

分散センサを用いた室内状況推定に基づく サービス自動実行アーキテクチャ

Robot service architecture based on room condition estimation by distributed sensors

ピョ ユンソク (九州大) 永田 晃洋 (九州大) 中島 洸平 (九州大) 桑畑 舜也 (九州大)
正 辻 徳生 (九州大) 諸岡 健一 (九州大) 正 倉爪 亮 (九州大) 正 長谷川 勉 (熊本高専)

Yoonseok Pyo, Kyushu University, pyo@irvs.ait.kyushu-u.ac.jp
Akihiro Nagata, Kyushu University
Kouhei Nakashima, Kyushu University
Shunya Kuwahata, Kyushu University
Tokuo Tsuji, Kyushu University
Ken'ichi Morooka, Kyushu University
Ryo Kurazume, Kyushu University
Tsutomu Hasegawa, Kumamoto National College of Technology

This paper introduces an information processing architecture named ROS-TMS for informationally structured environment. This architecture enables to handle several practical service tasks such as state estimation in a room using accumulated information in a database, and automatic planning and execution for suitable service tasks. As an application of the proposed ROS-TMS, we present an emergency detection and alert system using distributed sensors and a service robot.

Key Words: Informationally structured environment, Service robot, Emergency detection, ROS

1 はじめに

介護の人手不足や被介護者の増加など、高齢社会が抱える問題の解決策として、ロボットによる生活支援が期待されている。適切な生活支援の実現には、ロボットは人の行動や日用品の位置、家具などの環境情報を正確に把握する必要がある。しかし、多様で動的に変化する日常生活環境を、すべてロボット搭載センサのみで観測することは困難である。そこで、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が進められている [1]。これは環境に分散配置したセンサ群を利用して、移動体や物品の位置などの環境情報を取得し、ロボットの作業を支援するものである。

我々もこれまでに様々なセンサを設置した屋内情報構造化環境を構築し、ロボットによるサービス実験を行ってきた。現在までに構築したシステムでは、物品や人、ロボットの位置など、センサからの一次情報をすべてタウンマネジメントシステム (TMS) に蓄積することに主眼が置かれていた。しかし、ロボットが状況に応じた生活支援サービスを適切に提供するためには、蓄積情報を分析し、状況を的確に把握、推定する機能が不可欠である。

そこで本研究では、従来の TMS に状況推定やサービス実行機能などの以下の 2-4 の機能を追加した、新たな情報構造化アーキテクチャ (ROS-TMS) を構築する。

1. 環境センサから得られる一次情報の蓄積
2. 蓄積情報の分析と室内状況の推定
3. 異常検出をトリガーとしたサービスの実行
4. サービス実行手順のデータベース化

また本稿では、ROS-TMS によるロボットサービスの一例として、居住者の転倒を検出し、ロボットの移動と状況確認、顔画像の取得などの手順を順次実行することで、居住者の異変へ対処するサービスを紹介する。



