



《第57回》無線資源・エネルギー資源を最大限に活かす 無線ネットワーク設計

金子 めぐみ

移動体通信システムの加入者数や Internet of Things (IoT) デバイス数は指数的に増加していき、爆発的なモバイルデータ量が近未来には予想されています。しかし、無線通信に適した周波数帯である低い周波数帯（6 GHz 以下）は、ほとんどを既存システムが利用済みのため、無線資源不足問題は深刻な状況となっています。その結果、異なる無線システムやセル間で同じ周波数を同時利用するユーザやデバイス数が急増し、多数の干渉やパケット衝突が起き、通信特性が著しく劣化しているのが現状です。その中で、筆者は無線資源欠如問題解決に向けて、次世代移動体通信システムや無線アクセスネットワークのための無線資源割当てや、干渉制御法を主に研究してきました。

フランス育ちの筆者は、パリ近郊のグランドエコールで工学を専攻し、無線通信に関する幅広い先進的研究が盛んなデンマークのオールボー大学で修士号と博士号を取得しました。修士のときに初めてこの分野に出会い、強く興味をもちました。日本に来たきっかけは、Ph.D. 取得のために海外での研究を推奨するオールボー大学の費用で、京都大学に半年間留学したことでした。その後、京都大学でのポスドクと助教を経て、2016年に国立情報学研究所 (NII) の准教授に就任しました。国際性豊かなNIIは海外や他分野の研究者とも交流しやすく、学際的でオープンな研究環境が魅力です。フランスで教授職につくには博士号取得後に最高学位であるHDR（フランス教授資格）が必要なため、2017年にはHDRを取得しました。それまでになく厳しい条件の下でHDR Thesisを執筆し、世界各国の著名専門家7人を審査員としたHDR Defenseをパリサクレ大学で受け、無事取得することができました。

2020年に移動体通信の最新規格である5Gの初期サービスが開始されました。4Gまでは主に伝送速度の向上

のみが重視されていたのに対し、5Gでは、低遅延や高信頼性、多数のIoTデバイス接続性などのほかの指標も重視される点が異なります。さらに、Beyond 5G (B5G) や6Gで求められる今後の諸技術のレベルは5Gを大きく超えています。たとえば、5Gと比較し、B5Gでは伝送速度は100倍、遅延は5分の1という高い性能要求が想定されています。それに加えB5Gからは、エネルギー利用効率が新たな重要評価指標となり、より一層のチャレンジとなっています（図1）。

このような課題に対し、ランダムに変動する無線通信路や干渉状況をうまく活用し、システム全体の性能・各ユーザの通信品質要求・周波数やエネルギー利用効率等、相反する性能指標を同時に達成できる、優れた無線資源割当て法・アクセスプロトコル設計に取り組んできました。NII着任後は大きく3つのテーマで研究を進めてきました。

