

自転車競技向け参加型位置共有システムにおける BLE ビーコンの出力変化による捕捉率の影響

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 安本 慶一¹

概要 :

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が、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。我々はこれまでに、上記の問題を解決するため自転車に取り付けた BLE ビーコンと観客や先導バイクの所有するスマートフォンを利用した参加型位置共有システムを提案し、本システムにより選手位置を最大誤差 35.4 m 程度で捕捉できることがわかった。しかしながら、地形の変化により電波が遮断され選手位置の捕捉率が低下するなどといった課題が残されていた。そこで、BLE ビーコンに改良を加え、より小型化しかつ-1.3 dBm から 3.0 dBm へと出力を変更した結果、大幅に捕捉率が上昇し、平均捕捉率が従来のビーコンを用いるのに比べて 2.5 倍以上上昇することがわかった。

Effect on tracking coverage of high power BLE beacon in participatory position sharing system for bicycling sports

KAWANAKA SHOGO^{1,a)} TAKAHASHI YUTA¹ AMENOMORI CHISYU¹ FUJIMOTO MANATO¹
ARAKAWA YUTAKA¹ YASUMOTO KEIICHI¹

1. はじめに

自転車競技やマラソンなどに代表とされる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注目されている。代表的なサービスとして、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制が比較的ゆるく無線機器やセンサの使用が認められている。しかし、プロチームや実業団チームが参加する公式レースの多くは、

公平性を保つために、スマートフォンなどの双方向通信機器の使用が禁止されている。また、車体重量の増加は長距離を走行するほど選手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をそのまま公式レースに適用することが難しい。

我々はこれまで上記の問題を解決するために、自転車に取り付けた Bluetooth Low Energy ビーコン（以下、BLE ビーコン）と観客や先導バイクの所有するスマートフォンを利用した参加型位置共有システムを提案し、模擬フィールド実験や実際の自転車レースにおける実験などを重ねた結果、最大受信距離や地形と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などを明らかにした [3]。しかし、坂道や曲がり角と行った環境では、電波遮断が発生し位置を捕捉できず、コース環境によって選手位置の捕捉率が低下してしまうことや、今後

¹ 奈良先端科学技術大学院大学
8916-5, Takayama-cho, Ikoma-shi, Nara 630-0192, Japan

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

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

実用化していくためにはサイズが大きすぎるといった問題があった。

本稿では前述した問題を解決するために、BLE ビーコンに改良を加えた上で新たに実験を行い、BLE ビーコンの出力変化による捕捉率の系全効果を調査した結果を報告する。具体的には、BLE ビーコンを小型化し、電波強度を -1.3 dBm から 3.0 dBm へ変更を行った。その結果、最大受信距離は 87 m から 180 m まで伸張され、実証実験では、鈴鹿サーキット（全長 5.807 km）におけるコース中の選手位置の捕捉率が 36 % から最大 91 % まで向上することが分かった。

以降、2章で本研究に関連する研究について述べ、3章で参加型位置共有システムについて説明する。そして、4章で改良したビーコンの基礎特性実験を、5章で実環境における実証実験について示し、最後に6章でまとめる。

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があげられる^{*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、一定間隔で選手の位置情報を取得し、受信機へデータを送信している。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。本体の大きさは、横 36 mm × 縦 45 mm × 奥行 17 mm で質量が 22 g と小型かつ軽量で、サドル下部分に装着可能な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り、受信するための回収車などを多数配置する必要がある。そのため、小規模の大会では導入が難しく、現在は世界最大の自転車ロードレースであるツールドフランスでのみ導入されている。

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}。本体の大きさは、横 33 mm × 縦 37 mm × 奥行 16 mm で質量が 16 g と軽量かつ小型で自転車に取り付けることが可能である。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。また、通信プロトコルにはRFIDが用いられているため、検知エリアに専用受信機を設置する必要がある。

^{*2} <http://www.hikob.com>

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

一般のサイクリングや自転車イベントで利用できる位置共有サービスとしてスマココがあげられる。スマココは、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3GやLTE回線を用いて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る。スマココを導入している自転車イベントにおいては、観客がいつでも招待選手の位置を把握できるサービスが提供されている。しかし、スマートフォンは大きさおよび重量が一般的な自転車向けセンサに比べて大きく自転車に取り付けることが難しいため、競技者が常に所持する必要があり負担となる。加えて、公式レースでは規定としてスマートフォンの使用が禁止されているため、本サービスを使用することはできない。

