

BLE ビーコンによる屋内外経路推定のための ネットワーク編集システム

齋藤 孝徳¹ 山本 大介¹ 高橋 直久¹

概要: BLE ビーコンを用いた位置推定の一つとして我々はビーコンを用いたグローバルマップマッチングによるユーザの移動経路・滞在推定手法を提案してきた。この手法は経路ネットワークとビーコンネットワークという二つのネットワークを用いた経路・滞在推定手法だが、これらのネットワークには緯度経度座標が含まれておらず、屋内外の経路・滞在推定を行うことが困難であった。そこで本論文では、屋内外でのネットワークによる経路推定を可能にするために、緯度経度情報を含んだ屋内外にまたがるネットワークを作成するシステムを提案する。提案システムは屋内見取り図上と地図上にあらかじめ対応点を設定し、屋内見取り図上に登録したネットワークから、緯度経度座標が付加された地図上のネットワークへの変換を可能にすることで、屋内外での経路・滞在推定を行うためのネットワークの作成を実現する。提案システムでは、はじめに対応点を登録して屋内見取り図上に登録されたネットワークのローカル座標を緯度経度座標に変換することで屋内外にまたがるネットワークを作成することを目指した。本論文では、提案システムとその実現方法について述べ、プロトタイプシステムを実装した。また、プロトタイプシステムを用いて、ネットワークの作成と2つの変換手法についての評価実験を行い、その結果について考察する。

Network Editing System For Indoor And Outdoor Route Estimation With BLE Beacon

TAKANORI SAITO¹ DAISUKE YAMAMOTO¹ NAOHISA TAKAHASHI¹

1. はじめに

近年 Bluetooth Low Energy(以下, BLE) 機能を搭載したスマートフォンやビーコンなどの機器の普及が進んでいる。それに伴い, BLE を利用したサービス, 特に iBeacon をはじめとする BLE ビーコン (以下, ビーコン) を用いたサービスが多く見受けられるようになってきた。その例として, 名古屋工業大学で運用されている打刻システム「Nitech ピロリン」[1] や, 第 55 回名古屋工業大学工大祭にて開催された「Spy Game」[2] などがある。「Nitech ピロリン」はユーザの端末にインストールされたアプリケーション上の打刻ボタンをタップすることで, 講義室内のビーコンが発する電波を取得してユーザの位置推定を行い, 講義の出席確認をおこなっており, また「Spy Game」は名古屋工

業大学の屋内外に設置されたビーコンが発する電波を用いてユーザの位置を推定し, チェックポイントまでの距離をもとに構内を歩いてチェックポイントを探るゲームである。これらのアプリケーションやサービスではビーコンが発する情報を基に位置推定が行われている。

ビーコンを用いた位置推定の一つとして我々はビーコンを用いたグローバルマップマッチングによるユーザの移動経路・滞在推定手法を提案してきた [6][14]。この手法は経路ネットワークとビーコンネットワーク (以下, ネットワーク) という二つのネットワークを用いた経路・滞在推定手法であり, スマートフォンを用いて受信したビーコンの電波を統合, フィルタリングすることでユーザの経路・滞滞在を推定する。また, この手法を用いて経路・滞在推定を行うプロトタイプシステムの開発も行ってきた。このプロトタイプシステムはネットワークを屋内見取り図上に作成することで移動経路・滞在推定を実現しているため, 経路・滞在推定が屋内に限定されてしまうという課題がある。そ

¹ 名古屋工業大学大学院工学研究科
Graduate School of Engineering, Nagoya Institute of Technology

ここで、屋内外での経路・滞在推定を実現するために屋内外にまたがるネットワークを作成するためのシステムを開発することを本研究の目的とする。

しかしながら、上記の目的を達成するためには以下の課題がある。

課題 1 地図上には建物の外形や道路の形などが描かれているが、建物内の間取りは描かれていないため地図上での屋内のネットワークの登録が困難。

課題 2 屋内見取り図には建物内の間取りが描かれているが、緯度経度座標は持っておらずローカル座標しか持たないため、屋内見取り図上に作成されたネットワークのローカル座標から緯度経度座標を求める必要がある。

課題 3 求めた緯度経度座標が地図上のどの位置になるのかを確認しながらネットワークの編集ができるように、変換結果をオンデマンドで確認できるようにする必要がある。

以上の課題を解決するために、提案システムは以下の特徴を持つ。

特徴 1 屋内見取り図上でネットワークの登録が行えるようにする。

特徴 2 屋内見取り図と地図の対応点を決定し、屋内見取り図上のネットワークの緯度経度座標を推定する。

特徴 3 緯度経度座標を求めた屋内見取り図上のネットワークをリアルタイムに地図上で確認できる。

2. 関連研究

文献 [2] では、ユーザーがもつスマートフォンがビーコンの電波を取得し続け、ユーザーの位置を推定したい時刻付近に取得していたビーコンの情報を使って位置推定をする研究を行っている。取得したビーコンの設置されている緯度経度を位置座標、取得した回数を重さとし、それらの重心をとることでユーザーの位置を推定している。

