3. 屋内測位技術 IMES 対応スマートフォン事例と IMES 高精度測位方式の研究動向

A Case of Smart Phone with IMES and Trend of High-accuracy IMES

川口 貴正*・久保 信明**・谷川原 誠***

坂本 義弘****・菅野 重樹****・藤井健二郎***

*Takamasa KAWAGUCHI, Nobuaki KUBO, Tanikawara MAKOTO
Yoshihiro SAKAMOTO, Shigeki SUGANO and Kenjiro FUJII*

Abstract : Indoor Messaging System (IMES) is an indoor positioning technology. This paper introduce a case of smartphones with IMES, snooping measures for IMES, and trend of High-accuracy IMES.

1. はじめに

近年、スマートフォンなどの高機能携帯端末をプラットフォームにした位置情報サービスが普及拡大している。特に、位置情報とカメラを融合させた拡張現実 (AR: Augmented Reality) を応用したスマートフォン位置情報ゲームは一種の社会現象になっている。例えば、この位置情報ゲームに関連した現実世界のスポットは、人を誘導するなどの経済効果が期待されている。東日本大震災や熊本地震の被災地では、このスポットを増やすことにより観光客を呼び込むことを検討することが発表されている⁽¹⁾。

位置情報サービスでは GPS/GNSS 衛星からの信号を受信して測位しているが、この衛星からの信号が届きにくい屋内や地下街では位置が不定となる問題がある。例えば、前述の位置情報ゲームでは「GPS の信号をさがしています」とメッセージが出たまま位置が不定となりゲームが進められなかったり、意図しない位置に移動してしまったりする。このような問題を解決すれば、屋内や地下街でも位置情報ゲームのような位置情報サービスを活用可能となり、経済効果は屋内にも波及する。そのための屋内測位技術が求められている。屋内測位技術⁽²⁾には、無線 LAN (Wi-Fi)、Bluetooth Low Energy (BLE)、超音波、自律航法、Indoor Messaging System (以下、IMES)⁽³⁾⁽⁴⁾など複数の技術

が登場しているが、どれも一長一短である。そのため、対象サービス毎に複数の屋内測位技術の長所を取り入れて統合したシステム構築が重要である。

その中で、IMES は JAXA (Japan Aerospace eXploration Agency) が考案した日本発の技術であり国内を中心に普及が期待されている。一方、IMES 対応スマートフォンはまだ種類が少なく、その活用についてはあまり知られていない。そこで本稿では、IMES 対応 Android スマートフォンの事例を紹介し、屋内測位

表 1 主な屋内測位方式

方式	内容
Wi-Fi	屋内に設置された複数の無線 LAN アクセスポイントからの SSID や MAC アドレスと、信号強度 RSSI で測位。スマートフォン側には GPS とは別に Wi-Fi の ON が必要。
BLE	屋内に設置された BLE 発信機から ID 情報をブロードキャスト送信。スマートフォン側の位置を判定。BLE 発信機の設置が必要。スマートフォン側には GPS とは別に Bluetooth の ON が必要。
超音波	屋内に設置された超音波発信機からの情報を基にスマートフォン側で測位。スマートフォン側にはマイク機能の ON が必要。
自律航法	出発点の位置を確定後、スマートフォン側の加速度センサやジャイロセンサなどを組み合わせて現在位置を計算。誤差が蓄積される為、その他の測位システムと併用が必要。
IMES	屋内に設置された IMES 送信機が緯度・経度・高さ情報をブロードキャスト送信。スマートフォン側が IMES に対応し GPS が ON になっていれば位置情報を受信。

* 株式会社日立製作所

** 東京海洋大学

*** 株式会社日立産機システム

****早稲田大学

「写真測量とリモートセンシング」VOL. 55, NO. 4, 2016

図1 IMES方式のコンセプト（口絵カラー）

の課題である位置情報なりすまし対策について述べる。また、IMESを用いた高精度測位方式の研究動向について紹介する。

2. 屋内測位技術について

表1に、主な屋内測位方式を示す。その中でも、Wi-Fiはスマートフォンに標準装備されており、位置情報の精度向上に活用されている。このような仕組みを屋内測位へ応用することは可能である。しかし、普段、Wi-Fiを使用していないユーザには、屋内測位のためにWi-FiをONにして貰う必要がある。また、BLE、超音波はWi-Fiに比べ、スマートフォンでの位置情報システムとしての活用は発展途上にある。一方、自律航法は測位を補完する技術であり、他の屋内測位技術と併用することが求められる。

