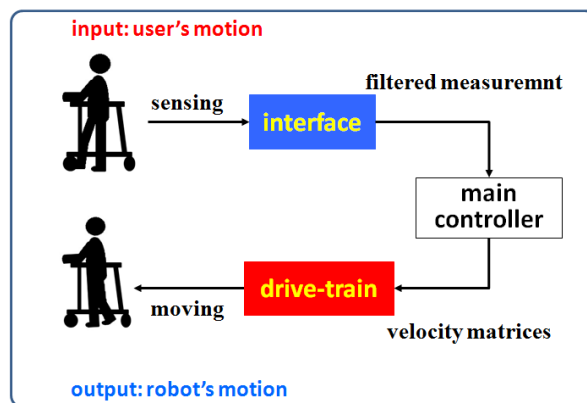


Fig.6 Schematic for the overall control flow

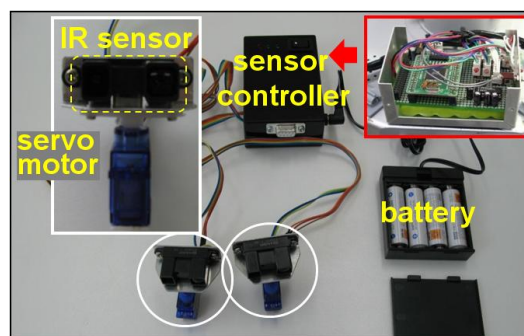


Fig.7 User interface system

れ図のように  $0\sim 60^\circ$  の範囲を測定する。センサの計測速度は最大  $300[\text{deg}/\text{sec}]$ であり、 $0\sim 60^\circ$  の測定には  $0.2$  秒要する。

### 3. コントロールアルゴリズム

#### 3.1 Observation Function

Observation Function とはインターフェース部により計測されたデータを基に足首の中心位置を計算する機能である。センサの測定によって足位置を特定するまでの過程を「Measurement step」, 「Extraction step」, 「Calculation step」と3段階に分けて説明する。

まず「Measurement step」では各センサを用いて足の脛側面を測定し、その生データである距離とその時の角度を記録する。図 10(a)はセンサ  $S_1$  を原点とした  $S_1$  座標系上で足の脛側面を測定した時の様子を示している。次に「Extraction step」では「Measurement step」で得た計測データに Sobel filter を用いることでエッジを抽出する。図 10(b)はその様子を示している。一定間隔で区切ったグリッド内に幾つのデータが格納されるかを調べ、格納されたデータ数が多いグリッドのデータ(距離とその時の角度)を再度記録する。最後に「Calculation step」では、図 10(c)に示すようにデータが格納されたとすると、この配列データから脛側面の両端のデータ( $d_{\max}$ ,  $d_{\min}$  と  $a_{\max}$ ,  $a_{\min}$ )が得られるので、それらの間に格納されている位置  $P_s$  の角度と距離( $c_{\text{ang}}$ ,  $c_{\text{dis}}$ )を計算することができる。そして図 10(d)に示すように  $c_{\text{ang}}$  と  $c_{\text{dis}}$ , 設定した足の半径  $d$  より足の中心位置  $P_l$  を求めることができる。 $S_2$  でも同様の過程で足位置データを求め、それらのデータは次の項目で説明する Motion Function の入力データとして用いられる。

#### 3.2 Motion Function

Motion Function とは Observation Function により求めた足首の中心位置を基に使用者の動きを支援ロボットの動きと同調させるための機能である。図 11 に示すようにロボット内部に  $600\times 700\text{mm}$  の空間を定義し、エリア I~VI を設定する。Motion Function では両足の中心位置がどこに存在するかによって移動モードを決定する。図 12 に示すように移動モードとして前進移動, 左右平行移動, 左右旋回移動, 停止の計 6 つを設定し、

