

経路発見ロボット

Hirota, Kaoru / ARIIZUMI, Yoshihiro / 有泉, 欣洋 / 廣田,
薫

(出版者 / Publisher)

法政大学工学部

(雑誌名 / Journal or Publication Title)

法政大学工学部研究集報 / 法政大学工学部研究集報

(巻 / Volume)

24

(開始ページ / Start Page)

69

(終了ページ / End Page)

78

(発行年 / Year)

1988-03

(URL)

<https://doi.org/10.15002/00003945>

経路発見ロボット

廣田 薫*・有泉欣洋**

Path Finding Mobile Robot

Kaoru HIROTA* and Yoshihiro ARIIZUMI**

Abstract

Path finding mobile robot which is controlled by one 8 bit microprocessor (MC 6808) and one ultrasonic sensor, is constructed and demonstrated. All the robot (ETW/ETS-18 HERO 1) has to do is to find a correct path according to the instruction given by an operator. A corridor in the university building is used as the experimental course. There exist several crossing points. The instruction to the mobile robot is a finite combination of fuzzy distance, shape of the crossing point, and the direction to go ahead. The robot finds a correct way based on a fuzzy matching between instructed fuzzy information and the observed fuzzy data. The maximum total distance from the starting point to the goal is about 1 kilometer (because of the battery limitation). A typical example of the experiment is also reported by several photos.

§1. 緒言

1950年から1960年にかけて、米国を中心に人間のような頭脳と機能を有したロボットの研究が活発に行われたが、当時の技術では、このようなロボットの実現は無理であり、手足の制御、視聴覚情報処理、推論技術などの個別技術を1つ1つ解決していかなければ到底不可能であることが分かった。そのため、1970年代になると、このような総合ロボットの研究から個別技術の基礎研究に移り、このような流れから産業用ロボットに代表される個別機能を持つ実用的ロボットが開発されるようになった。しかし、このようなロボットは、必要な動作を記憶して、ただ同じ動作を繰り返すだけのものであり、自分で次の行動決定を行うことができない。

これに対し、各種センサにより周囲環境を認識して、自らの意思で適切な動作を行うことができるのが知能ロボットである。近年このような知能ロボットの研究が再び活発になってきている。知能ロボットには、運動機能、知覚機能、知的情報処理機能、人間機械情報交換機能が必要とさ

* 工学部電気工学科計測制御専攻

** 大学院工学研究科システム工学専攻

れている。

知能ロボットを含めた人工知能の研究の多くのテーマは、計算機を使用して人間の知的機能を代行させるための方法論の研究¹⁾で、(1)計算機の知的利用法の研究(2)知能を理解する研究、に分類できる。著者らは、人間が日常行っている一生活行動をセンサ付移動ロボット HERO 1 を使用して再現することを試みた。

本論にはいる前に今回使用したセンサ付移動ロボット HERO 1 について説明する。ETW/ETS-18 HERO 1 は、米国の Heath 社が1981年に開発したものである。その外形を Fig. 1 に示す。HERO 1 は他の制御コンピュータを必要としない自律型ロボットであり、知的情報処理機能として、8ビットマイクロプロセッサ MC 6808 を使用し、知覚機能として光検出器、音検出器、超音波距離計、動き検出器の4つの検出器を頭部に搭載している。運動機能に関しては、前1輪駆動輪と後2輪による走行、頭部の回転、腕と手首の伸縮と回転の3つの機能、人間機械情報交換機能に関しては、ティーチングペンダント、音素の組み合わせによる発声機能、6桁のLEDディスプレイ、16進キーボード等が装備されている。