2.2 関連研究

次に、Bluetoothやビーコンを用いた位置推定に関する先行研究を紹介する。まず、佐藤ら[4]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、 $3\sim 8$ 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長時間に渡るデータ取得が必要であるといった課題がある。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[5]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電力使用量について考慮されていないことから軽量化を図りたい自転車競技には向いていない。

渡部ら[6]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る。導入には時間が掛かることや、端末としてスマートフォンを用いていることから自転車競技には不向きである。

Xiaoら[7]は、ビーコンの移動パターンを3種類に分類し、パターンごとにビーコンの位置を複数のセンサノードから推定する手法が提案している。屋外の伝送が不安定でビーコン電波の欠落が発生した場合であっても小さな誤差で推定することが可能であるが、高速かつ広域を移動する自転車競技を対象とする本研究ではそのまま用いることはできない。

山野ら[8]は、屋外においてスマートフォンを利用し、BLEビーコンを持った歩行者の位置を検出する手法を提

案している。あらかじめ RSSI 値の分布を測定しておくことで確率的に距離推定を行うが、秒速 1 m で移動する歩行者を対象としているため、高速に移動する自転車レースを対象する本研究とは対象が異なる。

Versichele ら [9] は、自転車レースにおける観客の混雑度合いを推定する手法を提案している。レースコース内を走行する自動車で観客のスマートフォンが発する Bluetooth の電波を受信することで、沿道に居る観客数を推定する。不特定多数の観客に対してコース内を走行する自動車からその数と大まかな位置の推定を対象としているため、不特定多数の観客が特定の選手の位置を推定することを対象とする本研究にはそのまま用いることができない。

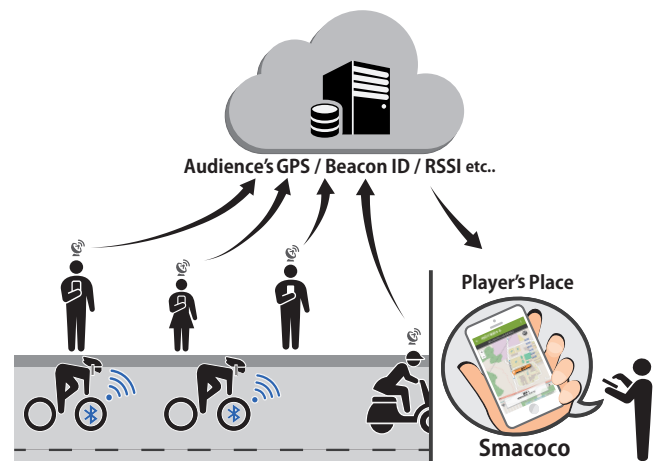


図 1: システムの概要

2.3 残された課題と本研究の貢献

我々はこれまでにスマートフォンなどの通信機器が持ち込み不可能な自転車競技向けに BLE ビーコンを利用して選手の位置を観客にリアルタイムに共有するシステムの提案を行ってきている [3]。既存製品である HIKOB FOX や RaceTag9、スマココが課題とするシステムの規模による導入のしづらさやサイズ・重量などの点で課題を解決することができたが、BLE ビーコンを検知するスマートフォンの数の増減による選手位置の捕捉率への影響は言及されていない。また、地形の変化により電波が遮蔽され、BLE ビーコンの位置が捕捉されない状況があることもわかっている。位置の捕捉は BLE ビーコンから発信される電波をスマートフォンで受信することで行っているため、BLE ビーコン電波出力を変化させることでその伝搬距離が変化し、前述した課題を解決できる可能性がある。

本研究では、小型 BLE ビーコンと観客のスマートフォンを用いた参加型位置共有システムを用いて、BLE ビーコンの出力を変化させた際の選手の捕捉率の変化に関する実験を行い評価する。次章にて、提案システムの詳細を述べる。

3. 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、競技者が所持する BLE ビーコン、BLE ビーコンからの信号を受信し競技者の位置情報の確認を行うための観客のスマートフォン、競技者の位置の共有を行うサーバから構成される。競技者は、BLE ビーコンを所持した状態でレースに参加する。競技者が観客に接近すると、競技者の BLE ビーコンの信号が観客のスマートフォンで検出される。このときのスマートフォンの位置は、競技者と近い位置にあるため、競技者の位置とすることができる。そのため、本システムでは、スマートフォンの位置情報と競技者の情報をサーバに送信することで、競技者側にスマートフォンのようなデバイスを取り付けることなく位置情報を

