

低プライバシー侵害性の行動観察システム —超音波タグ・レーダ統合システムによる人とモノの位置計測—

Minimally Privacy-Violative System for Observing Human Behavior —Locating Human and Objects by Integrating Ultrasonic Radar System and Ultrasonic Tagging System—

○ 村上 真一 (東京理科大) 正 西田 佳史 (産総研 (CREST, JST))
正 堀 俊夫 (産総研 (CREST, JST)) 正 溝口 博 (東京理科大)

Shinichi Murakami, Tokyo Univ. of Science Yoshifumi Nishida, AIST & JST, CREST
Toshio Hori, AIST & JST, CREST Hiroshi Mizoguchi, Tokyo Univ. of Science

Abstract: A system measuring human daily activities that may violate privacy is unacceptable in our society. This paper proposes a minimally privacy-violative system for locating not only a person but also daily objects. One of presumable applications is a system for always observing aged people suffering from Alzheimer's disease. The system can measure the three dimensional position of the person's head by an ultrasonic radar function and can measure the three dimensional position of the object by ultrasonic tag function. The authors constructed an experimental system and demonstrated both functions by detecting the behavior of moving from a bed to a wheelchair. This paper also reports reflection coefficient of typical daily materials to clarify necessary the power of emitted ultrasounds and the sensitivity of ultrasonic receivers.

Key Words: minimally privacy-violative, ultrasonic radar, ultrasonic tag, observing human behavior

1 緒論

近年、センサ技術や情報処理技術などの進歩によって、身のまわりの様々な家電や機器が人間を観察し、人の状態を認識することで、その場で適切なサービスを提供する知的空間の構築が可能になりつつある⁽¹⁾。このような知的空間を設計し、構築する際に、その基本技術としての汎用性の高い人間のモデルが必要になると考えている。

こうした観点から、筆者らは人間の基本機能である心理 / 認知的機能、解剖 / 生理的機能、機械 / 運動機能を統合した人間の機能モデルを作成し、このモデルに基づいた新しい人間支援技術を開発する研究を進めている⁽²⁾。

このような人間モデルを研究したり、人間支援技術を開発する上で、人間の行動を観察する技術が必要となる。例えば、福祉介護現場、特に痴呆症高齢者の治療や介護を行っている現場での介護支援を行うためには、高齢者の行動を定量化するための観察技術が強く求められている⁽³⁾。

しかし、人が生活している空間にセンサを持ち込んで計測をしようとした場合、プライバシーの問題を扱う必要が出てくる。我々の社会では、如何に”必要”と提言されても、個人のプライバシーを無闇に侵害する可能性のあるシステムは歓迎されない。特に、長期に渡る計測では、この問題が顕著となる。行動観察装置としてカメラ等を用いた場合、様々な問題が起こると考えられる⁽⁴⁾。例えば人の行動観察のために風呂場やトイレなどにカメラを設置する場合、「データは厳重に管理され、処理をするのはコンピュータなので他人に知られる心配はありません」と言われても、カメラの設置を快く思う人はいない。むしろ不快・不安を覚えるのが現代における一般人の感受性であると考えら

れる。

一方、人に直接センサの類を付して、行動計測を行う手法も、長期に渡る計測を考えた場合、好ましくないといえる。センサを付けたことにより人の自然な行動が妨げられる可能性もあり、また、計測中にセンサが体から外れたり破損してしまった場合、計測が不可能になる可能性があるからである。

従って、人の行動を観察するシステムを構築しようとした場合、以下の2条件を満たす必要があると考えられる。

1. 低プライバシー侵害性の計測機能
2. 無拘束計測機能

著者らはこれまでに上記の条件を満たす人位置計測システムとして、超音波レーダシステムを提案してきた⁽⁵⁾。

本稿では、筆者らが開発してきた超音波タグシステムと超音波レーダシステムを統合することで、1) 低プライバシー侵害性の計測機能、2) レーダ方式による人の頭部位置計測機能、3) タグ方式によるモノの位置計測機能を有する人間行動観察システムを提案する。また、本稿では、超音波レーダ機能について、必要とされる超音波の発信パワーや受信感度を明らかにするために行った日常空間に存在する材料の反射係数導出実験を述べる。