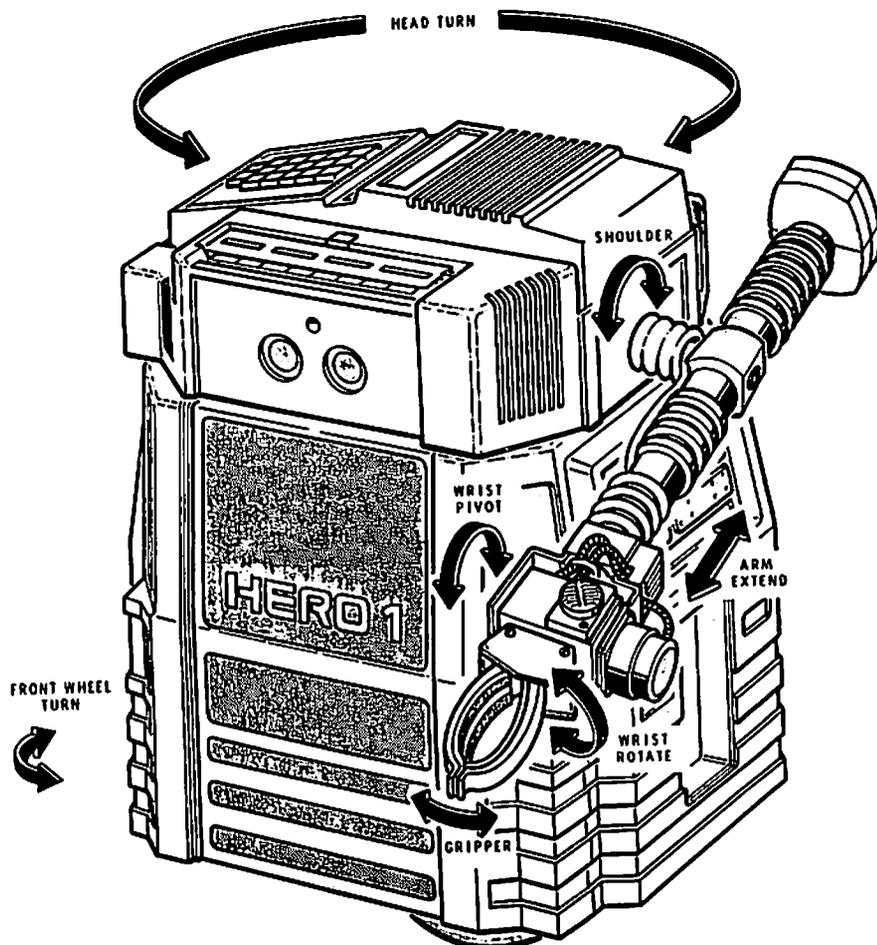


Fig. 1 センサ付移動ロボット HERO 1 の外見²⁾

§ 2. 経路発見ロボット

これまで一度も行ったことのない場所に行くのに、人に道順を尋ねて目的地に到達することは、日常生活においてよくあることである。これと同様なことを HERO 1 を使用して試みた。つまり、HERO 1 に経路情報を与え、独自の判断で経路を進み、あらかじめ設定した目的地に到達させることを目的とし、使用する経路は大学の建物内の廊下限定して実験を行った。HERO 1 に与える経路情報は、次の交差点までのおよその距離、次の交差点の形状及びそこでの進行すべき方向、という形式の情報を有限個組み合わせたものとする。また、交差点の形状と進むべき進路情報は間違いがない正しいものとし、交差点までの距離は、指示する人が感じたあいまいな距離で与えることにした。

ここであいまいな距離について述べる。自分がよく知っている道であっても、ある交差点から次の交差点まで何mかと聞かれた場合、なんらかの方法で測定した経験がない限り、正確な値を答えるのは極めて難しいように、人間個人の主観的な距離感と実測による距離には大きな隔たりがある。しかし、人間はあいまいな距離情報であっても十分に生かすことができる。これは、人間がこの種の距離情報を本質的にある程度あいまいなままで理解しているからである。このようなことを考慮した上で、具体的に何mと指示された場合でも、その前後にある幅を持たせ許容範囲を考えることにする。また、その許容範囲の幅は、その指定距離情報の信頼性により依存するものと考え、指定距離情報を3段階に評価した(Table 1 参照)。Table 1 に示すように、Vague つまり“自信がないが何m”という場合は、指定した距離に対して考慮すべき許容範囲を±50%に、Roughly つまり“およそ何m”という場合には、許容範囲を±25%に設定した。また、Clearly つまり“正確に何m”という場合には許容範囲を±12.5%に設定した。

