

VLEO と HAPS を用いた土砂災害時に適したセンサ情報送信手法の比較評価

Comparative Evaluation of Sensor Information Transmission Methods Suitable for Sediment-Related Disasters Using VLEO and HAPS

小笠原 舞[†] 小林 真[‡] 新 浩一[‡] 西 正博[‡][†] 広島市立大学情報科学部 [‡] 広島市立大学大学院情報科学研究科

1 はじめに

日本各地で豪雨による土砂災害が発生して、人的被害が多数発生している [1]. 人的被害を減少させるためには、土砂災害の前兆現象をいち早くセンシングによって検知して、人々に伝える必要がある. しかしながら、山間部などの遮蔽物が多い地域では、既存の地上ネットワークでは通信が困難である. そこで Non-Terrestrial Networks (NTN) を利用した、非地上系を用いた土砂災害センシングを目指す. 本研究では、Very Low Earth Orbit (VLEO) 衛星と High Altitude Platform Station (HAPS) を用いた土砂災害センサ情報送信手法について検討して、評価をする.

2 Non-Terrestrial Networks を用いた土砂災害センシング

2.1 Non-Terrestrial Networks

NTN とは、Geostationary Earth Orbit (GEO) 衛星、Medium Earth Orbit (MEO) 衛星、Low Earth Orbit (LEO) 衛星などの衛星、Unmanned Aerial Vehicle (UAV)、HAPS などの無人航空機が中継ノードまたは基地局として機能するネットワークである [2]. NTN は、衛星を用いる事で、地上系ネットワークでカバーすることが困難な地域に、ネットワークを構築することが出来る. 地上で無線ネットワークを構築する事が困難な山間地域において、無線ネットワークを構築する事が可能となる.

図 1 に NTN の構成を示す. 本研究で用いる VLEO 衛星は、LEO (Low Earth Orbit) 衛星の中でも 300~700 km と高度が低く、LEO 衛星よりもより低遅延での通信が可能となる. HAPS は、高度約 20 km に位置して成層圏に飛行させた航空機などの無人機体を通信基地局のように動作して、広域エリアに通信サービスを提供する. 本研究では HAPS の通信基地局を VLEO 衛星としてシミュレーションを行う.

2.2 土砂災害センシング

土砂災害は日本各地で発生して、人々の暮らしに大きな影響をもたらしている. 2014 年 8 月 20 日には、広島市では豪雨による土石流とがけ崩れが同時に発生して、家屋被害と死者 74 名もの人的被害が発生した [1]. このような土砂災害による人的被害を減少させるために、土砂災害の前兆現象の検知を目的とした、加速度センサや画像による土砂災害危険度検知システムが提案されている [3].

また、緊急時のライフラインとなる高速道路における安全性を確保するために、のり面を多点で監視できる無線センサネットワークシステムの開発や性能評価が行われている [4]. センサ端末は山間地域に設置するため、センサ端末の電池交換や有線充電が難しいという観点から、土砂災害危険時に土砂災害の前兆現象の検知を目的とした、センサ端末のバッテリーの長寿命化を実現するセンサ情報送信制御システムも提案されている [5].

3 VLEO 衛星と HAPS を用いたセンサ情報送信手法

本稿では、センサ端末がセンシングしたデータを HAPS と VLEO 衛星に送信するようなセンサネットワークを提案する. 図 2 に、提案手法の VLEO+HAPS 手法の概要センサ端末は、センサ端末自身が設定したタイミングでセンシングしたデータを送信する. センサ端末は、消費電力を削減するために常に受信回路を起動した状態にできないことから、VLEO 衛星や HAPS の存在を確認せずにセンサデータの送信を行う. センサ端末が、センシングしたデータを送信した際に、VLEO 衛星または HAPS がセンサ端末送信可能範囲内に存在していれば、通信に成功する. 一方、センサ端末送信可能範囲に、VLEO 衛星と HAPS の両方が存在していなければ通信は失敗する.

