

2 階層電子透かし方式の有効性の解析

石井 真之^{※1} 鹿志村 浩史^{※1} 佐々木 良一^{※1} 吉浦 裕^{※2} 越前 功^{※3} 伊藤 信治^{※3}

※1 東京電機大学 〒101-0054 東京都千代田区神田錦町2丁目2番地

※2 電気通信大学

※3 日立製作所

E-mail: ※1 saneyuki@isl.im.dendai.ac.jp

あらし 現在, さまざまな電子透かし方式が提案されているが, 各方式に特徴があり, また, ユーザのニーズの多様性の観点から一つの方式に標準化することが困難であると考えられる. そのため, 現状提案されている数多くの電子透かし方式を利用でき, かつ, 統一的な処理ができる技術として2階層電子透かし方式を提案した. この方式は運用の柔軟性を考え, 実際に透かし情報を入れる‘実透かし’, 実透かしに使用した透かし方式の番号を入れる‘メタ透かし’の2つの透かしを組み合わせたものである. 本研究では, 2階層電子透かし方式の有効性を総当りによる処理との処理時間の比較および未検出率を通して示す.

キーワード 2階層電子透かし, 不正コピー, 柔軟性, 処理時間, 未検出率

Analysis of validity on Two Layer Digital Watermarking

Saneyuki ISHII^{※1} Hiroshi KASHIMURA^{※1} Ryoichi SASAKI^{※1} Hiroshi YOSHIURA^{※2}
Isao ECHIZEN^{※3} Shinji ITO^{※3}

※1 Tokyo Denki University 2-2 Nishikichou, Kanda, Chiyoda-ku, Tokyo, 101-0054 Japan

※2 Denki Tushin University

※3 Hitachi,Ltd.

E-mail: ※1 saneyuki@isl.im.dendai.ac.jp

Abstract Various digital-watermarking methods have been proposed now. It is difficult to select one standard methods from a viewpoint of the diversity a user's needs. As the solution, we propose two layer digital-watermarking system as technology which can use many digital-watermarking systems proposed now, and can perform effective processing. This system consists of two type of watermarks, ‘a real watermark’ which actually embeds digital-watermarking information, and ‘a meta-watermark’ which embeds the number of the digital-watermarking system used for the real watermark. This study shows the validity of two layer digital-watermarking system through comparison of processing time with processing by round robin, and the rate of un-detecting

Keyword Two Layer Digital Water Marking, Illegal Copying, Flexibility, Processing time, The rate of un-detecting

1. はじめに

近年, インターネットの普及に伴いデジタルコンテンツの不正コピーによる著作権侵害の問題が深刻となっている. そこで現在, 著作権の保護に有効な手段として電子透かし技術が注目され多くの研究がなされている. この‘電子透かし技術’とは, 画像や音声などのデジタルコンテンツに対し, 著作権者の情報などを人間に知覚されにくい形でコンテンツ自身に埋め込むことで, 著作権の保護を可能にする技術である.

この電子透かしによって埋め込まれた情報を検出するには, 埋め込みに用いたのと同様の方式である必要があるため, 大規模な運営のためには電子透かし方式は標準化する必要がある. しかし, それぞれの方式には特徴があり, 例えば部分切り出しに強い透かしでは, 画像の小部分毎に完結した透かし埋め込みを行うため, 繰り返し構造を生じてしまい, 画質劣化やセキュリティ低下を生じやすい. 一方, 繰り返し構造を排除した方式では, 画像やセキュリティ面の向上が可能

であるが、部分切り出しに弱くなる。このように各方式には一長一短があるため一つに標準化することが困難である。

そこで、運用の柔軟性を考え、現在提案されている数多くの電子透かし方式を利用でき、かつ、統一的な処理ができる技術として‘2階層電子透かし方式’が提案された。¹⁾²⁾この方式は実際に透かし情報を埋め込む実透かしと、実透かしに用いた透かし方式の番号を入れるメタ透かしの組み合わせからなる。

本論文では、2章では、2階層電子透かしのニーズと概要を述べる。3章では、2階層電子透かしを含めた複数の電子透かしの運用方法を想定する。4章では、3章において示した運用方法のフローチャートの作成過程を示す。さらに、5章では、4章のフローチャートを用いて解析を行った結果を示し、6章では結論を述べる。