また、一回で進める次の交差点までの距離は、建物の廊下を走行することを考えて最長30mとする。次に交差点の形状であるが、次に示す制約条件より、交差点が直交交差という条件より8種類の交差点を設定した。そして、各交差点での進むべき方向は、左、直進、右の三方向のうち進行可能ないずれか一方向を選ぶものとする。

Table 1 あいまいな距離の評価

Clearly	±12.5%
Roughly	±25%
Vague	±50%

HERO 1 の構造及び問題の簡略化から使用する経路に課した条件は、

1. HERO 1 の走行する地面は車輪が滑らない水平な面であること。
2. 経路の交差点は直角に交わっていること。
3. 超音波距離計による測定や走行の妨げとなる障害物を経路に設置しない。
4. 経路の両壁は均一な壁で覆われていること。
5. 道幅は 1.5m から 3 m 以内とする。

6. センサを乱すノイズが発生しないこと。
7. バッテリー容量の関係から全走行距離は1 km 以内とする。

§ 3. 位置の測定

HERO 1 が廊下などの直進経路に沿ってまっすぐ進むためには、ただ単にタイヤの方向をまっすぐにして駆動輪を回転させるだけでは不十分であり、現実にはそう簡単にはいかない。HERO 1 が、長い距離を直進するためには適度に軌道修正を行う必要がある。そのためには、HERO 1 は壁までの距離と壁に対する傾きを検出しなければならない。これらの情報は、頭部に搭載された超音波距離計を使用することにより得ることができる。ここで、注意しなければならないのは、HERO 1 の使用する超音波距離計は、超音波の性質により、壁に斜めに当たった時には十分な反射が得られず、距離を測定することができない。したがって、超音波距離計が壁に対してほぼ垂直になった時のみ測定を行うことができる。

超音波距離計を使った距離測定方法について一例を上げる。今 HERO 1 を壁に対して平行な位置に置いて、超音波距離計で測定しながら頭部を右回転させるものとする。最初は壁に対して斜めに入射するので距離が測定できないが、頭部がほぼ90度回転したときに、壁に対して垂直に入射するので距離を測定することができる (Photo 1-1, Photo 1-2)。また、右壁の側にやや傾



1-1



1-2



1-3



1-4

Photo 1 超音波距離計による距離測定

けて HERO 1 を置いた場合、右壁に対して平行に置いて壁を検出したときと比べて、頭部の回転角は小さい (Photo 1-3, Photo 1-4)。逆に左側に傾ければ頭部の回転角は大きくなる。このことから、頭部の回転角の大きさにより、経路に対してどの程度傾いているかを知ることができる。

§4. データ処理方法

前記の方法で壁に対する傾きと距離が測定できるのであるが、超音波距離計は分解能が悪いので、1点のデータではなく、複数個のデータを利用することにした。いま、HERO 1 を Photo 1-1 のように壁に対して平行に置き、頭部を右方向に回転させながら右壁までの距離の測定を行い、反射があったときの頭部の位置と距離を Table 2 に示す。

Table 2 右壁探査における頭部位置とその距離 (数値は16進表記)

Head position	87 89 8A 8B 8C 8E 8F 90 91 92 94 95 98 99 9A 9B 9D 9E 9F A0 A2 A3 A4 A7 A8
Distance	35 2F 2F 2E 2D 2A 2A 29 29 28 28 27 27 27 27 27 27 27 27 27 27 28 28

このデータを見て明らかなように、真横付近 (\$9F) に近づくにつれて反射角度の減少による誤差の減少と分解能が向上してくるので、同一の距離データが多く出現する。ここでは、一番多く出現した距離データをもっとも正確な壁までの距離とし、さらに検出した位置の代表値として、これら一連の距離データが出現した最初の頭部位置と最後に検出した頭部位置の midpoint を、検出した位置の代表値とした。

