

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 5 日現在

機関番号：52601

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2012～2014

課題番号：24510240

研究課題名(和文)高性能なスペクトル拡散型電子透かしを防災サイレンに応用した防災無線システムの開発

研究課題名(英文) A Disaster Prevention Broadcasting System Based on An Effective Audio Watermarking Scheme Using Spread Spectrum Techniques

研究代表者

小嶋 徹也 (KOJIMA, Tetsuya)

東京工業高等専門学校・その他部局等・教授

研究者番号：20293136

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,300,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、完全相補系列系を用いた音声データハイディング方式を防災サイレンに応用した新しい防災無線システムを提案した。主な研究成果は、情報埋め込み方式の考案と実装、各種パラメータの設定方式の検討、誤り訂正方式の検討および受信アプリケーションの開発である。提案方式の特性評価として、計算機シミュレーションに加え、災害情報を埋め込んだサイレン音を実際にスピーカから鳴動させ、屋内における情報通信実験を行った。その結果、スピーカから受信機までの距離が離れるほど、受信ビット誤り率は低下するものの、適切なパラメータ設定のもとでは誤り率を低く抑えた情報通信を実現できることが判明した。

研究成果の概要(英文)：In this study, we proposed a novel disaster prevention broadcasting scheme based on audio data hiding using complete complementary codes. In the proposed system, the disaster information is embedded into siren sound. In the research period, the specific embedding and extracting algorithm has been proposed. The methods to set various parameters and to apply error correcting codes has also been proposed. In addition, a receiver application run on tablets and smartphones has been developed. After the stego siren sound conveying such information is broadcasted from a loud speaker, the embedded information can be extracted and displayed at the receiver such as tablets and smartphones. The effectiveness of the proposed system has been evaluated through analog transmission experiments using a loud speaker in the indoor scenario as well as numerical simulations. As a result, an effective information transmission can be realized with low bit error rates by setting appropriate parameters.

研究分野：情報理論，系列生成とその応用

キーワード：防災無線 防災サイレン 情報ハイディング 完全相補系列系 ビット誤り率

1. 研究開始当初の背景

(1) 社会的必要性和関連研究

防災行政無線とは、災害時などの避難勧告や避難指示、警戒宣言や緊急事態情報等を迅速に地域住民に伝達する手段の一つであり、多くの市町村等で利用されている。主な利用形態は、市役所や消防本部等に設置された親局からの電波を、地域に数百個単位で設置された屋外拡声子局(サイレン、スピーカ等)が受信し、サイレンを鳴動させたり音声放送を流したりすることにより、避難指示や緊急情報を伝達するものである。通常、防災サイレンは地域全体をカバーするように設置されており、地域住民の安全確保、地方自治体の防災施策のためのインフラとして重要なものである。

一般に、サイレンで伝達される非常情報は、サイレンの鳴動パターンによって分類されているが、住民にとっては、数種類の鳴動パターンを記憶する必要がある、わかりやすいとはいえない。一方、音声放送は、詳細な緊急情報を伝達することが可能であるが、地域全体に確実に伝達される保証はない。また、サイレン等の音声信号は聴覚障害者にとっては聴きとることができないという問題もある。主に聴覚障害のある方を対象として、情報格差を補償する先行研究例はある。この研究は、音声アナウンス信号に電子透かしを埋め込み、それを専用の受信機でデコードして視覚的に表示するというものである。電子透かしとはデジタル信号に別の情報を埋め込み、デジタルコンテンツの著作権保護や機密性の高いマルチメディア通信を可能にする技術である。同研究の報告書では、屋外での数十 m の距離で埋め込まれた透かし情報の抽出に成功していることが報告されているが、防災サイレンからの音声を地域全体で正確に受信することを考慮すると、必ずしも十分な成果とはいえない。また、専用の受信機を必要とすることも、地域全体へのインフラ整備を考慮すると、普及の障壁となりかねない。

