

競技者の負担を軽減した 参加型位置共有システムの提案と実装

河中 祥吾^{1,a)} 高橋 雄太¹ 雨森 千周¹ 藤本 まなと¹ 荒川 豊¹
藤原 晶² 福島 徹也² 松原 敬信²

概要：マラソンや自転車競技のようなレース競技において、競技者を応援するための観客向け位置情報共有サービスが始まっている。しかしながら、競技者の位置を得るために、競技者がスマートフォンを持って競技に参加する必要があるという問題がある。そこで本研究では、観客や先導車のスマートフォンを位置補足のためのインフラとして利用する参加型位置共有システムを提案する。提案システムでは、競技者は、小型 BLE ビーコンを装着するだけでよく、そのビーコンから発信された電波を受信した観客のスマートフォンの位置情報を競技者の位置情報として共有する。高速に移動（自転車競技における自転車の速度は 30km/h～80km/h）するビーコンの位置を観客のスマートフォンで計測するシステムは、先行研究がないため、ビーコンやスマートフォンアプリを開発した上で、実験を重ねることで、高速で移動するビーコンがスマートフォンの前を通過する場合の受信強度、最大受信距離、GPS から得られる位置情報との差異、先導車で受信する際の電波遮蔽、地形と電波受信状況の相関関係、ビーコン側の電波強度や送信周期、など実現に必要なパラメータを明らかにした。さらに、実際のレースに提案システムを導入し、その有効性と可用性を確認した。

キーワード：自転車, BLE ビーコン, スマートフォン, 参加型センシング, 位置情報共有

Proposal and implementation of a participatory location sharing system with reducing burden for the athletes

SHOGO KAWANAKA^{1,a)} YUTA TAKAHASHI¹ CHISHU AMENOMORI¹ MANATO FUJIMOTO¹
YUTAKA ARAKAWA¹ AKIRA FUJIWARA² TETSUYA FUKUSHIMA² TAKANOBU MATSUBARA²

Abstract: Athlete's location sharing service has already started in various cycling events. However, in such system, the athletes have to bring a smart phone for uploading their position in racing. In this paper, we propose a participatory location sharing system that utilizes supporters' smartphone for tracking the position of athletes. In our system, the athletes only have a small BLE beacon, and the supporters along the road have a smartphone in which our application is installed. The application uploads and shares its location when it receives a beacon signal. Since there is no existing work that try to track a fast-passing beacon (the speed of bicycle is 30km/h-80km/h), we developed the dedicated beacon and dedicated Android application for experiment. Through various experiments, we clarified the effect of passing speed, the maximum distance for receiving a signal, location accuracy compared with GPS, the effect of landform and shielding. Finally, we conducted an experimental evaluation in the actual cycling events for confirming the availability and effectiveness.

Keywords: Bicycle, BLE Beacon, Smartphone, Participatory Sensing, Location Information Sharing

1. はじめに

マラソンや自転車競技のようなレース競技において、競技者を応援するための観客向け位置情報共有サービスが始まっている。具体的なサービスの例として、シャープ株式会社が自転車競技向けアプリケーションとして提供しているスマココ^{*1}があげられる。本サービスは、競技者がスマートフォンを所持しながら競技に参加し、自身の位置情報を発信し続けることで、観客側はアプリケーションを介して競技者の位置を確認でき、一般競技者からプロ競技者までの使用を目的として開発されている。自転車競技は、レース競技の中でも早くからセンサ類の導入が進んでおり [1], [2], 一般の自転車競技では大会規約が比較的緩く無線機器やセンサの使用が認められている。しかし、プロや実業団チームが参加する公式レースにおいては、公平性を保つため、トランシーバ等の相互通信機器の使用が禁止されているものが多い。また、車体重量増加は長距離コースになるほど競技者への負担も増加する上、機器のサイズにより取り付け位置が制限される。そのため、特に公式レースにおいては搭載する機器を可能な限り小型化および軽量化する必要がある。こういった理由から、競技者がスマートフォンを所持する必要がある現状のスマココのシステム構成では公式レースに適応することが難しい。

これらの制約を解決し、世界最大の自転車レースであるツール・ド・フランスで実際に導入されている機器として、HIKOB 社製の HIKOB FOX が挙げられる^{*2}。HIKOB FOX は、非常に小型で競技者の自転車のサドル下に取り付けられており、一定の時間間隔で位置情報を取得し、大会スタッフの持つ専用端末に位置情報を送信するが、無線通信規格には ZigBee が用いられている。一般に ZigBee 規格を搭載した既成品は普及しておらず、専用の受信器が必要となっており。そのため、導入コストが高く小規模の大会では導入が難しい。

本研究では前述した要求を満たし、様々な規模の大会への導入を容易にするため、競技者が装着する小型 Bluetooth Low Energy(以下 BLE) ビーコンと、観客や先導バイク、回収車が所持するスマートフォンを用い、ビーコンの信号を受信した時の受信者位置情報および電波強度から、競技者の位置を推定する位置捕共有システムを提案する。提案するシステムでは、専用に開発した小型 BLE ビーコンとそ