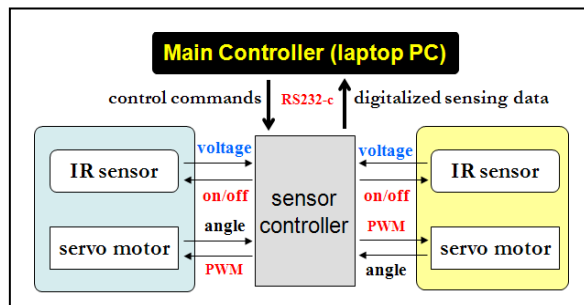


Fig.8 Control architecture of the user interface

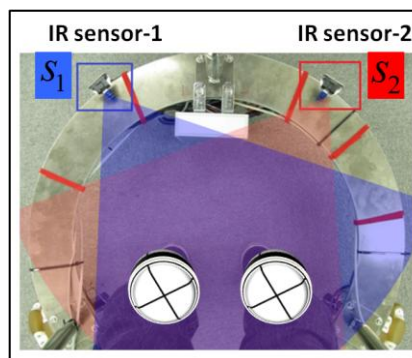


Fig.9 Lower limbs modeled as a cylinder

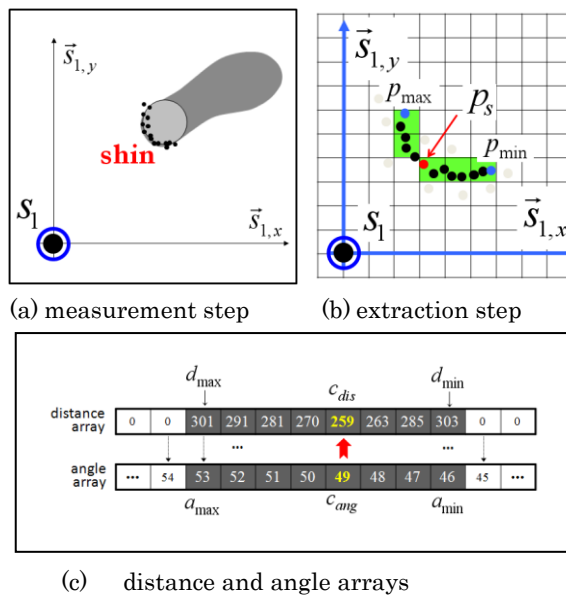


Fig.10 Illustration of the observation function

その組み合わせにより全方位移動を実現する. ある一定時間の間に足の中心位置がエリアをまたいだ時, そのエリア番号の数字の差で次のように移動モードが決定する.

- ・前進移動:過去のエリア番号から現在のエリア番号の数値を引いた値が-2
- ・左平行移動:過去のエリア番号から現在のエリア番号の数値を引いた値が-1
- ・右平行移動:過去のエリア番号から現在のエリア番号の数値を引いた値が 1
- ・左旋回移動:過去のエリア番号から現在のエリア番号の数値を引いた値が 2(左足の場合)
- ・右旋回移動:過去のエリア番号から現在のエリア番号の数値を引いた値が 2(右足の場合)

停止:過去のエリア番号から現在のエリア番号の数値を引いた値が 0.

またロボットは常に使用者の足位置と一定距離を保つように移動し, 右足がエリアIV, 左足がエリアIIIに来るように制御する. このようにエリアを設定する理由は, 測定エラーにより Observation Function で計算した足位置が実際の足位置からずれた場合でも, そのずれた先が同じエリア内ならば使用者の動きを阻害することなく, また支援ロボットのスムーズな動きを実現させるためである.

#### 4. 実験結果と考察

図 13 に歩行中の足位置を測定したテストの結果を示す. 図 13(a)~(c)は歩行の様子, (d)~(f)は Observation Function による足首の中心位置を測定した結果である. 小さな○印が足側面の近接赤外線センサによる計測データ, 大きな○印は足首の測定位置を表している.

次に長距離の使用者追従テストを行った. 図 14 に廊下の角を曲がる様子を, 図 15 に点線に沿って旋回する様子を示す. 実機実験により操縦装置を直接操作せずに使用者の動きに従ってロボットを全方位に移動させることができることを確認した. このときの歩行速度は約 0.5[m/s]である.

またロボットは移動時追従モードと作業時待機モー

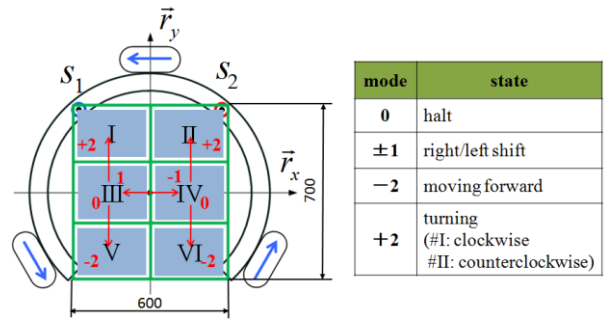


Fig.11 Motion control states

forward movement		$v_0 = 0$ $v_1 = v_2 = v_f$
parallel movement		$v_0 = v_p$ $v_1 = v_2 = 0$
rotational movement		$v_0 = v_1 = v_2 = v_r$
halt		$v_0 = v_1 = v_2 = 0$