(2) 既往研究の成果と着想に至った経緯

研究代表者らは、平成 21~23 年度の科学研究費補助金(基盤研究(C)一般)「関連特性の優れたスペクトル拡散系列に基づく安全性の高い情報ハイディング技術の開発」(課題番号 21560423)において、完全相補系列と呼ばれる理想的な関連特性をもつスペクトル拡散系列を応用した電子透かしに関する研究に従事してきた。この研究で開発された方式は、画像信号に秘密情報を埋め込むものであるが、耐雑音性に優れ、透かしが画像へ与える影響も少なく、かつ埋め込まれた秘密情報を抽出できることが示されている。また、同時に複数の情報を埋め込むことも可能で、パラメータを調節することで大量データの秘密通信、すなわちステガノグラフィに利用可能であることも示されている。同

方式は信号の周波数成分に電子透かしを埋め込んでおり、媒体としては画像のみならず、音声信号にもほぼ同様に適用することが可能である。

これらの成果を踏まえ、研究代表者らは、同方式を防災サイレンに適用することで、空気伝搬特性に優れ、迅速かつ正確に緊急情報を伝達することができる防災システムを実現できると考えた。サイレン音に電子透かしを埋め込む場合、一般のデジタルコンテンツの場合とは異なり、多少の音の歪みは許容されるため、耐雑音性を強化するよう、高い強度で透かしを埋め込むことが可能であると考えられる。このことは透かしの抽出精度向上にもつながる。また、完全相補系列は近似同期式通信システムにも応用されており、同期補そくが重要である音声信号への応用に適していると考えに至った。

2. 研究の目的

本研究で提案する防災システムにおいては、防災無線およびサイレン等のインフラは既存のものを利用し、本研究で開発するものは、効率的な電子透かし方式、およびサイレンから透かしを抽出するためのソフトウェアおよび装置に限られる。本研究の目的は、以下の3点に分類できる。

- (1) 完全相補系列を利用した電子透かし方式の音声信号への応用および特性解析
- (2) 防災サイレンに埋め込まれた緊急情報を直感的かつ視覚的に表示するアプリケーションの開発
- (3) 提案方式の緊急音声放送への拡張

まず、(1)では、従来の研究で提案してきた完全相補系列を用いた電子透かし方式を、サイレン音を想定した音声信号へ適用する。埋め込み方式としては、従来と同様、信号の周波数成分へ埋め込む方式に加え、音声信号そのものに透かしを埋め込む方式についても検討し、耐雑音性、抽出精度、処理速度等の面から優れている方を採用する。また、特性解析においては計算機実験のみならず、屋外での実音声による空気伝搬特性解析も実施する。また、サイレン音の周波数により、特性が変化するかどうかを検証し、提案の電子透かし方式と相性の良いサイレン音について検討する。

一方、(2)では、サイレン音が入力されたら、緊急情報を視覚的に表示したり、端末を振動させたりする携帯電話や携帯端末向けのアプリケーションを開発する。また、携帯電話や既存のテレビ用リモコン等を改良して、サイレン音を検知したら自動的にテレビやラジオの電源を入れる機能を追加する。これらを実現するプロトタイプとして、主に音声入力、透かしの抽出、および赤外線出力等の試

験を行なうため、FPGA を用いた受信機を試作する。また、緊急性が高いことを考慮し、音声信号の受信から出力までの処理時間が短くなるよう、工夫する。

上記の(1),(2)では、サイレンの鳴動パターンに対応した災害の種類のみを緊急情報としてサイレン音に埋め込むことを想定するが、(3)では、災害の詳細な情報など、情報量の大きなメッセージを音声アナウンスに埋め込み、伝達する方法について検討する。(1),(2)と同様、受信側のアプリケーションや装置も作成し、実音声を用いた特性解析も実施する。