Fig.1 Informationally structured environment

2 屋内情報構造化環境と生活支援サービス

我々は現在、高齢者介護施設の個人居室や病院の個室を想定した屋内情報構造化環境を構築している (図 1)。この環境には以下のセンサ、ロボット、物品が存在する。

環境センサ レーザレンジファインダ (LRF), RFID タグリーダー, ロードセル

サービスロボット KXP, SmartPAL IV, V

RFID タグ付き物品 飲料, 菓子, 本等

可動家具 椅子

固定家具 机, ベッド, 棚

ただし、空間には以下の制約を設ける。

- 床面上の LRF を使用するため、足つきベッドや椅子など、床に接する面積が大きい家具がないこと

- 室内の物品には全て RFID タグが貼付されていること

- プライバシーを考慮し、固定カメラは使用しないこと

これらは介護施設や病院では実現可能な制約である。

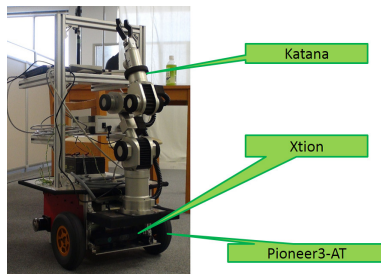


Fig.2 Service robot KXP

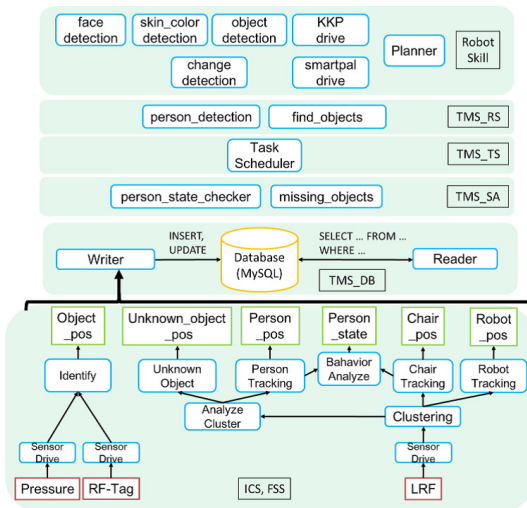


Fig.3 ROS-TMS architecture

2.1 サービスロボット KXP

本研究では、Katana (Neuronics), Xtion (ASUS), Pioneer3-AT (MobileRobots) からなるサービスロボット KXP を開発した。Pioneer3-AT は 4 輪の移動台車型ロボットであるが、後輪はキャストに変更し、室内での旋回を容易にしている。

2.2 転倒検出・緊急事態通知サービス

本稿では、居住者の転倒検出・緊急事態通知サービスを例に、開発した ROS-TMS を説明する。居住者が転倒し意識を失った場合、速やかに異常を検出して状況を外部へ知らせなければならない。そこでこのサービスでは、TMS は LRF を用いて人の状態を常時監視し、居住者が転倒し動かない場合は、状況確認のためにロボットを起動する。ロボットは、人が倒れた位置付近に近づき、搭載カメラで顔画像及び全身画像を取得するとともに、その状況を外部に通報する。固定カメラを用いないため、居住者の平時のプライバシーに配慮しつつ、緊急事態には適切に対応できる。

3 ROS-TMS アーキテクチャ

開発した ROS-TMS アーキテクチャを図 3 に示す。アーキテクチャは機能別に以下の 6 つのサブシステムから構成される。

環境固定センサ フロアセンシングシステム (FSS)・知的収納庫 (ICS) などによる室内の情報収集

TMS Database (TMS_DB) データベースへの情報の蓄積と読み出し

TMS State Analyzer (TMS_SA) 蓄積情報を用いた状況推定

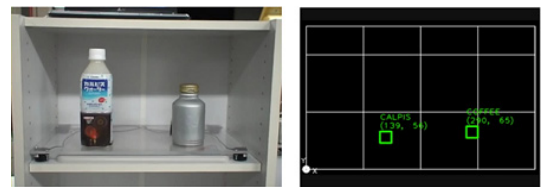


Fig.4 Intelligent Cabinet System (ICS)

TMS Task Scheduler (TMS_TS) ロボットによる生活支援サービスの実行制御

TMS Robot Service (TMS_RS) 生活支援サービスの全体計画

Robot Skill (RS) ローカルな動作計画, 画像処理, 動作命令

それぞれのサブシステムは ROS (Robot Operating System)[2] により接続されている。以下では ROS, およびそれぞれのサブシステムについて説明する。

3.1 ROS

システムの汎用性と拡張性を確保し、機能追加を容易にするため、各サブシステムの接続に ROS を利用する。ROS は Willow Garage 社が開発したミドルウェアであり、様々な処理をそれぞれ独立したノードとして実装し、目的に応じて多数のノードを組み合わせることで、多様なシステムを柔軟に構築できる。そこで開発した ROS-TMS では、上記のサブシステムやロボットをそれぞれ ROS のノードとして実装する。

3.2 環境固定センサ

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モジュール群からなるサブシステムである。LRF を用いて床上の物体を検出するフロアセンシングシステム (FSS), RFID タグリーダとロードセルを用いた知的収納庫 (ICS) などから構成される。