例えば、Table 2 のデータを整理すると Table 3 のようになり、ここでの壁までの距離は、もっとも多く出現した \$27 である。同様に検出した位置の代表値としてこの距離を最初に検出した位置 \$95 と最後に検出した \$A4 から

$$\$95 + ABS((\$A4 - \$95)/2) = \$9D$$

Table 3 頭部位置と距離の関係

Distance	Start	End	Count
\$27	\$95	\$A4	12
\$28	\$92	\$A8	4
\$29	\$90	\$91	2
\$2A	\$8E	\$8F	2
\$2D	\$8C		1
\$2E	\$8B		1
\$2F	\$89	\$8A	2
\$35	\$87		1

となり、\$ 9 Dを検出した位置の代表値とする。

§ 5. HERO 1 軌道修正方法

前章の方法により検出したデータにより (1) 壁に対して平行にする。(2) 壁からの距離を一定に保ちながら進む、の2点を目標として軌道修正を行う。最初に壁に対して平行になるように HERO 1 を僅かに進め、そして、壁からの距離に対して目標値 (壁から 30~40cm 程度) に近付くように HERO 1 を進める。

これらの修正方法で注意した点は、見掛け上なるべくスムーズに直進できるように、ステアリングをあまり大きく切らないようにした点である。また、センサより与えられるデータはその時のセンサの状態や床の状態で大幅に左右される。そのため従来の制御方法等で算出された数式による制御では、目的値よりかけ離れたりする可能性があったり、動きも細かく修正するのでスムーズさに欠ける怖れがある。よって与えられたデータは誤差を含むと考え、かつスムーズな動きを実現するために、各入力を一定の幅を持って解釈し、入力に対して正確な位置決めを行わず大体の位置決めで十分として、各入力に対して5段回の出力を用意し、中央値は広くした。以下に各修正値を示す。

5.1 経路に対する平行修正

壁からの距離修正を容易に行うために、壁に対する傾き情報から経路に対して平行になるように修正を行う。この修正による HERO 1 の位置ずれは、ほとんど無視して良いほど小さい。大きく傾いているときは、本動作を繰り返して経路に対して平行になるようにする。Table 4 は、HERO 1 を経路に平行な位置において測定した時の頭部位置を基準としたものである。Steering

Table 4 経路に対する平行修正法

Class	Head Posion	Steering	Drive step
5	\$ B2 —	\$ 59	\$ B
4	\$ A E—\$ B1	\$ 56	\$ C
3	\$ A A—\$ A D	\$ 53	\$ C
2	\$ A 6 —\$ A 9	\$ 50	9
1	\$ A 2 —\$ A 5	\$ 4D	9
0	\$ 9C —\$ A1	\$ 47	0
- 1	\$ 98 —\$ 9B	\$ 47	9
- 2	\$ 94 —\$ 97	\$ 44	9
- 3	\$ 90 —\$ 93	\$ 41	\$ C
- 4	\$ 8C —\$ 8F	\$ 3E	\$ C
- 5	—\$ 8B	\$ 3B	\$ B

は、ステアリングの切る方向 (左折 \$00—右折 \$93), Drive step はその時の駆動輪の回転ステップ数である。

5.2 壁からの距離修正

壁からの距離を修正するために、Table 5 にしたがって修正を行う。Table 5 は右壁を基準としたもので、左壁が基準の場合は、ステアリングを切る方向を反対にする。そして、駆動モーターを \$60 ステップ回転させて前進する。また、この動作を行うと壁に対して傾いてしまうので、この動作を行ったあと反対方向にステアリングを僅かに切って前進し、修正を行う。

Table 5 壁からの距離修正表

Class	Distance	Steering
5	\$6E—	\$54
4	\$68 —\$6D	\$52
3	\$62 —\$67	\$50
2	\$5C—\$61	\$4E
1	\$56 —\$5B	\$4C
0	\$4A—\$55	\$4A
-1	\$44 —\$49	\$48
-2	\$3E—\$43	\$46
-3	\$38 —\$3D	\$44
-4	\$32 —\$37	\$42
-5	—\$31	\$40

