生活支援のための環境分散センサ情報統合アーキテクチャ

○永田晃洋 (九州大学)　長谷川勉 (熊本高専)　表允晳　辻徳生
諸岡健一　倉爪亮 (九州大学)

1. 緒言

介護の人手不足や被介護者の増加など，高齢社会における問題の解決策の一つとして，ロボットによる生活支援が期待されている．この実現には，人や日用品の位置，家具などの環境情報をロボットが把握する必要がある．そこで我々の研究グループでは，情報構造化環境を利用したロボットサービスの研究開発 [1] を進めている．これは，環境に分散配置したセンサ群を利用して，環境内の移動体や物品の位置などの情報を取得し，ロボットの作業を支援するものである．

これまでに，高齢者介護施設の個室での利用を想定し，室内の情報を取得するためのシステムが開発されている．床上に設置したレーザレンジファインダを用いて人の足やロボットを特定するフロアセンシングシステム [2] や，RFID タグとロードセルを用いた物品の特定，位置と重さの取得ができる知的収納庫 [3] などである．これらのシステムで取得した情報を統合し，室内の状況を推定することで実行できるサービスが考えられる．居住者に物品の場所を教える思い出し補助や，居住者の状態が必要な見守りなどである．

居住者が収納庫から本を取り出し，机に座ってしばらく読んだのち，机上に放置して外出した状況を考える．このとき，フロアセンシングシステムからは居住者の移動軌跡が，知的収納庫からは本の紛失という情報が得られる．フロアセンシングシステム，知的収納庫のどちらからも本の位置は得られず，その所在は不明になっている．知的収納庫付近へ居住者が接近しており，その時刻と本の紛失時刻がほぼ同時であるとき，居住者が本を取り出して収納庫に戻さず放置したという推定ができる．このとき，人の歩行軌跡を利用して，ロボットが本を探索するのに有用な放置先候補が得られる．この推定を基にロボットを動かし，ロボット搭載センサを用いることで部屋の状態を効率よく確定できる．実際に本が放置されていたのであれば，本の位置を更新して思い出し補助に利用できる．さらに，本の持ち出し，読書という人の行動も同時に得ることができる．これにより，居住者が室内で異状なく活動していることも分かり，居住者の見守りとしても役立つ．

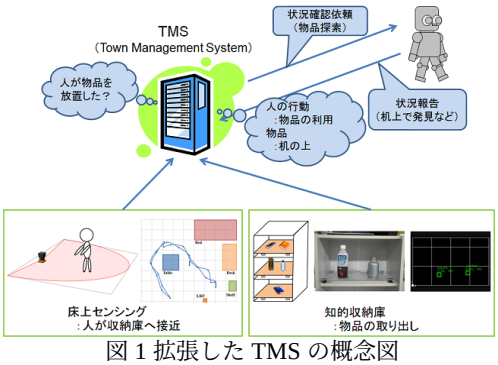

図 1 拡張した TMS の概念図

しかし，フロアセンシングシステムや知的収納庫など，複数センサからの情報を利用して状況推定を行う機能は実現されていない．この機能を実現するためには，物品探索サービスのみでも以下の 2 つの情報処理を行う必要がある．(1) 本などの物品の紛失後，居住者が退出するまでの居住者の移動履歴を全て分析する．(2) 居住者の退出を検出し，物品探索サービスの実行タイミングを計る．フロアセンシングシステムや知的収納庫から構成される現在のシステムでは，これらの情報処理はロボットが行わなければならない．また，サービスを実行して迅速にデータベースの内容を更新するためには，ロボットは (1) (2) の分析機能を常時動作させておく必要がある．情報構造化環境においても，ロボットにとってこれらの処理を行うことは，センサ数や提供するサービスの増加に伴い大きな負荷となる．