共有できる。

実際にスマートフォンがサーバに送信するデータは、GPS 情報と BLE ビーコンの情報の 2 種類である。GPS 情報には、緯度、経度、高度、位置の精度、速度が含まれ、BLE ビーコンの情報には、受信した BLE ビーコンの ID、RSSI、信号を受信した時間が含まれる。そして、サーバでは、観客のスマートフォンから競技者の位置情報を収集し、他のスマートフォンへ共有を行う。あらかじめ BLE ビーコンの ID と競技者を結びつけておくことで、スマートフォンから送信される BLE ビーコンの情報から競技者を特定できる。このようにして、観客はスマートフォンで競技者の位置情報をリアルタイムに確認できる。スマートフォンがサーバへデータを送信する間隔は最短で 2 秒に、位置表示の更新間隔は最短で 5 秒に設定できる。

3.2 BLE ビーコン

本システムで使用するビーコンの通信規格は BLE を採用している。BLE を採用した理由として、消費電力が低いこととほとんどのスマートフォンで受信が可能ながあげられる。消費電力が低いため、小型のバッテリーを用いても長時間の動作が保証され、本体を小型・軽量化ができる。これにより、自転車に取り付けたり、競技者が所持することが容易となる。

図 2 に使用した BLE ビーコンを示す。本研究では、送信電力の異なる 2 台の BLE ビーコンを用いて検証を行った。2 つの BLE ビーコンの大きな違いは、送信電力である。(b) の BLE ビーコンの送信電力 (3.0 dBm) は、(a) の BLE ビーコンの送信電力 (-1.3 dBm) より約 2.7 倍大きい。これまでの調査では、(a) の BLE ビーコンを用いていたが、実際のレースでの検証の結果、地形の変化による電波遮蔽により選手位置の捕捉率が低下したため、本研究から改良を加えて送信電力が大きく小型化された (b) の BLE ビーコンも使用することにした。どちらの BLE ビーコンもアドバタイズメントパケットを 10 Hz で送信する。

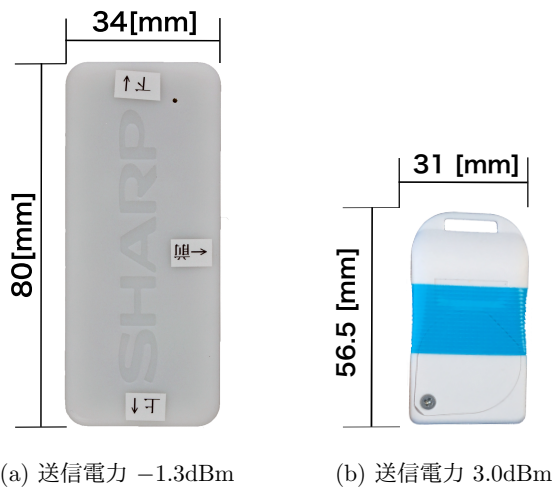


図 2: 実験で使用する BLE ビーコン

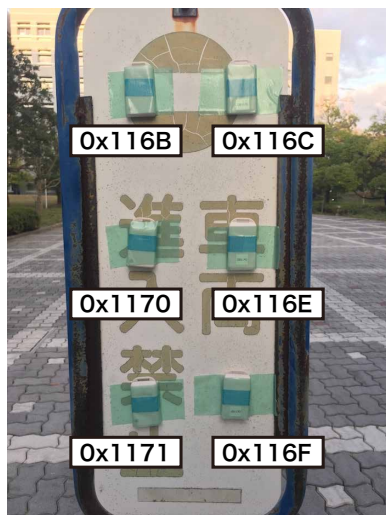


図 3: 基礎実験における BLE ビーコンの設置方法

4. 改良したビーコンの基礎特性実験

今回用いる改良を加えた BLE ビーコンの基礎特性を明らかにするため、基礎特性実験を行った。

4.1 実験内容

本実験は、人通りがなく比較的障害物の少ない奈良先端科学技術大学院大学校内において行った。BLE ビーコンは、3.2 節で述べた改良を加えた BLE ビーコンを 6 つ使い、図 3 に示すように固定した。使用したビーコンは回路実装の関係により、背面側から比較的強く電波が発信されると考えたため、ビーコンの設置方法により差異が生じるかを確認する目的で図中左側 3 つは裏を、右側 3 つは表が正面になるように固定した。受信側のスマートフォンには、Nexus6 (モトローラ社製, XT1100, AndroidOS6.0) を用い、BLE の受信強度測定用の Android アプリケーションを用いて測定した。ビーコンを設置した場所からスマートフォンを 5 m から 50 m までは 5 m ずつ、50 m から 100

