BLE ビーコンを用いて物理空間とサンドボックスゲームを接続するシステムの開発

Development of a System for Connecting Physical Spaces and Sandbox Games Using BLE Beacons

中山 貴博 *，湯村 翼 *
Takahiro NAKAYAMA*, Tsubasa YUMURA*
* 北海道情報大学　Hokkaido Informaton University

Keywords： Bluetooth Low Energy, サンドボックスゲーム

1. は　じ　め　に

Bluetooth は近距離無線通信規格の一つであり，ワイヤレスイヤホンや忘れ物防止タグなど，日常生活における多様な機器に広く利用されている．Bluetooth の仕様には，低消費電力通信を目的とした Bluetooth Low Energy（BLE）が含まれており，小容量データの断続的な送受信に適した特性を有する．この BLE を用いて電波を周期的に発信する機器は，BLE ビーコンと呼ばれる．BLE ビーコンは，忘れ物防止タグのような個人向け用途に加え，Global Navigation Satellite System (GNSS) の電波が届かない屋内環境におけるナビゲーションや位置連動型サービスなどで活用されてきた．これらの応用では，ビーコンの検出や受信強度をもとに，利用者に対して位置情報や案内情報を提示することが主な目的とされている．また，BLE ビーコンが発する電波を活用したエンターテインメントへの応用も提案されており，スタンプラリー[(1)]がその一例である．

BLE ビーコンにより，電波強度およびそれから推測できる位置情報という物理的な情報を，コンピュータで扱うことができるようになった．しかし，その活用は特定アプリケーションでの利用にとどまっている．もし，物理空間に存在する BLE ビーコンの情報をサイバー空間へ反映できれば，物理世界とサイバー世界を横断する新たな体験設計が可能になると考えられる．

サンドボックスゲームは，ユーザが自由に空間を探索し，構造物などをつくっていく，非常に自由度が高いプラットフォームである．その代表的なタイトルである Minecraft は，世界的な人気を博す．このようなサンドボックスゲームにおいて，物理空間の情報である BLE ビーコンの情報を活用できれば，新たな楽しみ方を提示できる．

そこで本研究では，BLE ビーコンを用いて物理世界の情報を取得し，それをサンドボックスゲームに反映することで，物理空間とサイバー空間を接続するシステムを提案する．本システムにより，物理空間での移動や探索といった行動が，サイバー空間に影響を与える．従来の BLE ビーコン利用とは異なるエンターテインメント体験の実現を目指す．

2. 関　連　研　究

BLE ビーコンを利用した博物館ガイドシステムの開発

平澤ら[(2)]は，BLE ビーコンを活用し，博物館の利用者を経路誘導を目的としたシステムの開発を行った．論文では，システムの今後の活用方法等が示されていた．本研究では，BLE ビーコンをインタラクティブかつ楽しめる目的で扱う．そのため，この論文とは使用目的が異なる．

BLE デバイスを用いたリアルタイムなユーザ追跡システム

國廣ら[(3)]は BLE デバイスを活用したリアルタイム追跡システムの開発を行う．本研究では，特定のデバイスをビーコンとして利用すると同時に，エンターテインメント目的の利用を行う．よってこの論文とは使用目的が異なる．

3. シ ス テ ム 設 計

3·1　概要

本システムは，物理空間における BLE ビーコンの電波状態を取得し，その情報をサイバー空間上の仮想環境へ反映することで，物理空間とサイバー空間が連動する宝探し体験を実現することを目的として設計した．システム設計を Fig.1 に示す．

本研究では，サンドボックスゲームとして Minetest Game[(4)]を用いる（Fig.2）．Minetest Game は，オープン

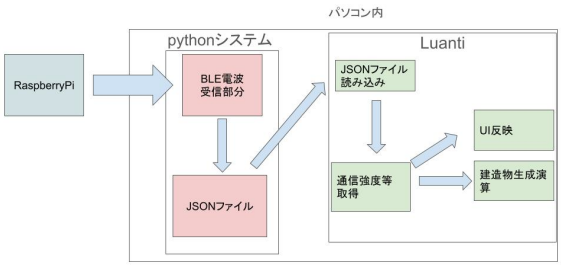


Fig. 1　システムの構成概要図

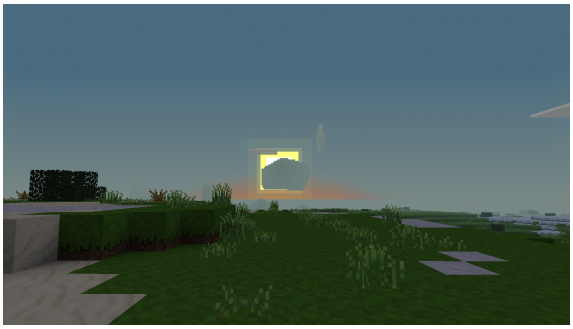


Fig. 2　Minetest Game の画面

ソースのサンドボックスゲームエンジン Luanti[5]に付属する，Minecraft ライクゲームである．

BLE ビーコンが送信した電波は，Minetest Game が稼働する PC が受信し，その電波強度 (Received Signal Strength Indicator:RSSI) をゲーム空間で活用する（Fig. 3）．