本論文では，環境情報を保持するためのデータベースである TMS(タウン・マネジメント・システム) を拡張した情報構造化アーキテクチャを提案する．これは，ロボットが処理する必要があった情報の統合・サービスの選択を TMS に担わせたものである．この概念図を図 1 に示す．このシステムでは，以下の 4 つの機能を TMS に統合する．(1) フロアセンシングシステムや知的収納庫などの環境固定センサを用いたシステム．(2) 取得した環境情報を蓄積するためのデータベース．(3) 蓄積情報を利用した室内の特定状況の検出・推定機能．(4) サービスに利用するロボットの機能やその手順を記述したモジュール．これらの機能により，TMS は複数センサからの情報を用いて室内全体を観察し，状況に応じたロボットサービスを提供するシステムとなる．そして，室内全体の観察やロボットサービスの結果得られた情報を用いて，データベースを最新に保つこともできる．処理の大部分を TMS に担わせることにより，ロボットは TMS から送られた命令を実行するだけでよく，ロボット側の負荷を減らすことができる．

システムの有効性を示すため，実装した TMS を利用したシナリオに基づく実験を行う．その情報処理フローについて説明し，実機実験の結果について報告する．

2. TMS アーキテクチャと実験シナリオ

2.1 TMS アーキテクチャ

開発した TMS のアーキテクチャを図 2 に示す．

アーキテクチャは機能別の以下の 6 つの部分から構成される．

1. FSS，BAS，ICS：環境固定センサを用いた室内の情報収集
2. TMS_DB：データベースへの情報の蓄積と読み出し
3. TMS_SA：蓄積情報を用いた特定状況の検出
4. TMS_TS：中断/再開/失敗時の対応など，サービスの実行管理

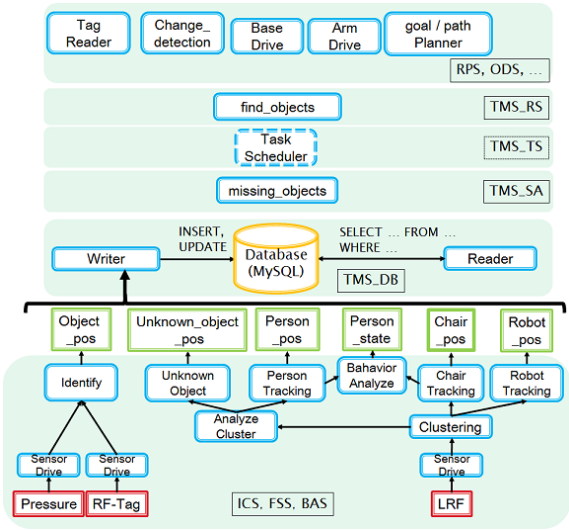

図 2TMS アーキテクチャ

5. TMS_RS：既存システムを用いたサービスの構成
6. RPS，ODS，RTS：ロボットの動作計画や画像処理等，TMS_RS を構成

2.2 実験シナリオ

実装した TMS アーキテクチャを利用したシナリオ実験を行う．複数種の環境固定センサを利用し，ロボットサービスまでを含むシナリオとして，居住者が収納庫から物品を取り出し，机などの家具上に放置した場合の物品の探索を行う．室内の物品管理がなされている初期状態であれば，居住者の思い出し補助や物品の手渡し，部屋の整理などのサービスに利用できる．しかし，初期状態の室内から居住者が物品を移動させた場合，その所在は不明になる．これをロボットにより確定させるサービスは生活支援に有用である．また，このシナリオでは TMS アーキテクチャに示した数多くのモジュールを利用する．そのため，実験のシナリオとして採用した．シナリオにおける処理のフローチャートを図 3 に示す．

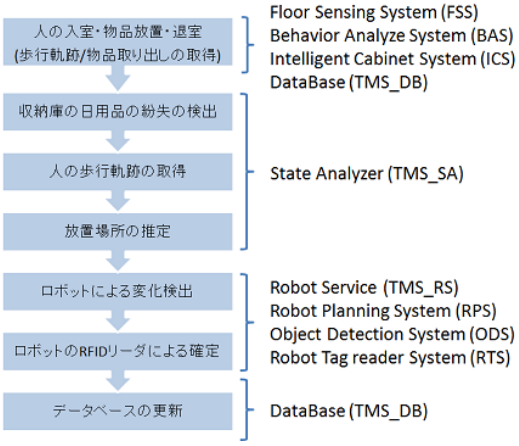

図 3 情報処理フロー

人の移動軌跡と収納庫からの物品紛失を，環境固定センサと処理モジュールで取得・蓄積する．蓄積情報を基にした状況推定を TMS_SA で，ロボットの動作による状況の確定を TMS_RS とその関連モジュールで行う．取得した情報を TMS_DB に送り，情報を最新に保つ．