2. 2階層電子透かし方式のニーズと概要

2.1 電子透かし運用における課題

今日、電子透かしは著作権保護を目的とした技術として注目されている。そのため、様々な電子透かしが研究されており、現在、多数の方式が存在している。

電子透かしにより埋め込まれた情報を検出するためには、埋め込み時と同様の方式で検出する必要がある。そのため、埋め込みに用いる電子透かし方式が多数存在するという事は、検出の際に用いる電子透かし方式も多数存在することを意味する。

ゆえに、電子透かしが一方式に標準化されることが望まれるが、電子透かしには、アプリケーション毎の異なる要求、画像種別毎の異なる要求、透かし方式毎の異なる特性が相俟って、様々なニーズにより使用する電子透かしを使い分ける必要がある。

以上のような理由により、電子透かしを一方式に標準化することは困難であり、そのため、多数の電子透かし方式が同時に存在し続けることが容易に予想されるため、数多くの電子透かし方式を利用でき、かつ、統一的な処理ができる技術が必要である。

しかし、複数の電子透かしを使い分けるには、検出時にどの透かし方式で検出するべきかを判断する必要がある。その単純な解決方法として、全ての透かし方式で順次検出する(総当り)方法があるが、この場合、検出時の処理時間が問題となる。仮に、10の透かし方式を使い分けるとすると、10倍の時間が必要となる。この処理時間問題の対策として、複数の設備を用い並列処理する方法があるが、この場合、設備や管理のコストが問題となる。つまり、検出に使用する電子透かしの種類が増えれば増えるほど、その数に比例して処理時間およびコストが増加するという問題が生じる。

2.2 2階層電子透かし方式の提案

2.1節で述べたような問題を解決する方法として、2階層電子透かし方式が提案された。

2階層電子透かし方式とは、著作権者などの情報を埋め込む‘実透かし’、実透かしに用いた透かし方式を特定するための情報(番号など)を埋め込む‘メタ透かし’の2種類の透かしを2層にして埋め込む。検出の際はこの‘メタ透かし’の情報を検出することで検出に用いるべき透かし方式を特定できる。そのため、電子透かし方式が増加しても、実際の検出では、‘メタ透かし’と‘実透かし’の2つの透かし方式を使用するだけで行うことができ処理時間の大幅な短縮を実現できる。また、‘メタ情報’の検出ができなかった場合は、元々透かしが入っていなかったものと判断することができ、このため透かしの入っていない画像に対する処理に関する問題も解決することができる。ただし、‘メタ情報’の未検出時における対処方法は他にも考えられ、詳しくは後述することとする。

図1に2階層電子透かし方式の処理の流れをフローチャートを用いて示す。

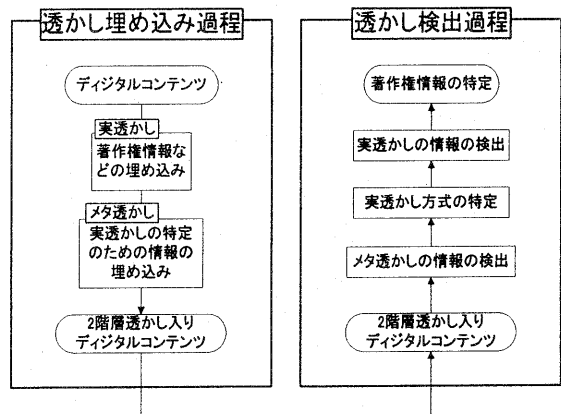


図1 2階層電子透かし方式の処理の流れ

3. 複数の電子透かしの運用方法

本章では、2階層電子透かし方式の有効性を検証するため、以下の3つの‘複数の電子透かし運用方法’を用い処理時間の比較を行う。

なお下記の2、3に関しては、メタ透かし情報を検出できない場合(未検出時)の処理方法については状況により変更する必要があると考え、2つのケースに分け、メタ透かし情報の未検出率に関する解析を加えて検証することとした。

1. 単純方式

全ての透かし方式で順次検出（総当り）する方式。透かしが埋め込まれていないコンテンツに対しては検出処理を行ってしまう。（図2）

2. 2階層電子透かし方式Ⅰ（以下2階層Ⅰとする）

メタ透かしの情報を基に、実透かしを決定し、実透かし情報の検出を行う。メタ透かしの情報が検出されなかった場合、透かしの埋め込まれていないコンテンツと判断し、検出処理を終了する。（図3）

