

平成 21 年 6 月 16 日現在

研究種目：基盤研究 (B)
研究期間：2006 年～2008 年
課題番号：18300025
研究課題名 (和文) 超音波を用いた気配の伝達方式
研究課題名 (英文) Presence detection and localization using ultrasound

研究代表者
橋爪宏達 (HASHIZUME HIROMICHI)
国立情報学研究所・アーキテクチャ科学研究系・教授
研究者番号：40172853

研究成果の概要：この研究グループの提唱する新しい超音波位置計測の技術、すなわち位相一致法の開発ならびに応用開発をめざしたものである。

位相一致法によれば超音波による位置計測精度を従来の 100 倍に高められる。理論解析によりその理由を解明するとともに、本法の原理を確立した。

従来の超音波位置計測では室内の四隅など数点に固定ノードを置き、そこからの距離を同時計測することでターゲットを測位するが、着手として位相一致法で同様の計測を行い、静止時に期待される精度の結果を得た。一方で移動体計測では周波数ドップラーシフトにより精度が悪化し、なんらかの補償を要することがわかった。

位相一致法の精度によれば、3 次元計測に必要な基線長を 80 ミリメートル程度にできるため、3 センサーを 1 筐体にコンパクトに収納した測定ユニットを開発した。設置工事の不要な、画期的なものである。これを使いロボット制御などのデモンストレーションを行った。特に参加型ゲームの形にまとめ、好評を博した。ロボットの気配を他ロボットが追跡する、本研究タイトルに即したものである。

移動体測位の精度を高めるため、ドップラーシフトを精密検出する技法を開発し、完成した。それを適用することで移動体の計測においても静止物体に準じる計測精度に改善できた。同時に物体の移動速度ベクトルも測定できることが判明した。位置と速度の同時計測法は従来知られておらず、当初計画にはなかった本研究の成果である。

研究成果は論文発表のほか、数件の国内・国外特許出願を行った。また新聞発表も一件行った。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
18 年度	3,200,000	960,000	4,160,000
19 年度	3,700,000	1,100,000	4,810,000
20 年度	2,200,000	660,000	2,860,000
年度			
年度			
総計	9,100,000	2,720,000	11,830,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：計算機システム・ネットワーク

キーワード：情報ネットワーク

1. 研究開始当初の背景

モバイル情報端末の応用において、現在位置に基づいてサービスを選択したり利用者をガイドしたりする、いわゆるロケーションウェアネス技術はごく基本的なものである。その現在位置の入手方法として、屋外では GPS 衛星からの電波や携帯電話電波など、電波を使用する方式が広く使われている。しかしこれら電波は屋内には到達しないため、屋内用の位置情報取得方式が強く求められていた。

屋内においても電波を使うことが当然想起され、事実多く試みられた。しかし屋内应用到に必要となる位置測位精度は数センチメートルで、屋外のそれ(数メートル)より格段に高い。また屋内には電波の反射体が数多く存在し、遠距離まで到達する電波では不必要に遠くの反射体の影響を受けて精度が低下しがちであった。屋内应用には電波による測位技法は適していないと言える。

同様に測位に使用可能な媒体に音波(超音波)がある。伝播距離が短いので、通信媒体として魅力に乏しく従来あまり研究されてこなかった。これは電波とは逆の性質をもち、測位に使用すると高精度でまた付近の妨害物の影響を受けない測定をできる可能性がある。また到達距離の短いことも、サービスステーション付近まで近づいたときだけ反応させることができ、ロケーションウェアネスの基本特性にむしろ合致している。屋内での測位媒体としては、電波より適している可能性がある。

上記のような超音波の利点を生かした、新しい測位を試したらどうだろうかと着想し、本研究を開始した。しかしこれまで超音波があまり実用されてこなかった理由(問題点)も当然あった。まず、測定ステーションの設置が面倒なことである。天井や壁面に何個もの送信素子を配置する必要があった。また達成されていた精度も数 10 ミリメートルから数 100 ミリメートルで、使用された超音波の波長 8.5 ミリメートルから見ると改善の余地があった。

