

位置推定技術を用いた 無線センサネットワーク可視化システムの提案

金丸 幸弘¹ 鈴木 秀和¹ 旭 健作¹ 渡邊 晃¹

概要: 近年、無線センサデバイスの小型化、高性能化が進んでおり、今後は無線センサネットワークが普及していくことが考えられる。無線センサネットワークは機器同士を電波で接続するため、ネットワークの構造を把握することが困難である。そのため、保守や管理、障害対応の際にはセンサデバイスおよび無線センサネットワークを目視で素早く確認できると有用である。本稿では、タブレット端末と位置推定技術を用いた無線センサネットワーク可視化システムを提案する。提案システムは位置推定されたタブレット端末上に、AR (Augmented Reality) 技術を用いてセンサデバイスのリンク情報およびセンシングデータを可視化する。

キーワード: 無線センサネットワーク, 可視化, 位置推定技術, AR

Proposal of a Wireless Sensor Networks Visualization System Using Location Estimation

KANAMARU YUKIHIRO¹ SUZUKI HIDEKAZU¹ ASAHI KENSAKU¹ WATANABE AKIRA¹

Abstract: Miniaturization and high performance of wireless sensor devices are progressing in recent years. It is considered that wireless sensor networks will be popular in the future. It is difficult to grasp the configuration of wireless sensor networks, because devices are connected by wirelessly. When the time of maintenance or the respond to a fault, it is useful to visually confirm the configuration of sensor devices and wireless sensor networks. In this paper, we propose a visualization system of wireless sensor networks using location estimation technologies. The proposed system visualizes link state of sensor devices and sensing data on the Tablet by Augmented Reality(AR) technology.

Keywords: Wireless Sensor Networks, Visualization, Localization, AR

1. はじめに

近年、ユビキタス技術の発展により、無線センサネットワークが注目されている。無線センサネットワークは ZigBee [1] に代表される近距離無線通信規格が標準化されており、医療や防犯、物流など幅広い分野での利用が考えられている。屋内においては温度、湿度センサなどを用いたセンシングや情報家電の遠隔制御、人感センサを利用したホームセキュリティなどが考案されている [2]。また、半

導体技術の発展により、センサデバイスの小型化が進んでいる。このことから、今後は屋内のあらゆる箇所にセンサデバイスが数多く設置されると考えられる。

しかし、無線センサネットワークはデバイス間を電波で接続するため、ネットワークの構造を把握することが困難である。そのため、障害が発生した際に、原因箇所の特定に時間がかかってしまうことが考えられる。また、ほとんどのセンサデバイスは表示用のディスプレイを搭載していないため、リアルタイムにユーザへ情報を提供することが難しい。これらのことから、保守、管理を行う際には、無線センサネットワークの構造やセンシングデータを素早く

¹ 名城大学大学院理工学研究科
Graduate School of Science and Technology, Meijo University

目視で確認できるシステムがあると有用である。

現在、無線センサネットワーク情報の可視化に関する研究として、EVANS (Embodied Visualization with AR for Network Systems) [3] や uMegane [4] などがある。これらのシステムは、AR (Augmented Reality) 技術を用いてセンサデバイスの情報を可視化する。EVANS は、EVANS ノードと呼ばれる Web カメラを接続したノート PC を用いて、センサデバイスに装着されたビジュアルマーカを認識する。この時、ノート PC 上に認識したビジュアルマーカに基づき仮想オブジェクトを表示することにより、ネットワーク構造およびセンシングデータの可視化を実現している。また、ノート PC 上に表示した仮想オブジェクトを操作することにより、センサデバイスの電源を切り替えることが可能である。

uMegane は、数多く設置されたセンサデバイスのセンシングデータを手間のかかる操作をすることなく、容易に閲覧することを目的としたシステムである。Web カメラと HMD (Head Mounted Display) を用いたインタフェースを採用しており、センサデバイスにはビジュアルマーカが装着されている。ユーザは HMD を装着し、Web カメラをセンサデバイスの方向に向ける。この時、HMD 上にはセンサデバイスの周辺に付加情報が表示され、ユーザはデータベースに直接アクセスすることなくセンサデバイスの情報を閲覧することができる。また、リアルタイムフィルタやタイムマシンフィルタと呼ばれるフィルタが実装されており、最新の情報のみの表示や過去の情報を閲覧することもできる。

