

多様なセンサを搭載した小型複合センサ端末の開発と 人物追跡のための最適配置計画

Development of small sensor terminal “Portable” and automatic reconfiguration for pedestrian tracking

○ 渡邊 裕太 (九州大) 正 倉爪 亮 (九州大) ピョ ユンスク (九州大)
正 辻 徳生 (九州大) 諸岡 健一 (九州大)

Yuuta WATANABE, Kyushu University, watanabe@irvs.ait.kyushu-u.ac.jp

Ryo KURAZUME, Kyushu University

Yoonseok Pyo, Kyushu University

Tokuo TSUJI, Kyushu University

Ken'ichi MOROOKA, Kyushu University

This paper proposes a small, lightweight, and easily-relocated sensor terminal named “Portable” for acquiring a variety of environmental information. The Portable is equipped with a variety of sensors including a pyroelectric sensor, a proximity sensor, a sound pressure sensor, a thermometer, a hygrometer, a gas sensor, a flame sensor, and a laser range finder. We introduce three typical applications: abnormality detection, pedestrian tracking and automatic reconfiguration of several Portables for pedestrian tracking.

Key Words: Compound sensor terminal, Laser range finder, Pedestrian tracking, Abnormality detection

1 はじめに

日常生活環境で、サービスロボットによる円滑な生活支援サービスを実現するためには、人や物の正確な位置や家具の配置など、多くの環境情報が必須である。しかし、膨大な情報をロボットが単体で獲得、処理するのは限度がある。そこで我々は、生活環境に多数のセンサを設置し、得られた情報をロボットが共有することで、ロボット単体の負担を軽減し、より多様なサービスを提供できる環境情報構造化について研究を行っている。これまでに、環境情報構造化アーキテクチャ ROS-TMS を開発してきた [1]。しかし、多くのセンサを環境側に設置しても、センサが環境情報を取得することができない死角領域を完全になくすことは難しい。これを解決する手法として、より多くのセンサを予め環境にセンサを設置することも可能ではあるが、死角領域が発生する箇所を把握する必要があり、設置費用や手間が増えるなどの問題がある。さらにサービス提供に必要な環境情報は様々であり、その獲得には多くの種類のセンサを設置する必要がある。

そこで本研究では、様々なセンサを搭載した小型軽量な複合センサ端末（ポータブル）を開発し、多数のポータブルを計測状況に応じて移動させ、既に構築されている計測空間を再構成することで、計測状況に即した最適配置を実現する手法を提案する（図 1）。

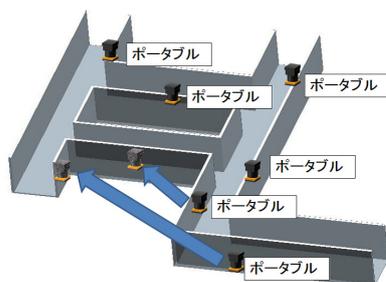


Fig.1 Reconfiguration of Portables

2 小型軽量な複合センサ端末“ポータブル”

開発したポータブルの概要について説明する。

2.1 ハードウェア構成

開発した“ポータブル”は、人やロボットが手軽に把持、運搬できるよう、小型の筐体に多様なセンサと小型 PC、バッテリー、無線通信システムを内蔵したものである。全体図を図 2 に、ハードウェア構成を以下に示す。

- センサ情報を統括し、ROS-TMS 内の外部データベースと通信を行うポータブル統括 PC (Odroid)
- 多様な環境情報を取得するための小型センサ
 - － 人感センサ
(Parallax Inc · Parallax PIR sensor Rev A)
… 人の接近を検知
 - － 近接センサ
(LETEX TECHNOLOGY CORP · LBR-127HLD)
… 近接物を検知
 - － 音圧センサ
(DB Products Limited · C9767BB422LF-P)
… 衝突音を検知
 - － 温度湿度センサ
(Aosong Guangzhou Electronics Co. , Ltd. · AM2321)
… 温度湿度を計測
 - － ガスセンサ
(Parallax Inc · CH4 Gas Sensor Module)
… 有毒ガスの検知
 - － 炎センサ
(DFROBOT · DFR0076)
… 火事等の検知
 - － レーザレンジファインダ (LRF)
(北陽電機 · URG-04LX-UG01)
… 空間構造、人物追跡

