

機関番号：82636

研究種目：若手研究 (B)

研究期間：2008～2010

課題番号：20700205

研究課題名 (和文) 空間マスキングに基づく音響電子透かしの開発

研究課題名 (英文) Development of audio watermarking based on spatial masking

研究代表者

西村 竜一 (NISHIMURA RYOUICHI)

独立行政法人情報通信研究機構・ユニバーサルメディア研究センター 超臨場感システムグループ・専攻研究員

研究者番号：30323116

研究成果の概要 (和文)：これまで音響電子透かしには利用されていなかった、聴覚における空間マスキング現象に着目した音響電子透かし手法を開発した。まず、ヘッドホン提示においても、音の空間情報が正しく再生される手法の検討を行い、更に、従来のステレオよりも空間情報を豊かに保存可能な音響符号化法に着目して、透かし信号を原信号の近傍に配置することで、空間マスキングを利用した音響電子透かしを実現した。

研究成果の概要 (英文)：An audio watermarking method based on spatial masking, which is a phenomenon observed in the human auditory system and had not been used in audio watermarking methods, has been developed. At the initial stage of the study, correct reproduction of sound space via headphones was investigated. The watermarking method was then devised, placing a watermark signal in the vicinity of the host signal by the use of an audio format which is capable of rendering sound space more precisely than the ordinary stereo format.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	1,200,000	360,000	1,560,000
2009年度	900,000	270,000	1,170,000
2010年度	900,000	270,000	1,170,000
年度			
年度			
総計	3,000,000	900,000	3,900,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：情報学・感性情報学・ソフトコンピューティング

キーワード：空間マスキング, 音響信号処理, 電子透かし, 両耳間差, Ambisonics

## 1. 研究開始当初の背景

音響信号を対象とした電子透かしは、著作権保護ばかりでなく、帯域拡張や付帯情報の付与など、様々な応用の可能性を秘めている。これまでも複数の音響電子透かし手法が開発されてきたが、そのほとんどが、透かし信号を聴取者に聞こえないようにするために、何らかの形で聴覚における周波数あるいは時間軸上でのマスキング現象を利用している。聴覚におけるマスキング現象には、こ

れら以外にも空間マスキングの存在が知られているが、この現象を直接的に用いた手法は、これまで提案されていない。理由のひとつとして、従来の音響フォーマットでは、音の空間情報の制御が難しいという点があげられる。さらに、ヘッドホンで聴取する場合には、すべての音像が頭内に定位してしまうため、空間性の利用が難しい点も考えられる。しかし、近年の空間音響に対する様々な研究の発展を考慮すると、空間マスキングを積極

的に利用した音響電子透かし手法の開発も可能であると考えられる。さらに今後、より空間再現性の高い音響フォーマットが一般に利用されるであろうことを考えると、それらに適した新しい音響電子透かしの実現の必要性も高まると予想される。

## 2. 研究の目的

(1) 空間マスキングを利用した音響電子透かしでは、空間情報が正しく再現される再生方式も必要となる。特にヘッドホン聴取においては、多くの場合、音像が頭内に定位してしまう問題が生じる。立体音響における空間マスキングについて調査する。そのために、ヘッドホンで提示した場合でも、正しく頭外に音像が定位するための信号処理手法について検討し、提案する音響電子透かし手法がヘッドホン聴取時においても効果的に機能するための検討を行う。

(2) 透かし信号の埋め込み対象として、従来からあるステレオやモノラル信号のみを考えるのではなく、より空間情報を正確に制御することが可能な音響フォーマットを対象とすることで、空間マスキング現象を積極的に利用した音響電子透かし手法を提案する。

## 3. 研究の方法

(1) ヘッドホン聴取時とスピーカ聴取時の外耳道における音の伝搬を等価回路モデルで表現し、鼓膜面での音圧が同じになるような制御手法を検討することにより、ヘッドホン聴取時でもヘッドホンをしていない時と同じ聴感を実現する信号処理手法を実現する。

(2) ヒトの聴覚における空間知覚機構を考慮し、適切な位置に透かし信号の音像を制御することで、透かし信号が聴覚的に知覚され難くなる音響電子透かし手法を開発する。また、従来の音響電子透かしで有効性が示されている手法の考え方を、空間におけるマスキング現象に発展させることで、空間マスキングを活用した効果的な新しい音響電子透かし手法を実現する。