物品の放置場所の推定機能は，物品紛失を検出したのちに人が退出するまで動作する．人が室内にいる限り再び物品を移動させる可能性があり，ロボットによる物品位置の確定作業を実行するのは非効率である．そのため，ロボットが動作するのは人が退出して室内の状態が確定した後とする．次章で各モジュールについて詳しく述べる．

3. TMS アーキテクチャの構成要素

3.1 FSS，BAS，ICS：環境固定センサでの情報取得

環境固定センサから得られる情報を処理し，環境情報を取得するためのモジュール群である．LRF を用いて床上の物体を検出する FSS，FSS の情報から人の行動を推定する BAS，RFID タグリーダとロードセルを用いた収納庫である ICS の 3 種類から構成される．

3.1.1 FSS：フロアセンシングシステム [2]

床上 2.5cm を走査するレーザレンジファインダ (LRF) と鏡，およびその処理モジュール群で構成される．LRF と鏡から，床上に物体がないときは壁までの，物体があるときはその表面までの距離と反射強度が得られる．それらの情報から床上の物体を検出し，位置と反射強度を計測できる．さらに，LRF から得られる情報に対して，反射強度を用いた処理や，数十フレーム分の蓄積情報を用いた処理を行うことで，床上にある物体を以下の 4 種類に分類できる．

- ロボットの座標と姿勢
- 椅子の座標
- 人の足の座標
- それら以外の不明な物品の座標

室内での取得データを表示したものを図 4 と図 5 に示す．ロボットや椅子，人の足が特定されている．

図 4 室内の様子

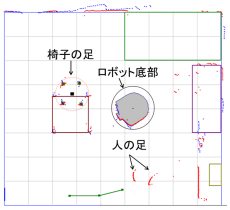

図 5 床上物体の分類結果

3.1.2 BAS：人の行動推定 [2]

FSS で取得した椅子と人の足の位置，固定家具として既知であるベッドの位置を利用して，人の状態推定を行うモジュールである．得られる人の行動は，退室，歩行，立位静止，椅子付近静止，椅子着座，ベッド着座，ベッド上 (休息) の 7 状態である．シナリオ中では，退出とそれ以外 (入室) の 2 状態として用いる．

3.1.3 ICS：知的収納庫 [3]

RFID タグリーダとロードセルを用いた収納庫で，収納された RFID 付き物品の種類と位置，重さを出力できる．収納と物品検出の様子を図 6 に示す．

3.2 TMS_DB：TMS データベース

TMS_DB は，データベース本体と，情報の書き込みを行う DB_Writer，情報の読み出しを行う DB_Reader から構成される．

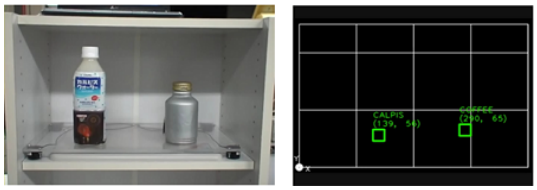

図 6 知的収納庫：物品検出の様子

3.2.1 データベーステーブル

データベース本体の実装には MySQL を用いる．データベーステーブル一覧を表 1 に示す．

表 1TMS_DB テーブル一覧

テーブル名	項目内容
robots_history	ロボットの位置履歴
movable_furnitures_history	椅子の位置履歴
person_history	人の足の位置履歴
unknown_objects_history	未分類の物体の位置履歴
person_behavior	人の行動推定履歴
objects_history	物品の位置履歴
furnitures	固定家具の位置情報
pcl_data	3D 画像データの管理

データベースには，以下の 3 種類のテーブルがある．(1)FSS や ICS で取得したロボット・椅子・人の足・その他の不明な物体・既知物品の位置情報の履歴を保持するテーブル (2)BAS で取得した人の状態推定履歴を保持するためのテーブル (3) その他，机やベッドなどの固定家具の位置や幾何情報を保持するテーブル，ロボットが取得した 3D 画像情報を管理するテーブル