3. IMES コンセプト

IMESは、屋内に設置したIMES送信機から位置情報などのメッセージを直接GPS/GNSS受信機に放送する方式である。この方式の原理を図1に示す。GPS信号と同じ周波数と変調方式を利用し、日本独自のGPS衛星となる準天頂衛星QZSSを補完する技術として仕様が公開されている。GPS信号とIMES信号の比較を表2に示す。IMES方式に対応したGPS/GNSS受信機は、IMES用の衛星番号の信号を受信してIMES用のメッセージを解析する必要がある。IMES方式のメッセージ内容は、IMES送信機の設置位置(三次元座標)およびその他の関連情報が含まれる。IMES方式はGPS/GNSS測位と異なり、GPS/GNSS受信機側で測位計算を行う必要がない。IMES方式の位置測位は、ユーザの保持するGPS/GNSS受信機が受信する最も信号強度の強いIMES送信機の位置を自分自身の位置とする方式であり測距はしない。IMES信号の到達範囲が重要である。到達範囲は、ある一定の測位成功率を達成するIMES信号の受信範囲であり、測位成功率は搬送波ノイズ比C/No値の大きさに決まる。IMES信号の受信範囲は10m程度と言われており、信号の到達範囲が測位精度となっている。なお、表2に示すように、IMES信号仕様はVersion1.1以前と以降で中心周波数が変更されたり、Version1.4以前と以降でプリアンブル値が変わったりしているのでVersionの違いは特に気を付ける必要がある。

表2 GPS信号とIMES信号の比較

信号名	GPS L1-C/A 信号 (Pコードを除く)	IMES L1-C/A 信号		
規格 Version	IS-GPS	IS-QZSS ver. 1.0-1.1版	IS-QZSS ver. 1.2-1.4版	IS-QZSS ver. 1.5-1.7版
信号規格	L1-C/A	L1-C/A		
PRN (衛星番号)	1~32番	173~182番		
送信出力	約+44dBm	約-65dBm以下		
中心周波数	1.57542GHz	1.57542GHz	1.5754282GHz (将来拡張用1.5754118GHz)	
偏波	右旋円偏波	右旋円偏波	右旋円偏波又は直線偏波	
ビットレート	50bps	50bps		50bps (互換用) または 250bps (高速用)
プリアンブル	8 B (HEX)	8 B (HEX)		9 E (HEX)
1ワード	30bit (24bit+パリティ 6 bit)	30bit (24bit+パリティ 6 bit)		
1サブフレーム	10ワード	—		
1フレーム	30サブフレーム	1~4ワード		
メッセージタイプ	—	ShotID, MediumID, Position1 (緯度, 経度, フロア階数), Position2 (緯度, 経度, 標高, フロア階数)		

4. IMES 対応スマートフォン事例

Broadcom 社が開発した GPS/GNSS 受信チップ BCM47531⁶⁾は IMES 受信機能を具備しており、Android スマートフォンである Covia 社 CP-F03a や ASUS 社 Zenfon2 (ZE551ML) は、この BCM47531 を搭載している。

一般的な Android スマートフォンは、GPS/GNSS の位置情報検出に関して、2つの API (Application Programming Interface) を提供している。一つは、LocationManager であり、もう一つは、GpsStatus、NmeaListener である。この NmeaListener は NMEA-0183 という形式で GPS 衛星の情報を取得できる。IMES 信号を受信したか否かは、スマートフォン上に NMEA 対応アプリケーションをインストールすることにより確認できる。

図 2 に、CP-F03a で受信した NMEA 対応アプリケーションで NMEA を受信した記録の一部を示す。この中で、IMES 固有の NMEA センテンスである \$IMGSV と \$IMGSA について説明する。\$IMGSV は、受信した PRN 番号、衛星仰角、衛星方位角、C/No が列挙される。図 2 の例では PRN 番号が IMES の10番目である182番を、C/No: 44[dBHz]で受信し、

```
$GPGGA,233039.26,3500.004863,N,14000.059366,E,7,00,0.8,0.0,M,40.0,M,,*6F
$GLGSV,2,1,07,86,75,192,,75,57,091,,85,45,033,87,17,206,*6E
$GLGSV,2,2,07,74,11,123,,67,01,313,,77,01,317,*54
$QZGSV,1,1,01,01,07,175,*51
$IMGSV,1,1,01,10,,44*6A
$GPGSA,A,3,,,,,,,,,140.0,99.0,99.0*37
$QZGSA,A,3,,,,,,,,,140.0,99.0,99.0*2B
$IMGSA,A,3,10,,,,,,,,,140.0,99.0,99.0*25
$GPRMC,233039.26,A,3500.004863,N,14000.059366,E,0.0,0.0,070816,,M*7D
```

