

# システムスループットを最大化する瞬時チャネル状態を考慮した サービスチャネル間の動的周波数帯域割り当て法

## B-5 Dynamic Frequency Bandwidth Allocation Method Considering Instantaneous Channel Conditions between Service Channels for System Throughput Maximization

坂井 達貴  
Tatsuki Sakai

樋口 健一  
Kenichi Higuchi

東京理科大学 理工学部 電気電子情報工学科  
Department of Electrical Engineering, Faculty of Science and Technology, Tokyo University of Science

### 1. まえがき

本稿では、セルラ下りリンクにおいて異なるサービスを提供するチャネル間でチャネルにまたがって定義されたシステムスループットを最大化する動的周波数帯域割り当て法を提案する。

### 2. 提案法

5G システムでは、拡張されたモバイルブロードバンド(eMBB)や非常に高い同時接続性を有するマシン型通信(mMTC)、超高品質低遅延通信(URLLC)といった要求条件の大きく異なる様々なサービスを収容するチャネルをシステム帯域内に多重することが必要となる[1]。本稿では、瞬時のチャネル状態を考慮したうえで各サービスチャネルへ最適な周波数帯域割り当てを行う方法を提案する。提案法は、サービス間にまたがって定義されたシステムスループットを最大化することを目的とする。着目するセルにおいてサービス  $i$  の端末の集合およびサービスの集合をそれぞれ  $\mathcal{K}_i$ ,  $\mathcal{N}_i$  とする。全ユーザの集合は  $\mathcal{K} = \bigcup_{i \in \mathcal{N}_s} \mathcal{K}_i$  とする。また、 $\mathcal{N}_i$  サービス間で共有される周波数ブロックの集合を  $\mathcal{F}$  とする。このとき、時刻  $t$  におけるサービス  $i$  のシステムスループット  $U_i(t)$ , およびこれらを統合した統合システムスループット  $U(t)$  を次式で定義する。

$$U_i(t) = \left( \frac{1}{|\mathcal{K}_i|} \sum_{k \in \mathcal{K}_i} R_k(t)^{m_i} \right)^{\frac{1}{m_i}}, \quad U(t) = \left( \frac{1}{|\mathcal{N}_s|} \sum_{i \in \mathcal{N}_s} U_i(t)^{m_s} \right)^{\frac{1}{m_s}} \quad (1)$$

式(1)のシステムスループットは一般化平均に基づいている。 $R_k(t)$ は時刻  $t$  における端末  $k$  の平均スループットである。 $m_i$ ,  $m_s$  はそれぞれサービス  $i$  およびサービス全体の周波数利用効率とサービス  $i$  内の端末間およびサービス間の公平性を制御するパラメータであり、 $m_i$ ,  $m_s$  を減少させるほど端末間、またはサービス間の公平性を重視することになる。

$R_k(t)$  は指数移動平均により次式で定義される。

$$R_k(t) = R_k(t-1) + \frac{1}{T_{\text{avg}}} \left[ \sum_{f \in \mathcal{F}} b_{k,f}(t) r_{k,f}(t) - R_k(t-1) \right] \quad (2)$$

ここで、 $T_{\text{avg}}$  はスループットの平均化時間、 $r_{k,f}(t)$  は端末  $k$  が時刻  $t$  で周波数ブロック  $f$  に接続したときに得られる瞬時スループットである。

$b_{k,f}(t)$  は端末  $k$  が時刻  $t$  で周波数ブロック  $f$  を割り当てられたか否かを示す変数であり、直交多元接続を仮定するため、次式で定義される。

$$b_{k,f}(t) = \begin{cases} 1, & \text{if terminal } k \text{ is connected to frequency block } f \text{ at time } t \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (3)$$

$$\sum_{k \in \mathcal{K}} b_{k,f}(t) = 1$$

提案法の目的は、 $U(t)$  を最大化するように  $b_{k,f}(t)$  を最適化することにある。

テイラー展開を用いると、最大化すべき統合システムスループット  $U(t)$  の増分  $\Delta U(t) = U(t) - U(t-1)$  は次式で表せる。

$$\begin{aligned} \Delta U(t) &= \sum_{k \in \mathcal{K}} \frac{\partial U(t-1)}{\partial R_k} [R_k(t) - R_k(t-1)] + O\left(\frac{1}{T_{\text{avg}}^2}\right) \\ &= \frac{1}{T_{\text{avg}}} \sum_{f \in \mathcal{F}} \sum_{k \in \mathcal{K}} b_{k,f}(t) \frac{\partial U(t-1)}{\partial R_k} r_{k,f}(t) - \frac{1}{T_{\text{avg}}} \sum_{k \in \mathcal{K}} \frac{\partial U(t-1)}{\partial R_k} R_k(t-1) + O\left(\frac{1}{T_{\text{avg}}^2}\right) \end{aligned} \quad (4)$$