の信号を受信するための機能を追加したスマココから構成される。アーキテクチャとしては一般的であるが、自転車競技では、自転車の速度が時速 30km~80km と高速であることから、高速に移動する車体から発信される信号を検知し、位置を特定することが可能であるかが重要な課題となる。そこで、高速で移動するビーコンがスマートフォンの前を通過する場合の受信強度、最大受信距離、GPS から得られる位置情報との差異、先導車で受信する際の電波遮蔽、地形と電波受信状況の関係、ビーコン側の電波強度や送信周期、など実現に必要なパラメータを実験を繰り返すことで明らかにした。同時に提案システムによって高速に移動するビーコンを検出し、競技者の位置検出に利用できることを確認した。さらに、実際のレースに提案システムを導入し、実環境での実証実験を行い、その有効性を確認した。その結果、実環境においても、提案システムにより、競技者の負担を軽減しつつ競技者位置情報の共有が可能であることを示した。

2. 既存製品と関連研究

2.1 既存製品

現在、自転車レースに導入されている位置情報共有サービス用の製品として、HIKOB 社製の HIKOB FOX が挙げられる^{*2}。HIKOB FOX は、GPS モジュールおよび無線通信モジュールが搭載されており、競技者の GPS 情報を取得してデータの送信を行っている。送信されたデータは、コースの誘導および競技者の安全な走行をサポートする先導バイクや競技中の負傷者や故障した自転車を回収するための回収車など大会スタッフが所持する端末で受信され、競技者の位置の共有がなされる。本体重量は 22 g と非常に軽量な上、サドル下部分に収まるサイズのため競技者に対する負担は少ないが、通信プロトコルには ZigBee が用いられている。一般に ZigBee 規格を搭載した既成品は普及しておらず、専用の受信機が必要となる。そのため、導入コストが高く小規模の大会では導入が難しい。

RaceTag9 は株式会社マトリックスが提供する自転車レース向けセンサである^{*3}。特定の地点に設置された検知エリアをセンサを着けた自転車が通過すると、競技者の通過時間が記録され、ラップ数、ラップタイム、着順判定などに利用される。本センサはラップタイム計測に特化しており、コース全域での使用は想定されていないため、特定の地点以外で競技者の位置を捕捉することはできない。

位置情報共有サービスのため BLE ビーコンが用いられているサービスとして otta がある^{*4}。otta は子供見守りサービスのひとつで、子供が所持するビーコンの信号を受信端末が受信すると、その地点の位置情報が共有される。保護者は専用アプリケーションを通して子供の位置情報

¹ 奈良先端科学技術大学院大学
Nara Institute of Science and Technology
〒630-0192, 奈良県生駒市高山町 8916-5

² シャープ株式会社
Sharp Corporation
〒632-8567, 奈良県天理市樺本町 2613 番地の 1

^{a)} kawanaka.shogo.kp1@is.naist.jp

^{*1} <https://smcc.cloudlabs.sharp.co.jp/>

^{*2} <http://www.hikob.com/en/product/hikob-fox-mems-inertial-sensor/>

^{*3} <http://matrix-inc.co.jp/race/racetag9.html>

^{*4} <http://www.otta.me/>

を確認できる。受信端末としては各家庭に設置された専用ルータや地域住民のスマートフォンが候補になる。しかし、対象が子供であるため、ロードバイクといった移動速度の速いものは対象としていない。

2.2 関連研究

次に、屋外において電波強度から位置推定を目的とした先行研究を紹介する。まず、佐藤ら [3] は、Bluetooth の電波強度を利用し、4 箇所の Bluetooth 発信点から構成された四角形の中にある歩行者の位置推定を行い、3~8 m の誤差で位置を確認している。しかし、電波強度にばらつきが生じるため、この結果を得るために同じ位置で 1 時間に渡るデータ取得が必要であるといった問題がある。そのため、数秒で観測地点を通り過ぎるレース競技での使用には適さない。

日坂ら [4] は、自動車の車体の 4 隅に ZigBee 受信器を設置し、交差点において送信器を持った歩行者や自転車、他の車両などの位置受信強度を比較し、歩行者の位置を推定できることを明らかにした。しかし、本手法ではセンサが多数必要な点やバッテリーについて考慮されていない点から軽量化を図りたい自転車レースには向いていない。

渡部ら [5] は、Wi-Fi Direct を用いて端末同士を接続し、複数の送信端末のみから受信端末の位置を特定する方法を提案している。本手法では、端末間の距離が 12 m を超えると位置推定が困難になることが示された。また、受信地点の特定には、最低 3 つの送信端末を適切な位置に分散して配置する必要や電波強度の測定までに数十秒待機する必要がある。加えて、事前に端末同士を接続しておく必要があり、導入には時間が掛かる。

2.3 本研究のアプローチ

既存製品および関連研究では様々な無線通信規格を利用して位置推定を行っているが、その電池容量やデバイスの重量、大きさを考慮しておらず、長時間使用や競技環境下での使用は想定されていない。さらに、対象の移動速度は低速なことや、観測地点において長時間電波を受信しなければならない問題がある。