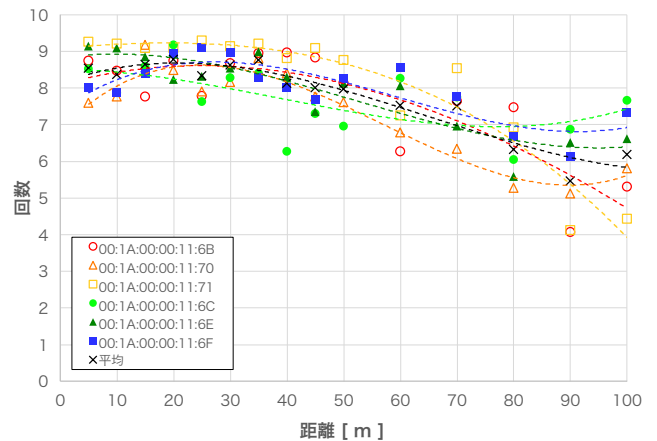


図 4: 各距離における平均受信回数

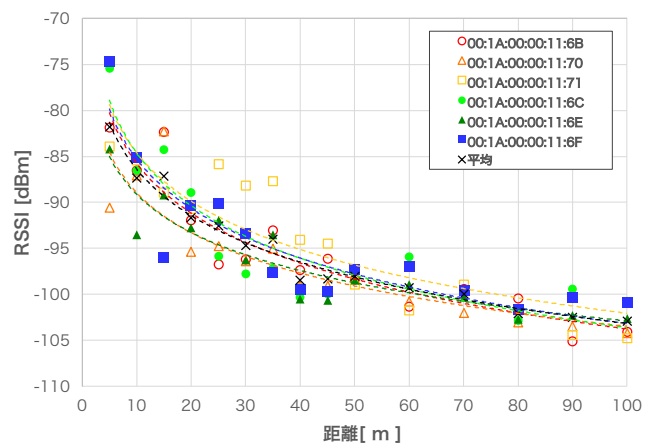


図 5: 各距離における平均 RSSI

m までは 10 m ずつ移動させ、各距離で 100 秒間 (1000 出力パケット分) BLE からの出力電波を取得した。その後、最大受信距離を調べるため、100 m 以降最終的に受信できない地点まで徐々に距離をとりながら計測を行った。この時、スマートフォンは人が地上から約 1 m の位置に手で持ったまま静止している状態で実験を行った。

4.2 実験結果と考察

図 4, 図 5 に各距離で取得した平均受信回数と RSSI を示す。各プロットの色と対応した破線は近似曲線を示しており、図 4 では 3 次多項式近似を、図 5 では対数近似を用いている。どちらの結果も、減衰曲線の傾向は同様であるもののビーコン間で個体差が大きい。しかし、BLE ビーコンの裏表による変化はあまり見受けられないため、設置方向による影響はないと考えられる。図 4 の結果から、距離に対する受信回数の減衰傾向として、40 m までは変化が少なく 40 m 以降から比較的大きく減衰していることが分かる。一方、図 5 から RSSI の減衰傾向を見てみると、40 m 程度まで急激に変化し、40 m 以降から変化が小さくなっている。次に、最大受信距離を調べたところ 180 m であった。これは、従来のビーコンの最大受信距離 87 m の

