

視線方向に応じた情報通知のための Bluetooth ビーコンを利用した身体向き推定機構の実現

丹羽 佑輔[†] 白松 俊[†] 大園 忠親[†] 新谷 虎松[†]

概要: 本研究では、デジタルサイネージなどのディスプレイ端末付近にいるユーザの向きに応じて、サイネージに表示するコンテンツの内容を変えるシステムを試作した。ユーザの向きを推定するために、Bluetooth ビーコンの受信信号強度を用いる。デジタルサイネージ付近に複数台のビーコン送信機を設置し、ユーザにビーコン受信機を携帯させて、受信機で検出したビーコンの受信信号強度により向き推定を行う。ユーザは、人体の向いている方にビーコン受信機を携帯し、人体をビーコンの電波の遮蔽物として扱う。ユーザの向いている方向から送信されたビーコンの受信信号強度は、反対の方向から送信されたビーコンよりも強い。これによりユーザの向きの推定を行った。

Realizing a Direction Estimation System for Notification using Bluetooth Beacons

YUSUKE NIWA[†] SHUN SHIRAMATSU[†]
TADACHIKA OZONO[†] TORAMATSU SHINTANI[†]

Abstract: We have developed a direction estimation system using Bluetooth signal strength and an electronic compass. One of examples of the application is a digital signage system. The system can track specific movements of users and can provide Web contents to them, which migrates between signage displays, to the moving users. To track the user, the system estimates the user's position with signal strength of Bluetooth beacons. This paper shows how to develop a novel method with not only Bluetooth beacon but also an electromagnetic compass to estimate the direction. The system can select an appropriate display for a user's eye gaze.

1. はじめに

研究室やオフィスなど、複数台の PC が存在している環境で、PC から別の PC へデータを送信する場合、USB メモリを用いる方法、E メールに添付する方法、ファイル共有やクラウドを経由する方法がある。ネットワークで接続された環境において、特定の PC にデータを送る際には、送信先の PC を選択する必要がある。E メールで送信する場合は、メールアドレス、ファイル共有の場合は送信先の PC の名前などがある。このように送信先を示すための文字列を入力または選択する必要があり手間である。そこで、ユーザの視線の先にある PC を送信先の PC として選択できると便利である。本研究では、Bluetooth ビーコンの受信信号強度(RSSI: Received Signal Strength Indication)を用いて、ユーザの身体を電磁波の遮蔽物として利用することで、ユーザの身体向き推定を行う手法を開発した¹⁾。

Bluetooth ビーコンによる身体向き推定には、次の3つの利点がある。一つ目に、Bluetooth ビーコンのハードウェア的な基盤が整っており、Bluetooth 4.0 に対応した携帯端末は普及していることである。二つ目に、Bluetooth ビーコンは、省電力であり電池で動作するため電源ケーブルを配線する必要がない点である。三つ目に、各種携帯端末

でのネイティブアプリケーション開発環境は、Bluetooth に関する API を提供しているため、ソフトウェアを開発が容易である。

本論文の以降の構成を示す。2 節では、既存の技術について述べる。3 節では、ユーザの向き推定について述べる。4 節では、システム構成を示す。5 節で本システムの実行例を示す。6 節で考察し、7 節でまとめる。

2. 基盤技術

既存の位置推定と向き推定に関する技術について述べる。既存の位置推定では、GPS を用いる方法、携帯電話の中継基地局を用いる方法、無線 LAN のアクセスポイントを用いる方法がある。既存の向き推定では、画像センサを用いた画像認識による方法、距離センサから得られる骨格データを用いる方法がある。GPS により、ユーザの絶対位置を取得し、その時間変化から、ユーザの移動方向を算出することが可能である。ユーザの移動方向を、ユーザの向いている方向と仮定することで、ユーザの向きの推定に利用できる。本研究では、受信者の位置および身体向きの推定に、Bluetooth ビーコンを用いる。屋内での位置情報手法とシステムは過去に開発されてきた²⁾。屋内位置情報に関する主な推定手法には、電磁波や超音波を用いた近接技術、ラテレーション、アンギュレーション、電磁気・動画・画像を使ったシーン解析技術がある。ラテレーションでは、位