以上を踏まえて本論文で提案するシステムの要件を次にあげる。

- (1) 競技者の負担を軽減するため、なるべく競技者側に装備するデバイスは小型化かつ軽量化する。
- (2) 受信地点数を確保しつつ導入コストを削減するため、受信端末は既に一般に広まっているスマートフォンを利用する。
- (3) 無線通信規格は省電力かつなどのスマートフォンに標準搭載されている BLE を採用する。
- (4) アプリケーションやビーコンの設置は可能な限り容易にする。

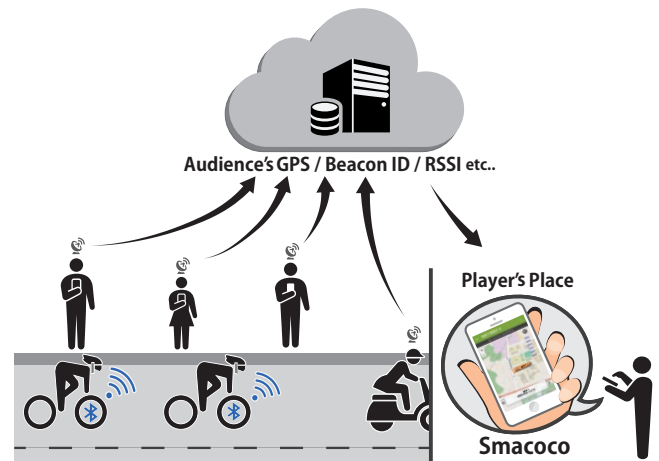


図 1 システムの概要

Fig. 1 System overview

3. ビーコンを用いた参加型位置共有システム

3.1 システム構成

図 1 に本研究で提案するシステムの概要を示す。本システムは、競技者の自転車に取り付ける小型 BLE ビーコン、ビーコンの信号を受信する観客のスマートフォン、競技者の位置の推定・共有を行うサーバから構成される。まず、競技者が観客に接近すると、競技者のビーコンが観客のスマートフォンで検出される。スマートフォンは、このときの自身の GPS 情報を取得し、GPS 情報とビーコン情報をサーバに送信する。この GPS 情報は、観客側の位置情報であるため、競技者の位置情報ではない。そのため、サーバ上でマップマッチングといった位置情報の処理を施し、競技者の位置に近づける。この補正された GPS 情報を競技者の位置情報とみなし、他の観客に共有する。その結果、競技者がどの位置にいるのかをリアルタイムで共有することができる。

実際の自転車レースでは、競技者の他に先導バイク、回収車がコースを周回する。先導車は、レースの先頭集団より前を走っており、先頭集団が他の競技者と衝突しないように道を開ける役割を担っている。回収車は、レース中に転倒したり、体調が悪くなりレースから途中離脱する競技者の発見と回収を行う。コースによっては、観客が入ることのできないコースが一部あるため、観客のみで全てのコースをカバーすることはできない。そのため、先導車と回収車にも受信端末を装着することで、観客が立ち入ることのできない場所での競技者の位置情報の取得を行う。

3.2 競技者の小型ビーコン

図 2 に競技者の自転車に取り付けるビーコンを示す。本ビーコンは、縦 34 mm × 横 80 mm、重さ 20~30 g と軽量であり、スマートフォンと比べると、100 g 以上軽くすることが可能である。そのため、自転車レースであれば、車体に取り付けることができ、マラソン大会であれば、ゼッ

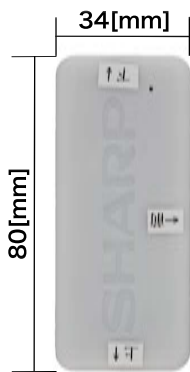


図2 競技者が所持する
ビーコン

Fig. 2 BLE Beacon



図3 スマートフォンアプリケーション
表示例

Fig. 3 Example view of application

ケンにつけたり、腕に巻いたりできる。通信規格は、消費電力が少なく、スマートフォンで受信できる BLE を採用しており、電波強度は-1.3dBm(実測値: 0.738 mW) とし、10 Hz でアドバタイズメントパケットを送信する。電源にはボタン電池 (3 V) を使用しており、連続で 60 時間以上動作することを確認している。自転車レースは、最長で 8 時間であるため、実際のレースでビーコンの稼働時間は問題とならない。

3.3 スマートフォンアプリケーション

観客、先導バイク、回収車は、本スマートフォンアプリケーションを用いて、競技者が所持するビーコンの受信を行う。そして、観客は推定された競技者の位置をリアルタイムで知ることができる。図 3 が実際のアプリケーションの表示例である。このスマートフォンアプリケーションの表示例では、競技者の位置を表示しており、同時に 6 つのビーコンを検出している。本アプリケーションを用いて、競技者のビーコンを受信し、サーバに GPS 情報とビーコン情報を送信する。GPS 情報は、緯度、経度、高度、位置の精度、速度を含み、ビーコン情報は、受信したビーコンの ID、RSSI、信号を受信した時間を含んでいる。サーバへ送信する間隔は最短で 2 秒に設定できる。

