

[ポスター講演] セルラーネットワークにおけるアレイアンテナ及び CoMP 送信による干渉軽減を用いた UAV 配置に関する検討

川上 純平[†] 安達 宏一[†]

[†] 電気通信大学 先端ワイヤレス・コミュニケーション研究センター

あらまし 近年、無線通信機能を搭載した無人航空機 (UAV: Unmanned Aerial Vehicle) を通信システムに導入する検討が盛んに行われている。UAV の持つ利点としてあげられるのが、地上の固定基地局 (BS: Base Station) とは異なり動的な配置が可能であるため動的に変化する通信トラフィックに応じて配置位置を決められることや、地上の通信端末と見通し内 (LoS: Line of Sight) 環境を形成する確率が高いため高品質な通信を行うことが可能であることなどが挙げられる。UAV そのものが通信端末となる場合、または UAV が地上端末への中継局として動作する場合には、地上 BS との高品質な通信リンクの確立が必要となる。しかしながら UAV と複数 BS とのチャネル状態が非常に良好となるため、接続 BS 以外からの干渉が大きくなり、通信品質が劣化するため、BS との接続を維持しつつ航行可能なエリアが制限されてしまう。さらに、UAV の利用には航空法などの制約も課されるため配置可能な場所には制限がある。そのため、UAV が一定以上の品質を確保できる領域を拡大させることが重要である。本論文では、UAV に線形アレイアンテナ (ULA: Uniform Linear Array) を具備し、さらに複数 BS が協調して UAV と通信を行う CoMP (Coordinated Multi Point) の適用を提案する。ULA の重み計算に MMSE (Minimum Mean Square Error) 規範を用いることで干渉の影響を軽減し SINR (Signal to Interference plus Noise Ratio) を向上させ、UAV の通信可能エリアを拡大させることが可能となる。また、PSO (Particle Swarm Optimization) を用いた UAV の配置位置決定によって、UAV を中継局として導入したセルラーネットワークにおいて地上ユーザの通信品質及びスループットが向上することを示す。

謝辞: 本研究の一部は JSPS KAKENHI Grant Number JP18K04127 によって行われた。

キーワード UAV, セルラーネットワーク, CoMP, アレイアンテナ, 干渉軽減

Connectivity of UAV equipped with ULA using CoMP transmission

Jumpei KAWAKAMI[†] and Koichi ADACHI[†]

[†] Advanced Wireless and Communication Research Center, The University of Electro-Communications

Abstract Introducing unmanned aerial vehicles (UAVs) into wireless communication systems has recently gained a lot of attention. The advantages of UAVs are as follows; i) unlike fixed ground base stations, they can be dynamically deployed according to the traffic, ii) they can establish a line of sight (LoS) environment to communication terminals with high probability. Therefore high quality communication can be realized. When the UAV is either a communication terminal or a relay station to a terrestrial terminal, it is necessary to establish a high quality communication link with the terrestrial BS. However, interference from neighboring BSs becomes significant due to its LoS environment, which results in performance deterioration. Thus, the area within where UAV can navigate is limited. In addition, the use of UAVs is limited by aviation laws and other restrictions on their placement. Therefore, it is crucial to expand the area in which UAVs can ensure a certain level of quality. In this thesis, we propose the application of coordinated multi-point (CoMP) transmission. A UAV is equipped with a uniform linear array (ULA). By using the minimum mean square error (MMSE) based beamforming, the interference from neighboring BSs can be suppressed, and then the signal-to-interference plus noise ratio (SINR) can be improved. We also show that determining the location of UAVs by @article swarm optimization (PSO) can improve the throughput of ground users in cellular networks with UAVs as relay stations.

Acknowledgement: A part of this research was conducted by JSPS KAKENHI Grant Number JP18K04127.