以上の研究成果は、実際に地域の自治体における防災施策の担当者等に開示し、実用化の可能性を探るとともに、実用上の問題点などに関する助言を仰ぐこととする。

3. 研究の方法

(1) 電子透かし方式の考案および特性検証

従来の研究で開発した完全相補系列を用いた電子透かしアルゴリズムを音声信号に導入するにあたり、音声データそのものに透かしを埋め込んだ場合と音声の周波数領域に透かしを埋め込んだ場合の双方について、音声に与える影響、抽出精度、処理速度などの観点から比較を行ない、本研究でどちらの方式を採用するかを検討する。特性の検証は計算機シミュレーションだけではなく、屋外環境における空気伝搬特性評価も行ない、実環境下での抽出精度等も評価する。また、サイレン音の周波数を変化させ、提案方式と相性の良いサイレン音についても検討する。

提案方式に問題点があれば、随時、改良を行なう。また、音声放送に情報量の大きなメッセージを埋め込む、いわゆるデータハイディング技術を用いた場合の伝送特性について、計算機上および実環境下で実験による検証を行なう。データハイディング技術の基本的なアイデアは既存研究で提案されたものを応用する。

(2) 受信アプリケーションの開発

提案した電子透かし方式で実音声から災害情報を抽出するためのプログラムを、携帯電話やスマートフォンを想定した携帯端末上で開発する。研究代表者は過去にも携帯電話向けアプリケーションの開発経験があり、そのノウハウが活用できると考えられる。

(3) 専用受信機の開発

FPGA を用いた受信器を開発するとともに、テレビ用のリモコン作成キットを利用し、電子透かしを抽出した場合に自動的にテレビの電源を入れる装置を試作する。試作したシステムの動作検証は、屋外からのサイレン音を建物内および屋外で受信する両方のケースを想定して行ない、実用性について評価する。

(4) 研究のまとめと研究成果の公表

上記(1)から(3)の研究成果について、口頭発表および論文投稿を行なう。平成 26 年度には、研究成果を近隣の自治体の防災担当者等を招いて開示し、提案したシステムが実用可能かどうか意見を求めるとともに、問題点があれば改良方法などについて議論を行なう。平成 26 年度末には本研究の成果をまとめ、国内外の学会等で発表を行ない、論文としても投稿するほか、研究報告会を兼ねて技術フォーラムを開催し、広く市民や地域企業にも参加を呼びかける。

4. 研究成果

(1) 予備調査

研究を始めるにあたり、提案システムの方向性を定めるために、東京都八王子市役所、宮城県仙台市役所、岩手県矢巾町役場を訪問し、地方自治体で防災や施設整備を担当している方々からのヒアリングを行なった。この中で、防災、減災のためには、情報伝達の手段は異なる方式のものを複数用意しておくべきであるということから、提案システムの有意義性を確認することができた。また、屋外にあるスピーカーで災害情報を伝達するだけでなく、避難所として使用される体育館や仮設住宅といった屋内における一斉通報にも利用可能であるとの指摘もなされた。当初の研究計画では、屋外のスピーカーから放送した音声信号を屋内にある端末で受信することを目指していたが、研究を進める中で、システムの有効性を検討する上では、屋内での一斉通報を当面の目標として定めることとした。

以下、本報告においてはカバー音声としてサイレン音のみを想定することとする。

(2) 埋め込み強度の設定

カバー音声に情報を埋め込む際には、埋込み強度を設定する必要がある。埋込み強度が大きければ大きいほど、検出精度は向上するが、ステゴ音声信号の品質が低下する。カバー音声としてサイレン音を用いる場合、音声品質を高く保つ必要がないが、あまり強度を大きくしすぎると、雑音などが耳障りとなってしまう。そのため、ステゴ音声の主観評価を行ない、人間がサイレン音として許容できる最低限度の品質に対応した埋込み強度を同定した。

(3) 埋め込み方式の検討

本研究では、カバー音声信号の周波数領域に完全相補系列系で多重化変調した災害情報を埋め込む方法を採用した。提案システムにおける通信路はスピーカーからマイクロフォンまでのアナログ通信路であるため、スピーカーとマイクロフォンの周波数特性を確認する必要がある。そのため、実験を行なう屋内環境で白色雑音をスピーカーから放