これらのシステムは、センサデバイスに取り付けたビジュアルマーカを画像処理により認識し、センサデバイスの位置を算出して仮想オブジェクトを重畳表示する。そのため、全てのセンサデバイスにビジュアルマーカを取り付ける必要がある。また、ビジュアルマーカに基づいて仮想オブジェクトの表示位置を決めるため、カメラの視野内で物陰に隠れていないセンサデバイスにより構成されたネットワークの構造しか可視化することができない。さらに、ビジュアルマーカを装着したセンサデバイスを数多く設置すると、屋内の外観を損ねてしまう課題がある。

そこで、これらの課題を解決するために、本稿ではセンサデバイスの外装には手を加えず、位置情報を用いて無線センサネットワークを可視化するシステムを提案する。センサデバイスとカメラの位置関係に基づき仮想オブジェクトを表示することにより、カメラの視野外に設置されているセンサデバイスへのリンク情報も可視化することが可能である。提案システムではマーカの代わりに位置推定技術を用いてカメラの位置を推定する。

以下、2 章で位置推定技術について、3 章で提案システムの概要、4 章で試作システムの動作結果を示し、5 章で既存システムと比較、6 章でまとめる。

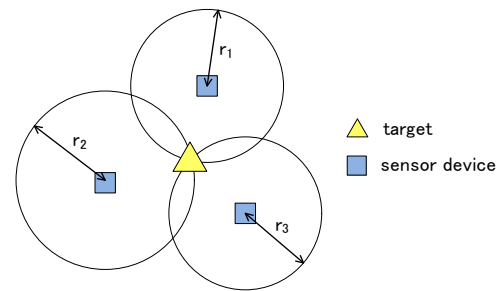


図 1 TOA, TDOA 方式における位置推定原理

Fig. 1 Position estimation principle of TOA, TDOA method.

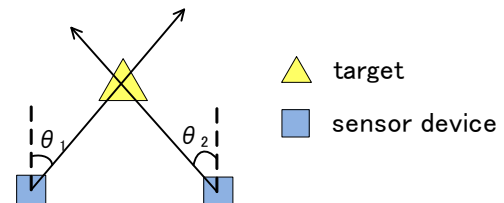


図 2 AOA 方式における位置推定原理

Fig. 2 Position estimation principle of AOA method.

2. 位置推定技術

位置推定技術には周囲に設置されているセンサデバイスの電波を用いて推定する方式 [5] と、端末に搭載されている加速度センサ等を用いて推定する方式がある [6]。以下、2.1, 2.2 に各方式の特徴を記述する。なお、この章では位置を推定される端末をターゲットと呼ぶこととする。

2.1 電波を用いた位置推定手法

2.1.1 電波到来時間、到来方向を用いた位置推定手法

電波の到来時間、到来方向を用いた位置推定手法は TOA (Time of Arrival) や TDOA (Time Difference of Arrival) [7], AOA (Angle of Arrival) [8] 等の方式がある。TOA, TDOA はターゲットが受信する電波または周囲のセンサデバイスが受信する電波の到来時間が異なることを利用してセンサデバイスまでの距離を算出し、三角測量によりターゲットの位置を推定する (図 1)。AOA は、ターゲットの電波を受信したセンサデバイスが電波の到来方向を測定し、位置を推定する方式である (図 2)。

これらの方式は周囲に設置されているセンサデバイスに専用の装置が必要になるため、数多く設置するとコストが増えてしまう課題がある。

2.1.2 Fingerprint による位置推定手法

Fingerprint は、実環境の電波状況と位置情報を対応付けた電波地図を用いてターゲットの位置を推定する手法である [9–13]。電波地図は、位置推定を行う実環境において、複数のサンプリング地点で事前に RSSI (Received Signal Strength Indicator) を計測して作成する。位置推定時は図 3 に示すように、ターゲットが受信した RSSI と電波地

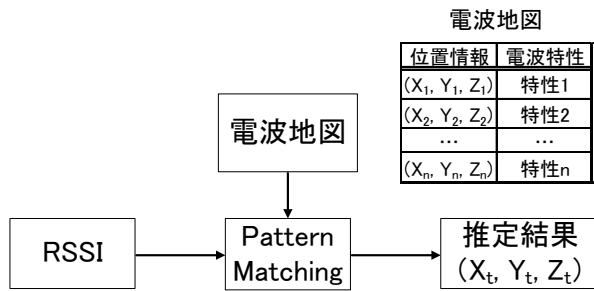


図 3 Fingerprint における位置推定原理

Fig. 3 Position estimation principle of Fingerprint method.

