

# AR技術を用いた 無線ネットワークの信号強度可視化システムの検討

武田 直人<sup>†</sup> 村岡 諒<sup>†</sup> 小林 秀幸<sup>†</sup> 高橋 晶子<sup>†</sup>

<sup>†</sup> 仙台高等専門学校

**あらまし** ユビキタスネットワーク社会の実現に向けて、無線技術の発達が顕著である。また、スマートフォンやタブレットなどの情報端末の普及によって、誰もが簡易かつ即時に無線ネットワークの構築が可能となっている。しかし、無線ネットワークは情報の伝送に電波を用いるため、通信状態の即時的な把握が困難である。また、既存の仮想空間等を用いた無線ネットワーク可視化システムでは、現実空間の機器に直接関連付けた可視化を行うことが出来ない。これに対し、拡張現実感 (Augmented Reality :AR) 技術を用いた可視化システムが提案されている。これまでのAR技術を用いた可視化システムでは、ネットワークのリンク情報とセンサ情報の可視化を実現しているが、通信状態を把握することが困難である。そこで、本手法ではマーカが貼られたデバイスをカメラで写すことによって、端末間にリンクを表示する。また、その際の受信信号強度 (Received Signal Strength Indication :RSSI) に応じたリンクの表示を行う。本稿では、実機による実験を通して端末間の通信状態を把握出来ることを確認し、無線ネットワークの視覚化を実現した。

**キーワード** 無線ネットワーク, 可視化, AR, 受信信号強度

## The Visualization System for Signal Strength on a Wireless Network using Augmented Reality

Naoto TAKEDA<sup>†</sup>, Ryo MURAOKA<sup>†</sup>, Hideyuki KOBAYASHI<sup>†</sup>, and Akiko TAKAHASHI<sup>†</sup>

<sup>†</sup> Sendai National Collage of Technology, 4-16-1, Ayashichuo, Aoba-ku Sendai-shi, Miyagi, 989-3128, Japan

**Abstract** To Realize the ubiquitous network society, development of wireless technology is remarkable. Due to the expansion of the personal digital assistant, anyone can construct the network immediately and simply. However, wireless network uses radio waves to communicate the information, thereby we cannot recognize communication state. Moreover, visualization system using virtual space cannot relate directly to real equipment. We propose the visualization system of the wireless network with AR (Augmented Reality) technology. The proposed system visualizes link status with RSSI(Received Signal Strength Indication) between two devices. In this paper, we visualized for a wireless network using actual equipments and checked link status visually.

**Key words** Wireless Networks, Visualization, AR, RSSI

### 1. ま え が き

現在の無線ネットワークの普及は目覚ましく、簡易かつ即時に無線ネットワークの構築が可能となっている。基地局やアクセスポイントといったネットワークインフラ設備が十分でない環境や、災害の発生により、インフラ設備に故障が生じた場合などに簡易にネットワークを構築する必要がある。しかし、無線ネットワークは信号の伝送に電波を用いているため、ネットワークの構造や通信状態を即時的に把握することは困難である。また、ネットワークに生じた障害や、通信を行っているデバイ

ス同士を把握するために、ネットワークの全体像や通信状態を可視化することは重要である。

そこで、現実空間の情報に、コンピュータによって情報を付加し、拡張する手法として拡張現実感 (Augmented Reality:AR) 技術がある。AR技術によって、ユーザは、現実空間では視覚的に把握することが困難な情報を、より分かりやすく理解することができるようになった。その特徴から、運転支援システムや教育、エンターテイメントなどの分野への応用が期待されている [1]。AR技術を用いることで、ユーザに対して、直感的な情報の把握を促したり、新たな情報を提供することで、様々な