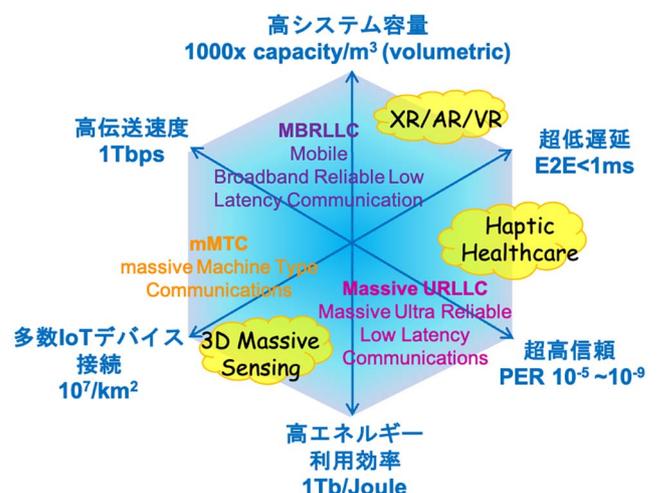


図1 Beyond 5Gの重要評価指標のターゲット

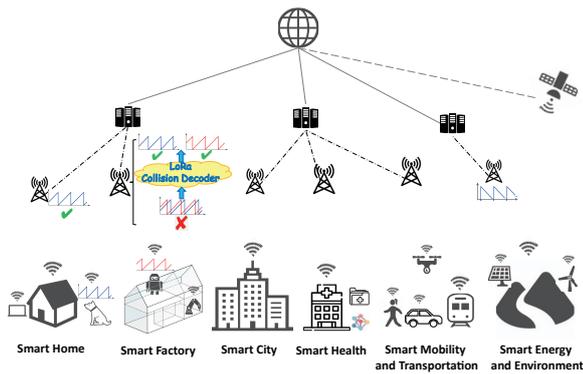


図2 LoRa 省電力広域 IoT システムのユースケース

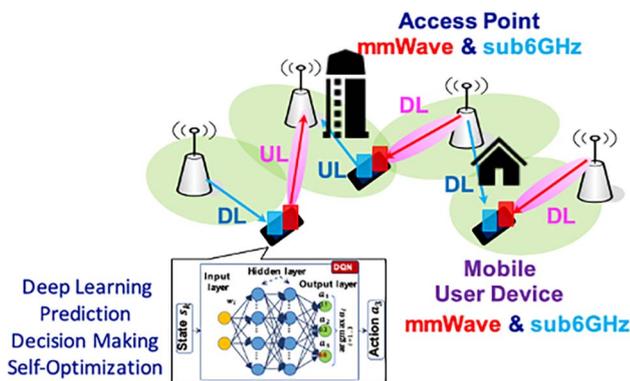


図3 深層強化学習を活用したマルチ AP 選択法

第一は、B5Gを支える重要な技術のモバイルエッジコンピューティング (MEC) やフォグ無線アクセスネットワークにおける、エネルギー利用効率向上に注目しました。クラウド中央集中の機能と各エッジノードの分散型機能を両立させる干渉制御法を設計し、無線通信路が不確定な場合でもエネルギー利用効率を向上させつつ、遅延と信頼性をあわせて改善しました。

第二は図2で示す、省電力広域IoTシステムのための無線アクセス方式の設計です。従来のLoRa (Long Range) 通信方式は、省電力ではあるものの伝送速度が著しく低く、多数接続では特性が大きく劣化することが問題でした。これに対し、厳しい干渉環境でのLoRa伝送速度の理論解析に成功し、それを基にLoRa資源割当ての最適化法を提案し、接続可能なIoTデバイス数や伝送速度、公平性、電力消費などの諸指標を同時に改善しました¹⁾。

第三は、AI機能と数理最適化を両立させる無線通信制御です。図3に示す、干渉環境が動的に変動する分散型の無線ネットワークを対象に、各ユーザ端末のAI機能を活用した深層強化学習法を確立しました。それにより、システム全体の低周波数帯 (サブ6GHz) および高周波数帯 (ミリ波帯) の有効利用を達成し、より高密度な環境での伝送速度・遅延・信頼性の同時改善を実現しました。

これらの研究は、主にフランスのパリサクレ大学、クレルモン・オーベルニュ大学、サウジアラビアKAUST大学との国際共同研究で進めています。また、昨年には科研費の国際共同研究強化プロジェクトも採択され、他分野を融合するチームと共に代表として進めています。産学連携も重要視しており、NTTとの共同研究プロジェクトを6年間代表として継続し、4件の特許が登録され、7件が出願中です。

B5G移動体通信システムや次世代無線アクセスネットワークに要求されているのは、多次元的な性能要求 (伝送速度・遅延・信頼性・多数接続性等) を高レベルで同時に提供しつつ、省電力性や持続可能性も同時に保証することです。社会的な要請からも、コロナ禍収束後もリモートワークのニーズは存在し続け、遠隔教育・遠隔医療・遠隔介護の実現に必須の技術として求められていくと考えられます。

筆者がこの研究で面白いと感じるのは、理論的無線通信の性能解析に実システムの条件や制約を取り込む点です。理想的な条件下での性能解析はもちろん重要ですが、現実のシステムでは、複雑な干渉現象や不確実な通信路情報などさまざまな要素によって理想どおりにいきません。より現実的な条件を理論解析や数理モデリングに取り入れ、理論と実システムのギャップを少しでも埋めて、省電力かつ高性能な無線ネットワーク設計を今後も目指していきます。

(2023年7月27日受付)

参考文献

- 1) L. Amichi, M. Kaneko, E. H. Fukuda, N. El Rachkidy, and A. Guittou: Joint Allocation Strategies of Power and Spreading Factors with Imperfect Orthogonality in LoRa Networks, *IEEE Transactions on Communications*, **68**-6, 3750/3765 (2020)

[著者紹介]

かね 子 めぐみ 君

2004年フランス・Télécom SudParis (グランゼコールの一角) とデンマーク・オールボー大学の修士課程を同時修了し、Diplôme d'Ingénieur および Master of Science (Double Degree) を取得。2007年デンマーク・オールボー大学でPh.D. (工学) 取得。2008年より京都大学大学院情報学研究科にて日本学術振興会特別研究員-PD, 2010年からは同研究科助教を務める。2016年より現職。2017年にParis-Saclay UniversityにてHDR (フランス教授資格) 取得。2019年文部科学大臣表彰若手科学者賞, 2020 IEEE Communications Letters Best Editor Award, ほか受賞多数。IEEE Senior Member.

E-mail: megkaneko@nii.ac.jp

所属: 国立情報学研究所 アーキテクチャ科学研究系 東京都千代田区一ツ橋 2-1-2