2 低プライバシー侵害性計測機能

人が生活している空間を常時計測を行おうとした場合、プライバシーの問題を扱う必要がある。例えば、介護現場において、カメラを用いて観察した場合、対象の高齢者から得られる情報は、情報量に富んだ画像情報となる。この情報には「顔」「詳細な行動」などが含まれており、高齢者

本人や家族は画像記録の利用に抵抗がある。

筆者らは、実用的な計測システムであるからには、プライバシー侵害の危険性を皆無にはできないが、その危険性を極力抑え、必要な情報のみを収集する計測システムが必要であると考えている。すなわち、長期にわたって常時、人の行動観察システムを提案する際は、「何らかの情報を収集するからには、プライバシー侵害の危険性を皆無にはできないが、その危険性を極力抑え、不必要に詳細な情報は収集せず、必要な情報のみを収集する」機能を持つよう設計する必要がある。本研究では、この機能を「低プライバシー侵害性の計測機能」と定義する。

低プライバシー侵害性の計測機能の設計手順は、以下のようになると考えられる。1) 目的の計測を実現するために最低限必要な情報に関する考察, 2) システムレベル(センサレベル, 信号処理過程レベル, 行動認識レベル, アプリケーションレベル)において計測に不必要な情報を取得しないようシステムの設計, 3) 情報漏れの危険度の減少・もしくは情報漏れを回避できるような情報管理。

本研究で提案する超音波レーダ・タグ統合システムは、センシングシステムのレベルで低プライバシー侵害性を実現するためのシステムである。

3 超音波レーダ・タグ統合システム

3.1 提案システム概要

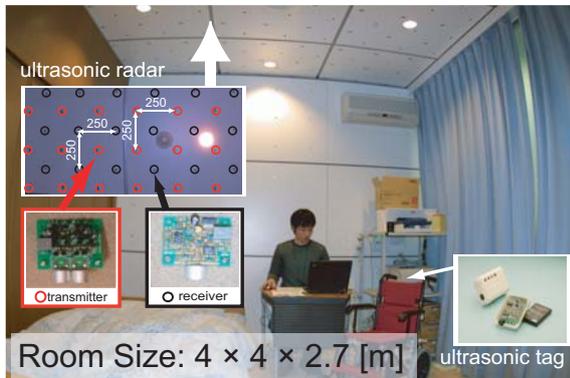


Fig. 1: Ultrasonic Radar and Tag System

本論文で提案する超音波レーダ・タグ統合システムの検証システムを図1に示す。提案システムは1) センサレベルでの低プライバシー侵害性の計測機能, 2) レーダ方式による人の頭部位置計測機能, 3) タグ方式によるモノの位置計測機能, を有す。レーダ・タグ用超音波受信器とレーダ用発信器が天井に埋め込まれており、レーダによる人の頭部位置と、超音波タグによるモノの位置の計測が可能である。提案システムは、観測装置として超音波センサを用いることにより、対象からは位置計測のための距離情報、もしくは距離情報をもとに導出可能な3次元位置情報しか取得しないように設計されているので、センシングシステムレベルで低プライバシー侵害性の計測機能を実現できると

いえる。

本システムの応用例として、老人ホームや病院での高齢者の行動認識や介護・看護支援等が考えられる。具体的には、ベッド上で人の行動は、人に全くセンサを取り付けない方式であるレーダを用いて観察し、車椅子などに超音波タグを付し、計測された高齢者の位置と車椅子の位置からベッドから車椅子への移乗行動を検出する、といった機能が実現可能となる(図2)。