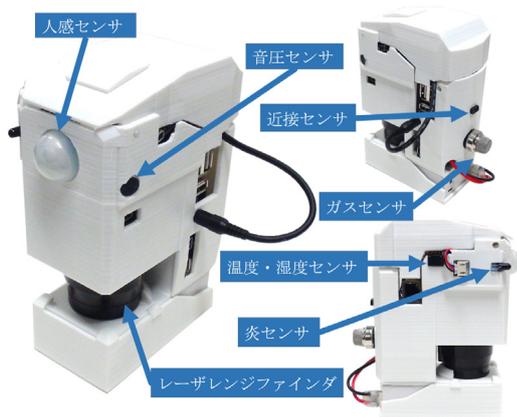


Fig.2 Photo of "Portable"

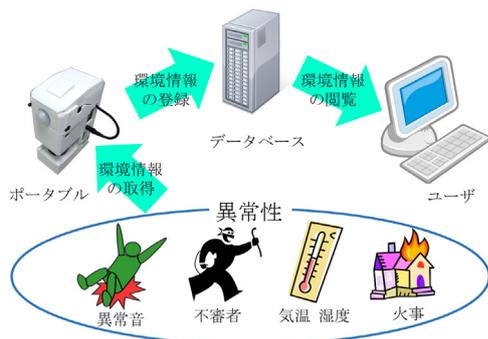


Fig.3 Acquisition of environmental information and abnormality detection

2.2 ソフトウェア構成

“ポータブル”では、センサ間および外部との通信に ROS(Robot Operating System) を利用し、複数のセンサノード、処理ノードからなる分散システムを採用した。それぞれのセンサから得られる環境情報は、それぞれトピックとして送信され、ROS-TMS 内のデータベースに保存される。

3 ポータブルを用いた環境・人流計測と最適配置手法

本章では、ポータブルを活用したアプリケーションとして、

- 計測空間内の異常検出
- LRF による人物追跡
- ポータブルの最適配置

の 3 つを紹介する。

3.1 計測空間内の異常検出

ポータブルに搭載した様々なセンサにより、常時、計測空間の環境情報を取得し、得られた情報を ROS-TMS 内のデータベースに登録する。ユーザはデータベースに格納された環境情報を、専用ビューワにより確認できる。またガスセンサ、炎センサにより異常が検出された時には、警告を表示するとともに LRF など他のセンサが自動的に起動される (図 3)。

3.2 LRF による人物追跡

ポータブル搭載の LRF から得られる点群に、背景差分、クラスタリング、パーティクルフィルタを適用し、歩行者を追跡するシステムを開発した。本システムでは、パーティクルフィルタをクラスタリングされた点群それぞれに対して発生させることで、複数の歩行者を同時に追跡できる。