分野でのユーザを支援することが可能となる。したがって、AR 技術を用いて無線ネットワークを可視化することで、ユーザはより直感的に無線ネットワークの通信状況を把握することが出来る。既存の AR 技術を用いた無線ネットワーク可視化システムは、センサ情報やリンク情報を可視化している。しかしながら、良好な通信を行っているリンクと、通信状態が悪くパケット損失が発生しているリンクや伝送速度が遅いリンクも同様に表示するという問題がある。

そこで本稿では、AR 技術を用いた無線ネットワークの信号強度可視化手法を提案する。この手法では、マーカを画像ファイルとして表示させたデバイスをカメラで写すことによってデバイス間のリンクを表示し、その際に受信した受信信号強度 (Received Signal Strength Indication:RSSI) を基に通信強度の可視化を行う。また、可視化の際には、ネットワークに参加するそれぞれのデバイスに ID を割り振る。ID を取得するために必要な操作は、アプリケーションのインストールのみであるため、ネットワークの知識が乏しいユーザも簡単に扱うことが出来る。また、ID を所持していないデバイスのネットワーク参加を把握することが出来るため、セキュリティの分野への応用が可能であると考えられる。

さらに本稿では、この提案手法に基づくプロトタイプシステムを実装し、実機を用いた実験を行うことで、ノード間の通信状態を把握できることを確認し、無線ネットワークの可視化を実現する。

## 2. 関連研究

### 2.1 既存研究

無線ネットワークの可視化システムには、GUI 上に仮想デバイスを配置して可視化を行う MANET Viewer II [2] や、分散型共起ベクトルによるセンサ情報可視化システム [3] がある。MANET ViewerII では、ネットワークの全体像の可視化を GUI 上に複数の仮想デバイスとリンクを表す線を表示することによって行っており、各ノードの IP アドレスや、パケットフローの可視化など、多くの情報を得ることが可能である。また、分散型共起ベクトルによるセンサ情報可視化システムでは、センサノードごとに隣接するノードとセンサ値の比較を行うことでデータの可視化を行う。しかしながら、MANET Viewer II や分散型共起ベクトルによるセンサ情報可視化システムでは仮想空間上での操作を行うため、現実空間に直接対応付けた可視化を行うことができない。よって、直感的に、現実空間の通信状態を判断することは困難である。

これに対し、AR 技術を用いた可視化システムとして、位置推定技術を用いた可視化システム [4] や uMegane [5], EVANS [6] などが提案されている。位置推定技術を用いた可視化システムでは、ノードの位置推定にマーカを使用せず、計算によって位置を算出するマーカレス方式を用いている。この手法では多くのマーカを用意する必要がないため、ノードの準備に手間がかからないという利点はあるが、計算による位置推定技術には精度、計算量の増加、実装の手間などの課題が存在する。

そこで位置推定にマーカを用いた手法として、uMegane や

EVANS が提案されている。これらマーカ方式による可視化では、可視化の際にカメラによってマーカを認識し、マーカの上に情報を重畳する。uMegane では、ユーザが uMegane システムを通して、センサデバイスに貼られたマーカに基づき、デバイスの持つセンサ情報を得ることが出来る。また、EVANS では、無線センサネットワークの通信を行っているデバイス同士を AR 技術を用いて、デバイス間に線を引きリンクの表現を行うことで可視化している。さらに、EVANS では、仮想空間上でのユーザの操作によって、現実空間の機器を制御することも可能である。しかし、位置精度が高いが、それぞれのデバイスにマーカを貼る必要があり、デバイスの準備に手間がかかるという問題点がある。

また、マーカ方式とマーカレス方式の両方の技術を使用した例として、拡張現実感技術によるアドホックネットワーク可視化システム的设计 [7] がある。この可視化システムでは、位置推定にマーカと、位置推定技術の両方を用いることでより正確な位置推定を行い、アドホックネットワークの可視化を行うシステムを提案しており、プロトタイプとしてマーカを用いた可視化システムの実装を行っている。位置推定技術を用いることによって、カメラに映る範囲外の無線ノードの位置を正確に知ることが出来る。しかしながら、位置推定技術の実装がなされていない、AR ノードと任意の無線ノード間の可視化は可能だが無線ノード間の接続関係を可視化することができないなどの課題が存在する。