文献 [6] では、本研究の土台となっているビーコンを用いたグローバルマップマッチングによるユーザの移動経路・滞在推定を行うための研究をおこなっている。スマートフォンを用いて受信したビーコンの電波を統合、フィルタリングしたビーコン情報、ユーザーが通過するであろうと予想される経路を模した経路ネットワークと、建物内に実際に設置されているビーコンの位置関係を模したビーコンネットワークとを用いて屋内での経路滞在推定を行っている。経路ネットワークは3種類の経路ノードそれらを結ぶ経路リンクによって構成される。経路ノードは廊下や部屋の出入り口の前、部屋の中など、経路・滞在所として重要な地点にノードを配置することが想定されている(図1)。ビーコンネットワークは3種類のビーコンノードとそれらを結ぶビーコンリンクによって構成され、ビーコンノードは主にビーコンの設置地点に配置されるが、部屋の

出入口や曲がり角にも配置される(図2)。この先行研究では屋内見取り図上にネットワークをグラフィカルに構築可能なソフトウェアの開発も行っており、画面上に表示されている屋内見取り図をクリックすることでクリックした地点にノードが表示される。画面上に表示されているノードをクリックして2つ選択し、画面中央部にあるリンクを設定するボタンをクリックすることで2点間にリンクが設定される。

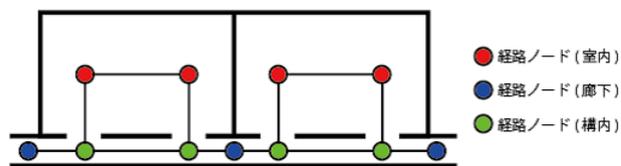


図 1 経路ネットワークの例

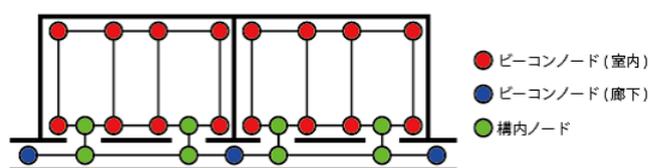


図 2 ビーコンネットワークの例

3. 提案システムの概要

3.1 提案システムの構成図

提案システムの構成図を図3に示す。

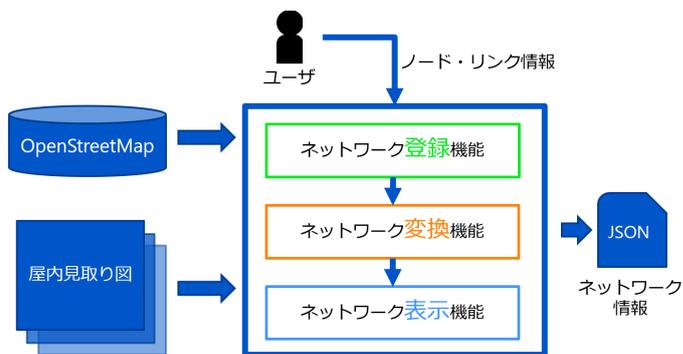


図 3 システム構成図

提案システムは大きく分けてネットワーク登録機能、ネットワーク変換機能、ネットワーク表示機能という3つの機能に分けられる。まず、提案システムは地図と屋内見取り図をサーバーから取得する。地図にはOpen Street Map(以下、OSM)を用いている。つぎにユーザからネットワークを構成するためのノードとリンクの情報が与えられ、システムはそれをネットワーク登録機能で登録し、ネットワーク変換機能で地図上のネットワークに変換し、ネットワーク表示機能で地図上に表示する。これらの操

作を繰り返すことによってユーザはネットワークを作成する。最後に、作成したネットワーク情報を json ファイルとして出力する。

3.2 提案システムの機能

先に述べた提案システムの3つの機能について説明を行う。

3.2.1 ネットワーク登録機能

ネットワーク登録機能では、ネットワークを構成するためのノードとリンクを登録する。ネットワークの登録には屋内ネットワークの登録と屋外ネットワークの登録がある。

屋内ネットワークの登録では、屋内見取り図上にノードとリンクを登録する。ノードを登録する屋内見取り図上の座標を決定し、ノードの種類とIDを入力することでノードの登録を行う。リンクの登録では、既に登録されているノードを2つ選択してからリンクの登録を行うとそれらの間にリンクが登録される。リンクの登録時には選択したノードからIDを取得する。ここで登録された屋内のネットワークはネットワーク変換機能によって屋内見取り図上の座標から地図上の緯度経度座標へと変換される。

屋外ネットワークの登録では、屋内ネットワークの登録とは異なり地図上にノードとリンクを登録する。屋内ネットワークの登録と同様に、ノードの登録ではノードの種類とIDを入力し、リンクの登録では登録済みの2つのノード間にリンクを登録する。