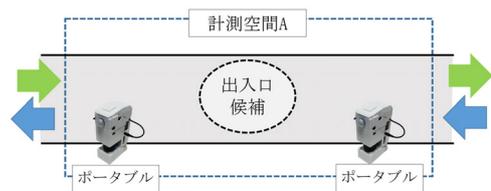


Fig.4 Problem definition for sensor reconfiguration

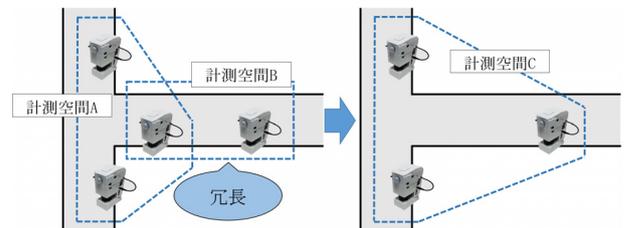


Fig.5 Portable removal by direct judgment

3.3 ポータブル最適配置

複数のポータブルの配置を適応的に変化することで、最適な計測空間を形成する手法を提案する。本手法の前提条件を以下に示す。

- 廊下や部屋の出入口など、通路が予め既知の環境とする
- 計測空間は複数のポータブルによって構成される
- 計測空間内の全ての出入口候補は既知とする (図 4)。ただし実際に入りがあるかは不明である

基本的なアルゴリズムを以下に示す。

- 前項の人物追跡システムにより、計測空間への出入りを計測する
- ポータブル前を通過して計測空間に入りし人数が等しい場合、出入口候補が人流に影響を及ぼさないと判断し、冗長なポータブルを除去する
- ポータブル前を通過して計測空間に入りし人数が異なる場合、出入口候補が人流に影響を及ぼすと判断し、新たなポータブルを出入口候補に追加する

3.3.1 ポータブル追加の判断

計測空間内で滞りなく人が流れれば、出入りした人の割合は等しい。一方、この割合が閾値 α を超えた場合、出入口候補が人流に影響を及ぼしていると判断し、出入口候補にポータブルを追加する。

3.3.2 ポータブル冗長の判断

図 4 のように、2 個のポータブルにより計測空間が形成されたとする。一定時間計測し、空間内に左から入り右から出る人と、右から入り左から出る人の割合がそれぞれ閾値 β 以内である場合には、出入り口候補は人の通行に影響を与えないと判断し、片方のポータブルを除去する。閾値 β を超えたときはそのまま計測を続行する。

3.3.3 直接的な判断に基づくポータブルの除去

2 個のポータブルから形成された計測空間からポータブルを除去する際には、その計測空間が隣接する別の計測空間に含まれるように、ポータブルを選択する。例えば、図 5 のように計測空間 B から片方のポータブルを除去する場合、それが計測空間 A に取り込まれるように、両空間に含まれる中央のポータブルを除去し、新規に計測空間 C を形成する。

3.3.4 間接的な判断に基づくポータブルの除去

3 個以上のポータブルで形成される計測空間上では、間接的な判断に基づき、ポータブルを除去する。すなわち、図 6 に示すように、計測空間が形成されてから一定時間以上、人の通行を全く検知しないポータブルがあった場合には、そのポータブルを取り除く。

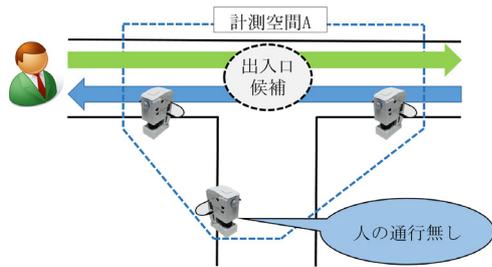


Fig.6 Portable removal by indirect judgment

id	name	etcddata
3011	portable_sensor_1	00556;1;0;0;0;0;38.4;10.6;

Fig.7 Environmental information stored to the ROS-TMS

4 実験

4.1 ポータブル搭載センサを用いた計測空間の異常検出及び人物追跡実験

ポータブルに搭載した様々なセンサを用いて、第3章で提案した計測空間の異常検出実験と LRF を用いた人物追跡実験を行った。

4.1.1 ROS-TMS 内のデータベースへの環境情報書き込み

まず、ROS-TMS 内の外部データベースへの環境情報の書き込みを確認した。図7に書き込まれた情報を示す。環境情報の登録箇所は行 *portable_sensor_1* 列 *etcddata* であり、左から登録番号; 人感センサ; 近接センサ; 炎センサ; 音圧センサ; ガスセンサ; 温度センサ; 湿度センサ; である。なお、温度、湿度センサからは温度、湿度の値を、他のセンサからは (センサに反応有:1 センサに反応無し:0) としてデータを受け取っている。

