

歩行者移動時間推定システムの実用化に向けた実地検証

佐藤 翼[†] 木村 卓哉[†] 袴田 和則[†]総合警備保障株式会社 セキュリティ科学研究所[†]

1. はじめに

神社仏閣への初詣や花火大会など、大規模イベントが開催される際には、会場周辺において来場者による混雑が予想される。このような混雑により人の密度が高まると、歩行速度が低下し人の流れが遮られる群集滞留と呼ばれる現象が発生する。さらに人の密度が極限にまで高まると、群集の揺れによる転倒で雑踏事故が発生する。大規模イベントを安全に成功させるためには、このような事故に繋がる恐れのある混雑の発生を防止しなければならない。

来場者による混雑の発生要因の一つとして、イベント開催中における来場者実態把握の不備が挙げられる。このような事態が生じないように、イベント主催者、警察および警備会社は、イベント本番当日の刻一刻と変わる来場者による混雑をリアルタイムに把握し、状況に応じて臨機応変に措置・誘導を行う必要がある。

ある経路を移動する歩行者の移動時間は、その経路における歩行者の混雑度を把握する上で重要な情報となり得る。例えば、歩道が人で混雑すればするほど人の歩みは遅くなる¹⁾。

本研究は、歩行者の混雑を簡易で安価かつ定量的に把握する方法として、歩行者が持つ携帯電話から出力される電波を利用することにより、出発地から目的地までの経路を歩く歩行者の移動時間をリアルタイムに推定するシステムを実現することを目的とする。

これまでの研究から本システムは、歩行者を立ち止まらせる要因の少ない経路において、歩行者の移動時間を概ね精度良く推定できることが分かっている²⁾。

本稿は、歩行者の移動時間を推定する精度向上に向けた対策を実施した後、歩行者の移動時間が時刻の経過とともに増減する場所において実地検証を行った結果から、本システムの実現可能性について述べる。

The Verification Test of the System to Estimate Travel Time of Pedestrians.

[†]Yoku Sato, [†]Takuya Kimura, and [†]Kazunori Hakamada,
[†]SOHGO SECURITY SERVICES CO., LTD.

2. 歩行者移動時間推定システム概要

図1に歩行者移動時間推定システムの運用イメージを示す。

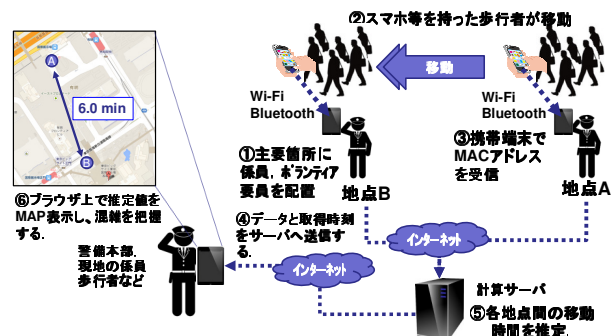


図1 歩行者移動時間推定システム運用イメージ

イベント会場周辺には、主要箇所に警備員が配置される。配置された警備員に、周囲の歩行者が所有するスマートフォンなどの携帯端末から発信される、Bluetooth および Wi-Fi アクセスポイントの MAC アドレスを取得するアプリケーションをインストールした携帯端末（以下、受信端末とよぶ）を所持させる。これにより、スマートフォン等の携帯端末を持った歩行者が警備員の近くを通過したときに、歩行者の携帯端末から発信される Bluetooth および Wi-Fi アクセスポイントの MAC アドレスを受信端末で取得できる。そして、取得した MAC アドレスと取得時刻および警備員の位置情報を計算サーバへ送信する。

計算サーバは、各地点間の歩行者の移動時間を次の通りに計算する。すなわち、ある MAC アドレスが出発地 O で受信できた時刻を T_o 、到着地 D で受信できた時刻を T_D とし、出発地 O から到着地 D への移動時間 $T = T_D - T_o$ と計算する。

また、ある時刻 t に計算した移動時間 x_t はノイズデータを含む場合が想定されるため、重み付け移動平均でノイズの除去を試みる。ここでいうノイズデータとは、電波の受信状況による移動時間の計測値のズレや、歩行者が移動中に立ち止まった場合の移動時間である。ある時刻 t に移動時間 x_t を計算したとき、その時刻 t における歩行者の移動時間の推定値 y_t は以下の式で算出する。

$$y_t = \frac{1}{W_t} \sum_{i=0}^N w_{t,i} x_{t-i}$$

$$W_t = \sum_{i=0}^N w_{t,i}$$

なお、係数 $w_{t,i}$ は $\Delta x_{t,i}$ に対する重みで、以下の通り計算する。

$$w_{t,i} = D(\Delta x_{t,i})$$

$$\Delta x_{t,i} = x_{t-i} - y_{t-1}$$

$$D(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} \exp\left(-\frac{x^2}{2\sigma^2}\right)$$

