

科学研究費助成事業（学術研究助成基金助成金）研究成果報告書

平成 25 年 6 月 10 日現在

機関番号：32714

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2013～2014

課題番号：23650055

研究課題名（和文） 不可視に構造化された光による実空間、実物体ベースの新しいメディア表現法の研究

研究課題名（英文） New information hiding technology using invisibly brightness-modulated Light

研究代表者

上平 員丈 (UEHIRA KAZUTAKE)

神奈川工科大学・情報学部・教授

研究者番号：50339892

研究成果の概要（和文）：不可視に輝度変調された光を被写体に照射することにより、被写体の撮像画像に任意の情報を埋め込む技術を研究した。実験から、小ブロックまたは1列ごとに高周波成分に1ビット情報を埋め込む方法により、埋め込んだ情報の不可視性と可読性をともに満足できることを示し、本技術の実現性を確認した。また、同一情報を複数の場所に埋め込む冗長法によりロバストな情報生成が可能であることを示した。さらに、高周波成分で輝度変調された光の照射により撮像画像に距離画像を埋め込むことが可能であることも確認した。

研究成果の概要（英文）：We studied the technique that could embed the information in the image of the object taken by the camera using the brightness-modulated illumination that contained invisible binary information. We conducted experiments to evaluate the feasibility of the technology and demonstrated that one-bit binary data could be embedded invisibility in each of many small 2-D blocks or 1-D lines and embedded data could be read out accurately. We also demonstrated that we could embed the depth map in the images captured with a camera using illumination for the object that contained invisible pattern whose characteristics depended on depth of the object

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
交付決定額	1,900,000	570,000	2,470,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：メディア情報学・データベース

キーワード：マルチメディア、情報セキュリティ、光情報、不可視情報

1. 研究開始当初の背景

画像中に画像情報とは別の情報を気付かれないように埋め込む技術は、画像の著作権保護技術としてセキュリティ分野で研究が進んでいるが、画像中ではなく実際の空間中に情報を潜在させることができれば、セキュリティ分野だけでなく他の様々の分野でも多くの有用な応用が期待できる。実空間中に情報を存在させる技術は、ユビキタスや AR（拡張現実感）などの分野で研究されているが、いずれもその存在が目障りであったり、情報が時間的にコードされており情報の取

得に専用デバイスを必要とするなど、応用には制約が多いのが実情である。本研究では、光を不可視の状態空間的に構造化できれば、上記課題が解決でき、さらに多くの新たな応用も開拓できると着想した。そして、光を視覚系の知覚限界以下に構造化することにより人間に気付かれないように情報を含ませ、その光に照射された被写体の撮像画像に自動的に情報が含まれるようにして、これを必要に応じて取り出して活用するというコンセプトへ発展させた。

2. 研究の目的

本研究では不可視に構造化された光を用い、撮像画像に不可視に情報を付加する技術の実現性を示すとともに、本技術の新しい応用の開拓を目的とする。特に下記項目を本研究費助成期間における具体的目的とした。

(1) 埋込み情報の不可視性と可読性を両立させることができるか、またこのための条件を明らかにする。

(2) 撮像時における情報欠落や情報の歪みに対応できるロバストな情報生成法を明らかにする。

(3) 新たな応用技術とその実現性を示す。

3. 研究の方法

本研究で検討する技術の基本構成を図1に示す。本研究では、光を構造化して空間に投影することにより、この光で照射された物体の表面上に人間の目の知覚限界以下の明暗分布によるパターンを生じさせる。この物体をカメラで撮影した場合、撮影画像にもこのパターンが不可視に写り込む。このパターンに情報を表現させれば撮像画像中に情報を埋め込んだことになる。

(1) 不可視情報の生成と可読性の評価

逆離散コサイン変換(iDCT)を用いて輝度の高周波成分に情報を含ませたパターンを検討した。このパターンの周期を人間の目の知覚限界以下にすることにより、パターンを不可視とした。高周波成分の正負により"1"または"0"の1ビット情報を表した。画像領域を $n \times n$ 画素のブロックに分割し、ブロックごとに1ビットの情報を割り当てる方法で可読性を確認した。nとして4、8、16を選んだ。

以上の方法で生成したパターンをプロジェクタで被写体上に投影した。被写体として標準画像 SCID の N2、N5 および N6 を印刷した A4 判の紙面を用いた。図2に使用した標準画像の例を示す。使用したプロジェクタの画素数は 800×600 である。このうち中央部の 128×128 画素に上記パターンを表示した。したがって、nが4のときのブロック数は 32×32 となる。紙面上でこのパターン領域が投影される領域を $105\text{mm} \times 105\text{mm}$ とした。上記パターン

