

修士学位論文要約（令和4年3月）

空中基地局と地上端末間の上りリンク無線資源割り当てに関する研究

田島 元樹

指導教員：西山 大樹

A Study on Uplink Radio Resource Allocation Between An Aerial Base Station and Ground User Equipments

Genki TAJIMA

Supervisor: Hiroki NISHIYAMA

Deployment of the Unmanned Aerial Vehicle (UAV) with a communication module is one of the promising ways to provide temporary communication coverage when terrestrial base stations are broken by a natural disaster. From the perspective of collecting information from User Equipments (UEs) in a disaster-affected area, fairness is an important factor in communication control. In a disaster scenario, collecting data from a lot of UEs can improve the efficiency of rescue operations than from a single UE. Therefore, UAVs are required to control communication resources appropriately to collect information from UEs uniformly. Thus, in this study, we aim to propose a communication resource control method to fairly collect information from UEs, and to demonstrate the effectiveness of the proposed method through simulation.

1. はじめに

近年、5G サービスの展開などによって無線端末台数が増加しており、移動体通信システムに対する依存度も比例して大きくなりつつある。したがって、このような状況で地震などの自然災害によって、無線通信システムを構築する基地局や電力設備の機能が失われた場合の影響も大きくなる。そのため、発災後の迅速な通信システムの復旧が求められる。この背景のもと、災害時における緊急の通信ネットワークの構築手段として、ドローンなどの無人航空機に通信機能を搭載し、空中基地局として利用することに期待が集まっている。そこで、本研究では災害によって通信手段を喪失した端末から空中基地局により情報を収集するシナリオに注目し、上りリンク通信のために必要な無線資源割り当て手法の提案及び評価を行う。

2. システムモデル

図1に本研究が想定する空中基地局によるデータ収集システムのモデル図を示す。空中基地局は一定高度、一定速度および直線状に飛行し、地上端末の持つ情報を集める。また、空中基地局にとって地上端末の台数や位置分布は未知であり、飛行中に通信範囲内となる端末とのみ通信および端末の位置情報の把握が可能であると仮定する。このシナリオにおいて本研究の目標とするデータ収集システムとして、全端末から均等に情報収集を行うことに焦点を

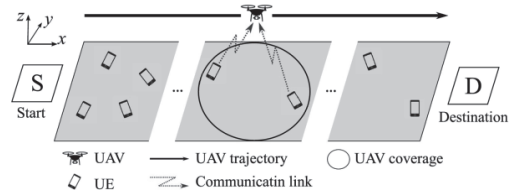


図1 システムモデル

当てる。公平性を重視する場合の課題として、まず空中基地局の軌道に対して離れた位置の端末は相対的に通信時間が短いという通信機会の不均一性がある。また全体の公平性を高める必要がある一方、空中基地局は現在通信可能な端末の情報しか把握できない不確実性がある。そこで本研究では端末の通信履歴と位置情報を考慮した無線資源割り当て手法の提案を通してこれらの課題解決を図る。

3. 公平性を考慮した帯域割り当て手法の提案

帯域割り当てを行う上で、まず各端末に対して以下に示すデータ量関数を定義する。

$$f(w_k) = D_k^{past} + D_k^{now}(w_k) + D_k^{future}. \quad (1)$$

ここで、 w_k は端末 k に割り当てる無線資源である帯域量である。このデータ量関数は3つの項の和からなっており、第1項 D_k^{past} は端末が過去に空中基地局に送信したデータ量であり、無線資源割り当て要求の度に各端末が空中基地局へ報告する。

表1 帯域割り当てアルゴリズム

Algorithm 1 Bandwidth allocation algorithm
$dw \leftarrow B/M$
$D_0[k] \leftarrow D_k^{past} + D_k^{future}, A = [0, \dots, 0], (D_0 , A = K)$
$D[k] \leftarrow D_0[k]$
for $i = 1, \dots, M$ do
$k_{min} \leftarrow k \arg \min D[k]$
$A[k_{min}] \leftarrow A[k_{min}] + 1$
$D[k_{min}] \leftarrow D_0[k_{min}] + A[k_{min}] dw \delta_T \log_2 \left(1 + \frac{g_{k_{min}} p_{UE}}{A[k_{min}] dw N_0} \right)$
end for

