

Pebbles: 自律ロボットの移動経路をデザインするタンジブルデバイス

石井 健太郎 米 海鵬 馬 雷 Natsuda Laokulrat 稲見 昌彦 五十嵐 健夫*

概要. 本論文では、専門知識を持たないユーザが、ロボットが目的地まで移動するための経路をデザインする手法を提案する。ユーザは Pebbles と呼ぶタンジブルデバイスを環境内に設置することによって、ロボットが移動すべき経路を構築することができる。各デバイスは、赤外線通信機構を備えており、互いに近接情報を交換しあうことによって、トポロジネットワークを構築する。ロボットはトポロジ情報を用いて移動を計画し、デバイスからの信号を頼りに経路地の方向を知ることができる。設置の際に、互いに見通しがとれていることを保証するために、LED と音声を用いたユーザフィードバックを備えており、これにより専門知識を持たないユーザでも正しい場所にデバイスを設置することができる。また、ロボットが移動する目的地には、タンジブルデバイスを置くこととなるため、その場所を示す名前とロボットが理解するデバイスの ID を対応付けることが容易で、ユーザが場所を指定する際に自然な名前に基づいて指定することを可能にしている。ユーザスタディを行い、用意したユーザフィードバックが専門知識を持たない実験参加者をサポートすることにおおむね役立ち、ロボットが移動できるようデバイスの設置を行うことができることを示した。また、実験参加者から得られたフィードバックをもとに議論を行う。

1 はじめに

家庭やオフィスに自律移動可能なロボットが導入されることによって、利便性を得ることが期待できる。例えば、カメラを搭載したロボットを特定の場所に送り、その場所の画像を取得するというように環境情報を集めてくることや、飲食物を他の人に届けるといったことが可能となる。しかし、このようなロボットに、目的の場所やその場所に到達するまでの経路を登録するのは簡単なことではない。一方、家庭やオフィスのエンドユーザが特定の場所を指定する際には、その場所の名前を選んで指定するというシンプルな操作で、目的の場所を指定することが求められる。本論文では、上記の目的地・経路の登録と利用時の目的地の指定を、ともにシンプルに行う手法を扱う。

ロボットが目的地までの経路を知るために環境情報を取得する方法にはいくつかの分類が考えられるが、本研究ではロボットが自動で取得する方法と環境に移動経路や位置計測のための装置を配置する方法の2つに分けて考える。ロボットが自動で環境情報を取得する方法は、SLAM に代表される自動で地図を構築する手法 [1] を用いる方法である。ロボットは搭載されているセンサに基づき環境内を移動することで、環境中の移動可能な領域を取得する。この方法は、ユーザの手間はかからないが、できあがっ

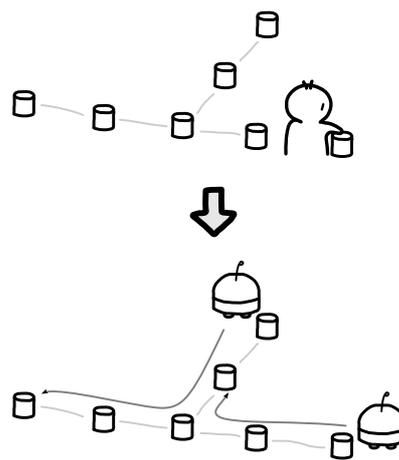


図 1. Pebbles 利用イメージ

た地図の表現は典型的にはロボットが移動可能な 2 次元の座標集合であり、ユーザにとって自然な場所の指定方法である「キッチン」といった場所の名前との対応関係の登録は別途行わなければならない。本論文では、この場所と名前の対応付けのことをラベリングと呼ぶ。また、地図構築の際にロボットは探索的に環境内を移動するため、ユーザが望まない領域にもロボットが侵入する可能性がある。

一方、環境に移動経路や位置計測のための装置を配置する方法には、レールやライントレース用の線といった物理的なガイドを設置する手法・ロボットの位置を外部から計測できる装置やロボットが自己位置を計測するための識別タグを環境に設置する手法が考えられる。物理的なガイドを設置する手法は、環境全体の地図は必要とせず、ガイドの示す経路を

Copyright is held by the author(s).

