

# ビークルセル：ドライバーの意思決定に基づく 動的なモバイルネットワーク

本田 一暁\* 安永 遼真\* 中山 悠\*† 丸田 一輝\*‡ 堤 卓也\*

特定非営利活動法人 neko 9 Laboratories\*

東京大学 生産技術研究所†

千葉大学 大学院 工学研究院‡

## 1. はじめに

現在、導入されているモバイル通信サービスはマクロセルと呼ばれる無線基地局で提供されており、そのカバーエリアは1セル当たり数kmである。さらなるモバイルトラヒックの爆発的な需要増加への対応として通信容量の拡大が求められており、スモールセルと呼ばれる基地局を数10m間隔、数10セル単位で高密度に配置することが主流となりつつある[1]。従来は、これらの無線局からなるモバイルネットワークは光通信システムによる有線接続で収容されており、設置後の配置変更は前提としていない。オフィス街や住宅地といったトラヒック要求量の時間的変動が大きいエリアでは、設備の利用効率を著しく欠いてしまう。そのため、スモールセルの導入ではこれらの柔軟性・効率性の面での課題を解決する必要がある。この課題に対し、トラヒック需要に応じて基地局が移動する自律移動型ネットワーク等が提案されている[2]。本稿では、その一つの実現形態として、ドライバー各々の意思決定に基づきネットワークリソースを提供する新たな概念としてビークルセルコンセプトを提案する。

## 2. 提案システム

ビークルセルコンセプトを図1に示す。ビークルセルとはスモールセルに相当する機能を有する自動車等の移動体である。ドライバーは各々の意思決定に基づき、基地局機能の有効化及び無効化を切り替えることができる。有効化時のみ、周囲にネットワークリソースを提供する。ここで、モバイル通信事業者は、あるエリア単位で区切られたモバイルトラヒック要求量の分布を監視し、要求量に応じた報酬額をドライバーに提示する。ドライバーは自らのスモールセル機能の有効化に伴う電力供給等のコストと、得られる報酬額とを比較し有効化するかどうかを決定する。モバイルトラヒック要求量や自動車の交通量は人口分布の時間的変動に依存しており、ビークルセルの分布そのものがモバイルトラヒック要求量の分布と正の相関関係にあると考えることができる。この時、モバイル通信事業者が適切な報酬額を設定することで、

ネットワークリソース提供量や分布を柔軟に変更することが可能となり、かつ各地点の最大要求量をもとに設計される従来のスモールセルに対してより効率的な設備利用が可能になると考えられる。

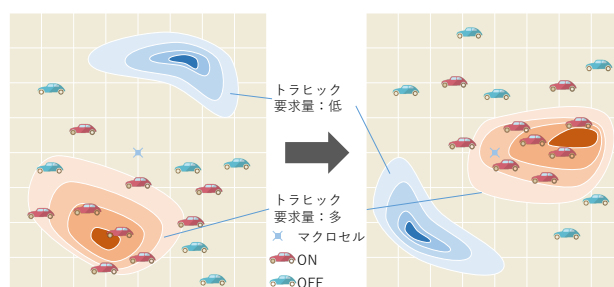


図1 ビークルセルコンセプト。

## 3. モデリング

対象エリアを  $K$  個のグリッドで表し、複数グリッドに対して1台のマクロセル基地局を設置する。グリッドの大きさは、ビークルセル1台のカバーエリアよりも十分に大きいものとし、グリッド# $k$ のビークルセル数を  $N_{v,k}(t)$ とする。本稿では、対象エリアを十分に広く、閉じた空間とみなし、ビークルセルの総和は時間的変動をしないと仮定する。グリッド# $k$ の時刻  $t$ におけるトラヒック需要を  $d_k(t)$ とする。ビークルセルの配置は時刻によって変わるため、 $t$ に依存した変数となる。モバイル通信事業者はトラヒック要求量を常に観測し、収容エリアの各グリッドに対してネットワークリソース提供に対する報酬量  $i_k(t)$ を決定する。各ドライバーは、自分が現在位置する収容エリアの報酬量から無線通信機能の有効化/無効化を判断する。この時のビークルセルの有効化割合を  $r_k(t)$ とする。  $r_k(t)$ は、報酬量  $i_k(t)$ に単調増加し、基地局機能有効時の装置への電力供給等のコスト  $C_p$ に反比例すると考えられる。これらを満たすモデルとして本稿では

$$r_k(t) = \alpha \frac{i_k(t)}{C_p} \quad (1)$$

と仮定する。  $\alpha$  はドライバーの報酬に対する反応度合を示す係数である ( $\alpha > 0$ )。上記の意思決定に基づき、ビークルセルはマクロセルとの無線通信による接続を行い、マクロセル-移動通信端末間のデータ送受信を中継する。この時、ビークルセルのリソース提供量を  $S_v$ とすると、

Vehicle Cell: Dynamic Mobile Network Based on Decision-making of Drivers

Kazuaki Honda, Ryoma Yasunaga, Yu Nakayama<sup>1</sup>, Kazuki Maruta<sup>2</sup>, Takuya Tsutsumi, neko 9 Laboratories

Institute of Industrial Science, University of Tokyo<sup>1</sup>

Graduate School of Engineering, Chiba University<sup>2</sup>

$S_v r_k(t) N_{v,k}(t) - d_k(t) \geq 0 \quad (1 \leq t \leq T, \forall k \in K) \quad (2)$   
 を満たす必要がある。モバイル通信事業者は有効化しているピークルセルのドライバーに対して報酬を支払うため、ピークルセルの設置および運用に掛かるコストは、

$$C_v \sum_{k=1}^K N_{v,k}(0) + \sum_{t=1}^T \sum_{k=1}^K i_k(t) r_k(t) N_{v,k}(t) \quad (3)$$