送し、マイクロフォンで録音された音声の周波数特性を観察して精度よく情報抽出が可能であると期待される周波数帯域を決定した。

情報の埋込みを行なってステゴ音声信号を作成する方法としては、以下の二つの方式を検討した。一つは上で求めた周波数領域において、カバー音声の周波数成分に埋込み系列をそのまま加算する方法である。この方法で作成されたステゴ音声信号をステゴサイレン音と呼ぶ。もう一つは、カバー音声を用いず、埋込み系列だけで擬似的なサイレン音を作成する方法である。これは、基本周波数を定め、この基本周波数およびその倍音に相当する周波数成分のみに埋込み系列を分割したものを配置し、これらの倍音で構成される和音としてサイレンに類似したサイレン音を作成するというものである。この方法で構成されたステゴ音声信号を擬似サイレン音と呼ぶ。

結果として、擬似サイレン音よりもステゴサイレン音の抽出特性が優れていることが判明したが、さまざまな通信環境を想定した十分な特性検証を完了するには至らず、実用化に向け、さらなる検証を行なうことが課題として残された。

(4) 誤り訂正符号の導入

提案した音声データハイディング方式は、雑音などが生じない環境下では、誤りのない情報抽出が可能である。しかし、実際の音声放送による通信環境では、雑音の影響に加え、音声信号自体の減衰や反響などの影響が避けられず、抽出したデータにおけるビット誤りは少なからず発生する。そのため、伝達する災害情報を符号化し、完全相補系列系で多重化変調する前に誤り訂正符号を導入することを検討した。実際に導入実験を行なった誤り訂正符号は、ハミング符号、BCH 符号、リード・ソロモン符号である。

結果として、方式の簡便性および性能の双方から、BCH 符号がもっとも有効であったことが判明した。過去に行なわれた画像に関する電子透かしの研究では、LDPC 符号の有効性が示されているため、今後は LDPC 符号の導入の可能性などについても議論する必要がある。

(5) 受信アプリケーションの開発

提案システムでは、スピーカーから放送されたステゴ音声信号をスマートフォンやタブレットなどの端末で受信することを考えている。そのため、本研究では Android 端末上で動作する受信アプリケーションを開発した。受信アプリケーションの機能は、放送された音声を録音し、情報を抽出して表示する機能、および過去に抽出された情報を表示する機能で、極力操作量が少なく、シンプルなものとした。アプリケーションは日本語版と英語版の双方を作成した。

実際にスピーカーから放送された音声を用いた受信実験を行ない、動作確認はしているが、操作性などに関する主観評価などは行なっておらず、実用化を目指して、今後の検討が必要である。また、処理速度の向上も課題として挙げられる。

(6) 専用受信機の開発

本研究では当初目的として、防災サイレン等に埋め込まれた信号を検知すると、自動的にテレビのスイッチをオンにするような専用受信機も開発することを念頭に置いていた。しかし、研究を進める中で、屋内における情報伝達を行なうシステムを中心に据えて進めることとしたため、屋外からの信号を検知してテレビのリモコンを操作するような受信機は開発対象から外れることとなった。そのため、研究機関内においてこのような専用受信機の開発は行っていない。

(7) 情報伝達特性の検証

本研究では、実際にスピーカーからステゴ音声信号を放送し、開発したスマートフォンや、マイクロフォンを接続した PC などで受信し、情報抽出時におけるビット誤り特性を検証することで、情報伝達効率を評価した。

屋内の実験室においては、スピーカーとマイクロフォン間の距離を 1m から 3m 程度に設定し、実験を行なった。以下では、誤り訂正符号を用いない場合について述べる。例えばスピーカーとマイクロフォン間の距離が 1m 程度の場合では、4 秒間のサイレン音に 4kbit 程度の情報を埋め込んだ場合においても、ビット誤り率が約 10% 程度であることが示された。ビット誤り特性は、埋め込むビット数およびスピーカーとマイクロフォン間の距離が大きくなればなるほど劣化する。本研究では、避難所などで利用されることが想定される体育館においても、情報伝達実験を行なった。この場合、スピーカーとマイクロフォン間の距離は 18m 程度であり、128bit 程度を埋め込んだ場合は誤り率を 10% 以下に抑えられたが、4kbit 程度を埋め込んだ場合は、30% を超えてしまうことが示されている。

