

# アンビエントセンシングに基づくロボット安全のための 人物存在推定

辻井 将央<sup>†</sup> 青木 大樹<sup>†</sup> 橋本 学<sup>‡</sup>

中京大学 情報理工学部<sup>†</sup> 中京大学大学院 情報科学研究科<sup>‡</sup>

E-mail: mana@isl.sist.chukyo-u.ac.jp

## 1. はじめに

近年、工場などへのロボットの導入が増加し、ロボットを安全に使用するための枠組みである「ロボット安全」が重要視されている[1]。従来はロボットの可動範囲を覆う柵を設けるなど、人とロボットの作業空間を完全に分離していたが、最近ではロボットと人間の行動範囲が重複するような協調作業が求められていることから、センサによる安全確保が課題となっている。

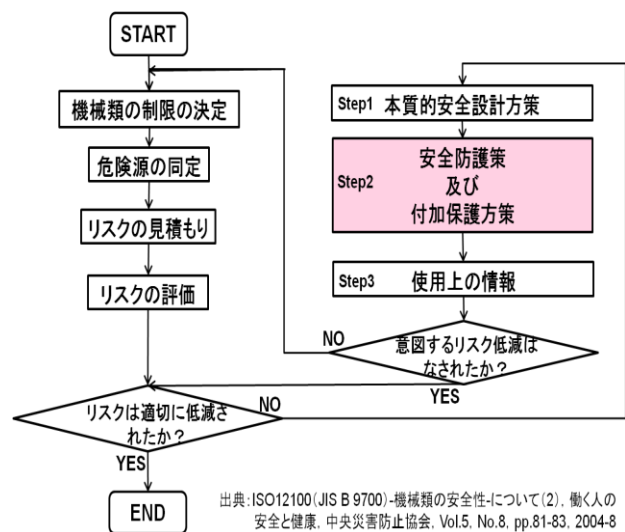
例えばライトカーテンの利用[2]は有効であるが検知範囲が比較的小さいため、広範囲の人間の行動検知が望まれている。

関連技術として、センサ群により人物存在を推定するアンビエントセンシング[3]や3次元センサによる距離情報から人の形状特徴を利用したフィルタリングにより人を検出する手法[4]もあるが、ロボット安全としての応答速度の問題や設置コストが大きいなどの問題点があった。

そこで本研究では、応答速度の速い簡易センサを多数組み合わせることで、広範囲の空間をリアルタイムにモニタリングする新しいロボット安全センサシステムを提案する。予め空間内の人物位置とセンサ信号群の関係を学習データとしておき、ANN(近似最近傍探索)を用いて入力データを評価することにより人物存在確率を推定する。さらに時系列信号のベイズ推定を取り入れ信頼性を向上させることにより処理速度の向上、設置コストの削減を実現した。

## 2. ロボット安全と本研究の位置づけ

ロボット安全の定義は機械安全規格としてISO12100に示されている。その定義をもとに安全へのプロセスを図示したものが図1である。



出典:ISO12100(JIS B 9700)-機械類の安全性について(2)、働く人の安全と健康、中央災害防止協会、Vol.5, No.8, pp.81-83, 2004-8

図1. 安全へのプロセス

ロボット安全の基本は図1を満たすことであり、中でも本研究ではstep2「安全防護策及び付加保護方針」に注目する。従来step2では、防護柵やセンサライトカーテンを設置する方策をとっていたが、協調作業を妨げる原因となっていた。本研究では、協調作業を可能とする柵を必要としないロボット安全システムを実現する。

## 3. 提案手法

アンビエントセンシングによる人物存在推定手法を提案する。図2のように、生産現場を想定したエリアに対し複数のセンサを格子状に配置する。センサとしては、PSD素子を用いた三角測量の原理による赤外式1D測距センサを使用する。本研究では正方形のセンシング範囲を8×8の64領域に分割し、縦横各辺8個ずつ、合計16個のセンサを配置する。

提案手法は図3のような学習ベースの認識アルゴリズムとなっている。

Estimation of Person Existence based on ambient sensing for Robot Safety

<sup>†</sup> Masahiro Tsujii • Chukyo Univ.

<sup>†</sup> Daiji Aoki • Chukyo Univ.

<sup>‡</sup> Manabu Hashimoto • Chukyo Univ.