## 4. 研究成果

(1) ヘッドホン再生を想定すると、音空間を知覚させるために個々人で異なる頭部伝達関数の合理的な取得方法と、さらに個々人で異なる鼓膜のインピーダンスおよびヘッドホン

特性のカップリングを補正する再生手法の検討が必要となる。そこで、これらの技術的課題の解決に取り組んだ。まず、頭部伝達関数の測定を、聴取者の負担を軽減するため、MRIで測定した頭部形状から実頭の模型を作成し、それを用いて細かい空間解像度で頭部伝達関数の測定を実施した。この測定結果を基に、空間線形補間に基づく頭部伝達関数の補間手法を考案した。提案した手法は、IEEEの国際会議で発表すると共に、特許出願を行った。

(2) さらに、様々なヘッドホンを対象としてヘッドホン聴取時の外耳道の伝達関数について調査した結果、外耳道閉そく状態で音圧を制御した場合には、ヘッドホンにより鼓膜面での音圧が大きくなることを示した。この考えをさらに発展させ、外耳における音響伝達系を電気等価回路で表現して検討することにより、完全開放型のヘッドホンに限らず密閉型のヘッドホンにおいても、鼓膜面での音圧を広い周波数範囲で正確に制御するための補正関数の導出を行った。この検討では、図1に示す等価回路を考え、ヘッドホン聴取時の鼓膜位置での音圧に対応する  $P_7$  をヘッドホンをしていない時の鼓膜位置での音圧に対応する  $P_4$  と一致するようにヘッドホンの駆動信号を決めることで、ヘッドホン聴取時にも正しく空間情報が聴取者に知覚されることを目指したものである。

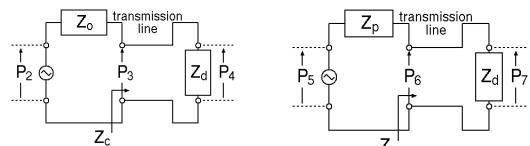


図1 外耳における音響伝達系の等価回路モデル

これらの検討結果は、音響学会やIEEEの国際会議で発表するとともに、査読付き論文誌へ投稿し、採録が決定した。

(3) ヘッドホン聴取において、左右の位相を反転させるとその音の音像が広がり、ヒトにとっては音像の変化が知覚され難くなる。この特性に注目し、音の一部の成分の左右位相差を操作することによって、電子透かしをステレオ音響信号に埋め込む手法の提案を行い、IEEEの国際会議において発表した。

(4) さらに、より正確に音信号の空間情報を制御するため、ステレオよりも臨場感のある音場再現手法として近年注目されている Ambisonics のフォーマットの利用を試みた。Ambisonics は、球面調波解析により音の到来

方向を収音時に分解し、再生する際にもその到来方向が合成されるように各スピーカでの出力信号を決定する手法である。これにより、音源の空間情報を制御し、本研究課題で着目している空間マスキングを活用した音響電子透かし手法を2つ考案した。ひとつは、透かし信号として PN 系列信号をホスト信号の空間的近傍に配置する手法である。もうひとつは、モノラルやステレオ信号を Ambisonics 信号に変換した際に生じる冗長性を利用したものであり、適切な条件の下では透かし入りの信号を再生しても、物理的に原信号と同じ音が再現される手法である。したがって、後者の手法については、データハイディングとしての特質も有している。基本的には、どちらの手法も図2のようなブロック図で実現される。