* Kentaro Ishii, Haipeng Mi, Lei Ma, Natsuda Laokulrat, and Takeo Igarashi, 東京大学 / 科学技術振興機構 ERATO 五十嵐デザインインタフェースプロジェクト, Masahiko Inami, 慶應義塾大学 / 科学技術振興機構 ERATO 五十嵐デザインインタフェースプロジェクト

局所的に辿ることで、ロボットは目的地まで到達することができる。外部からの計測装置や自己位置計測の識別タグを設置する手法は、別途環境全体の地図が必要であり、計測装置の設置者が手動で入力するが多い。これらの手法は、装置の設置と同時に、設置者が場所の経路や座標と名前の対応関係を登録することができ、ラベリングに手動で対応することができる。しかし、これらの計測装置の設置には、専門的な知識が必要であり、家庭やオフィスのユーザが容易に行えるものではない。また、部屋のレイアウト変更によってロボットが移動可能な領域が変化した際には、再度の専門家による設置・登録作業が必要となる。

本論文では、Pebbles と呼ぶタンジブルデバイスを環境に置き、デバイスから送出される信号を頼りにデバイスの場所までロボットを移動させる手法を提案する(図1)。Pebble同士は互いに赤外線通信を行い、直進性の高い赤外線信号が届くことはデバイス間の見通しがとれていることを意味し、ロボットが移動できる空間があることを保証する。提案手法では、Pebbleを置いてある場所ならどこでもロボットを移動させることができ、ユーザはロボットを移動させたい目的地とそこに到達するまでの経路にデバイスを設置する。この際、ロボットが移動する目的地には必ずPebbleを置くため、装置のIDとその場所の名前を対応付けるラベルを用意することで、自然にラベリングを行うことができる。具体的には、ユーザは目的地の名前を記したラベルを、ロボットに付属する場所指定の数字のボタンに貼ることで、配置したPebbleのIDに名前を対応付けることができる。ユーザがロボットに場所を指示するときには、設置の際に付与したラベルを参考にして数字のボタンを押すことができ、場所の名前さえわかれば目的地をロボットに伝えることができる。また、ロボットはPebbleに沿って移動するため、ユーザが望まない領域にもロボットが侵入することを明示的に避けることができる。さらに、ユーザの設置作業は、隣接する装置の信号が届く位置にPebbleを並べるだけであり、隣接確認はPebbleのLED・ロボットの音声によって行われるため、専門的な知識を必要としない。また、ロボットが移動可能な領域が変化した際も、該当箇所のみPebbleを置き直すことによって、再度の設置作業は完了する。

本論文の貢献は、自動的なトポロジ構築・経路探索の技術ではなく、多くのユーザに実行可能なロボットの環境構築手法を示すことと、そのユーザのわずかな作業によってロボットが任意の目的地まで自律移動可能になることを示すことにある。

2 関連研究

ロボットの自己位置と活動する環境を同時に取得する手法であるSLAMが広く研究されている。環

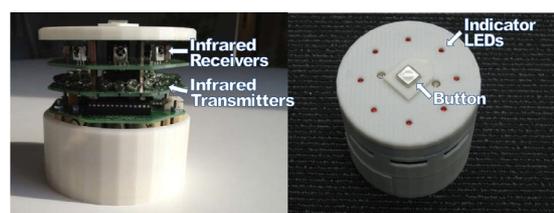


図 2. Pebble のハードウェア

境を計測する手段としては、超音波 [1]・レーザ [2]・カメラ画像 [3] のように多様なものがある。

環境に外部から位置を計測できる装置としては、Ubisense が挙げられる [4]。また、環境に自己位置を計測するための識別タグを設置する手法としては、Saito らの手法が挙げられる [5]。いずれも位置計測の手法であり、ロボットが自律移動するためには環境の知識が必要となる。

環境に小さなビーコン装置を配置して、位置を計測する手法は過去に提案されている。ただし、いずれもロボットが装置を配置する [6]・ロボット自体がビーコンの機能をはたす [7] というものであり、家庭やオフィスのユーザが設置可能だという議論はなされていない。