次に第二項 $D_k^{now}(w_k)$ は帯域を割り当てることで送信できるデータ量を表し、シャノンの式から以下のように算出できる。

$$D_k^{now}(w_k) = w_k \delta_T \log_2 \left(1 + \frac{g_k p_{UE}}{w_k N_0} \right). \quad (2)$$

ここで、 δ_T は帯域割り当てを行う時間間隔、 g_k 、 p_{UE} および N_0 はそれぞれ端末のチャネル利得、端末の送信電力およびガウスノイズ電力密度を表す。最後の第3項 D_k^{future} は通信範囲から出るまでに送信が見込めるデータ量を示す。この値は将来に関する情報で今回の想定環境上、空中基地局はいつ何台の端末が通信可能になるか不明であるため、予測する必要がある。そこで本研究では以下の式によって得られる値を予測値として用いる。

$$D_k^{future} = CT_k. \quad (3)$$

T_k は端末 k が現在の位置から通信範囲を出るまでの時間、 C は bps の単位を持つ定数で、本研究では、端末によらず、通信範囲内で達成可能な最大および最小レートの平均値を用いる。

次にデータ量関数を用いた帯域割り当て手順について、アルゴリズムを表1に示す。大まかな流れとしてまず、使用可能な帯域 B を M 分割し、その一つをデータ量関数(1)の第1項と第3項の和が最も小さい端末に割り当てる。この状態で次の帯域を同様にして割り当てる。この操作をすべての帯域量を使い切るまで繰り返すことでデータ量関数の小さな端末から優先的に帯域が割り当てられる。

4. 性能評価

性能評価として本研究では MATLAB によるシミュレーションを実施した。130m×970m のエリアに端末が 100~300 台が図2に示すように分布している状況を想定した。また、端末の送信電力 p_{UE} は 10mW、帯域割り当てでの時間間隔 δ_T は 10ms、ノイズ密度 N_0 を 3.98×10^{-21} W/Hz とする。提案手法(w/ future)に加えて、通信範囲内の端末に均等に割り当てる手法(Uniform)と、式(1)において第3項の値を0とした手法(w/o future)を比較手法として用いる。評価指標として以下の式で定義される Jain の Fairness Index (FI)を用いる。

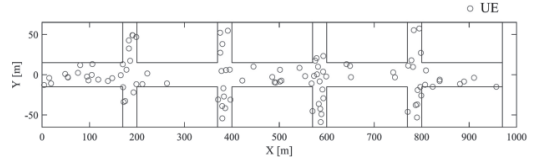


図2 端末分布の例(100台)

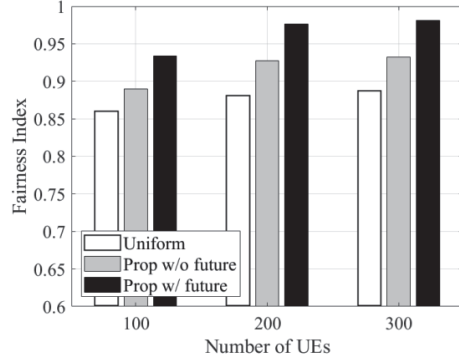


図3 Fairness Index による評価結果

$$FI = \frac{(\sum_{k=1}^K d_k)^2}{K \sum_{k=1}^K d_k^2}. \quad (4)$$

ここで d_k は端末 k の送信データ量、 K は端末台数である。

図3に各割り当て手法におけるFIの評価結果を示す。横軸はエリア内の端末台数、縦軸はFIの値である。図から分かる通り、端末台数にかかわらず、本提案手法が最もFIが高く、送信データ量のばらつきを小さく抑えられることが確認できた。

5. まとめ

本論文では、災害時の空中基地局を用いた情報収集システムに注目し、上りリンク通信のために必要な無線資源割り当て手法の提案を行った。まず、各端末の通信履歴と位置情報を用いてデータ量関数を定義し、この情報をもとに帯域割り当てを行うアルゴリズムを提案した。そして、性能評価を行い、本提案手法の有効性を公平性の観点から評価した。

謝辞

本研究は科研費 JP20K11785 の助成を受けたものです。

文献

- 1) M. Erdelj *et al.*, “Help from the Sky: Leveraging UAVs for Disaster Management,” *IEEE Pervasive Computing*, vol. 16, no. 1, pp. 24-32, Jan. 2017.
- 2) R. Jain *et al.*, “A Quantitative Measure of Fairness and Discrimination for Resource Allocation in Shared System,” Digital Equipment Corporation, Tech. Rep. DEC-TR-301, Sep. 1984.