屋内ネットワークを構成するノードには種類があり、ビーコンネットワークを構成するノードにはビーコンノード(室内)、ビーコンノード(廊下)、構内ノードの3種類、経路ネットワークを構成するノードには経路ノード(室内)、経路ノード(廊下)、経路ノード(構内)がある。これらは先に述べたBLEビーコンを用いたグローバルマップマッチングによる経路推定[6]で定義されたものだが、本稿ではそれに加えて新たに屋外ネットワークを構成するためのノードを定義する。屋外の経路ネットワークを構成するノードとして経路ノード(屋外)、屋外のビーコンネットワークを構成するノードとしてビーコンノード(屋外)を定義する。さらに、屋外と屋内のネットワークをつなぐために屋内外両方の経路ネットワークを構成するノードとしてエントランスノードを定義する。これにより、ネットワーク登録機能ではビーコンネットワークを構成するノード4種の登録、経路ネットワークを構成するノード5種の登録、それらをつなぐリンクの登録をすることができることになる。

3.2.2 ネットワーク変換機能

ネットワーク変換機能では、屋内見取り図上と地図上にそれぞれ登録された対応点を利用して屋内ネットワークを構成するノードの屋内見取り図上でのローカル座標を地図上の緯度経度座標に変換する。ノードの変換方法につい

て、本システムでは二つの方法を提案する。

手法1 屋内見取り図上と地図上に対応点を2点ずつ登録し、図形の拡大縮小と回転を用いて屋内見取り図上のローカル座標を地図上の緯度経度座標に変換する。

手法2 屋内見取り図上と地図上に対応点を4点ずつ登録し、図形の射影返還を用いて屋内見取り図上のローカル座標を地図上の緯度経度座標に変換する。

これら二つの手法の詳細については次章で述べる。

3.2.3 ネットワーク表示機能

ネットワーク表示機能は、ユーザが屋内見取り図上に登録したネットワークを表示したり、ネットワーク変換機能が屋内見取り図上のローカル座標から地図上の緯度経度座標へと変換したネットワークを地図上に表示する機能である。屋内見取り図上にノードが新規登録されたときは、ネットワーク変換機能によって変換された緯度経度座標の位置にノードを表示し、すでに屋内見取り図上に登録されたノードがユーザによって移動された場合、ネットワーク変換機能によって再変換された緯度経度座標の位置にノードを再描画する。また、屋内見取り図上や地図上のノードやリンクの表示、非表示を切り替えることもできる。

4. 提案システムの実現方法

この章では提案システムを構成するネットワーク登録機能、ネットワーク変換機能、ネットワーク表示機能の3つの実現方法について述べる。

4.1 ネットワーク登録機能の実現方法

ネットワーク登録機能では、地図上への屋外ネットワークの登録と屋内見取り図上への屋内ネットワークの登録をすることができる。

4.1.1 ノードの登録

屋内ネットワークを構成するノードを屋内見取り図上に登録する、もしくは屋外ネットワークを構成するノードを地図上へ登録するためには、ノードを登録する座標と、登録するノードのIDと種類を決定する必要がある。ノードにはビーコンネットワークを構成するノードと経路ネットワークを構成するノードが存在し、屋内見取り図もしくは地図上をクリックすることで表示されるポップアップからどちらのノードを作成するかを選択する。

どちらのノードを作成するかを選択すると、ノードのIDと種類を登録するためのダイアログが表示される。ダイアログに情報を入力してダイアログ内の登録ボタンをクリックすることでクリックした座標にノードが登録される。

経路ノードの一つとして新たに定義したエントランスノードのみ、屋内見取り図上と地図上のエントランスノード同士を対応付ける必要がある。

4.1.2 リンクの登録

ノードの登録で登録されたノードをクリックして選択し、

リンク作成ボタンをクリックすることで選択されたノード間にリンクが作成される。ノードの選択はノードをクリックすることで行い、直近にクリックされたノードが選択状態1となり、その1つ前にクリックされたノードが選択状態2となる。以降新たなノードがクリックされて選択されるたびに選択状態2のノードの選択が解除され、新たに選択したノードが選択状態1となり選択状態1だったノードが選択状態2となる(図4)。

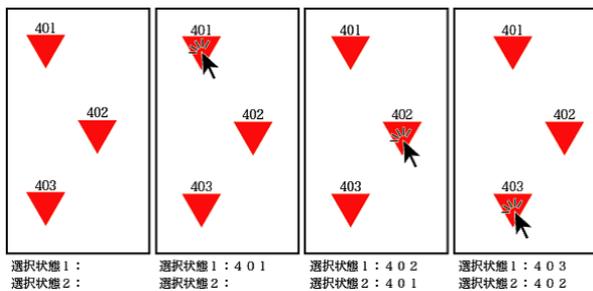


図4 ノードの選択例

4.1.3 OSMの道路データから経路ネットワークを登録

OSMに登録されている道路データを取得し、変換することで自動的に経路ネットワークを構成する。highway = footway というタグを持つ道路の折れ曲がっているところを経路ノード、直線のところを経路リンクとすることで変換を行う。entrance = yes というタグを持つ経路ノードの種類はエントランスノードとし、それ以外は経路ノード(屋外)とすることで道路データから経路ネットワークへと変換することができる。

4.2 ネットワーク変換機能の実現方法

ネットワーク変換機能では、屋内見取り図上と地図上の両方に対応点を登録し、登録した対応点を用いてネットワーク登録機能で屋内見取り図上に登録された屋内ネットワークのローカル座標を地図上の緯度経度座標へと変換する。

