

セルラーシステム向け情報源通信路結合符号化器の設計および実装に関する研究

電気電子情報通信工学専攻 情報通信工学コース
フォトリックネットワーク工学領域 丸田研究室 松本 啓吾

1. 研究背景

画像データの符号化法として深層学習を用いた情報源通信路結合符号化 (Deep Joint Source-Channel Coding, Deep JSCC) が2019年ごろから注目されている^[1]。Deep JSCCは、5G技術等で用いられるJPEG符号化とLDPC符号を組み合わせた手法と比べ、半分程度のデータ量で同程度以上の通信品質の画像伝送が可能であることが報告されている有望な技術である^[2]。期待される用途として、産業向けの5Gネットワークであるローカル5Gが挙げられる。ローカル5Gのように、ネットワークカメラやセンサといった長時間にわたり動画通信を行うデバイスを扱う場合、接続台数に応じて通信品質が低下する恐れがある。そこで、ローカル5GシステムにDeep JSCCを用いることで、従来手法よりも少ない通信資源で高品質な画像伝送を実現できる可能性が高い。

近年、画像の高品質化や映像データへの対応等のように様々なDeep JSCCの研究開発が加速している一方で、実際の無線環境を模した実験による検証はほとんど報告されておらず、通信システム全体として動作するのか検証する必要がある。そこで、本研究では、5層程度のシンプルな畳み込みニューラルネットワーク (CNN) のDeep JSCCを設計し、市販のローカル5Gシステムを用いた原理確認実験を実施することで、Deep JSCCの有効性を確認した。

2. 同軸ケーブル直結による通信実験

Deep JSCCは画像を符号化するエンコーダと、復元するデコーダに分けられる。実験に用いた通信システムの構成を図1に示す。エンコーダを搭載したPCとローカル5G基地局を接続し、基地局から信号を送信した。本実験では、無線伝送ではなく、基地局と受信端末を同軸ケーブルで結び通信を行った。ここで、アッテネータを用いて電力を減衰していき、信号劣化の程度を確認した。受信端末で受け取った信号はPCに転送され画像に復元した。

結果、使用したローカル5Gシステムが受信可能な電力感度の装置限界である121 dB電力減衰まで十分な品質を保ったまま画像が復元可能であった (図2)。つまり、ローカル5Gシステムの同期信号や制御信号が受信できる範囲でDeep JSCC信号が送受可能であることが確認された。