[†] 名古屋工業大学大学院情報工学専攻 Department of Computer Science and Engineering, Graduate School of Engineering, Nagoya Institute of Technology

置が既知の複数点と対象物の距離に基づいて、対象物の位置を推定する。アンギュレーションでは、角度が既知の複数の点と対象物の角度に基づいて、対象物の位置を推定する。ワイヤレスによる位置推定では、無線通信技術を用いた方法、モーションセンサ(加速度,角速度,地磁気)による方法、画像認識によるパターンマッチがある。Bluetooth についてはさまざまな研究がなされている。3つの位置を固定した Bluetooth ビーコン受信機で受信したビーコンの RSSI から Bluetooth ビーコン送信機の位置を推定する研究がなされている³⁾。推定位置推定対象はビーコン送信機を保持するが、本論文では、位置推定対象はビーコン受信機を保持する。また、位置推定対象は固定であることに對して、本論文では、位置推定対象は移動するものとする。また、Bluetooth ビーコンの情報によって得られた位置情報を用いて認証を行う研究がなされている⁴⁾。iBeacon⁵⁾は、Bluetooth 4.0⁶⁾で規定されている Advertising パケットを用いてビーコン情報の発信を行う規格であり、ビーコン情報は、16バイトの *Proximity UUID*、2バイトの *Major*、2バイトの *Minor*、1バイトの *TX Power* から構成される。*Proximity UUID*、*Major*、*Minor* は任意の値を設定することが可能である。本論文では、*Proximity UUID*、*Major*、*Minor* の3つの要素からなる組をビーコン ID と呼ぶ。ビーコンの *TX Power* レベルは、ビーコン情報の送信機から1メートルはなれた場所でのビーコンの電波強度の推定値を設定する。ビーコン情報の受信機は、受信時の信号強度 *RSSI* と、ビーコン情報に設定された *TX Power* の値から、ビーコン送信機との相対距離を推定する。この減衰を利用して、ユーザの向き推定を行う。ビーコン送信機のビーコン送信に関するパラメータは、ビーコンの送信周期と、送信時の信号強度である。これらのパラメータは、ビーコン送信機の実装によって異なり、出荷時に決められているものや、購入後に変更可能なものなどが存在する。ビーコンの *RSSI* は使用環境によって大きく変化するため、*RSSI* の値を厳密な距離推定に利用することは推奨されていない⁷⁾。人体が電磁波の遮蔽物となるため、人が移動することでビーコン送信機と受信機の間を遮ると、信号強度は極端に変化する。*RSSI* 値と同時に他のセンサの情報も併用すべきである。

3. 視線方向に応じた情報通知

本節では、Bluetooth ビーコン、電磁気コンパス、および加速度ベクトルを用いて、ユーザの位置および身体の向きを識別することで、情報通知の対象者に情報提示が可能なディスプレイを選択するための手法について議論する。ここでは、情報を受け取る対象者を受信者と呼ぶ。

ディスプレイの選択には受信者の位置と向きの両方を考慮する必要がある。位置情報のみによるディスプレイの選択には問題がある。例えば、受信者の真後ろにあるディ

スプレイや、受信者に背を向けたディスプレイに情報が表示されても、受信者は情報を得ることができない。

本研究では、ユーザに情報提示可能なディスプレイを選択するための簡易的な情報として、ユーザの身体の向き(以降、身体向きと呼ぶ)に関する情報を利用する。厳密には、ディスプレイ選択のためにユーザの視線方向に関する情報が必要である。視線方向の取得には、ユーザに視線追跡デバイスを装着させる必要がある。そのようなデバイスへの依存は、本研究の目的において不適切である。

