

超音波 3 次元位置計測のための冗長なセンサデータを用いた 高速位置推定アルゴリズム

正 西田 佳史 (産総研 (CREST, JST)) 秋山 賢治 (東京電機大)
正 堀 俊夫 (産総研 (CREST, JST)) 正 柿倉 正義 (東京電機大)

Fast Position Estimation Algorithm Based on Redundant Sensor Data for Ultrasonic 3D Position Sensor

Yoshifumi Nishida, AIST & CREST, JST Kenji Akiyama, Tokyo Denki Univ.
Toshio Hori, AIST & CREST, JST Masayoshi Kakikura, Tokyo Denki Univ.

Abstract: The authors have developed an ultrasonic 3D tag that can robustly measure activities of a person in a daily environment. The conventional ultrasonic 3D tag has a problem that the sampling frequency decreases in proportion to the number of objects to be tracked. This problem comes from the way that the transmitters attached to the objects emit ultrasounds one after another, i.e., time-sharing emission. This paper describes a new algorithm for estimating 3D positions of ultrasonic transmitters which emit ultrasounds simultaneously. This technique enables to keep the sampling frequency high.

1 緒論

筆者らは、これまで人間の日常活動を頑健に観察するシステムの構築を目的として、超音波 3 次元タグを開発してきた^(1, 2)。超音波 3 次元タグは、環境側に設置された超音波受信器と、人が操作する物体に取り付けられた超音波発信器からなり、物体の 3 次元位置と ID を実時間で計測することができる。

これまで開発してきたシステムでは、時分割で超音波を発信するタイミングを切り替えていたため、追跡する物体の数に比例してサンプリング周波数が低下するという問題点があった。Fig. 1 に示すように、1 個の物体を計測する場合は 50Hz でのサンプリングが可能であるが、Fig. 2 に示すように 2 個の物体を時分割で計測する場合は 25Hz にサンプリング周波数が低下する。

この問題を解決する方法として、複数の超音波周波数を利用する方法や、周波数を変調し符号情報を重畳させる方法などが考えられるが、本研究では、シンプルな回路構成によって安価なシステムが構築可能であるという理由から、同一の超音波周波数を用いる手法を扱う。

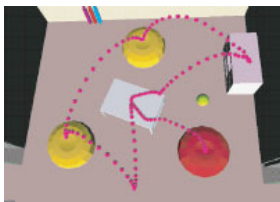


Fig. 1: 50Hz



Fig. 2: 25Hz

本研究の目的は、サンプリング周波数の低下の問題を解決するために、複数物体に取り付けられた発信器から超音波を同時に発信し、得られた距離情報を用いて複数物体の位置推定を行なうアルゴリズムを開発し、実験によって、アルゴリズムの有効性を検証することにある。なお、本稿での「高速」とは、複数の対象物を追跡する場合にも、高いサンプリング周波数を維持することが可能であるという意味で用いている。