と表される。 $C_v$ は対象期間  $T$  を通したピークルセル1台あたりの設置・保守運用コストの積算値、 $N_{v,k}(t)$ はピークルセルの初期状態を示す。式(1)および(2)より、 $i_k(t)$ は、

$$i_k(t) \geq \frac{C_p d_k(t)}{\alpha S_v N_{v,k}(t)} \quad (4)$$

と表すことができる。従って、式(2)の制約条件のもとで、コストの最小値は、

$$C_{vmin} = C_v \sum_{k=1}^K N_{v,k}(0) + \sum_{t=1}^T \sum_{k=1}^K \frac{C_p d_k(t)^2}{\alpha S_v^2 N_{v,k}(t)} \quad (5)$$

と求めることができる。ここで、ピークルセルの総和は時間に依存しないことから、式(5)の第一項は

$$\frac{C_v}{T} \sum_{t=1}^T \sum_{k=1}^K N_{v,k}(t) \quad (6)$$

と表せる。従って、式(5)は相加平均と相乗平均の関係から、ピークルセルの最小コストは

$$C_{vmin} = \sum_{t=1}^T \sum_{k=1}^K \left\{ \frac{C_v}{T} N_{v,k}(t) + \frac{C_p d_k(t)^2}{\alpha S_v^2 N_{v,k}(t)} \right\} \geq \frac{2}{S_v} \sqrt{\frac{C_v C_p}{\alpha T}} \sum_{t=1}^T \sum_{k=1}^K d_k(t) \quad (7)$$

と書き換えることができる。等号成立は、

$$N_{v,k}(t) = \frac{1}{S_v} \sqrt{\frac{T C_p}{C_v \alpha}} d_k(t) \quad (8)$$

を満たすときである。

次に、従来手法の場合について記述する。グリッドサイズはこのスモールセルのカバーエリアに対しても十分大きくなるよう設計されており、グリッド内に複数のスモールセルが設置されうる、カバーエリアはグリッド間を跨がないものとする。このとき、グリッド# $k$ のスモールセル数 $N_{s,k}$ 、各スモールセルの供給可能なネットワークリソース量 $S_s$ とすると、

$$S_s N_{s,k} - d_k(t) \geq 0 \quad (1 \leq t \leq T, \forall k \in K) \quad (9)$$

を満たすようにスモールセルを設置する必要がある。式(6)の制約条件のもと、スモールセルにかかるコストは、

$$C_s \sum_{k=1}^K N_{s,k} \quad (10)$$

となる。 $C_s$ は、対象期間  $T$  を通したスモールセル基地局1台あたりの設置・保守運用コストの積算値を示す。この時、スモールセルの総数は時間に依存しないこと及び式(7)から、スモールセルの最小コストとして、

$$C_{smin} \geq \frac{C_s}{S_s T} \sum_{t=1}^T \sum_{k=1}^K d_k(t) \quad (11)$$

が得られる。ここで、提案手法と従来手法の最小コストの式(7)及び(11)の右辺を比較し、 $C_{vmin} \leq C_{smin}$ つまり

$$\frac{2}{S_v} \sqrt{\frac{C_v C_p}{\alpha T}} \leq \frac{C_s}{S_s T} \quad (12)$$

となる場合、提案手法の最小コストが従来手法に対して有利となる。従って、このときにピークルセルによるモバイルネットワークの効率化が実現される。

#### 4. 評価

式(7)および(9)の最小コストを数値計算により評価した(図2)。評価期間は昼夜間として $T=2$ 、需要の総和が1となるよう仮定した。ピークルセルおよびスモールセルのネットワークリソース提供能力は同程度であると仮定して $S_v = S_s = 1$ とした。また、各パラメータの相対比較のために $C_p = 1$ とした。例えば、 $C_p$ に対して、 $C_v$ および $C_s$ 共に15倍のコストを要するとしたとする。この時、 $\alpha = 0.25$  ( $C_p$ の4倍以上の報酬で対象グリッドのピークルセルが全て有効化)では従来手法の方が経済的になるが、 $\alpha = 0.75$  ( $C_p$ の1.33倍以上の報酬で対象グリッドのピークルセルが全て有効化)の時にはピークルセル構成の方が経済的であると言える。

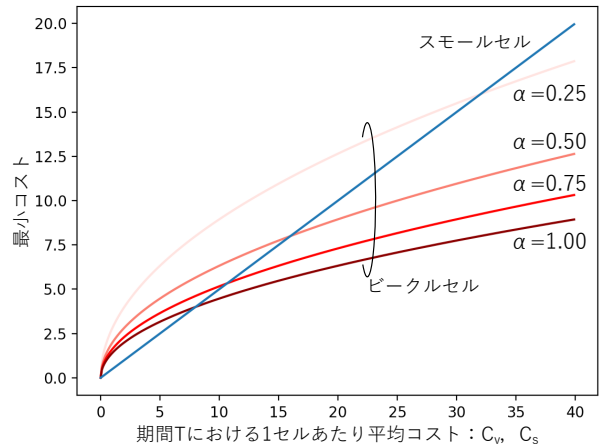


図2 コストの数値計算結果

#### 5. まとめ

本稿では、ドライバー各々の意思決定に基づき周囲へのネットワークリソース提供を行う、ピークルセルコンセプトを提案・モデル化し、数値計算によりその有効性を示した。

#### 参考文献

1. F. Boccardi, et al., *IEEE Commun. Mag.*, Vol 52, No. 2, Feb 2014.
2. Y. Nakayama, et al., *IEEE INFOCOM*, May 2017.