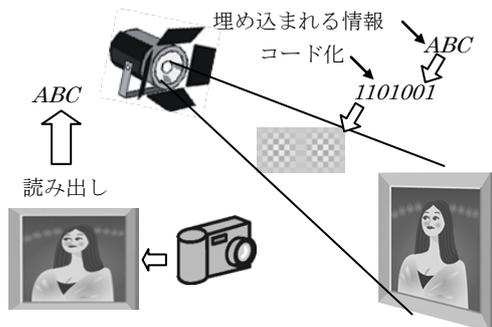
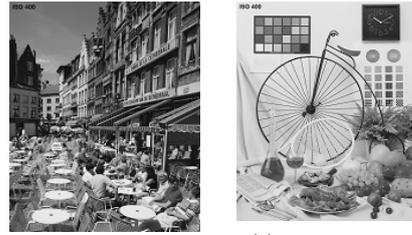


図1 提案技術の基本構成



(a) SCID N2

(b) SCID N5

図2 被写体に用いた標準画像の例

が投影された被写体を画素数が 3888×2592 のデジタルカメラで撮影した。撮影画像において、被写体上でパターンが投影された領域の画素数は約 500×500 とし、これを 256×256 画素に解像度変換したのち、投影パターンの高周波成分に相当する周波数成分をブロックごとにDCTにより解析し、その符号から、埋め込まれた情報を読み出した。可読性の評価は、情報が埋め込まれた全ブロックから読み出された情報のうち、正しく読み出された情報の割合を求めることにより行った。

(2) ロバストな情報生成法

ロバストな情報生成法として1次元の高周波パターンを用いる方法を検討した。図3に本方法の基本概念を示す。本方法は、1) 縦列ごとに情報を埋め込む、2) RGBの各色成分にそれぞれ役割を持たせ、常に基準値となる参照用パターンと位相が同じか逆かで"1"、"0"を表現することの特徴とする。したがって、パターン全体の情報を知る必要はなく、縦方向について部分的な位相情報を読み出して基準パターンと比較すればその列の情報を読み出すことができる。このため、表面が平面でなく湾曲している被写体であっても、近似的に平面とみなせる小領域を切り出して情報を読み出せば、歪みの影響を少なくでき特別な補正処理を行わずに精度よく情報を読み出せる可能性がある。また、同じ列であればどの部分を切り出しても同じ情報が得られるはずであるから、同一列内で複数箇所について情報を読み出し、読み出し

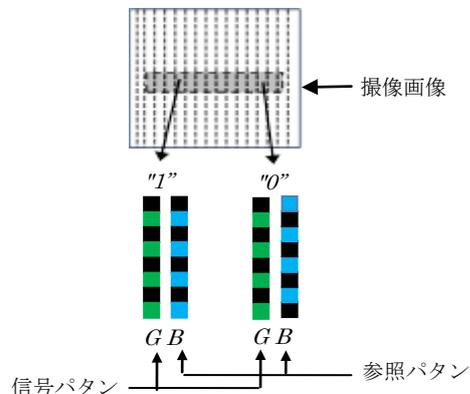


図3 1次元埋込みパターンの生成法

結果が異なる場合は多数決で決定する方法を用いれば、部分的な情報欠落がある場合でもロバストな情報読み出しが可能となる。そこで、本研究では人物の肖像権の保護などを目的に人間の顔を対象として本技術の実現性を確認した。

本方法では図3に示すようにB成分は基準パターンとして使い、G成分は情報埋め込み用とし、縦1列ごとに1ビットの情報を埋め込み、B成分と同位相のとき”1”を、逆位相のとき”0”を表すことにした。

撮影画像に埋め込まれた情報を読み出すために、列ごとに、かつ色成分ごとにフーリエ変換を行い、情報埋め込みに利用した周波数の位相から”1”か”0”かの判定を行った。

各色ともに直流成分は180、高周波成分は20、30、40、50、60、70とした。これらの値は8ビットグレースケール表現(最高値255)における値を示す。実験では撮影画像から歪みが小さい額の部分と歪みが大きな頬の部分を取り出した。ここでは縦の長さを実験パラメータとした。

(3) 3D画像への応用 - 距離画像を不可視に埋め込む撮像法

本研究では画像を撮影する際に被写体に微細な光学パターンを投影し、撮像画像に不可視に写り込んだパターンのある特性が被写体の奥行に依存するようなパターンを選び、これより撮像画像に対応した距離画像を得る方法を検討した。ここでは、このようなパターンとして周期パターンを選んだ。周期パターンの周波数成分の大きさは、合焦位置で最大となりそれより遠ざかるにしたがって小さくなる。したがって、あらかじめこの特性を調べておくことにより、高周波成分の大きさ奥行を求めることができる。