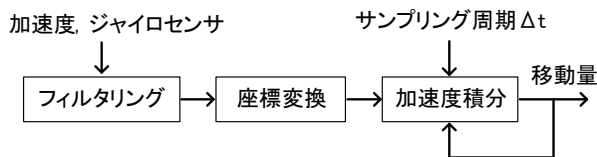


図 4 INS の原理

Fig. 4 The principle of INS.

図をパターンマッチングすることにより、対応付けされている位置を求める。Fingerprint は、障害物によるマルチパスを含めた RSSI を用いて電波地図を作成するため、外乱に強い特性を持っている。また、電波地図を作成する際に RSSI を測定したサンプリング地点と同じ場所で位置推定を行った場合は、精度良く位置を推定することが可能である。しかし、電波地図作成時と位置推定時において、周りの電波環境が変化していると正しく位置を推定することができない課題がある。また、電波地図を用いて位置推定を行うため、推定精度は電波地図を作成する際のサンプルデータの計測数に依存する。

2.2 加速度センサ等を用いた自律測位

これはターゲットが搭載している加速度センサやジャイロセンサまたは地磁気センサを用いて、相対的な位置の変化を求める手法である。INS (Inertial Navigation System) と呼ばれ、航空機や車の分野で利用されている。図 4 に INS の処理手順を示す。各種センサから取得できる値は細かく変動しているため、フィルタを通して平滑化する。フィルタリング処理後はジャイロセンサまたは地磁気センサを用いてターゲットの移動方向を求める。移動量は移動により生じる加速度を 2 回積分することにより算出する。これらの処理により、ターゲットの移動量と移動方向を求め、位置情報を更新することにより移動を推定することができる。INS の欠点としては、各種センサにはノイズが含まれるため、相対的な移動を推定し続けることにより、誤差が蓄積してしまうことが挙げられる。このため、INS は単体で使用するのではなく、他の位置推定技術と併用するなど累積誤差の影響を小さくする対策が必要である。

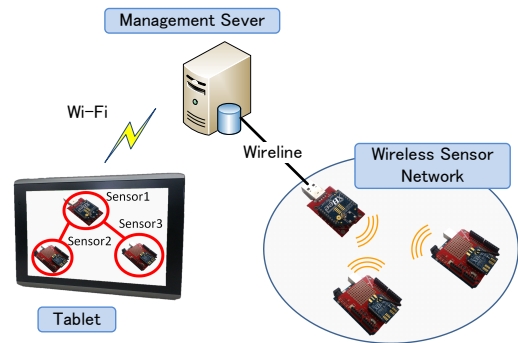


図 5 システム構成

Fig. 5 System configuration.

表 1 管理サーバが収集するセンサデバイスの情報

Table 1 Sensor information on management server.

フィールド名	説明
PAN ID	ネットワーク識別 ID
Address	センサデバイスのアドレス
Neighbor Device Address List	近隣デバイスのアドレスリスト
Sensor Type	センサの種類
Sensing Data	センシングデータ
Position	位置座標
Timestamp	更新時間

3. 提案システム

3.1 概要

提案システムは、ユーザが空間にかざしたタブレット端末上にセンサデバイスの位置、センシングデータおよび無線センサネットワークのリンク情報を仮想オブジェクトとして表示することにより、ネットワークを可視化する。仮想オブジェクトはタブレット端末の位置、姿勢とセンサデバイスの位置情報に基づき表示する。これにより、センサデバイスにビジュアルマーカを取り付けることなく、かつ、センサデバイスがカメラの視野外や物陰に設置されている場合でもネットワークの構造を可視化することができる。

図 5 に提案システムの構成を示す。提案システムはセンサデバイスと管理サーバ、タブレット端末により構成される。タブレット端末はカメラ機能と 3 軸加速度センサおよび 3 軸ジャイロセンサ、3 軸地磁気センサを搭載しているものとする。センサデバイスは無線通信機能を持ち、温度や湿度、照度などを計測する。管理サーバはセンサネットワークの管理機能を持つ PAN (Personal Area Network) コーディネータと接続しており、センサデバイスが計測したデータ等を管理する。