実際の自転車レースでは、参加人数が多く応援したい競技者を発見できない、いつ競技者が回ってくるかわからないなどの問題がある。そのため、競技者の位置情報は観客にとっては有益な情報であり、アプリケーションを使用する動機としては十分である。また、ビーコンの ID と競技者データをサーバ上で結びつけておくことで、近くを通った競技者の情報をスマートフォン上に表示させることもでき、応援したい競技者がいない観客にもアプリケーションを使用してもらう動機とすることができる。

4. 提案システム実現に向けた予備実験

提案システムでは、高速で移動しているビーコンの電波

を沿道や先導車のスマートフォンからどのような条件でどれだけ検出できるかを確かめる必要がある。そこでデータ受信側が沿道の観客の場合と先導バイクのスタッフの場合、それぞれを想定した上で予備実験を行った。更に、受信状況を可視化するための可視化アプリケーションを作成した。本章では、まずそれぞれの予備実験について述べ、次に作成した可視化アプリケーションについて紹介する。

4.1 ビーコン検出確認実験

4.1.1 実験内容

最初の実験として、競技者に取り付けたビーコンを沿道(観客側)と回収車で受信できるのか検証を行った。本実験では、速度をできるだけ一定に保つため、自転車の代わりにバイク使用し、バイクの運転手にビーコンを持たせている。回収車の役割の車 1 台には、ビーコンの受信を行うスマートフォンを車内に設置した。実験の手順としては、まず、回収車の役割の車 1 台が先頭を走り、その後ろをビーコンを持ったバイク 2 台が着いていく。そして、沿道に設置したスマートフォンでビーコンの受信を行う。なお、沿道のスマートフォンは三脚で固定しており、道に沿って 3 m 間隔に 5 台配置した。走行する道路は、直線の道を選択した。速度は時速 30 km と時速 50 km の場合で行った。

4.1.2 結果と考察

実験結果としては、沿道側でのスマートフォンでは問題なくビーコンを検出できた。速度が上がるとビーコンの受信回数が減ることも確認できた。今回の実験では、2 台のうち片方のバイクのビーコンの受信回数が極端に少なかった。これは、ビーコンを入れていた位置、アンテナの指向性が原因と考えられるが、今回は 2 台とも胸ポケットにビーコンを入れていたため、この結果は、アンテナの指向性の影響が強いと考える。そして、回収車の車中でのビーコンの受信は、ほとんどできなかった。車の外装による電波の減衰が大きく、車内ではビーコンの受信が行えないことが判明した。そのため、実際の自転車レースでは、回収車よりは、先導バイクがビーコンの受信に向いている。回収車でビーコンの受信を行うには、自動車の窓の外側にビーコンの受信端末を取り付ける必要がある。

4.2 沿道検出実験

4.2.1 実験内容

複数の競技者が同時に走行した場合のビーコンの受信に関する実験を行った。本実験では、沿道の観客と先導バイクでのビーコンの受信回数について調査した。まず、沿道には、前回と同様の設置方法で 6 台のスマートフォンを設置し、直線の道で計測を行った。バイクの台数は 6 台に増やし、先頭のバイクはビーコンの受信端末を持たせ、競技者・先導バイク両方の役割を担わせる。今回は、事前にビーコン指向性を調査し、通行方向に対して直交方向に電

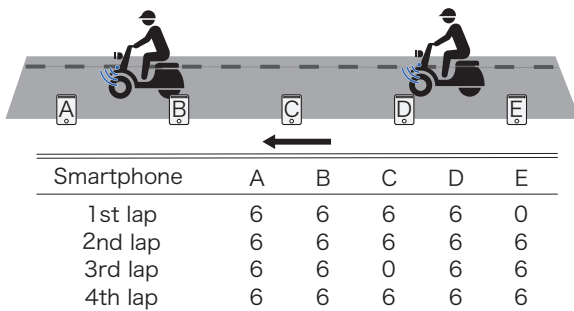


図 4 沿道の各スマートフォンが検出したビーコンの数
Fig. 4 Beacons detected by smartphone along road

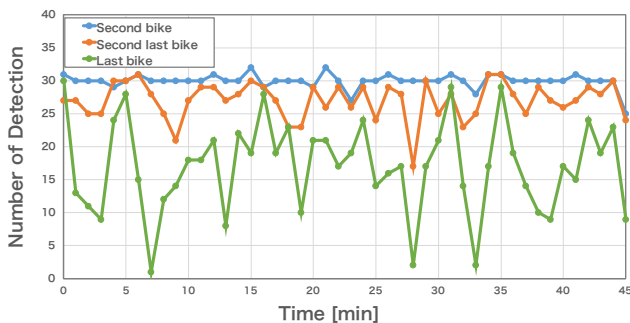


図 5 先導バイクでのビーコン信号の受信回数
Fig. 5 Beacon signals received by lead bike

波が飛ぶように全てのバイクにビーコンを装着した。バイクは指定したコースを 4 周まわる。このときのバイクのスピードや距離については任意とした。ビーコンの受信情報と GPS 情報は 2 秒おきにサーバに送信される。