§6. 交差点検出方法

前記の方法より HERO 1 は直進を行い交差点に近付く。交差点の存在すると思われる地点の手前まできたら、壁のない側に超音波距離計を向けて走行中も壁までの距離を検出させて壁の有無を調べる。走行中に反射がなくなったならば、交差点と考えて交差点の形状判断を行う。

§7. 交差点形状判断方法

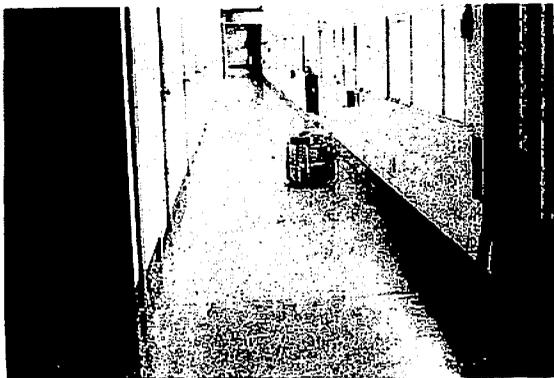
交差点を検出したら交差点の形状判断を行い、検出した交差点が与えられた交差点と一致するかどうか比較する。判断方法は、左側 (頭部位置 \$00—\$41), 正面 (\$42—\$77), 右側 (\$78—\$C0) の三方向に壁がないかどうか超音波距離計を使用してそれぞれの区間を調べ、壁の有無により交差点の形状を判断する。

この方法では、経路に対して 45° 以上傾いていると判断できない。しかし、HERO 1 が経路に対して 45° 以上傾くことはほとんどないので、それは無視してよい。

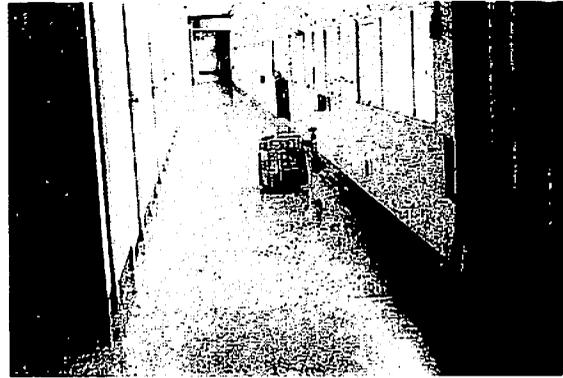
交差点形状を判断したあと、与えられた交差点形状と一致した場合は、指示された方向に進み、違っていた場合は、直進が可能であるなら直進し、進む方向が1通りしかないのならその方向に進み、再び交差点を捜しながら直進する。

§ 8. 運用結果について

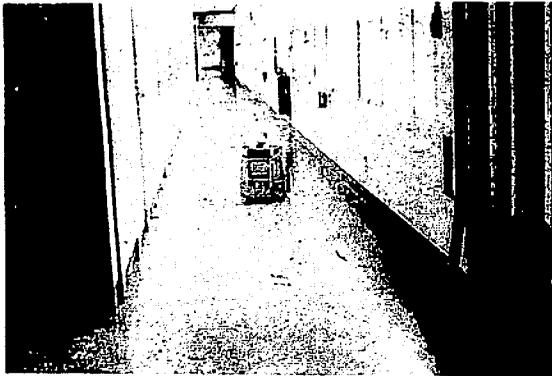
運用結果の一例を Photo 2 に示す。最初に HERO 1 は壁までの距離と壁に対する傾きを検出し (Photo 2-1, 2-2), 次に壁に対して平行になるように前記の方法で傾きを修正する (Photo 2-3)。さらに、壁からの距離を修正するために、車体を傾けて前進する (Photo 2-4, 2-5)。これを繰り返して前進する。また、この時駆動モータの回転ステップ数から、進んだ距離をカウン



