

5V-06

都市部の基地局機能停止時における UAV 空中基地局を用いた代替ネットワーク展開手法の検討

福永慧[†] 中村嘉隆[†] 稲村浩[†]
 公立はこだて未来大学 システム情報科学部[†]

1. はじめに

2018年に発生した、北海道胆振東部地震では道内全域の停電によって6505局の携帯電話基地局が停波し、モバイル端末が携帯電話基地局との通信に何らかの支障が発生した市町村は179団体のうち100団体以上となった[1]。このような大規模災害時における基地局停波時にも、通信を維持するための試みとして、UAV(Unmanned Aerial Vehicle)空中基地局群を用いた代替ネットワークを展開する手法が検討されている。文献[2]では、VSM(Virtual Spring Mesh)[3]を利用したネットワーク展開手法を提案している。しかし、UAV 空中基地局の地上通信カバレッジを考慮していないため、カバレッジホールの発生を回避することができず、代替ネットワークを用いたモバイル端末の通信成功率が低下するおそれがある。本稿では、カバレッジホールの発生条件を考慮しながら UAV 空中基地局を配置することで、対象地域の通信成功率を向上させる手法を提案する。

2. 関連技術

2.1 VSM(Virtual Spring Mesh)

文献[3]では、ノード群に仮想ばね網を形成することで、ノード間の距離を維持しながらノード群を展開する手法を提案している。仮想ばねとは、ノード間にフックの法則を用いて擬似的な力を与えることで、ノードにばねによって繋がれているような動きをさせるためのノード間パラメータを指す。文献[3]では、仮想ばねを繋ぐノード間の選定方法として Acute Angle Test を提案している。Acute Angle Test を使用すると、ノード群は三角形の格子状の仮想ばね網を形成しノード群の距離を維持することが出来る(図1)。

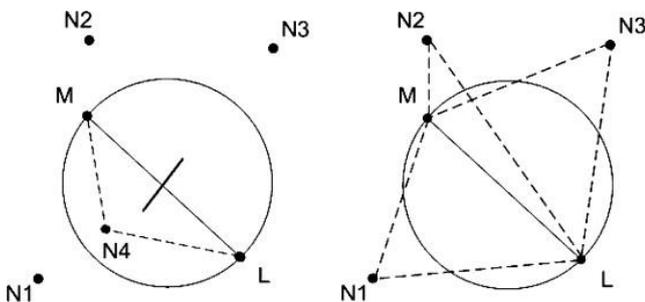


図1: AcuteAngleTest 使用時の VSM(文献[3]より引用)

2.2 Adaptive Triangular Deployment Algorithm for Unattended Mobile Sensor Networks

文献[4]では、全て同じ大きさのカバレッジを所持している各センサが隣接センサの位置情報のみでカバレッジホールが無い状態かつ最大のカバレッジを保証するセンサ群を展開する手法を検討している。また、全てのセンサ群のカバレッジ半径を r とおいた場合、センサ群を一边が $\sqrt{3}r$ の正三角形の格子状に展開すれば、センサ群がカバレッジホールが無い状態で最大のカバレッジを得られることを証明した(図2)。

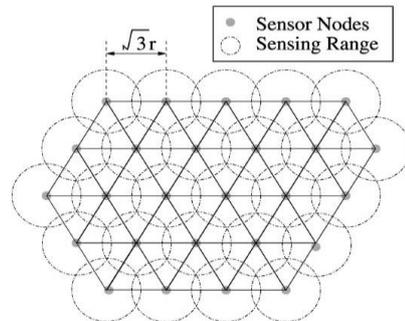


図2: カバレッジホールが無い状態かつ最大のカバレッジを得るためのセンサ群展開(文献[4]より引用)

3. 提案手法

VSMを用いた UAV 空中基地局ネットワーク展開時に、Modified Hata Model を用いて各 UAV 空中基地局の地上カバレッジ推定を行い、カバレッジホールの発生を抑えた上で UAV 空中基地局群の地上カバレッジを最大化する手法を提案する。

3.1 UAV 空中基地局の地上カバレッジ推定

本稿ではノード間の電波伝搬損失モデルとして Modified Hata Model[5]を用いる。Modified Hata Model は伝搬損失の推定可能範囲を送信局の高さが 30~200m, 受信端末の高さが 1~10m, 周波数が 30~3000MHz, 送信局と受信端末間の地上正射影距離が 0.04~100km までの範囲を測定可能な伝搬損失モデルである。本研究では、Modified Hata Model を用いることによって、周波数 f [MHz], 送信局の高さ $h1$ [m] と受信端末の高さ $h2$ [m], 送信局と受信端末間の地上正射影距離 d [km]がわかれば、送信局から受信端末への電波伝

A study on alternative network deployment method considering ground coverage of UAV airborne base stations for urban base station failure
 Kei FUKUNAGA[†], Yoshitaka NAKAMURA[†], Hiroshi INAMURA[†]

[†] School of Systems Information Science, Future University Hakodate

搬損失 L [dB]を算出することができる。提案手法では Modified Hata Model を利用して, $f, h1, h2, L$ から d を算出する式に変形することで, UAV 空中基地局からモバイル端末への最低の伝搬損失 L 以上を保証する, 送信局と受信端末間の地上正射影距離 d を算出する。

