HOKUGA 北海学園学術情報リポジトリ
学校法人北海学園
北海学園大学
北海商科大学

タイトル	４台のKinectを搭載した移動ロボットによる人間協調型地図作成
著者	健名，裕希；深谷，健一；KENMEI，Yuki；FUKAYA，Ken－ichi
引用	北海学園大学工学部研究報告(41)：33-41
発行日	2014-01-17

Hokkai-Gakuen Organization of Knowledge Ubiquitous through Gaining Archives.

4台のKinectを搭載した移動ロボットによる人間協調型地図作成

健　名　裕　希*・深　谷　健　一**

Map Building by Utilizing 4 Sets of Kinect on the Mobile Robot that is Guided by Human

Yuki KENMEI* and Ken-ichi FUKAYA**

要　旨

移動ロボットの自律走行に欠かせない環境地図を人間が移動ロボットに手ジェスチャで指示し，人間を追尾走行させながら自動で作成するシステムを構築した．4台のKinectを移動ロボットに搭載する．1台のKinectは手ジェスチャ認識と人間認識により移動ロボット操作と人間追尾走行を，他の3台のKinectは距離計測により周囲環境地図を作成する．構築したシステムを実行させ，移動ロボット搭載の4台のKinectにより部屋と廊下の地図を人間と協調して作成することができた．

1．はじめに

移動ロボットを出発地点から目標とする到達地点まで自律移動させるには経路を人間が教示し，経路地図をロボットの内部情報として持つ方法が簡便，確実である．屋内環境の廊下，部屋の全ての地図を予め作成して，その中で指示を与えるのは労力が大きい．出発地点から到着地点まで人間が先導して移動ロボットが人間を追尾すると同時にロボット搭載のセンサを用いた環境地図を作成する方法が考えられる．移動ロボットに搭載する複数台のKinectを利用して移動ロボットが人間を追尾走行するシステム[1),2)]は開発されているが，手ジェスチャによる操作指示と地図の自動作成を追尾走行に併用して実現したシステムはない．本研究ではKinectを

* 北海学園大学工学部電子情報工学科（現在：東京コンピュータサービス株式会社）
* Department of Electronics and Information Engineering, Faculty of Engineering, Hokkai-Gakuen University (present : Tokyo Computer Service Co., Ltd.)
** 北海学園大学工学部電子情報工学科
** Department of Electronics and Information Engineering, Faculty of Engineering, Hokkai-Gakuen University

４台移動ロボットに搭載し，１台を手ジェスチャ認識によるロボット操作とスケルトントラッキングによる人間追尾，他３台を３方向の３次元距離計測に充てることにより，人間追尾と同時に周囲の３次元地図を作成する人間協調型の地図作成システムを構築し，実験を行った結果を報告する．

２．システム構成

実験システムの構成を**図１**に示す．ハードウェアは移動ロボット（Mobile Robotics社　Pioneer３-DX），ノートパソコン（Windows7 32bit），Kinect（Microsoft社，RGBカメラ，深度センサ，マルチアレイ・マイクロフォン搭載デバイス）４台，12V鉛蓄電池，DC-AC変換器（Kinect駆動用交流電源）である．鄭龍振[3]らは移動ロボットに搭載した２台のノートパソコンのそれぞれに２台のKinectを接続し，パソコン間のソケット通信で合計４台のKinectを使用可能として３次元環境地図を作成している．今回のシステムでは移動ロボットとノートパソコンはRS-232C接続，Kinect４台はそれぞれノートパソコンのUSBポートと接続し，１台のパソコンで４台のKinect全てを制御可能としている．複数のKinectを制御するためのUSBルートハブ１つではKinectは１台しか認識できない．今回使用したノートパソコンにはUSBポートが４箇所あるが，１箇所はロボットとの接続に使用するため，Kinectに割けるのは３つであった．そこで**図２**に示すUSB3.0 ExpressカードによりUSBポートを増設することで，４つ目のKinectを認識，

