人間共存型ロボットの操作手法に関する研究（第3報） —ステップ・オン・インタフェースのための測域センサの性能測定—

Operation Method of Human-Friendly Robot (3rd report) -Characterization of Range Sensor to Realize Step-on Interface-

伊藤祐一（静岡大） 赤井孝輔（静岡大） 鈴木重央（静岡大） 正 松丸隆文（静岡大）

Yuichi ITO, Kosuke AKAI, Shigehisa SUZUKI, Takafumi MATSUMARU Shizuoka University

We are planning to develop HFAMRO-2 which can play with people using the step-on interface. Therefore we would like to improve the mobility performance and to replace the range sensor from HFAMRO-1. This paper shows the modified design of mobile unit which will be able to double the speed of movement. And it also shows the comparison between new range sensor and old one based on the results of performance measurements. The new sensor can detect and measure the stepped foot more precisely.

Key Words: Step-on Interface, Human-Robot Interaction, Range Sensor

1. はじめに

当研究室では、人間共存型ロボットの操作性の向上のためにステップ・オン・インタフェース（SOI）機能を、また親和性の向上のためにフレンドリ・アミュージング・モバイル（FAM）機能を提案し、SOIを搭載した移動ロボットHFAMRO-1（Human Friendly Amusing Mobile RObot）を2006年度に製作している[1][2]。SOI機能とは、搭載したプロジェクタで路面・床に操作画面を投影・表示し、所望する動作を示すボタンを操作者が足で踏むことで作業内容を指示する新しいインタフェースである。人のすぐそばで人の作業を支援するロボットでの利用を想定する。FAM機能とは、ロボットがその身体を動かして共存する人とインタラクションすることで、人を楽しませる機能である。

SOI機能を利用したFAM機能をもつHFAMROの一例として、「光踏み遊び」ロボットHFAMRO-2の開発を計画している。すなわち、(1)FAM機能を実現するために、全体重量が重く移動速度が遅いというHFAMRO-1の問題点を解決するために移動機構を改良し、(2)SOI機能を実現するときに操作者の足踏みを検知・検出するレンジセンサを新機種に変更する。そこで本稿は、移動機構の高速化設計と新たに搭載するレンジセンサの性能測定の結果を報告する。

2. 移動ロボット HFAMRO-1

HFAMRO-1の外観と仕様を図1と表1に示す。

2.1 移動機構（全方向移動機構）

HFAMRO-1の移動機構は、4組のオムニホイールをそれぞれエンコーダと減速機が一体となったDCモータでマイタギアを介して駆動する4輪駆動方式である（図2）。4組の駆動ユニットを90degごとに配置し本体に対して45deg斜めに設置することで、前進・後進・左並進・右並進時にすべてのモータに等しく負荷がかかるようになっている。ひとつのオムニホイールの車輪には120deg間隔で横滑りするローラが取り付けられており、ホイールを二つ組み合わせることで、車輪がどの位置で接地しても横滑りできる。マイタギアにはバックラッシュや騒音を抑えるためにスパイラルマイタギアが使用されている。

2.2 レンジセンサ（測域センサ）

操作者の足踏みを検知・検出するレンジセンサは北陽電機

Fig. 1 Outward Appearance of HFAMRO-1

Table 1 Specification of HFAMRO-1

Item	Specification
Size	450×450×960mm
Weight	46.7kg
Max. Speed	220mm/s, 0.87rad/s

（株）製のURGが使用され、これはロボット本体の下部に搭載されている（図3）。これまで搭載していたセンサの型番はX002S、新たに搭載するセンサの型番は04LXである。240degの測域範囲を682step（1stepが0.35deg）でスキャンし、測距範囲はX002Sが20～4095mm、04LXが60～4095mmである。距離情報は、RS232CやUSBを介してPCで取得できる。

3. 移動機構の改良

3.1 設計の方針と変更点

できるだけHFAMRO-1の構造を保って高速化することを考え、スパイラルマイタギアの減速比を1:1から2:1に変更する。これだけなら重量や寸法の増加を最小限に抑えることができる。

3.2 モータの選定

ギア比の変更によりモータへの負荷トルクが増大する。そ

(a) Back View
(b) Detail
Fig. 2 Mobile mechanism of HFAMRO-1

Fig. 3 URG sensor

ここですべての負荷が 2 つの駆動ユニットのみに加わる状態を想定し、このとき片方のユニットのモータへの負荷を計算した。ロボットが静止状態から動き始めるときに最大トルクが必要になるが、そのときでも、ギア比 1:1 から 2:1 への変更ならば、HFAMRO-1 で使用していたモータをそのまま使用できることを確認した。

3.3 HFAMRO-2 の移動機構

減速比の変更による 2 つの歯車の直径の変更にあわせて、軸と支持板を設計した。設計した駆動ユニットを図 4 に示す。構成要素や配置は HFAMRO-1 と同じである。

4. レンジセンサの距離精度の性能測定

4.1 測定目的

これまで搭載していたセンサと新たに搭載するセンサについて、距離精度を測定し性能や特徴を比較する。それにより足踏み検知・検出の確実性やインタフェースとしての操作性の向上を図る。

