

平成 21 年 5 月 15 日現在

研究種目：基盤研究(B)
 研究期間：2006～2008
 課題番号：18360197
 研究課題名（和文） 光空間通信型三次元センサネットワークによるユビキタス情報環境
 研究課題名（英文） Ubiquitous Information Environments with 3D Sensor Network
 Based on Spatial Light Communication
 研究代表者
 佐藤 宏介 (SATO KOSUKE)
 大阪大学・大学院基礎工学研究科・教授
 研究者番：90187188

研究成果の概要：小型カメラと無線ネットワークを装備した複数のプリント基板モジュール化されたセンサノードを試作により、様々な接続方式に基づくカメラ内蔵型無線センサネットワークを構築して、それらの動作特性を明らかにした。実スケール計測原理、三次元光到来方向センサ、蛍光灯特殊照明、遠隔インタフェースなど、要素技術とアプリケーション提案を研究し、建屋内のユビキタス情報環境の技術基盤である三次元位置同定の実装論を確立した。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2006年度	2,900,000	870,000	3,770,000
2007年度	3,700,000	1,110,000	4,810,000
2008年度	3,300,000	990,000	4,290,000
年度			
年度			
総計	9,900,000	2,970,000	12,870,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：電気電子工学・計測工学

キーワード：計測システム

1. 研究開始当初の背景

集中制御されたテレメトリ・センサ群ではなく、センサ自体が近距離無線通信機能とデータルーティング機能を備え、自律的に計測ネットワークを環境中で構成するセンサノードが、アドホックセンサネットワークである。近年、近距離無線通信モジュールの小型化と省電力化が進んだことから、環境センシングを主たる目的として、米国を中心にしてアドホックセンサネットワークの研究が勃興してきた。我が国においても、ユビキタスコンピューティングに不可欠な電子環境を自動的に構築する応用が期待されている。しかし、ノード座標の三次元位置計測に関して、

広域の環境センシング用途では衛星 GPS によいが、ユビキタスコンピューティング用途には室内でも使用でき、かつ GPS を 2 桁上回る精度が不可欠である。しかし、米国での研究はセンサノードの小型化とマルチキャストデータ配信の研究を中心であり、いまだユビキタスコンピューティング用途の三次元位置計測を有したものはない。それだけではなく、室内で cm 単位の精度を有した三次元位置計測において、小型でコードレスの一体型センサモジュール自体が存在していない。

そこで、様々な位置同定原理の中から、世界的に類例のない、画像計測に基づく三次元位置推定機能を、センサノードに小型カメラ

を組み込むことで実現を目指す。

2. 研究の目的

光投影と画像処理を利用した三次元計測アルゴリズムを小型マイクロプロセッサと CMOS 画像センサチップを一体化することで、アドホックセンサネットワークに自律的な位置計測機能を、リジッドな 1 ボード上に集積実装し、多様な応用がそのまま見込める一体型センサモジュールを開発し、この研究分野と産業界との応用との接点を進捗させることを主目的とする。3 年間の研究期間では、光センサチップと光空間通信型センサネットワークに適した赤外線変調方式、パケット構成方式とその制御プロトコルを明らかにし、その後の展開研究につなげることを目指す。

また、センサネットワークに画像撮像機能を付与しても、三次元計測のスケール同定問題（中心投影のカメラからでは、相対位置は計測できても、物理単位系での実スケールを計測できない問題）が残る。これに対して、一体センサモジュール上で受光素子と発光素子あるいは反射素子（コーナキューブ）とを一定の物理的距離だけ離して実装することで解決できることを予測している。この新たな三次元推定問題を数学的に解法し、物理スケールで計測可能なセンサネットワークを開発し、複合現実感技術等を融合することで、最終的に実用的なロケーションベースと呼ばれる新たなユビキタス情報環境の提示を試みる。

3. 研究の方法

平成 18 年度では、第一項目として、まず画像撮像に基づく位置計測機能の不可欠な三次元推定の基礎アルゴリズムを開発した。次に、現状のセンサネットワークで多用されている無線通信方式から、LED を送信機、カメラを受信機とする赤外線光空間通信方式への転換へ、光空間通信の基礎実験から、光空間通信に適したネットワーク通信レイヤー構造を設計した。センサネットワークのセンサノードのハードウェア開発、ネットワーク通信の下位ミドルウェア開発と平行して、ユーザーアプリケーション開発を

(1) 点投影に基づく三次元推定における、物理スケール同定アルゴリズム

(2) ユニバーサルリモコンによる家電機器のユビキタス制御

(3) 光空間投影型複合現実感によるユビキタス情報提示環境

の観点から様々な要素技術を研究した。

平成 19 年度では、小型シリアル接続 CMOS カメラモジュールと小型無線ネットワークモジュール (ZigBee)、コイン型 GHz 帯 NTSC 無線カメラモジュールを導入し、平成 18 年