Key words UAV, Cellular network, CoMP, Array antenna, Interference mitigation

セルラーネットワークにおけるアレイアンテナ及びCoMP送信による干渉軽減を用いたUAV配置に関する検討



川上 純平 安達 宏一 電気通信大学 先端ワイヤレス・コミュニケーション研究センター

研究背景

- 無線通信機能を搭載した無人航空機(UAV^(a))への注目^[1]
 - UAVを用いる利点
 - 固定基地局(BS^(b))とは異なり動的な配置が可能
 - 地上の通信端末(UE^(c))との見通し内(LoS^(d))となる確率の向上

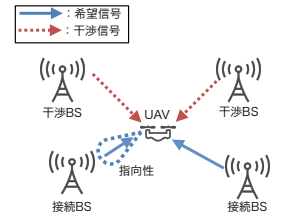
問題点

- 航空法による通信エリアの制限
- 良好なBS-UAV間チャネル利得による周辺BSからの強い干渉^[2]
 - 通信品質の劣化

(a) Unmanned Aerial Vehicle (b) Base Station (c) User Equipment (d) Line of Sight

目的・提案

- UAVが高い通信品質を達成可能な領域を拡大
 - UAVの受信SINR^(e)の向上
 - UAVに線形アレイアンテナ(ULA^(f))を具備して干渉軽減^[2]
 - 複数台のBSとのCoMP^(g)接続を適用
- UAVを中継局として配置することでUEのスループットを向上
 - PSO^(h)アルゴリズムによる位置探索



(e) Signal to Interference plus Noise Ratio (f) Uniformed Linear Array (g) Cooperative Multipoint (h) Particle Swarm Optimization

図1. ULAとCoMP接続による干渉軽減

システムモデル

- $L \times L$ [m²] の通信エリアに3つのセクタを持つBSが強度 λ のポアソン点過程に従って配置されたダウンリンク(DL: Down Link)通信を想定
- $3/5L \times 3/5L$ [m²] の内側通信エリアにK台のUEを一様分布
 - UEは内側通信エリア内の最もチャネル利得の高いセクタへ接続
- 総帯域幅B [Hz]の時分割多元接続を採用し時間リソースをセクタに接続したUEに対し均等に割当
- M個のアレイ素子からなるULAを具備したUAVをリレー局として配置
 - UAVは最もチャネル利得が高いセクタを持つBSに対しULAが垂直となるよう向きを調整(図3)

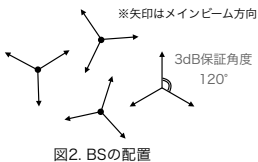


図2. BSの配置

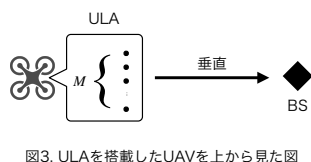


図3. ULAを搭載したUAVを上から見た図

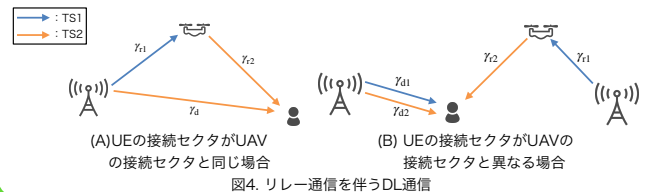
リレー通信

- DL通信を2つのタイムスロット(TS)に分割
 - TS1: セクタはUEまたはUAVへ信号を送信
 - TS2: セクタはUEへ、UAVはリレー通信を行うUEへ信号を送信
- UEがリレー通信を選択する条件 (γ は受信SINR)
 - UEの接続セクタがUAVの接続セクタと同じ場合

$$\log_2(1 + \gamma_u) < \min\{\log_2(1 + \gamma_{r1}), \log_2(1 + \gamma_{r2})\}$$

- UEの接続セクタがUAVの接続セクタと異なる場合

$$\log_2(1 + \gamma_{d1}) + \log_2(1 + \gamma_{d2}) < \min\{\log_2(1 + \gamma_{r1}), \log_2(1 + \gamma_{r2})\}$$



(A) UEの接続セクタがUAVの接続セクタと同じ場合 (B) UEの接続セクタがUAVの接続セクタと異なる場合
図4. リレー通信を伴うDL通信

CoMP送信

- UAVはチャネル利得が高い順に接続セクタを N_{CoMP} 台まで決定
- 接続セクタはCoMP送信を用いてUAVへ同じ信号を送信
 - 同じ時間、同じ周波数リソースを用いて送信
 - セクタ間の協調により受信点において信号の同相合成が可能

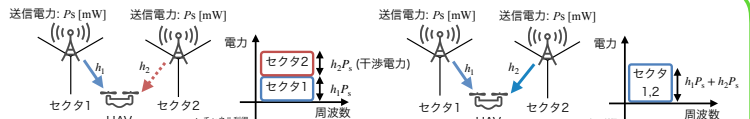


図5. CoMP送信イメージと電力スペクトル(左: $N_{CoMP} = 1$, 右: $N_{CoMP} = 2$)