提案手法は、ロボットが自律移動で用いる内部表現を積極的に物理的なデバイスに反映しようとするものであり、タンジブルビッツ [8] の考えを参考にしている。タンジブルであることが、ユーザが実世界の場所をシステムに伝えるシンプルな手段を提供し、その結果、専門的な知識を持たなくとも利用できるという提案手法の特徴を生み出している。

3 Pebbles

3.1 デバイスハードウェア

Pebble は、赤外線送信機として 24 つの赤外線 LED とリモコン受光部として利用されている 8 つの赤外線受信機を備えている(図2)。24 つの赤外線 LED は全周囲をカバーするように配置され、赤外線信号は一斉に送信される。8 つの赤外線受信機も同様に全周囲をカバーするように配置され、全方位からの赤外線を受信する。赤外線通信は 5m までの距離ならば、安定して行うことができる。Pebble の上部には、ボタンと通常の LED とボタンが配置されている(図2)。ボタンによりユーザの入力を受け付けることができ、LED によりユーザへのプリミティブなフィードバックを提示することができる。

3.2 Pebbles の設置

ロボットは、Pebble の隣接情報を基に経路を計画し、Pebble から送信される赤外線信号を頼りに移動する。そのため、各 Pebble は、必ず 1 つ以上

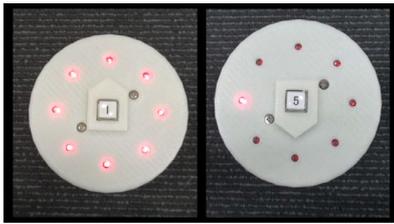


図 3. LED フィードバック: 送信側 Pebble と受信側 Pebble は同期して LED を点滅させる. 送信側 Pebble (左図) はすべての方向に信号を送出するためすべての LED を点滅させ、受信側 Pebble (右図) は信号を受信した受信機に対応する LED のみを点滅させる.

の他の Pebble と通信を行える状態で孤立することがないように設置される必要がある. Pebble 同士の見通しがとれるように設置するのはユーザに任せられた作業であり、本システムはユーザが隣接関係を確認するために、LED フィードバックと音声フィードバックの2つのユーザフィードバックを備えている.

LED フィードバックは、Pebble に備え付けられた赤外線 LED により隣接関係を示すもので、信号を送信または受信したタイミングで、対応する方向の LED を短く 2 度点滅させる (図 3). これにより、信号を送信した Pebble とその信号を受信した Pebble は同期して点滅するため、信号が届いているかの確認を行うことができる. 音声フィードバックは、ロボットに搭載しているスピーカから、“I can locate #3, #2, and #5.” といった到達可能な Pebble の ID を列挙することによって行われる. ユーザは、期待通りに Pebble が観測されているかを確認ことができ、期待とは異なる場合、どの Pebble との通信が行われていないかを知ることができる. ロボットがどの Pebble から信号を受信できない場合には、“I cannot see any pebble.” と発声し、ユーザに Pebbles の再設置を促す.

ユーザは、以上のフィードバックをもとに Pebble が通信を行えていることを確認しながら、ロボットの利用を始める前に、ロボットを移動させたい場所とその場所に到達するまでの経路に Pebble を配置する必要がある. 例えば、図 4 のように配置した場合には、上中央の部屋を除いたすべての部屋にロボットを移動させることができる. この場合、上中央の部屋にロボットが侵入することを、明示的に避けることができる.

環境のレイアウト変更や移動経路にもものが置かれるといったことのために、移動経路を変更する必要がある場合には、ユーザは該当する Pebble を置き直す必要がある. Pebbles は一定間隔で信号の送信を繰り返しており、置き直しによるトポロジの変化を自動的に検出してネットワーク情報を更新する.

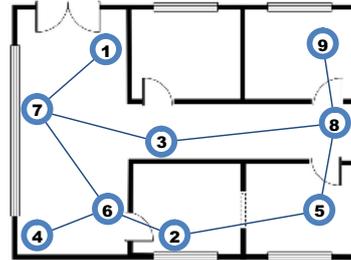


図 4. Pebbles 設置の例

このため、移動経路を変える場合の再設置は、初期設置と同様に各 Pebble が他の Pebble と通信を行えることを確認しながら置き直すだけでよい.