信号強度を可視化する手法には、通信機器組込ミドルウェアと可視化を用いた無線設置支援ツール [8] がある。このツールでは、建物の各部屋の中における、送受信端末間の信号強度が強い場所を可視化しており、通信機器をより適切な場所に置くことが可能である。通信機器組込ミドルウェアと可視化を用いた無線設置支援ツールにもあるように、同じ部屋の中でも、場所によって、信号強度は変動する。

### 2.2 本研究の目的と提案

上記の既存手法により残された課題に対し、本手法では、災害時など緊急に構築された簡易で狭い範囲のネットワークや、広範囲のネットワークに生じた障害の推定を行うことを目的とし、位置精度を重視しマーカ方式を採用する。また、マーカをデバイス上に画像ファイルとして表示させることで、デバイスの準備にかかる負担を軽減させる。さらに、提案システムは通信の際に RSSI を取得することで、EVANS や uMegane では表現出来なかったリンクの信号強度に応じた通信状態を可視化する。これにより、良好な通信を行っているリンクと、信号強度が弱く伝送速度が遅いリンクをユーザが把握することが可能となる。また、提案システムを用いることで、部屋の中の場所に応じた信号強度の強さを知ることが可能である。

さらに、通信を行っているデバイス間にリンクを表示するだけでなく、その通信状態に応じてリンクの表現を変更することによって、ユーザへ直感的な通信路状態の把握を提供する。

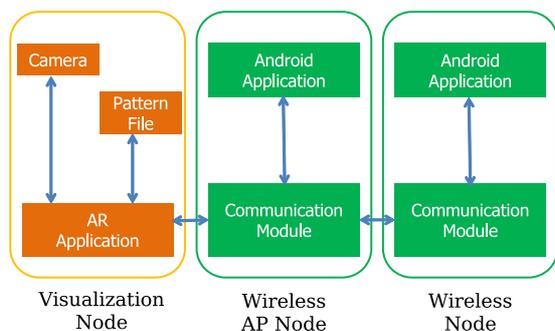


図 1 提案手法の構成図  
Fig. 1 System configuration

### 3. 無線ネットワークの可視化

#### 3.1 提案手法の概要

本節で提案する AR 技術を用いた可視化手法は、通信機器同士の通信状態を可視化する。リンクの表現では、通信を行っていることを示すために通信機器間に AR 技術によって線を表示する。また、機器間の信号強度を視覚的に表現する。通信機器は、通信相手との RSSI を取得し、その値を可視化ノードに通知する。ネットワークの障害物による信号強度の低下や、デバイスに生じたトラブルによって、実際は通信の品質が落ちている恐れがあるため、通信強度を可視化することで、ユーザはリンクの状態を推定することが出来る。通信機器は可視化ノードへの情報の通知を定期的に行うため、現実空間の機器の移動や信号強度の変動にリアルタイムで対応することが出来る。

図 1 に提案手法の構成図を示す。提案手法は、アクセスポイントとなる Wireless AP Node とデータを収集する Wireless Node と Visualization Node で構成される。また、各ノードは、Wi-Fi Direct [9] によって相互接続されている。Wireless Node は取得した RSSI を Wireless AP Node を通じて Visualization Node に通知している。Visualization Node には、カメラと AR マーカとデバイスの ID を関連付けたパターンファイルが管理されている。

#### 3.2 Wireless Node

ネットワークを構築するノードである。各 Wireless Node にはアノテーションの提示位置を決定するための固有の AR マーカを表示する。また、ノードを識別するために、AR マーカと対応付けられた固有の ID が、動作しているアプリケーションによって割り振られる。