さらに、土砂災害センシングでは、土砂災害発生の可能性が低いときには、センサデータを送信する必要が低い. そこで、本手法では、土砂災害発生の可能性が低い“通常時”、土砂災害発生の可能性が低いものの雨が強まっている“豪雨時”、土砂災害発生の可能性が高い“土砂災害危険時”とで送信頻度を切り替える. 送信頻度の切り替えに必要な情報の取得には、通信成功時に VLEO 衛星や HAPS から送信されるダウンリンクを用いる. ダウンリンクの通信で土壌雨量指数の値を取得して、その値に応じて 3 段階で送信間隔を制御する [5]. 土壌雨量指数とは、地中にしみこんでいる雨の量を推定した指標で、気象庁が警報を発令する判断基準としている [6]. 具体的には、センサ端末は n 分に 1 回の頻度でセンサデータを VLEO 衛星または HAPS に送信する. 通常時には $n = 60$ 、豪雨時には $n = 30$ 、土砂災害危険時には $n = 1$ とする.

4 評価

VLEO 衛星が定期的に周回して、HAPS がランダムに到着する状況を想定して、シミュレーションにより性能を評価した.

4.1 評価環境

表 1 に、シミュレーションで用いたパラメータを示す. VLEO 衛星は 60 分で軌道を 1 周して、センサ端末の送信可能範囲に 1 分滞在する. HAPS は軌道に関係なく上空を飛行できる. そこで、到着率 λ (回/s) のポワソン過程に従ってセンサ端末送信可能範囲に現れて、平均滞在時間 $1/\mu$ (s) の指数分布にしたがってセンサ端末送信可能範囲に滞在すると、仮定する. 2018 年の 1 年間の気象状況を想定してシミュレーションを行った. 広島地方気象台における 2018 年の降水量の記録から土壌雨量指数を算出した [7].

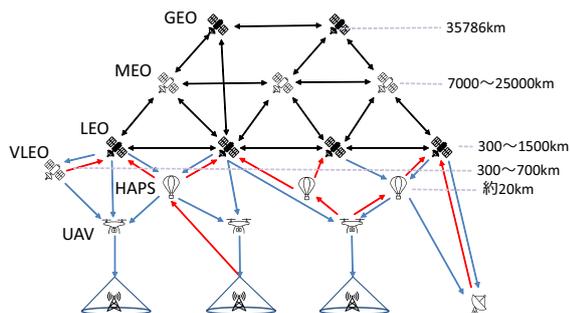


図 1: NTN の構成

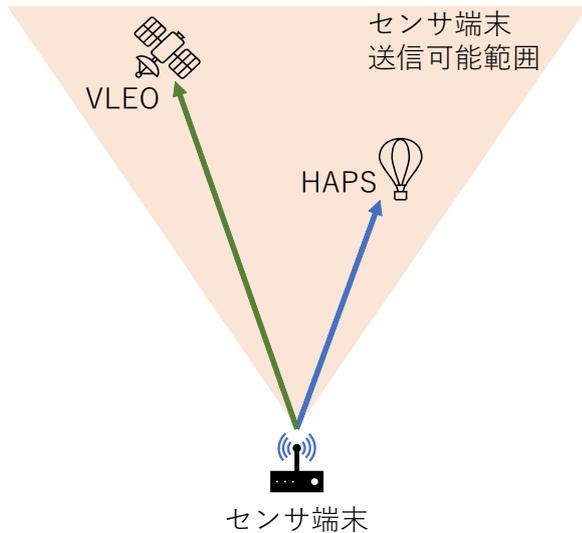


図 2: HAPS と VLEO 衛星を用いたセンサネットワーク

表 1: シミュレーションパラメータ

パラメータ	設定値
シミュレーション期間	365 日間
土壌雨量指数	2018 年 広島県広島市
VLEO 衛星の到着周期	60 分に 1 回
VLEO 衛星の滞在時間	1 分間
HAPS の到着率 (λ)	0.0009 - 0.1
HAPS の平均滞在時間 ($1/\mu$)	1/0.009
試行回数	100

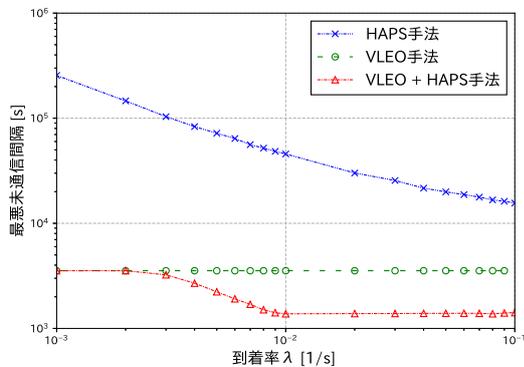


図 3: 3 つのセンサ情報送信手法の最悪未送信時間

4.2 最悪未通信時間

最悪未通信時間を用いて、3 つのセンサ情報送信手法について比較した。1 つ目は HAPS のみを用いた“HAPS 手法”、2 つ目は VLEO 衛星のみを用いた“VLEO 手法”、3 つ目は提案手法の“VLEO+HAPS 手法”である。評価指標の最悪未通信時間とは、シミュレーション期間中、受信機側で最も長くセンサ情報が受信されなかった時間である。