4.2.1 対応点の登録

対応点の登録では、屋内見取り図上と地図上との同じ位置に対応点を登録することで、屋内見取り図の画像上でのローカル座標と実際の地図上での緯度経度座標との位置的な対応づけを行う。屋内見取り図上もしくは地図上の対応点を登録したい点をダブルクリックすることで変換用ノード登録ボタンが配置されたポップアップが開く。設置したい対応点を追加するボタンをクリックすることで対応点が登録される。

4.2.2 対応点2組の変換手法

1つめの変換手法では、2組の対応点を用いて屋内見取り図上のローカル座標から地図上の緯度経度座標への変換を行う。屋内見取り図上の対応点をそれぞれ T_1, T_2 とし、

変換したいノードを P とする。また、地図上の対応点をそれぞれ t_1, t_2 とし、 P が変換されたノードを Q とする。この時、 T_1, T_2, P は屋内見取り図の左下を原点、右上を $(1, 1)$ とするローカル座標系に存在し、 t_1, t_2, Q は緯度経度座標系に存在する。また、屋内見取り図は正方形にトリミングされている。

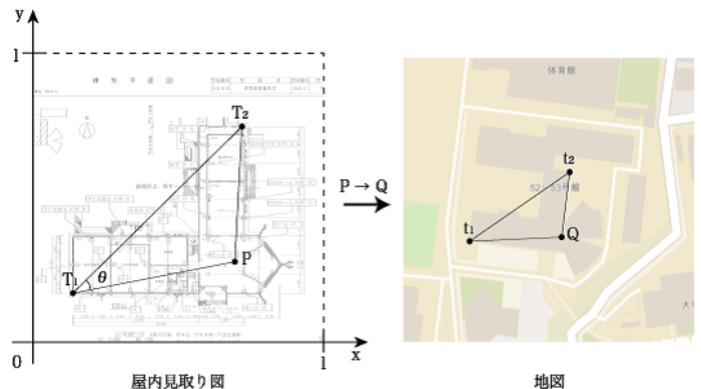


図5 対応点2つの変換手法

手順1 T_1T_2 と T_1P の比 $S = \frac{|T_1P|}{|T_1T_2|}$ を求める。

手順2 $\triangle T_1T_2P$ の角 T_1 の内角 θ を求める。

手順3 $\triangle T_1T_2P$ と $\triangle t_1t_2Q$ を T_1, t_1 がそれぞれの座標系の原点に移動するように平行移動する。平行移動した後の $\triangle T_1T_2P$ と $\triangle t_1t_2Q$ をそれぞれ $\triangle T'_1T'_2P'$, $\triangle t'_1t'_2Q'$ とする。

手順4 \vec{P}' と \vec{T}'_2 の外積 $\vec{P}' \times \vec{T}'_2$ を計算し、 $\vec{P}' \times \vec{T}'_2 < 0$ なら θ に -1 をかける。

手順5 回転行列 $R = \begin{bmatrix} \cos \theta & -\sin \theta \\ \sin \theta & \cos \theta \end{bmatrix}$ と拡大縮小行列

$$S = \begin{bmatrix} S & 0 \\ 0 & S \end{bmatrix}$$

を用いて、

$$\begin{bmatrix} Q'_x \\ Q'_y \end{bmatrix} = SR \begin{bmatrix} T'_{2x} \\ T'_{2y} \end{bmatrix}$$

を求める。

手順6 $\begin{bmatrix} Q_x \\ Q_y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Q'_x \\ Q'_y \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} t_{1x} \\ t_{1y} \end{bmatrix}$ を計算して変換されたノード Q の座標を求める。

上記手順により、屋内見取り図上のローカル座標を地図上の緯度経度座標に変換する。

4.2.3 対応点4組の変換手法

2つめの変換手法では、4組の対応点を用いて屋内見取り図上のローカル座標から地図上の緯度経度座標への変換を行う。対応点が2組の時と同様に、屋内見取り図上の対応点をそれぞれ T_1, T_2, T_3, T_4 とし、変換したいノードを P とする。また、地図上の対応点をそれぞれ t_1, t_2, t_3, t_4 とし、 P が変換されたノードを Q とする。この時、 T_1, T_2, T_3, T_4, P は屋内見取り図の左下を原点、右

上を (1, 1) とするローカル座標系に存在し, t_1, t_2, t_3, t_4 , Q は緯度経度座標系に存在し, 屋内見取り図は正方形にトリミングされている. 対応点 4 組の変換手法では, 図

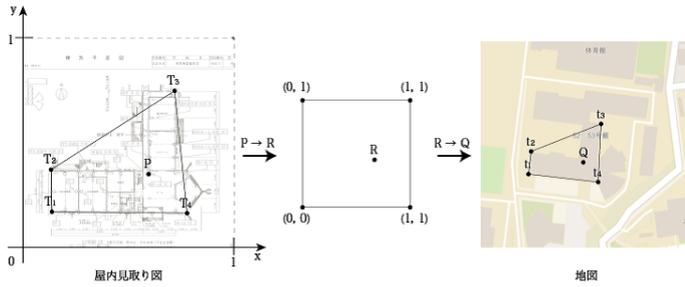


図 6 対応点 4 つの変換手法

6 のように屋内見取り図上の T_1, T_2, T_3, T_4 の四角形を $(0, 0), (1, 0), (1, 1), (0, 1)$ の四角形にはめ込む形で射影変換 [13] をした時の P の位置を R とし, $(0, 0), (1, 0), (1, 1), (0, 1)$ の四角形を地図上の t_1, t_2, t_3, t_4 の四角形にはめ込む形で射影変換をした時の R の位置を Q とすることでローカル座標から緯度経度座標への変換を行う.