3.2.1 FSS (Floor Sensing System) [3]

フロアセンシングシステムは床上 2.5cm を走査するレーザーレンジファインダ (LRF) と鏡、およびその処理モジュール群からなる。LRF および鏡に反射したレーザにより、床上の物体までの距離と反射強度を得る。さらに、物体固有の反射強度や数十フレーム分の蓄積情報を用いることで、床上に存在する物体を 4 種類 (ロボット, 椅子, 人の足, それ以外の物品) に分類する。

3.2.2 ICS (Intelligent Cabinet System) [4]

知的収納庫は、RFID タグリーダとロードセルを用いて、収納された RFID 付き物品の種類と位置, 重量を出力する。図 4 に物品の収納と検出の様子を示す。

3.3 TMS_DB (Database)

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。データベースには、以下の 4 種類のテーブルがある。

1. FSS や ICS で取得した位置情報 (ロボット・椅子・人の足・それ以外の物品) の履歴を保持するテーブル
2. 人の状態推定結果を保持するためのテーブル
3. 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
4. ロボットが取得した 3D 画像情報を管理するテーブル

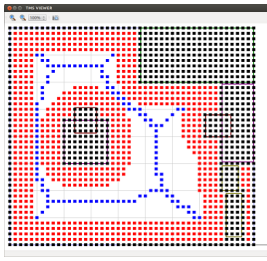


Fig.5 Volonoi diagram

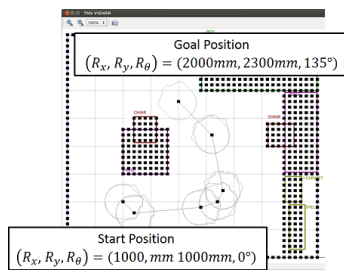


Fig.6 Planned trajectory

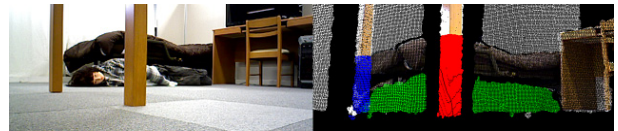


Fig.7 Detected objects on a floor

3.4 TMS_SA (State Analyzer)

例えば、ある居住者の足が知的収納庫付近で検出され、ほぼ同時刻に知的収納庫から物品が取り出された場合、この物品はこの居住者により取り出されたと推定できる。さらに、取り出された飲み物が、重さが減った状態で収納庫に再び戻された場合、その居住者が飲料を飲んだと推定できる。TMS_SAは、このように位置や重さなど複数の一次情報に基づき、直接的には観測できない事象を推測するサブシステムである。推定結果は、サービスの提供に必要な情報の抽出や、サービス開始のトリガとして利用される。現在は、居住者の行動推定、放置物品の検出、異常事態検出が実装されている。

3.5 TMS_TS (Task Scheduler)

ロボットによるサービスは、適切な状況で適切な時刻で開始されなければならない。例えば、ロボットによる室内物品整理・管理サービスを居住者が室内を移動しているときに実行すると、作業中に衝突しかねず、また非効率である。一方、居住者が床上に転倒して動かない場合、全ての実行中のロボットサービスを中断し、それを外部に知らせるサービスを即時実行する必要がある。TMS_TSはサービス実行のタイミングを制御するサブシステムである。

3.6 TMS_RS (Robot Service)

ロボットによる生活支援サービス全体を計画するサブシステムである。サービス実行に必要なセンサ情報、ロボット動作などをデータベースから読み取り、サービスを開始、実行する。

現状ではTMS_RSの例として、「居住者の転倒検出・外部へ異常事態の送信」を実装している。

3.7 Robot Skill

サービスに必要な動作をローカルに計画するための機能群で構成され、TMS_RSから呼び出される。これまでに開発したモジュールは以下の3種類である。

- Robot Planning System (RPS)
- Object Detection System (ODS)
- Robot Controller (RC)

3.7.1 Robot Planning System (RPS) [5]

ロボットがサービスを実行するために必要な動作を計画するモジュールであり、動作計画機能と環境監視機能に大別される。

動作計画機能では、作業位置計画、移動経路計画、アーム動作計画を行う。このうち作業位置計画では、サービスの内容に応じて、各作業を行うために適したロボット位置を計画する。また移動経路計画では、障害物の位置を母点としたポロノイ図を作成し(図5)、ポロノイ境界線を移動経路候補として出力する(図6)。またアーム動作計画では、ロボット用統合GUIソフトウェアChoreonoid[6]とgraspPlugin¹により、アームの把持計画や軌道計画を行う。