表 1 に管理サーバが収集するセンサデバイスの情報を示す。PAN ID はネットワーク固有の ID であり、管理サーバが複数のネットワークを管理している際にネットワークを識別するために使用する。Neighbor Device Address List

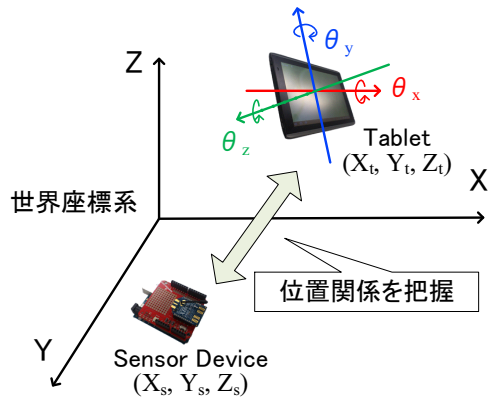


図 6 提案システムの座標系
Fig. 6 Coordinate system in the proposed system.

はセンサデバイスの接続先のアドレスを管理し、ネットワークのリンク構造を把握するために使用する。Position は設置されているセンサデバイスの位置情報を示す。ネットワークを可視化の際、タブレット端末は Wi-Fi 等を用いて管理サーバに蓄積されているセンサデバイスの情報を取得する。なお、本稿ではこれらのセンサデバイスの情報は、予め管理サーバに登録されているものとする。

3.2 タブレット端末の位置合わせ

3.2.1 タブレット端末とセンサデバイスの位置関係

提案システムは、センサデバイスとタブレット端末の空間上の位置関係から、仮想オブジェクトを表示するタブレット画面上の座標を算出する。空間上の位置関係は、センサデバイスの位置情報とタブレット端末の位置および姿勢から求める。図 6 にタブレット端末とセンサデバイスの位置関係を示す。センサデバイスの位置座標 (X_s, Y_s, Z_s) はサーバに登録されている“Position”のデータである。タブレット端末の位置座標 (X_t, Y_t, Z_t) は位置推定技術により推定し、回転角 $(\theta_x, \theta_y, \theta_z)$ は、タブレット端末に搭載されている加速度センサと地磁気センサ、ジャイロセンサを用いて求める。

3.2.2 タブレット端末の位置推定

タブレット端末の位置は位置推定技術を用いて推定する。2 章で述べたように位置推定技術には様々な手法があるが、提案システムでは Fingerprint と INS を組み合わせた手法を利用する。図 7 に組み合わせた手法の推定イメージを示す。位置推定時は Fingerprint による位置推定と INS による移動の推定を同時に行う。Fingerprint では、計測した RSSI と電波地図に登録されているサンプルデータをパターンマッチングする。この時、計測した RSSI とサンプルデータの一緻度に着目し、一緻度が閾値 T より高い場合は Fingerprint を利用して位置推定を行う。一緻度が閾値 T より低い場合は、INS により推定される移動量を用いて、前の段階で推定された位置情報を更新する。この

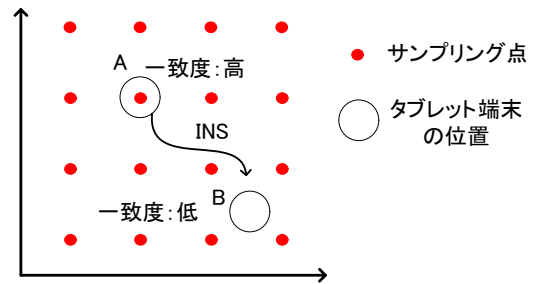


図 7 Fingerprint と INS を組み合わせた手法
Fig. 7 Hybrid method of Fingerprint and INS.

