

LF-002

## ピッチ波形複製法に基づくステガノグラフィを用いた VoIP におけるパケット損失の一隠蔽法 A Packet Loss Concealment Technique for VoIP using Steganography based on Pitch Waveform Replication

青木 直史† 大宮 尚弘‡ 阿部 真澄‡ 中野 隆司‡  
Naofumi Aoki Naohiro Omiya Masumi Abe Ryuji Nakano

### 1. まえがき

VoIP は本来リアルタイム通信に不向きなベストエフォート型のパケット通信により音声通話を実現するため、パケットの消失や遅延といった通信上のエラーが通話品質を低下させるという原理的な問題を抱えている。本研究では receiver-based のエラー隠蔽手法である 2-side PWR (pitch waveform replication) 法を基に, sender-based の補助情報を追加することで, より効果的にエラー隠蔽を行う方法を提案する。提案法はステガノグラフィにより補助情報を伝送するため, 従来の VoIP 伝送フォーマットを変更する必要がないという利点を有する[1]。

### 2. VoIP による音声通話

VoIP はリアルタイム通信を実現するため UDP を使用している。そのため, パケットの消失や遅延が生じても当該パケットの再送を行わない[1]。音声データは一般に 20ms のフレーム毎に符号化され, IP データグラムのペイロードに搭載される。システムによって対応するコーデックの種類は異なるが, 必須コーデックは ITU 勧告の G.711 となっている[2]。本研究では以上を考慮して, フレーム長を 20ms, G.711 をコーデックとして検討を行った。

### 3. 提案法

VoIP では遅延ジッタを吸収するため 100ms 程度の受信バッファを設定することから, 損失フレームの前後のパケットを利用する 2-side のエラー隠蔽を行うことが可能である[4]。図 1 に示すように, 2-side PWR 法は, 損失フレームの前後それぞれ 1 パケットを利用して PWR 法を実行し, 両者のオーバーラップによりエラー隠蔽を行う。これにより音声波形の開始部分や終了部分といった非定常性の顕著な部分でのエラー隠蔽の精度を向上させることができる。

2-side PWR 法の精度をさらに向上させるため, 提案法では sender-based の補助情報を利用する。提案法の処理手順を図 2 に示す。提案法では通信上のエラーを仮定して, あらかじめ送信側でそれぞれのフレームに対して 2-side PWR 法によるエラー隠蔽処理を試みる。次に, 図 3 に示すように, 原音声をサブフレームに分割し, テンプレートマッチングを行うことで, 2-side PWR 法の結果と原音声とのずれをアラインメント情報として抽出する。提案法では, 1 フレームを 4 個のサブフレームに分割し, backward PWR および forward PWR それぞれから得られたアラインメント情報を表現するために, 1 サブフレームに対して 6bit, すなわち, 1 フレームに対して 24bit を割り当てている。

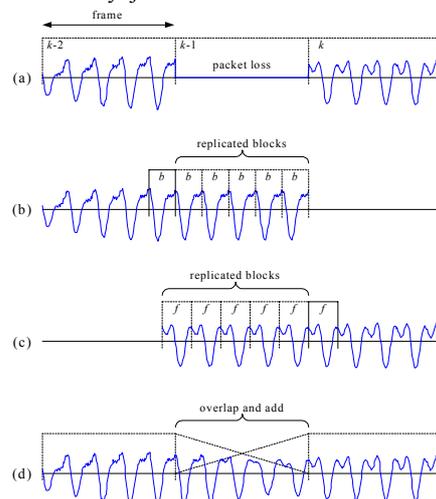


図 1. 2-side PWR 法: (a) 受信音声, (b) backward PWR, (c) forward PWR, (d) オーバーラップ処理

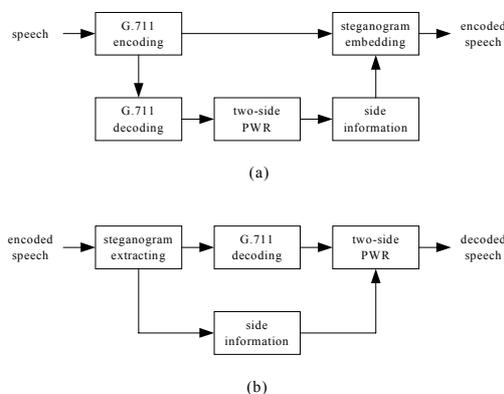


図 2. 提案法の処理手順: (a) 送信側, (b) 受信側

提案法では, もう一つの補助情報として, 修復フレームにおける音声データのゲインを調節するために, ゲインパターン情報を抽出している。図 4(a)のような定常部分ではフレーム長のオーバーラップ処理で十分であるが, 図 4(b), (c), (d)のように音声波形の開始部分, 終了部分, 中断部分等, 急激にゲインが変化する部分では, それよりも短い窓長のオーバーラップ処理が望ましいと考えられる。提案法では, 図 4 に示した 4 通りのパターンを表現するために, 1 フレームに対して 2bit を割り当てている。

提案法では, 以上合計 26bit の補助情報をステガノグラフィにより音声データに埋め込むことで, VoIP 伝送フォーマットを変更せずに補助情報を伝送することができる[1]。

†北海道大学大学院工学研究科, Graduate School of Engineering, Hokkaido University

‡(株) 北斗電子, Hokuto Denshi co. ltd.