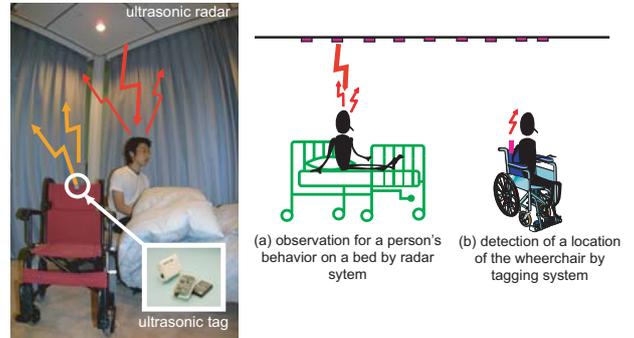


Fig. 2: A conceivable application in a nursing home

3.2 システム基本仕様

システム構成を図3に示す。

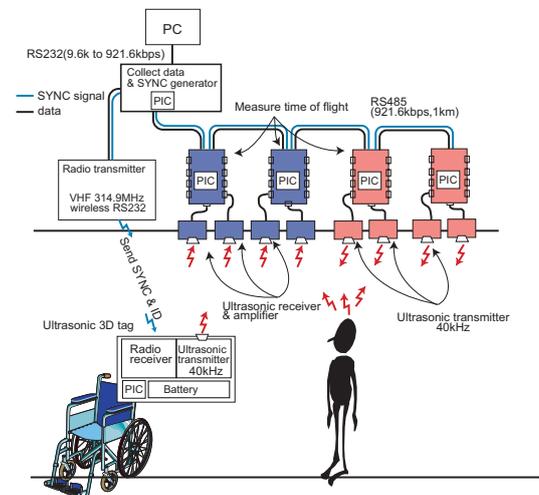


Fig. 3: Configuration including functions

本システムの基本仕様について述べる。

- 超音波発信器数：117(2048まで増設可)
- 超音波受信器数：117(2048まで増設可)
- サンプル周期：3 s
- レーダによる計測誤差：5.4 cm
- タグによる計測誤差：3.0 cm
- 発信超音波周波数：40 kHz
- レーダ発信超音波の音響パワーレベル(可変)：51 ~ 66 dB
- タグ発信超音波の音響パワーレベル：51 dB

- タグサイズ：65 × 44 × 20 mm
- タグ電池寿命：2週間程度 充電可能
- 各装置の接続（追加）はRS485で、デージーチェーン方式

超音波発信器と受信器はそれぞれ250mm間隔で天井部に埋め込まれており、超音波発信器制御装置、超音波受信器制御装置等は天井裏に設置してある。レーダ用の天井埋込発信器からの超音波と、タグからの超音波を時間差発信することにより、レーダによる人位置計測とタグによるモノ位置計測が行うことができる。

3.3 超音波レーダ機能

本論文で提案するシステムを構成する超音波レーダシステムについて説明する⁽⁵⁾。このシステムは天井部に埋め込んだ超音波発信器と受信器を用いて、ソナーのように人の位置を計測するものである。

計測原理 本研究では人の位置を人の頭部の位置と考える。本機能は超音波を発信した発信器の位置、頭部で反射した超音波を受信した受信器の位置とその超音波の伝播距離から楕円体方程式を導き、それらを解くことによって頭部の位置を算出する。

計測結果 超音波レーダシステムを用いて人の頭部位置を計測した結果を図4に示す。図4において、上部の青い点は前節の原理を用いてシステムが計測した人の頭部位置であり、下部は実際の人の動きである。これより、超音波レーダシステムは人の移動軌跡が3次元で計測できていることが確認できる。

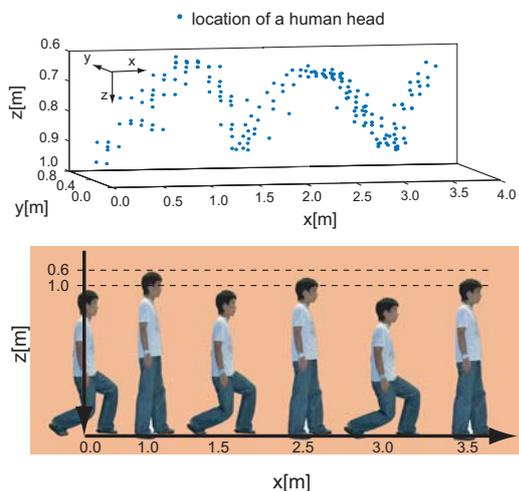


Fig. 4: Tracking position of human head

3.3.1 対象物の違いによる反射超音波の強さの検証

超音波レーダシステムは対象物からの反射超音波を受信して計測を行っているため、対象物からの反射超音波の強さが計測に大きく関与してくる。計測空間に必要な発信超音波の強さや受信器の感度を選定するためには、反射係数