図 3 に提案手法と 2 つの比較手法を到着率 λ を変数として最悪未送信時間で評価したグラフを示す。HAPS 手法が最も最悪未通信時間が大きいことが分かる。HAPS は到着率 λ でランダムに現れるため、センサ端末がセンサデータを送信しても受信できない期間が長時間になる事がある。本センサシステムでは、ダウンリンクによって土砂災害の危険性の情報を取得するため、センサ端末が、長時間通信を行う事がで

きないと、土砂災害危険時であると把握する事ができない。土砂災害危険時にもかかわらず、センサ端末側が送信間隔を短くすることができないことから、最悪未通信時間が大きくなる。HAPS 手法で到着率 λ の値が大きくなるにつれて、最悪未通信間隔の値が小さくなっているのは、HAPS の現れる頻度が高くなって、土砂災害危険時の際にセンサ端末がセンサデータの送信に成功する確率があがるからであると考えられる。

VLEO 手法では、VLEO 衛星が 60 分に 1 回しか表れない。また土砂災害危険時となって、センサ端末が送信間隔を短くした際にも、VLEO 衛星は超低軌道衛星で周期的にしか表れないため最悪未通信時間は変わらず常に一定となる。

提案手法である VLEO+HAPS 手法が、最も小さい最悪未通信時間を達成している。これは、VLEO 衛星が存在することで定期的に確実に送信出来る効果と、HAPS に対して頻繁に送信できる効果との結果である。具体的には、VLEO 衛星が存在することで、確実に 60 分に 1 回土砂災害危険時判定を行うことができる。さらに、HAPS は到着率 λ で現れるため、60 分に 1 回現れる VLEO 衛星よりも、土砂災害危険時において HAPS の方が通信が成功しやすいと考えられる。したがって、VLEO+HAPS 手法は VLEO 手法と HAPS 手法との利点を足し合わせた手法であって、最も最悪未通信時間を短縮できる手法であることが分かる。

5 おわりに

本研究では、HAPS と VLEO 衛星の両方を用いた土砂災害センシングにおけるセンサ情報送信手法を提案して、HAPS だけの手法と VLEO 衛星だけの手法の 2 つの手法と、最悪未通信時間の比較評価を行った。VLEO 衛星と HAPS を両方用いる提案手法では、最悪未通信時間が他の 2 手法と比べ最も低い値となる事が分かった。

参考文献

- [1] 土田 孝, 森脇武夫, 熊本直樹, 一井康二, 加納誠二, 中井真司, “2014 年広島豪雨災害において土石流が発生した溪流の状況と被害に関する調査,” 地盤工学ジャーナル, vol.11, no.1, pp.33-52, 2016.
- [2] F. Rinaldi, H.-L. Maattanen, J. Torsner, S. Pizzi, S. Andreev, A. Iera, Y. Koucheryavy, and G. Araniti, “Non-terrestrial networks in 5g & beyond: A survey,” IEEE Access, vol.8, pp.165178-165200, 2020.
- [3] 西正博, 古川達也, 新浩一, “電源自立型の土砂災害監視カメラシステムの構築と評価,” 情報処理学会論文誌, vol.58, no.3, pp.736-744, March 2017.
- [4] 小泉圭吾, 藤田行茂, 平田研二, 小田和広, 上出定幸, “土砂災害監視のための無線センサネットワークの実用化に向けた実験的研究,” 土木学会論文集 C (地圏工学), vol.69, no.1, pp.46-57, 2013.
- [5] 出原 聡, 小林 真, 新浩一, 西正博, “土砂災害前兆現象検知のための LPWA を用いたセンサシステムにおける送信スケジュール手法の一検討,” 電子情報通信学会センサネットワークとモバイルインテリジェンス (SeMI) 研究会, vol.120, no.382, pp.41-46, March 2021.
- [6] Y. Ishihara and S. Kobatake, “Runoff model for flood forecasting,” Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University, vol.29, no.1, pp.27-43, July 1979.
- [7] 気象庁, “過去の気象データを検索,” <https://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/index.php>. (2022/1/4 閲覧).