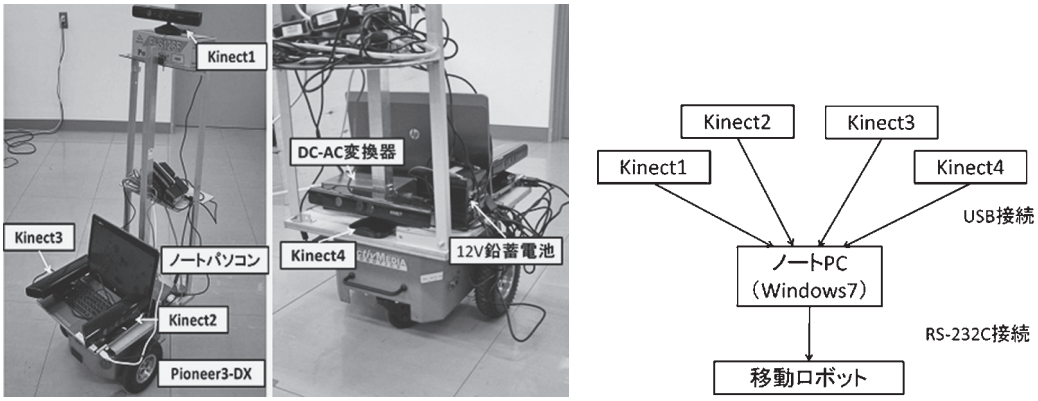


図１　実験システムの構成

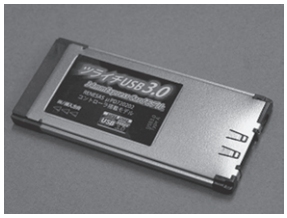


図２　USB3.0 Express カード

制御させる．Kinect 1は人間の身長に合わせたスケルトン・トラッキングを円滑かつ正確に行うため，製作した台の上部に設置する．Kinect 2，Kinect 3はロボットの進行方向と垂直に左右それぞれに設置する．Kinect 4はロボットの進行方向とは反対方向を向き，後方に設置する．Kinect 2，Kinect 3，Kinect 4はそれぞれの方向において3次元距離計測を行う．

ソフトウェアとしては，移動ロボットを制御するAria，Kinectを制御するKinectSDK，さらに画像表示などのためにOpenCV，地図の描画のためにOpenGLを用いる．Kinect（及びKinectSDK）を用いると，頭や手，足など人体の各部位を最大20点の3次元座標としてリアルタイムに取得できる．今回はそのうちの頭，右手，左手，左手首，胴の5点を利用する．

3．人間追尾と手ジェスチャ認識[4)]

3.1　手ジェスチャ認識

本システムでは右手のジェスチャにより『追尾開始』,『後退』,『停止』,『その場旋回』の指示を移動ロボットに対して実行できるようにした.『追尾開始』は右手を最初に上方向に垂直かつ手前方向に一定距離移動，次に先の動作と反対方向に一定距離移動，最後に再び二つ前の動作を行うと手ジェスチャと認識する.『後退』は右手を最初に右方向に水平に一定距離移動，次に左方向に水平に一定距離移動，最後に再び右方向に水平に一定距離移動させると認識する．この二つの手ジェスチャの場合，ロボットが停止状態にない場合か，それぞれの各動作で『追尾開始』は右手が水平方向に,『後退』では右手が垂直方向に一定距離以上移動した場合は各動作を認識しない．またそれぞれの動作をKinectが取得するフレーム数において，20フレーム間に行わなかった場合はジェスチャ認識失敗とし，最初の動作からやり直しとする．右手を頭の座標から30㎝以上上方に挙げるジェスチャを『停止』と認識する．人間追尾中に左手を挙げ，左手が左手首より上にあるようにしたときもジェスチャとして認識し，前進距離を零とし，手を左右に振ることでその場旋回させる．これらの手ジェスチャを**図3**に示す．

3.2　人間追尾

人間追尾ではまず対象者の胴の座標を逐次取得する．そこから得られた座標から移動ロボットの正面中心から対象者までの角度と移動ロボット中心から対象者までの距離を取得する．この二つのデータを移動ロボットに送信し，移動ロボットはまず対象者の方向に向き直り，その後前進する．この一連の流れを繰り返し行うことで人間追尾を実現する．このとき，対象者が画面から外れた場合は移動ロボットを停止させ，取得した距離が一定範囲外だった場合は前進距離を零とし，角度だけを変更させることによって，人間や障害物との衝突を防止する．