家庭やオフィスにおいて目的地に対して行われるラベリングには、固定・半固定・動的の3種類があると考えられる. 固定の目的地とは、「キッチン」・「玄関/入口」・「ミーティングルーム」といった、1 度設定してしまえばその名前に対応する場所が変化しない目的地のことである. 半固定の目的地とは、「ダイニングテーブル」・「ソファ」・「〇〇さんのデスク」といった、基本的には固定だが、レイアウト変更などによって、設定後その名前に対応する場所が変化し得る可能性がある目的地のことである. 動的な目的地とは、「お父さん」・「〇〇さん」といった常に移動するユーザに対して与えられる目的地で、ユーザはそれぞれの活動において場所を移動することがあるが、その際に自分がラベリングされた Pebble を持ち歩き、そばに置いておくことによって、ロボットはユーザの現在の場所を知ることができる. この場合、例えば他のユーザが荷物を届けたいといった場合に、荷物を送るユーザは届け先のユーザが現在どこにいるかを知る必要もなく、対象ユーザを指定するだけでよい. Pebbles はいずれのシナリオにおいても同様の方法で目的地の設定とラベリングを行うことができ、特に、半固定・動的の目的地の利用に関して、あとからユーザ自身の手で設定し直せるという点で、既存手法よりも優れていると言える.

3.3 目的地の指定

ロボットに目的地を指定する基本的な方法は、ロボットに付属するラベル付けされた場所指定ボタンを押すことである (図 5). ロボットのアプリケーションサービスは、必要に応じてユーザに目的地の入力を求め、サービスを遂行する. また、遠くにいるロボットを呼び寄せたり、作業を行う場所を巡回しながら知らせたりするために、Pebble のボタンが押されたことをロボットに伝達する機能も実現している (図 5). この場合、ユーザへのフィードバックとして、3.2 節で示した信号受信を知らせる点滅よりも長い周期で、すべての LED が点滅し続ける.



図 5. 目的地を指定する 2 つの方法

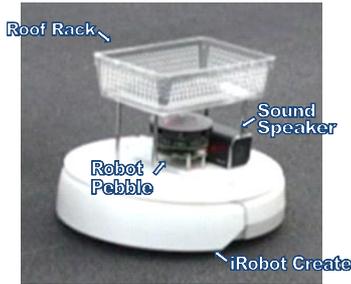


図 6. ロボットプラットフォーム

ロボットによって作業が完了するか、もう 1 度ユーザがボタンを押すことによって、ボタンが押された状態は終了して元に戻る。

3.4 ロボットナビゲーション

ロボットは、Pebbles からの赤外線信号を頼りに目的地まで移動する。そのため、ロボットには床に配置された Pebbles の赤外線を受信するための Pebble が 1 つ搭載されている (図 6)。ロボットには iRobot Create を用い、他に音声フィードバックのためのスピーカと物体を運搬するためのかごが備え付けられている (図 6)。

Pebble 同士が近づくと、8 方向の赤外線受信機のうち、より多くの受信機が信号を受信するようになる。この性質を利用して、ロボットに搭載されている Pebble の受信チャンネル数を監視することにより、ロボットは現在向かっている Pebble までの距離を推定することができる。また、ロボットには衝突検知のバンパーを備えており、Pebble を含む物体に衝突した場合には一時的に進路を変えて目的の Pebble に移動を続ける。ロボットは Pebble を避けるように移動するため、ある Pebble に到達した場合に、その Pebble からは次の Pebble が見えていないがロボットからは次の Pebble が見えていないということが起こりうる。この問題によりナビゲーションが失敗してしまうことを防ぐため、ナビゲーションの途中で目的の Pebble がみつからない場合には、周辺をランダムに移動する動作を実装している。ランダム移動動作で目的の Pebble がみつかった場合には、その位置からナビゲーションを再開し、ランダム移動動作でも目的の Pebble がみつからない場