ように、一緻度を用いて Fingerprint の精度が高い場合は Fingerprint により推定される位置をランドマークとして扱うことにより、INS の累積誤差を低減しつつ、高精度に位置を推定することができると考えられる。閾値 T は、大きければ大きいほど INS による移動推定の継続時間が増加する。それに伴い、累積誤差も増えていくため、閾値 T の値は実際に利用する環境において柔軟に決める必要があると考えられる。

3.3 仮想オブジェクトの表示

3.3.1 仮想スクリーン

仮想オブジェクトを表示するタブレット画面上の座標は、センサデバイスとタブレット端末の間に仮想スクリーンを想定して算出する。図 8 に仮想スクリーンの位置関係を示す。 ε はタブレット端末から仮想スクリーンまでの距離、 d はタブレット端末からセンサデバイスまでの距離である。ここで、 ε はタブレット端末に搭載されているカメラの特性によって決まる値であり、カメラキャリブレーションにより求める [14]。距離 d は、センサデバイスとタブレット端末の位置情報から式 (1) により算出する。

$$d = \sqrt{(X_s - X_t)^2 + (Y_s - Y_t)^2 + (Z_s - Z_t)^2} \quad (1)$$

仮想オブジェクトを表示するタブレット画面上の座標 (u_s, v_s) は、図 8 のセンサデバイスの位置座標と d および ε の比例関係を用いて、センサデバイスの仮想スクリーン上の座標 (X_{vs}, Y_{vs}, Z_{vs}) から算出する。

3.3.2 仮想スクリーン上の座標算出方法

仮想スクリーン上の座標 (X_{vs}, Y_{vs}, Z_{vs}) は、センサデバイスの位置情報 (X_s, Y_s, Z_s) とタブレット端末の位置 (X_t, Y_t, Z_t) および端末の回転角 $(\theta_x, \theta_y, \theta_z)$ より算出する。まず、タブレット端末の Y 軸周りの回転角 θ_y のみを考慮した仮想スクリーン座標を求める。この時、仮想スクリーン座標を $(X_{\theta_y}, Y_{\theta_y}, Z_{\theta_y})$ とすると、 X_{θ_y} と Y_{θ_y} は図 9 と図 10 の関係から式 (2)、(3) となる。

$$X_{\theta_y} = \varepsilon \tan \alpha \quad (2)$$

$$Y_{\theta_y} = \frac{\varepsilon h}{d \cos \alpha} = \frac{\varepsilon(Y_s - Y_t)}{d \cos \alpha} \quad (3)$$

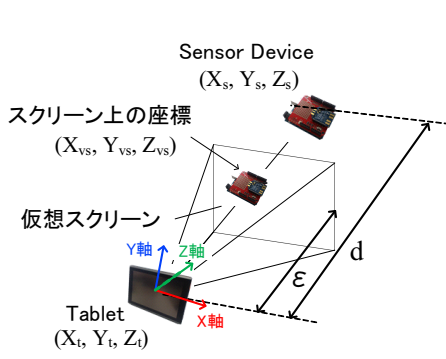


図 8 仮想スクリーン
Fig. 8 Virtual Screen.

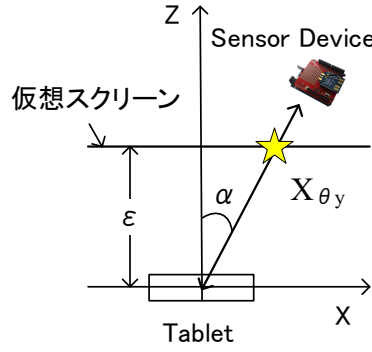


図 9 端末座標系における
ZX 平面の様子
Fig. 9 ZX plane in Tablet
coordinate system.

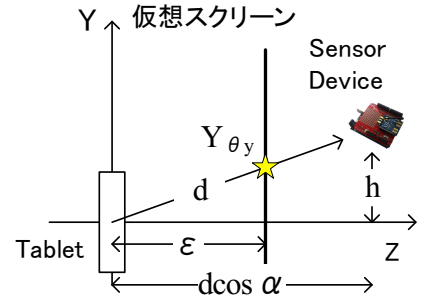


図 10 端末座標系における
YZ 平面の様子
Fig. 10 YZ plane in Tablet
coordinate system.