1 時点前の移動時間と比べ極端に大きい移動時間 x_t が観測された場合、そのデータの重み $w_{t,i}$ を小さくするよう計算した。つまり、 x_t と 1 時点前の移動時間の推定値 y_{t-1} との差 $\Delta x_t = x_t - y_{t-1}$ は正規分布 $N(0, \sigma)$ に従うと仮定し、移動平均の重みとした。なお、今回実施したフィールド試験においては、重みとした正規分布の標準偏差 $\sigma = 100$ 、移動平均の計算をするデータ数 $N = 10$ として計算した。

システムは最終的に、警備員の配置情報および推定した移動時間を PC 等にマップ表示する。

以上のシステムにより、各地点間における歩行者の移動時間をリアルタイムに推定することができる。さらに各地点間で混雑が発生した場合、歩行者の移動時間は長くなるため、歩行者の混雑度を把握することができる。

3. 推定精度の向上

歩行者移動時間推定システムの推定値の精度に関しては、精度の向上に向けていくつか課題があった。それらの課題とその対策を以下に示す。

3.1 移動時間の計測データの数値がばらつく

歩行者が警備員の近くを歩行するとき、警備員が歩行者の電波を受信するタイミングにばらつきが生まれる。対策としては、電波受信強度の値を用いて、歩行者の正確な位置の推定を行うことで、推定値の精度向上を図る。

3.2 固定のアクセスポイントによる計測データが発生する

計測地点の 2 地点以上で同時に電波を受信できってしまう固定のアクセスポイントが存在すると、電波の受信時刻の差が移動時間として算出される。対策としては、排除したい MAC アドレスデータの名前(SSID)を予め登録しておき、受信データの SSID と部分一致したら固定のアクセスポイントと見なして排除する。

3.3 自転車や車の計測データが発生する

歩行者だけでなく、スマートフォン等を所持する自転車や車等の移動時間も一緒に計測される。対策としては、歩行者の早歩きの色度を 120m/min

と定義し、これよりも早い速度で移動するデータを排除する。

3.4 混雑緩和後に推定値が適切に更新されない

混雑が発生し、2 地点間の移動時間の推定値が上昇した後、その混雑が緩和されたとき、移動時間の計測データ数が少なくなり、推定値が十分に更新されず、長い移動時間のままになる。対策としては、歩行者からの電波の取得が一定の頻度を下回った場合、歩行者の数が少なく混雑が緩和されていると判断し、移動時間を標準的な値に近づける。

4. 実証実験

4.1 実験概要

図 1 で示したシステムを実装し、歩行者の混雑する場所において動作させ、得られた Bluetooth および Wi-Fi アクセスポイントの MAC アドレスから歩行者の移動時間を推定する実証実験を行った。

4.2 実験場所および実験日時

実験場所は、寺院の境内から最寄り駅までの道約 700m とした。また、実験日時は 2016 年 1 月 3 日の 8:00~17:00 とした。

4.3 実験方法

境内から最寄り駅までの参道上に配置された警備員に受信端末を所持させた。参加者が参道を移動したときに、歩行者の持つ携帯端末から出力される Bluetooth および Wi-Fi アクセスポイントの MAC アドレスを、警備員の持つ受信端末で取得した。そして、MAC アドレスと取得時刻および警備員の位置情報を計算サーバへ送り、移動時間の推定値を算出した。また、比較として、著者らが歩行者の群集に混じって一緒に歩いたときの移動時間も記録した。

4.4 実験結果

実験結果の詳細は、会場で説明する予定である。

5. まとめ

歩行者が持つスマートフォン等の携帯端末の無線通信機能を利用して、リアルタイムに歩行者の移動時間を推定することにより、群集の混雑度を把握するシステムを考案した。さらに、移動時間の推定値の精度に関する課題に対して対策を実施した。今後は、本システムの実用化を進めていく予定である。

参考文献

- [1] 屋外イベントの安全に関する共同研究会：屋外型イベント安全ノート
- [2] 佐藤翼，木村卓哉，袴田和則：歩行者移動時間推定システムの研究，第 35 回交通工学研究発表会論文集，P.495-500