式(4)において、第 2 項は  $b_{k,f}(t)$  の決定とは無関係な定数であり、第 3 項は  $T_{\text{avg}}$  が十分大きい時は無視できる。したがって、 $\Delta U(t)$  を最大化するために、提案法では、時刻  $t$  において周波数ブロック  $f$  を次式のメトリック  $g_{k,f}(t)$  を最大とする端末  $k$  に割り当てる。

$$g_{k,f}(t) = \frac{U_i(t-1)^{m_s} R_k(t-1)^{m_k-1}}{\sum_{j \in \mathcal{K}_i} R_j(t-1)^{m_k}} r_{k,f}(t) \left( \propto \frac{\partial U(t-1)}{\partial R_k} r_{k,f}(t) \right) \quad (5)$$

ここで、 $i_k$  は端末  $k$  が属するサービス番号である。

### 3. シミュレーション評価

2 サービスが共存する場合を仮定し、ポアソン点過程に基づいて、1 km<sup>2</sup> 当たり平均 1 基地局、サービス 1 の 40 端末、サービス 2 の 10 端末をランダムに配置した環境を模擬した。基地局の送信電力は 46 dBm であり、帯域幅が 180 kHz の周波数ブロックを 50 個並べた 9 MHz のシステム帯域幅を仮定し、1 ms 毎にスケジューリング ( $b_{k,f}(t)$  の決定) をした。伝搬路として 3.76 乗則の距離減衰、標準偏差 8 dB の対数正規分布に従うシャドウイング、最大ドップラ周波数が 5.55 Hz で rms 遅延スプレッドが 1  $\mu$ s の 6 パスレイリーフェージングを模擬した。端末の熱雑音電力密度は -169 dBm/Hz とした。スループットはシャノンの容量式に基づき計算し、 $T_{\text{avg}} = 100$  ms 区間平均の端末スループットを測定した。 $m_2$ ,  $m_s$  はそれぞれ -1, 0 とし、 $m_1$  値をパラメータにして評価した。

図 1 に  $m_1$  に対する統合システムスループットを示す。比較のため、各サービスチャネル間に準静的に帯域幅を割り当てる従来法[2]も評価した。図より、提案法が従来法に比較して、 $m_1$  の値によらず統合システムスループットを増大できていることがわかる。これは、瞬時チャネル状態を考慮して、スケジューリングとサービス間の帯域配分を同時最適化できたためであると考えられる。

### 4. まとめ

2 サービス端末間の瞬時チャネルを考慮したスケジューリングを行う提案法によって、サービスチャネル間にまたがって定義された統合システムスループットを改善できることを示した。

### 参考文献

- [1] 3GPP TR38.913 (V0.4.0), June 2016.  
[2] S. Mizuno, D. Muramatsu, Y. Yuda, and K. Higuchi, "Investigations on Optimum Frequency Bandwidth Allocation Method among Service Channels for System Throughput Maximization," in Proc. APCC2017, Perth, Australia, 11-13 Dec. 2017.

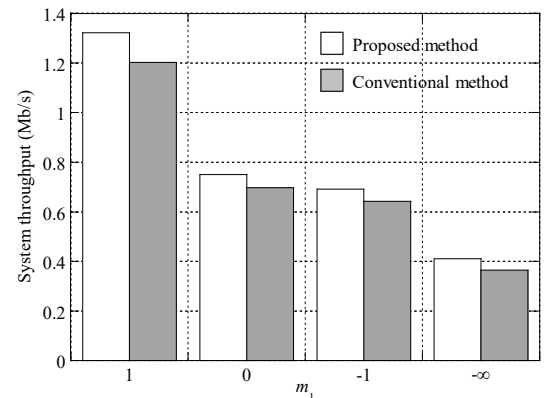


図 1.  $m_1$  に対する統合システムスループット