手順 1 四角形 $T_1T_2T_3T_4$, 四角形 $t_1t_2t_3t_4$ を T_1, t_1 がそれぞれの座標系の原点に移動するように平行移動する. 平行移動した後の四角形をそれぞれ四角形 $T'_1T'_2T'_3T'_4$, 四角形 $t'_1t'_2t'_3t'_4$ とし, 移動後の P, Q をそれぞれ P', Q' とする.

手順 2

$$R_x = \frac{A_1P'_x + B_1P'_y}{A_0P'_x + B_0P'_y + C_0}, R_y = \frac{A_2P'_x + B_2P'_y}{A_0P'_x + B_0P'_y + C_0}$$

を計算することで R の位置を求める. この時, 係数 $A_0, A_1, A_2, B_0, B_1, B_2, C_0$ は計算しやすいように中間定数

$$\begin{cases} \Delta_{123} = T_{2x}T_{3y} - T_{3x}T_{2y} \\ \Delta_{124} = T_{2x}T_{4y} - T_{4x}T_{2y} \\ \Delta_{134} = T_{3x}T_{4y} - T_{4x}T_{3y} \\ \Delta_{1234} = \Delta_{123} + \Delta_{134} \\ \Delta_{234} = \Delta_{1234} - \Delta_{124} \\ \delta_{11} = \Delta_{123} - \Delta_{124} \\ \delta_{22} = \Delta_{134} - \Delta_{124} \end{cases}$$

を用いて,

$$\begin{cases} A_1 = -\Delta_{123}\Delta_{234}T_{4y} \\ B_1 = \Delta_{123}\Delta_{234}T_{4x} \\ A_2 = \Delta_{134}\Delta_{234}T_{2y} \\ B_2 = -\Delta_{134}\Delta_{234}T_{2x} \\ A_0 = \delta_{11}\Delta_{123}T_{4y} + \delta_{22}\Delta_{134}T_{2y} \\ B_0 = \delta_{11}\Delta_{123}T_{4x} + \delta_{22}\Delta_{134}T_{2x} \\ C_0 = -\Delta_{123}\Delta_{124}\Delta_{134} \end{cases}$$

と表すことができる.

手順 2

$$Q'_x = \frac{a_1R_x + b_1R_y}{a_0R_x + b_0R_y + c_0}, Q'_y = \frac{a_2R_x + b_2R_y}{a_0R_x + b_0R_y + c_0}$$

を計算することで Q' の位置を求める. この時, 係数 $a_0, a_1, a_2, b_0, b_1, b_2, c_0$ は計算しやすいように中間定数

$$\begin{cases} \Delta_{123} = t_{2x}t_{3y} - t_{3x}t_{2y} \\ \Delta_{124} = t_{2x}t_{4y} - t_{4x}t_{2y} \\ \Delta_{134} = t_{3x}t_{4y} - t_{4x}t_{3y} \\ \Delta_{1234} = \Delta_{123} + \Delta_{134} \\ \Delta_{234} = \Delta_{1234} - \Delta_{124} \\ \delta_{11} = \Delta_{123} - \Delta_{124} \\ \delta_{22} = \Delta_{134} - \Delta_{124} \end{cases}$$

を用いて,

$$\begin{cases} a_1 = \Delta_{134}t_{2x} \\ b_1 = \Delta_{123}t_{4x} \\ a_2 = \Delta_{134}t_{2y} \\ b_2 = \Delta_{123}t_{4y} \\ a_0 = \Delta_{134} - \Delta_{234} \\ b_0 = \Delta_{123} - \Delta_{234} \\ c_0 = \Delta_{234} \end{cases}$$

と表すことができる.

手順 4 $\begin{bmatrix} Q_x \\ Q_y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Q'_x \\ Q'_y \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} t_{1x} \\ t_{1y} \end{bmatrix}$ を計算して変換されたノード Q の座標を求める.

4.3 ネットワーク表示機能

ネットワーク表示機能ではユーザが登録したネットワークを表示したり, ネットワーク変換機能によって屋内見取り図のローカル座標上から地図の緯度経度座標上へと変換されたノードを地図上にリアルタイムで表示する.

4.3.1 ノードの表示

屋内見取り図上にノードが新たに登録されたとき, そのノードを屋内見取り図上に表示すると同時にネットワーク変換機能によって変換された緯度経度座標を持つノードを地図上に表示する. また, 既に屋内見取り図上に登録されているノードがユーザによって移動されたときには, 地図上に表示されているノードを再描画する.