3·2　BLE ビーコンの設計

本システムで用いる BLE ビーコンは，識別情報が不変である必要がある．しかし，一般的な BLE 機器では，プライバシー保護の観点から，UUID が省略されていたり，MAC アドレスがランダム化されている場合が多い．そこで，本研究では，BLE ビーコンとして Raspberry Pi を使用する．Raspberry Pi において電波の表示名が設定可能であることに着目し，これを識別情報として利用する．これにより，複数の BLE ビーコンが存在する環境においても，本システムで利用する電波が識別可能となる．

Raspberry Pi は，Operating System (OS) 起動時に自動的に BLE アドバタイズを開始するよう設定した．また，OS 起動後，コンソールで起動する Python のシステムを用意した．

3·3　電波取得とデータ保存

電波の取得及び，解析部分では，PC 上で動作する Python プログラムを用いて周囲の BLE 電波を定期的にスキャンし，受信した電波情報を解析する．これを実装するために，Python のライブラリである Bleak[6]を使用する．取得対象は RSSI，デバイス名，UUID などとし，その中から本システムで必要となる情報のみを抽出する．

抽出したデータは，Minetest Game で扱いやすいて JSON 形式のファイルに保存する．この際，電波ごとに情報を整理し，最新の受信状態を反映する構造とした．これにより，物理空間における電波状況を一度データとして保存し，Minetest Game 側が直接 BLE 通信を行わずに済む構成を実現している．また，データ取得とゲーム空間処理を分離することで，Minetest Game 以外の仮想環境へも応用可能な構成としている．

Minetest Game 上では，Lua による Mod を用いて JSON ファイルを読み込み，解析層で取得した電波情報をゲーム空間へ反映する．Mod は一定間隔で JSON ファイルを参照し，記録されている RSSI や識別情報に基づいて，ゲーム空間内の状態を更新する．

3·4　ゲーム空間での処理

Minetest Game 上では，JSON 読み込み処理に加えて，宝探し体験を成立させるためのオブジェクト生成および状態制御を Mod 内で実装している．仮想空間内には，BLE 電波の強度や電波の名前などに対応した建物やオブジェクトが生成される．初期状態では当たり判定を持たない非実体として配置される．

プレイヤーが特定の位置へ接近することで辺り判定のあるオブジェクトに変化し，対応する BLE 電波の RSSI 値が一定以上となった場合，更なる変化を与える．実装した建物を例に挙げると，ゲーム内でのプレイヤーが建物に近づくと，宝箱が現れる（4）．この状態で RSSI が 0 に近い状態，つまり BLE ビーコンと受信 PC の距離が近いときは，宝箱が開き，パーティクルによるエフェクトが発生する（Fig. 5）．

また，オブジェクトの配置位置は電波ごとにランダムに設定しており，同一環境においても探索経路が固定化されない構成とした．これにより，物理空間での電波探索とゲーム空間での探索行動が結び付いた体験を実現している．

4.　評　　価

本システムの有用性および今後の発展可能性を評価するため，体験後の被験者を対象に自由記述形式のアンケートを実施した．アンケートでは，改善点や応用事例を問い，計 10 件の回答を得た．得られた回答を内容に基づいて分類し，定性的な評価を行った（Fig. 6）．



