

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—

Minimally Privacy Violative System for Measuring Human Location — Method for Locating Human Head by Ultrasonic Radar Embedded on Ceiling —

西田 佳史 (産総研 (CREST, JST)) ○村上 真一 (東京理科大)

正 堀 俊夫 (産総研 (CREST, JST)) 正 溝口 博 (東京理科大)

Yoshifumi Nishida, AIST & JST, CREST Shinichi Murakami, Tokyo Univ. of Science

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 a person using ultrasonic radar embedded on the ceiling of a room. One of presumable applications is a system for preventing aged people suffering from Alzheimer's disease from accidents. The system can measure the three dimensional position of the person's head by assuming that the human head is a moving object that exists at relatively high position of a living area. The method for locating the human head is analyzed theoretically from an acoustic point of view. The authors constructed an experimental system. Experimental results confirmed the feasibility of the proposed system.

Key Words: Minimally privacy-violative system, Human location sensor, Ultrasonic radar

1 緒論

近年，精密機械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多種多様の機能を備えるようになってきた．これに伴い，日常環境内で人を中心としたサービスの提供を行う研究が提案されている．その一つに人の持つ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，それらのデータから計算機上に人機能モデル (デジタルヒューマン) を作成し，それに各種センサで観測された人行動観察データを与えることにより人支援機能を開発していく研究がある⁽¹⁾．

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．特に，長期に渡る計測では，この問題が顕著となる．例えば，人間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．

プライバシーを侵害する危険性がまったくない計測システムとは，いかなる情報も取得しない計測システムである．しかし，それでは全く役に立たない．実際に役立つ計測システムの一つは，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であると考えられる．

そこで，本研究では，非接触型の計測を行うことで，人の自由な動きを拘束しない無拘束計測が可能であり，さらに，プライバシーを侵害する危険性が低い (低プライバシー侵害性の)，人の位置計測システムとして，天井埋め込み型

超音波レーダを用いた頭部位置計測システムを提案する．

2 低プライバシー侵害性の人位置検出システム

2.1 低プライバシー侵害性

現在の日本には明確なプライバシーの定義は存在しないが，裁判所の判例によって確立されている考え方があり，それは以下の三つの基準から成り立っている．

- 「公開された内容が私生活の事実またはそれらしく受けとられるおそれのある事柄であること」
- 「一般人の感受性を基準にして当該私人の立場に立った場合公開を欲しないであろうと認められること」
- 「一般の人々に未だ知られない事柄であること．その他，被害者が公開により不快，不安の念を覚えること」

そこで，本研究では，なん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計測システムを低プライバシー侵害性のシステムであると考えられる．

2.2 日常空間で人の位置を観察するシステムに求められる機能

本研究では，低プライバシー侵害性を遵守しつつ，無拘束に人の行動を観察する機能が必要である．そのためにはな

P_{ref} 部が微小部分 dS で構成されるとし、 dS だけが \dot{V}_{ref} で振動し、他の部分は静止しているとして dS 部分の振動による音場を求める。そしてその音場を dS について全反射体にわたって積分すると、反射体による音場が求まる。本モデルにおける反射体による音圧 \dot{P}_R は、以下のようになる。

$$\dot{P}_R = j\omega\rho\dot{\Phi}_R = \int \frac{k\rho\omega U_0 e^{-jk(r_1+r_2)}}{8\pi^2 r_1 \cdot r_2} \quad (3)$$

ここで反射体上の点 P_{ref} を半球面とすると、以下のように表される。

$$P_{ref} = (R_h \sin \theta \cos \phi, R_h \sin \theta \sin \phi, z_c + R_h (1 - \cos \theta)) \quad (4)$$

よって、微小部分 dS の面積 ΔS は、

$$\Delta S = R_h^2 \sin \theta \cdot \Delta \theta \cdot \Delta \phi \quad (5)$$

となり、音圧 \dot{P}_R は、

$$\dot{P}_R = \frac{k\rho\omega U_0 R_h^2}{8\pi^2} \sum \sum \frac{e^{-jk(r_{1i}+r_{2i})}}{r_{1i} \cdot r_{2i}} \sin \theta \cdot \Delta \theta \cdot \Delta \phi \quad (6)$$