ここで、式 (2) の α はタブレット端末の Z 軸方向からセンサデバイスまでの角度である。また、式 (3) の h はタブレット端末からセンサデバイスまでの高さである。 $Z_{\theta y}$ はタブレット端末から仮想スクリーンまでの距離 ε となる。このことから、回転角 θ_y のみを考慮した仮想スクリーン上の座標 $(X_{\theta y}, Y_{\theta y}, Z_{\theta y})$ は $(\varepsilon \tan \alpha, \frac{\varepsilon h}{d \cos \alpha}, \varepsilon)$ と求まる。

次に求めた仮想スクリーン座標 $(\varepsilon \tan \alpha, \frac{\varepsilon h}{d \cos \alpha}, \varepsilon)$ に X 軸周りの回転角 θ_x による回転を加えた仮想スクリーン座標 $(X_{\theta x}, Y_{\theta x}, Z_{\theta x})$ を算出する。回転角 θ_x による回転は式 (4) と表される。

$$\begin{pmatrix} RY_{\theta x} \\ RZ_{\theta x} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos \theta_x & \sin \theta_x \\ -\sin \theta_x & \cos \theta_x \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \frac{\varepsilon h}{d \cos \alpha} \\ \varepsilon \end{pmatrix} \quad (4)$$

ここで、先ほど求めた座標 $(\varepsilon \tan \alpha, \frac{\varepsilon h}{d \cos \alpha}, \varepsilon)$ は式 (4) の回転により仮想スクリーン上の点から図 11 に示す点 P に移る。そこで、原点と点 P を通る直線と仮想スクリーンとの交点を点 P_{vs} とし、点 P_{vs} の Y 座標 $Y_{P_{vs}}$ を算出する。 $Y_{P_{vs}}$ は図 11 の比例関係から式 (5) となる。

$$Y_{P_{vs}} = \frac{\varepsilon RY_{\theta x}}{RZ_{\theta x}} \quad (5)$$

これにより、回転角 θ_y, θ_x を考慮した仮想スクリーン座標 $(X_{\theta x}, Y_{\theta x}, Z_{\theta x})$ は $(\varepsilon \tan \alpha, Y_{P_{vs}}, \varepsilon)$ と求まる。

最後に回転角 θ_z による回転加え、仮想スクリーン上の座標を算出する。回転角 θ_z による回転は式 (6) で表される。

$$\begin{pmatrix} RX_{\theta z} \\ RY_{\theta z} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos \theta_z & -\sin \theta_z \\ \sin \theta_z & \cos \theta_z \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \varepsilon \tan \alpha \\ Y_{P_{vs}} \end{pmatrix} \quad (6)$$

この式 (6) は XY 平面上における回転であるため、Z 座標は回転後も変化しない。このことから、先ほど求めた仮想スクリーン上の座標 $(\varepsilon \tan \alpha, Y_{P_{vs}}, \varepsilon)$ に式 (6) による回転を加えた座標も仮想スクリーン上の座標となる。よって、3 軸の回転角を全て考慮したセンサデバイスの仮想スクリーン上の座標 (X_{vs}, Y_{vs}, Z_{vs}) は $(RX_{\theta z}, RY_{\theta z}, \varepsilon)$ と求まる。

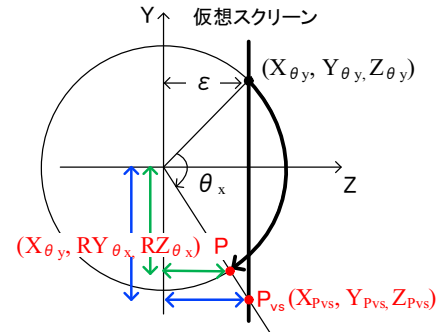


図 11 θ_x による回転
Fig. 11 Rotation by θ_x .

4. 試作システム

4.1 設計

タブレット端末の姿勢を 3 軸加速度センサと 3 軸地磁気センサを用いて検出し、画面上に仮想オブジェクトを表示する Android アプリケーションを試作した。図 12 に試作アプリケーションの構成を示す。なお、カメラキャリブレーションは事前に行い、カメラパラメータはテキストファイルに保存されている。また、位置推定機能とサーバとの通信機能は実装しておらず、タブレット端末とセンサデバイスの位置情報は既知としてテキストファイルから指定する。可視化モジュールは、タブレット端末とセンサデバイスの情報に含まれる位置座標から画面上に表示する仮想オブジェクトの座標を算出してカメラ画像上に重ねて表示する。

4.2 仮想オブジェクトの描画

試作アプリケーションを ICONIA TAB A500 [15] に導入して仮想オブジェクトの描画を行った。センサデバイスとタブレット端末の位置関係を図 13 に示す。図 13 において、タブレット端末の位置は $(0, 0, 0)$ であり、センサデバ