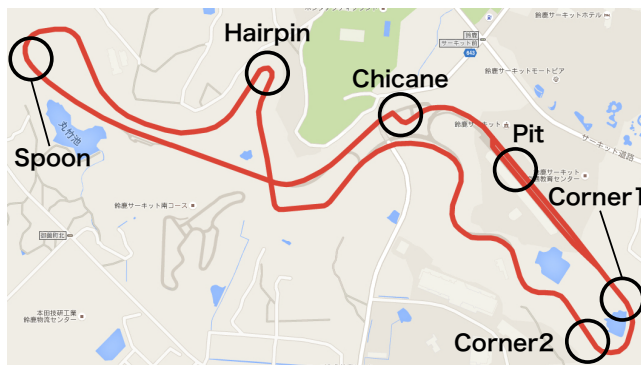


図 6: 実験コース・大会スタッフ配置位置

表 1: 各選手に取り付けたビーコンと取り付け位置の対応

選手	ビーコンの種類	取り付け位置
A	新ビーコン	左
B	新ビーコン	左
C	新ビーコン	左
D	新ビーコン	右
E	旧ビーコン	右

約 2.1 倍にあたる。この結果から、本研究で用いる BLE ビーコンの出力を 2.7 倍にすることで、電波伝搬距離が約 2.1 倍になることが分かった。

5. 実環境における実証実験

本実験は、実際の自転車レースにおいて先導バイクや点在する観客、大会に参加している一般参加者が選手位置を捕捉するための観測地点となった場合に、従来の BLE ビーコンおよび改良を加えた BLE ビーコンそれぞれがどの程度選手位置を捕捉出来るかを目的とする。そこで、2016 年 11 月 12 日に実施された「第 17 回スズカ 8 時間エンデューロ 秋 SP *4」にて実証実験を行った。本大会は、一般参加者 6000 人強、招待選手 23 名が参加する規模の大会である。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。

特徴として、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。また、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。実験を行うにあたり、先導バイク 3 台、観客を想定した大会スタッフ 6 名、MatrixPowerTag の選手 5 名に協力を依頼した。また、観測地点となる一般参加者として奈良先端大学院大学から 1 チームが大会に参加した。

5.1 実験内容

図 6 に今回の実験で使用したコースと観客を想定した大会スタッフの配置を示す。図中丸印で囲っている 6 箇所はスタッフを配置した場所を示している。先導バイク 3

*4 http://suzuka8h.powertag.jp/2016/autumn_top.html

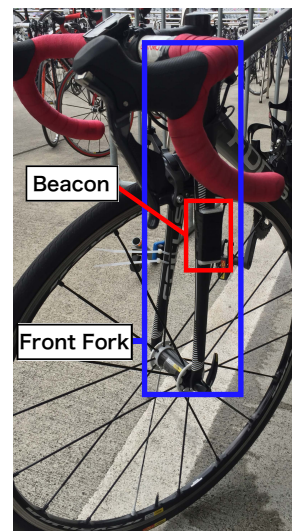


図 7: ビーコン取り付け位置

台、大会スタッフ 6 名にスマートフォンを配布し、通過する自転車に取り付けられた BLE ビーコンの観測地点とした。この時、先導バイクではズボンのポケットに、観測地点 Spoon では付近に駐車している車内に、それ以外の観測地点ではスマートフォンをポーチに入れて腰に着用した状態で所持させた。加えて、自転車レースに一般参加者として参加した奈良先端大学院大学チームの自転車のサドル下にもポーチに入れたスマートフォンを取り付けて観測地点とした。スタート地点となっている観測地点 Pit では、選手の周回回数の真値を得るために、沿道側で対象の自転車が通過した時に、選手名を手作業で記録した。

図 7 に BLE 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、沿道で BLE ビーコンから発信される電波を受信することを考慮して自転車のフロントフォークに取り付けた。今回検出対象とした 5 名の選手と取り付けした BLE ビーコンの種類、左右どちらのフロントフォークに取り付けたかを表 1 に示す。ここで、取り付け位置が左右で異なっているのは、各選手が自身で利用するセンサー類を元々自転車へ取り付けしていたことに影響したためである。

以上の条件で選手や先導バイク、一般参加者には通常通り走行してもらい、沿道スタッフには通常通り各地点において運営業務を行ってもらった。本実験は、大会が行われた 8 時から 16 時までの合計 8 時間行った。

5.2 評価指標

本実験により得られたデータから、BLE ビーコンの出力変化による捕捉率の影響を評価するための指標を述べる。次節第 1 項では、沿道に配置した観客からのビーコン検出回数について考察を行う。選手が各観測地点を通過する際に、各観測地点の観客から BLE ビーコンの信号を 1 パケット以上検出できた時を 1 回と換算し、各選手、各周回にお