3. 2階層電子透かし方式Ⅱ（以下2階層Ⅱとする）

メタ透かしの情報を基に、実透かしを決定し、実透かし情報の検出を行う。メタ透かしの情報が検出されなかった場合、単純方式に移行し、全ての透かし方式で順次検出（総当り）する。（図4）

4. フローチャートの作成

4.1 前提条件

本論文はメタ透かしの有効性の解析が目的であるので、実透かしに対しては、解析結果を理解しやすくするため、以下のような前提条件を設定した。

1. 各電子透かし方式の検出処理時間は同じ
2. 異なる実透かし方式では情報を検出できない
3. 正しい方式での実透かしの検出は必ず成功する

4.2 パラメータ解説

各フローチャートを作成する上で、以下のようなパラメータを設定した。

- N : 使用される実透かしの方式数
- P : 各電子透かし方式の普及率
- F_n : メタ透かしの false negative（透かしが入っているのに入っていないと判断する確率）
- F_p : メタ透かしの false positive（透かしが入っていないのに入っていると判断する確率）
- Be : メタ透かしのビットエラー率（埋め込まれた情報とは異なる情報を検出する確率）

4.3 フローチャート

図2に単純方式、図3に2階層電子透かし方式Ⅰ、図4に2階層電子透かし方式Ⅱの各フローチャートを示す。

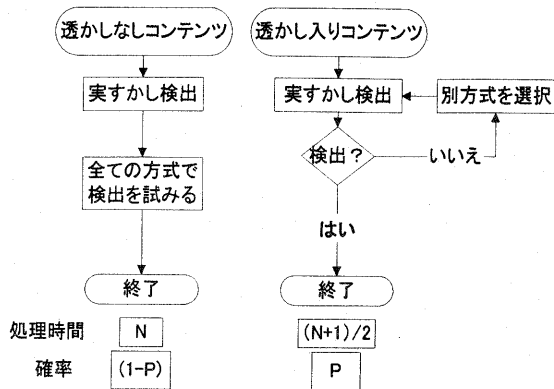


図2 単純方式

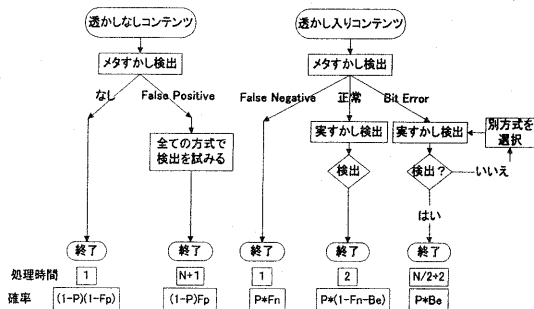


図3 2階層電子透かし方式Ⅰ

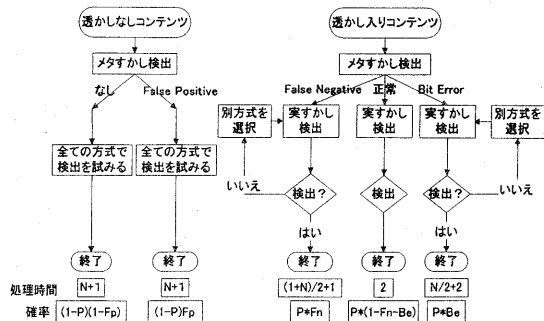


図4 2階層電子透かし方式Ⅱ

4.4 パラメータ値の設定

パラメータの設定に際し、メタ透かしのモデルケースを以下のように作成した。

メタ透かしの埋め込みビット数 : 8 [bit]
 検出ビットの判定法 : k out of n
 (k : 閾値, n : 冗長度)