4.2.2 結果と考察

表 4 に沿道でのビーコンの検出結果を示す。表の行が周回数、列がスマートフォンの ID を表しており、数値は検出したビーコンの数を示している。概ね沿道から 6 つすべてのビーコンの受信が行えている。しかし、1 周目の Smartphone E と 3 周目の Smartphone C において受信に失敗している。前者では、スマートフォンの設定が正しくなされていなかったことに起因していることを確認している。後者においては、モバイルルータでのネットワークの接続障害に起因していると考えられる。正常に接続されていた場合、少なくとも数個のビーコンを受信できていると考えられるからである。

図 5 に先導バイクがビーコンを受信した結果を示す。この結果はサーバのログデータから得られたものである。グラフには、先頭から 2 番目、5 番目、6 番目 (最後尾) のバイクのビーコンの信号の受信回数を示している。先頭から 2~4 番目のビーコン信号の受信回数には、大きな違いはなくどれも 1 分当たり 30 回程度信号を受信していた。しかし、5 番目と 6 番目のバイクのビーコン信号の受信結果において変化が見られた。5 番目のバイクのビーコンから受信できていない場合が少しづつ現れ、6 番目のバイクでは、数回のみ受信できている場合が存在する。受信回数が 30



図 6 ビーコン取り付け位置
Fig. 6 Beacon mounted position : Lead bike and car

に近づいているときは、信号待ちによって先導バイクに接近しているときである。この結果から先導バイクでのビーコンの受信は 5 台程度の距離だと安定して受信が行え、それ以降になると受信回数が急激に減ることが判明した。

4.3 先導バイク検出実験

4.3.1 実験内容

最後に、先導バイクから競技者の位置情報を捕捉するために、先導バイクでのビーコンの受信実験を行った。先導バイクと競技者が走行中にどれだけ離れた状態でビーコンの信号を受信できるか明らかにする必要がある。また、直線やカーブ、坂道などコース環境により電波が遮蔽され、受信結果が変化する。そこで、先導バイクと先頭競技者間の最大受信距離、受信距離と電波強度の関係、コース環境による受信状況の変化について明らかにする。

本実験では、先導バイクを想定したバイク 1 台、先頭競技者を想定したバイク 1 台、後続競技者かつ実験観測車を想定した自動車 1 台を用いた。各者は、位置情報の記録およびビーコンの電波受信のためにスマートフォンを所持し、先頭競技者のバイクと後続競技者の自動車には図 6 で示すようにビーコンを取り付けた。

図 7 に実験コースを示す。実験コースの環境は、区間①~② : S 字カーブの坂道、区間②~③、区間④~⑤ : 直線、区間③~④、区間⑤~⑥ : 下り坂、区間⑥~① : 緩やかなカーブとなっている。本コースを先導バイク、先頭競技者、後続競技者の順番で一定の車間距離を開けながら 3 周回し、計測を行った。ここで、車間距離は、1 周目 10m、2 周目 30m、3 周目 50m を目安とした。

4.3.2 結果と考察

図 8 に先導バイクと先頭競技者間の距離と電波強度の関係をプロットした結果を示す。距離が 20 m 以内の場合は、-80 ~ -90 dBm 程度の比較的強い強度の電波も受信できているものの -100 dBm 程度の電波を受信することもある。20 m 以上の場合では、-100 dBm 程度の強度で受信している。これらの結果から、電波強度は不安定であり、1 回の受信で -100 dBm 程度の電波強度を受信したとしても、一意に距離が決まるわけではない。RSSI から距離を求めるためには、一定距離を保ったまま複数回受信した電波の RSSI を平均することで、±10m 程度の精度で距離を

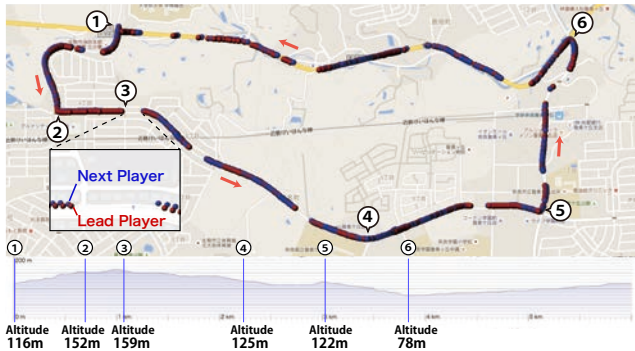


図 7 実験コース：先導バイク検出実験

Fig. 7 Course: Detection from lead bike experiment

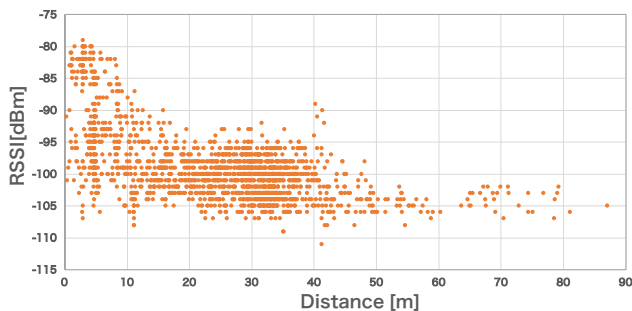


図 8 距離と RSSI の関係

Fig. 8 Relation between Distance and RSSI

求めることが可能であると考えられる。また、本実験において最大受信距離は 87.1 m であった。距離が 80 m 周辺においても複数のプロットが得られていることから、環境条件が良ければ 80 m 程度の距離が離れていたとしても受信可能であることがわかった。これらの結果から、電波強度から一意に位置推定することは難しいと考える。