度の実証した三次元推定アルゴリズム、パケット通信コードを実装し、第二次試作を 2 種（画像処理サーバー型、画像処理分散型他）実施した。

第二次試作センサノードには、無線モジュールとカメラ撮像系、LED 発光系を装着することが出来るため、無線ネットワーク通信と発光変調素子と受光センサを組み合わせた光空間通信ネットワークとを併用する無線・光相補運用ネットワークを新たに考案した。

加えて、CMOS 撮像素子以外の光センサの導入として、微細 PSD（光位置検出素子）等の受光光量計測による光入射方向計測による集積実装の計測原理を評価した。

平行して、平成 18 年度の項目（1～3）を発展させ、要素技術開発を現有の PC、デジタルカメラ、三次元計測機器を活用し、精度、プログラムコード量、ワーキングメモリ量などを検証した。

(2) と (3) においては、家電ホームネットワークを想定し、家庭環境、オフィス環境における電子機器のユビキタスインタフェースの研究を、複合現実感、ユーザインタフェースの観点から初期設計と種々のアプリケーションを実装した。

平成 20 年度では、消費電力の比較的多い二次元撮像素子以外の光計測ベースの三次元計測原理に基づいた研究の比重を移し、ユビキタス情報環境の対象空間をビル全体に拡張して、以下の項目を中心に研究実施した。

(ア) 指数関数輝度変調と検出型光センサ群による投影角、受光角の計測に基づく、三次元位置計測

(イ) 天井蛍光灯に代替し、ID に基づき高速パルス変調する特殊 LED 光源に基づく広域三次元位置計測

の 2 種の位置計測原理の基礎計測実験を進めた。

4. 研究成果

(1) センサノードに小型 CMOS カメラと LED を装着し、発光 LED の唯一化する発光制御からネットワークの各ノードの三次元位置を画像計測的アプローチから取得する方式を考案した。提案した方式は位置が不明なセンサノードのカメラが撮影した画像内に写っている三次元位置が既知なノードの座標から三次元位置を算出するというものである。シミュレーション実験とブレッドボード試作システムの構築から提案方式による誤差の評価を行い、基準位置ノードや位置が既知のノードとの距離が短ければ精度の高い位置検出ができ、距離が遠ければ精度が落ちながらも、三次元位置の同定が十分可能であるということが示された。(図 1)。



図1 三次元計測原理の考案と確認

(2) 位置推定の基礎となる方向推定の手法として、LEDの輝度の指数関数型変調に基づく光源方向計測手法を考案した。提案手法は、LEDの輝度を指数関数的に変化させることにより、受光部とLEDの距離によらず輝点方向を推定することができるというものである。この提案手法に基づいて方向推定するシステムを実装し、実験を行い、本手法の有効性を示した(図2)。

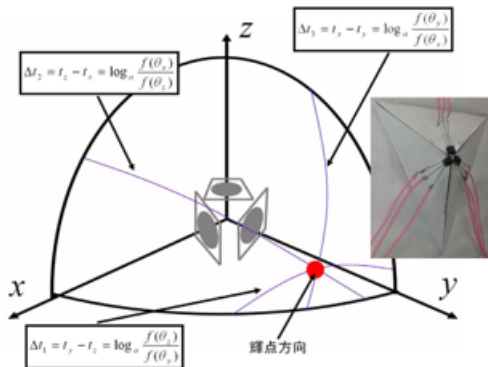


図2 三次元光到来方向センサ

(3) これまでのカメラ付きセンサノードを用いた三次元位置同定手法では、カメラとLEDを同一の場所には配置できないことが実装上の問題となっていた。そこで、LEDをあえてオフセット配置したカメラ付きセンサノードを考案した。従来実装上の問題であったこのカメラ-LED間のオフセットを、三次元計測結果のスケール不定性(m等の実単位で求まらず、相対値で得られること)の解消に関係づけることに成功し、実スケールで三次元位置同定できる手法を考案した。

シリアル通信型の小型カメラと ZigBee 無線ネットワークを装備したプリント基板モジュールでこの原理に基づく一体化センサノードを試作した(図3左)。動作実験により、実スケールでの計測精度、計測速度等、三次元位置同定センサネットワークの基礎特性を検証した(図4)。



図3 試作したカメラ-LED搭載型センサノード

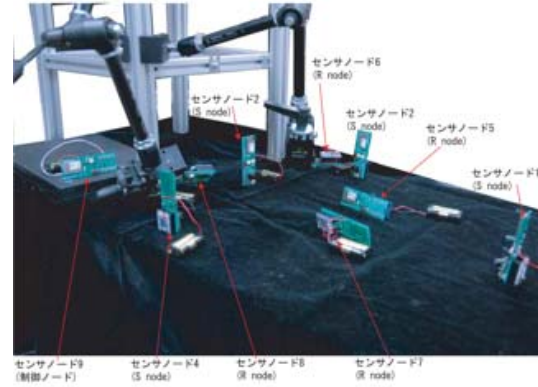


図4 図3左方のノードによるセンサネットワーク

(4) (3)の分散化型画像処理型センサネットワークに加えて、画像処理を集中サーバーで行う別種の画像処理型センサネットワークを考案した。位置が不明なセンサノードのコイン型カメラにより4個以上の位置が既知なセンサノードの発光源を撮影し、それをGHz帯でホストサーバーにNTSC無線伝送し、サーバーで画像上の輝点座標を抽出し、その世界座標の関係から三次元位置および姿勢を推定し、その結果をセンサノードに ZigBee 無線ネットワークで配信する(図3右)。複数の位置未知ノードの計測データを複合的に処理する誤差分散化手法を提案し、誤差伝播による誤差拡大を防ぐことにより推定精度の向上を行った。これらの手法をシミュレーションと試作センサノードを用いて実験し、精度評価や提案手法の有効性を確かめた(図5、図6)。