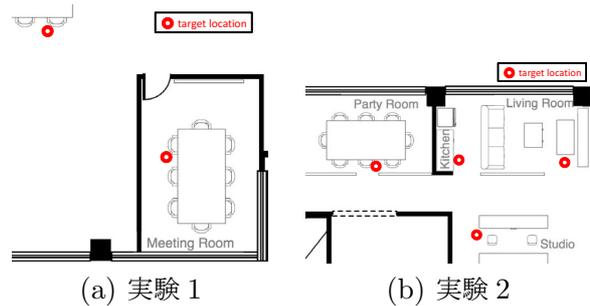


図 7. 実験環境

合には、“Can you help me? I’m lost.” と発声してナビゲーションを中止する。

4 ユーザスタディ

4.1 目的と実験手順

Pebbles が初心者にも簡単に設置できることを確かめるためのユーザスタディを行う。ユーザスタディは大きく分けて 2 つの実験からなる。1 つ目の実験 (以後、実験 1 と呼ぶ。) は、システムの理解しやすさを調査するために行い、実験参加者に利用方法が書かれたユーザマニュアルのみを渡して、与えられた課題を完了できるかをテストする。実験 1 は、1 つの部屋とその部屋に通じる通路からなる環境で行い、ロボットを移動させる目的地同士は見通しがとれておらず、部屋の中にロボットを移動させるには適切な経路地を必要とするように設定する (図 7(a))。実験 1 のあと、実験者は実験参加者にシステムの使いかたを提示し、実験参加者の理解が正しかったかを確かめる。また、実験参加者からの質問も受け付け、疑問点を明らかにする。2 つ目の実験 (以後、実験 2 と呼ぶ。) は、より複雑な環境で移動経路をデザインできるかを調査するために行い、4 つの場所とそれらを結ぶ通路からなる環境で行う (図 7(b))。

各実験において、実験参加者の思考を観察するため、実験参加者は自分が何を考えているかを口に出すように指示される。また、実験者はロボットを環境内に配置し、実装済みの 9 つの Pebbles を電源の入っていない状態で実験参加者に手渡す。

実験 1 においては、実験参加者はまずユーザマニュアルを受けとり、読むように指示される。実験参加者がユーザマニュアルを十分に読んだ段階で、目的地同士を結ぶロボットの経路を設定するように指示され、Pebbles を設置する。このとき、設置をサポートする LED フィードバック・音声フィードバックについては、ユーザマニュアルに記載があるが、これらを利用することは特に指示していない。設置が完了したら、実験参加者はロボットを 2 つの目的地に 2 つの方法で移動させることを指示され、それを行う。このとき、ロボットの移動がうまくい

かない場合は、Pebbles の設置を修正することを許可している。実験参加者がどうしてもシステムを理解できずロボットの移動を完了できない場合には、実験参加者は正しくシステムを理解できなかったものとし、その段階で実験者がシステムに関する説明を行う。

実験 2 においては、各目的地にロボットが到達できるように Pebbles を設置するように指示される。設置が完了したら、各目的地に到達できるよう正しく設置がなされているかを、実験者が音声フィードバックにより確かめる。その後、例えば「キッチンにいるお母さんがリビングにいるお父さんにお菓子とコーヒーを届けたい」といったシナリオとタスクを実験参加者に与え、そのタスクに沿ってロボットを移動させること指示する。このときも、ロボットの移動がうまくいかない場合は、Pebbles の設置を修正することを許可している。また、どうしてもロボットの移動を完了できない場合には、実験者が原因を調べて実験参加者に伝える。

実験 2 が終了したら、本システムに関する聞き取り調査を行う。

4.2 実験結果

8 名の実験参加者を招いて実験を行った。年齢は 26 歳から 62 歳（平均 35.6 歳）であった。

4.2.1 実験 1

8 名中 6 名の実験参加者がシステムの利用方法を正しく理解し、2 つの目的地までロボットを移動させることができた。正しく理解できなかった実験参加者のうち 1 名は、Pebbles がネットワークを構築してロボットを誘導するというコンセプトを理解しておらず、経路地に 1 つの Pebble を設置してロボットを移動させ、移動が完了すると設置した Pebble を次の経路地まで持って行きロボットを移動させるということを繰り返した。もう 1 名は、目的地を経路に沿って Pebbles を設置したが、近接した Pebble 同士が互いに見通しがとれていないといけなことを理解しておらず、部屋の入口から中への経路が途絶えており、ロボットは移動することができなかった。