4．地図作成

移動ロボットの左右と後方に搭載した3台のKinectから得られる距離データと，移動ロボッ

(a)『追尾開始』

(b)『後退』

(c)『停止』

(d)『その場旋回』

図 3　手ジェスチャによるロボットへの指示（反転表示）

トの現在位置と角度の内界センサによる推測データを用いて地図を描画する．計測は移動ロボットが人間を追尾しているとき，移動ロボットが前進を終えたタイミングで行う．Kinectでは３次元計測データが得られるが，今回リアルタイムで作成する地図は２次元に限定しているため高さの情報は用いていない．地図の描画はOpenGLを用い，計測が行われた後，逐次実行しており，１台のKinectにつき最大640点の取得データを移動ロボットの現在位置と角度を考慮した上で全て点として描画している．移動ロボットの現在位置がOpenGLの描画ウィンドウの範囲を超えたのならウィンドウを画像として保存し，初期化することで続けて描画する．ロボットの移動時には，移動ロボットスタート地点を原点とする現在位置と移動角度を内界センサで算出し，これらの推測データを地図作成に用いる．その流れを**図 4** に示す．**図 5** はシステムの全体構成である．**図 6** にロボットが人間追尾をしながら廊下を走行して地図を作成している状況を示す．

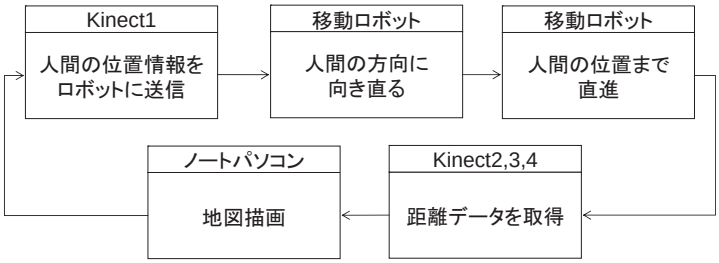


図 4　地図作成の流れ

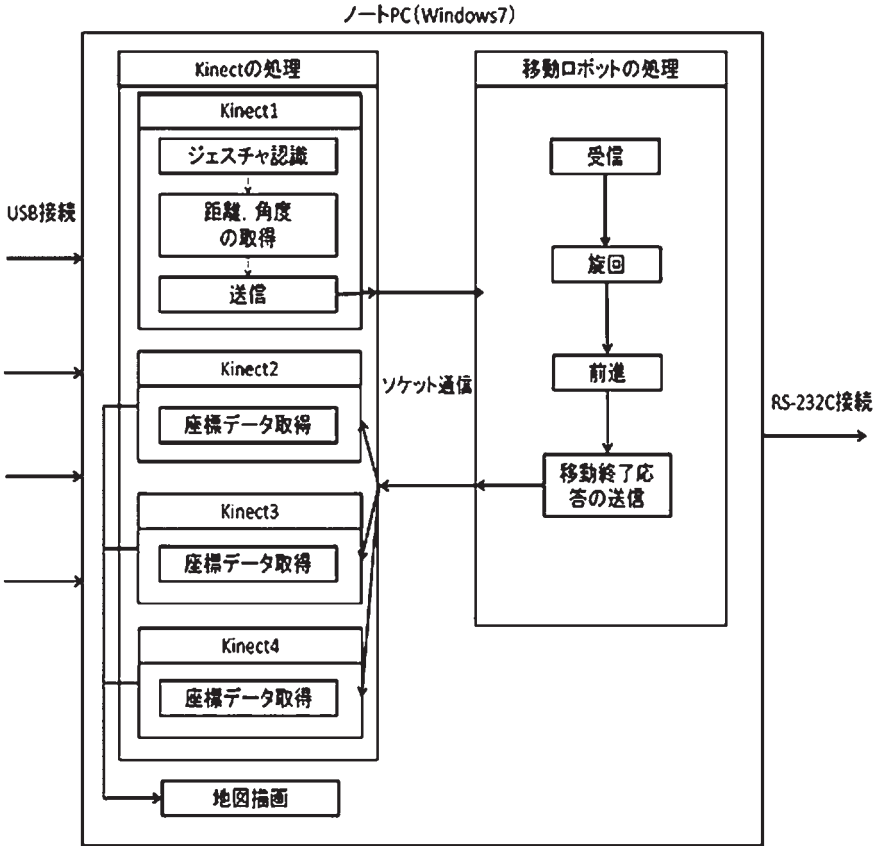


図 5　システムの全体構成

5．3次元環境地図

地図作成は2次元のものを主としたが，Kinectから取得できるデータを活用すると3次元の地図作成も可能である．移動ロボットが5回前進する毎に，リアルタイムで作成している2次元地図のデータとは別に，3次元距離データをテキストファイルへ書き込み保存する．今回は取得した3次元距離データを全て書き込んでいるが，取得されるデータはKinect 1台につき最