となる。

3.2 超音波レーダを用いた人の頭部位置検出のシミュレーション

以上の原理に基づき、天井に取り付けられた超音波発信機直下に人頭部があった場合の天井における音圧分布を求めた。結果を図3に示す。

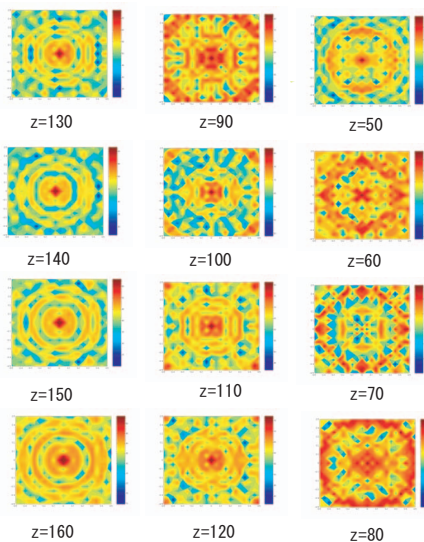


Fig. 3: Result of simulation of sound pressure distribution on ceiling

3.3 最適な超音波受信器の配置に関する理論的考察

結果より、反射した超音波の音圧分布は発信機位置を中心に同心円上に疎の部分と密の部分分布しているのがわかる。反射した超音波を効率よく捕らえるためには、受信器も円状に配置すると良いように考えられるが、その受信器群の円周上が疎の部分になってしまった場合、全く反射波を受信できないという事態に陥る。本手法では最低三箇所の受信器で反射波を受信できれば頭部の三次元位置が求まる。そこで、全く受信できないという事態を防ぐため、図4の左図に示すように受信器を格子状配置とした。

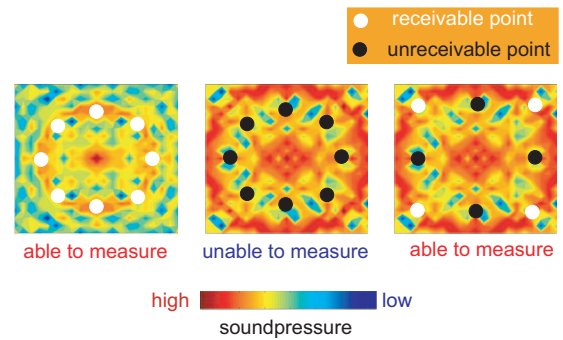


Fig. 4: Arrangement of receivers

3.4 検証システムの構成

図5に検証システムの構成を示す。超音波発信器と受信器の同期をとり、発信から受信までの時間から到達距離を得る。この距離情報と送信器 (18 個)・受信器 (32 個) の設置位置から、計測範囲内で最も高位置にあるもの、すなわち、頭部の三次元位置を得る。各装置は、これまでに本研究室で開発してきた超音波3次元タグ⁽⁴⁾を改造することで実現した。

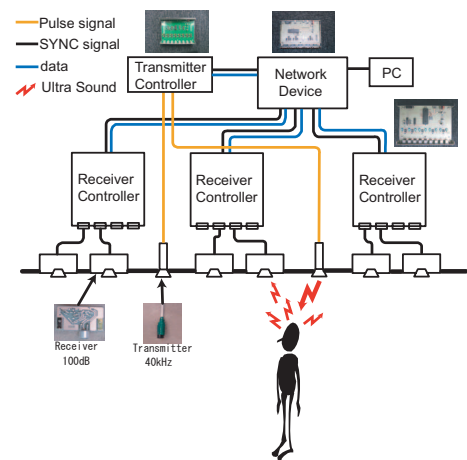


Fig. 5: System configuration of ultrasonic radar

3.5 検証システムを用いた頭部位置の計測実験

図6のように実験装置を構築し、天井部に超音波発信器と受信器を格子状に等間隔に配置した。計測範囲内に15cmごとにポイントを置き、計測点として人の頭部の位置計測を行った。本システムによる頭部位置の検出の様子を図7に示す。図中のカメラ画像は比較のために用いており、本システムは人の頭部の検出にカメラを用いていない。

