

時間と周波数領域で構成する音響コード符号化方式

穴澤 裕太[†] Prima Oky Dicky Ardiansyah[†] 伊藤 久祥[†]

岩手県立大学大学院 ソフトウェア情報学研究科[†]

1. はじめに

本論文では、実生活における新たな情報伝達手段として、時間と周波数領域で構成する音響コード符号化方式（以下音響コード）について論じる。音響信号による情報伝達手法は近年様々なアプローチで発展を見せているが、QRコードのような一般的な普及は望めていない。しかし、情報伝達の媒体として形を持たない音響信号を利用することで、より直感的で自由な伝達が可能になる。また、これまで情報伝達が困難であった場面で有効に活用することができる。

例として挙げたQRコードは、現在では広く一般的に普及し端末間の情報伝達を簡便なものにした。しかし、媒体として2次元画像が必要なため利用できない場面が生まれる。例としてはラジオのように発信者と受信者が音声のみで繋がっている場面や、演説・講演のように一対多数の情報伝達を行いたい場面が想定される。本研究の目的はそういった場面での新たな情報伝達の有用性を明らかにすることにある。

今回新たな手段として音響信号を提案したが、音響信号を用いることにより発生する利点と問題点も存在する。利点としては遮蔽物（または送受信者間の距離）によって送受信が阻害されないこと、波状に伝わるため曲がり角でも有効であることが挙げられる。一方、問題点としてはビットレートと容量とのトレードオフ、騒音による妨害、信号音の聴き心地等が挙げられる。本論文では、実用化の観点から騒音（環境雑音）への対策と耳障りにならない信号音の選択といったアプローチで問題点の解決を図る。また、送信する音響信号について超音波を用いたり電子透かし技術を用いる手法も存在するが、高価な専用機器が必要であったり特定の周波数帯域（情報を埋め込んだ帯域）の雑音に弱くなることから、本論文では可聴域で信号音を構成する。それにより一般的な音響機器で送受信が可能であり、簡便かつ明示的な情報送信が実現する。以上の事を踏まえて、周囲の雑音に対し頑健であること、人間にとって不快な音でないこと等の条件を満たす音響コードによる情報伝達方式の有用性を明らかにする。

2. 先行研究

先行研究では所謂、音響モデムとして音による情報伝達手法を提案したものがある。Lopes(2003)^[1]らのAcoustic Modems for Ubiquitous Computingである。Lopesらは当時のCPUの高速化を受け、通常のマイクとスピーカーを用いて音響モデムを実現しようとした。媒体となる信号音は、和音となるよう周波数を設定することや、

An Encoding Method Based on Acoustic Pattern of Time and Frequency Domain

Yuuta ANAZAWA[†], PRIMA Oky Dicky Ardiansyah[†], Hisayoshi ITOH[†]

[†]Graduate School of Software and Information Science, Iwate Prefectural University Graduate School

スターウォーズのR2D2のような音で構成することで違和感を無くそうとしていた。実際のR2D2変調の一例を図1に示す。しかし課題として騒音に対して頑健性の高いサウンドデザインや、人間にとって気にならない信号音の必要性を述べている。本論文は特にこれらの課題を解決するため検討を加えるものである。

3. 提案する音響コード符号化方式

3.1. 提案方式の概要

まず、本研究の基盤として一連の動作をするシステムを構築した。その概要を図2に示す。送信側では送信したい文字を入力し、文字と音響信号の対応表(ASCIIコード表準拠)を基に音響信号に変換されたものを音響空間に送信する。信号音は1kHzから4kHzを500刻みで線型に7分割し、2進数の規則で特徴づけすることで1文字ごとに割り当てを行った。受信側では端末のマイクを用いて送信された音響信号を集音し、A/D変換を行ったものをバッファに蓄積する。集音された信号音を含む環境音に対し、パワー閾値を用いて信号区間検出を行い、1文字時間長単位で周波数分析(FFT)をかける。最後に送信側と同様の対応表を基に音響信号から文字情報への復号を行う。動作確認のため暗騒音30dBの環境を用意し、スピーカー・マイク間を2m離して送受信実験を行った。その結果、理想環境下で約200文字/秒の伝送が可能であり、URLのような文字情報の伝達には十分な結果を得られた。