環境監視機能では、FSSより得られる情報を基に環境地図を常に更新し、計画された移動経路が安全に走行可能かを監視している。

¹<http://choreonoid.org/GraspPlugin/i/?q=ja>

3.7.2 Object Detection System (ODS)

ロボット搭載カメラで得られる画像および3次元点群情報を処理するモジュールであり、床上物体検出や机・棚内の变化検出[7]などが実装されている。また居住者の転倒検出・緊急事態通知サービスでは、転倒者の位置や大きさを計測する床上物体検出機能(図7)と、顔画像取得のために顔検出機能を動作させる。

人の顔検出機能では、Viola-Jones法[9]による顔検出を行う。転倒者の顔を検出できるように、正面顔に加え、傾いた顔と横顔を登録している。

3.7.3 Robot Controller (RC)

各ロボットを動作させるためのライブラリをROS化したものである。ロボットごとに動作ライブラリは異なるため、例えば同一動作でもSmartPal IVとKXPでは別のモジュールを起動する。

4 サービス実験

構築したROS-TMSを用いて、居住者の転倒検出・緊急事態通知サービスの実験を行った。このサービスでは、FSSが居住者の転倒を検出した場合、人の状態を確認するために転倒者に近づき、顔画像を撮影する。

4.1 処理手順

このシナリオでは、FSSで床面を常時監視しておき、TMS_SAは居住者の足が途切れ、床上に大きな物体が出現した場合、居住者が転倒したと判断する。その後TMS_SAは、転倒者を確認するサービスの即時実行をTMS_TSに要求する。TMS_RSは、ロボット搭載カメラのXtionを利用して、TMS_SAで検出された床上の物体に近づき、全身・顔画像情報を取得する。

TMSの各機能において行われる処理の詳細を以下に示す。

● TMS_SA

1. 床上センシングシステムにより床面上を常時監視し、人の転倒を検出する。
2. TMS_TSに、転倒者の確認、異常事態の報告サービスを要求する。

● TMS_TS

1. 転倒者の確認サービスが要求された場合、即座にTMS_RSを呼び出してサービスを実行させる。

● TMS_RS

1. ロボットをFSSで取得される転倒者の方向に回転させ、床上の物体の端点を取得するためにODSを起動する。図8の赤点はODSで取得された転倒者の点群セグメントを示す。
2. 1で取得した点群セグメントの両端点から、図8の黄と青の各点を計算する。このうち、全身の中央付近の青点を全身画像取得候補点、端点付近の黄点を顔画像取得候補点とする。
3. 全身画像取得点(青点)の2点のうち、ロボットの現在位置に近い点に対してRPSによりロボットの動作計画を行う。移動経路が見つからなかった場合、もう一方の全身画像取得点に対して再度経路を計画する。