3.2 地上カバレッジを考慮した UAV 空中基地局群の配置

文献[4]では, 全ての UAV 空中基地局の地上カバレッジ半径が r であるときに, UAV 空中基地局群を一边が $\sqrt{3}r$ の正三角形の格子状に展開すれば, UAV 空中基地局群がカバレッジホールが存在しない状態で最大の地上カバレッジを得ることが示されている。そこで, Modified Hata Model によって算出した UAV 空中基地局 (送信局) とモバイル端末 (受信端末) 間の地上正射影距離 d を UAV 空中基地局とモバイル端末が通信可能な地上カバレッジ半径とする。仮想ばねの自然長を $\sqrt{3}d$ とおくことによって VSM が UAV 空中基地局群を一边が $\sqrt{3}d$ の正三角形の格子状に配置する (図 3)。

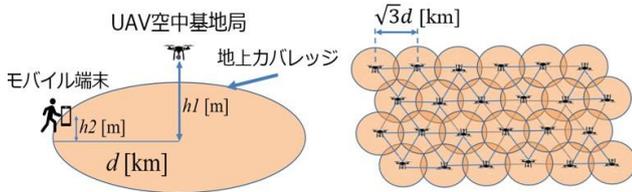


図 3 : UAV 空中基地局の地上カバレッジ推定(左)と地上カバレッジを考慮した UAV 空中基地局群の配置(右)

4. 証明

VSM の仮想ばねは力を受けない場合に自然長を維持する。また, AcuteAngleTest によって形成された仮想ばね網は三角形の格子状を作るため, 全ての仮想ばねの長さが自然長である場合, 正三角形の格子状の仮想ばね網が作られる。

ここで, 仮想ばねの自然長を l_0 とおき, Modified Hata Model によって求められた UAV 空中基地局の地上カバレッジ半径を d とおく。また, 図 4 のように UAV 空中基地局は P, Q, R の 3 機が存在し, 正三角形の仮想ばね網 $\triangle PQR$ を形成していると仮定する。P, Q, R の地上カバレッジが正三角形の重心 G で交わるとき, 地上カバレッジの半径 d は以下の式で求められる。

$$d = \frac{2}{\sqrt{3}} \times \frac{1}{2} l_0 = \frac{l_0}{\sqrt{3}}$$

ここで, l_0 は d を用いて,

$$l_0 = \sqrt{3}d$$

と表すことができ, 全ての UAV 空中基地局の地上カバレッジ半径 d であるときに, 仮想ばねの自然長が $\sqrt{3}d$ となるように, UAV 空中基地局群を展開すれば, UAV 空中基地局群がカバレッジホールが存在しない状態で最大のカバレ

ッジを得られる。

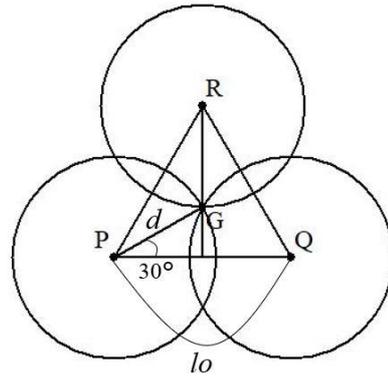


図 4 : VSM による UAV 空中基地局の配置

5. おわりに

本稿では, 都市部の携帯電話基地局が停波した場所に UAV 空中基地局群の代替ネットワークを展開する手法を検討した。今後は, 提案手法によって, UAV 空中基地局群の地上カバレッジにおけるカバレッジホールが発生を抑制することが可能な状態になり, 携帯電話基地局からモバイル端末への送信成功率が向上することを証明するために, 提案手法と既存手法の VSM を用いた UAV 空中基地局配置手法とを比較するシミュレーション実験を行う。また, 提案手法の改善案として, モバイル端末が屋内に存在する場合を考慮したり, UAV 空中基地局の周辺に存在する建築物の高さや密度によって UAV 空中基地局の配置密度を変えるなど, 実環境での適用時に起こりうる問題を想定した上での提案手法を検討していく。

謝辞 本研究の一部は, 東北大学電気通信研究所における共同プロジェクト研究の支援によって行われた。

参考文献

- [1] 北海道総合通信局 : 通信、放送の被害状況, http://www.soumu.go.jp/main_content/000585075.pdf (参照 2018 年 12 月 14 日)。
- [2] Felice, M.D., Angelo T., Luca B., et al. : Self-organizing aerial mesh networks for emergency communication Proc. of IEEE 25th Annual International Symposium on, Personal Indoor and Mobile Radio Communication (PIMRC 2014), pp.1631-1636(2014)。
- [3] Shucker, B., Murphey, T. and Bennett, J.K. : An approach to switching control beyond nearest neighbor rules, Proc. American Control Conference(ACC 2006), pp. 7(2006)。
- [4] Ma, M., Yuanyuan, Y. : Adaptive Triangular Deployment Algorithm for Unattended Mobile Sensor Networks, IEEE Trans. TC, Vol.56, No.7, pp.946-847(2007)。
- [5] ITU-R : Monte Carlo simulation methodology for the use in sharing and compatibility studies between different radio services or systems, SM 2028-1, pp.1-67(2002)。
- [6] 国土技術政策総合研究所 : 基準作成に役立つ基礎知識 <http://www.nilim.go.jp/lab/bcg/siryoutnn/tnn0368p df/ks0368034.pdf> (参照 2018 年 12 月)。
- [7] 日本ビルディング協会連合会 : ビル実態調査(平成 25 年版)調査結果要旨, http://www.jboma.or.jp/h24_biruji ttai/zenkoku (参照 2018 年 11 月)。