3.2.2 DB_Writer と DB_Reader

データベースへの挿入や更新には DB_Writer を，読み出しは DB_Reader を用いる．FSS や ICS から出力される情報は 10Hz 以上で更新されるため，すべての情報を保存すると情報が重複して無駄が生じる．そのため，ロボットの移動量が少ない場合や収納庫内の物品が変化していない場合は，DB_Writer を用いてデータベースへの挿入や更新を制限する機能を持たせている．

3.3 TMS_SA (State Analyzer)

室内の特定状況の検出と，生じた状態の推定を行うためのモジュール群である．これらは，ロボットサービスのトリガの一つとなる，分析元となる情報は TMS_DB から取得する．ここで推定した結果は，ロボットサービスの実行依頼として TMS_TS に送信する．実験シナリオ中では，人が物品を収納庫から取り出したことを検出し，人が部屋から退出するまでの歩行軌跡を取得する．その滞在時間から，物品が放置された可能性が高い固定家具を推定する．固定家具の ID と物品探索サービスの実行依頼を TMS_TS に送信する．

3.4 TMS_TS (Task Scheduler)

TMS_SA から依頼されたロボットサービスの実行管理を行う．ロボットサービスの実行，中断，再開，失敗した場合の再スケジューリング等を想定しているが，発表時点では TMS_TS は未実装である．そのため，TMS_SA からのサービス依頼をそのまま TMS_RS に送信する役割として実装している．

3.5 TMS_RS (Robot Service)

既存のモジュールを用いて必要な情報を取得し，ロボットを動作させることにより，ロボットサービス全体を構成するモジュール群である．今回取り上げる物品探索のシナリオでは，以下の 3 モジュールを利用する．

- RPS：ロボット動作計画/駆動命令
- ODS：固定家具上の変化検出
- RTS：ロボットの RFID タグリーダによる情報取得

3.6 RPS，ODS，RTS

TMS_RS から利用され，ロボットサービスを構成するモジュール群である．これらを組み合わせて順序を記述することにより，ロボットサービスを提供する．

3.6.1 RPS (Robot Planning System)

障害物を避けながらロボットを動作させる動作計画を行う．また，その出力である経由点をロボット固有の前進・回転などの動作に変換し，命令を与える．

3.6.2 ODS (Object Detection System)[4]

机または棚を写した 2 枚の距離画像から，変化箇所とカメラの相対位置を出力する．シナリオ中では，データベースに保存済の過去の固定家具の距離画像と，ロボット搭載 Kinect で取得した固定家具の距離画像を入力とする．これら 2 枚の画像から，固定家具上の変化した物品を検出でき，その物品とロボットとの相対距離を得られる．検出の様子を図 7 に示す。

図 7 机上の変化検出の様子

3.6.3 RTS (Robot Tag reader System)

ロボットの手先に装備されている RFID タグリーダから情報を読みだすためのモジュールである．RFID タグリーダを用いることで，RFID タグの付けられた物品を特定できる．シナリオ中では，ODS で得られた変化箇所にタグリーダを近づけることで，固定家具上に放置された物品の特定に利用している．

4. 実験

4.1 実験環境

提案するアーキテクチャを実装し，システムの動作検証実験を行った．実験環境を図 8 に示す．

部屋内には環境固定センサとして LRF と知的収納庫がある．サービスロボットは頭部に Kinect カメラを，手先に RFID タグリーダを備えている．全ての物品には RFID タグがつけられており，移動対象となる物品は最初は知的収納庫に入っているとする．

4.2 シナリオの詳細

シナリオは室内のデータ収集・蓄積と，分析・ロボットサービス実行・データベース更新の 2 段階に分けら

図 8 実験環境

れている．人が室内にいる間は分析のみ行い，ロボットは動作しない．人が退出したのち，ロボットサービスを開始する．人の行動，室内の状況分析内容，ロボットの動作を以下に示す．

実験シナリオ 1：室内の情報収集と蓄積 (人の行動)

1. 部屋に入室し，棚から飲料を取り出す
2. テレビテーブル前，ベッド前，テーブル前と歩き回る
3. テーブル前で飲料を飲む
4. テーブルに飲料を放置する
5. 部屋から退出する