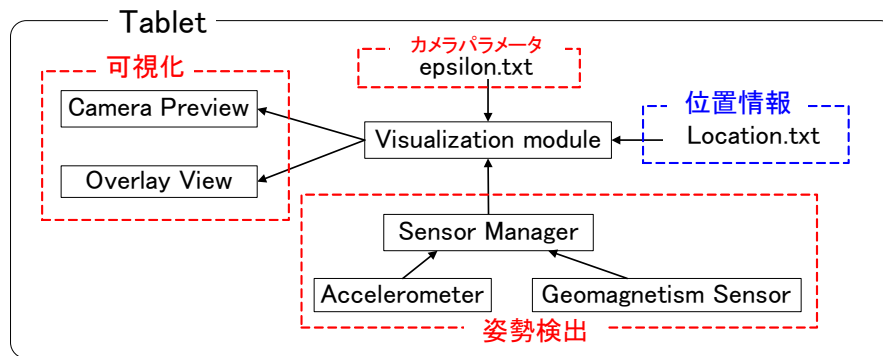


図 12 試作アプリケーションのモジュール構成
Fig. 12 Module configuration of the prototype.

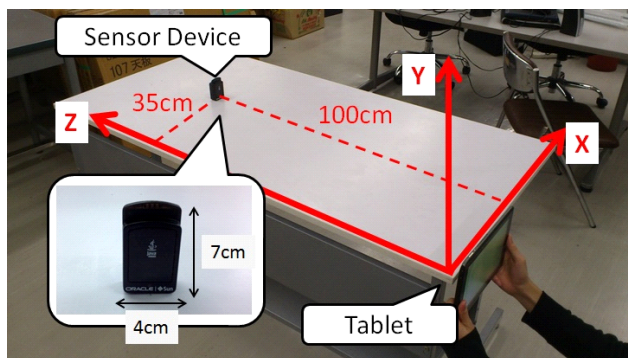


図 13 センサデバイスとタブレット端末の配置
Fig. 13 Placement of the sensor device and Tablet.



図 14 描画結果
Fig. 14 Drawing results.

イスの位置は (35, 0, 100) である。この位置関係における仮想オブジェクトの描画結果を図 14, 図 15 に示す。図 15 の破線矩形はセンサデバイスが表示されている範囲、実線矩形は仮想オブジェクトである。画面に映っているセンサデバイスの大きさは縦 90pixel, 横 60pixel であり、仮想オブジェクトは 1 辺 50pixel の正方形となっている。ここで、センサデバイスの中心と仮想オブジェクトの中心に着目すると、32pixel 程度ズレていることが確認できる。これは仮想オブジェクトの大きさが 1 辺 50pixel であることを考えると、仮想オブジェクトの表示位置はおおよそ 1 つ分ズレていることになる。しかし、センサデバイスの大きさを考えると仮想オブジェクトの中心がセンサデバイスの中心から 32pixel ズレたとしてもセンサデバイスの映っている範囲内に描画されるため、ユーザはタブレット画面上のセンサデバイスを識別することができる。このことから、試作アプリケーションはタブレット端末の位置を既知として動作した場合、画面上のセンサデバイスを可視化するのに十分な精度で仮想オブジェクトを表示することが可能であるといえる。

5. 既存システムとの比較

表 2 に提案システムと EVANS, uMegane の比較を示

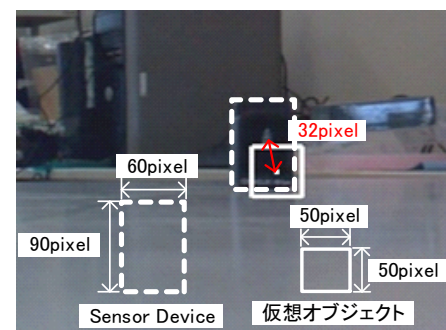


図 15 重畳表示の様子
Fig. 15 Appearance of the overlaid.

す。提案システムでは、センサデバイスの位置情報を用いて仮想オブジェクトを表示するため、センサデバイスにマーカを取り付ける必要がない。そのため、提案システムはカメラの視野外に設置されているセンサデバイスへのリンク情報を表示することができる。また、センサデバイスを物陰に設置した場合でも位置情報に基づきネットワークを可視化することができるため、センサデバイスを数多く設置されても屋内の外観を損なうことはない。しかし、提案システムではマーカを使用しない代わりに、位置推定技術を用いてタブレット端末の位置を推定する必要がある。また、EVANS は可視化画面に表示されている仮想オ

表 2 既存システムとの比較
Table 2 Comparison with existing systems.