を調べる必要がある。本システムの日常空間内での使用を考え、今回は人の頭部だけでなく、他の日用品についてもその反射波の音響パワーレベル (A.P.L.) を計測して反射係数を導出した。

実験方法 反射の程度の指標となる音響パワーレベル L_A は以下の式で与えられる⁽⁶⁾。

$$L_A = L_p + 20 \log R + 11(\text{dB}) \quad (1)$$

L_p : マイクロフォンで計測した音圧レベル (dB)

R : 音源からマイクロフォンまでの距離 (m)

計測方法・反射係数算出方法は以下の手順で行った。

1. 超音波発信器から $R = r$ の位置にマイクロフォンをセットし、基準となる音響パワーレベル L_{A0} を測定する
2. 超音波発信器から $R = \frac{r}{2}$ の位置に対象物をセットし、反射した超音波の音響パワーレベル L_A を測定する
3. 反射係数 $R_f = \frac{10^{\frac{L_A}{20}}}{10^{\frac{L_{A0}}{20}}}$ として各対象物の反射係数を算出する

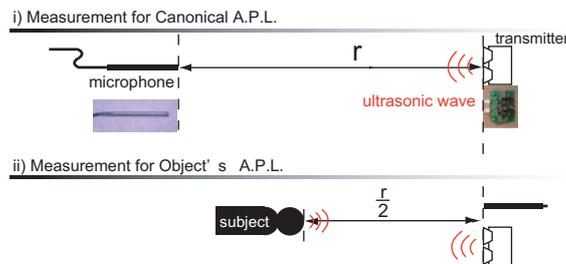


Fig. 5: How to measure A.P.L.



Fig. 6: Microphone



Fig. 7: Analyzer

計測機器

- Microphone: 株式会社アコー, TYPE4116 No.8023
- Analyzer: ONO SOKKI, Multi-Purpose FFT Analyzer CF-5220

反射係数導出対象物 今回、日常空間に存在する典型的な物の例として図8の4種を対象物とし、その反射波の音響パワーレベルを測定し、反射係数を導出した。

反射係数導出結果と考察 表1に結果を示す。

表1より、反射超音波の強さ (A.P.L.) は対象物によって異なることが確認できた。その要因として材質・表面形状などが考えられる。日常環境内では、人間以外の物が多く在り、それらから反射してくる超音波も多いと考えられる。今回対象物によって反射波の強度が異なることが確認でき

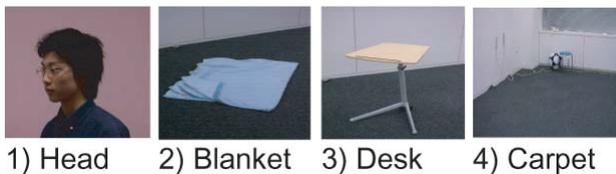


Fig. 8: Subjects for measuring reflection-coefficient

Table 1: Result of measuring reflection-coefficient

Subject	Sound Reflection-Coefficient
Head	0.37
Blanket	0.42
Desk	0.70
Carpet	0.75

たので、強度の違いによる人と物を識別が期待できる。また、本システムでは発信超音波の音響パワーレベルが可変なので、環境や計測対象に合わせた計測が可能である。

3.4 超音波タグ機能

本論文で提案するシステムを構成する超音波タグシステムについて説明する⁽⁷⁾。超音波タグシステムとは、発信器を内蔵したタグを観察環境内の日用品などに付し、タグから発せられた超音波を天井・壁に埋め込まれた受信器で受信し、その位置を検出するものである。