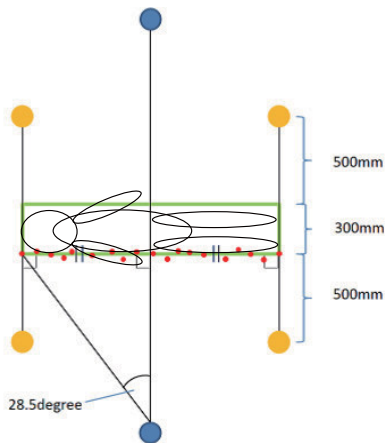


Fig.8 Target points

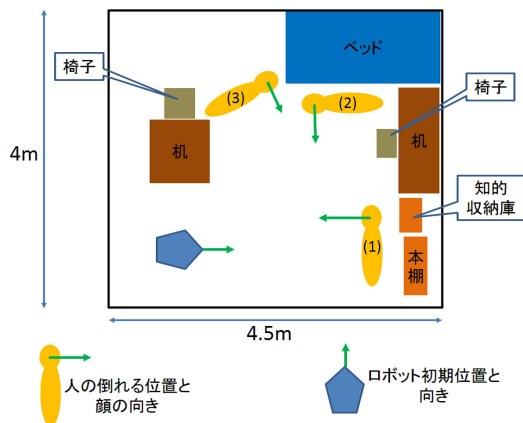


Fig.9 Rollover positions

4. 3 で得られた移動経路に従い、RC によりロボットを全身画像取得点に移動させ、全身画像を取得する。
5. ロボットに搭載した Xtion で肌色検出を行い、顔画像が得られる可能性が高い顔画像取得候補点を黄点から選択する。
6. 5 の目標点に移動し、顔検出を行う。
7. 顔検出に成功すれば、TMS へ情報を送信する。失敗した場合は、足側で顔認識を行ったと考え、もう一方の顔画像取得候補点へ移動し、6 を行う。
8. Katana で転倒者を揺らし、気づけのための行動を行う。

5 実験結果

前章のシナリオに基づいて、居住者の転倒検出・緊急事態通知サービスの実験を行った。転倒者の位置を図9に示す。

図9中の転倒箇所(3)に対するKXPによる転倒者の状態確認サービスの様子を図10~図13に示す。またロボットが図11の位置から取得した全身画像を図14に、図12の位置から取得した顔画像を図15に示す。実験の結果、顔画像の取得にはいずれの転倒場所でも成功したが、ロボットの移動誤差により、全身画像取得時に全身が入らない画像になる場合があった。

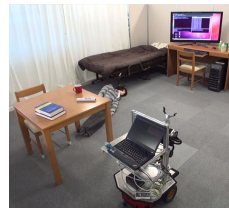


Fig.10 Initial position



Fig.11 Capturing whole body image

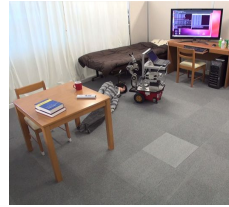


Fig.12 Capturing face image



Fig.13 Nudging by hand



Fig.14 Whole body image



Fig.15 Face image

6 まとめ

従来のタウンマネジメントシステム(TMS)を拡張し、環境センサからの情報の蓄積、室内状況分析、サービス開始の判断、ロボットの動作計画機能を備えた新たなROS-TMSアーキテクチャを開発した。ROS-TMSは、分散センサからの一次情報に基づき、直接的には観測できない事象を推測することで適切なサービスの選択や、サービスの実行を制御する。構築したROS-TMSの動作を検証するため、居住者の転倒を検出し、適切な位置から全身および顔画像を取得する、居住者の転倒検出・緊急事態通知サービス実験を行った。

References

- [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] <http://www.ros.org/>
- [3] 長谷川勉, Pyo Yoonseok, 田中真英, 辻徳生, 諸岡健一, 倉爪亮, "床上センシングシステムを用いた生活環境における移動物体の位置計測と居住者の行動推定", 日本ロボット学会誌, Vol.31, No.8, pp.769-779, 2013.
- [4] 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
- [5] 中島 晃平, 長谷川 勉, 辻 徳生, 諸岡 健一, 倉爪 亮, "ワゴンを利用した生活環境中の日用物品運搬システムの開発" 第14回計測自動制御学会 システムインテグレーション部門講演会 SI2013 2M2-3.
- [6] 中岡慎一郎, "拡張可能なロボット用統合 GUI 環境 Choreonoid", 日本ロボット学会誌, vol.31, no.3, pp.12-17, 2013.
- [7] 桑畑舜也, 長谷川勉, 諸岡健一, 倉爪亮, 辻徳生, "情報構造化環境における家具上物品検出のための移動ロボットによる視覚記憶の照合と変化検出", 第31回日本ロボット学会学術講演会 2013 3I1-04.
- [8] Fischler, M., Bolles, R, "Random sample consensus: a paradigm for model fitting with application to image analysis and automated cartography", Commun. Assoc. Comp. Mach.24, 381-395 1981.
- [9] M. Jones and P. Viola, "Fast multi-view face detection", Technical report, Mitsubishi Electric Research Laboratories, TR2003-96, 2003.