Wireless Node は Wireless AP Node と Wi-Fi Direct によって相互接続する。また、Wireless Node は Visualization Node へネットワーク情報を送信するために、Visualization Node の IP アドレスを取得し、ソケット通信を行う Android Application を動作させる。Wireless Node は、Wireless AP Node とのネットワーク情報を取得し、Wireless AP Node を経由して、Visualization Node に固有の ID と、通信を行っている Wireless AP Node の ID、通信機器間の RSSI を定期的に変送する。

#### 3.3 Wireless AP Node

Wireless Node との間でネットワークを構築するノードである。ネットワークを構築するための Android Application が動作しており、アクセスポイントとして振る舞う。Wireless AP Node は、Wireless Node と Visualization Node とでネットワークを構築する。また、Wireless Node の持つ、固有の ID と通信相手の ID、通信機器間の RSSI を Visualization Node へ送信するための中継を行う。

Wireless AP Node は Wireless Node と同様に AR マーカと ID を保有する。

#### 3.4 Visualization Node

カメラを搭載した無線ネットワークを可視化するノードである。Visualization Node は、信号強度を観測したいネットワークに参加することで、Wireless Node と通信を行う。Visualization Node は各 Wireless Node から受信したネットワーク情報に応じて、アノテーションを生成する。Visualization Node に接続されたカメラを通して取得した現実空間の情報に、生成したアノテーションを重ね合わせることで可視化を実現する。Wireless AP Node を通じて取得した Wireless Node の ID と、通信を行っている Wireless AP Node の ID、通信機器間の RSSI といったネットワーク情報を基に無線ネットワークを可視化する。

Visualization Node は、ネットワーク情報を管理するテーブルを用意し、Wireless Node の ID と Wireless AP Node の ID を基に、テーブルへ RSSI を格納する。Wireless Node の ID と Wireless AP Node の ID を、RSSI を格納する場所を決定するために使用する。したがって、各 Wireless Node の取得した RSSI は、固有の保存場所を持つ。それぞれの保存場所は、各ノードに表示された AR マーカと対応付け、Wireless Node に表示されたマーカを検出すると、RSSI に応じたリンクの表示を行う。RSSI にはしきい値を設定し、しきい値を基準に、RSSI が大きければリンクを表現するアノテーションを太く、小さければ細く表現する。

#### 3.5 プロトタイプシステムの実装

図 1 に基づいて、プロトタイプシステムを実装した。Wireless Node や Wireless AP Node にインストールする Android Application は、Java で記述した。また、Visualization Node で動作する AR Application は、C++ で記述した。

## 4. 予備実験

#### 4.1 距離減衰の調査

RSSI は距離との相関があり、デバイス間の距離を離れた場合に低下するため、リンクを表現する際のしきい値を決定する必要がある。そのため、距離に応じた RSSI の距離減衰の調査を行った。距離と RSSI の関係は、自由空間伝搬損失の式で記述される。