4.1.2 人感センサを用いた人物検出

生活環境内に複数のポータブルを設置し、搭載した人感センサにより人物の検出を行った。人感センサに反応があると、図8に示すようにビューワ上に緑色の人型オブジェクトが表示される。

4.1.3 LRF を用いた人物追跡

ポータブルに搭載している LRF により人物追跡を行い、動作を確認した。図9に追跡中のビューア画面を示す。

4.1.4 複数のセンサを統合した異常検出実験

搭載したセンサにより異常を検出する実験を行った。図10に示すように、炎センサが近くで火を検知した場合、ビューワに異常を表示するとともに LRF が自動的に起動し、周囲の歩行者を検出、追跡する。これにより異常発生時の通知や適切な避難誘導を行うことができる。

4.2 ポータブル最適配置実験

4.2.1 単体のポータブルによる追跡精度の検証

廊下環境で歩行者の通行を計測し、LRF を用いた歩行者の追跡精度を計測した。実験では、複数の歩行者が図11の廊下環境を往復し、その時のポータブルの計測数と実際の歩行人数を比較した。9回の実験で得られた結果を表1に示す。なお、スタート地

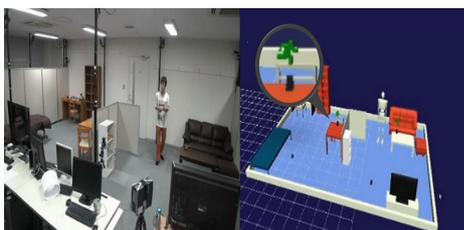


Fig.8 Person detection using proximity sensor

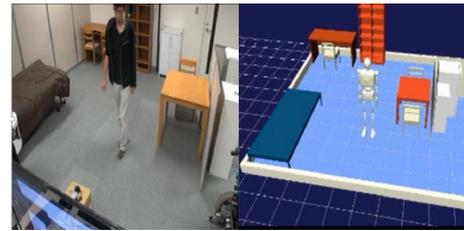


Fig.9 Pedestrian tracking using LRF



Fig.10 Abnormality detection experiment

点から折り返し地点へ移動する人数を Inner, その逆を Outer としている。実験の結果、追跡精度は平均 86.0%, 標準偏差 6.62% であった。Inner の識別率が Outer よりも低いが、これは廊下を右側通行する歩行者が多く、Inner が Outer を隠すことが多かったためである。

4.2.2 6個のポータブルによる再構成実験

図12に示す環境で、ポータブル6個を用いた最適配置実験を行った。実験では、まずポータブルを図12の①~⑥のように配置し、隣接する複数のポータブルと出入口候補 (△) に対して、複数の初期計測空間を手動で設定した。

廊下の配置や廊下に面した出入口候補の位置は既知とし、計測空間1はポータブル1, 2, 3と出入口候補 (研究室928入口), 計測空間2はポータブル2, 4と出入口候補 (研究室914入口), 計測空間3はポータブル4, 5と出入口候補 (ゴミ置き場扉), 計測空間4はポータブル1, 6と出入口候補 (研究室928裏口), によって形成されているものとする。

- 実験参加者は、最初の15分間、図13のパターンAのように廊下の一区間を数回往復した。
 - この結果、計測空間2、計測空間3が冗長であると判断された。そこで直接的な判断に基づき、図15に示すように、ポータブル2, 4を除去し、ポータブル1, 5, 3で形成される計測空間6を新規に設定した。この時、ポータブル1, 6で構成される計測空間4は冗長であると判断されなかったため、引き続き計測を行った。
- 次に928研究室の通り抜けを利用して、図14のパターンBのように周回した。



Fig.11 Accuracy measurement for pedestrian tracking