図 7 中、赤色プロットと青色プロットは先頭競技者と後続競技者 1 周目における電波受信時の位置を示している。電波が受信が遮断されたコース環境の特徴として、1 つ目に坂道の出入り口が挙げられる。2 つ目の特徴として、緩いカーブがあげられる。これら 2 つの環境条件から用いているビーコンは指向性により緩やかなカーブ (区間⑥～①) や坂道の入り口 (区間③～④) の小さな角度のブレでも電波遮蔽が起りやすくなることが分かった。一方、急なカーブでは減速することで車間距離が縮まり、受信しやすくなっていると考えられる。

4.4 可視化アプリケーション

ビーコン検出確認実験で得られた実験結果から、競技者と沿道の観客との位置関係、受信状況および電波強度を可視化するため、可視化アプリケーションを作成した。図 9 に Processing を用いて、可視化アプリケーションの実行画面を示す。図中①で示すヘッダー部分に実験名、走行速度、沿道に設置したスマートフォンの間隔、日時、電波出力強度をそれぞれ記している。次に、図中②内で示すアイコン

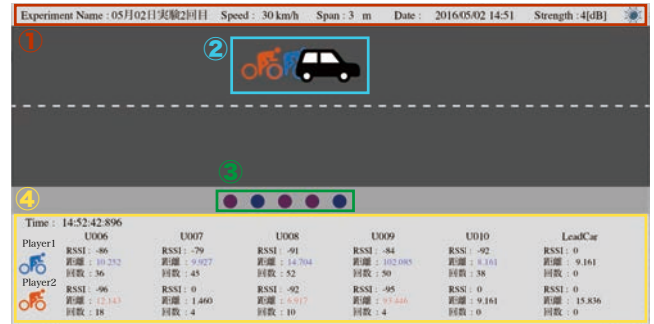


図 9 可視化アプリケーション

Fig. 9 Visualization application

はそれぞれ競技者および先導車の位置を示しており、③で示す円形の印が沿道に設置したスマートフォンを示している。その印の色変化により、その時間においてどのスマートフォンでどの競技者に取り付けたビーコンの信号を受信しているかを表している。また、図中④で示すフッター部分にはそれぞれの競技者のアイコンの色に対応して、各スマートフォンで受信した電波強度、スマートフォンと競技者間の距離、総受信回数を示している。

5. 実環境における実証実験

予備実験の結果を踏まえた上で、実際の自転車レースにおいて本システムの有用性を確認するために、2016 年 5 月 29 日に実施された「第 7 回スズカ 8 時間エンデューロ春 sp^{*5}」および 2016 年 7 月 3 日に実施された「サマーエンデューロード in はりちゅう^{*6}」の 2 つの自転車レースイベントにて実証実験を行った。これらの大会は実験を行うにあたり先導バイクなど、大会スタッフおよび Matrix PowerTag の選手に協力を依頼した。

5.1 実証実験：第 7 回スズカ 8 時間エンデューロ春 sp

本大会のコースは、全長 5.807 km、コース幅 10～16 m、最大高低差 52 m となっている。ヘアピンカーブや S 字コーナー、スプーンカーブなど様々なカーブが存在する。国際レーシングコースとして使われるためコース幅も広くコース全体を通して見通しが良い。

5.1.1 実験内容

実環境の自転車レースにおいての有用性を確認するため、本実験では、10 人以上の集団ができた状態でのデータ取得状況と先導車との距離、実環境のレースにおける地形と検出量の関係を確認することを目的として行った。

スタート・ゴール地点を計測位置とし、4 台のスマートフォンを 3m 間隔で沿道に設置した。加えて、先導バイク 4 台と回収車 2 台にもスマートフォンを配布し、コース上での計測も同時に行った。なお、通過回数の真値とするため、沿道側で計測対象の自転車が通過した時に、競技者名

^{*5} http://suzuka8h.powertag.jp/2016/spring_top.html

^{*6} http://crara.powertag.jp/summer_harichu/guide.html

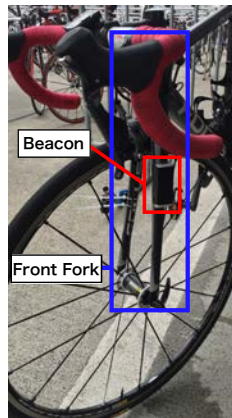


図 10 ビーコン取り付け位置

Fig. 10 Beacon mounting position

表 1 沿道で検出した周回回数と真値との比較

Table 1 Number of beacons detected by smartphone along road

Player	A	B	C	D	E
Result	24	23	27	32	28
Truth	26	25	27	32	28

を手入力により記録した。

図 10 にビーコンの取り付け位置を示す。競技者の身体に触れることなく、沿道から信号を取得することを考慮した上で、自転車の左フロントフォークに取り付けた。先導バイクではズボンのポケットに、回収車では車体後方左側の窓に貼り付けた。本実験では 5 名の選手を検出対象とした。