また、実験参加者の行動・発言の中に、興味深いものが観察された。1 名の実験参加者は、システムに関する説明をする前であったにも関わらず、1 つの Pebble を持ち歩き、Pebble のボタンを押してロボットを自分の場所へ移動させようとした。ただし、Pebble を机の上に置いてボタンを押したため、ロボットが通れる見通しを確保するために直進性の高い赤外線通信を用いた現在の実装では、床に配置した Pebbles との通信が行われず、ロボットを移動させることができなかった。他の 1 名実験参加者は、部屋の隅や椅子の下といった目立たない場所に Pebble を置き、ユーザ自身の活動を邪魔しないようにその

ようにしたという趣旨の発言をした。

4.2.2 実験 2

8 名全員が 4 つの目的地に到達できるような経路ネットワークを構築することができた。設置の際には、すべての実験参加者が、音声フィードバックを利用して目的地に設置した Pebble がネットワークに加えられたかを確認した。設置後の移動の指示の際には、8 名全体で 21 回のロボットの移動を行った。21 回中 17 回の移動では、問題なくロボットは目的地に到達することができた。残りの 4 回の移動では、ロボットが途中でターゲットとしている Pebbles を見失い、ユーザに助けを求めることがあった。いずれの場合も、Pebbles を設置し直し、再度移動の指示を行うことによって、ロボットは目的地まで到達した。

実験参加者の行動・発言の観察から、実験 1 に比べて複雑な環境においても、設置の作業は同様に行うことができ、環境の複雑さに比例する難しさは感じていないようであった。なるべく効率的な移動ができるような経路ネットワークを構築するために、何度も設置をし直しネットワークの状況を確認する実験参加者の傾向が確認された。また、1 名の実験参加者は、実験では指示しなかった部屋にも Pebbles を設置した。このことは、設置やその後の修正を容易に行うことができるという本論文の主張を支持するものであると考える。

4.2.3 聞き取り調査と考察

デバイスの設置をサポートしてロボットの移動経路のデザインを助けるユーザフィードバックに関して、おおむね良好な評価が得られた。ただし、実験参加者は LED フィードバックよりも音声フィードバックを好んでいた。特に、1 名の実験参加者は LED フィードバックをまったく確認せず、音声フィードバックのみを利用して設置が正しいことを確認したと述べた。LED フィードバックに関しては、改善の余地があると考えられ、今後取り組んでいく予定である。

全体のシステム利用に関して、2 名の実験参加者が否定的な意見を述べた。そのうちの 1 名は「長期的に使うには、メンテナンスにかかる手間が多すぎるのではないか。」と述べた。本実験では、このことを検証できていないが、現状の実装では、Pebbles は電池で動作しており、しばらくの後に電池の交換を必要とする。持ち歩くものを除けば、Pebbles は部屋の要所に半固定的に設置するものであるため、コンセントから電源を供給できるようにするといったことが改善案として考えられる。また、「うまくつながらネットワークを構築するためにどこに置くかをあまり考えたくない。」とも述べた。しかし、これに関しては、我々はユーザが負うべき作業であると

考える。ユーザ自身が移動経路をデザインし、ユーザが望まない領域にロボットが侵入することを避けるのが提案デバイスの狙いであることと、ロボットには容易ではない「どこを経路とすればよいか」をユーザは容易に把握できることが、主な理由である。ユーザによる設置が完了すれば、ロボットの動作自体は自律的に行われ、ユーザはロボットによるサービスを楽しむことができる。

多くの実験参加者が「Pebbleはもっと目立たなくできたらよい。」と述べ、現在の実装よりの小さなサイズが求められていることが明らかになった。現在の実装の通信可能な距離である5mは、想定される利用環境では必要以上の距離であると考えられ、より小さく実現することを考えている。最終的には、壁や家具の足に取り付けられる大きさのデバイスを実現することができれば、ユーザの要求を満たすことができると考えている。