計測原理 本機能はタグから発せられた超音波を受信した受信器の位置とその超音波の伝播距離から球体方程式を導き、それらを解くことによってタグの位置を算出する。

3.5 人とモノの位置計測実験

本システムを用いて、人とモノの位置計測実験を行った。実験結果の一例を図9に示す。頭部の位置と軌跡は赤、タグの位置と軌跡は白で表されている。計測誤差はレーダ：5.4 cm、タグ：3.0 cmであった。図9より、このシステムが人の頭部とタグの位置の軌跡が計測できていることが確認できる。

4 結論

本論文では低プライバシー侵害性の計測システムの必要性を述べ、低プライバシー侵害性の計測機能を特徴とする超音波レーダ・タグシステムを提案した。提案システムは、1) 低プライバシー侵害性の計測機能、2) レーダによる人の頭部位置計測機能、3) タグによるモノの位置計測機能を有する。また、反射超音波の音響パワーレベルの強さは対象物によって異なることを明らかにし、その違いによる人と日用品の判別の可能性を示した。本システムはタグを付けた日用品の位置を計測するだけでなく、レーダによって人の頭部位置を計測することにより、タグのみの計測では不可能だった行動の計測への応用が期待でき、日常空間

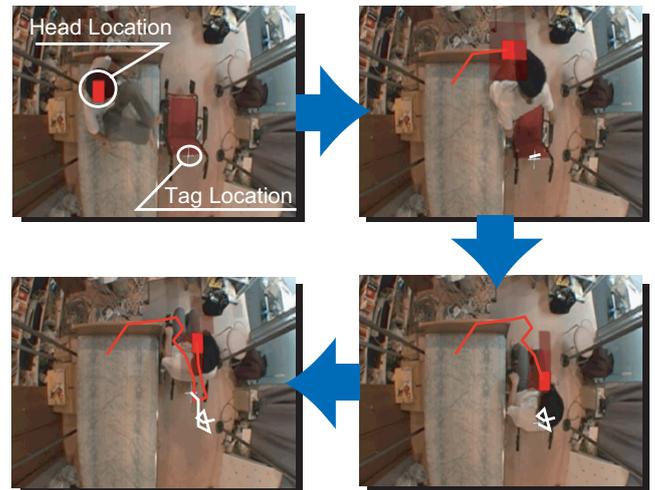


Fig. 9: Result of measuring trajectory of head and tag

で生じる多様な行動を扱える可能性がある。例えば、車椅子の位置を超音波タグで検出し、高齢者の起臥状態などをレーダで検出することにより、ベッドから車椅子に、もしくはその逆の移乗行動の発見への応用が期待できる。これにより、これまで計測が困難であった老人ホームにおける高齢者の夜間の行動の定量化が可能となり、より有用な介護支援が期待できる。今後、本稿で提案したシステムを老人ホームに設置し、検証を行う予定である。

参考文献

- 1) Hori T., "Overview of Digital Human Modeling", Proceedings of 2000 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robotics and Systems (IROS2000), Workshop Tutorial Note, pp. 1-14, 2000
- 2) 独立行政法人産業技術総合研究所編, "デジタル・サイバー・リアル 人中心の情報技術", 丸善, 2002
- 3) 蓮村 幸兌, "蓮村幸兌の知っておきたい医学知識", 社会福祉法人全国社会福祉協議会, 2004
- 4) Hunter R., "World Without Secrets: Business, Crime and Privacy in the Age of Ubiquitous Computing", John Wiley & Sons, Inc., 2002
- 5) 西田佳史, 村上真一, 堀俊夫, 溝口博, "低プライバシー侵害性の人間位置検出システム～天井超音波レーダを用いた頭部位置計測手法～", ロボティクス・メカトロニクス講演会'04 講演論文集, 1A1-H-47(1)-(4), June 2004 (愛知県 名城大学)
- 6) 古井貞熙, "電子・情報工学入門シリーズ2 音響・音声工学", 近代科学社, 1992
- 7) Nishida Y., Aizawa H., Hori T., Hoffman N.H., Kanade T. and Kakikura M., "3D Ultrasonic Tagging System for Observing Human Activity", Proceedings of IEEE International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS2003), pp.785-791, 2003