一方、誤りが生じる場合、音声信号の後半部に埋め込まれた情報ほど、誤りが多いという傾向があることもわかった。これは、受信されたステゴ音声信号が反響などの影響、すなわち、マルチパスの影響を受けていることによるものと考えられる。したがって、今後はこのようなマルチパスの影響を軽減することも検討する必要がある。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計 0 件)

〔学会発表〕(計 19 件)

- (1) Tetsuya Kojima, Toru Tachikawa, Akihiro Oizumi, Yoshimasa Yamaguchi and Udaya Parampalli, “A disaster prevention broadcasting based on data hiding scheme using complete complementary codes”, International Symposium on Information Theory and Its Applications 2014, 2014年10月27日,メルボルン(オーストラリア).
- (2) Tetsuya Kojima and Akihiro Oizumi, “Some properties on disaster prevention broadcasting based on data hiding technique”, 電子情報通信学会マルチメディア情報ハイディング・エンリッチメント研究会, 2014年7月3日, サン・リフレ函館(北海道・函館市).
- (3) 山口良昌, 大泉明弘, 立川徹, 小嶋徹也, “音声データハイディングを用いた防災無線システムのための携帯端末用アプリケーションの試作”, 電子情報通信学会マルチメディア情報ハイディング・エンリッチメント研究会, 2014年3月7日, 北陸先端科学技術大学院大学(石川県・能美市).
- (4) 立川徹, 大泉明弘, 小嶋徹也, “完全相補系列を用いた音声データハイディングの防災放送への応用”, 電子情報通信学会マルチメディア情報ハイディング・エンリッチメント研究会, 2014年1月28日, 東北大学電気通信研究所(宮城県・仙台市).
- (5) Tetsuya Kojima, Akihiro Oizumi, Kohei Okayasu and Udaya Parampalli, “An audio data hiding based on complete complementary codes and its application to an evacuation guiding system”, The Sixth International Workshop on Signal Design and Its Applications in Communications, 2013年10月31日, 機械振興会館(東京都港区).
- (6) Ryusuke Mayuzumi and Tetsuya Kojima, “On data-hiding technique based on complete complementary codes”, 電子情報通信学会マルチメディア情報ハイディング・エンリッチメント研究会, 2013年7月18日, 札幌コンベンションセンター(北海道・札幌市).
- (7) Ryusuke Mayuzumi and Tetsuya Kojima, “An improvement of steganography scheme based on complete complementary codes”, International Symposium on Information Theory and Its Applications 2012, 2012年10月30日, ホノルル(米国ハワイ州).
- (8) Tetsuya Kojima, Ryusuke Mayuzumi and Naoki Ohtani, “On information hiding technologies based on complete complementary codes”, 電子情報通信学会マルチメディア情報ハイディング・エンリッチメント研究会, 2012年7月19日, 北海道工業大学(北海道・札幌市).

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕
出願状況(計 0 件)

取得状況(計 0 件)

6. 研究組織

(1)研究代表者

小嶋 徹也 (KOJIMA Tetsuya)
東京工業高等専門学校・情報工学科・教授
研究者番号: 20293136

(2)研究分担者

吉本 定伸 (YOSHIMOTO Sadanobu)
東京工業高等専門学校・情報工学科・准教授
研究者番号: 00321406

(3)研究分担者

松元 隆博 (MATSUMOTO Takahiro)
山口大学・大学評価室・准教授
研究者番号: 10304495

(4)研究分担者

田中 晶 (TANAKA Akira)
東京工業高等専門学校・情報工学科・教授
研究者番号: 20578132

(5)研究分担者

土居 信数 (DOI Nobukazu)
東京工業高等専門学校・情報工学科・教授
研究者番号: 80547836