5.1.2 結果と考察

図 11 に、沿道からの検出結果の一例として選手 D における沿道からのビーコン検出回数を示す。実験開始直後はまた、特定の端末で多く取得した場合は、他の端末での検出回数が低下している。これらの結果から、沿道でのビーコンの検出においても指向性が大きく関わっていることがわかる。表 1 に沿道に設置した 4 台のスマートフォンから各選手のビーコンを検出した結果より得られた周回回数と真値の比較を示す。表 1 中、選手 A, B においてそれぞれ 2 回の検出漏れが発生している。しかしこれらの検出漏れは、ピットインしたことにより設置していたスマートフォン付近を通過しなかったため検出できていなかった。よって、集団が発生した状態においても、沿道に複数の端末が存在することで、沿道から漏れることなくビーコンを検出し、選手位置を捕捉できることがわかった。

図 12 に先導車からビーコンを受信した場所を示す。直線やヘアピンカーブなど急なカーブでは比較的多く取得できているが、図中赤丸で囲った緩やかなカーブやコースの高低差が生じる場所では検出回数が少なくなっている。予備実験で得られた結果と同様の傾向が見られ、実際のコースにおいても緩やかなカーブや坂道の入り口と言った小さな角度のブレでも電波遮蔽が起こることがわかった。

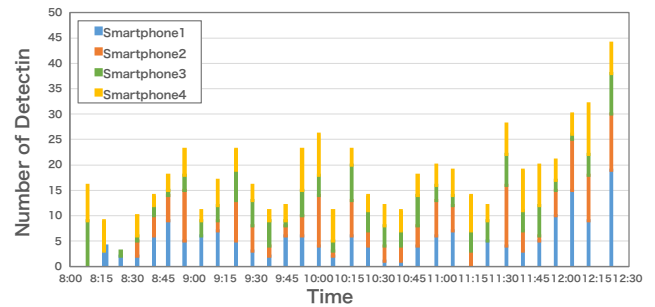


図 11 沿道における選手 D のビーコン検出結果

Fig. 11 Results of beacon detection along road (Player D)

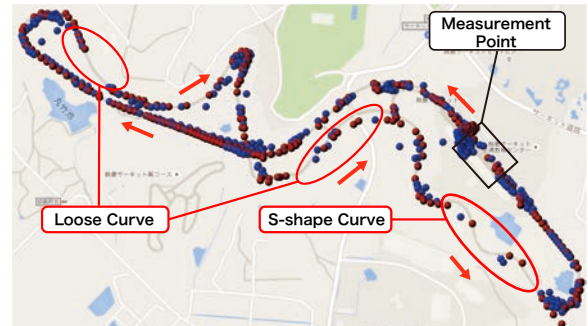


図 12 先導車からビーコンを検出した場所

Fig. 12 Beacons detected by smartphone from leadcar

5.2 実証実験：サマーエンデューロード in はりちゅう

本コースは、全長 3.0km, コース幅 7.5m, 最大高低差 40m となっている。ヘアピンカーブや S 字カーブがあり、全体として緩いカーブおよび坂道が多く存在する。図 12 で示したコースと比べて全長は短く、高低差も少ない。また、コース脇には木々が茂っており見通しの悪い部分も多々存在する。

5.2.1 実験内容

本実験では、5.1.1 項であげた目的に加えて、コース環境の違いによる沿道側での検出への影響を明らかにする。そこで、図 13 中 A: 緩やかなカーブ, B: 平坦な道, C: 坂道, D: カーブのある坂道 と異なる環境を計測地点に選んだ。4 台のスマートフォンを各計測地点の沿道に 1 台ずつ配置し、計測を行った。また、先導バイク 3 台と回収車 1 台にスマートフォンを配布し、周回回数の真値とするために、対象選手が通過した時に手入力で選手名を記録した。

ビーコンおよびスタッフ用のスマートフォンは前回と同様の位置に配置し、3 名の選手を検出対象とした。

5.2.2 結果と考察

各位置に 1 台ずつスマートフォンを設置した結果、すべての地点において取り漏らすことなく沿道から検出することが出来た。図 13 に選手 B の D 地点における各周回の検出開始地点(図中上部)と検出終了地点(図中下部)をそれぞれ示している。表 2 に各地点での検出開始地点から検出終了までの間の時間、距離、受信回数の平均を示す。受信距離は、C 地点において最長となっている。これは C