2 複数物体の高速位置推定アルゴリズム

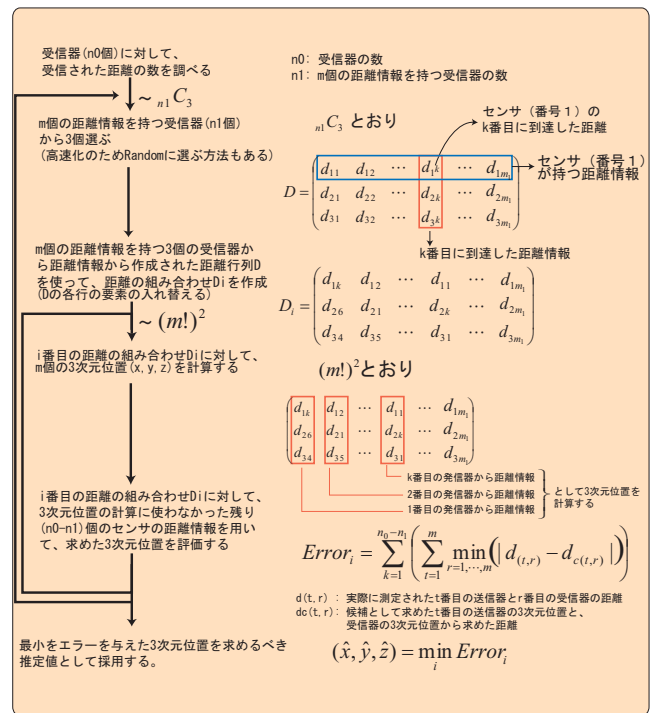


Fig. 3: Algorithm for estimating 3D positions of transmitters emitting ultrasounds simultaneously

本研究で扱う課題: 本研究で採用した超音波を用いた 3 次元位置計測の原理は、超音波発信器と複数の超音波受信器の間の距離情報と、超音波受信器の設置位置の情報から超音波発信器の位置を計算するものである。このような原理に基づく 3 次元位置測定システムでは、複数の発信器から同時に発信された超音波は、各受信器へ到達した順に距離情報が格納されており、格納された距離情報はどの発信器からの情報かは分からない。本研究では、各受信器に格納された複数の距離情報と、受信器の位置情報から、複数の発信器の位置を推定する手法を扱う。

開発したアルゴリズムの詳細: Fig. 3 に開発したアルゴリズムの概要を示す. 開発アルゴリズムでは, 超音波受信器が受信した距離情報を 2 つの目的で使用する. すなわち, 1) 3 次元位置の計算に使用. 2) 1) で求めた 3 次元位置の評価に使用する. Fig. 3 中の d は距離情報で, 受信器 1 が最初に受信した発信器の距離情報は d_{11} となり, 受信器 1 が 2 番目に受信した発信器の距離情報は d_{12} と書くことにする. Fig. 3 を受信器 18 個, 発信器 3 個の場合を例にとって説明する. 手順 1) 受信器 18 個に対して, 各受信器が受信した距離情報の数を調べて, 3 個すべての距離情報を持つものの中から 3 個の受信器を選ぶ. 手順 2) 選ばれた 3 個の受信器の距離情報より距離行列 D を作成する. 距離行列 D の行は 1 つの受信器が受信した順に距離情報を並べたものである. 手順 3) D の各行について, 要素を入れ替えることで, 新たな行列 D_i を作成する. 手順 4) D_i の各列の距離の組み合わせに対して, 同じ発信器からの距離情報と仮定して x, y, z を計算する. 手順 5) 手順 1) で選択した 3 個の受信器以外の受信器の距離情報を用いて, 手順 4) で求めた 3 次元位置を評価する. 手順 6) 手順 3) から 5) を繰り返す, 全ての組み合わせの評価値を計算する. 手順 7) 手順 1) から 6) を適当な回数繰り返す, 最小の評価値を与えたときの 3 次元位置を推定値として採用する.

3 開発アルゴリズムの検証実験

検証システム: Fig. 4 は, 前節で述べた高速位置推定アルゴリズムの検証システムである. Fig. 4 の左下の写真は, 複数の発信器からの超音波を受信し, 距離情報を取得し, 格納するための距離測定回路である. 実験には 3 個の発信器と 18 個の受信器を使用した. Fig. 4 に示すように 3 個の発信器は糸でつるさされていて, それぞれの発信器は約 50cm 離れている. 18 個の受信器は天井部分の板に 30cm ごとに取り付けられている.