電磁気コンパスにより、身体向きの相対変化を取得可能である。電子磁気コンパスからは、地磁気の磁気ベクトルを基準とする方位を得ることができる。受信者と電磁気コンパスの角度がわかれば、身体向きを識別可能である。受信者付近の強い磁場からの影響に対しては、電子磁気コンパスから得られる方位および推定誤差の履歴を利用する。

ユーザの移動方向(加速度ベクトル)を身体向きと解釈し、電磁気コンパスと身体向きの角度を得ることが可能である。例えば、GPS など基準点を持つ座標系の情報を利用できる場合は、複数の測位地点から移動距離および移動方向を計算可能である。移動方向を身体向きの推定に利用可能である。本研究では、屋内での利用も想定し、GPS を利用できない場合も考慮する。

Bluetooth ビーコンは、位置推定のみならず身体向きの推定にも利用可能である。ビーコンの配置が既知であるなら、人体による *RSSI* の減衰を考慮して、各ビーコンの *RSSI* 値の強弱から、ビーコンの座標系を基準とする向きが決定可能である。例えば、ユーザは、端末をスーツや Y シャツの胸ポケットに入れて端末を携帯する場合、身体向き方向に設置されたビーコン送信機から送信されたビーコンの *RSSI* は、ユーザの後方に設置されたビーコン送信機から送信された *RSSI* よりも小さくなる。ビーコン送信機を複数台用いて、それらから送信されるビーコンの *RSSI* の大小関係から、ユーザの向きを推定することが可能である。

Bluetooth ビーコンによる身体向き推定には、次の3つの利点がある。一つ目に、Bluetooth ビーコンのハードウェア的な基盤が整っていることである。Bluetooth 4.0 に対応した携帯端末は普及している。また、無線 LAN と比較して、Bluetooth のハードウェアは安価である。二つ目に、Bluetooth ビーコンは、省電力であり電池で動作するため電源ケーブルを配線する必要がない点である。三つ目に、各種携帯端末でのネイティブアプリケーション開発環境は、Bluetooth に関する API を提供している。また、Web ブラウザ上での Bluetooth アクセスに関する規格は W3C で策定中であり、各ブラウザのベンダーが定義した規格も存在する⁸⁻¹⁰⁾。ビーコンを扱う Bluetooth へアクセス可能な API が HTML5 として標準的に提供されると、Web ブラウザ上で実現可能である。HTML5 に関する Bluetooth

処理 1 ディスプレイ選択処理

```

function selectDisplays
Input: user : a user ID
       D : a set of displays
       t : a threshold
Output: a set of pairs of a display and its score
1:begin
2: B ← collectBeacons(user)
3: r ← getDirection(user)
4: S ← φ
5: for d ∈ D do
6:   s ← score(d, B, r)
7:   if s > t then
8:     S ← S ∪ {⟨d,s⟩}
9:   end if
10: end for
11: return S
12:end
    
```

の API が標準化されることで、Bluetooth に対応しており、Bluetooth の API に対応した Web ブラウザがインストールされた端末であれば、Web サーバを介してアプリケーションを取得して実行することができるため、利用の面で実用的である。

4. Bluetooth ビーコンを利用した身体向き推定機構

本システム全体の構成図を図 1 に示す。本システムは、サーバ、ディスプレイ端末、ビーコン送信機、受信者端末の要素によって構成される。ディスプレイ端末、ビーコン送信機、受信者端末はそれぞれ、システム内で固有の ID を持ち、それぞれ、ディスプレイ ID、ビーコン ID、受信者 ID とする。サーバは、受信者端末が受信したビーコン情報の集約、ディスプレイへ表示するためのコンテンツの管理・配信を行う。ディスプレイ端末は、サーバから送信されたコンテンツの表示を行う。オーバーレイ表示機構は、サーバから配信された画像コンテンツを半透明化し、デスクトップ上に表示する。ビーコン送信機は、各ディスプレイ端末の近くに設置され、設定されたビーコン ID を一定間隔で送信する。受信者端末は、受信者が利用する端末であり受信したビーコン ID とそのビーコンの RSSI、受信時刻を示すタイムスタンプ、電子磁気コンパスから得た、方位と方位誤差の情報をサーバへ送信する。ディスプレイ-ビーコンテーブルは、ディスプレイとそのディスプレイ付近に設置されたビーコン送信機の対応関係、ディスプレイの向き情報を保持する。受信者-ビーコンテーブルは、受信者端末のビーコン受信機で受信したビーコン ID およびビーコンの RSSI の値、受信時刻を示すタイムスタンプを保