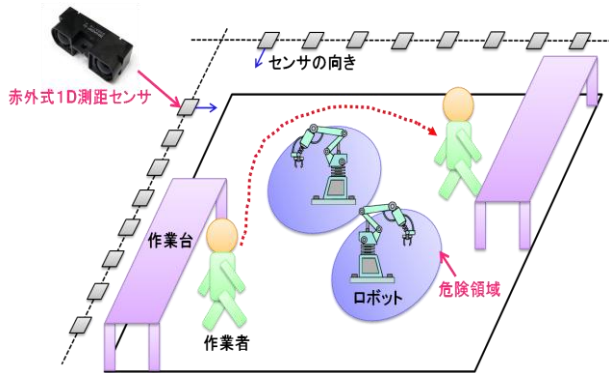


図 2. システムの外観図

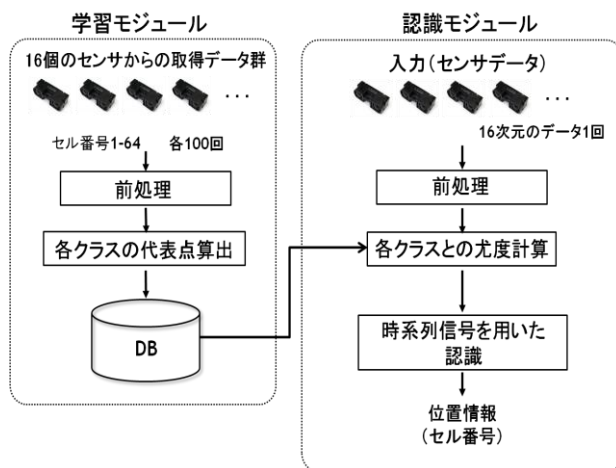


図 3. 提案手法の概要

まず学習モジュールでは、実際にセンシング範囲を人物が歩行して 16 個のセンサ出力を記憶する。式(1)のように観測した距離データ  $D_n$  を複数  $N$  回取得して学習データベース  $X_{ij}$  を構築する。  $i$  はセンサ番号、  $j$  はセル番号を示す。

$$X_{ij} = \frac{1}{N} \sum_{k=0}^N D_k \quad (0 \leq i < 16, \quad 0 \leq j < 64) \quad (1)$$

次に認識モジュールでは、16 個のセンサから得られたパターンを学習データと比較することでセンシング範囲に存在する人物の位置を推定する。このとき、ANN (近似最近傍探索) を用いることで解探索の高速化を図る。さらにセンサ出力の時系列信号をもとに式(2)のベイズ推定をおこない、人物移動のなめらかさ拘束を考慮することで位置検出の信頼性を向上させる。

$$P(A|X) = \frac{P(X|A)P(A)}{P(X)} \quad (2)$$

ここで、  $A$  はセル番号であり、  $X$  はセンサから得られる入力データである。

事後確率  $P(A|X)$  は占有率マップ (各セルにお

ける存在確率) , 尤度  $P(X|A)$  は特徴空間における入力データとセルの代表点との類似度, 事前確率  $P(A)$  は過去の推定位置をもとに計算したものを表す。

#### 4. 実験と考察

図 4 のように 3.6m x 3.6m の模擬作業空間に配置された 16 個のアンビエントセンサにより実際に観測したデータ群に対して本手法を適用した結果を表 1 に示す。認識精度は、目視によりあらかじめ設定した正解セルと出力セルとの比較により求めた。なお、1セルの誤差を許容した場合は 97.8%であった。認識にかかる処理時間は 0.18[ms]であった。

表 1 認識精度と処理時間

	認識精度	処理時間[ms]
提案手法	83.6%	0.18

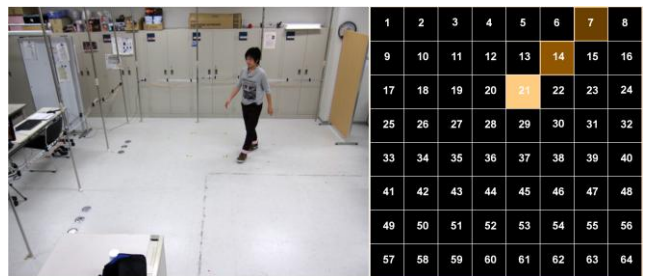


図 4. 実験環境と出力結果

#### 5. まとめ

赤外式の簡易な 1 次元センサを用いたアンビエントセンシングによる人物存在推定手法を提案した。擬似作業空間に配置されたセンサによる観測データに対し 83.6%の認識率を実現し、実用的な時間を達成した。今後の方針としては、複数人物移動への対応などを検討している。

#### 参考文献

- [1] 林ほか：人間との共存の際の安全確保に関するロボットビジョン技術，日本ロボット学会誌，Vol. 27, No. 6, pp. 604-607, 2009.
- [2] 中坊ほか：人と共存するロボットのための安全モジュールの開発，信学論 Vol. J93-D, No. 4, pp. 435-442, 2010.
- [3] C. Wren, Y. Ivanov : Ambient intelligence as the bridge to the future of pervasive computing, MERL-TR, 2008.
- [4] 池村ほか：距離情報を用いた Haar-like フィルタリングによる人検出，SSII, IS4-13, 2010.