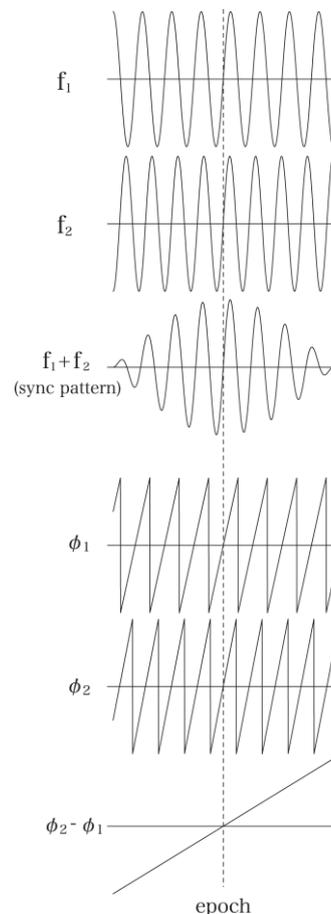
2. 研究の目的

上記のように、これまで試みられてこなかった、超音波による、高精度で実用的な測位システムの構築技法を完成することが、本研究の目的である。

私たち研究グループは、この研究開始時、「位相一致法」というまったく新しい超音波位置計測技術を開発していた。これは従来の超音波では数 10 ミリメートル以上あった計

測誤差を 1 ミリメートル以内にできる(精度を 100 倍程度改善できる)技法で、画期的なものであったが、なぜこんな改善ができるか、詳細な原理は不明であった。この研究では超音波の利点を生かしつつ、位相一致法を採用することとして、その理論的原理、精度の理論限界などをまず解明する必要がある。そこから出発し、手軽に使用できる超音波位置測位システムを完成させることを目標とした。

3. 研究の方法



位相一致法の原理は次のようなものである。

図のようにわずかに周波数の異なる超音波 f_1 , f_2 を合成して送信すると、 f_1+f_2 のうなり(ビート)波となる。これを受信し、その遅れ時間を測定すると音速と併用して送受信機間の距離を得られ、場所のわかった 3 点についてこの距離測定をすれば受信点の 3 次元座標がわかる。精度の達成は、いかにこのビート波形の到来時刻を高精度で検出できるかにかかるといえる(従来方法はビート波でなくパルス波を使用しており、受信時の波形ひずみ

により到来時刻の計測に誤差を生じ、高精度な計測をできなかった)。

コンポーネントのキャリア f_1, f_2 は図のように異なった速度 ϕ_1, ϕ_2 で位相が進行する。受信時、波形から位相を抽出し、その差に着目すると、両者位相の一致するのはビート波形の中で一箇所しかなく、ビートの腹を示す。この点を **epoch** と呼び、検出対象とすると、非常に高精度でそれを検出できる。この原理にもとづく測位法を位相一致法とよぶ。

実験結果から本法では従来の超音波による計測精度を 100 倍に高められることがわかった。しかしその理論背景、精度の理論限界は実験開始時には不明であり、研究において解明する必要があった。

位相一致法はまったく新しい計測技法で、それを実行するシステムは市販されていなかったため、この実験グループでハードウェア、ソフトウェアを含めすべて開発する必要があった。

位相一致法は処理方法が新規であることを別にすれば、超音波送受信素子は一般のものでよく、比較的安価にシステムを構築することができた。広い工業応用も考えられたため、論文による成果公表にあわせ特許取得も考慮した。

実験の過程で当初目的どおりの精度の達成できることがわかったが、一方で動いている物体を計測すると、周波数のドップラーシフトが生じ、大きな計測誤差を生むことも判明した。これは研究開始時点では予想していたものの、必ずしも目的に加えてはいなかった。しかし本法を真に高精度の技法として完成させるにはそのキャンセルは必須であることがわかり、途中で研究目的に加えられた。幸い研究最終年度でその問題も克服できた。副産物として、位相一致法の修正により、高精度の位置情報のみならず、物体の移動速度も数ミリメートル/秒の精度で同時取得できるようになった。これをドップラーシフト検出法とよぶ。

4. 研究成果 理論式の導出

位相一致法の理論式を得て、論文「位相一致法による正確な超音波位置認識手法とその特性」として公表した。本法で非常に高い測定精度をえられた理由は、位相検波のアルゴリズムが高効率な雑音排除機能を併せ持っていたためであることがわかった。

1 ミリメートル以内という本法の精度は理論からも裏付けられ、その限界はさらに高精度であり、実効的には室内空気にたえず存在する、気流のゆらぎにより精度は決まっていることもわかった。

