

令和 6 年 5 月 14 日現在

機関番号：25403

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2020～2023

課題番号：20K04470

研究課題名（和文）準天頂測位衛星「みちびき」から放送される災害・危機通報の移動受信方法

研究課題名（英文）A method of receiving disaster and crisis management report sent from quasi-zenith satellites Michibiki

研究代表者

高橋 賢 (Takahashi, Satoshi)

広島市立大学・情報科学研究科・准教授

研究者番号：60359106

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,300,000円

研究成果の概要（和文）：日本の内閣府が運用する準天頂衛星「みちびき」は、測位メッセージのみならず、測位精度を高める補強メッセージや、災害や危機に関する緊急メッセージをも放送している。この災害・危機管理通報（DCR: disaster and crisis management report）を低消費電力かつ高信頼に移動受信できる方法を研究した。特に、高優先度内容のDCRが放送される期間を予測してその期間のみ受信機をオンにする間欠受信方法を提案し、また、欧州の測位衛星Galileoでの災害情報メッセージの受信方法を検討した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

DCRメッセージのみを低消費電力にて受信するためには、一定期間だけ受信し、その他の期間を休眠して、平均消費電力を低減する間欠受信の利用が有望である。過去のメッセージ統計を用い、受信したメッセージから将来のメッセージを予測して、休眠に活用する投機的間欠受信方法を提案した。また、この研究を通して得た消費電力低減方法は、無線信号の待機受信を伴う信号検出などにも応用できるものと考えられる。

研究成果の概要（英文）：Michibiki, the quasi-zenith satellite operated by Japan's Government Cabinet Office, broadcasts not only positioning messages, but also augmentation messages to improve positioning accuracy and emergency messages regarding disasters and crises. The method for mobile reception of disaster and crisis management reports (DCR) with low power consumption and high reliability has been proposed. In particular, the intermittent reception method that predicts the period during which high-priority content DCR will be broadcast and turns on the receiver only during that period is proposed, and a method for receiving disaster information messages on the European positioning satellite Galileo is considered.

研究分野：工学

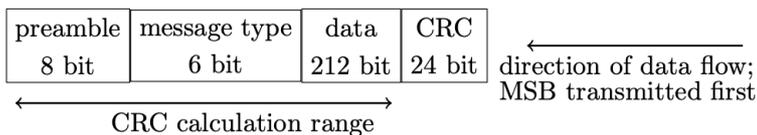
キーワード：GNSS 準天頂衛星 災害・危機管理通報 L1S

1. 研究開始当初の背景

準天頂衛星「みちびき」は、GPS (Global Positioning System) と同等フォーマットかつ同一時刻系を用いた測位メッセージを放送するのみならず、その測位精度を高める補強メッセージや、災害や危機に関する緊急メッセージをも放送している。現在のみちびきは、準天頂軌道 3 衛星と、静止軌道 1 衛星との合計 4 衛星から構成され、2025 年までには合計 7 衛星構成への拡張が予定されている。現在、みちびきの信号は日本全国でいつでも受信できる。

この災害・危機管理通報 (DCR: disaster and crisis management report) は、GPS と同一周波数 (1575.42 MHz) 電波で、測位信号 L1C/A (coarse acquisition) とは異なる拡散符号を用いた L1S (sub-meter level augmentation) 信号にて伝送される。移動受信機は電池にて動作させることが多いため、消費電力の低減が求められている。災害発生時において、その DCR は 4 秒に 1 度の頻度で 1 秒間、放送されるために、利用者受信機は間欠受信できるとされている。間欠受信は、一定期間だけ信号を受信し、その他の期間に休眠する周期をくり返す。この間欠受信により、DCR が放送されている期間中の受信機平均消費電力は約 1/4 に低減できることが期待されている。

一方、平時の受信機に対して、DCR の放送タイミングは未知なので、そのままでは DCR の間欠受信を行えない。また、この L1S 信号には、L1C/A 信号との同時受信による測位の補強が主目的であるために、補強メッセージと緊急メッセージとが混在する。さらに、メッセージ先頭を表すプリアンブル、メッセージ種別、メッセージ本文、およびその CRC (cyclic redundancy check) 符号からなる 250 ビット長メッセージ全体に対してたたみ込み符号化され、BPSK (biphase shift keying) 変調される (図 1)。このたたみ込み符号化のために、受信機は L1S 信号から DCR のみを直接的に抽出することができず、500 ビット長の L1S 信号全体を受信し、ビット反復して、DCR を選別しなければならない。結局、平時において、この受信機は間欠受信できないことになる。一方、DCR が放送されないときには、送るべき情報が少なくなるため、その代わりにヌルメッセージが放送される。L1S 信号のビットレートは 500 bit/s なので、1 秒間に 1 メッセージが伝達される。



