

1F-04

ビークルセルネットワークの無線フロントホールにおけるビーム追従法
Beam Tracking for Wireless Mobile Fronthaul on Vehicular Cell Network

丸田 一輝¹ 中山 悠² 田中 健³ 安永 遼真³ 菅 宣理³ 本田 一暁³ 久野 大介⁴ 安昌俊¹
Kazuki Maruta Yu Nakayama Ken Tanaka Ryoma Yasunaga Norisato Suga Kazuaki Honda Daisuke Hisano Chang-Jun Ahn

1. はじめに

スモールセル基地局(Small cell access point, SCAP)に自律的な移動機能を搭載し、時間・空間的に変動するモバイルトラフィックに動的に追従することで設備効率を改善可能とする適応的モバイルネットワークを提案している[1][2]. 加えてこの一展開形態として、自動車を対象とし、報酬に対するドライバーの行動特性に基づき基地局機能を制御(オン/オフ)するビークルセルネットワークを提案した[3]. これまでに、高速移動する車載型 SCAP(Vehicle-mounted SCAP, VAP)とユーザ端末(User Equipment, UE)との歩車間通信特性を明らかにしてきた[4]. 一方、VAP とネットワークへの接続区間、つまりフロントホールも無線接続となる. VAP-UE の無線アクセス区間よりも通信距離があることから多素子アレーアンテナを用いたビームフォーミングが有効と考えられる. 本稿では、直線型道路環境を想定したときの無線フロントホール区間を対象とし、高速移動する VAP に対しビームを追従するための簡易な手法を提案する. その通信特性について計算機シミュレーションを通して明らかにする.

2. システムモデル

2.1 システム構成

システム構成を図 1 に示す. 基地局は機能が分割された集中型無線アクセスネットワーク(Centralized radio access network, C-RAN)を前提とし、中央制御ユニット(CU), 分散ユニット(DU), VAP の機能を有するアンテナユニット(RU)から構成されるものとする[5]. CU-DU 間は光回線にて接続される. スモールセルを形成する RU は車両を含め多数展開され得ることから、DU-RU 間を無線モバイルフロントホール(Mobile fronthaul, MFH)にて構築することで柔軟なスモールセル展開が可能となる[6]. 無線 MFH としては周波数資源が潤沢な高周波数帯及び超多素子アレーアンテナを用いる手法が有効と考えられる[7]. アレーアンテナを用いたビーム形成により周波数に比例して大きくなる伝搬損失を補償し、かつ他局への与干渉を低減可能であることから周波数の空間的な再利用性も高まる. 本検討では図 1 に示すような直線道路を想定し、無線 MFH 区間における DU から RU(VAP)へのビーム追従手法を検討対象とする.

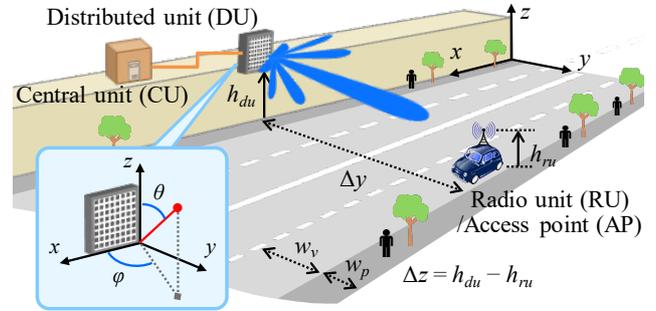


図 1 システム構成

2.2 伝搬路モデル及び指向性制御

DU-VAP 間の伝搬モデルとして、見通し(Line-of-sight, LoS)環境を想定する. DU は平面アレー, VAP はリニアアレー構成とする. このとき、VAP の第 j アンテナ及び DU の第 i アンテナ間のチャネル係数は以下の式で与えられる.

$$h_{ij} = \frac{\lambda}{4\pi d_{ij}} \exp\left(-\frac{j2\pi d_{ij}}{\lambda}\right) \quad (1)$$

d_{ij} は VAP の第 j アンテナ及び DU の第 i アンテナ間の直線距離, λ は波長である. これに対し、DU は位相器の制御によりビームフォーミングを行う. DU の第 i アンテナ素子に与える位相は以下のように与えられる.

$$w_i = \exp\left(-\frac{j2\pi l}{\lambda}\{(m_t - 1) \cos \varphi \sin \theta + (n_t - 1) \cos \theta\}\right) \quad (2)$$

l はアンテナ素子間隔であり、本検討では半波長とする. m_t 及び n_t はそれぞれ平面アレーアンテナの行方向及び列方向のインデックスである(図 1). 方位角 φ 及び天頂角 θ を推定することにより、所望の VAP 方向へのビーム形成により受信利得を獲得する.