送信端末と受信端末間の電波伝搬における損失を自由空間伝搬損失を用いて表し、RSSI の理論値を求めたものを式 (1) に示す。

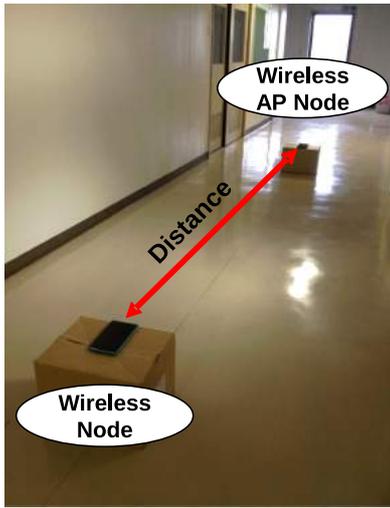


図2 実験環境

Fig. 2 Experiment conditions

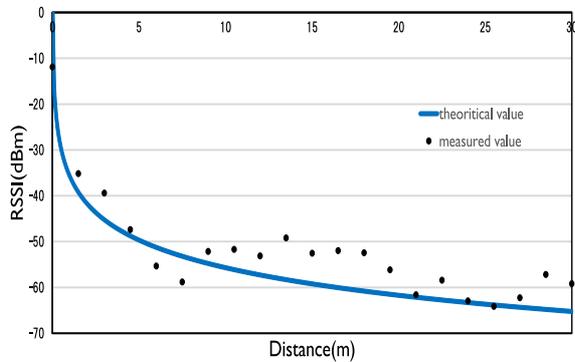


図3 RSSIの距離減衰

Fig. 3 Relation between RSSI and distance

$$P_R = 10 \log \left( \frac{4\pi d}{\lambda} \right)^2 - (10 \log G_t + 10 \log G_r) \quad (1)$$

ただし、RSSIを $P_R$ [dBm]、端末間の距離を $d$ [m]、波長を $\lambda$ [m]、送受信アンテナの利得をそれぞれ $G_t$ [dBi]、 $G_r$ [dBi]とする。また、測定調査にはNexus7を使用し、送受信アンテナ利得はそれぞれ、FCCで計測された値[10]である2.2[dBi]とする。

測定したRSSIと式(1)により、端末間距離とRSSIの関係を測定する。実験環境を図2に示す。通信には、Wi-Fi Directを用い、1台をWireless AP Nodeとし、もう1台をWireless Nodeとして、各種測定を行った。また、図2に示すように、2台の端末は、できるだけ電波の反射を避けるために、それぞれ空の段ボール箱の上に置いた。同様に、壁との反射を避けるため、廊下の中心線上に水平になるよう配置した。通信周波数は、Ch.1(中心周波数2412MHz)を使用した。本システムは屋内での使用を想定しているため、測定は廊下で行った。100回測定を行い、その平均値を計測した。ノード間距離は1.5m毎に変化させ、最大で30mの距離で測定を行った。

図3に、RSSIの距離減衰の実験結果を示す。横軸が距離、縦軸がRSSI値を示す。測定値をドットで示し、式(1)から求め

表1 RSSIに応じたリンクの強弱

Table 1 Link's power by RSSI

RSSI[dBm]	Size of Link
~ -40	1
-41 ~ -50	2
-51 ~ -60	3
-61 ~	4

た理論値を実線で示す。距離が離れるごとに、RSSIが減衰していることが分かる。測定値が、理論値に沿っているため、正しい結果が得られたものと考えられる。また、RSSIの値にばらつきが見られるのはマルチパスによるものだと考えられる。デバイス間の距離が7.5mまでは急激なRSSIの低下が見られるため、狭い範囲での変動が特に大きいことが読み取れる。したがって、カメラ範囲内でのRSSIに応じた通信状態の可視化が行えることを確認した。また、パケット損失はほとんど発生しなかった。

#### 4.2 しきい値の設定

距離に応じたRSSIの測定から、7.5mまでは、RSSIの変動が大きいことが分かり、その値は-10dBm ~ -60dBmである。これはカメラでマーカを識別できる範囲を十分にカバーしていると考えられる。また、7.5m以上の距離では、-50dBm ~ -60dBmの範囲を変動し、RSSIの変化の範囲が狭くなること分かる。そこで、本研究では、10dBm毎に、しきい値を設定し、信号強度の可視化を行った。このことから、しきい値は表1のように設定した。

表1では、リンクの太さを数字で表しており、1が最も太く、4が最も細いことを示す。RSSIの値が、-40dBm以上の場合、信号強度が強く、通信品質が良くとし、リンク表示を最も太いものとする。また、-61dBm以下の場合、信号強度が弱く、通信品質が悪くとし、リンク表示を最も細いものとする。

### 5. 可視化実験

#### 5.1 通信状態の可視化実験

前節のしきい値を基に、提案システムを実装した。Wireless NodeとWireless AP Nodeには、Androidデバイスを用いた。Android OSのバージョンはすべて4.2.2である。