4.3.2 リンクの表示

屋内見取り図上のノード間にリンクが登録されたとき, そのリンクを屋内見取り図上に表示すると同時に地図上に表示されている対応するノード間にもリンクを表示する. すでにリンクが登録されているノードが屋内見取り図上でユーザによって移動されたときには, 地図上に表示されているリンクを移動後のノード間を結ぶように描画しなおす.

4.3.3 ネットワークの表示/非表示

屋内見取り図上や地図上のネットワーク、変換に使用した変換ノードをそれぞれの表示/非表示を切り替えることができる。この機能によって邪魔になるノードを適宜非表示にしながらネットワークを構成することができる。

5. プロトタイプシステム

第4章の実現方法に従ってプロトタイプシステムを作成した。プロトタイプシステムの画面を図7に示す。システムの開発には地図ライブラリのleafletを用いた

システムを起動したらまずは屋内見取り図上と地図上に対応点を登録する。対応点を登録したら屋内見取り図上もしくは地図上にネットワークを登録する。屋内見取り図上に登録されたネットワークは対応点を基準に地図上の緯度経度座標に変換される。変換されたネットワークは地図上にリアルタイムで表示される。



図7 システム起動時の画面

6. 評価実験

6.1 評価実験の目的

実験の目的は、プロトタイプシステムを使用してユーザーが意図したネットワークを作成できるかを検証するとともに、2つのネットワーク変換手法のどちらがより屋内外経路推定のためのネットワーク変換に適しているかを検証する。

6.2 評価実験の方法

被験者(本学学生9人)にネットワークを作成するための機能をひと通り説明したのちに、プロトタイプシステムを使用してネットワークの作成を行ってもらう。このとき、2種類の変換手法のどちらともを用いてネットワークの作成を行ってもらう。その後5段階評価と自由記述欄を設けたアンケートを実施し、回答してもらう。質問の内容は5に近づくほど満足度が高くなっている。アンケートの内容は以下の通りである。

項目1 ノードを登録する位置は決めやすいと思うか

項目2 ノードを登録する際の情報入力はしやすいと思うか

項目3 リンクの登録はしやすいと思うか

項目4 変換用ノードの登録は面倒ではないと思うか(変換用ノード2つの時)

項目5 変換後のノードはそれらしい位置にあると思うか(変換用ノード2つの時)

項目6 変換用ノードの登録は面倒ではないと思うか(変換用ノード4つの時)

項目7 変換後のノードはそれらしい位置にあると思うか(変換用ノード4つの時)

項目8 変換後や移動後のノードの確認はしやすいと思うか

項目9 ノードの持つ情報の確認はしやすいと思うか

項目10 全体としてこのシステムは使いやすいと思うか
また、被験者9人全員に屋内見取り図の同一の点にノードを作成してもらい、2つの変換手法で変換したノードの位置を比較することで2つの変換手法による変換後のノードの位置を比較した。

6.2.1 実験結果

アンケート調査の結果を図8、図9、図10に示す。アンケート結果で得られたコメントを以下に記載する。

- 個人的には変換用ノードの個数が多い方が、移動後のノードと実際の誤差が小さくなったように感じた。変換用ノードの個数を増やす手間を考慮しても、移動後の誤差は小さくなることは理想的に感じた。
- 概ねつかいやすかった。ただビーコンの番号が後から設定できるとより作業しやすかったかもしれない。
- web上で地図のマッピングを保ったまま画面を動かせるように見やすい。
- リンクを上につなげる際にノードの吹き出しが邪魔になると感じた時があった。
- 少しづれを感じた。