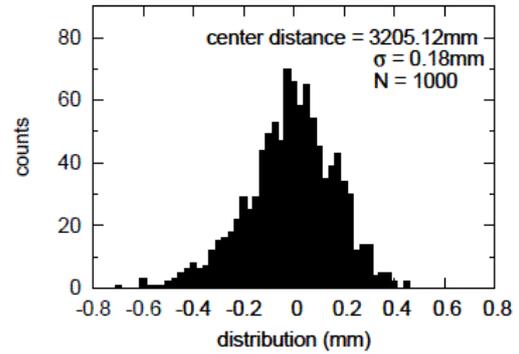


図 13 距離測定分散

信号処理ボード

位相一致法の信号処理を行うプロセッサボードを製作した。研究過程で改良を重ね、数バージョンを作った。2チャンネルにつき毎秒 10 回程度の計測をすることができる。



2次元測位実験

数メートル四方の平面 4 隅に超音波の固定ノードを置き、自走ロボットをフィールド内を走行させることで、本法により平面での位置計測のできることを実証した。その成果と解析は論文にまとめた。しかし移動物体の測位ではドップラーシフトによる誤差が思いのほか大きく、静止時に数ミリメートルだった計測精度を数 10 ミリメートルに悪化させてしまう。ドップラー補償は必須であることが判明した。

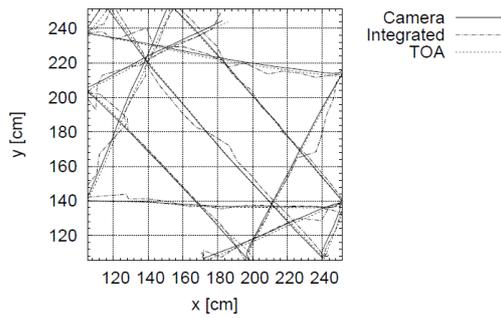
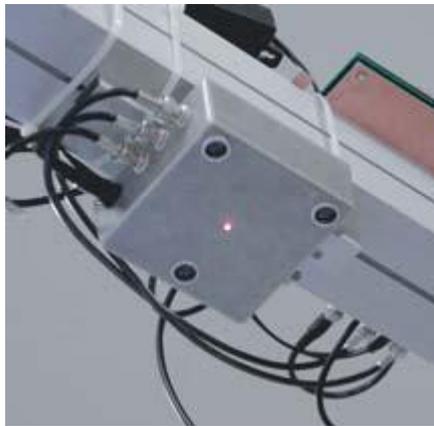


Figure 13. Localized paths of the robot

3次元測位システム

特に静止時の実験結果から、本法の精度を使用すれば、従来数 100 ミリメートル必要だった固定ノードの間隔(測定基線)を 80 ミリメートル程度に短縮しても計測可能であることが確認された。これは 3 次元計測に必要な固定ノード 3 個をひとつの筐体にまとめてしまえることを意味する。

写真がそのノードであり、天井に設置するだけで数メートル以内のフィールドをカバーできる。従来非常に高コストをかけて設置していた固定ノード工事が不要となる、これも画期的なものである。



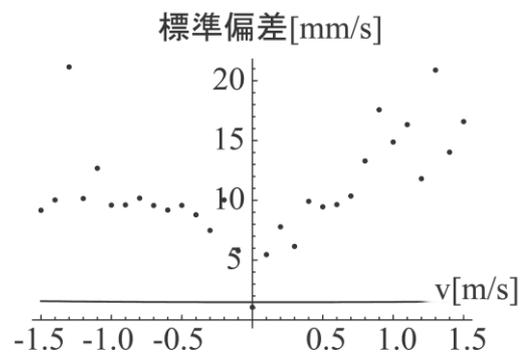
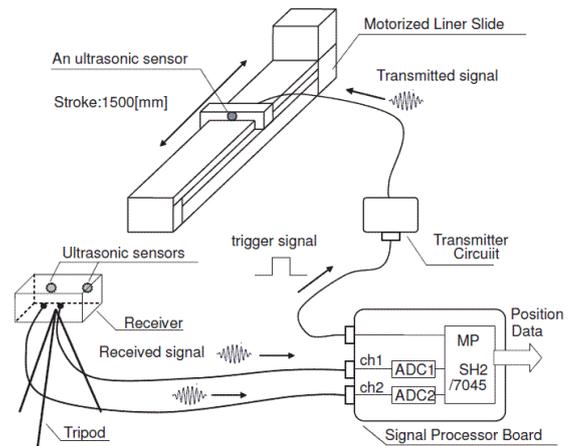
実証実験 (デモンストレーション)

天井設置の 3 次元測位ノードを使用し、自走ロボットガイドシステムを作り、台場の科学未来館等でデモンストレーションを行った。利用者の制御するロボットを自動追走するなどゲーム仕立てとして、来館者の好評を博した。



ドップラー補償

移動物体の測位に必要なとなったこの問題も、研究最終年度に解決できた。多周波によるドップラー周波数シフト検出をすることで、移動物体の位置計測精度を静止物体のそれに準じるものにできるほか、同時に移動物体の速度(速度ベクトル)を取得できるようになった。この検出精度も数ミリメートル/秒に達する。成果は論文「」に発表するほか、特許取得も考慮する。