まず、RSSIの低下に基づいたリンク表示が行えることを確認するため、1対1の通信状態の可視化を行った。実験は、一方をWireless AP Nodeとし、もう一方をWireless Nodeとした。通信を行っている2台のデバイスの距離を変動させた際の可視化の様子を図4に示す。図4は、通信を行っている2台のデバイスの距離を変動させた際の可視化の様子を示したものである。2台のデバイス間の距離を近づけた際のVisualization Nodeの表示を(a)に示す。強い強度での通信を行うため、リンクを表すアンテーションが太い表示になっていることが分かる。このとき、RSSIは、-20dBm前後を変動した。また、デバイス間の距離を離れた際の表示を(b)に示す。RSSIが低下し、リンクを表すアンテーションが細くなっていることが分かる。このとき、RSSIは-45dBm前後を変動した。

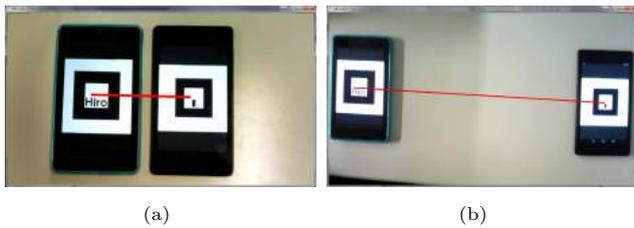


図 4 信号強度の可視化

Fig. 4 Visualization of the Signal Strength

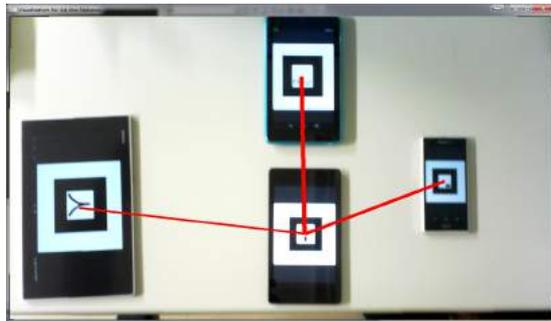


図 5 複数ノードの可視化

Fig. 5 Visualizing for multiple node

この結果から RSSI の値に応じたリンク情報の可視化が実現出来たことを確認した。

### 5.2 複数ノードの可視化実験

複数のノードでネットワークを構築し、可視化を行った。図 5 に可視化の様子を示す。図 5 よりデバイス間の通信が、視覚的に表現されたことが分かる。画面下部のデバイスが Wireless AP Node となり、他のデバイスがネットワークに参加し、通信を行っていることが分かる。ノードはすべて同じネットワークに接続されているため、通信をマルチホップさせることが可能である。図 5 の例では、画面左部のデバイスの信号強度が弱いことが分かる。これは、各デバイスの Wi-Fi の RSSI を受信する際に用いられるアンテナの利得が異なることから、各デバイスの RSSI に偏りが生じたためであると考えられる。このように、カメラで写せる狭い範囲のネットワークであっても、信号強度には差異が出る。本システムを用いることで、環境内の信号強度の推定が可能となる。また、デバイスに故障が発生し、RSSI を受信しない場合はリンクを表示しないため、故障しているデバイスの発見も可能となる。

実験により、普段は目に見えないネットワークの接続状況を、AR 技術を用いて可視化出来ることを確認した。

### 5.3 考察

提案手法では、既存の仮想空間を用いた可視化方法とは異なり、現実空間の機器と直接対応付けた可視化を行った。そのため、本システムを用いることで、より直感的なネットワークの理解を助けることが出来ると考えられる。また、既存の AR 技術を用いた可視化システムと異なり、通信路状況を視覚的に理解できるため、トラブルの原因推定、使用した環境内の信号強度の理解が可能となる。