た。間欠受信を実現するためには、ヌルメッセージ以外にも着目する必要があることがわかった。

- (3) DCR メッセージ信号そのものよりもむしろ、その統計を活用する方が、より平均消費電力を削減できる見込みを得た。間欠受信のパラメータを得るために、DCR アーカイブデータから平均再送回数や再送時間の統計を得た。例えば、震源、震度、降灰のメッセージ伝送については、同一内容が1,000 秒オーダーにわたりくり返し伝送されることや、対象地点の頻繁な追加削除によりメッセージ伝送再送間隔が大きく揺らぐことを明らかにした (図 2)

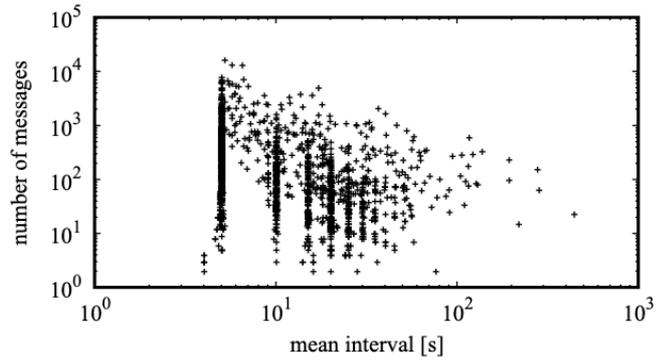


図 2 DCR 優先メッセージの平均時間間隔とメッセージ数との関係 (気象災害の優先メッセージ例)

[2]。これらの成果を電子情報通信学会コミュニケーションシステム研究会、スマート無線研究会、国際学会 ICETC、および、測位航法学会ニューズレターにて公表した。

- (4) みちびき DCR メッセージを高効率で受信するために、高優先メッセージに限定して受信する間欠受信の方法を考案した。過去のメッセージ遷移を行列表現して、固有ベクトルを求めることにより、現在受信したメッセージから次のメッセージを予測する方法を提案した。メッセージ遷移の固有値が 0.5 を超える大きな値を持つことから、高優先メッセージを受信したときには次のメッセージを高確率に予測できることになる (図 3) [3]。これらの成果を電子情報通信学会コミュニケーションシステム研究会などにて公表した。

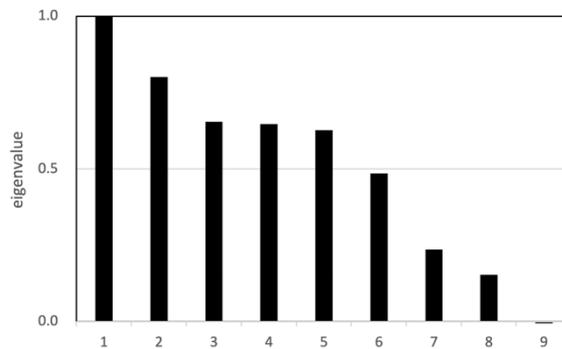


図 3 DCR 優先メッセージ遷移の固有値

- (5) また、Allystar 社の衛星信号受信モジュール TAU1302 を用いて、測位補強信号の移動受信実験を行い、それを用いた高精度測位を実施した。その手順や成果を高精度衛星測位サービス利用促進協議会講演会にて講演した。その具体的方法、信号受信特性例、高精度測位の方法をまとめ、技術雑誌「トランジスタ技術」2022 年 2 月号、3 月号、および 4 月号に寄稿して、研究成果を社会に還元した [4-6]。