いて検出できたかを求める。その検出回数と手作業で記録した選手の正解周回数とを比較して評価を行う。

第2項では、各選手・各観測地点の組み合わせにおける最大、最小、平均捕捉率を算出し、その結果を考察する。観測地点の組み合わせは、観客のみ、先導バイクのみ、参加者のみ、先導バイクと参加者、観客と先導バイク、観客と先導バイクと参加者とした。また、捕捉率は式(1)で示すように各周回における総捕捉距離をコース全長で割った値の百分率を表している。

$$\text{捕捉率} [\%] = \frac{\text{総連続捕捉距離} [\text{m}]}{\text{コース全長} [\text{m}]} \times 100 \quad (1)$$

式(1)中の総連続捕捉距離は、同一観測者が連続的に受信し2点区間距離が50m以下の時の総和距離としている。ここで、2点区間距離を50m以下としている理由は以下の通りである。プロ選手はレース中最高時速80km程度で走行することがあり、秒速換算すると22.2m/sとなる。本システムでは、位置情報や電波情報が2秒ごとにサーバへ送信されるため、2秒間で最大約50mまで移動すると考えられ、50mを閾値とした。

5.3 実験結果と考察

5.3.1 観客からのビーコン検出回数

表2に、各選手を各観客の観測地点で検出した回数と正解周回数を示す。改良を加えたBLEビーコンを取り付けたA～Dの選手については、SpoonとCorner2以外で平均約92.5%の確率で、周回してくる各選手の自転車に取り付けられたBLEビーコンの電波を沿道から受信できた。一方で、従来のBLEビーコンでは約77.3%の確率で受信できた。観測地点Spoonにおいては、どの選手も検出回数が低下している。これは、受信側のスタッフが所持していたスマートフォンのアプリケーションが正常に作動していなかったため、開始から1時間の間、BLEビーコンの電波を受信できなかったことに起因している。そのため、平均8周程度少ない値となっているが、上記の理由を考慮することで他の地点と同様の検出率が得られると考えられる。一方、観測地点Corner2ではアプリケーションは正常に動作していたものの、本実験中一度も受信することができなかった。Corner2の特徴として、曲道かつ長い坂の出口付近となっているため、自転車の速度が非常に早くなる上に直進走行しておらず、BLEビーコンから発信される電波が多方向に発散してしまい、受信できなかったと考えられる。

5.3.2 コース中捕捉率

表3に各選手・各観測地点の組み合わせによる最大、最小、平均捕捉率を示す。まず、改良を加えたビーコンを取り付けた選手A～Dの結果について考察する。表3の結果から先導バイクが最も捕捉率を上昇させるのに貢献していることが分かる。先導バイクは、レース中常時2台また

表2: 各選手の各観客観測地点での検出回数と正解周回数

観測地点	選手				
	A	B	C	D	E
Pit	32	45	42	40	42
Chicane	31	44	42	39	33
Spoon	29	37	35	34	27
HairPin	29	40	41	40	33
Corner2	0	0	0	0	0
Corner1	28	40	40	39	34
正解周回数	33	47	43	41	46

は3台走行していた。そのうち、1台は先頭集団の付近を走行し、その他の先導バイクは第二集団ないし第三集団付近を走行していた。また、本大会において招待選手は一般参加者のペースメーカー的立場で参加していたため、いずれかの集団に属していたことが推察される。その結果、先導バイクから検出される確率が高くなり、先導バイクのみで、選手4人の最大捕捉率の平均が78.0%、平均捕捉率の平均が27.6%得られている。参加者を観測地点とした場合も同様に、選手付近を継続的に走行していた場合は最大22.4%の捕捉率が得られた。しかしながら、先導バイクや参加者は観測地点も捕捉対象となる選手も双方が移動しているため、お互いに全くすれ違わない場合には、0%に近い捕捉率となっている。そのため、先導バイク+参加者の場合においても最大捕捉率は平均で78.4%と8割程度網羅できているのに対して、平均捕捉率では28.3%まで低下している。

一方で観客の結果を見てみると、本実験では各人が常時所定の場所についていたため、全長5.807kmに6名(Corner2では検出できていなかったため実質5名)を配置した場合でも最低でも2.9%が保証され、平均6.9%の捕捉率が得られることが分かった。すなわち、観客一人あたりの捕捉率は平均で1.2%程度となり、本大会のコースにおいては約73人の観客がコース沿道で均等に存在した場合、観客のみでコース全域の選手位置を概ね捕捉できると考えられる。最後に、観客+先導バイク+参加者の場合では、4人の最大捕捉率の平均が83.7%、最小捕捉率の平均が5.8%、平均捕捉率の平均が34.9%となった。高い捕捉率を得ている周回は、先導バイクからの検出に依存しているものの、最低捕捉率は観客のみで2.9%以上得られるため先導バイクや参加者のみの時のように0%になることはなく、6%程度得られている。図8に、本実験中で捕捉率が最大であった選手C、観測地点：観客+先導バイク+参加者の場合の結果のプロットを示す。