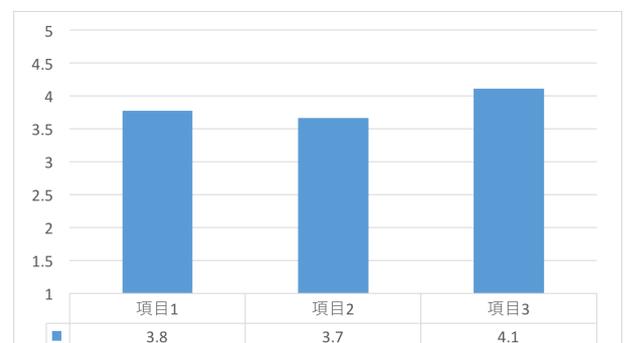


図8 項目1~3の結果

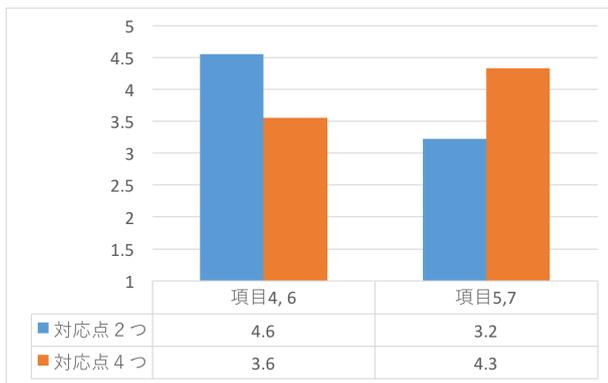


図 9 項目 4～7 の結果

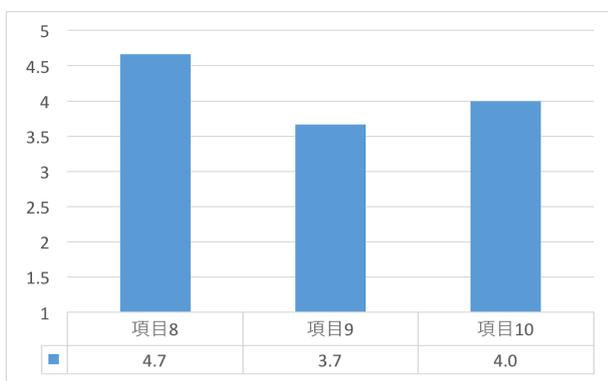


図 10 項目 8～10 の結果

2つの変換手法による変換後のノードの位置を比較した結果を図 11 に示す。

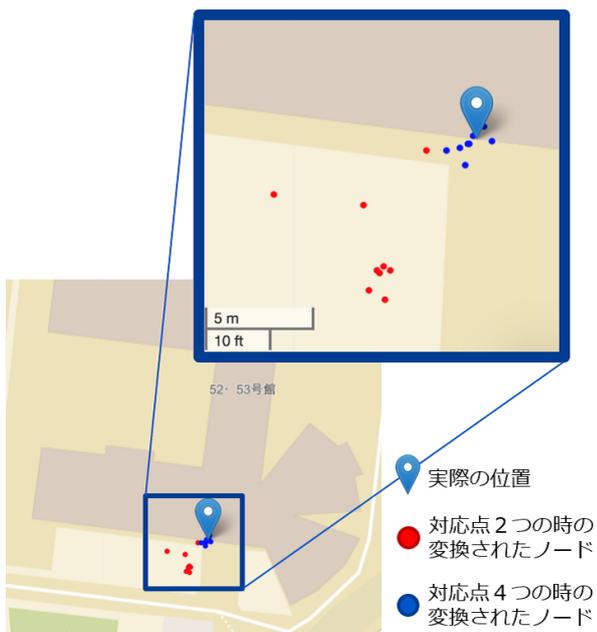


図 11 変換後のノードの位置比較

6.3 考察

システム全体の評価が 4.0 となっていることからわかるように、項目 4～7 のノードの変換の項目以外では全体的に高評価となっていることが見て取れる。項目 1、項目 2 が他と比べて若干評価が低い評価を受けていることがわかる。考えられる理由として、自由記述のコメントにもあるようにノードの登録時にでるポップアップが画面を隠してしまうことで見づらくなってしまう場合があったり、ノードを登録した後から ID やノードの種類を変更できなかったりしたことが評価を下げる原因になっているのではないかと推測できる。ノードを登録するときのポップアップを表示する条件をマップの移動などと共通する左クリック時ではなく現在使用していない右クリック時に変更したり、すでに登録済みのノードの情報を後から編集可能にすることで評価が向上するのではないかと考えられる。

項目 3 では高い評価を得られているが、5 をつけた人が 4 人と半数近いのに対し、2 をつけた人が 1 人いたという結果だった、このことから万人が使いやすいと感じている訳ではなく、使いづらいと感じていた人もいたため、改善が必要であると考えられる。意図せずポップアップが表示されてしまうことが操作性を損なう原因の一つとなっていると考えられるので、操作のキー割り当てを見直すことで評価をさらに改善できると考えられる。

項目 4～7 のノードの変換についての評価からは、変換用ノード 2 つの方では変換用ノードの登録は面倒ではない代わりに、変換後のノードはそれらしい位置ではなく、本来よりもずれた位置に変換されており、変換用ノード 4 つの方では変換用ノードの登録は 2 つの時と比べて面倒を感じる人が多いが、変換後のノードはそれらしい位置に変換されているということがわかる。コメントにも「変換用ノードの個数が多い方が、移動後のノードと実際の誤差が小さくなったように感じた。変換用ノードの個数を増やす手間を考慮しても、移動後の誤差は小さくなることは理想的に感じた。」とあるように、ノードの変換には変換用ノードの登録の手間と、変換後のノードの正確さを天秤にかけた時に多少登録が面倒にはなってしまうが、変換用ノード 4 つの変換手法を用いたほうが良いと考えられる。しかし、変換用ノード 4 つの時でも変換用ノードを登録する位置によっては変換後のノードの位置がややずれてしまうことがあるため、変換用ノード 4 つの変換方法にも改善が必要であると考えられる。また、変換後のノードの位置を比較した結果からも対応点が 4 つの時のほうが実際の位置付近に分布しているのがわかる。対応点が 2 つのときのほうが変換後の誤差が大きくなった理由として、OSM 上に表示されている建物の外形は航空写真を地図の作成者がトレースすることで作成しているため、屋内見取り図上の建物の外形とずれが生じたことで相似関係が崩れてしまっていることが考えられる。