- (6) 測位信号受信と DCR メッセージ受信との融合のため、自己位置を高精度に推定する測位補強メッセージの受信方法を明らかにした。みちびきが放送する CLAS および MADOCA-PPP に対するメッセージ解読プログラムを作成した。これらの測位補強メッセージは、CSSR (compact state space representation) 形式で表されるために解読が困難であるが、これを容易に扱えるようにプログラム言語 Python にてソースコードを記述した。さらに、ソフトウェア無線機とこのプログラムにて、補強メッセージを受信した。ここで作成したソースコードは、BSD 2-clause license として GitHub にて公開している (図 4) [7]。

```

206 Hitachi-Ota:1 MADOCA-PPP SF1 DP1 (Clk/Eph LNAV) ST1 ST2...
206 Hitachi-Ota:1 MADOCA-PPP SF1 DP2 (Clk/Eph LNAV) ST2...
206 Hitachi-Ota:1 MADOCA-PPP SF1 DP3 (Clk/Eph LNAV) ST2 ST3
206 Hitachi-Ota:1 MADOCA-PPP SF1 DP4 (Clk/Eph LNAV) (null)
206 Hitachi-Ota:1 MADOCA-PPP SF1 DP5 (Clk/Eph LNAV) (null)
206 Hitachi-Ota:1 QZNMA G29(LNAV) G31(LNAV)
206 Hitachi-Ota:1 QZNMA G32(LNAV) E02(I/NAV)
206 Hitachi-Ota:1 MADOCA-PPP SF2 DP1 (Clk/Eph LNAV) ST7 ST3
206 Hitachi-Ota:1 MADOCA-PPP SF2 DP2 (Clk/Eph LNAV) (null)
206 Hitachi-Ota:1 MADOCA-PPP SF2 DP3 (Clk/Eph LNAV) (null)

```

図 4 本研究にて作成したみちびき高精度補強メッセージ解読ソフトウェアのスクリーンショット (MADOCA-PPP 解析例)

- (7) 欧州の Galileo 測位衛星による災害情報 EWS の伝達の検討が始まった。DCR と EWS との同時受信を目指し、Galileo の EWS 情報伝達の可能性のある C/NAV メッセージ電波を受信するために、この周波数ですでに放送されている高精度測位情報 HAS (high accuracy service) メッセージを解読するコードを作成した。その過程で、みちびきの MADOCA-PPP メッセージ内容と Galileo の HAS メッセージ内容を比較し、最終的な補正量はほとんど同一であったことを明らかにした (図 5)。これらの結果を電子情報通信学会スマート無線研究会と英文レター IEICE Communications Express などにて公表した [8]。

- (8) 測位衛星信号を受信するために、公表されている設計資料(Pocket SDR) [9]に基づいてソフトウェア無線ハードウェアを作成した(図6)。このハードウェアを活用して研究を進めてきた一方、その製作過程をホームページにて公開した。

これらの成果から、当初の目的をほぼ達成できたと自己評価している。これらの多くの研究成果を挙げることができたのは、本助成制度のおかげであり、心より感謝申し上げます。

<引用文献>

- [1] 高橋 賢, “準天頂衛星みちびきが放送する災害・危機通報の相互情報量,” 電子情報通信学会総合大会, B-8-19, March 2021.
- [2] 高橋 賢, “準天頂衛星みちびきが放送する災害・危機通報の優先メッセージ統計,” 電子情報通信学会技術研究報告, SR2021-63, Jan. 2022.
- [3] 高橋 賢, “準天頂衛星みちびき DCR メッセージの状態遷移特性,” 電子情報通信学会技術研究報告, CS2022-29, July 2022.
- [4] 高橋 賢, “みちびきの信号を使った cm 級 GPS 測位に挑戦! 前編 300 ドル受信機 TAU1302 みちびき L6 信号の取り出し,” トランジスタ技術 2022 年 2 月号, pp.136-143, CQ 出版社, 東京, Jan. 2022.
- [5] 高橋 賢, “みちびきの信号を使った cm 級 GPS 測位に挑戦! 中編 みちびき L6 信号から RTK に食わせる仮想基準点データを作る,” トランジスタ技術 2022 年 3 月号, pp.166-173, CQ 出版社, 東京, Feb. 2022.
- [6] 高橋 賢, “みちびきの信号を使った cm 級 GPS 測位に挑戦! 後編 L6 データで作った仮想基準点で RTK 測位を試す,” トランジスタ技術 2022 年 4 月号, pp.136-139, CQ 出版社, 東京, March 2022.
- [7] Satoshi Takahashi, QZS L6 Tool: quasi-zenith satellite L6-band tool, <https://github.com/yoronneko/qzsl6tool/>
- [8] Satoshi Takahashi, “Comparison of satellite positioning augmentation messages broadcast from Michibiki and Galileo,” IEICE Communications Express (ComEX), vol.12, no.12, pp.1-4, Dec. 2023. DOI: 10.23919/comex.2023COL0007
- [9] Tomoji Takasu, Pocket SDR -An open-source GNSS SDR, <https://github.com/tomojitakasu/PocketSDR>