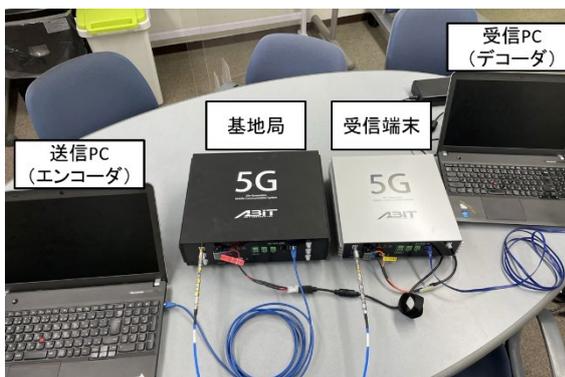


図1：同軸ケーブル直結による通信の様子

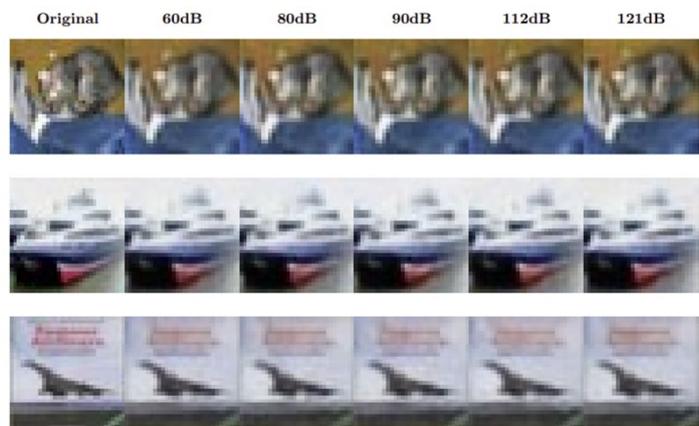


図2：電力減衰量ごとの復元画像

前章では通信に同軸ケーブルを用いたが、本章では無線信号による通信実験について紹介する。無線伝送の場合、同軸ケーブルによる通信とは異なり、反射波や伝搬路中の障害物の影響も信号劣化の要因となる。実験は実施したシールドルームの大きさの都合上、基地局と受信端末間は40 cm程度の距離で通信を行った(図3)。品質の評価には、復元画像の品質をピーク信号対雑音比(Peak Signal-to-Noise Ratio, PSNR)を指標に用いた。

画像1万枚のPSNRの累積度数分布を図4に示す。青線が実験値のグラフを示し、赤線は量子化誤差や伝搬損失のない理想条件でのシミュレーション値のグラフを示している。2つのグラフの概形が近しく、無線伝送による大幅な信号劣化は確認されなかった。

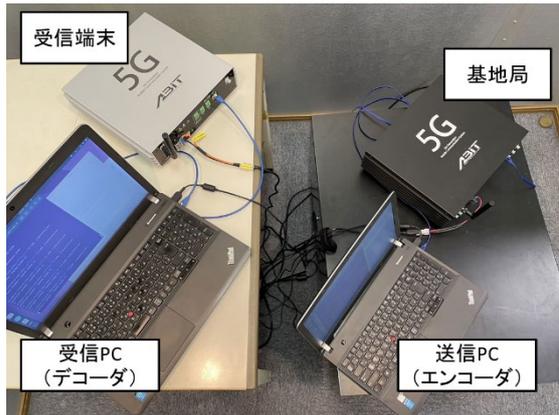


図3：無線伝送実験の様子

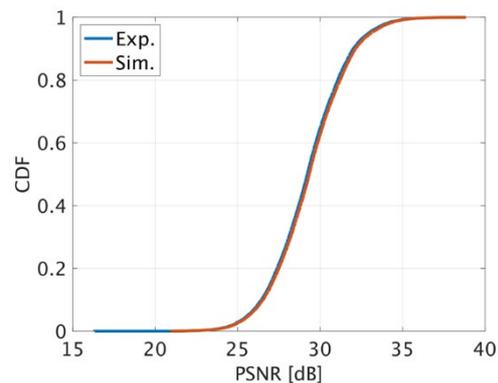


図4：PSNRの累積度数分布

4. 結論

本研究では、ローカル5Gシステムを用いたDeep JSCC信号の伝送実験を実施した。結果、同軸ケーブルで通信した場合も、無線通信した場合も共に十分な画質で通信が可能であった。得られた結果について、設計した深層学習モデルに特殊な機構を用いておらず、ローカル5Gシステムに関しては、外部PCとデータの送受を行えるようにしたこと他に市販のものから手を加えていない点が重要である。これは、現行の通信システムの符号化プロセスのみDeep JSCCに変更するだけで運用ができることを意味する。また、深層学習のレイヤ構造は、既に他研究で提案されているモデルに自由にカスタム可能であり、更なる高画質化も期待できる結果となった。本研究を通して、実システム環境下においてもDeep JSCCが有効な符号化手法であると確認できた。Deep JSCCは、近年大規模言語モデルの台頭で注目されている生成AI分野とも密接に関係するため、ビット情報を超えた意味・意図を通信する新たな研究領域として、今後も注視していきたい。

5. 参考文献

- [1] E. Bourtsoulatze et al, “Deep Joint Source-Channel Coding for Wireless Image Transmission, IEEE Trans. Cog. Commun. Netw., vol. 5, No.3, pp.567-579, Sept. 2019.
- [2] Y. Inoue, D. hisano, K. Maruta, Y. Hara-Azumi, Y. Nakayama, “Deep Joint Source-Channel Coding and Modulation for Underwater Acoustic Communication, ” IEEE Global Telecommunications Conference (GLOBECOM), Dec. 2021.