3. 提案方式

直線道路において車両は一方方向に移動することから、この特徴を考慮した簡易ビーム追従法を提案する. DU は走査範囲の開始点にてビームを形成しておき、車両が当該ビーム内に達した時点からビーム追従を開始する. 推定速度 v_{est} をある初期値から開始し、更新時間間隔 Δt ごとに以下の式に基づいて推定方向を変化させる.

$$\varphi_{est}(t) = \varphi_{est}(t - \Delta t) - \tan^{-1}\left(\frac{\Delta t v_{est}}{\Delta y}\right) \quad (3)$$

$$\theta_{est}(t) = \tan^{-1}\left(\frac{\Delta z \sin \varphi_{est}(t)}{\Delta y}\right) + 90^\circ \quad (4)$$

このとき、DU から対向する壁面までの道路法線方向の距離 Δy 及び DU と VAP の高低差 Δz はそれぞれ既知とし $\Delta y = 15.5$ m, $\Delta z = 8.0$ m である. これを利用し天頂角 θ_{est} は φ_{est} に対して一意に求まる. 追従パラメータの更新時間間

¹ 千葉大学 大学院 工学研究院,
Graduate School of Engineering, Chiba University

² 青山学院大学 理工学部
Department of Integrated Information Technology,
Aoyama Gakuin University

³ neko 9 Laboratories

⁴ 大阪大学 大学院 工学研究科,
Graduate School of Engineering, Osaka University

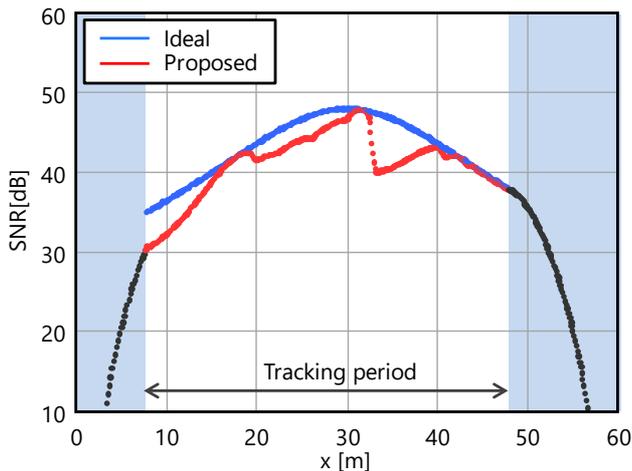


図2 移動方向に対する受信SNR

隔 $\Delta t = 10$ msec とする。次に、信号強度ないしは SNR ($G(t)$)を観測しながら、これが前時刻のもの($G(t-\Delta t)$)よりも低下した場合に推定速度の補正を行う。まず形成しているビームに対し、 $\pm\Delta\phi$ の方向に 2 パターンの探索用ビームを形成し SNR を測定する。それぞれ G_+ 及び G_- とする。いずれかのビームにおいてより強い受信レベルを観測したかによって、以下に基づいて推定速度を更新する。

$$v_{est}(t) = v_{est}(t - \Delta t) + \text{sgn}\left(\log \frac{G_+}{G_-}\right) \frac{\alpha G(t)}{G(t - \Delta t)} \quad (5)$$

このとき、+の指向性利得 G_+ がより強いレベルであればビーム追従が遅れていることになるため推定速度を v_{est} 上げ、反対に G_- が大きければ v_{est} を抑制する制御を行う。受信強度が劣化した際に、2 パターンの探索を行うのみでよいため高速な追従が可能である。また受信強度の比を速度補正の重みとして用いることで VAP の実際の移動速度の変化に柔軟に対応可能である。 α はその敏感さを制御するパラメータであり、ここでは $\alpha = 3$ とした。