環境に物理的にデバイスを配置しなければならないことは、提案手法の本質的な制限である。提案手法が解決する課題である移動経路のデザインと目的地のラベリングを、デバイスを配置することなく解決する手法として、ユーザがロボットを移動させたい経路を動きながらSLAMにより地図を構築し、目的地において名前をデータとしてシステムに記憶させるといった手法が考えられる。しかし、このSLAMによる手法は、地図が構築できているかの確認のために現実世界と2次元画像の地図を比較する必要があり、より専門性の高いシステム状態の理解が必要であると考えられる。デバイスを置く必要があるが容易に状態を確認できることを好むか、状態の確認は専門的であるがデバイスを置く必要がないことを好むかは、ユーザによって分かれるところであると考えており、提案手法は前者のユーザをサポートする。また、SLAMによる手法では地図の作成はインクリメンタルな作業であり、任意の時点で現在が地図上のどこであるかを知ることは困難であるため、3.2節で示した動的目的地のラベリングは実現が困難である。

1名の実験参加者は、「携帯電話でロボットを呼ぶことができたらいい。」と述べた。このことは、自分の周辺にPebbleがある限り、携帯電話でそのPebbleを目的地に指定することで実現可能である。3.2節で示した通り、動的目的地として自分用のPebbleを持ち歩くようになれば、好きな場所にロボットを呼び寄せることが可能である。また、携帯電話に赤外線通信機構が備わっていて、ロボットを呼びたい場合にはPebbleとして機能することも、実現可能な方策である。

5 まとめ

本論文では、ロボットが目的地までの経路を知るために用いる、互いに赤外線通信してする経路ネット

ワークを自動構築するタンジブルデバイス Pebbles を提案した。Pebbles は、既存手法において問題であったラベリングの複雑性・ユーザの望まない場所へのロボットの侵入・専門知識の必要性・環境変化の際の手間を回避し、家庭やオフィスのユーザにも装置を設置できるように設計されている。

自律移動ロボットが導入されれば、家庭の生活やオフィスの活動において利便性が向上すると考えられるが、完全に自律的にユーザが意図した通りに動作できるロボットを実現することは難しい。本研究では、ロボットのガイドとなるデバイスを配置するユーザの作業で、ロボットの機能が向上し、同時にユーザの指示も容易となる手法を示した。ロボットの基本的な機能の向上とともに、ユーザの利便性を向上させる本研究課題も重要なテーマであると考えられる。

参考文献

- [1] Leonard, J. J. and Durrant-Whyte, H. F., "Simultaneous Map Building and Localization for an Autonomous Mobile Robot," Proceedings of IEEE/RSJ International Workshop on Intelligent Robots and Systems, Vol.3, pp.1442-1447, 1991.
- [2] Montemerlo, M., Thrun, S., Koller, D., and Wegbreit, B., "FastSLAM: A Factored Solution to the Simultaneous Localization and Mapping Problem," Proceedings of the National Conference on Artificial Intelligence, pp.593-598, 2002.
- [3] Davison, A. J. and Murray, D. W., "Mobile Robot Localisation Using Active Vision," Proceedings of European Conference on Computer Vision, Vol.2, pp.809-825, 1998.
- [4] Ubisense, "Real-time location systems (RTLS) and geospatial consulting - Ubisense," <http://www.ubisense.net>
- [5] Saito, S., Hiyama, A., Tanikawa, T., and Hirose, M., "Indoor Marker-based Localization Using Coded Seamless Pattern for Interior Decoration," Proceedings of IEEE Virtual Reality Conference, pp.67-74, 2007.
- [6] Miyama, S., Imai, M., and Anzai, Y., "Rescue Robot under Disaster Situation: Position Acquisition with Omni-directional Sensor," Proceedings of IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, Vol.4, pp.3132-3137, 2003.
- [7] Pugh, J. and Martinoli, A., "Relative Localization and Communication Module for Small-Scale Multi-Robot Systems," Proceedings of IEEE International Conference on Robotics and Automation, pp.188-193, 2006.
- [8] Ishii, H. and Ullmer, B., "Tangible Bits: Towards Seamless Interfaces between People, Bits and Atoms," Proceedings of ACM SIGCHI Conference on Human Factors in Computer Systems, pp.234-241, 1997.