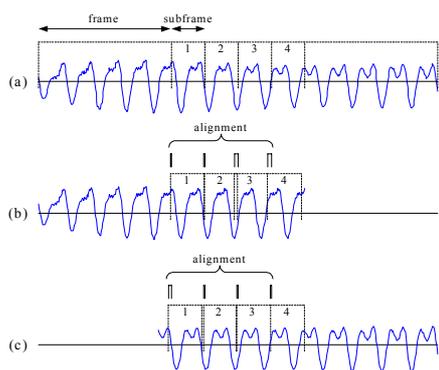


図 3. アライメント情報 : (a) 原音声, (b) backward PWR, (c) forward PWR

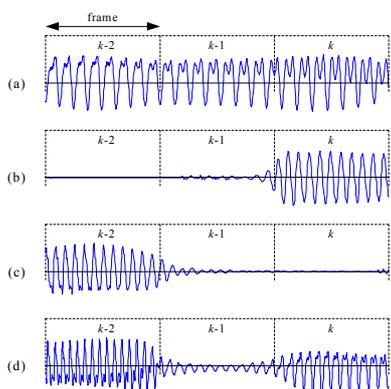


図 4. ゲインパターン情報 : (a) 定常部分, (b) 開始部分, (c) 終了部分, (d) 中断部分

ステガノグラフィの手法として, 提案法では LSB 置換法を用いた[1]. ただし, G.711 では LSB の重みが音声データの振幅に比例することを考慮して, 図 5 に示すように, 振幅の小さい音声データに選択的に埋め込みを行っている. 図 6 に示すように, 埋め込む情報量が少ない場合は, 本手法により埋め込みによる音質劣化を抑えることができる. なお, 提案法では合計 26bit の補助情報を Golomb 符号化することで 80%程度に圧縮した後, 埋め込みを行っている. 本手法を適用することで, 提案法では補助情報の埋め込みを行っても 50 dB 以上の SNR を保証することができる.

受信側では, 第  $k$  フレームに埋め込まれた第  $k-1$  フレームのための補助情報を取り出し, 第  $k-1$  フレームにエラーが生じた場合の隠蔽処理に利用する.

#### 4. 評価実験

提案法, 2-side PWR 法, G.711 PLC[2]によるエラー隠蔽処理の性能について, SNR と PESQ[3]を指標として客観評価実験を行った. 実験結果を図 7, 8 に示す. 提案法は, SNR, PESQ とともに最も評価が高く, より効果的なエラー隠蔽が可能であることが示唆される結果となった.

#### 5. 今後の課題

提案法は, 現時点では LSB 置換法という最も簡単なステガノグラフィを利用しているが, 補助情報の埋め込みによる音質劣化を完全に除去するために, ロスレス方式の埋め込みについて検討することを今後の課題としたい.

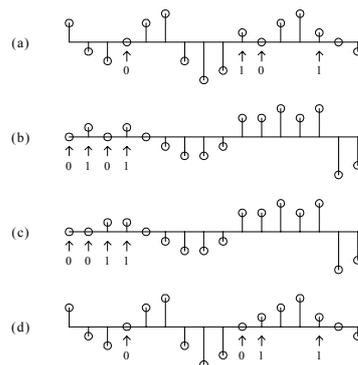


図 5. ステガノグラフィ処理 : (a) 原音声, (b) ソート処理, (c) 埋め込み処理, (d) 埋め込み済み音声

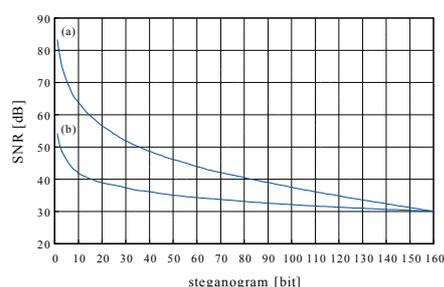


図 6. SNR : (a) 選択的埋め込み, (b) 非選択的埋め込み

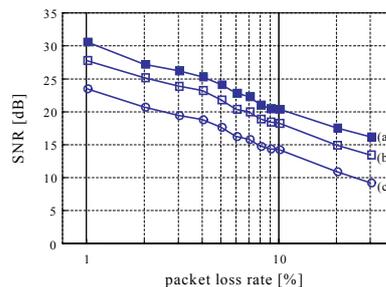


図 7. SNR : (a) 提案法, (b) 2-side PWR 法, (c) G.711 PLC

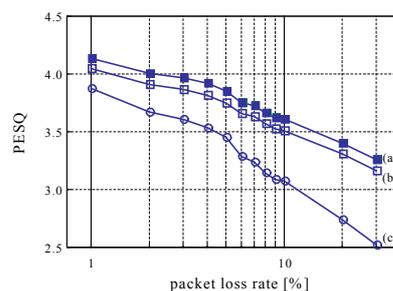


図 8. PESQ : (a) 提案法, (b) 2-side PWR 法, (c) G.711 PLC

謝辞 本研究は平成 14 年度文科省札幌 IT カロツツェリア創成プロジェクト研究費により行われた. 謝意を表する.

[1] 青木, "ステガノグラフィを用いた VoIP におけるパケット消失隠蔽に関する一考察," 信学技報, vol.IN2001-107,2001.  
 [2] ITU-T, G.711 Appendix I, 1999. [3] ITU-T, P.862, 2001.  
 [4] Perkins, "A survey of packet loss recovery techniques for streaming audio," IEEE Network Magazine, pp.40-48, Sep.1998.