図 2 IMES 信号の NMEA 受信記録

表 3 CP-F03a の IMES 受信仕様の調査結果

項目	内容
中心周波数	1.575.4282MHz
データ速度	50bps
PRN 番号	173～182
プリアンプル	8 B (HEX)
メッセージタイプ	Position1 or Position2
制約事項	フロア階数情報は未使用

衛星仰角、衛星方位角は空欄になっていることがわかる。このセンテンスは、IMES 信号を受信した時に表示される。\$IMGSA は、受信した PRN 番号の使用・不使用がわかるセンテンスである。図 2 の例では IMES の10番目である182番を使用していることがわかる。このセンテンスは、IMES 信号を受信しない時にも表示されるためスマートフォンの IMES 対応有無が判別できる。

このような NMEA 対応アプリケーションを用いて、CP-F03a の IMES 仕様について調査した結果を表 3 に示す。CP-F03a は中心周波数1.5754282GHz で、プリアンプル“8 B”で信号仕様を受信できることを確認した。よって、Version1.2から1.4までの仕様準拠と言える。しかし、これらの仕様で定められた4つのメッセージタイプのうち Position1と Position2は受信を確認できたが、ShortID と MediumID は受信を確認できなかった。また、これらのメッセージで送信したフロア階数情報の受信は確認できなかった。

図 3 に北緯35度00分、東経140度00分に設定した実験用 IMES 送信機の信号を受信した CP-F03a の Android 位置情報アプリケーションの画面を示す。IMES 送信機が放送する位置情報は、GPS/GNSS で測位した位置情報と区別なく Android アプリケーションに渡されていることが確認できる。このように、IMES 対応スマートフォンを用いれば、既存の Android アプリ

図 3 位置情報アプリケーションでの表示画面

ケーションは屋内測位対応となる。しかしながら、屋内測位の特徴であるフロア情報やビットレート250 bpsに対応していない。今後、これらに対応したIMES対応スマートフォンが期待される。

5. 位置情報なりすまし対策

前章では、IMES送信機に設定した位置情報をAndroidアプリケーションが受信することを示した。しかし、IMES送信機が故意に偽装した位置情報を送信した場合、Androidアプリケーションはその位置情報を衛星で測位したものと同等に扱ってしまう。このような問題に対応するため、ユーザが自分の位置を詐称したり、位置情報に基づくサービスの信頼性を損ねたりすることを防止する仕組みが必要である。

そこで、JAXAでは厳格にIMES送信機の管理をするために、国土地理院が提供する場所情報コードの仕組みを用いて位置情報を決定する事とIMESを厳格に管理する事をIMES運用管理規程で定めている⁽⁶⁾。このIMES運用管理規程では、表4に示すようなIMES送信機のタイプと管理レベルを定めている。表4に示すアクティベーション機能は、IMES送信機の設置時に運用管理者から配布されるアクティベーションコードを用いなければIMES信号の送信を不能にする機能である。デアクティベーション機能は、IMES

送信機を取り外した場合にIMES信号の送信を停止し、所定のアクティベーション操作を行わなければIMES信号の再送信を不能にする機能である。A型IMES送信機は、これらアクティベーション機能とデアクティベーション機能によって、設置後の適切な位置情報設定機能と、移設や廃棄時の位置情報消去機能を有する。厳格な管理機能を有する代わりに、所在確認を実施する必要が無い。B型IMES送信機は、アクティベーション機能を有し、デアクティベーション機能を有さない。そのため、取付や形状タイプに制限があり、6ヶ月に1回の所在確認をすると共に廃棄証明が義務付けられる。C型IMES送信機は、アクティベーション機能も、デアクティベーション機能も有さない。そのため、C型IMES送信機の出荷販売は指定されたメーカーに限定される。また、出荷後の取り付け計画をIMES管理団体に提出し、6ヶ月に1回の所在確認と廃棄証明が義務付けられる。IMES送信機を開発するメーカーはこの規程に基づいて開発し、出荷販売するIMES送信機は型式認定を取得しなければならない。

JAXAが公開しているIMES送信機の型式認定情報によれば、2016年8月現在、B型やC型IMES送信機は認定されているが、A型IMES送信機は認定されていない。A型IMES送信機の型式認定取得のための、デアクティベーション機能の開発及び製品化が課題となっている。