3.2. 環境雑音に対する頑健性の検討

次に集音の際、主に障害となる定常雑音に焦点を絞り環境雑音に対する頑健性の向上を図った。雑音の重畳した信号音を分析すると、本来の信号強度が環境雑音のパワーに埋もれているのがわかる。その問題を解決するため符号化を行う際に周囲の環境音を取り込み、その周波数特性に合わせて信号音のレベルを変化させることで対応した(図3)。また、受信側でも同様にその場の環境音の特性に応じて閾値を変化させ信号の抽出を行った。

効果の検証として、前述の実験環境に加えて実環境下での利用を想定した雑音を用意し、SN比が50~0dBに

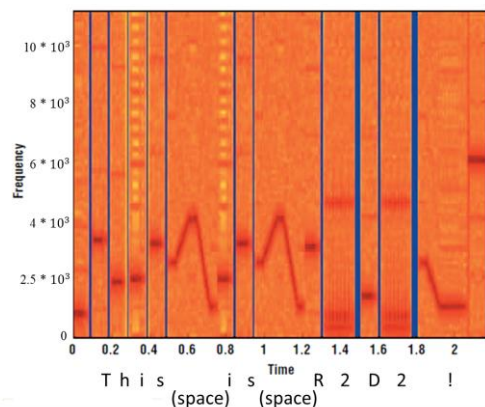


図1. R2D2変調の一例(ソナグラム)

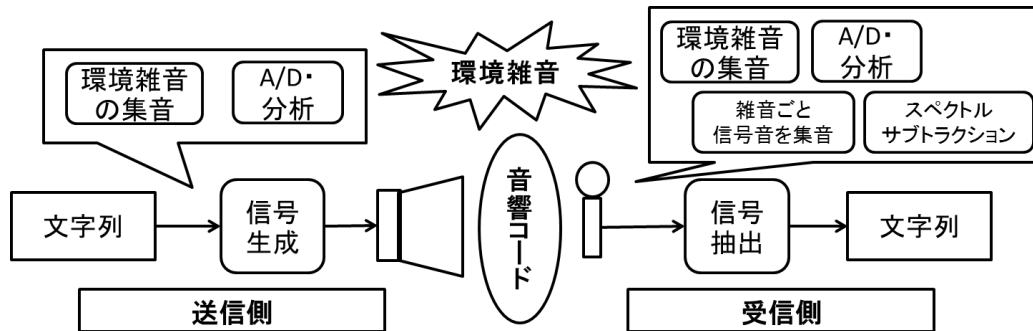


図 2. 提案方式の概要図

なるように流したうえで送受信実験を行った(図 4). その結果 SN 比 15 dB 以下の環境下において約 30 % 程度、復号精度の向上が見られた. さらに, スペクトルサブトラクション法を取り入れることにより, 特に低周波帯域の雑音による影響を抑えることに成功した. 実験の結果を図 5 に示す.

4. 信号音に対する印象評価

一方, もう一つのアプローチとして信号音の快音化のため, 信号音を構成する周波数帯域を考慮する必要があった. そこで Lopes らを参考に, 音階の仕組みを基にした周波数の構成を検討した. 周波数帯域の改善案 1 として国際式オクターブ表記の C5~B5 の周波数 (約 500 Hz ~ 1 kHz) を設定した. さらに改善案 2 は C6~B6 目 (約 1kHz~2kHz), 改善案 3 は C7~B7 (約 2 kHz~4 kHz) とした. また, ラウドネス曲線に代表される人間の聴覚特性を考慮し, 音の高さや大きさに関して学生の協力を得て主観評価を行った. 評価は泉ら (1983) [2] の評定用語, 尺度を参考として因子分析を行うこととした. 評価項目は音の親しみやすさ, 美しさ, 快さについて 7 段階の尺度を用いて印象の評価を行った.