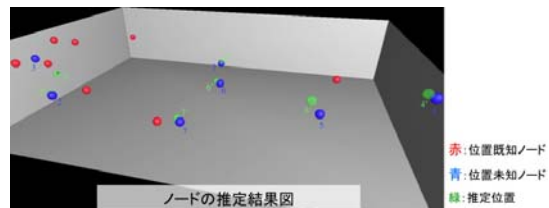


図5 図6環境での三次元位置計測例



図6 オフィス環境に設置した図3右のセンサノード

(5) ユビキタス情報環境での情報システムのアクセス法として、人間が自らの影と日常的に接していることから、影を用いてポインティング操作やジェスチャを行うアクセス法を開発した(図6)。その他に、人間がその内面に持っている感覚的な量を家電機器に対して定量的に伝えるため、「振る」動作を用いたアナログ量調整する家電機器操作インタフェースを代表に様々な態様のものを試作開発した。ユビキタスな情報提示に対して、投影型複合現実感技術(プロジェクタを用いて実空間と仮想空間とを融合する技術)を色再現、マルチプロジェクション、熱画像の観点から様々な要素技術の基礎を固め、ユビキタス情報環境での双方向の実世界指向インタフェース(実世界に存在する事物を介する直観的なヒューマンコンピュータインタラクション技法)を考案した。

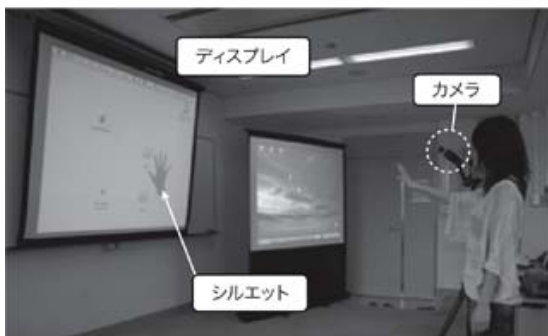


図6 遠隔インタフェースによるデバイスを把持する必要のないユビキタス操作

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計12件)

- ① 青木洋一, 堀井千夏, 佐藤宏介, “投影面の反射特性とハイライト除去を考慮した複数プロジェクタによる重畳投影”, Vol. 62, No. 12, pp. 2023-2030, 2008, 査

読有

- ② 山本豪志朗, 徐会川, 佐藤宏介, “PALMbit-Silhouette: 掌シルエットに重畳表示による分散大型ディスプレイへのアクセス”, 映像情報メディア学会論文誌, Vol. 62, No. 12, pp. 1988-1996, 2008, 査読有

- ③ Arata Hirokawa and Kosuke Sato, “3D Localization in Ad Hoc Sensor Network with Embedded Camera and LEDs, Transactions of the Society of Instrument and Control Engineers”, Volume E-S-1, No. 1, pp. 91-96, 2006, 査読有

〔学会発表〕(計42件)

- ① Tomoya Shimizu and Kosuke Sato, “DOA Estimation of Space Light Communication Sensor Network with Exponentially Amplitude Modulated LED”, Proceedings of INSS 2008, pp. 228, Kanazawa, June-17, 2008, 査読有.

- ② 中田周作, 佐藤宏介, “画像処理ホストを有するカメラ・光源付センサネットワーク”, ViEW2007 ビジョン技術の実利用ワークショップ講演論文集, I-45, 横浜, 12月4日, 2007, 査読無

- ③ 中室英之, 日向匡史, 佐藤宏介, “LEDをオフセット配置したカメラ付ノードの位置姿勢推定”, ViEW2007 ビジョン技術の実利用ワークショップ講演論文集, I-46, 横浜, 12月4日, 2007, 査読無

〔その他〕

ホームページ等

<http://www-sens.sys.es.osaka-u.ac.jp>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

佐藤 宏介 (SATO KOSUKE)

大阪大学・大学院基礎工学研究科・教授

研究者番号: 90187188

(2) 研究分担者

日浦 慎作 (HIURA SHINSAKU)

大阪大学・大学院基礎工学研究科・准教授

研究者番号: 40314405

堀井 千夏 (HORII CHINATSU)

摂南大学・経営情報学部・准教授

研究者番号: 00273863

金谷 一郎 (KANAYA ICHIRO)

大阪大学・大学院工学研究科・准教授

研究者番号: 50314555

岩井 大輔 (IWAI DAISUKE)

大阪大学・大学院工学研究科・助教

研究者番号: 90504837