このようにIMES送信機では厳格な管理を行っており、表1に示したIMES以外の屋内測位方式に比べて、位置情報が信頼できると考えられる。

6. IMES高精度測位方式の研究動向

前章で述べたようなIMES送信機の屋内への設置が普及すれば、IMESのさらなる活用が期待される。従来のIMESでは3章に示したように、測位精度は10m程度であるが、現在、cm～dmレベル精度での測位方式の研究が行われており、大きく二つに分類できる。

一つ目は図4に示すように、既存のIMES送信機を用いて、GPS/GNSS受信機側を工夫する方式である。移動ロボットのような装置上に固定した静止受信アンテナと、静止受信アンテナを中心として回転する移動受信アンテナからのドップラー変化量を取得する。移動受信アンテナからの値と静止受信アンテナからの値の差分を取ることで送受信機時計誤差をキャンセル

表4 IMES送信機のタイプと管理レベル

		A型 送信機	B型 送信機	C型 送信機
アクティベーション機能		○	○	×
デアクティベーション機能		○	×	×
取り付け可能 場所及び形態	天井裏	○	○	
	天井	○	△	
	壁	○	(手が届かない場所、または容易に取り外せない方法で設置)	
形状 タイプ	照明器具内蔵	○	×	
	壁コンセント取付	○	×	
所在確認		不要	1回以上/6ヶ月	
型式認定		必要	必要	必要
メーカー指定		なし	なし	あり
出荷制限		なし	なし	取付計画 策定後のみ出荷可
廃棄証明		不要	必要	必要

図4 高精度測位方式（その1）

図5 高精度測位方式（その2）

し、純粋なドップラー変化量のみを抽出する。次に局所座標系における移動受信アンテナ位置・速度とロボットの移動速度を、姿勢センサから取得した3軸姿勢を用い地磁気座標系に座標変換し、それをさらに磁北の真北からの偏角の情報を用い室内座標系に変換する。この情報とドップラー変化量、IMES送信機の位置情報、および推定対象である受信機位置の幾何学関係から観測方程式を立て、カルマンフィルタを用いてGPS/GNSS受信機の位置を推定する。この方式で実験を行ったところ、測位誤差は53.7mmであった。

二つ目は図5に示すようなIMES送信機側を工夫する方式である。一つの共有PLLで生成された搬送波を複数に分岐し、そのそれぞれに対し、異なるPRNを持つC/Aコードで変調する。送信アンテナは最大で半波長の間隔で配置し、GPS/GNSS受信機では取得した異なるチャンネル間の搬送波位相の差を取ることで観測値とし、そのそれぞれに対し送受信機の位置関係

を考慮しモデル式を立て観測方程式を作成する。この方式で実験を行ったところ、測位誤差は最大で数十cmレベルであった。

どちらの方式も数十cmレベルの測位誤差を達成している。特に、図5の方式は受信機側での対応が少ないため、将来的にスマートフォン等に应用することが可能であり、今後の発展が期待される。

7. おわりに

本稿では、屋内測位として期待されているIMESのスマートフォン事例を紹介し、屋内測位の課題である位置情報なりすまし対策について述べた。今後、データレート250bpsとフロア階数情報に対応したIMES対応スマートフォンやA型IMES送信機の製品化が期待される。このような屋内測位技術が確立されれば、位置情報サービスは屋内にも波及していく。さらに、IMES高精度測位方式の研究の発展が期待される。

参考文献

- (1) 日経新聞、東北・熊本の4県、ポケモンGOで被災地振興 運営会社と連携、Japan, “http://www.nikkei.com/article/DGXLASFB10H1E_Q6A810C1000000/” (accessed 10 August 2016)
 - (2) 神谷 泉, 2010, シームレス測位の動向, 写真測量とリモートセンシング, VOL. 49, NO. 1, pp41-44.
 - (3) 独立行政法人宇宙航空研究開発機構：準天頂衛星システム ユーザインタフェース仕様書付録 地上補完信号 (IMES)
 - (4) 独立行政法人宇宙航空研究開発機構：IMES ユーザインタフェース仕様書 (IS-IMES)
 - (5) Broadcom. NEWS RELEASE “Broadcom Announces New GNSS Location Chip with Support for Chinese BeiDou Satellite System”, United States, <http://ja.broadcom.com/press/release.php?id=s812465> (accessed 5 August 2016)
 - (6) 独立行政法人宇宙航空研究開発機構：IMES送信機管理実施要領
- Androidは、Google Inc.の登録商標です。
Bluetoothは、Bluetooth SIGの登録商標です。
JAXAは、独立行政法人 宇宙研究開発機構の登録商標です。