

統合システムスループットを最大化する NOMAに基づく下りリンク複数サービスチャネルの多重法

B-5 NOMA-based Downlink Multiplexing Method of Multiple Service Channels
to Maximize Integrated System Throughput

志熊 輝晃
Teruaki Shikuma

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

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、セルラ下りリンクにおいて、複数サービスにまたがって定義された統合システムスループットを最大化するシリアル干渉キャンセラ (SIC) を用いた非直交多元接続 (NOMA) [2] に基づくサービスチャネルの多重法を提案し、従来の直交多元接続 (OMA) を前提とした多重法[3]と比較評価する。

2. 提案法

着目するセルにおいて提供されるサービスの集合を \mathcal{N}_S 、サービス $i \in \mathcal{N}_S$ を享受する端末の集合を \mathcal{K}_i とする。セル内の全端末の集合は $\mathcal{K} = \bigcup_{i \in \mathcal{N}_S} \mathcal{K}_i$ とする。また、 \mathcal{N}_S 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。ここで、時刻 t におけるサービス i のシステムスループット $U_i(t)$ 、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。

$R_k(t)$ は指数重み移動平均により次式で定義される。

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

ここで、 T_{avg} はスループットの平均化時間、 $r_{k,f}(\mathcal{U}_f, \mathcal{P}_f; t)$ は端末 k が時刻 t で周波数ブロック $f \in \mathcal{F}$ において割り当て端末集合 \mathcal{U}_f と電力割り当て集合 \mathcal{P}_f の前提のもとに SIC を用いた NOMA で得られる瞬時スループットである。 \mathcal{U}_f の要素が 1 より大きいとき NOMA となるがこのとき生じる同一周波数ブロック内の端末間干渉は SIC を適用することで部分的に除去する[2]。

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。

$$\begin{aligned} \Delta U(t) &= \sum_{k \in \mathcal{K}} \frac{\partial U(t-1)}{\partial R_k} [R_k(t) - R_k(t-1)] + O\left(\frac{1}{T_{\text{avg}}^2}\right) \\ &= \frac{1}{T_{\text{avg}}} \sum_{f \in \mathcal{F}} \sum_{k \in \mathcal{K}} \frac{\partial U(t-1)}{\partial R_k} r_{k,f}(\mathcal{U}_f, \mathcal{P}_f; t) - \frac{1}{T_{\text{avg}}} \sum_{k \in \mathcal{K}} \frac{\partial U(t-1)}{\partial R_k} R_k(t-1) + O\left(\frac{1}{T_{\text{avg}}^2}\right) \end{aligned} \quad (3)$$

式(3)において、右辺第 2 項はリソース割り当て (\mathcal{U}_f と \mathcal{P}_f の決定) とは無関係な定数であり、第 3 項は T_{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 の周波数ブロック f において式(3)右辺第 1 項の定数を省略した形で得られる次式のメトリック $\lambda_f(\mathcal{U}_f, \mathcal{P}_f; t)$ を最大とするように \mathcal{U}_f と \mathcal{P}_f を決定する。

$$\lambda_f(\mathcal{U}_f, \mathcal{P}_f; t) = \sum_{k \in \mathcal{K}} \frac{U_k(t-1)^{m_s} R_k(t-1)^{m_k-1}}{\sum_{j \in \mathcal{K}_k} R_j(t-1)^{m_k}} r_{k,f}(\mathcal{U}_f, \mathcal{P}_f; t) \quad (4)$$

ここで、 i_k は端末 k が属するサービス番号である。

$\lambda_f(\mathcal{U}_f, \mathcal{P}_f; t)$ は、 $r_{k,f}(\mathcal{U}_f, \mathcal{P}_f; t)$ の重み付け和の形になっている。そこで提案法では、文献[4]の繰り返し注水定理を応用して各候補 \mathcal{U}_f に対して \mathcal{P}_f を最適化し、候補 \mathcal{U}_f 間で $\lambda_f(\mathcal{U}_f, \mathcal{P}_f; t)$ を比較することにより最適な \mathcal{U}_f と \mathcal{P}_f の組み合わせを決定する。NOMA を用いた提案法は、OMA を用いた従来法[3]と比較して各端末がより広い帯域幅を使用できるため、特に端末間の公平性が優先される場合に特性改善効果が大きい。

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 km² 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。1 セル周波数繰り返しを用い、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 毎にリソース割り当てを更新した。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 μ s の 6 パスレイリーフェージングを模擬した。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_1 , m_2 はそれぞれ -1, 0 とし、 m_s 値をパラメータにして評価した。NOMA における最大非直交多重端末数は 2 とした。

図 1 に m_s に対する統合システムスループットを示す。OMA を用いた従来法 [3] も評価した。提案法が従来法に比較して、 m_s 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、NOMA を用いることにより周波数ブロック内で複数の端末を多重でき、結果として各端末がより広い帯域幅を使用できたためである。

4. まとめ

NOMA を用いた提案法は、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た。

参考文献

[1] 3GPP TR38.913, June 2016. [2] K. Higuchi and A. Benjebbour, IEICE Trans. Commun., vol. E98-B, no. 3, pp. 403-414, Mar. 2015. [3] T. Sakai, et al., in Proc. IEEE VTC2018-Fall, Chicago, U.S.A., Sept. 2018. [4] N. Otao, et al., IEICE Trans. Commun., vol. E98-B, no. 2, pp. 344-351, Feb. 2015.

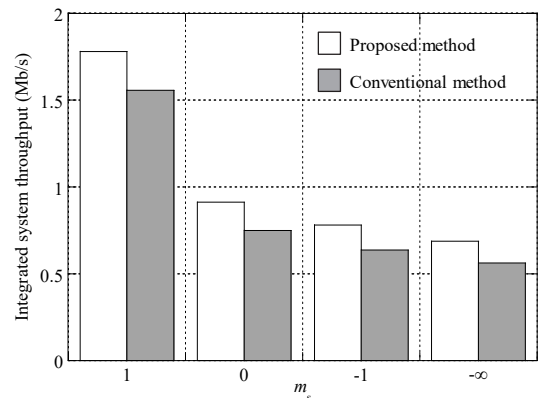


図 1. m_s に対する統合システムスループット