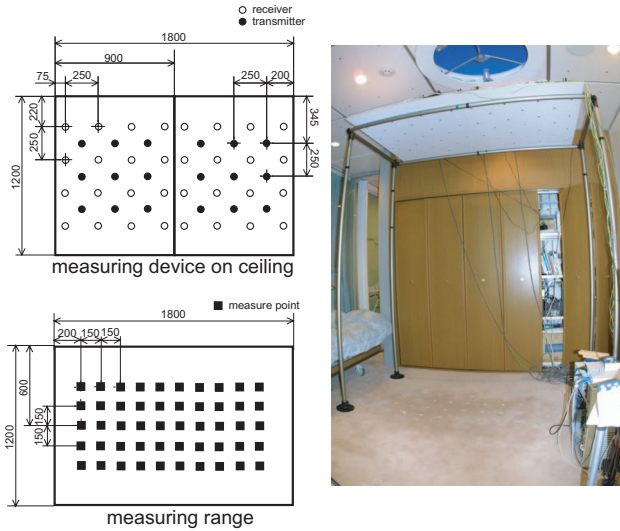


Fig. 6: Experimental system for locating human head by ultrasonic radar

計測範囲内における頭部位置の計測値と真値の関係を図7に示す。図中の赤い部分が計測による頭部の位置を表している。

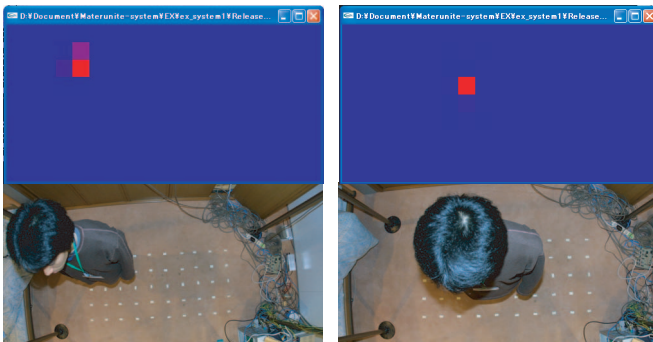


Fig. 7: Measured head location

これらの計測値により、各計測点で得られた位置データを基に精度検証を行った。最も多く計測された点を計測位置として誤差評価を行った。図8に結果を示す。図8における「青色の●」は真の値(頭部の位置)、「赤色の+」は計測によって求められた値を示している。検証システムにおける人の頭部の位置計測情報から、本手法により、6cm程度の誤差で頭部位置の計測が可能であることが分かった。

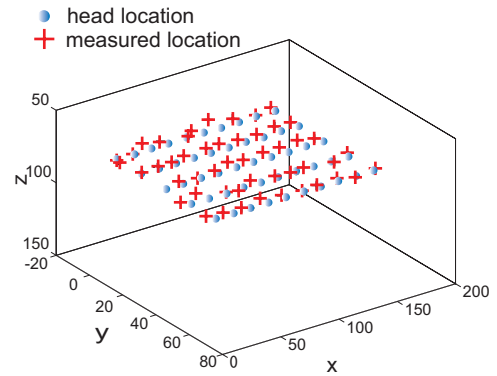


Fig. 8: evaluation of human-head location

4 結論

本論文では、低プライバシー侵害性の人位置計測手法として、超音波レーダ式の頭部位置計測手法を提案した。提案手法は、日常空間内の比較的高い位置に存在する移動物体が頭部であることが多いという特徴を利用して、超音波レーダを用いて人の頭部位置を計測する手法である。超音波レーダと頭部の反射の現象を、音響学的理論を構築することで理論的に考察し、頭部の反射の現象をシミュレーションすることで、人の位置を頑健に計測するための適切な超音波受信器の配置を考察した。発信器18個、受信器32個からなる検証システムを構築し、提案手法によって人の頭部位置の検出が可能であることを検証した。

参考文献

- 1) 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
- 2) 五十嵐寿一責任編集, "音響と振動", 共立出版, 1968
- 3) 近藤敦士, "超音波リングアレイプローブによる血管内前方3次元下可視化", 奈良先端技術大学院大学情報科学研究課情報処理専攻, 修士論文, 1997
- 4) Y. Nishida, H. Aizawa, T. Hori, N.H. Hoffman, T. Kanade, M. Kakikura, "3D Ultrasonic Tagging System for Observing Human Activity," in Proceedings of IEEE International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS2003), pp.785-791, October 2003