持する。ディスプレイ選択処理を処理 1 に示す。処理 1 は、与えられた user と content について content を表示するための適切な display を決定する処理である。関数 collectBeacons は、受信者 user が受信したビーコン情報を集める処理である。関数 score は、ある display に表示コンテンツ content を表示するのふさわしい度合いを返す処理である。関数 display は、display に content を表示する処理である。関数 select は、複数ディスプレイ displaysの中からコンテンツの表示に利用するディスプレイを選択する処理である。2 行目では、指定した user のビーコン情報を取得する。3 行目では、指定した user の向きを取得する。5 行目から 10 行目は、各ディスプレイのスコアを計算する。ビーコン送信機として、Applix 社の MyBeacon Pro MB004 を用いた。受信者クライアントは、iOS 8 上で動作するネイティブアプリケーションとして実装した。iOS 端末として iPhone 5 を用いた。関数 score で計算されたスコアは、ディスプレイと電子磁気コンパスから得られ方位の差が 180 度に近く、ディスプレイ付近に設置したビーコン送信機から送信されたビーコンの RSSI が強いほど高くなる。関数 display では最もスコアの高いディスプレイを選択する。

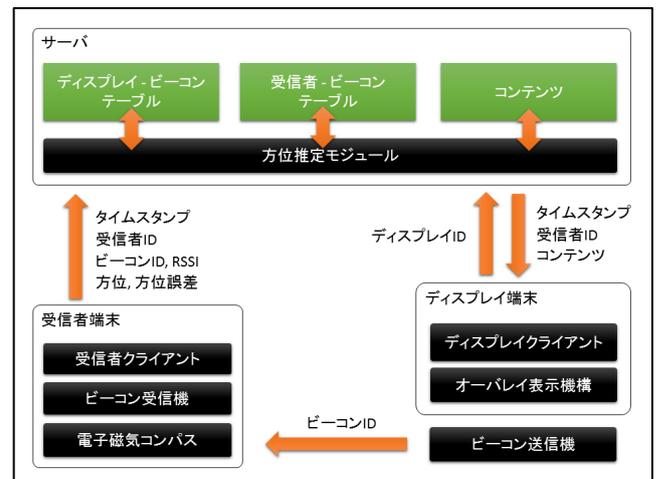


図 1 システム構成図

Figure 1 System Architecture

5. 実行例

図 2 は、本システムを利用した部屋の配置図である。図 2 中の矢印が内部に書かれた長方形は、ディスプレイ端末を表し、矢印はディスプレイの表示面の向きを示す。図 3 は、図 2 のカメラの位置で撮影した写真である。図 3 中の、人物は、受信者であり受信者端末を携帯している。受信者の向いているディスプレイに、サーバから配信されたコンテンツが表示されている。各ディスプレイには、ビーコン送信機が近くに設置されている。各ビーコン送信機が発信するビーコン情報は、Proximity UUID, Major に共通な