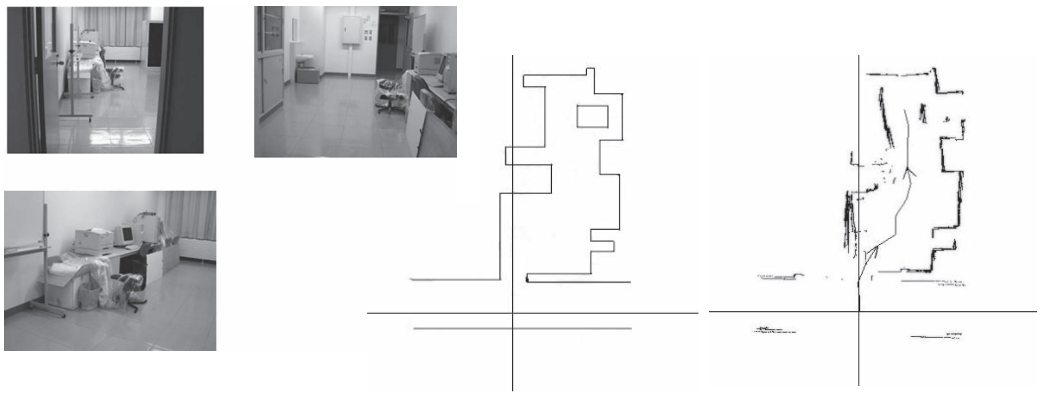
追尾開始　　その場旋回　　人間追尾しながらの地図作成

図 6　人間協調型の地図作成状況

大で307200点と膨大な量となり，一つのスレッドの流れの中で書き込みを行うとKinect及び移動ロボットが反応しない時間が発生してしまう．そこで，各Kinectから取得した３次元データの書き込みはマルチスレッドで動作させ，ロボットの移動と２次元地図作成と並行して実行する．ロボットが移動中は地図データの取得と書き込みのみを行い，描画は後処理として実行する．

６．実験結果

図 7 に部屋の実際の写真，線画で示した部屋の形状と作成された地図を示す．多数の点群で示されるのは計測された部屋の壁や障害物，連続した線で示されるのは移動ロボットの移動軌跡であり線上の矢印はその時点での移動ロボットの向きを示す．部屋入口として幅約90㎝の扉があり，移動ロボット自体の幅が40㎝程度で，通過には余裕はないが，人間がうまくガイドすることにより部屋の入退室が可能だった．時々，Kinectのスケルトン追跡が外れ移動ロボット