本研究では提案技術の実現性を確認する

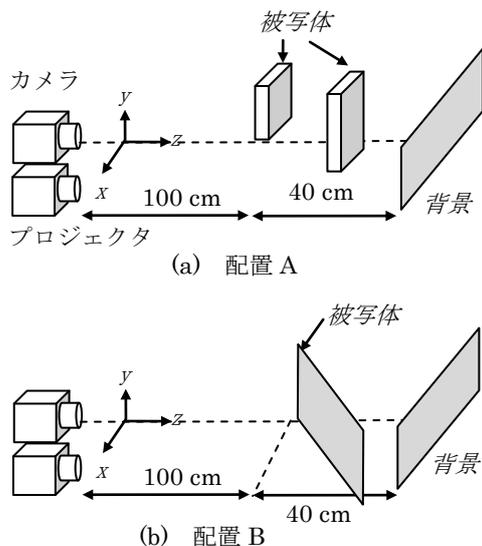


図4 被写体の配置

ため、図4に示すような簡単な配置の被写体を撮像し、これらの被写体の撮影画像から距離画像が得られるかを確認する実験を実施した。被写体は表面が白の直方体である。

本実験では周期パターンとして平均輝度(DC)を中心とし、水平方向に1画素の幅でHCの振幅で輝度変調を受けたパターンとした。DCを200とし、パラメータとしてHCを変えた。これらの値は、256階調で表したときの輝度を示す。パターンの投影には解像度1280×720のDLPプロジェクタを使用した。カメラは有効画素数約1510万画素のCMOSイメージセンサーを搭載した一眼レフカメラを使用した。プロジェクタの焦点はプロジェクタから110 cmの位置に合わせた。

撮像画像中の投影パターンの周波数成分を離散フーリエ変換により求めた。被写体表面の反射率分布の影響を除くため、周波数成分の大きさに反射率の逆数に比例する値を乗じて補正した。

4. 研究成果

図5に2次元パターンを用いた埋め込み情報の読み出し確度評価結果の例を示す。図5の結果は被写体として標準画像SCID:N2を使用したときの結果である。図5より、ブロックサイズが大きくなると、小さなHCでも高い読み出し確度が得られ、ブロックサイズが16x16では、HCが2の場合でも読み出し確度は100%となることからわかる。これは、面積を広くすることで積算信号量を大きくでき、被写体のもつ高周波成分との切り分けが容易になるためである。また、ブロックサイズが8x8や4x4と小さい場合でも、HCが10以上であれば読み出し確度は100%、または100%に近い値となることがわかる。被写体画像として他の標準画像を使用した場合も図5と同様の結果が得られており、これらの実験結果から2次元パターンを用いた場合、実

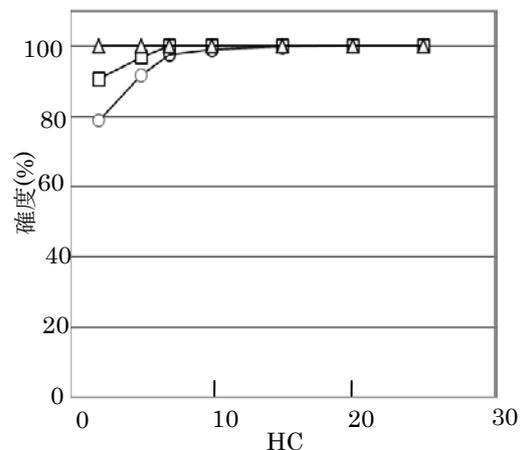


図5 埋込み情報の読み出し確度 (被写体画像: SCID N2)

表 1 可読性の評価結果 (1次元パターン)

(a) 額. (%)

HC \ N	8	12	16	32	60
20	90.0	97.5	95.0	82.5	85.0
30	95.0	95.0	95.0	85.0	87.5
40	100.0	100.0	100.0	97.5	90.0
50	97.5	97.5	100.0	87.5	60.0

(b) 額. (%)

HC \ N	8	12	16	32	60
20	95.0	95.0	100.0	97.5	92.5
30	100.0	100.0	100.0	90.0	55.0
40	97.5	100.0	100.0	82.5	42.5
50	100.0	100.0	100.0	100.0	92.5

表 2 冗長法を用いたときの可読性の評価結果 (1次元パターン)

(a) 額. (%)

HC \ N	8	20
20	82.0 (97.5)	86.0 (95.0)
30	100.0 (100.0)	100.0 (100.0)
40	100.0 (100.0)	100.0 (100.0)
50	100.0 (100.0)	100.0 (100.0)

(b) 額. (%)