4. シミュレーション評価

4.1 シミュレーション条件

シミュレーションパラメータを表 1 に示す。目前の低 SHF における周波数資源の枯渇及び大容量化への要求を鑑み、広帯域を確保可能である 60 GHz 帯を想定する。酸素吸収による減衰も考慮する。図 1 に示す環境において、DU は $h_{du} = 10$ m の高さに壁面に設置されるものとし、観測対象とする道路 60 m の中間に位置するものとする。片側 2 車線道路を模擬し、車道幅 $w_v = 3.0$ m、歩道幅 $w_p = 5.0$ m とする。対抗する車線を走行する高さ $h_{ru} = 2$ m の VAP へのビーム追従特性を評価する。その指標として本評価では下りリンクの受信 SNR を用いる。DU は半波長間隔の 16×16 の平面アレーを備え、各素子の放射パターンは 3GPP モデル[8]に従うものとする。VAP には 10 素子のアレーアンテナを直線状に配置し、最大比合成受信(MRC)を行う。

このときの車両速度は $0 < x \leq 30$ [m]において 60 km/h, $30 < x \leq 60$ [m]において 45 km/h と変化する。初期値として $\phi_{est} = 140^\circ$, $v_{est} = 30$ km/h とし、観測する受信 SNR が 30 dB を越えた時点で追従を開始する。ここでは隣接する DU や VAP からの同一チャンネル干渉は考慮しない。

表 1 シミュレーションパラメータ

Parameters	Values
Carrier frequency	60 GHz
Bandwidth	100 MHz
Channel model	Free Space
Number of DU / VAP antennas	256 (16×16) / 10
Height of DU / VAP antenna	10 / 2 m
DU / VAP antenna gain	8 / 0 dBi
DU antenna pattern	3GPP model [8]
DU Transmission power	40 dBm
Feeder loss	3 dB
Receiver noise density	-174 dBm/Hz
Noise figure	9 dB
Street width	22 m

4.2 シミュレーション結果

時刻に対する SNR の変動を図 2 に示す。理想的にビーム形成を行った場合の特性には劣るものの、アレー利得を維持するようにビーム形成の方向を制御できていることがわかる。また車両速度の変化にも追従できていることも確認できる。このとき、追従を行う範囲は $140^\circ - 40^\circ$ の 100° 幅であり、直線距離にしておよそ 40 m となる。

5. まとめ

車載スモールセル型適応的モバイルネットワークについて、モバイルフロントホール区間の簡易ビーム追従法を提案し、その有効性を計算機シミュレーションにより明らかにした。様々な道路形状を考慮したビーム追従法の一般化は今後の課題である。

謝辞

本研究の一部は、JSPS 科研費 17H06562, KDDI 財団及びマツダ財団の助成を受けて行われた。

参考文献

- [1] Y. Nakayama, T. Tsutsumi, K. Maruta, K. Sezaki, "ABSORB: Autonomous Base Station with Optical Reflex Backhaul to Adapt to Fluctuating Demand," Proc. *IEEE INFOCOM2017*, May 2017.
- [2] Y. Nakayama, K. Maruta, T. Tsutsumi, K. Sezaki, "Optically Backhauled Moving Network for Local Trains: Architecture and Scheduling," *IEEE Access*, vol. 6, pp. 31023-31036, June 2018.
- [3] K. Honda, R. Yasunaga, Y. Nakayama, K. Maruta, T. Tsutsumi, "Dynamic Mobile Network Architecture Organized by Drivers Decision Making," Proc. *IEEE PIMRC2018*, Sept. 2018.
- [4] K. Maruta, Y. Nakayama, K. Honda, D. Hisano, C-J. Ahn, "V2P Connectivity on Higher Frequency Band and CoMP Based Coverage Expansion," Proc. *IEEE PIMRC2018*, Sept. 2018.
- [5] P. Chanclou, L. A. Neto, K. Grzybowski, Z. Tayq, F. Saliou, and N. Genay, "Mobile fronthaul architecture and technologies: A RAN equipment assessment," *JOCN*, vol. 10, no. 1, pp. A1-A7, Jan 2018.
- [6] X. Liu and F. Effenberger, "Evolution of mobile fronthaul towards 5G wireless and its impact on time-sensitive optical networking," Proc. *OFC2017*, Los Angeles, CA, 2017, pp. 1-2.
- [7] K. Senel, E. Bjoernson and E. G. Larsson, "Optimal Base Station Design with Limited Fronthaul: Massive Bandwidth or Massive MIMO?," Proc. *IEEE Globecom2017*, Singapore, 2017.
- [8] 3GPP, TR 38.901(V14.0.0), "Study on channel model for frequencies from 0.5 to 100 GHz (Release 14)," March 2017.