	提案システム	EVANS	uMengae
マーカ	不要	必要	必要
位置推定	必要	不要	不要
事前準備	位置情報登録	マーカの登録	マーカの登録
可視化範囲	全体	カメラ範囲内	センサ周辺
リンク情報	○	△	×
デバイス操作	×	○	×

プロジェクトを操作することにより、センサデバイスの電源を切り替えることが可能である。今後は、提案システムにおいてもタブレット端末上に表示している仮想オブジェクトをタップすることにより、管理ノードを介してセンサデバイスを操作できるように拡張を行う予定である。

6. おわりに

本稿では、センサデバイスとタブレット端末の位置情報を用いて無線ネットワークを可視化するシステムを提案した。位置情報を用いることにより、カメラの範囲外にあるセンサデバイスへのリンクや物陰に設置されたセンサデバイスの情報も可視化することができる。しかし、提案システムは位置情報とタブレット端末の姿勢に基づき仮想オブジェクトを表示するため、位置推定精度が低いと正しい位置に仮想オブジェクトを表示することができない。そのため、今後は Fingerprint と INS を組み合わせた手法の位置推定精度について検討する予定である。

参考文献

- [1] ZigBee Alliance : <http://www.zigbee.org/>
- [2] 斎藤 洋, 梅比良正弘, 守倉正博: 広域ユビキタスネットワークインフラストラクチャに向けた考察, 電子情報通信学会誌 (B) , J88-B(11), pp.2128-2136(2005).
- [3] 島田秀輝, 坂本直弥, 岡田昌和, 綾木良太, 佐藤健哉: EVANS:拡張現実感技術を用いた無線ネットワーク可視化システム, DICOMO 論文集 (2010).
- [4] 今枝卓也, 高汐一紀, 徳田秀幸: uMegane:AR 技術を用いたセンサ情報可視化システム, 電子情報通信学会技術研究報告, pp.39-44, 2008.
- [5] 大槻知明: ワイヤレス位置検出技術, 計測と制御, vol.48, no.7, pp.560-564, 2009.
- [6] 佐川貢一, 煤孫光俊, 猪岡光: 加速度積分による 3 次元歩行移動量の無拘束計測, 計測自動制御学会東北支部第 202 会研究集会, 202-10, pp.1-8(2002).
- [7] AirLocation:
<http://www.hitachi-cable.co.jp/en/infosystem/news/20031119la.html>
- [8] 辻宏之, アレーアンテナを用いた屋内外の無線局位置推定の実験的検証, 信学論 (B) , vol.J90-B, no.9, pp.784-796(2007).
- [9] P.Bahl and V.N. Padmanabhan: RADAR:An inbuilding RF-based user location and tracking system, Proc.IEEE Infocom, pp.775-784, Tel Aviv Isreal(2000).
- [10] Ekahau Site Survey:
[http://www.ekahau.com/products/ekahau-site-](http://www.ekahau.com/products/ekahau-site-survey/overview.html)

- [11] 伊藤誠悟: Gaussian Process Particle Filter を用いた無線 LAN 位置推定手法, DICOMO 論文集 (2011) , pp.439-448.
- [12] Yin Chen, Dimitrios Lymberopoulos, Jie Liu, Bodhi Priyantha: FM-based Indoor Localization, Proceedings of the 10th international conference on Mobile systems, applications, and services(MobiSys '12), pp.169-210(2012).
- [13] 鈴木瑛識, 進藤博子, 重野 博: 無線 LAN における通信範囲外の AP リストを使用した屋内位置推定手法 LECOCA, 研究報告モバイルコンピューティングとユビキタス通信 (MBL) , vol.63, no.12, pp.1-7(2012)
- [14] 金丸幸弘, 鈴木秀和: 電波強度に基づく位置推定技術を用いた無線ネットワーク可視化に関する検討, 情報処理学会全国大会講演論文集, vol.74, No.3 6W-2, pp249-250(2012).
- [15] ICONIA TAB A500: <http://www.acer.co.jp/ac/ja/JP/content/series/iconia-tab-a/iconiataba500>