上記モデルケースにおいて k = 5, n = 7, 素の1ビット誤り率 E を 0.05 として解析を行った。ここで、

素の1ビット誤り率とは、 $n \times 8$ [bit]のうちの1ビットが反転する確率をいう。

以上の解析結果から F_n, F_p, B_e を、また、現実的数値として、 N, P を変数として使用しない時のパラメータの値として表1のように設定した。

表1 パラメータ値

N	20
P	0.2
F_n	0.03
F_p	0.002
B_e	0.00005

5. 解析結果

本章では、4.3節の3つのフローチャートを用い、方式数、普及率、閾値、素の1ビットエラー率に対する各処理時間に関する比較・検討を行う。

さらに、2階層Ⅰと2階層Ⅱに関しては、方式数、普及率、閾値、素の1ビットエラー率に対する各未検出率に関する比較・検討を行う。

ここでの未検出率とは、メタ透かしの情報が埋め込まれているにもかかわらず埋め込まれていないと判断(FN)したことによる、透かし情報消失の割合を示す。

5.1 方式数の推移による影響

本節では、実透かしとして採用される方式数の推移による処理時間への影響を調べる。また、2階層Ⅰと2階層Ⅱに関しては、未検出率への影響も調べる。

以下、図5に方式数対処理時間、図6に方式数対未検出率の解析結果を示す。

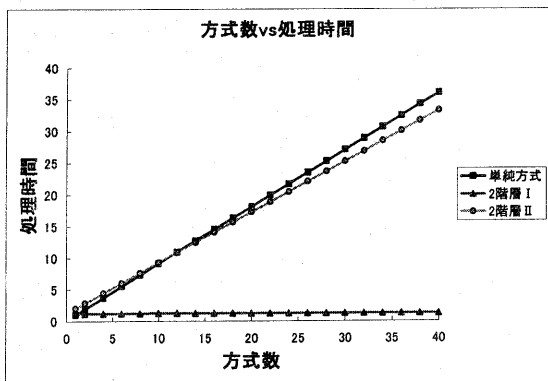


図5 方式数 対 処理時間

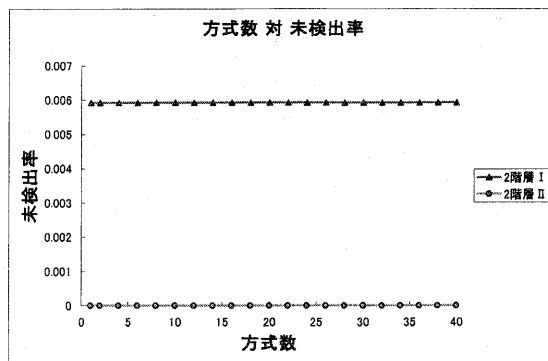


図6 方式数 対 未検出率

図5より、2階層Ⅰは実透かしの方式数が増加しても処理時間はほぼ変わらず一定であることがわかった。一方、2階層Ⅱは実透かしの方式数が12を超えなければ単純方式よりも処理が遅いことがわかった。