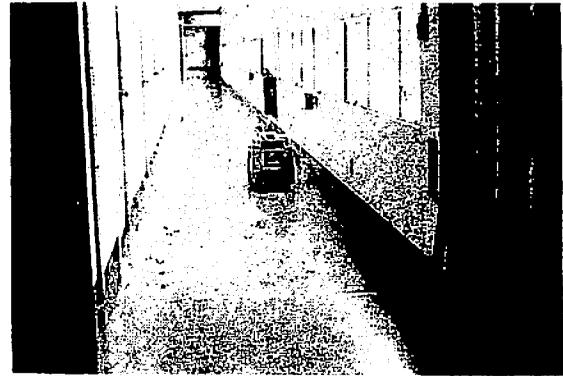
2-1



2-2



2-3



2-4



2-5



2-6



2-7



2-8



2-9



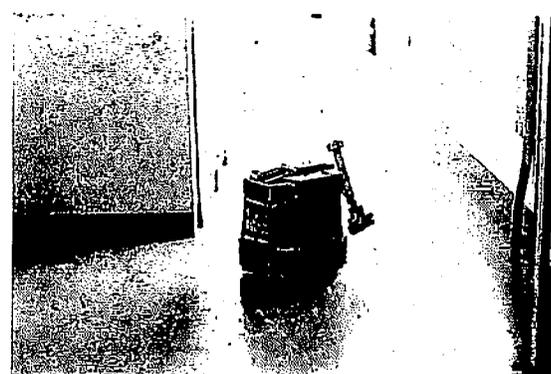
2-10



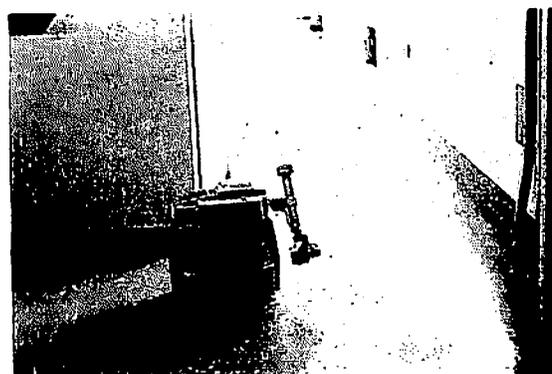
2-11



2-12



2-13



2-14

Photo 2 運用結果

トしていき、交差点であると推測される地点の手前まで来たと判断したら、壁のない方向に頭部を向けて、壁の有無を検出しながら走行し (Photo 2-6, 2-7, 2-8), 反射がなくなったら交差点と判断して周囲の壁の有無を調べて交差点の形状を調べる (Photo 2-9, 2-10, 2-11)。そして、形状が一致したらその方向にステアリングを切り、方向転換を行う (Photo 2-12, 2-13, 2-14)。

実際問題として、床の微妙な凸凹により HERO 1 のステアリングがとられてしまうなどの諸問題より、若干蛇行しながら進むが、見かけ上ほぼ直進することが可能となった。

§9. 結 言

筆者らはセンサ付移動ロボット HERO 1 を使用して、日常生活における一生活行動の再現を行った。本実験を行うに当たっていくつかの制約条件を設けたが、この種の経路走行ロボットの多くはセンシングテープによる誘導やロボット専用設計された特別な経路を使用したものであることを考えれば、超音波距離計のような低レベルのセンサを使用し、独自の判断で走行できる本実験は十分な成果があったと言えよう。しかし、テーブルによる修正を行っているので、正確な修正が行いにくいなど幾つかの問題点もある。今後はより良い直進法などの改善を進めていく。

参 考 文 献

- 1) 戸貝方規：知能ロボット・システム，マグローヒル，pp. 8 (1986).
- 2) Heath Company 編：ET-18 Robot User's Guide, pp. 16 (1982).
- 3) 加藤秀樹：あいまい情報による経路判断知能ロボットに関する基礎研究，卒業論文，(1984).
- 4) 廣田 薫：あいまい制御知能ロボットマグローヒル，(1985).
- 5) 廣田 薫：ファジィロボット，数理科学 1987年1月号，サイエンス社，pp. 70/74.
- 6) K. Hirota, Y. Arai, S. Hachisu, Y. Ariizumi: Fuzzy Controlled Intelligent Robot, *Preprints of Second IFSA Congress*. Vol. 2 (Tokyo) 20-25, July, 1987, pp. 823/826.