提案手法

- ULAの重み計算にはMMSE^(a)規範を使用し以下のように計算
 - アレイ利得(初期値0[dB])を考慮し接続セクタを選択
 - 接続セクタBSからの信号を希望信号、接続セクタのBS以外からの信号を干渉信号としてMMSE規範による重みを生成
 - 再生成した重みによって各セクタに対するアレイ利得を更新
 - 1~3をSINRの最大値が変更されなくなるまで繰り返す
- PSOアルゴリズムを用いてUAVの配置位置を決定
 - 内側通信エリアにP台のUAVを仮想的に展開しMMSE重みを決定
 - UEの総通信レートを評価値とし、速度 v_p と座標 x_p を次式に従い N_{gen} 回更新

$$v_p(t+1) \leftarrow w(t)v_p(t) + c_1r_1(x_{1p} - x_p(t)) + c_2r_2(x_g - x_p(t))$$

$$x_p(t) \leftarrow x_p(t) + v_p(t+1)$$

wは線形変化する重み, c_1, c_2 は加速係数, r_1, r_2 は[0,1]の一様乱数, x_{1p} はUAV p が最大値を得た座標, x_g は全UAVにおける最大値を得た座標を表す

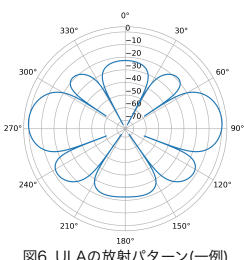


図6. ULAの放射パターン(一例)

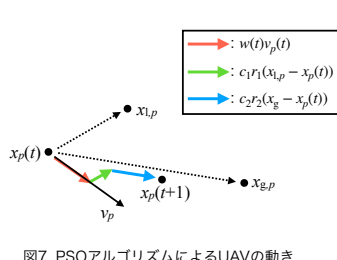


図7. PSOアルゴリズムによるUAVの動き

シミュレーション結果

- 接続セクタ数の増加に伴い受信SINRが向上
 - ULAを用いない場合(w/o ULA), ULAの垂直方向が最大利得となる重みをつけた場合(Vertical gain)と比較
- 提案手法によってより高いSINRを達成可能
- UAVの導入によってUEの総通信レートが向上
 - 内側通信エリアに間隔 $L_g = 100$ [m]の格子を考え、全UEの総通信レートが最も向上する格子点へUAVを配置する方法と比較
 - PSOによってより効率的な位置へUAVを配置可能

表2 シミュレーションパラメータ

通信エリア $L \times L$	2500×2500 [m ²]
強度 λ	5.0 [km ⁻²]
UE数 K	500
セクタの送信電力 P_s	43 [dBm]
UAVの送信電力 P_{UAV}	23 [dBm]
セクタのアンテナ高度	25 [m]
接続セクタ数 N_{CoMP}	{1,2,3}
ULAのアンテナ数 M	5
粒子数 P	20
更新回数 N_{gen}	100
線形変化重み w(t)	0.9~0.4
加速係数 (c_1, c_2)	(2.0, 2.0)

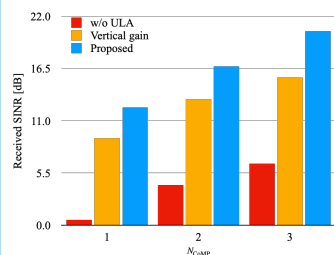


図8. UAVの平均受信SINR

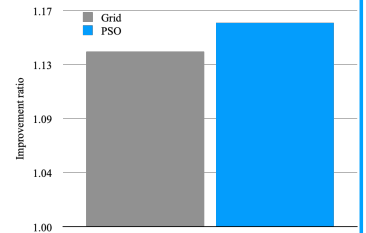


図9. 総通信レートの向上率

謝辞

本研究の一部はJSPS KAKENHI Grant Number JP18K04127 によって行われた

参考文献

- Y. Zeng, R. Zhang, and T. J. Lim, "Wireless communications with unmanned aerial vehicles: opportunities and challenges," *IEEE Commun. Mag.*, vol. 54, no. 5, pp. 36–42, 2016.
- L. Liu, S. Zhang, and R. Zhang, "Multi-beam UAV communication in cellular uplink: Cooperative interference cancellation and sum-rate maximization," *IEEE Trans. Wireless Commun.*, vol. 18, no. 10, pp. 4679–4691, 2019.