値を設定し、*Minor*のみ、固有の値を設定した。ディスプレイとビーコン送信機の対応関係は、事前にサーバ上に登録した。受信者は、向いている方向に受信者端末を携帯するため、上着腹部のポケットに端末を携帯した。各ビーコン間の直線距離は、1.5m以上である。図4は、サーバから配信されたコンテンツを半透明にしてデスクトップ上に重ねて表示している様子である。オーバーレイ表示機構では、マウスイベントを無視することができるため、背景にあるウィンドウやデスクトップ上に表示されたアイコンを操作することが可能となる。表示コンテンツとして、人物の実画像を表示した。図5は、テキストメッセージを表示している例である。複数のメッセージを非同期的に配信して、デスクトップ上に表示することが可能である。

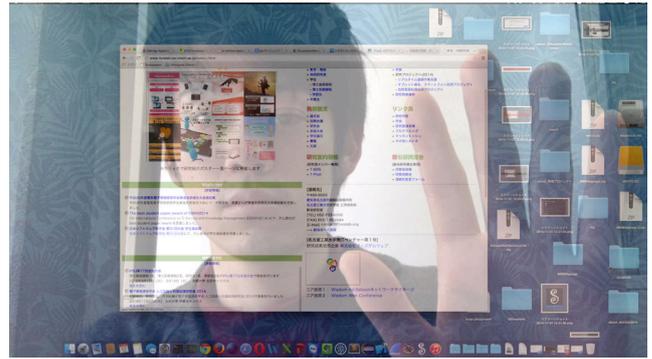


図4 コンテンツを半透明にしてデスクトップ上に重ねて表示している様子

Figure 4 Display shows a semitransparent image on the desktop screen.

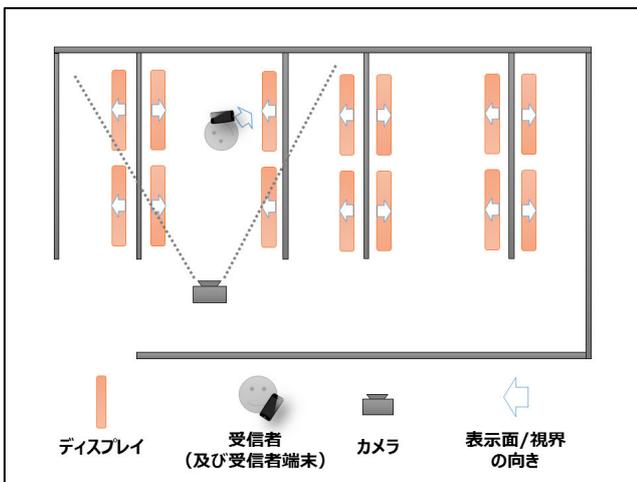


図2 配置の概要図

Figure 2 Configuration.



図5 テキストメッセージをデスクトップ上で表示している様子

Figure 5 Display shows text messages on the desktop screen.



図3 左奥のディスプレイにコンテンツが表示されている様子

Figure 3 Left back display shows a human image.

6. 考察

体の向きを変えず顔の向きを変えることによる向きの変化は検出できない。首を水平に回せる範囲は身体方向を0度として ± 90 度の範囲であるとする。推定した向きに対して ± 90 度の範囲のディスプレイに同じ内容を表示することで、向いている方向のディスプレイに常に見せたい情報を表示することが可能である。複数の受信者で利用する場合は、コンテンツ表示に利用するディスプレイが競合した場合の適切な表示方法について、考える必要がある。単純に画面を分割する方法や、信号強度に応じて、コンテンツの表示領域を分割する方法などが考えられる。

RSSIのみを用いる方法では、受信者との相対的な位置情報しか着目しないため、ビーコン送信機の配置を変更しても各ディスプレイの配置情報を再設定する必要がない。また、向き推定の精度については、ビーコン端末の台数を増やすことで向上するだろう。しかし、電磁波の帯域は有限な資源である。無線 LAN などで利用されている Wi-Fi