サンプルとして用意した音響信号は, 構成される周波数帯域の LOW・MIDDLE・HIGH, 発信される音量の low・middle・high をそれぞれ組み合わせる 9 種類になるようにした. ここでの周波数は先述の改善案 1, 2, 3 に対応している. また音量は, 人に騒音として認知される目安となっている, 50, 60, 70 dB に対応している.

以上の条件で非専門家の学生 17 人に主観評価を行ってもらい, それぞれの項目について MOS の統計量を算出し, 二元配置分散分析, Tukey 多重比較検定を行った. その結果, 3 つ全ての項目において dB, 周波数帯域の両方に主効果が認められ, 受け入れやすい組み合わせの傾向を掴むことができた. これにより日常的に流れていても不快でない音によって信号を構成することが可能である. また, 評価の高かった組み合わせで構成した信号音を用いて先述と同様の送受信実験を行ったところ, dB が middle~high, 周波数帯域が LOW~MIDDLE の組み合わせにおいては復号精度の変化は見られず実環境においても有用であることが分かった.

5. まとめ

以上から, 時間と周波数領域で構成された音響コードによる情報伝達手法について論じ, 環境雑音対策と快音化といった 2 つのアプローチで新たな情報伝達の可能性を示した. 検討の結果, 定常雑音対策を施すことで雑音下においても高精度に復号が可能であること, システム

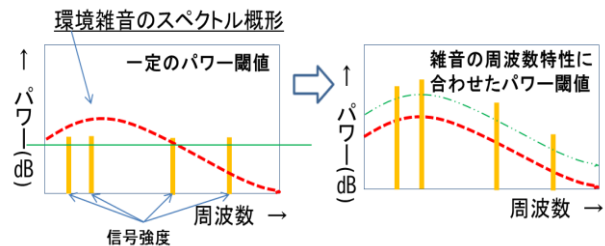


図 3. 環境雑音に合わせたレベルの変化

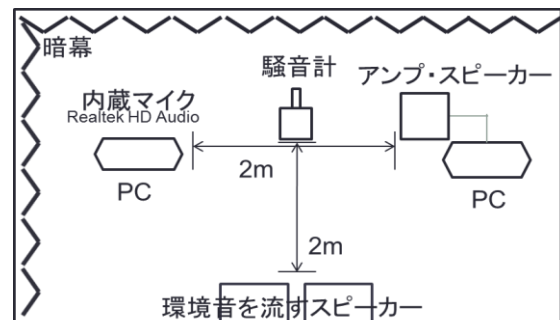


図 4. 実験環境

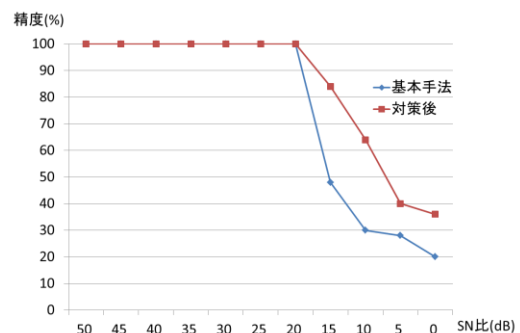


図 5. 実験結果

を利用する様々な環境に対応できることが分かった. また, 適切な周波数帯域で音響コードを構成することで, その有効性を失うことなく実生活での利用に耐え得ることを実証した. 将来的には評価の平均がさらに上がり, 耳障りでないだけでなく, より心地良い音で構成された音響コードによる情報伝達の発展が望まれる.

6. 参考文献

- [1]Cristina Videira Lopes , "Acoustic Modems for Ubiquitous Computing", IEEE Pervasive Computing, Mobile and Ubiquitous Systems., Vol 2, No.3, pp62-71, (2003)
- [2]泉清人, 佐藤哲身, "音の心理的属性に関する因子分析", 日本建築学会論文報告集, 第 332 号, (1983)