論文・特許出願

この研究を通じ、多くの発表論文と特許(外国出願含む)を得ることができた。

5. 主な発表論文等
(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 4 件)

①佐藤哲也, 杉本雅則, 橋爪宏達,
高精度超音波移動体測位のための位相一致法
の拡張,
電子通信情報通信学会論文誌 (採録決定)
査読有

②伊藤 俊夫, 杉本 雅則, 橋爪 宏達,
超音波イメージングシステムの直感的な設
計評価を可能にする線形モデル,
電子情報通信学会論文誌 A, Vol.J92-A, No.8,
Aug. 2009. (掲載予定) 査読有

③Toshio Ito, Tetsuya Sato, Kan
Tulathimutte, Masanori Sugimoto, and
Hiomichi Hashizume
A Scalable Tracking System Using
Ultrasonic Communication.
IEICE Vol.E92A, No6. 2009.6 査読有

④橋爪宏達, 金子歩, 杉本雅則, 位相一致法に
よる正確な超音波位置認識手法とその特性.
電子情報通信学会論文誌 A Vol. J91-A
No. 4, 2008, pp435-447 査読有

[学会発表] (計 5 件)

①Toshio Ito, Tetsuya Sato, Kan
Tulathimutte, Masanori Sugimoto, and
Hiomichi Hashizume
A Scalable Ultrasonic-based Localization
System Using the Phase Accordance
Method.
Lecture Notes in Electrical
Engineering
2009年9月採録予定

②Toshio Ito, Masanori Sugimoto,
Hiromichi Hahizume,
A Simple Linear Model of Acoustic
Imaging in Temporal and Directional
Frequency Space.
A130(30th International Acoustic Imaging
Symposium) March 1-4, 2009, Monterey,
CA, USA

③大泉拓, 佐藤哲也, 杉本雅則, 橋爪宏達 位
相一致法におけるドップラー効果補償とそ

の評価

平成19年度電子情報通信学会, 東京支部学生
会研究発表会 2008 CD-ROM

④佐藤哲也, 大泉拓, 杉本雅則, 橋爪宏達
超音波測位システムにおける移動ノードの
位置および速度の実時間同時測定 情報処
理学会

2008年5月16日北海道(小樽)

⑤伊藤俊夫, 杉本雅則, 橋爪宏達
超音波通信を用いたロボットトラッキング
システム
情報処理学会 2008年5月16日北海道(小樽)

[図書] (計 0 件)

[産業財産権]

○出願状況 (計 4 件)

① 名称: 時刻基準点情報伝送システム、時
刻基準点情報伝送方法、送信器および受
信機

発明者: 橋爪宏達, 杉本雅則

権利者: 大学共同利用機関法人情報・シ
ステム研究機構

種類: 特許

番号: 特願2007-528168200

出願年月日: 2007年9月14日

国内外の別: 国内

② 名称: 距離測定方法、距離測定用受信局
装置及び位置測定システム

発明者: 橋爪宏達, 杉本雅則

権利者: 大学共同利用機関法人情報・シ
ステム研究機構

種類: 特許

番号: 特願2008-060922

出願年月日: 2008年3月11日

国内外の別: 国内

③ 名称: 時刻基準点情報伝送システム、時
刻基準点情報伝送方法、送信器および受
信機

発明者: 橋爪宏達, 杉本雅則

権利者: 大学共同利用機関法人情報・シ
ステム研究機構

種類: 特許

番号: 11/874,231

出願年月日: 2007年10月19日

国内外の別: 国外(アメリカ)

④ 名称: 時刻基準点情報伝送システム、時
刻基準点情報伝送方法、送信器および受
信機

発明者: 橋爪宏達, 杉本雅則

権利者: 大学共同利用機関法人情報・シ

テム研究機構
種類：国際特許
番号：0721628.6
出願年月日：2007年11月2日
国内外の別：国外（イギリス）

○取得状況（計1件）

①超音波距離計測システムおよび超音波距離測定方法
橋爪 宏達,杉本 雅則
大学共同利用機関法人情報・システム研究機構
特許第4041899号
平成2007年11月22日 国内

[その他]

ホームページ等
<http://www.itl.u-tokoyo.ac.jp/~usonic/jp/index.html>

新聞掲載
日経産業新聞 2007年11月26日

6. 研究組織

(1) 研究代表者

橋爪 宏達 (HASHIZUME HIROMICHI)
国立情報学研究所・アーキテクチャ科学研究系・教授
研究者番号：40172853

(2) 研究分担者

杉本 雅則 (SUGIMOTO MASANORI)
東京大学・大学院工学系研究科・准教授
研究者番号：90280560

(3) 連携研究者

なし