が利用する周波数帯域が一部重複することもあり、また Bluetooth に関しても、周波数帯域の限られたチャンネルを用いて通信を行うため、ビーコン送信機の台数を変化させて実用的に利用できるかを検証する必要がある。受信者端末とビーコン送信機の間を受信者以外の人体が遮ることで、信号強度が弱くなり、適切に方位を推定できない。方位が適切に推定できない場合は、受信者の付近に設置された複数台の表示ディスプレイに表示することで、受信者の視界に入る可能性を高めることができる。コンテンツを表示するディスプレイが利用中の場合でも、オーバーレイ表示機構により、コンテンツをデスクトップ上に半透明化して重ねて表示することが可能である。デスクトップ上に重ねて表示したコンテンツは、ユーザの操作イベントを無視することができるので、利用ユーザの操作イベントを妨げることなく、コンテンツを表示することが可能である。

本システムを利用する場合、受信者は常に受信者端末を携帯している必要があるため、端末は持ち運びやすい小さいサイズが良い。iOS(iPhone, iPad 用 OS)ではバックグラウンド動作をサポートしているため、ディスプレイを消しても動作するため、常にアプリケーションやディスプレイを表示する必要はなく、また、他のアプリケーションを動作させることも可能である。Bluetooth 4.0 は省エネルギーをサポートするためモバイル端末で常時起動していても問題はない。ただし、受信者端末内の受信クライアントは、電子磁気コンパスや、ビーコン受信機が得た情報が更新される度に、無線 LAN 上でサーバへ情報を送信するため、更新間隔が短いと、頻繁にサーバへ情報を送信することになり、短時間での端末のバッテリー消費の原因となる。受信者クライアント内部でサーバへ送信する情報のバッファを設置し、バッファ内の情報が一定量になるか、一定間隔で送信する処理を追加する必要がある。

7. おわりに

本研究では、Bluetooth ビーコンの受信信号強度(RSSI)を用いて、ユーザの向き推定を行った。ビーコン送信機とユーザの位置や視野方向に応じて、ユーザの身体を電磁波の遮蔽物となる場合がある。各ビーコン送信機から送信されるビーコンの RSSI の大小関係から、ユーザの向きを推定した。向き推定では、電子磁気コンパスから得られた方位および方位誤差の情報を併用した。ユーザの位置や向きを推定し、デジタルサイネージと連携することで、ユーザの向きに応じてサイネージ上で表示するコンテンツを変化させることが可能となる。

参考文献

1) 丹羽佑輔, 白松 俊, 大園忠親, 新谷虎松, “リアルタイムな情報通知のための Bluetooth ビーコンを利用した追尾型人物映像移動機構の実現”, 電子情報通信学会, IEICE-AI2014-24, Vol. IEICE-114, No.339, pp.49-54.

- 2) Dragan H. Stojanović, Natalija M. Stojanović, INDOOR LOCALIZATION AND TRACKING: METHODS, TECHNOLOGIES AND RESEARCH CHALLENGES. Automatic Control and Robotics Vol.13, No.1, pp.57-72, 2014.
- 3) Oksar, Irfan, "A Bluetooth signal strength based indoor localization method," Systems, Signals and Image Processing (IWSSIP), 2014 International Conference on, pp.251-254, 2014.
- 4) Marcos Portnoi, Chien-Chung Shen, Location-Aware Sign-on and Key Exchange using Attribute-Based Encryption and Bluetooth Beacons, IEEE Conference on Communications and Network Security 2013.
- 5) Bluetooth SIG, <https://www.bluetooth.org/>
- 6) iBeacon for Developers, <https://developer.apple.com/ibeacon/>
- 7) Apple, iOS Developer Library: Core Location Framework Reference. https://developer.apple.com/library/ios/documentation/CoreLocation/Reference/CoreLocation_Framework/_index.html
- 8) System Applications Working Group, W3C, <http://www.w3.org/2012/sysapps/>
- 9) Chrome Apps Bluetooth API, https://developer.chrome.com/apps/app_bluetooth
- 10) WebBluetooth, Mozilla Developer Network, https://developer.mozilla.org/en-US/docs/Web/API/Web_Bluetooth_API