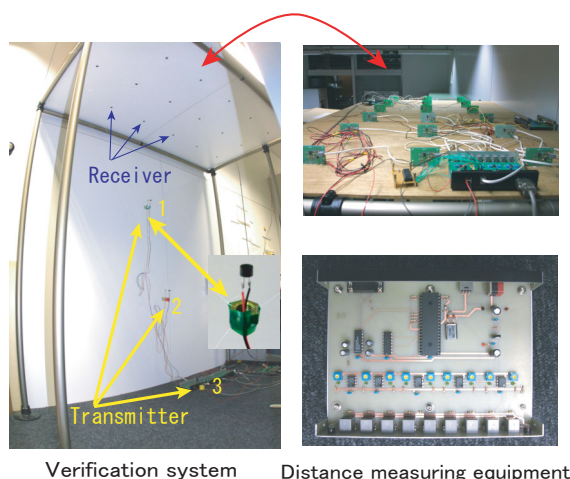


Fig. 4: Experimental system

検証実験と結果: 高速位置推定アルゴリズム検証実験では 3 個の発信器を周波数 40Hz で同時発信させ, 3 個の発信器を同時に動かした際に, 開発した高速位置推定アルゴリズムによる実時間位置推定が可能か調べた. Fig. 5 に

計測された軌跡の例を示す. 紫の点が 3 つの発信器の軌跡を表しており, 赤緑青の矢印がそれぞれ xyz 方向を示している. Fig. 5 から, 開発した高速位置推定アルゴリズムによって, 多数物体の位置推定が可能であることが確認できる.

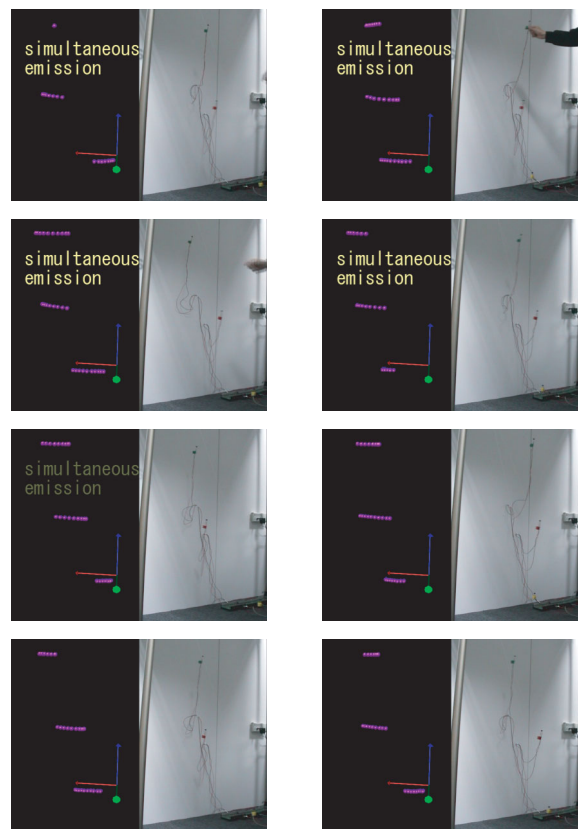


Fig. 5: Experimental results — examples of real-time estimation using developed algorithm

4 結論

本稿では, 日常空間で行われる人間の活動を頑健に計測することを目的に, これまで筆者らが開発してきた「超音波式 3 次元タグ」と呼ばれる対象物ウェアラブル型の対象物位置計測装置の持っていた問題を解決する手段として, 複数の対象物に取り付けられた超音波発信器から超音波を同時発信し, 得られた距離情報を用いて複数物体の位置推定を行なう高速位置推定アルゴリズムを述べた. 今後の課題としては, 組み合わせの爆発 (NP 問題) を回避するアルゴリズムの開発などがあげられる.

参考文献

- 1) 西田, 相澤, 堀, 柿倉, "超音波センサを用いた対象物のセンサ化に基づく人の日常活動の認識," 日本機械学会 ロボティクス・メカトロニクス講演会 '02 講演論文集, 1A1-J07, 2002
- 2) 西田, 相澤, 堀, 柿倉, "超音波式 3 次元タグを用いた人の日常活動の頑健な計測 - 冗長なセンサ情報に基づくロボスタ位置推定 -," 第 20 回日本ロボット学会創立 20 周年記念学術講演会予稿集, 3C18(1)-(4), 2002