また、災害が発生し、インフラ設備が整っていない環境の

場合は、簡易かつ即時にネットワークを構築する必要がある。Wi-Fi Direct は、Android を搭載したデバイスが 1 台あれば、Wireless AP Node として使用することで、簡易にネットワークを構築することが可能である。しかし、Wi-Fi Direct を用いる場合、デバイスの 1 台をアクセスポイントとし、ネットワークを構築してしまうため、スター型のネットワークトポロジしか構成できないという問題が残されている。

さらに提案手法では、ネットワークに参加するデバイスに ID を割り振る必要があるが、Android Application のインストールのみで、ID の取得、送信が行えるため、ネットワークやデータベースの知識が乏しいユーザでも、通常のアプリケーションを使用する際と同じように扱うことが可能である。

また、提案手法では、ネットワークに ID を所持していないデバイスが存在した場合は、そのデバイスにリンクを表示しない。このことから予期しないデバイスの発見を目的としたセキュリティの分野への応用も可能となる。

## 6. まとめ

本稿では、無線ネットワークを視覚的に把握することが困難であるという問題に対して、AR 技術を用いて信号強度に応じたリンクの表現を行う手法を提案した。また、それに基づくプロトタイプシステムを実装し、実機を用いた実験により、本提案手法の有効性を確認した。

今後は、Android デバイスに搭載されているセンサを用いることによって通信路状況だけでなく、周囲のセンサ情報を可視化する予定である。また、可視化ノードを Android デバイスにすることによって、持ち運びが容易なシステムを検討している。

### 謝辞

この研究の一部は豊橋技術科学大学、平成 25 年度高専連携教育研究プロジェクト“ワイヤレス分散システムにおける通信技術の開発研究”の支援で行われた。関係各位に感謝する。

### 文献

- [1] 市原栄太郎, 高尾広行, 大田友一, “NaviView:仮想車載カメラ映像による運転者の視覚支援,” 電子情報通信学会論文誌 (D-I I), Vol. J82-D-II, No.10, pp.1816-1825, Oct. 1999.
- [2] 佐藤翔平, 小山明夫, “MANET Viewer II:パケットフローを可視化するアドホックネットワーク用可視化システム,” 電子情報通信学会技術研究報告, Vol.111, No.139, pp.47-52, Jul. 2011.
- [3] 南靖彦, 藤田直生, 柳沢豊, 寺田努, 塚本昌彦, “分散型共起ベクトルによるセンサ情報の可視化システムの提案,” 情報処理学会研究報告 MBL, 107, pp.53-59, Oct. 2008.
- [4] 金丸幸弘, 鈴木秀和, 旭健作, 渡邊晃, “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,” 情報処理学会研究報告, Vol.2012-UBI-36, No.12, pp.1-7, Nov. 2012.
- [5] 今枝卓哉, 高汐一紀, 徳田英幸, “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 USN, Vol.108, No.138, pp.39-44, Jul. 2008.
- [6] 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,” DI-COMO 論文集 (2010), pp.2081-2084, July 2010.
- [7] 辨野司, 坂本直弥, 綾木良太, 島田秀輝, 佐藤健哉, “拡張現実感技術によるアドホックネットワーク可視化システムの設計,” 情報科学技術フォーラム講演論文集, Vol.9, No.4, pp.447-448, Aug. 2010.
- [8] 後迫弘明, 樋原直之, 小泉吉秋, “通信機器組込ミドルウェアと可視化を用いた無線設置支援ツール,” 電子情報通信学会総合大

会講演論文集, Vol.2012-UBI-36, no.12, pp.1-7, Nov. 2012.

- [9] Wi-Fi Alliance, “Wi-Fi Direct, ”Wi-Fi Alliance,<http://www.wi-fi.org/discover-wi-fi/wi-fi-direct>, 参照 Feb. 1,2014.
- [10] FCC, “OET Exhibits List, ”FCC, <https://apps.fcc.gov/oetcf/eas/reports>, 参照 Feb. 1,2014.