部屋の写真　　部屋形状　　作成した部屋地図

図 7　部屋地図の作成

部屋出口と廊下の写真

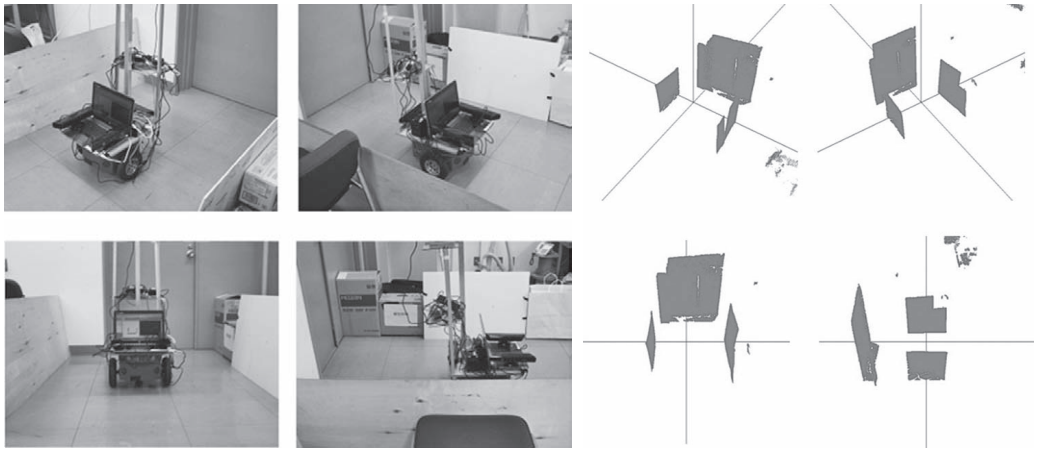
廊下形状　　作成した廊下地図

図 8　廊下地図の作成

が停止するが，その再開も可能であり，人間追尾に関してはほぼ問題はなかった．一方，地図作成では，部屋全体の地図を正確に作成できず，平面が続くはずの壁が歪んでしまっている．形状は大まかに理解できる程度となったが，部屋の地図作成の場合，部屋には不規則に物が置かれており正確なデータを取得できないことや，部屋の奥が狭くなっているために人間とロボットがうまく身動きを取れずにKinectがカバーしきれない死角となる場所が多い問題があった．

図 8 は廊下へ出る部屋出口と廊下の実際の写真，線画で示したこれらの廊下形状と作成された地図を示す．多数の点群で示されるのは計測された廊下であり，連続した線はロボット移動軌跡そして線上の矢印はその時点での移動ロボットの向きを示す．廊下の場合，移動ロボットへ指示した移動角度，距離と，実際に移動ロボットが移動した角度，距離との間に内界センサの推測航法に起因する誤差があるため，直線の廊下が曲がってしまい正確な地図を作成できていない．これは部屋地図作成とも共通する問題である．

図 9 に周囲の環境が理解しやすい３次元距離データを用いて描画された３次元環境地図を示す．３次元地図に関してはある程度周囲環境の形状は判別できる．今回は２次元地図作成と同じように取得したデータ群を全て同色の点で描画しているが，方向によって色を変えるような描画の工夫によって，さらに人間が形状を判別しやすくできる．



周囲環境の写真　　作成した周囲環境地図

図 9　３次元環境地図

７．結論

４台のKinectを搭載した移動ロボットによる人間協調型地図作成のシステムは手ジェスチャや人間追尾の人間協調の面では概ね問題なく，地図作成の面では計測する場所によっては大まかな地図の作製は可能であった．今後は移動ロボットの動作に曲線的な前進，後退などを追加して，さらに自在に移動ロボットをガイドできるようにすることで人間協調の面での改善を期待できる．さらに地図作成では推測データによる誤差を修正できるICPアルゴリズム[5]の適用を採用することで，より正確な自己位置推定を行い，改善を図ることが可能である[6]．３次元環境地図作成に関しては，地図描画に膨大なデータ量を使用しているため，数分の時間を要した．データの書き込みにも数秒の時間が必要である．これらのことから，現在のシステムで行うリアルタイムでの２次元地図作成を３次元地図作成に切り替える場合にはデータの取り扱いやシステム構成を根本的に考え直す必要があると考えられる．

謝辞

本研究は，文部科学省私立大学戦略的研究基盤形成支援事業（平成20年～平成24年）の支援を受けて行われた．

参考文献

１）志村皇洋，安藤吉伸，吉見卓，水川真：人物追従ロボットのためのマルチキネクトセンサに関する研究，第31回日本ロボット学会学術講演会，RSJ2013AC3H2-05，2013.

2）石川祐輝，渡辺寛望，小谷信司：複数のKinectを利用した自律移動ロボットによる人物の追従，第31回日本ロボット学会学術講演会，RSJ2013AC3I1-05，2013.
3）鄭龍振，石橋正教，倉爪亮，岩下友美，長谷川勉：4台のKinectを搭載した全方向計測ロボットによる環境計測，第29回日本ロボット学会学術講演会，RSJ2011AC1O3-4，2011.
4）杉山懐吾，深谷健一：Kinectを用いた自律移動ロボットの制御，第4回日本ロボット学会北海道ロボット技術研究専門委員会学術講演会，P3-1，pp.140－141，2012.
5）増田健：ICPアルゴリズム，コンピュータビジョン最先端ガイド3，アドコム・メディア株式会社，pp.33－61，2010.
6）堅物建秀，小林祐輔，渡部寛望，小谷信司：自律移動ロボットによる廊下環境のリアルタイム地図作成と自己位置推定，第30回日本ロボット学会学術講演会，RSJ2012AC4J1-3，2012.
7）健名祐希，鈴木健太郎，深谷健一：4台のKinectを搭載した移動ロボットによる人間協調地図作成，第5回日本ロボット学会北海道ロボット技術研究専門委員会学術講演会，P23，pp.152－155，2013.