次に、従来のBLEビーコンを取り付けた選手Eの結果について考察し、改良を加えたBLEビーコンを用いた時に得られた結果と比較する。従来のBLEビーコンにおいても同様の傾向が得られており、先導バイクが最も捕捉率

表 3: 各選手の各観測地点の組み合わせによる捕捉率

選手	捕捉率	観測地点					
		観客			先導バイク		観客
		観客	先導バイク	参加者	参加者	先導バイク	参加者
A	最大 [%]	14.6	61.5	22.4	62.6	64.4	69.8
	最小 [%]	2.9	0.4	0	0.4	4.7	4.7
	平均 [%]	7.4	15.6	2.0	16.9	21.7	23.1
B	最大 [%]	10.7	82.4	3.9	82.4	88.3	88.3
	最小 [%]	3.0	0	0	0	4.1	4.1
	平均 [%]	6.8	33.8	0.5	34.3	40.6	41.1
C	最大 [%]	12.8	86.6	9.4	86.6	91.0	91.0
	最小 [%]	2.9	0.3	0	0.3	7.3	7.3
	平均 [%]	7.2	27.7	1.4	28.7	35.0	35.9
D	最大 [%]	9.6	81.3	8.6	82.1	84.9	85.7
	最小 [%]	3.0	0.2	0	0	6.9	6.9
	平均 [%]	6.3	33.4	1.0	33.3	38.8	39.6
E	最大 [%]	7.1	32.3	3.8	32.3	37.0	37.0
	最小 [%]	0.7	0	0	0	0.9	1.6
	平均 [%]	2.9	5.2	0.5	5.6	7.9	8.4

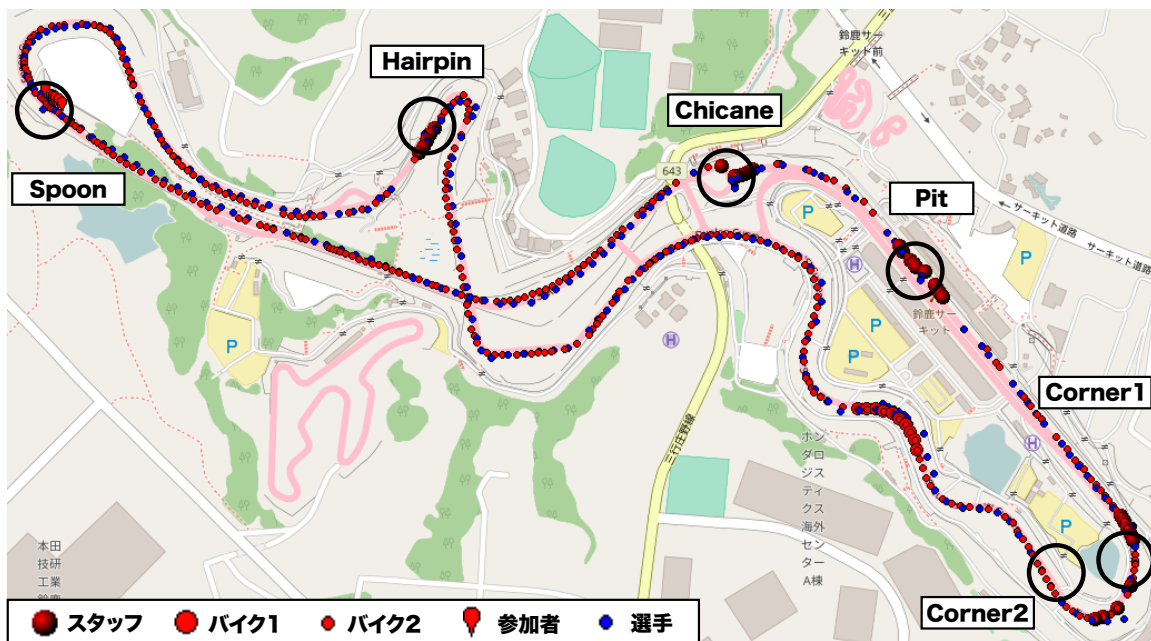


図 8: 選手 C, 観測地点: 観客+先導バイク+参加者 でコース内捕捉率が最大時 (91%) のプロット

上昇に貢献している。捕捉率を見てみると、同様に先導バイクにおいて変化が顕著に現れており、最大捕捉率において 2.4 倍程度、平均捕捉率において 5 倍程度増加している。これらの結果から、ビーコンの出力を -1.3 dBm から 3.0 dBm に変更したことで捕捉率が大幅に上昇することが分かった。