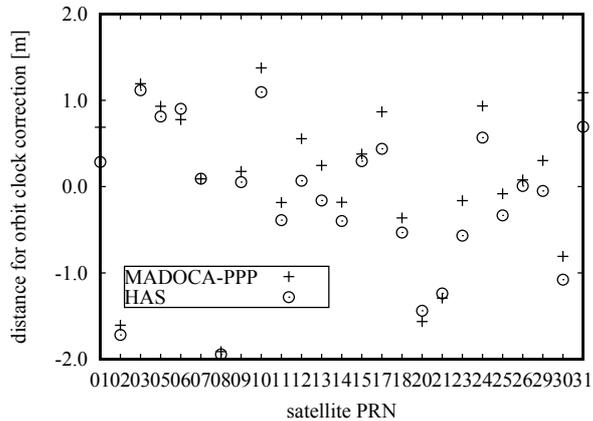


図5 みちびきの高精度測位メッセージ MADOCA-PPP と欧州の高精度測位メッセージ HAS との比較 (衛星クロック)

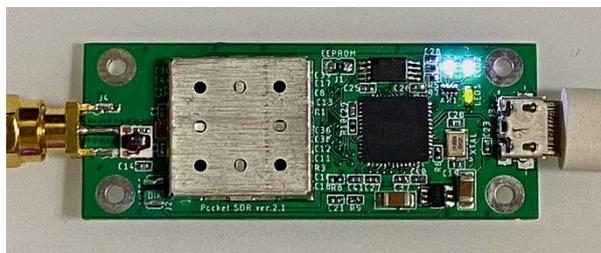


図6 公開されている測位衛星用ソフトウェア無線 Pocket SDR ハードウェア[9]の製作

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計3件（うち査読付論文 3件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 Takahashi Satoshi	4. 巻 8
2. 論文標題 [Paper] Determining Broadcaster Advised Emergency Wake-Up Signal with Switching Two Detection Methods and Observing Several TMCC Frames for Mobile ISDB-T Receivers	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 ITE Transactions on Media Technology and Applications	6. 最初と最後の頁 126 ~ 131
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3169/mta.8.126	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 高橋 賢	4. 巻 J103-B
2. 論文標題 準天頂衛星みちびきから放送される災害・危機通報のヌルメッセージを活用した間欠受信方法	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 電子情報通信学会論文誌B 通信	6. 最初と最後の頁 206 ~ 209
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.14923/transcomj.2019JBL4013	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Takahashi Satoshi	4. 巻 12
2. 論文標題 Comparison of Satellite Positioning Augmentation Messages Broadcast from Michibiki and Galileo	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 IEICE Communications Express	6. 最初と最後の頁 595 ~ 598
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.23919/comex.2023COL0007	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