以上の結果より、ノードの変換手法としてより適しているのは変換用ノード4つの手法であると考えられ、さらなる操作性の改善のためにはポップアップを表示する方法や、表示する位置を考え直す必要があると考えられる。

7. おわりに

本論文では、ビーコンを用いた経路・滞在推定を屋内だけでなく屋外でも推定を可能にするために、屋内外にまたがるネットワークを作成するためのシステムを提案した。

提案システムはネットワーク登録機能、ネットワーク変換機能、ネットワーク表示機能の3つの機能からなり、屋内見取り図上と地図上に対応点を登録し、屋内見取り図上に登録したネットワークを緯度経度座標をもった地図上のネットワークへと変換して地図上でリアルタイムでネットワークを確認できる。提案システムに基づいてプロトタイプシステムを実装し、屋内外にまたがるネットワークの作成が容易に行えるかどうかと変換手法の比較を検証するためにプロトタイプシステムを用いて評価実験を行った。実験を通して、ネットワークの作成に対して全体的に高い評価が得られ、4つの変換ノードを用いたネットワークの変換手法の方が提案システムにより適しているという結果が得られた。しかし、ポップアップの表示方法により、操作性が損なわれているということも明らかになり、改善が求められる結果となった。

今後の課題として、ネットワークの変換精度のさらなる向上や、ポップアップを表示するための操作方法の変更ならびにポップアップの表示位置の変更、リンクの登録方法の改善やすでに登録済みのノードに登録されている情報の変更可能にすることなどが挙げられる。

参考文献

- [1] 授業打刻アプリ (Nitech ピロリン) 提供サービス - 国立大学法人名古屋工業大学 情報基盤センター
<https://www.cc.nitech.ac.jp/index.php?Itemid=172>
- [2] 富永 聡司, 田口 雄規, 大堀 良介, 落合 智生, 牛丸 恭佑, 大森 夢拓, 梶岡 慎輔, 松尾 啓志, SpyGame: BLE ビーコンを用いた位置情報利用型ゲームシステムの開発と運用, 研究報告インターネットと運用技術 (IOT), 2018-IOT-40, No.9, pp.1-6, 2018.
- [3] ビーコンを活用し、施工現場での作業者の行動を見える化する動態管理サービスを提供開始
<http://www.hitachi.co.jp/New/cnews/month/2017/03/0324a.html>
- [4] ビーコンで顧客追跡 パルコ、改装効果を動線分析で検証:日本経済新聞
<https://www.nikkei.com/article/DGXMZ086981600Z10C15A5000000/>
- [5] 場所に応じた情報を自動で配信 -Cleva!
<https://www.towaeng.co.jp/solution/other/cleva/>
- [6] 山本 大介, 田中 亮佑, 梶岡 慎輔, 松尾 啓志, 高橋 直久, BLE ビーコンを用いたグローバルマップマッチングによ

- る経路推定法, DICOMO2018 講演論文集, pp.1027 - 1034, 2018.
- [7] Sotiris Brakatsoulas , Dieter Pfoser , Randall Salas , Carola Wenk "On map-matching vehicle tracking data", Proceedings of VLDB, 05, pp.853-864, 2005.
 - [8] Yin Lou, Chengyang Zhang, Yu Zheng, Xing Xie, Wei Wang, Yan Huang, "Map-matching for low-sampling-rate GPS trajectories", Proceedings of SIGSPATIAL GIS 2009, pp.352-361, 2009.
 - [9] 木村 峻介, 松本 卓人, 浜中 雅俊, 李 昇姫, 迷子探しを目的とした屋内位置情報サービスの構築, 情報科学技術フォーラム講演論文集, Vol12, No.4, pp.177-183. 2013.
 - [10] 伊藤 誠悟, 河口 信夫, アクセスポイントの選択を考慮したベイズ推定による無線 LAN ハイブリッド位置推定手法とその応用, 電気学会論文誌 C, Vol.126, No10, pp.1212-1220, 2009.
 - [11] 梶岡 慎輔, 山本 大介, 打矢 隆弘, 齋藤 彰一, 松尾 啓志, 内匠 逸, BLE ビーコンを用いた位置推定による打刻システムの運用と課題, 研究報告セキュリティ心理学とトラスト (SPT), 2016-SPT-20, No.12, pp.1-7, 2016.
 - [12] Shinsuke Kajioka, Tomoya Mori, Takahiro Uchiya, Ichi Takumi, Hiroshi Matsuo, "Experiment of indoor position presumption based on RSSI of Bluetooth LE beacon", in Consumer Electronics (GCCE), 2014 IEEE 3rd Global Conference on. IEEE, pp. 337-339, 2014.
 - [13] CAD・CGのための基礎数学 5章 図形の投影と変換
<http://kondolab.org/archive/2010/research/cadcgtext/CadCgMathematics.html> (2019.1.29 参照)
 - [14] Daisuke Yamamoto, Ryosuke Tanaka, Shinsuke Kajioka, Hiroshi Matsuo, Naohisa Takahashi, Global Map Matching using BLE Beacons for Indoor Route and Stay Estimation, Proc. of the 26th ACM SIGSPATIAL 2018, pp. 309-318, Seattle, Nov. 2018.