Fig.12 Omni-directional movement states

	scene	observation by IR sensors
halt state		
forward state		
backward state		

Fig.13 Mobility results according to forward and backward movements

ドをスイッチ 1 つで切り替えられるように設定する。使用者が作業時にその場に止まる時、ロボットは待機状態となる。

## 5. 結言

本論文では、建設現場などにおいて作業員に付随するアシストロボットのプロトタイプを示した。建設現場などの環境に対応できるよう、取り回しのしやすいコンパクトで全方位移動可能なモデルを開発した。操縦装置を持たない新しいインターフェースシステムを提案、開発した。そして Observation Function, Motion Function を提案し、使用者の動きに同調するようにロボットが駆動することを示した。

## 6. 今後の予定

本論文では平滑な床面上で歩行実験を行ったが、今後は建設現場環境を想定し、段差を乗り越える機能や周辺環境の認識する機能を追加する予定である。また使用者を追従する能力を向上させるために、追従速度の向上が望まれる。そのために足位置の測定速度を向上させ、また正確な足位置推定する必要がある。

## 文献

- [1] 建築施工ロボットに関する調査研究報告書、(社)日本建築学会、材料施工委員会建築生産におけるロボット技術に関する小委員会、1989 年 3 月
- [2] ビル自動化施工システムに関する調査研究報告書、(社)日本建築学会、材料施工委員会建設生産自動化小委員会、1998 年 3 月
- [3] 人間協調・共存型ロボットシステム共同研究 平成 14 年度成果報告書、(財)新エネルギー技術開発機構、2003 年 3 月
- [4] 横山和彦、前田純一郎、五十棲隆勝、金子健二：「屋外共同作業への応用分野」、日本ロボット学会、製造科学技術センター共催、ロボットシンポジウム予稿集、2001 年 7 月

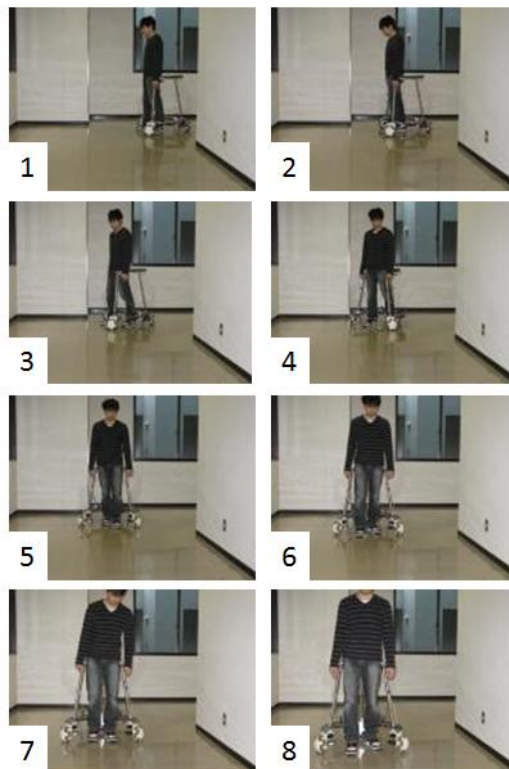


Fig.14 Forward and rotational movement around a corner in a hallway

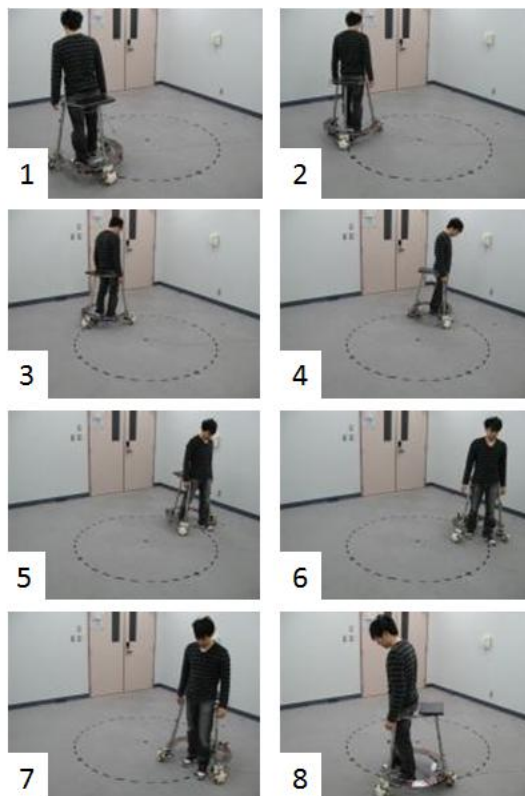


Fig.15 Rotational movement along a circular path