Fig. 3　BLE ビーコン（橙色のケースに入った Raspberry Pi）と受信 PC

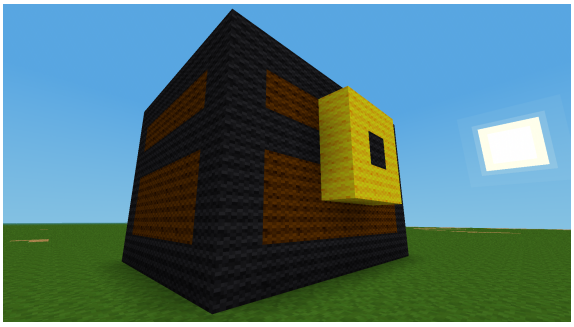


Fig. 4　BLE ビーコンと受信 PC との距離が遠い際のゲーム内の建造物

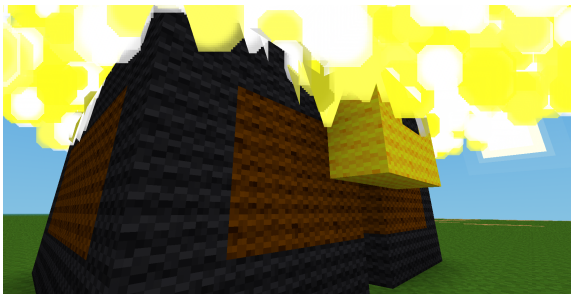


Fig. 5　BLE ビーコンと受信 PC との距離が近い際のゲーム内の建造物

アンケート結果は，大きく以下の三つの観点に分類された．

システム性能・技術面に関する意見

複数の回答において，「よりリアルタイムで電波を受信できると良い」といった意見が見られた．これは，BLE 電波の取得頻度や反映速度が体験の質に影響を与えることを示唆している．また，現実空間の動きが即座に仮想空間へ反映されることで，より没入感の高い体験が期待されていると考えられる．

エンターテインメント分野への応用

回答の多くは，本システムを用いた新たな体験型コンテンツへの応用可能性に言及していた．具体的には，子供向けアトラクション，脱出ゲーム，スタンプラリー，イベント配布型コンテンツ，および現実空間と連動した

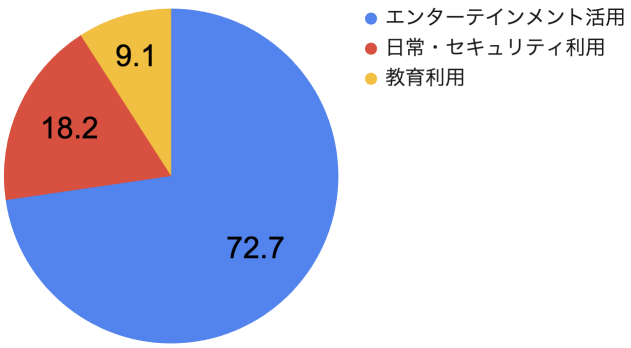


Fig. 6　アンケート結果で得た活用方法のジャンル毎の割合．

ダンジョン型ゲームなどが挙げられた．これらの意見から，本システムが単一のゲーム用途に留まらず，体験型イベントや空間演出へ展開可能であることが示唆される．

また，VR を用いた宝探しゲームや，新しいゲームデバイスへの応用といった意見も見られ，仮想空間表現との親和性の高さが評価されていることが分かる．

教育・日常利用への応用

一部の回答では，プログラミング教室での教材利用や，家の鍵など現実世界の物体と連携した用途，さらには認証やパスワードの仕組みへの応用といった意見が挙げられた．これらの結果から，本システムがエンターテインメント用途だけでなく，教育分野や日常生活への応用も検討可能であることが示された．

4·1　考察

アンケート結果から，本システムは物理空間の動きがサイバー空間に影響を与えるという特性そのものが高く評価されていることが分かる．特に，ゲームやイベントといった体験型コンテンツへの応用を期待する意見が多く，宝探しというコンセプトが直感的に理解されやすい点が有効であったと考えられる．

一方で，リアルタイム性に関する改善要望が見られたことから，今後は電波取得頻度の向上や通信方式の見直しを行うことで，体験の一貫性と没入感を高める必要がある．また，教育用途や日常利用への応用可能性が示唆されたことは，本システムの汎用性を示す結果であり，今後の発展に向けた重要な知見である．

4·2　おわりに

本システムでは，BLE を活用したエンターテインメントの開発を行い，システムに関するアンケートを行った．結果として，脱出ゲーム等への活用を始めとした，本システムを元にした活用案を得られた．加えて，本システムのエンターテインメント以外の活用についても同時に

推論することができた．しかし，システムの安定的動作には改善点，及び仕様上の問題も見られた．エンターテインメント等への活用にはこの点を解決する必要がある．

文　　献

(1) 岡田一晃，廣井　慧，河口信夫 BLE スタンプラリーの展示観覧行動への効果に関する研究，第 79 回全国大会講演論文集， Vol. 2017, No. 1, pp. 971–972 (2017).

(2) 平澤泰文，松川　節，何　一偉，小南昌信 BLE ビーコンを利用した博物館ガイドシステムの開発，情報処理学会 (2018). 情報処理学会第 80 回全国大会講演論文集.

(3) 國廣拓也，藤田　聡 BLE デバイスを用いたリアルタイムなユーザ追跡システム，情報処理学会第 80 回全国大会講演論文集，pp. 3–193–3–194 (2018).

(4)Luanti: Minetest Game - A lightweight and well-maintained base for Luanti, intended for modding, https://github.com/luanti-org/minetest_game.

(5)Luanti: Luanti (formerly Minetest) is an open source voxel game-creation platform with easy modding and game creation, https://github.com/luanti-org/luanti.

(6)hbldh: bleak: A cross platform Bluetooth Low Energy Client for Python using asyncio, https://github.com/hbldh/bleak.