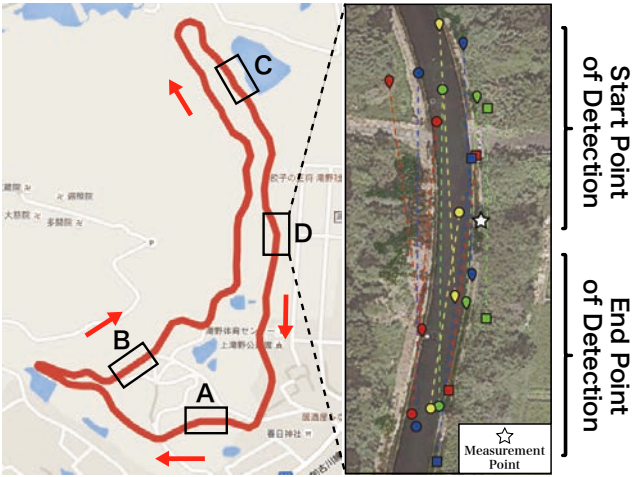


図 13 実験コース：サマーエンデューロード in はりちゅう
Fig. 13 Experiment course : Summer enduroad in Harichu

表 2 各地点における連続受信時間，受信距離，受信回数
Table 2 Continuous Detection Time, Detection Range,
Number of Detection at each point

Measurement Position	A	B	C	D
Received Distance[m]	48.7	55.9	70.0	48.1
Continuous Detection Time[s]	7.0	7.8	5.4	3.1
Number of Detection	39	42	35	24

地点が長い直線の坂道の間地点に位置していたため，電波の遮蔽が少なかったためであると考えられる．一方，D 地点において受信距離は最短となった．これは，緩やかなカーブかつ坂道の出口付近であったためであると考えられる．他の選手においても同様の結果が得られた．

図 14 に選手 B が 2 時間の走行中に先導バイクからの検出された場所を示す．レース開始直後は，先導バイクと選手間の距離が近く連続的に検出されているが，それ以降は部分的にのみ検出されている．本実験コースの特徴として，坂道が多く見通しが悪かったことがあげられる．これらの要因から，安全面に配慮し，先導バイクと競技者間の距離が比較的広くなり，先導バイクでの検出回数が少なくなったと考えられる．また，ビーコンの指向性により電波遮蔽が頻繁に起こったと考えられる．

6. おわりに

本研究では，自転車レース競技において競技者の負担を軽減した上で位置情報共有サービスを実現するために，小型 BLE ビーコンとスマートフォンを用いた参加型位置共有システムを提案し実装した．提案システムの有用性を確かめるために，まず自転車に取り付けられた高速で移動するビーコンから発信される電波を沿道に配置したスマートフォンから検出可能であることを実験から明らかにした．また，実験を繰り返すことによりビーコンの指向性，最大受信距離，距離と受信強度の相関関係および地形や環境によ



図 14 先導車から選手 B のビーコンを受信した位置
Fig. 14 Beacons detected by smartphone
from leadcar (PlayerB)

る電波遮蔽など電波受信に関する基礎特性を明らかにした．さらに，実際の自転車レースにおいて本システムの実証実験を行い，有用性を示した．加えて，今回の結果から本システムは沿道の観客が多ければ常に選手の位置を検出できるため，ビーコンを更に小型化することで，駅伝やマラソンなどにも応用できることが分かった．

今後の課題として，電波を受信した際の表示方法に関するアルゴリズムを検討する．また，今後実用化に向けてビーコンの改良を進める．更に，予めコースが決まっていることを想定しているため，初めに位置情報の真値を用意し計測中リアルタイムでマップマッチングすることでより精度良い測定，提示が行えると考えている．

謝辞 本研究を実現するにあたり，シャープ株式会社の西岡氏，相曽氏，森長氏，久保氏，株式会社マトリックスの大鳥居氏，TEAM MATRIX POWERTAG の安原監督，真鍋選手，向川選手，永良選手，田窪選手，橋本選手，金子選手，NAIST ユビキタスコンピューティングシステム研究室の藤原氏，日高氏，音田氏，木戸氏，梅木氏，森田氏，千住氏，荒川氏，前田氏，小芝氏，水本氏にご協力いただいた．ここに謝意を示す．

参考文献

- [1] 佐藤永欣，佐々木毅，浅沼和彦，檜山稔，猿舘貢：自転車競技のためのオープンなセンサ統合情報プラットフォームの提案，マルチメディアと分散処理ワークショップ (2015)
- [2] Aaron M Bisberg, "Bicycle training device for simulating the movement of a bicycle equipped with gears", US Patent, US3903613 A(1974)
- [3] 佐藤智美，小宮山哲，下田雅彦，劉渤江，横田一正：Bluetooth の電波強度を用いた位置推定方式の検討，DEIM Forum 2011 B9-4 (2011)
- [4] 日坂翔馬，三浦俊祐，上條俊介：実交差点における受信電波強度 (RSSI) を用いた移動物体検知，J-stage 生産研究，66 巻 2 号，pp.77-83(2014)
- [5] 渡辺雄太，松本倫子，吉田紀彦：無線モバイル端末の Wi-Fi Direct による電波強度を用いた位置推定，情報処理学会第 75 回全国大会，1W-2(2013)