また図6より、対未検出率に関しては、双方ともに方式数の影響は受けないことがわかった。

以上より、この解析条件下では、2階層Ⅱは処理時間がかかりすぎるため使用するメリットはあまりないと考えられる。

5.2 普及率の推移による影響

本節では、透かしの普及率の推移による処理時間への影響を調べる。また、2階層Ⅰと2階層Ⅱに関しては、未検出率への影響も調べる。

以下、図7に普及率対処理時間、図8に普及率対未検出率の解析結果を示す。

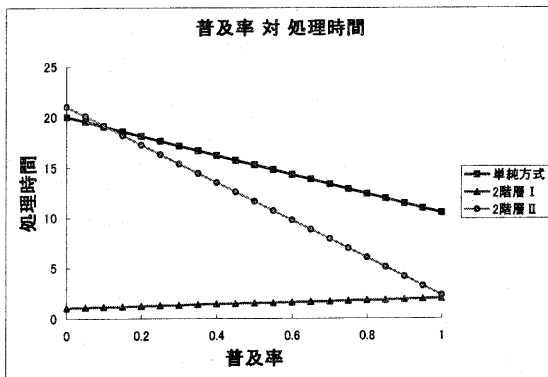


図7 普及率 対 処理時間

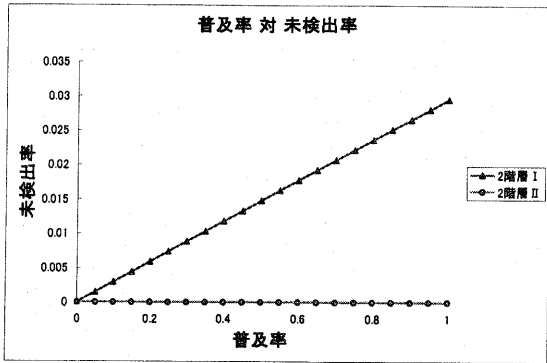


図8 普及率対未検出率

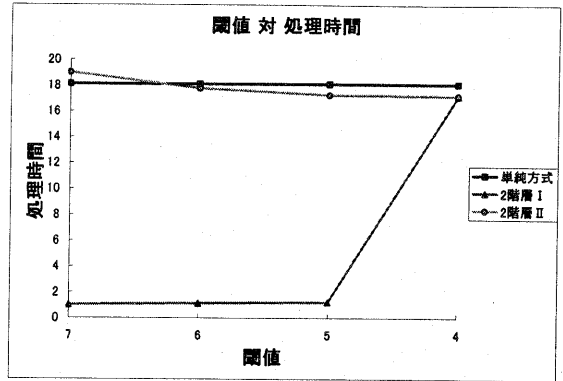


図9 閾値対処理時間

図7より、普及率の上昇とともに2階層Iおよび2階層IIの処理時間の差が減少することがわかった。2階層IIの処理時間が減少する要因として、普及率が低い状態では、透かしのないコンテンツに対する順次検出による無駄な処理が多く発生するが、普及率が上昇することによりこの状況が緩和されるためと考えられる。

また図8より、2階層Iの場合普及率が上昇するのに比例して、未検出率が増加することがわかった。

以上より、この解析条件下では、普及率の低い場合は2階層Iを用いるのが良いが、普及率の高い場合においては2階層IIを用いることも考えられる。

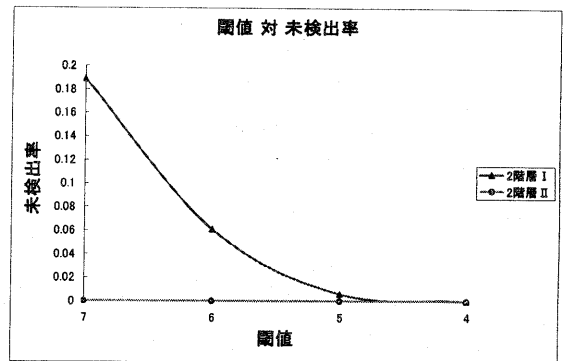


図10 閾値対未検出率

5.3 閾値による影響

本節では、透かしの閾値による処理時間への影響を調べる。また、2階層Iと2階層IIに関しては、未検出率への影響も調べる。

ここでの閾値とは、メタ透かしの検出の精度を左右するパラメータを示す。この値を低く(本論文では4)設定すると、FPの値が大きくなる。つまり、透かしの入っていないコンテンツから、誤ってメタ透かし情報を検出する確率が大きくなる。結果、検出した結果に基いて透かしを検出しようとしても、埋め込まれていないため検出することができない状況が多くなり、無駄な処理時間を費やすことになる。逆に、値を高く(本論文では7)設定すると、FNの値が大きくなる。結果、メタ透かしの検出における条件が厳しくなるため、実際にはメタ透かしが埋め込まれているにもかかわらず、メタ透かしが入っていないものと判断し、メタ情報を検出できず、実透かし方式の判断ができなくなる。

以下、図9に閾値対処理時間、図10に閾値対未検出率の解析結果を示す。

図9より、閾値が最も低い状態では2階層Iの処理時間が急激に遅くなることがわかった。一方、2階層IIの処理はあまり変化がないことがわかった。原因としては、閾値がもっとも低い状態ではFPの発生確率が100%となるため、2階層Iでは、透かしの埋め込まれていない全コンテンツに対する順次検出処理が行われてしまうが、2階層IIでは、FPが発生しても処理に変わりがないためであると考えられる。

また、図10より、閾値が高くなると2階層Iでは、未検出率が上昇することがわかった。これは、閾値が高い状態ではFNの発生確率が増加するためであると考えられる。

以上より、2階層IIの場合は閾値を極端に設定しなければ特に問題ないが、2階層Iの場合は閾値の設定を慎重に行う必要がある。

5.4 素の1ビットエラー率Eによる影響

本節では、メタ透かしの素の1ビットエラー率Eによる処理時間への影響を調べる。また、2階層Iと2階層IIに関しては、未検出率への影響も調べる。

ここでの素の1ビットエラー率Eとは、閾値同様メタ透かしの検出の精度を左右するパラメータであるが、主にFNに大きな影響を与える。また、閾値のように設定できる値ではなく、画像処理などにより値が大きくなる。