〔学会発表〕 計24件（うち招待講演 5件/うち国際学会 1件）

1. 発表者名 高橋 賢
2. 発表標題 みちびきとGalileoから放送される高精度衛星測位信号の受信
3. 学会等名 電子情報通信学会技術研究報告, RCS2023-13
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 高橋 賢
2. 発表標題 準天頂衛星みちびきから放送されるたたみ込み符号化L1S信号からの優先DCRメッセージの抽出
3. 学会等名 電子情報通信学会技術研究報告, SR2023-15
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 奈良元 開, 高橋 賢
2. 発表標題 ドローン静止画像におけるYOLO画像識別度向上のための輝度増加
3. 学会等名 電子情報通信学会技術研究報告, SR2023-14
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 高橋 賢
2. 発表標題 Pocket SDRによるMADOCA-PPPとHASの同時受信
3. 学会等名 測位航法学会全国大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 高橋 賢
2. 発表標題 準天頂衛星みちびきが放送する電波の受信
3. 学会等名 電子情報通信学会技術研究報告, RCS2023-110 (SAT2023-39) (招待講演)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 高橋 賢
2. 発表標題 みちびきが放送するMADOCA-PPPとGalileoが放送するHASの衛星軌道補強情報の比較
3. 学会等名 電子情報通信学会ソサイエティ大会, B-2-9
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 高橋 賢
2. 発表標題 Galileo improved I/NAV航法メッセージの移動受信実験
3. 学会等名 電子情報通信学会技術研究報告, SANE2023-91
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 高橋 賢
2. 発表標題 準天頂衛星みちびきが放送する災害・危機管理通報
3. 学会等名 電子情報通信学会総合大会, BC1-3-01 (招待講演)
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 高橋 賢
2. 発表標題 みちびきアーカイブデータを用いたCLAS衛星補強情報の容量解析
3. 学会等名 測位航法学会全国大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 高橋 賢
2. 発表標題 準天頂衛星みちびきDCRメッセージの状態遷移特性
3. 学会等名 電子情報通信学会技術研究報告, CS2022-29
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 橋本祐我, 高橋 賢
2. 発表標題 ドローンリンク電波伝搬における2波モデル近似
3. 学会等名 電子情報通信学会技術研究報告, CS2022-16
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 高橋 賢
2. 発表標題 準天頂衛星みちびきが放送する災害・危機管理通報における優先メッセージ予測
3. 学会等名 電子情報通信学会ソサイエティ大会, B-17-14
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 高橋 賢
2. 発表標題 ヌルメッセージを活用した準天頂衛星みちびきL1S信号の検出
3. 学会等名 電子情報通信学会技術研究報告, SR2022-61
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 高橋 賢
2. 発表標題 GNSS SDRによるみちびきMADOCA-PPP測位補強メッセージの受信
3. 学会等名 日本航海学会 GPS/GNSS研究会 秋季見学会・講演会（招待講演）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Satoshi Takahashi
2. 発表標題 Priority message statistics of disaster and crisis management report sent from quasi-zenith satellite Michibiki
3. 学会等名 International Conference on Emerging Technologies for Communications (ICETC), 01-4 (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 高橋 賢
2. 発表標題 準天頂衛星みちびきから放送される災害・危機通報のメッセージ有効期間分布
3. 学会等名 電子情報通信学技術研究報告, CS2021-55
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 高橋 賢
2. 発表標題 みちびきから放送される災害・危機管理通報の統計
3. 学会等名 測位航法学会ニューズレター, vol.7, no.3, pp.3
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 高橋 賢
2. 発表標題 Allstar受信モジュールによるみちびきL6信号受信とその高精度測位への応用
3. 学会等名 高精度衛星測位サービス利用促進協議会 社会実装推進ワーキンググループ
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 高橋 賢
2. 発表標題 みちびきの信号を使ったcm級GPS測位に挑戦！前編 300ドル受信機TAU1302みちびきL6信号の取り出し
3. 学会等名 トランジスタ技術2022年2月号, 136ページから143ページ, CQ出版社, 東京 (2022年1月発行)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 高橋 賢
2. 発表標題 みちびきの信号を使ったcm級GPS測位に挑戦！中編 みちびきL6信号からRTKに食わせる仮想基準点データを作る
3. 学会等名 トランジスタ技術2022年3月号, 166ページから173ページ, CQ出版社, 東京 (2022年2月発行)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 高橋 賢
2. 発表標題 みちびきの信号を使ったcm級GPS測位に挑戦！後編 L6データで作った仮想基準点でRTK測位を試す
3. 学会等名 トランジスタ技術2022年4月号, 136ページから139ページ, CQ出版社, 東京 (2022年3月発行)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 高橋 賢
2. 発表標題 準天頂衛星みちびきが放送する災害・危機通報の相互情報量
3. 学会等名 電子情報通信学会総合大会, B-8-19
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 高橋 賢
2. 発表標題 準天頂衛星みちびきが放送する災害・危機通報の相互情報量解析による間欠受信方法
3. 学会等名 電子情報通信学技術研究報告, ICD2020-12 (招待講演)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 高橋 賢
2. 発表標題 小さなデータを低消費電力でより遠くまで届けるLPWA
3. 学会等名 電子情報通信学会総合大会, CI-5-6 (招待講演)
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

高橋賢 広島市立大学 https://s-taka.org/ QZS L6 Tool https://github.com/yoronneko/qzsl6tool

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
--	---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------