実験シナリオ 2：特定状況の検出とロボットサービス

1. TMS_SA：物品紛失後，人が退室するまでの人の歩行履歴を取得する
2. TMS_SA：人の歩行履歴付近にある固定家具 ID を，人の滞在時間の降順にソートする
3. TMS_RS，RPS：人の滞在時間が最長の家具付近にロボットを移動させる
4. TMS_RS，ODS：固定家具の変化を検出する
5. TMS_RS，RTS：変化した場所に RFID タグリーダを近づけて物品を確定する
6. TMS_RS：取得した物品情報を用いてデータベースの情報を更新する

4.3 実験結果

実験中の部屋内の様子を図 9 と図 10 に示す．また，実験前後の物品履歴テーブルを図 11 と図 12 に示す．

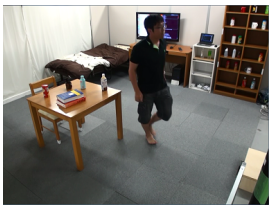

図 9 居住者の物品放置

図 10 物品探索

図 11 より，ロボットサービスの実行前の飲料 (ID=60) は所在不明 (place=0) である．これまでのシステムでは，これを見つけるためにはロボットが紛失を検出し，部屋内を全探索する必要があった．データベースに蓄積された人の行動履歴，物品の紛失という 2 つの情報を組み合わせることにより，ロボットは効率的に物品探索ができる．図 12 に示す通り，紛失した飲料がテーブル上 (ID=14) で発見され，その位置が保存されている．

rostime	id	x	y	z	weight	state	place
1371480635670064901	57	287.034	126.891	620	440	1	15
1371480639810813944	51	138.886	112.411	620	175	1	15
1371480643611217785	60	207.393	52.4034	620	476	1	15
1371496316689772529	60	NULL	NULL	NULL	488	0	0

図 11 取出し直後の物品履歴テーブル

rostime	id	x	y	z	weight	state	place
1371480635670064901	57	287.034	126.891	620	440	1	15
1371480639810813944	51	138.886	112.411	620	175	1	15
1371480643611217785	60	207.393	52.4034	620	476	1	15
1371496316689772529	60	NULL	NULL	NULL	488	0	0
1371677723209317538	60	668.98	198.41	1200	0	2	14

図 12 サービス後の物品履歴テーブル

5. 結言

TMS を拡張した情報構造化アーキテクチャを設計･実装し，それを用いたシナリオの実機実験を行った．拡張は，以下の 4 つの機能を TMS に統合することで行った．

- フロアセンシングシステムと知的収納庫
- データベース本体，データベース本体に対して書き込み・読み出しを行う TMS_DB
- データベースに蓄積した情報を利用し，室内の特定状況の検出・状況推定を行う TMS_SA
- ロボットサービスで利用するモジュールとその順序を記述した TMS_RS

これらの機能により，TMS は人の歩行軌跡と物品の取出し履歴という情報を統合し，人による物品放置を推定できるようになった．また，推定結果を基にロボットに命令を送ることで，効率的な紛失物品の探索，状況の確定，データベースの更新ができるようになった．

本発表の段階では，検出する室内の状態とロボットサービスは各 1 種類であるが，これらを増やし，状況に応じたサービスを提供できるように開発を継続する．また，複数サービスの管理に必要な TMS_TS に関して検討し，実装と実験を行う予定である．

謝辞

本研究は JSPS 科研費 24700194 の助成を受けたものです．

参考文献

[1] 村上剛司，長谷川勉，木室義彦，千田陽介，家永貴史，有田大作，倉爪亮：”情報構造化環境における情報管理の一手法”，日本ロボット学会誌，Vol.26，No.2，pp.192-199，2008.

[2] 長谷川勉，田中真英，表允晳，辻徳生，諸岡健一，倉爪亮：”床上センシングシステ ムと室内生活行動モデルにもとづく居住者の行動推定”，第 18 回ロボティクスシンポジア 講演予稿集，3D2，pp.330-336，2013.

[3] 村上剛司，松尾一矢，野原康伸，長谷川勉，倉爪亮：”知的収納庫と Floor Sensing System を用いた物品追跡システム”，第 28 回日本ロボット学会学術講演会予稿集，3P1-7，2010.

[4] 桑畑舜也，長谷川勉，蔡現旭，諸岡健一，倉爪亮：”情報構造化環境における日用品の追跡 -移動ロボットによる低レベル視覚記憶の照合と変化検出-”，日本ロボット学会第 30 回記念学術講演会 2012，2J2-7，2012.