以下、図11に素の1ビットエラー率対処理時間、図12に素の1ビットエラー率対未検出率の解析結果を示す。

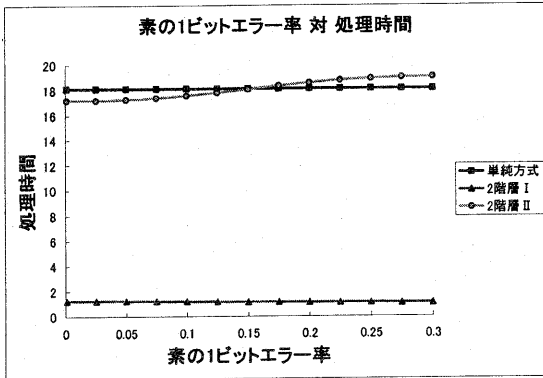


図11 素の1ビットエラー率 対 処理時間

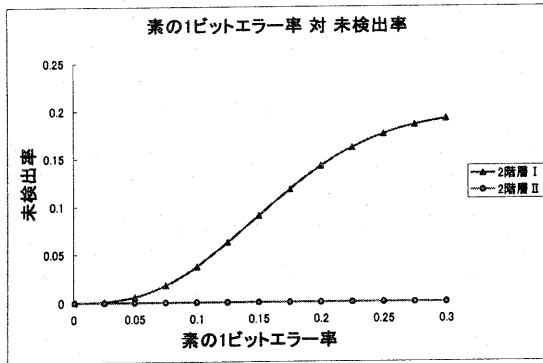


図12 素の1ビットエラー率 対 未検出率

図11より、素の1ビットエラー率Eの上昇に伴い2階層IIの処理時間が遅くなる原因として、FNの発生確率増加によりメタ情報を検出できず順次検出による実情報検出を行うためと考えられる。しかし、全体的には素の1ビットエラー率Eによる処理時間への影響は低いことがわかった。

また図12より、素の1ビットエラー率Eの上昇に伴い2階層Iのみ未検出率が上昇することがわかった。この原因は5.3同様にFNの発生確率の増加によるものであると考えられる。

以上より、2階層Iの場合は素の1ビットエラー率E

による未検出率への影響が大きく、2階層IIの場合は素の1ビットエラー率による未検出率への影響が少ないが処理時間に関しては素の1ビットエラー率Eがある程度高くなると単純方式よりも遅くなる。ゆえにメタ透かしの素の1ビットエラー率Eを低く保てるメタ透かしが望ましい。

6. 解析結果のまとめ

これらの結果より、次のようなことがいえる。

- (1) 処理時間の面から、2階層Iの方式が一般にもっとも望ましいといえる。特に、普及率が低い場合は、他の方式との差は大きい。
- (2) 普及率が100%に近づくと2階層Iと2階層IIの処理時間の差は小さくなるが、一般に普及率が100%近くになる状況は起こりえないため、2階層Iが望ましい。ただし、検出方法は埋め込み方法とは独立しているので、状況次第では、2階層Iと2階層IIを切り替えることも可能である。
- (3) メタ透かしにおいては、FPが大きい(処理時間が増える)よりも、FNが大きい(未検出(実透かしを見逃す)率が大きい)方が問題が大きいため、FNを小さくすることが大切であることがわかった。
- (4) FNを小さくする方法としては、素の1ビットエラー率Eを小さくする方法と、閾値を小さくする方法が主に考えられるが、Eのコントロールは困難であるので、閾値により小さくすることが望ましいといえる。

7. 今後の課題

本解析により、2階層Iの方が望ましいとわかったが、この方式を最適に運用するためには閾値の設定が鍵を握る。今後、画像処理などによるFN、FPの状況変化に対して閾値を最適に変更できる2階層電子透かし方式を検討していくつもりである。

また、本論文の解析においてメタ透かしによる実透かしへの影響は考慮しなかったが、今後はこの点に関しても検討していく必要があると考える。

さらに、異なる実透かし方式で情報を検出する可能性に関して検討し、対策を考える必要があると思われる。

文献

- [1]安田浩 安原隆一, ポイント図解式コンテンツ流通教科書, ASCII, 2003
- [2]鹿志村浩史 石井真之 他 “2階層電子透かしの実装と評価” CSS2002論文集 pp125-129 Oct,2002