4.2 測定方法

測定の状況を図 5 に示す[3]。測定対象の大きさは仕様表に掲載されている対象物と同じく H70×W70mm とする。対象物の種類（色・材質）は黒色画用紙（黒色面）、白色画用紙（白色面）、白色発泡スチロール（粗表面）、銀色アルミ箔（光沢面）の 4 種類、対象物までの距離は 0.2, 0.5, 1.0, 2.0, 3.0, 4.0m の 6 種類、対象物の方位角（センサを上から見た右横方向を基準）は 30, 60, 90deg の 3 種類、対象物の斜角は 0, 30, 60deg の 3 種類に設定した。そのときの測定値を記録し、データ取得率、誤差の平均、標準偏差から性能を評価する。

4.3 実験結果

実験結果を表 2, 3 に示す。それぞれのセンサについて、障害物の斜角や方位角が異なる場合の測定値を、距離ごとにまとめたものである。これから得られる 04LX の特徴を示す。

(1) 色・材質による特徴

- ・白色面は、距離 2m までなら確実にデータを取得できる
- ・黒色面は、測定誤差は小さいが、測定範囲が狭い
- ・粗表面は、距離 2m までなら確実にデータを取得できる
- ・光沢面は、遠距離でも検出できるが、データ取得率が白色面、粗表面と比較して低い

(2) X002S との比較

- ・黒色面以外は、取得率・精度が向上
- ・近距離・遠距離ともデータ取得率が向上
- ・今回測定したすべての距離で、精度が向上
- ・斜角が大きくなったときの、データ取得率の減少率が小さい
- ・方向角が変わっても、精度が低下しない

4.4 実験のまとめ

白色面は、光がよく反射率してセンサに戻ってくるので、データ取得率が高い。黒色面は、光を吸収するので反射率が低く、距離が遠くなると測定不能になりやすい、と考えられる。粗表面は、白色面と同様にセンサに戻る光が多いのでデータ取得率が高い。光沢面は、反射率が高いが鏡面反射により反射した光がセンサに戻りにくいのでデータ取得率が低い、と考えられる。そこで SOI でセンサが検出する軌の場合には、黒色で反射しにくいものや光沢が強く特定方向のみに光が反射するものでなければ、2m 程度までを測定する状況では十分なデータが得られると考えられる。

X002S と比較すると、測定誤差が小さい点から、ボタンの踏み間違いによる誤動作の防止に役立つことが考えられる。また 04LX は遠距離にある物体の測定に優れているので、SOI においては操作画面を投影する範囲を拡大できることも考えられる。

5. まとめと今後の課題

SOI 機能を利用した FAM 機能をもつ HFAMRO の一例として計画している「光踏み遊び」ロボット HFAMRO-2 の開発のために実施した、新たに搭載するレンジセンサの性能測定と移動機構の高速化設計の結果を報告した。今後は、ロボットに搭載する PC やプロジェクタおよびバッテリーなどを選定し、ロボット全体の小型軽量化設計を進めてゆく。

Fig. 4 Modified design of mobile unit

文 献

- [1] 本多正剛, 赤井孝輔, 林民通, 松丸隆文: "人間共存型ロボットの遠隔操作に関する研究 (第 41 報) -HFAMRO のハードウェア構成の検討-", 2006 年度計測自動制御学会中部支部静岡地区計測制御講演会 (SICE-Chubu Shizuoka 2006) [静岡大学], 2D1, 2006.
- [2] 赤井孝輔, 本多正剛, 林民通, 松丸隆文: "人間共存型ロボットの遠隔操作に関する研究 (第 43 報) -HFAMRO のソフトウェア構成の検討-", 2006 年度計測自動制御学会中部支部静岡地区計測制御講演会 (SICE-Chubu Shizuoka 2006) [静岡大学], 2D3, 2006.
- [3] 林民通, 本多正剛, 赤井孝輔, 松丸隆文: "人間共存型ロボットの遠隔操作に関する研究 (第 42 報) -測域センサによる足位置検出の検討-", 2006 年度計測自動制御学会中部支部静岡地区計測制御講演会 (SICE-Chubu Shizuoka 2006) [静岡大学], 2D2, 2006.

Fig. 5 Experimental setup

Table 2 Experimental results of X002S

(a) Short range (0.2, 0.5m)

	White	Black	Rough	Gloss
Acquisition Rate	100	65.2	100	76.9
RMS of Error m	0.031	0.011	0.035	0.031
SD of Error m	0.0024	0.0055	0.0027	0.0039

(b) Medium range (1.0, 2.0m)

	White	Black	Rough	Gloss
Acquisition Rate	100	33.3	100	59.8
RMS of Error m	0.029	0.018	0.03	0.032
SD of Error m	0.0037	0.0069	0.0039	0.0057

(c) Long Range (3.0, 4.0m)

	White	Black	Rough	Gloss
Acquisition Rate	49.1	1.9	44.1	33.3
RMS of Error m	0.055	0.024	0.052	0.046
SD of Error m	0.009	0.0243	0.0086	0.0046

Table 3 Experimental results of 04LX

(a) Short range (0.2, 0.5m)

	White	Black	Rough	Gloss
Acquisition Rate	100	69.8	100	99.8
RMS of Error m	0.022	0.011	0.021	0.009
SD of Error m	0.0025	0.0037	0.0026	0.0035

(b) Medium range (1.0, 2.0m)

	White	Black	Rough	Gloss
Acquisition Rate	100	18.2	100	54.8
RMS of Error m	0.01	0.015	0.019	0.018
SD of Error m	0.0037	0.0035	0.0037	0.0038

(c) Long range (3.0, 4.0m)

	White	Black	Rough	Gloss
Acquisition Rate	65.9	0	68.2	32.8
RMS of Error m	0.028		0.035	0.021
SD of Error m	0.0045		0.005	0.0041