6. おわりに

本研究では、我々がこれまでに提案してきた自転車競技向け参加型位置共有システムでは、地形の変化により電波

の遮蔽が生じ、選手位置の捕捉率が低下してしまうことや、ビーコンを検知するスマートフォン数の増減による選手位置の捕捉率への影響を言及していなかったことが課題としてあげられていた。これらの課題は、BLE ビーコンの出力を増加させることで伝搬距離も伸張し解決できると考えた。そこで、BLE ビーコンに改良を加え、送信電力を -1.3 dBm から 3.0 dBm に変更し小型化を行った。

改良を加えた BLE ビーコンを用いて基礎特性実験を行った結果、各 BLE ビーコンの個体差はあるものの同様の減衰傾向が得られた。また、最大で約 180 m 離れた地点まで

信号を受信でき、従来の BLE ビーコンと比べて伝搬距離が約 2.1 倍になることが分かった。加えて、2016 年 11 月に実施された「第 17 回スズカ 8 時間エンデューロ 秋 SP」において実証実験を行った。その結果、従来の BLE ビーコンを用いた場合と比較して、先導バイクを観測地点としたときに平均捕捉率が 5 倍程度増加し、BLE ビーコンの送信電力を -1.3 dBm から 3.0 dBm に変更することで、選手位置の捕捉率が大幅に上昇することが分かった。また、観客を観測地点とした時、一人あたりから平均 1.2 % の捕捉率が得られることが分かった。この結果、本大会コースにおいて 73 名の観客がコース沿道に均等に存在する場合、観客のみでコース全域の選手位置を概ね捕捉できると考えられる。

一方で、先導バイクや参加者を観測地点とした時に、観測対象となる選手と双方が移動することとなり、全くすれ違わなかった場合は、0 % に近い捕捉率となった。そこで、今後の課題として一定の捕捉率を確保するために、先導バイクと選手がすれ違うチャンスレートを考慮し、それぞれの観測地点をどのような配置とする必要があるか検討が可能なシミュレーションを行う予定である。

謝辞 本研究を実現するにあたり、シャープ株式会社の福島氏、西岡氏、相層氏、森長氏、久保氏、岩崎氏、株式会社マトリクスの大鳥居氏、TEAM MATRIX POWERTAG の安原監督、真鍋選手、向川選手、佐野選手、土井選手、秋丸選手、西村選手、笥選手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 論文集, 2015 巻, 5 号, pp.273-278(2015).
- [2] Aaron M Bisberg: Bicycle training device for simulating the movement of a bicycle equipped with gears, US Patent, US3903613 A(1974).
- [3] 河中祥吾, 高橋雄太, 雨森千周, 藤本まなと, 荒川豊, 藤原晶, 松原敬信. 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. 第 17 回コンシューマ・デバイス&システム研究会 (CDS), 2016-CDS-017 巻, 6 号, pp.1-8(2016).
- [4] 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).
- [5] 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).
- [6] 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).
- [7] Xiao, Bin, Hekang Chen, Shuigeng Zhou: Distributed localization using a moving beacon in wireless sensor networks: IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems, Vol.19, No.5, pp.587-600(2008).
- [8] 山野太靖, 白松俊, 岩田彰, 永井明彦, クレマウリシオ: 高齢者徘徊見守りシステムのための Bluetooth と GPS を併用した位置推定手法: 情報処理学会第 78 回全国大会講演論文集, 2016 巻, 1 号, pp.995-996(2016).
- [9] Mathias Versichele, Tijs Neutens, Stephanie Goudeseune, Frederik van Bossche, Nico van de Weghe: Mobile Mapping of Sporting Event Spectators Using Bluetooth Sensors: Tour of Flanders 2011, Sensors 2012, Vol.12, No.10, pp.14196-14213(2012).