HC \ N	8	20
20	98.0 (98.0)	88.0 (95.0)
30	100.0 (100.0)	100.0 (100.0)
40	100.0 (100.0)	100.0 (100.0)
50	100.0 (100.0)	100.0 (100.0)

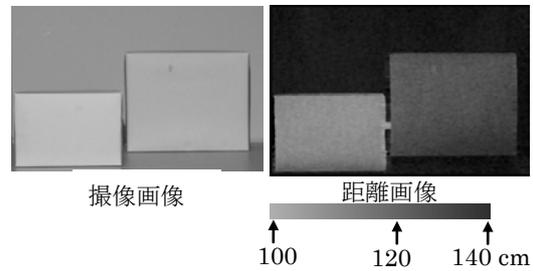
用的な可読性が達成されることを確認した。表 1 に 1 次元パタンの場合の可読性評価結果を示す。表 1 から、HC が一定以上の値になれば、100%または 100%に近い高い読み出し確度が得られることがわかる。また、N が長くなると読み出し確度が低下することがわかる。2 次元パタンの場合は、パタンの領域が広いほど読み出し確度が高くなった。これは、被写体表面が平面形状であったためである。一方、本実験では被写体表面が平面ではなく湾曲しているため面積が小さいほど湾曲によるパタン歪の影響が少なくなるためと考えられる。以上の結果より、HC を一定以上の値とし、一方、N を一定以下の値に選ぶことにより高い読み取り確度が可能であることが明らかになった。

表 2 に冗長法を用いた場合の 1 次元パタンの可読性評価結果を示す。表 2 において括弧内の数字が冗長法を用いた場合の読み出し確度を示す。冗長法により読み出し確度が高まり、埋め込んだ情報の欠落が生じやすい場

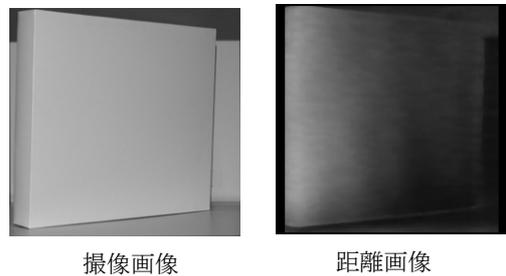
合に有効であることがわかる。

図 6 に距離画像を不可視に埋め込む撮像法についての実験結果を示す。図 6(a) から前後に配置された 2 つの被写体および背景の奥行に応じた距離画像が得られていることがわかる。また図 6(b) から奥行き方向に連続する面に対応した距離画像も得られることがわかる。ただし、被写体の縁では、縁で生じる画像の高周波成分と投影パタンの周波数成分の切り分けができずノイズとして含まれている。以上の実験から本方法の実現性を確認した。今後の課題として、被写体の縁のノイズ除去や被写体表面にテクスチャーがあるとき、テクスチャーがもつ周波数成分の影響の除去があげられる。

以上の 3 つの実験結果から、提案技術の実現性と 3 次元画像への新規応用の可能性を確認できた。



(a) 配置 A



(b) 配置 B

図 6 距離画像の読み出し例

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 3 件)

(1) Isaka and K. Uehira, “New technique for capturing images containing invisible depth information on objects using brightness modulated light”, Proceedings of SPIE, 査読有, Vol. 8290, pp. 82901E-1-82901E-7, 2012.

(2) Y. Ishikawa, K. Uehira, and K. Yanaka, “Optimization of Size of Pixel Block for

Orthogonal Transform in Optical Watermarking Technique”, IEEE/OSA Journal of Display Technology, 査読有, Vol. 8, No. 9, pp. 505-510 (2012)

(3) K. Uehira and M. Komori, “Optically written watermarking technology using one dimensional high frequency pattern”, Proceedings of VISAPP 2012, 査読有, pp. 75-78 (2012)

[学会発表] (計 4 件)

(1) 小森瑞穂、上平員丈, “1次元の高周波パターンを用いた光透かし技術”, 電子情報通信学会技術報告, 査読なし, 111巻, 155号, pp. 37-40 (2011)

(2) 井坂彩瑛、上平員丈, “距離画像を不可視に重畳する撮像法の検証”, 電子情報通信学会技術報告, 査読なし, 111巻, 155号, pp. 33-36 (2011)

(3) K. Uehira and H. Yamamoto, “New Display Technology for Unconscious Information”, IEEE IAS Annual Meeting, 査読有, (2011)

(4) 井坂彩瑛, 海野浩, 上平員丈, 高嶋洋一, “デブス情報を不可視に埋め込む撮像法の検討” 電子情報通信学会技術報告, 査読なし, 112巻, 434号, pp. 317-320 (2013)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

上平 員丈 (UEHIRA KAZUTAKE)

神奈川工科大学・情報学部・教授

研究者番号：50339892