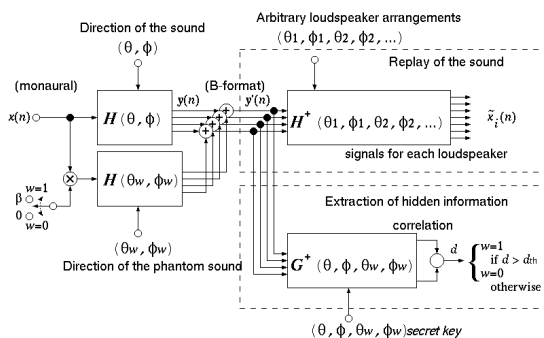


図2 提案する透かし手法のブロック図

図2では、ホスト信号  $x(n)$  に対して、これを Ambisonics 信号に変換する行列  $H$  を作用させて符号化を行うが、その際、近接する2方向を仮定し、1方向の信号を透かし情報に応じて変調することにより、電子透かしが埋め込まれた音信号が生成される。この信号を聴取する際には、単純に Ambisonics の復号化処理を行えばよく、一方、埋め込まれている情報を取り出すには、埋め込みの際に仮定した方向情報を利用して信号を分解する必要がある。したがって、この方向情報が、透かし検出のための鍵の役割を果たす。

考案した手法に対し、音質に影響を与える要素をパラメータとして聴取実験を行い、聴覚的秘匿性の評価を行った。図3に、透かし信号とホスト信号の空間的な角度差および埋め込みビットレートを変えたときの評価結果を示す。これらは、図2に示した手法で埋め込みを行った場合の例であり、左図が空間的な角度差で右図が埋め込みビットレートをパラメータとした時の結果である。縦軸の SDG は、原音の音質との主観的差異 (Subjective Difference Grade) であり、数字が 0 に近いほど音質が劣化していないことを意味している。これらの図から、二つの音が近傍に配置されているほうが音質劣化は少なく、また、

埋め込みビットレートを大きくするに従って、音質が低下することがわかる。

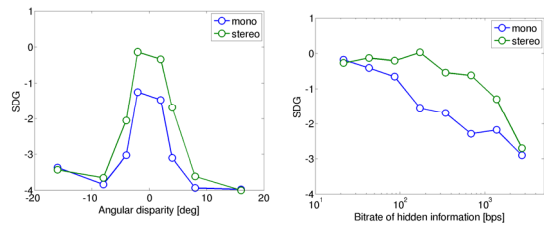


図3 透かし信号とホスト信号の角度差(左)およびビットレート(右)と音質の関係

アプリケーションにも拠るが、聴覚的秘匿性についても現実的な条件下に必要な要件を満たしていることを確認できた。考案した手法の定式化および聴取実験結果については、査読付国際会議で発表し、Best Paper Awardを受賞した。

### 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1件)

- ① R. Nishimura, P. Mokhtari, H. Takemoto, H. Kato, "An Attempt to Calibrate Headphones for Reproduction of Sound Pressure at the Eardrum," IEEE Trans. on Audio, Speech, and Language Processing, 2011, 査読有 (in printing)

[学会発表] (計7件)

- ① 西村 竜一, "Ambisonics を用いた空間マスキングに基づく音響電子透かし," 日本音響学会秋季研究発表会, 2011年3月10日, 早稲田大学 (東京)
- ② R. Nishimura, "Audio Information Hiding Based on Spatial Masking," IEEE International Conference on Intelligent Information Hiding and Multimedia Signal Processing (IIH-MSP), 16 October 2010, Darmstadtium (Germany)
- ③ R. Nishimura, H. Kato, N. Inoue, "Interpolation of Head-Related Transfer Functions by Spatial Linear Prediction," IEEE International Conference on Audio, Speech, and Signal Processing (ICASSP), 23 April 2009, Taipei International Convention Center (Taiwan, R.O.C.)

[産業財産権]

○出願状況 (計1件)

名称: 頭部伝達関数補間用係数算出装置, 音像定位装置, 頭部伝達関数補間用係数算出方

法, 及びプログラム

発明者: 西村竜一, 加藤宏明, 井ノ上直己

権利者: 独立行政法人情報通信研究機構

種類: 特許

番号: 特願 2009-012959

出願年月日: 2009年1月23日

国内外の別: 国内

[その他]

Best Paper Award (the 6<sup>th</sup> International  
Conference on Intelligent Information  
Hiding and Multimedia Signal Processing)

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

西村 竜一 (NISHIMURA RYOUICHI)

独立行政法人情報通信研究機構・ユニバーサルメ  
ディア研究センター 超臨場感システムグループ・専攻  
研究員

研究者番号: 30323116

### (2) 研究分担者

( )

研究者番号:

### (3) 連携研究者

( )

研究者番号: