

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2010-157993

(P2010-157993A)

(43) 公開日 平成22年7月15日(2010.7.15)

(51) Int.Cl.	F I	テーマコード (参考)
HO4N 1/387 (2006.01)	HO4N 1/387	5B057
GO6T 1/00 (2006.01)	GO6T 1/00 500B	5B109
GO6F 17/21 (2006.01)	GO6F 17/21 570M	5C076

審査請求 未請求 請求項の数 32 O L 外国語出願 (全 44 頁)

(21) 出願番号 特願2009-241422 (P2009-241422)  
 (22) 出願日 平成21年10月20日 (2009.10.20)  
 (31) 優先権主張番号 12/347, 277  
 (32) 優先日 平成20年12月31日 (2008.12.31)  
 (33) 優先権主張国 米国 (US)

(71) 出願人 597067574  
 ミツビシ・エレクトリック・リサーチ・ラボラトリーズ・インコーポレイテッド  
 アメリカ合衆国、マサチューセッツ州、ケンブリッジ、ブロードウェイ 201  
 201 BROADWAY, CAMBRIDGE, MASSACHUSETTS  
 02139, U. S. A.  
 (74) 代理人 100110423  
 弁理士 曾我 道治  
 (74) 代理人 100084010  
 弁理士 古川 秀利  
 (74) 代理人 100094695  
 弁理士 鈴木 憲七

最終頁に続く

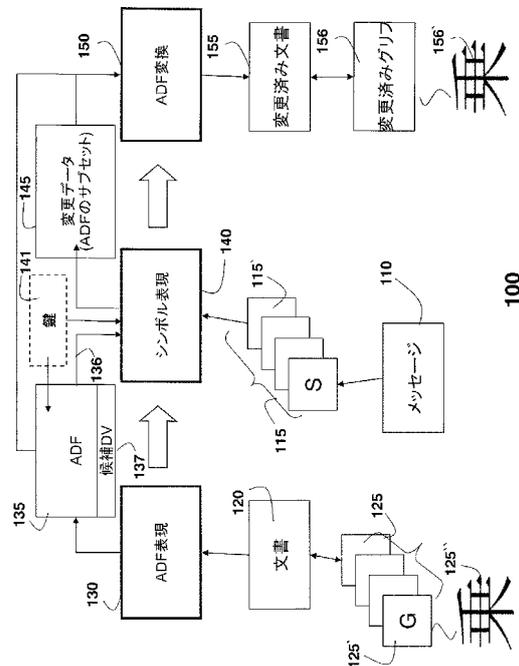
(54) 【発明の名称】 文書内にメッセージを埋め込む方法、及び距離場を使用して文書内にメッセージを埋め込む方法

(57) 【要約】 (修正有)

【課題】 文書内にメッセージを目立ちにくく耐性がある方法で埋め込む。

【解決手段】 グリフのセット125を含む文書120内にメッセージ110を埋め込む。文書120内の個々のグリフ、文書120内のグリフのグループ、又は文書120全体が、対象となる形状からの距離値を含む距離場を使用して表される。メッセージ110の各シンボル140は距離場における距離値のサブセット136の変更として表される。この距離場における距離値のサブセット136は、上記変更に従って変更され、変更済み文書155内に変更済みグリフ156を生成する。メッセージ110内のシンボルは変更済みグリフ156内に埋め込まれる。

【選択図】 図1



100

**【特許請求の範囲】****【請求項 1】**

グリフのセットを含む文書内にメッセージのシンボルを埋め込む方法であって、  
文書内のグリフを距離場として表すこと、  
前記文書内に埋め込まれるメッセージ内のシンボルを、前記距離場における値のサブセットの変更として表すこと、及び

前記距離場における前記値のサブセットを前記変更に従って変更することであって、変更済み文書における変更済みグリフを生成し、前記メッセージ内の前記シンボルが前記変更済みグリフ内に埋め込まれる、変更すること、  
を含む、方法。

10

**【請求項 2】**

前記距離場は規則的にサンプリングされた距離場である、請求項 1 に記載の方法。

**【請求項 3】**

前記距離場は適応的にサンプリングされた距離場 ( A D F ) である、請求項 1 に記載の方法。

**【請求項 4】**

前記距離場はメモリ装置内のデータ構造内に格納される値のセットである、請求項 1 に記載の方法。

**【請求項 5】**

前記距離場は、前記埋め込まれるメッセージシンボルに基づいて前記グリフを再構築及びレンダリングするプロシージャを含む、請求項 1 に記載の方法。

20

**【請求項 6】**

前記変更は決定論的変更及び確率論的変更を含む、請求項 1 に記載の方法。

**【請求項 7】**

前記距離場における前記値のサブセットを鍵に従って選択することをさらに含む、請求項 1 に記載の方法。

**【請求項 8】**

前記変更は、前記距離場における前記値のサブセットの新たな値を規定する、請求項 1 に記載の方法。

**【請求項 9】**

前記変更は、前記距離場における前記値のサブセットの補正值を規定する、請求項 1 に記載の方法。

30

**【請求項 10】**

前記変更は、前記距離場における前記値のサブセットのサンプリング密度の補正值を規定する、請求項 1 に記載の方法。

**【請求項 11】**

前記距離場における前記値のサブセットを局所的なサンプリング密度に従って選択することをさらに含む、請求項 1 に記載の方法。

**【請求項 12】**

前記距離場における前記値のサブセットを、前記グリフの形状の境界上の局所的に計算された勾配に従って選択することをさらに含む、請求項 1 に記載の方法。

40

**【請求項 13】**

前記メッセージ内に少なくとも 1 つのパケット化シンボルを挿入することをさらに含む、請求項 1 に記載の方法。

**【請求項 14】**

前記パケット化シンボルは、開始パケットシンボル、パケット数シンボル、及び同期シンボルを含むグループから選択される、請求項 13 に記載の方法。

**【請求項 15】**

前記方法は、  
変更された距離値を含む変更された距離場を用いて前記変更済みグリフを表すこと、

50

前記変更された距離場における前記変更された距離値のサブセットに関連付けられる埋め込まれた変更を検出すること、及び

前記埋め込まれた変更に基づいて前記メッセージの前記シンボルを求め、をさらに含む、請求項 1 に記載の方法。

【請求項 16】

前記変更された距離値のサブセットを鍵に従って求めることをさらに含む、請求項 15 に記載の方法。

【請求項 17】

前記変更された距離値のサブセットを、グリフの形状要素のデータベースに従って求めることをさらに含む、請求項 15 に記載の方法。

10

【請求項 18】

文書内にメッセージを埋め込む方法であって、  
文書の少なくとも一部を距離値を含む距離場として表すこと、  
前記文書内に埋め込まれるメッセージ内のシンボルを、前記距離場における前記値のサブセットの変更として表すこと、及び

前記距離場における前記値のサブセットを前記変更に従って変更することであって、変更済み文書を生成し、前記メッセージ内の前記シンボルが前記変更済み文書内に埋め込まれる、変更すること、  
を含む、方法。

【請求項 19】

前記距離場における前記値のサブセットは、前記文書内のグリフに関連付けられる、請求項 18 に記載の方法。

20

【請求項 20】

前記変更済み文書进行处理することをさらに含む、請求項 18 に記載の方法。

【請求項 21】

前記処理は、前記変更済み文書のレンダリング、コピー、印刷、ファックス、電子メール送信、表示、スキャン、該変更済み文書のファイル転送、又はそれらの組合せを含むグループから選択される、請求項 20 に記載の方法。

【請求項 22】

前記距離場における前記値のサブセットを鍵に従って選択することをさらに含む、請求項 18 に記載の方法。

30

【請求項 23】

前記方法は、  
変更された距離場を用いて前記変更済み文書を表すこと、  
前記変更された距離場における前記変更された距離値のサブセットに関連付けられる変更を検出すること、及び

前記変更に基づいて前記メッセージの前記シンボルを求め、をさらに含む、請求項 18 に記載の方法。

【請求項 24】

前記変更された距離場における前記値のサブセットを鍵に従って求めることをさらに含む、請求項 23 に記載の方法。

40

【請求項 25】

前記変更された距離場における前記値のサブセットを、グリフの形状要素のデータベースに従って求めることをさらに含む、請求項 23 に記載の方法。

【請求項 26】

文書内にメッセージを埋め込む方法であって、  
文書内のグリフを距離値を含む距離場として表すこと、  
前記距離場における前記距離値を密度値のセットにマッピングすること、  
前記文書内に埋め込まれるメッセージ内のシンボルを、前記密度値のセットのサブセットの変更として表すこと、及び

50

前記密度値のセットの前記サブセットを前記変更に従って変更することによって、変更済み文書を生成し、前記メッセージ内の前記シンボルが前記変更済み文書内に埋め込まれる、変更すること、を含む、方法。

【請求項 27】

前記密度値のセットは前記文書内の前記グリフのピクセル強度を表す、請求項 26 に記載の方法。

【請求項 28】

前記密度値のセットは前記文書内の前記グリフの色を表す、請求項 26 に記載の方法。

【請求項 29】

前記密度値のセットは前記文書内の前記グリフのテクスチャを表す、請求項 26 に記載の方法。

【請求項 30】

前記密度値のセットの前記サブセットを、ディスプレイ装置の色フリッジングのアーチファクトに従って選択することによって、該ディスプレイ装置はアドレス指定可能なピクセル構成要素を使用する、選択することをさらに含む、請求項 26 に記載の方法。

【請求項 31】

前記密度値のセットの前記サブセットを、ディスプレイ装置のエイリアシングアーチファクトに従って選択することによって、該エイリアシングアーチファクトは前記グリフの表示位置に関連付けられる、選択することをさらに含む、請求項 26 に記載の方法。

【請求項 32】

前記密度値のセットの前記サブセットを鍵に従って選択することをさらに含む、請求項 26 に記載の方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、包括的には文書内にメッセージを埋め込むことに関し、より詳細には距離場を使用して文書内にメッセージを埋め込むと共に文書内のメッセージを検出することに関する。

【背景技術】

【0002】

以下の特許及び特許出願は、本出願に関連し、参照により本明細書に援用される。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0003】

【特許文献 1】米国特許第 6 3 9 6 4 9 2 号明細書

【特許文献 2】米国特許第 7 0 0 2 5 7 0 号明細書

【特許文献 3】米国特許第 7 0 3 4 8 4 5 号明細書

【特許文献 4】米国特許第 7 1 2 3 2 7 1 号明細書

【特許文献 5】米国特許出願第 1 2 / 3 2 9 8 6 9 号明細書

【0004】

透かし

透かしは、文書内にメッセージとして埋め込まれることが多い。埋め込みメッセージは、たとえば、セキュリティ、プライバシー、及び著作権保護のために使用することができる。

【0005】

紙の「ハードコピー」文書のための透かしは、電子的な「ソフトコピー」透かしとは異なる。ソフトコピー文書の場合、透かし挿入、文書コピー、文書の品質引き下げ、及び透かし抽出のようなすべての操作は、デジタル領域、たとえば PDF 文書又は Postscript 文書において発生する。逆に、ハードコピー文書の場合、文書の品質引き下げは

10

20

30

40

50

ハードコピー領域において発生する。ハードコピー文書における透かしは、文書がコピーされるか、スキャンされるか、ファックスされるか、又は他の態様で操作されるときに品質を引き下げられる可能性がある。ハードコピー透かしは、故意に又は意図されずに、物理的損傷を受ける、たとえばしわくちゃにされるか又は引き裂かれる可能性もある。

【0006】

グリフ

グリフは、本明細書で定義される場合、基本図形物体である。グリフの最も一般的な例は、テキスト文字又は書記素である。グリフは合字、すなわち複合文字、又は発音区別符号とすることもできる。グリフは象形文字又は表意文字とすることもできる。用語グリフは非文字パターン又は複数文字パターンにも使用することができる。本明細書で使用される場合、グリフは何らかの任意の図形形状又は図形物体であり、これは2次元又はN次元である可能性がある。ここで、Nは2より大きい整数である。

【0007】

メッセージ埋め込み

画像、ビデオ、及び音声のような媒体信号内に、隠しメッセージを埋め込む多くの既知の方法が存在する。しかしながら、構造化されたグリフの内部に隠しメッセージを埋め込むことは難しい問題である。構造、たとえば間隔及び配向に対する小さな変化であっても、人間の視覚系によって検出される可能性がある。したがって、透かしの目的のために、グリフに対する変更は非常に小さくしなければならない。

【0008】

この問題は、ハードコピー透かしの場合に一層困難である。ハードコピー文書は、持ち主が変わるか、引き裂かれるか、又は折りたたまれると、物理的劣化を受ける可能性がある。文書の電子バージョンでは検出可能であったメッセージは、印刷文書が写真複写又はスキャンされるときに失われる可能性があり、たとえばコピー後に階調レベルの微細な変化が失われる可能性がある。

【0009】

従来メッセージ埋め込み方法

幾つかの従来メッセージ埋め込み方法はテキスト文書を画像として扱い、画像ベースの透かし技法を使用する。これらの方法の1つの不利な点は、これらの方法が主に個々のテキスト文字のビットマップ表現、又は色及び陰の中間調表現に対して動作するプリンタと上手く協働しないことである。

【0010】

また、別の従来方法は、違いが目には知覚することができないがスキャナによって感知することができるように文字の色を微細に変化させる。埋め込みメッセージは不可視であるため、透かしを変化させることは困難である。しかしながら、この方法の不利な点は、色又は階調レベルの小さな違いが、文書がコピーされるときに簡単に失われることである。

【0011】

さらに、別の方法は、個々の文字間、個々の単語間、又はテキストの連続する行の行間の距離を調節する。低い埋め込み率において、この方法は目にはほとんど不可視であり、コピーを乗り切る。しかしながら、この方法の不利な点は、高い埋め込み率において、文字間、単語間、又は行間の不均一な距離が、読み手にとって可視になると共に目障りになることである。

【0012】

さらにまた、別の方法は、文字全体の境界上に格子状の白黒のドットパターンを配置し、文字全体を標準より狭くするか又は広くすることによってディザリング効果を用いる。しかしながら、この方法は写真複写に対してロバストではない。これは、個々のドットパターンが、写真複写後に保持されるには小さすぎるためである。

【0013】

また、別の方法は、テキストの位置とは無関係な文書の背景にドットの擬似ランダムパ

10

20

30

40

50

ターンを埋め込む。ドットは比較的目立たないが、依然として簡単に除去される可能性がある。さらに、ドットは小さく、2回以上の写真複写を乗り切ることができない場合がある。

#### 【0014】

##### ダーティペーパー符号化

ダーティペーパー符号化(DPC)は、「ダーティペーパーへの書き込み」とも呼ばれ、何らかの副次的情報の存在下でメッセージを符号化する方法である。副次的情報は符号化器には知られているが、復号器には知られていない。副次的情報は通常、符号化器における何らかの干渉信号から成る。符号化器の任務は、復号器が干渉信号のいかなる知識も所有することなくメッセージを回復することが必ずできるように所望のメッセージを符号化することである。換言すれば、復号器は、いずれの部分が実際のメッセージを構成し、いずれの部分がノイズであるのかを事前に知ることなく、「ダーティ」文書からメッセージを読み取ることができなくてはならない。これが「ダーティペーパー符号化」の名前の由来である。

10

#### 【0015】

##### 距離場

物体、たとえばグリフの形状は、コンピュータシステムのメモリにおいて、N次元空間内の複数のサンプル点の集合として表すことができる。各サンプル点に、該サンプル点から形状の境界までの距離が関連付けられる。その距離は、サンプル点が境界の内側に位置するか又は外側に位置するかを示すために正又は負となり、厳密に境界上に位置するときはゼロとなる。関連付けられた距離値を有するサンプル点の集合は、サンプリングされた距離場と呼ばれる。距離場はコンピュータシステムのメモリ内に格納される解析プロシージャとして表すこともできる。

20

#### 【0016】

本発明では、一般的な用語の距離場を、サンプリングされた距離場及びサンプリングされていない距離場の両方の、すべてのタイプの距離場を指すものとして使用する。

#### 【0017】

距離場を使用して、色、階調、テクスチャのような、グリフの形状以外の属性を表すことができる。より正確には、グリフを表す距離場の距離値から、グリフの他の属性を表す密度値へのマッピングが存在する。

30

#### 【0018】

##### 適応的にサンプリングされた距離場(ADF)

適応的にサンプリングされた距離場(ADF)において、サンプル点の密度は、形状の異なる部分を表すのに必要とされる詳細度によって決まる。たとえば、複雑な局所的な変化は、高いサンプル点密度を必要とする場合がある。したがって、ADFは、任意の形状、たとえば、テキスト文字、漫画、及びロゴのようなグリフの処理を可能にする表現である。

#### 【発明の概要】

#### 【発明が解決しようとする課題】

#### 【0019】

本発明の目的は、ソフトコピー文書及びハードコピー文書内にメッセージを透かしとして埋め込む方法を提供することである。

40

#### 【0020】

本発明のさらなる目的は、メッセージが文書の読み手に目立たない方法を提供することである。

#### 【0021】

本発明のさらなる目的は、比較的大きなメッセージを埋め込むのに適した方法を提供することである。

#### 【0022】

本発明のさらなる目的は、埋め込みメッセージの抽出が、文書の物理的劣化に対し耐性

50

がある方法を提供することである。

【0023】

本発明のさらなる目的は、メッセージを損なうことなく文書の物理コピーを可能にすることである。

【課題を解決するための手段】

【0024】

本発明は、グリフを表す距離場における距離値を変更することによって、そのグリフの形状を微細に変更し、それによって文書内に隠しメッセージを埋め込むことが可能であるという認識からもたらされる。

【0025】

本発明はさらに、グリフの基本距離場に関連付けられる密度値を変更することによって、グリフの外観を変更し、それによって文書内に隠しメッセージを埋め込むことが可能であるという認識からもたらされる。

【0026】

ダーティペーパー符号化(DPC)は、「ダーティペーパーへの書き込み」とも呼ばれ、何らかの副次的情報の存在下でメッセージを符号化する方法である。副次的情報は符号化器には知られているが、復号器には知られていない。DPCに基づく透かしとの関連において、透かしは符号化されるメッセージの役割を果たし、文書は符号化器における干渉信号の役割を果たす。

【0027】

適応的にサンプリングされた距離場(ADF)は、デジタル表示のためのスケーラブル文字フォントを表す基本データ構造として広く採用されてきた。原則的に、ADFは距離値を含有し、距離値はたとえばフォントの選択によって指示されるグリフの形状を表す。

【0028】

メッセージの埋め込みにADFを使用することによって、文字の形状及び/又は外観に対する微細な変更が一般の読み手には不可視であり、且つ該変更を回復する目的で設計される検出器のみが該変更を回復することができるようにすることを可能にする。

【0029】

これによって、追跡情報、たとえば著作権情報、又は認証情報を、ポータブル文書フォーマット(PDF)文書若しくはWord文書、画像、ビデオ、企業ロゴ、及び印刷文書内に埋め込むことが可能になる。本発明の潜在的な用途は、著作権保護、電子メール追跡、ファイル転送追跡、文書認証、改ざん検出、並びにプリンタ及びデバイスのフォレンジックを含む。

【図面の簡単な説明】

【0030】

【図1】本発明の実施形態による、グリフのセットを含む文書内に複数のシンボルから成るメッセージを埋め込む方法のブロック図である。

【図2】本発明の実施形態による、文書内のメッセージのシンボルを検出する方法のブロック図である。

【図3】本発明の実施形態による、グリフを表す四分木のブロック図である。

【図4】本発明の実施形態による、未変更グリフ及び変更済みグリフの図である。

【図5】本発明の実施形態による、グリフのセットを含む文書内に複数のシンボルから成るメッセージを埋め込む方法の流れ図である。

【図6】本発明の実施形態による、グリフのセットを含む文書内の複数のシンボルから成るメッセージを検出する方法の流れ図である。

【発明を実施するための形態】

【0031】

本明細書において説明される例示的なグリフ及び文書は、適応的にサンプリングされた距離場(ADF)によって表される。しかしながら、すべての実施形態が他のタイプの距離場、たとえば規則的にサンプリングされた距離場又は手続き型距離場(procedural dis

10

20

30

40

50

tance field)とも等しく良好に機能する。

【0032】

本発明の実施形態は、グリフのセットを含有する、すなわち含む文書内に、メッセージのシンボルを埋め込む方法を提供する。たとえば、グリフの形状はADFを使用して表され、ADF内の距離値は埋め込まれるメッセージのシンボルに従って変更される。この結果、通常の観察条件の下では人間の視覚系に通常不可視であるグリフの形状の変更がもたらされる。したがって、形状におけるわずかな変化は位置特定及び改変することが困難であり、同時にこの変化は文書の写真複写のような操作に対してロバストである。

【0033】

メッセージ埋め込み

図1は、本発明の実施形態による、グリフのセットを含む文書内にメッセージのシンボルを埋め込む方法100のブロック図を示す。文書120は、グリフのセット125、たとえばグリフ125'を含む。グリフ125''は、グリフ125'の視覚的例である。グリフ125'をADF135として表す(130)。ADF135は距離値を含む。代替的に又は付加的に、文書全体120を単一のADF135として表す(130)。

【0034】

文書120に埋め込まれるメッセージ110は、シンボルのセット115、たとえばシンボル115'を含む。方法100はシンボル115'をADF135における距離値のサブセット136の変更データ145として表す(140)。

【0035】

本発明の幾つかの実施形態では、サブセット136は、変更されていないADF135における候補距離値137から選択される。ADF135のこれらの距離値のみが埋め込みの候補137となるべきである。これらを変更すると(150)、結果としてグリフ125'の形状全体に知覚することができない変化がもたらされる。候補距離値137を決定する1つの方法は、グリフ125'の境界を表すADF135の隣接するセル間の形状における変化を測定し、近隣のセルにおける距離に非常に類似したセルの距離値を候補137として選択する。

【0036】

そのような候補は、たとえばメッセージがグリフ125'の局所的な曲率のわずかな変更として埋め込まれる場合に使用される。候補距離値137を決定する別の方法は、グリフ125'の、ADF135のサンプリング密度が最も高い部分を選択する。そのような候補は、メッセージ110が、グリフ125'をサンプリング密度をわずかに減少させてレンダリングすることによって埋め込まれる場合に使用される。候補距離値137を決定する方法の別の例は、グリフ125'の、局所勾配が非常に高いか又は非常に低いかのいずれかである部分を選択する。境界の勾配は、境界を含むセルの頂点においてADF135の距離値から計算される。

【0037】

本発明の幾つかの実施形態では、電子ディスプレイ又は紙に表示される文書内にメッセージ110を埋め込むために連続ストローク変調(Continuous Stroke Modulation)(CSM)を使用する。これらの実施形態では、ADF135の距離場における候補距離値137は、グリフの形状のみでなく、照明条件、グリフが表示される装置又は媒体の特徴等のような他の特性にも依存するマッピング関数を介して、密度値のセットに関連付けられる。密度値の例は、文書内のグリフ又は文書自体の一部に関連付けられるピクセル強度、色値、グレースケール値、及びテクスチャを含む。

【0038】

メッセージを符号化するために、方法100は距離値137をそのままにしておくか又は変更するかを選択することができるが、関連付けられる密度値にのみ微細な変更を実施することができる。これらの実施形態は、グリフ125'のストロークの階調レベル、色、又は厚みにおける微細な局所変更に引き起こす。これらの変更は機器によって検出可能であるが、人間の視覚系には気付かれずに済む。変更される候補距離値を決定するのに

10

20

30

40

50

使用されるすべての決定論的技法及び確率論的技法は、候補密度値を決定するのにも適用することができる。

【0039】

メッセージ埋め込みのためにすべての候補距離値又は候補密度値を変更する(150)必要はないことに留意されたい。適切な候補の中で、ADFにおける変更される距離値又は密度値の最終選択は、埋め込み器、たとえば方法100、及び検出器、たとえば方法200(図2を参照されたい)によって知られている秘密鍵141を使用して行うことができる。ADF135における距離値のサブセット136は、シンボル115'を埋め込むために変更されるグリフ125'の形状の一部を画定する。文書120全体がADFとして表される実施形態において、サブセット136は通常、文書120内に含まれる一つ又は複数のグリフの形状に関連付けられる。

10

【0040】

変更データ145は、シンボル115'が埋め込まれるようにADF136のサブセットを変更するのに必要な情報を含む。たとえば、変更データ145はサブセット136の新たな変更された距離値を含むことができる。代替的に、変更データ145は、シンボル115'を埋め込むためにサブセット136における距離値をどのように変更すべきかを示す補正值を含むことができる。

【0041】

ADF135における距離値のサブセット136を、変更済み文書155における変更済みグリフ156を生成するための変更データ145に従って変更する(150)。ここで、メッセージ110におけるシンボル115'が変更済みグリフ156内に埋め込まれる。サブセット136における距離値が変更される方法に依拠して、この動作の結果、グリフ125'と比較して、グリフ156の形状の局所的な曲率の微細な変化又は他の変更が生じることができ、これによってシンボル115'、たとえば0ビット又は1ビットが埋め込まれる。グリフ156'は変更済みグリフ156の視覚的例である。図4(A)及び図4(B)に示すように、グリフ156の変更は拡大後にのみ見てとることができ、意図のない読み手にはほとんど不可視である。

20

【0042】

埋め込みデータに起因するグリフの形状における変更は「決定論的」又は「確率論的」とすることができることに留意されたい。本発明において、「決定論的」とは、変更済みグリフ156の形状が、未変更グリフ125'の形状と、メッセージ110のシンボル115'とによって一意に決定されることを意味する。決定論的変更の例は、上述した変更、すなわち、サンプリング密度又は勾配に基づいて元のADFにおける候補位置を選択することを含む。

30

【0043】

本発明において、「確率論的変更」とは、変更済みグリフ156の形状が、未変更グリフ125'とメッセージシンボルとによって一意に決定されるのではなく、埋め込み器及び抽出器にのみ知られている適切に選択されたランダム変数に従って変化することができることを意味する。そのようなランダム変数の一例は、未変更グリフのADF内の埋め込み位置を選択するのに使用される秘密鍵141である。これは、或る未変更グリフが文書内に複数回出現する場合、(メッセージ埋め込み後の)変更済みグリフの外観が毎回異なることを意味する。このランダム化によって、攻撃者が埋め込み方式を逆行分析することが極度に困難になる。

40

【0044】

変更済みグリフ156を含む変更済み文書155を、シンボル115'が文書156から抽出される前にレンダリングすることができる。レンダリングの例は、変更済み文書155のコピー、印刷、ファックス、電子メール送信、表示、スキャン、又はこれらの組合せを含む。

【0045】

本発明の幾つかの実施形態では、メッセージ110のシンボルを複数のパケットにグル

50

ープ化するために、パケット化シンボルがメッセージ 110 内に挿入される。パケット化シンボルの例は、開始パケットシンボル、パケット数シンボル、及び同期シンボルを含む。パケットシンボルをメッセージ内に挿入することの詳細な説明に関しては、関連の米国特許出願第 12 / 329 , 869 号明細書を参照されたい。

#### 【0046】

メッセージ検出

図 2 は、本発明の実施形態による、文書内のメッセージのシンボルを検出する方法 200 のブロック図である。変更済み文書 210 は変更済みグリフ 215 を含む。変更済み文書 210 は、図 1 の変更済み文書 155 を、たとえば印刷又は写真複写することによってレンダリングした結果である。変更済み文書 210 は変更済み文書 155 の全体又は部分

10

#### 【0047】

変更済み文書 210 及び / 又は変更済みグリフ 215 をスキャンしてデジタル画像を取得することができる。次に、そのデジタル画像を、変更された距離値を含む ADF 235 として表す (230) ことができる。変更された ADF 230 の変更された距離値のサブセット 236 に関連付けられる変更 245 を検出する (240)。変更された距離値のサブセット 236 を、鍵 241 を利用して選択することができる。鍵 241 は、図 1 の鍵 141 に関連し、たとえば鍵 141 と同一であるか、又は鍵 141 に基づいて決定される。代替的に又は付加的に、サブセット 236 は、グリフの共通形状要素のデータベース 242 を利用して求めることができる。変更 245 によって、埋め込まれたシンボル 255 が

20

#### 【0048】

ADF を用いるグリフ形状表現

ADF の空間階層を、ウェーブレット分解、2次元四分木、3次元八分木、及びより高次の次元のための四面体メッシュのような、複数のデータ構造を使用して表すことができる。

#### 【0049】

図 3 に示すように、本発明の一実施形態は、他の表現も等しく適用可能であるが、四分木 300 を使用してグリフ 310 を表現及び変更する。四分木 300 は複数の四角形セル 301 を含む。各セルは角に 4 つの頂点 302 を有する。各頂点は、頂点からグリフの最も近い境界まで測定された符号付距離 303 に関連付けられる。各セルは、該セルによって表される形状を再構成するプロシージャを含む。たとえば、セルのセル頂点間で双一次補間プロシージャを実施してセル内の形状を再構築することができる。

30

#### 【0050】

規則的にサンプリングされた距離場の四分木表現から開始して、ADF を構築する幾つかの方法が存在する。それらのうちの 2 つを以下で説明する。

#### 【0051】

トップダウンの手法では、四分木表現は形状の粗い近似を提供する。この粗い表現におけるセルのうちの幾つかは形状を含み、他のセルは形状を含まない。形状の境界上のセルのうちの幾つかにとって、この粗い近似における補間された距離値は、形状を再構成するのに十分である。他のセルにとって、補間された距離値は、たとえば曲率、角、及び点のような高レベルの詳細を有する複雑な領域の場合に不正確である。これらのセルは、距離場が詳細の良好な近似を提供するまで再帰的に再分割される。良好な近似を良好でない近似と区別するのに使用することができる多数の判断基準が存在する。1 つの例は、真の形状への距離と、双一次補間によって再構築された近似形状への距離との間の差である。

40

#### 【0052】

ボトムアップの手法では、四分木表現は特定の許容誤差までの形状の正確な表現を提供する。この場合、4 つの隣接セルから成るグループを単一セルに結合した後、結果としての大きなセルの頂点に関連付けられる距離から補間される距離値によって特定の許容誤差

50

まで形状を再構築することが可能である場合、該結合が可能である。

【 0 0 5 3 】

上記の手法のうちの任意のものを使用して A D F に対し微細な変更を行うことができる。次に、変更されていない A D F と変更された A D F との間の微細な違いによって埋め込みメッセージを保有することができる。たとえば、グリフの左のエッジの曲率におけるわずかな変更は 0 ビットを符号化することができ、右のエッジにおける同様の変更は 1 ビットを符号化することができる。メッセージのシンボルを埋め込むために、グリフ 3 1 0 の形状の他の変更が可能である。

【 0 0 5 4 】

選択される特定の変更は用途によって決まる。ハードコピー文書の場合、写真複写に対するロバスト性が所望されるとき、グリフ 3 1 0 の形状における変更はグリフの色又は階調レベルにおける変更よりもロバストである可能性が高い。

【 0 0 5 5 】

メッセージ埋め込みのための色フリンジング

本発明の一実施形態は、電子スクリーン上に表示される文書内にメッセージを埋め込むために、A D F 1 3 5 の距離場に関連付けられる密度値を使用する。密度値は、L C D 及び L E D のような表示装置上にレンダリングされるグリフの色を表し、それらはアドレス指定可能なピクセル構成要素を有する。そのような装置上でグリフのサブピクセルレンダリングを行うことの結果として、グリフの境界において色フリンジングのアーチファクトが出現する。文書の表示及び内容の特徴が知られている場合、色フリンジングが出現するロケーションを求めることが可能である。これらのロケーションは、上述したように、メッセージのシンボルを埋め込むことができる候補密度値を与える。

【 0 0 5 6 】

エイリアシングアーチファクト

当該技術分野において既知であるように、デジタルディスプレイ上でグリフをレンダリングすることによって、既知のジャギーのようなエイリアシングアーチファクトがもたらされる（援用される参照文献を参照されたい）。本発明の一実施形態において、メッセージはエイリアシングアーチファクト内に埋め込まれる。換言すれば、本発明では、密度値のセットの、エイリアシングアーチファクトが発生するサブセットを選択する。

【 0 0 5 7 】

実施形態例

文書内へのメッセージの埋め込み

図 5 は、グリフのセットを含む文書 5 0 2 内にメッセージ 5 0 1 のシンボルを埋め込む方法を示している。文書内のグリフは A D F によって表される。

【 0 0 5 8 】

メッセージを文書に対する意図的な攻撃及び意図的でない変更から守るために、誤り訂正符号（E C C）を使用してメッセージのシンボルを符号化する（5 1 0）。パケット化シンボルは、誤り及びノイズの存在下でメッセージの復号を可能にするように付加される。印刷文書の場合、誤り及び消失は、文書の物理的劣化及び検出器の制限に起因して発生し得る。ポータブル文書フォーマット（P D F）文書のような電子文書の場合、物理的劣化又は送信誤りが起こる可能性はより小さい。しかしながら、検出器が埋め込みメッセージの誤った推定を回復するとき、誤りは依然として発生し得る。E C C は、代数的復号又は確率論的（軟判定）復号を可能にする。好都合な選択は、リード・ソロモン符号を使用することである。これらの符号は消失訂正に最適である。さらに、リード・ソロモン復号の成功は、一定の最低限の数のビットが正確に復号される限り、誤りのパターンに関わらず保証される。

【 0 0 5 9 】

メッセージのシンボル及びパリティシンボルを、同期シンボルを含む複数のパケットになるように構成する（5 2 0）。これによって、検出器における同期の損失が低減され、ひいては復号が容易になる。

10

20

30

40

50

## 【 0 0 6 0 】

グリフごと又は文書全体に対して A D F 5 0 2 が構築される。A D F は、シンボルを埋め込む ( 5 4 0 ) ことができる位置又はサブセット、すなわち頂点を求める ( 5 3 0 ) ためにトラバースされる。A D F のトラバースは、ラスト走査順、形状の外周に沿って、又は任意の他の好都合な方式で行うことができる。好ましい実施形態では、トラバースは A D F によって表される形状から独立している。

## 【 0 0 6 1 】

メッセージ埋め込みに適していると共に、たとえば候補距離値によって記述される候補位置のうち、幾つかの位置は埋め込み器及び検出器によって知られている秘密鍵 5 3 1 を使用して選択される。

## 【 0 0 6 2 】

次に、シンボルは、選択された位置において 1 つずつ埋め込まれる。1 つの単純な方法は、位置において A D F を局所的にサブサンプリングすることである。この動作によって、形状の関連部分を表す忠実度がわずかに低減される。

## 【 0 0 6 3 】

別の方法は、埋め込み位置の近隣における距離値をわずかに変更する。距離が変更される方法に応じて、この操作の結果はグリフの形状の局所的な曲率における微細な変化となり得る。この変化によって、次にシンボル、すなわち 0 ビット又は 1 ビットが埋め込まれる。

## 【 0 0 6 4 】

次に、変更された A D F を使用して文書をレンダリングする ( 5 5 0 ) ことができる。次に、用途に応じて、文書を、たとえば印刷するか、電子メール送信するか、又はスクリーン上に表示する ( 5 6 0 ) ことができる。

## 【 0 0 6 5 】

各グリフの A D F を独立して変更する代わりに、一実施形態は A D F の普遍性を利用する。任意の数のグリフを含む文書内の領域を特定することができると共に、単一の A D F を構築してその領域を表すことができる。したがって、メッセージ埋め込みの目的のために、本方法は一度に複数のグリフ、若しくはテキストのページ全体、又は何らかの他のグラフィックを処理することができる。グリフの任意の集合物内にメッセージを埋め込むための唯一の要件は、A D F を使用してその集合物を表すことが可能でなくてはならないということである。

## 【 0 0 6 6 】

文書内のメッセージの検出

図 6 は変更済み文書 5 6 0 内のメッセージ 6 5 0 を検出する方法を示している。A D F を文書 5 6 0 から構築する ( 6 1 0 ) 。上述したように、A D F は個々のグリフ又はグリフのグループを表すことができる。この情報は、埋め込み器及び検出器によって共有されるか、又は副次的情報として検出器に明示的に送信されるかのいずれかである。検出器は、グリフが表示される解像度、すなわちグリフに関連付けられる四分木 3 0 0 の分解レベルも知っている。

## 【 0 0 6 7 】

検出器は、各グリフを表す A D F のデータベース 6 0 1 を或る所定の解像度で維持することができる。代替的に、データベースは、より複雑なグリフを構築するための構成要素として使用される、ストローク又はセリフのような基本形状のセットを格納することができる。

## 【 0 0 6 8 】

鍵 5 3 1 を使用して、A D F における、メッセージシンボル及びパリティシンボルが埋め込まれている位置 ( 頂点 ) を特定し、位置における距離値を検出して ( 6 2 0 ) メッセージのシンボルを回復する。

## 【 0 0 6 9 】

たとえば、特定の位置において受信される文書 5 6 0 において表される形状と、所与の

10

20

30

40

50

解像度における形状との間の誤差が所定の閾値を超える場合、0ビットが埋め込まれたと推定し、そうでない場合、1ビットが埋め込まれたと推定する。

【0070】

回復されたシンボルをパケット化解除 (depacitize) し (630)、ECC復号640を適用してメッセージ650を推定する。

【0071】

発明の用途

本発明は、文書内に含まれるグリフ内にメッセージを埋め込む。本明細書内で使用される場合、用語「グリフ」は、任意の言語の任意のフォントのテキスト文字、句読点、数字、及び飾り文字を含むが、これらに限定されない。この用語「グリフ」は、英語に似たアルファベット、又は日本語、中国語、韓国語、若しくはサンスクリット語デバナーガリ文字のフォントのようなストロークベースのフォントを含む。グリフは、アイコン、ロゴ、クリップアート、漫画、及び上記のすべてのもののアニメーションバージョンとすることもできる。

10

【0072】

本発明は、プリンタ、プロッタ、又はファックス機の出力であるハードコピー文書、電子メールの添付ファイルとして送信されるか又はファイル転送プロトコル (FTP) を使用してインターネットを介して転送されることが多いPDFファイル又はPSファイルのような電子文書、MS Word若しくはPagesのような文書処理プログラム又はAdobe Photoshopのようなグラフィック編集ソフトの出力である電子文書、2Dデジタルディスプレイ又は3Dデジタルディスプレイ上にレンダリングされる文書におけるグリフに適用することができる。

20

【0073】

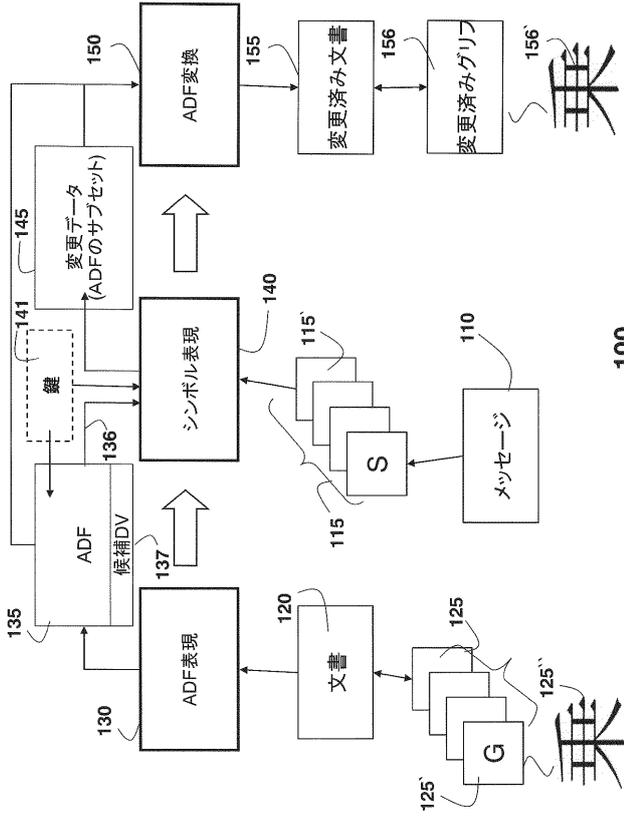
本発明によって以下の用途、すなわち、著作権保護及びデジタル著作権管理 (DRM)、文書認証、改ざん検出、文書、たとえば電子メールの流通経路の追跡、印刷、写真複写の反復、スキャン、再印刷、及びデバイスフォレンジックが可能になる。

【0074】

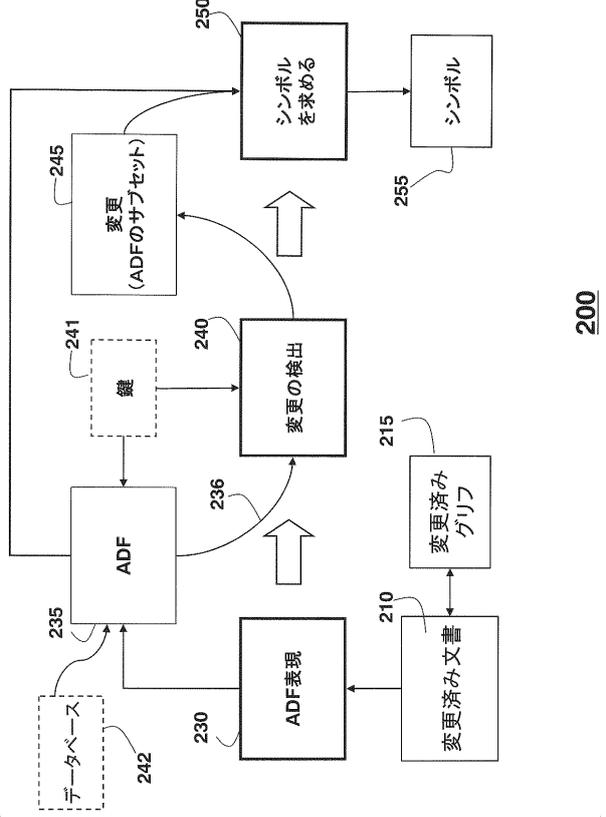
本発明を特定の好ましい実施形態を参照して説明してきたが、本発明の精神及び範囲内で様々な他の適応及び変更を行うことができることは理解されたい。したがって、添付の特許請求の範囲の目的は、本発明の真の精神及び範囲内に入るすべての変形及び変更を包含することである。

30

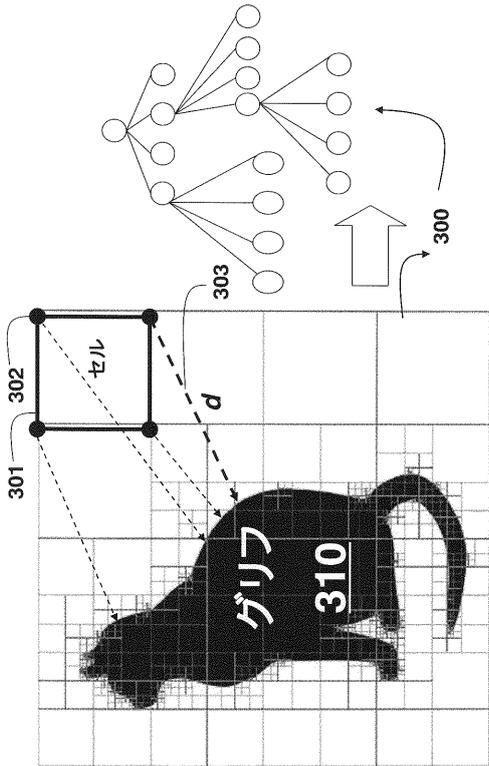
【図1】



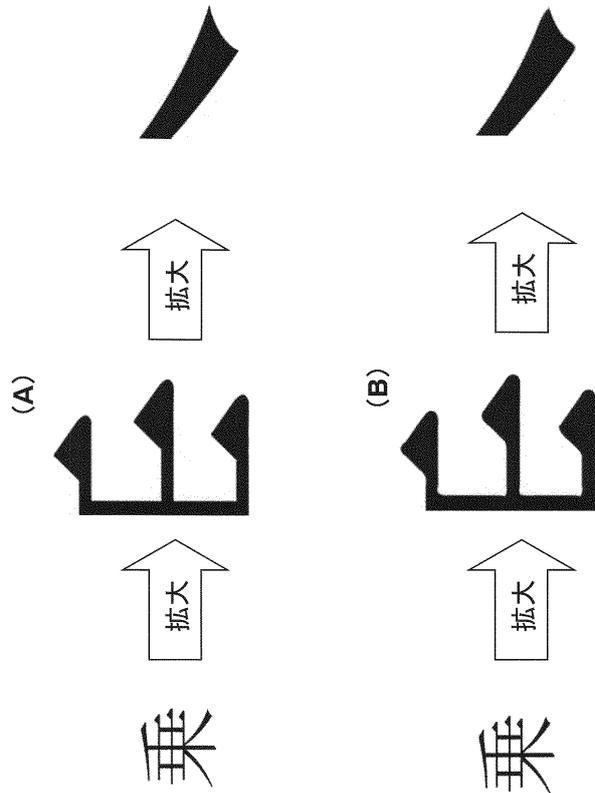
【図2】



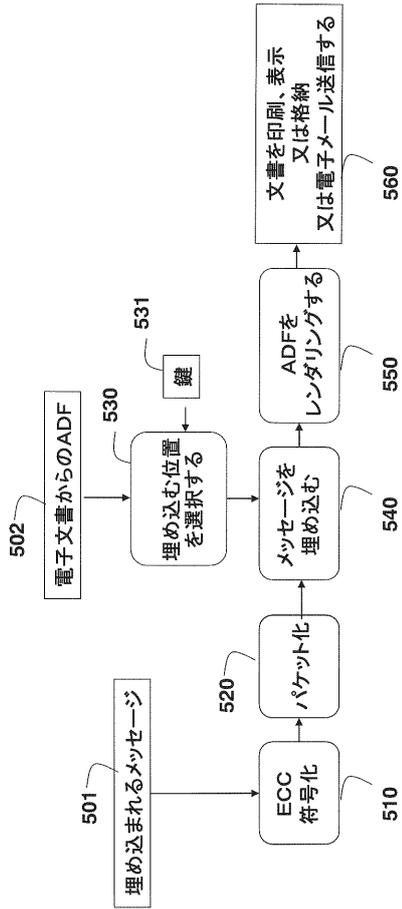
【図3】



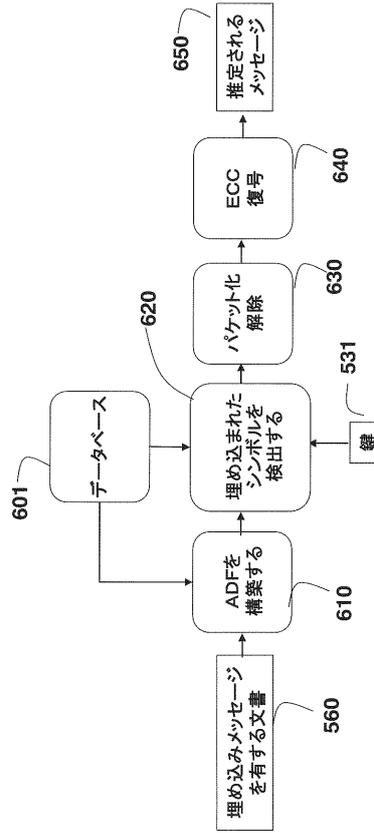
【図4】



【図5】



【図6】



## フロントページの続き

(74)代理人 100111648

弁理士 梶並 順

(74)代理人 100122437

弁理士 大宅 一宏

(74)代理人 100147566

弁理士 上田 俊一

(74)代理人 100161171

弁理士 吉田 潤一郎

(72)発明者 シャンタヌ・ラーネ

アメリカ合衆国、マサチューセッツ州、ケンブリッジ、ウォルデン・ストリート 225、アパートメント 3ユー

(72)発明者 ロナルド・エヌ・ペリー

アメリカ合衆国、マサチューセッツ州、ケンブリッジ、クレセント・ストリート 61

(72)発明者 アンソニー・ヴェトロ

アメリカ合衆国、マサチューセッツ州、アーリントン、ウォーレン・ストリート 133、ユニット 2

Fターム(参考) 5B057 AA11 CA12 CA16 CB12 CB16 CB19 CE08 CG07

5B109 RA05 TB13

5C076 AA14 BA06

【外国語明細書】

### **Title of Invention**

#### **Method for Embedding Messages into Documents Using Distance Fields**

### **Related Patent Application**

The following patents and patent applications, relevant to the present application, and are incorporated herein by reference:

- a. U.S. Patent No. 6,396,492, issued May 28, 2002, entitled “Detail-directed hierarchical distance fields;”
- b. U.S. Patent No. 7,002,570, issued February 21, 2006, entitled “System and Method for Generating Adaptively Sampled Distance Fields with Bounded Distance Trees;”
- c. U.S. Patent No. 7,034,845, issued March 13, 2007, entitled “Antialiasing an Object Represented as a Two-Dimensional Distance Field in Image-Order;”
- d. U.S. Patent No. 7,123,271, issued October 17, 2006, entitled “Antialiasing a Set of Objects Represented as a Set of 2D Distance Fields in Image-Order;” and
- e. U.S. Patent Application No. 12/329,869, filed December 8, 2008, entitled “Method for Embedding Message into Document.”

### **Field of the Invention**

This invention relates generally to embedding messages into documents, and more particularly to embedding and detecting messages in documents using distance fields.

## **Background of the Invention**

### **Watermarks**

Watermarks are often embedded in documents as messages. The embedded messages can be used, e.g., for security, privacy, and copyright protection.

Watermarking for paper “hard-copy” documents differs from electronic “soft-copy” watermarking. For soft-copy documents, all operations such as watermark insertion, document copying, document degradation and watermark extraction occur in the digital domain, e.g., in PDF or Postscript documents. On the contrary, in the case of hard-copy documents, document degradation occurs in the hard-copy domain. Watermarks in hard-copy documents can be degraded when the documents are copied, scanned, faxed or otherwise manipulated. Hard-copy watermarks can also be physically damaged, e.g., crumpled, or torn intentionally or unintentionally.

### **Glyphs**

A glyph, as defined herein, is a fundamental graphic object. The most common examples of glyphs are text characters or graphemes. Glyphs may also be ligatures, that is, compound characters, or diacritics. A glyph can also be a pictogram or ideogram. The term glyph can also be used for a non-character, or a multi-character pattern. As used herein, a glyph is some arbitrary graphic shape or object, which could be 2- or N-dimensional, where N is an integer larger than 2.

## **Message Embedding**

There are a number of known methods for embedding hidden messages in media signals such as images, video, and audio. However, embedding hidden messages inside structured glyphs is a difficult problem. Even small changes to the structure, e.g., spacing and orientation, can be detected by the human visual system. Accordingly, changes to the glyphs, for the purpose of watermarking, must be very small.

This problem is even more difficult in the case of hard-copy watermarking. A hard-copy document can undergo physical deteriorations when it changes hands, is torn, or folded. A message that would have been detectable in an electronic version of the document can be lost when the printed document is photocopied or scanned, e.g., subtle changes in gray level will be lost after copying.

## **Conventional Message Embedding Methods**

Some conventional message embedding methods treat a text document as an image and use image-based watermarking techniques. One disadvantage of these methods is that they do not work well with printers, which primarily operate on bitmapped representations of individual text characters or half-tone representations of colors and shades.

Another conventional method slightly alters the color of characters such that the difference is imperceptible to the eye, but can be sensed by a scanner. Because the embedded message is invisible, it is difficult to alter the watermark. However,

the disadvantage of this method is that the small differences in color or gray-level are easily lost when the document is copied.

Another method modulates the distance between individual letters or between individual words or between successive lines of text. At low embedding rates, this method is nearly invisible to the eye, and survives copying. However, the disadvantage of this method is that at high embedding rates, the non-uniform distances between the characters, or words or lines becomes visible and annoying to a reader.

Another method employs the effect of dithering by placing a checkerboard-like black-and-white pattern of dots on the border of entire character, making the entire character narrower or wider than normal. However, this method is not robust to photocopying because the individual dot patterns would be too small to be retained after photocopying.

Another method embeds a pseudo random pattern of dots in the background of the document irrespective of the location of the text. The dots, although relatively unobtrusive, can still be easily removed. Further, the dots are small and may not survive more than one round of photocopying.

### **Dirty Paper Coding**

Dirty Paper Coding (DPC), also referred to as “Writing on Dirty Paper” is a method of encoding a message in the presence of some side information. The side information is known to the encoder but not to the decoder. The side information generally consists of some interfering signal at the encoder. The encoder’s task is

to encode the desired message in such a way that the decoder must be able to recover the message without possessing any knowledge of the interfering signal. In other words, the decoder should be able to read a message from a “dirty” document without a priori knowledge of which portion constitutes the actual message and which portion is noise. Hence the name “Dirty Paper Coding.”

### **Distance Fields**

The shape of an object, e.g., a glyph, can be represented in a memory of a computer system as a collection of sample points in an N-dimensional space. Associated with each sample point is a distance from the sample point to a boundary of the shape. The distances are positive or negative to indicate whether the sample point lies inside or outside the boundary, and zero when exactly on the boundary. The collection of sample points with the associated distance values is called a sampled distance field. Distance fields can also be represented as analytic procedures stored in the memory of the computer system.

We use the general term distance field to refer to all types of distance fields, both sampled and non-sampled.

The distance field can be used to represent attributes other than the shape of the glyph, such as color, gray-level, and texture. More precisely, there is a mapping from the distance values of the distance field representing the glyph to density values representing other attributes of the glyph.

## **Adaptively Sampled Distance Fields (ADFs)**

In an adaptively sample distance field (ADF), the density of the sampled points depends on the level of detail required to represent different parts of the shape. For example, complicated local variations may require a higher density of sample points. Thus, the ADF is a representation that enables processing of arbitrary shapes, e.g., glyphs such as text characters, cartoons, and logos.

### **Summary of the Invention**

It is an object of the invention to provide a method for embedding a message in soft-copy and hard-copy documents as a watermark.

It is a further object of the invention to provide such a method that the message is unobtrusive to a reader of the document.

It is a further object of the invention to provide such a method that is suitable for embedding a relatively large message.

It is a further object of the invention to provide such a method that the embedded message extraction is resistant to physical deteriorations of the document.

It is a further object of the invention to enable physical copying of the document without destroying the message.

The invention results from the realization that by modifying distance values in a distance field representing a glyph, it is possible to modify the shape of that glyph in subtle ways thereby embedding a hidden message in a document.

The invention further results from the realization that by modifying the density values associated with the underlying distance field of a glyph, it is possible to modify the appearance of the glyph thereby embedding a hidden message in a document.

Dirty Paper Coding (DPC), also referred to as “Writing on Dirty Paper”, is a method of encoding a message in the presence of some side information. The side information is known to the encoder but not to the decoder. In the context of watermarking based on DPC, the watermark plays the role of the message to be encoded while the document plays the role of the interfering signal at the encoder.

Adaptively sampled distance fields (ADFs) have been widely adopted as the underlying data structure for representing scalable character fonts for digital displays. Essentially, the ADF contains distance values, which represent the shape of a glyph as dictated by, e.g., the choice of the font.

Using ADFs for message embedding allows subtle modifications to the shape and/or appearance of the character that are invisible to a common reader, and can only be recovered by a detector designed for that purpose.

This enables embedding of tracking information, e.g., copyright information, or authentication information inside portable document format (PDF) or Word documents, images, videos, corporate logos, and printed documents. Potential

applications of the invention include copyright protection, email tracking, file transfer tracking, document authentication, tampering detection, and printer and device forensics.

### **Brief Description of the Drawings**

Figure 1 is a block diagram of a method for embedding a message of symbols into a document including a set of glyphs according to embodiments of an invention;

Figure 2 is a block diagram of a method for detecting a symbol of a message in a document according to the embodiments of the invention;

Figure 3 is a block diagram of a quadtree representing a glyph according to the embodiments of the invention;

Figures 4A-4B are respectively diagrams of an unmodified and modified glyph according to the embodiments of the invention;

Figure 5 is a flow diagram of a method for embedding a message of symbols into a document including a set of glyphs according to the embodiments of the invention; and

Figure 6 is a flow diagram of a method for detecting a message of symbols in a document including a set of glyphs according to the embodiments of the invention.

## **Detailed Description of the Preferred Embodiment**

The example glyphs and documents described herein are represented by Adaptively Sampled Distance Fields (ADFs). However, all the embodiments work equally well with other types of distance fields, e.g., a regularly sampled distance field or a procedural distance field.

The embodiments of our invention provide a method for embedding symbols of a message into a document containing, i.e., including, a set of glyphs. For example, shapes of the glyphs are represented using ADFs, and the distance values in the ADFs are modified according to symbols of the message to be embedded. This results in a modification of the shape of the glyph which is generally invisible to the human visual system under normal viewing conditions. Thus, the slight change in shape is difficult to locate and alter, while at the same time this change is robust to operations such as photocopying of the document.

### **Message Embedding**

Figure 1 shows a block diagram of a method 100 for embedding the symbols of the message into the document including a set of glyphs according to an embodiment of an invention. The document 120 includes the set of glyphs 125, for example a glyph 125'. A glyph 125'' is a visual example of the glyph 125'. The glyph 125' is represented 130 as an ADF 135. The ADF 135 includes distance values. Alternatively or additionally, the entire document 120 is represented 130 as a single ADF 135.

A message 110 to be embedded into the document 120, includes a set of symbols 115, for example a symbol 115`. The method 100 represents 140 the symbol 115` as modification data 145 of a subset 136 of the distance values in the ADF 135.

In some embodiments of our invention, the subset 136 is selected from candidate distance values 137 in the unmodified ADF 135. Only those distance values of the ADF 135 should be candidates 137 for embedding, which when modified 150 result in an imperceptible change in the overall shape of the glyph 125`. One method for determining candidate distance values 137 measures the changes in shape between adjacent cells of the ADF 135, which represent a boundary of the glyph 125`, and chooses as candidates 137 distance values of the cells which are very similar to distances in neighboring cells.

Such candidates are used, for example, if the message will be embedded as a slight modification of the local curvature of the glyph 125`. Another method to determine candidate distance values 137 chooses those portions of the glyph 125` where the sampling density of the ADF 135 is the highest. Such candidates are used if the message 110 is embedded by rendering the glyph 125` at a slight decrease in the sampling density. Another example of a method for determining candidate distance values 137 chooses portions of the glyph 125` where the local gradient either very high or very low. The gradient on the boundary is calculated from the distance values of the ADF 135 at the vertices of the cells containing the boundary.

In some embodiments of our invention we use continuous stroke modulation (CSM) for embedding the message 110 into documents that are to be displayed on

an electronic display or paper. In those embodiments, the candidate distance values 137 in the distance field of the ADF 135 are associated with a set of density values via a mapping function that depends not only on the shape of the glyph, but also on other properties, such as illumination conditions, characteristics of the device or medium on which the glyph is displayed, and so on. Examples of density values include intensity of pixels, color values, gray-scale values, and textures associated with glyphs in the document or with a part of the document itself.

To encode the message, the method 100 can choose to leave or to modify the distance values 137, but perform subtle modifications only to the associated density values. Those embodiments produce subtle local modifications in the gray-level or color or thickness of the strokes of the glyph 125`, which are detectable by a machine but would go unnoticed by the human visual system. All the deterministic and probabilistic techniques used to determine candidate distance values to be modified can be applied to determine the candidate density values as well.

Note, that not all candidate distance or density values need to be modified 150 for message embedding. Among the suitable candidates, the final selection of distance values or density values in the ADF which will be changed can be done using a secret key 141 which is known by the embedder, e.g., the method 100, and by the detector, e.g., a method 200, see Figure 2. The subset 136 of the distance values in the ADF 135, defines a part of a shape of the glyph 125` to be modified to embed the symbol 115`. In embodiments in which the entire document 120 is represented as the ADF, the subset 136 typically is associated with a shape of one or more glyphs contained in the document 120.

The modification data 145 includes information necessary to modify the subset of the ADF 136 such that the symbol 115` is embedded. For example, the modification data 145 could include new modified distance values of the subset 136. Alternatively, the modification data 145 could include correction values indicative of how the distance values in the subset 136 should be modified to embed the symbol 115`.

The subset 136 of the distance values in the ADF 135 is modified 150 according to the modification data 145 to produce a modified glyph 156 in a modified document 155, in which the symbol 115` in the message 110 is embedded in the modified glyph 156. Depending upon the way in which the distance values in the subset 136 are modified, the effect of this operation can be a subtle change in the local curvature or other modifications of the shape of the glyph 156 comparing to the glyph 125`, which in turn embeds the symbol 115`, e.g., a 0-bit or a 1-bit. The glyph 156` is a visual example of the modified glyph 156. As shown on Figures 4A and 4B, the modifications of the glyph 156 can be seen only after magnifications, and are almost invisible to a casual reader.

Note that the modifications in the shape of the glyph due to the embedded data can be “deterministic” or “probabilistic.” By deterministic, we mean that the shape of the modified glyph 156 is uniquely determined by the shape of the unmodified glyph 125` and the symbol 115` of the message 110. Examples of deterministic modifications include the ones described above, i.e., choosing candidate sites in the original ADF based on sampling density or gradient.

By probabilistic modification, we mean that the shape of the modified glyph 156 is not uniquely determined by the unmodified glyph 125` and the message

symbol, but can vary according to a suitably chosen random variable that is known only to the embedder and the extractor. One example of such a random variable is the secret key 141 used to select the embedding sites within the ADFs of unmodified glyphs. This means that if a certain unmodified glyph occurs multiple times in a document, then the modified glyphs (after message embedding) will look different each time. This randomization makes it extremely difficult for attackers to reverse-engineer the embedding scheme.

The modified document 155, including the modified glyph 156 could be rendered before the symbol 115` is extracted from the document 156. Example of rendering includes copying, printing, faxing, emailing, displaying, scanning of the modified document 155, or combinations thereof.

In some embodiments of our invention, packetization symbols are inserted in the message 110 in order to group symbols of the message 110 into packets. Examples of the packetization symbols include a begin packet symbol, a packet number symbol, and a synchronization symbol. For a detailed description of inserting the packet symbols into the message, see the related U.S. Patent Application No. 12/329,869.

### **Message Detection**

Figure 2 shows a block diagram of a method 200 for detecting a symbol of a message in a document according to embodiments of the invention. The modified document 210 includes a modified glyph 215. The modified document 210 is a result of rendering the modified document 155 of Figure 1, e.g., by printing or photocopying of the modified document 155. The modified document 210 could

represent an entire or part of the modified document 155. Accordingly, the modified glyph 215 is analogous to the modified glyph 156 of Figure 1.

The modified document 210 and/or the modified glyph 215 can be scanned to obtain a digital image, which can then be represented 230 as the ADF 235 including modified distance values. A modification 245 associated with a subset 236 of the modified distance values in the modified ADF 230 is detected 240. The subset 236 of the modified distance values could be selected with help of key 241. The key 241 is related to the key 141 of Figure 1, e.g., identical to the key 141 or determined based on the key 141. Alternatively or additionally, the subset 236 could be determined with help of a database 242 of common shape elements of glyphs. The modification 245 determines 250 an embedded symbol 255.

### **Glyph Shape Representation with ADFs**

A spatial hierarchy of the ADF can be represented using a number of data structures, such as wavelet decompositions, quadtrees in 2D, octrees in 3D, and tetrahedral meshes for higher dimensions.

As shown in Figure 3, one embodiment of the invention represents and modifies a glyph 310 using a quadtree 300, though other representations are equally applicable. The quadtree 300 includes square cells 301. Each cell has four vertices 302 at the corners. Each vertex is associated with a signed distance 303 measured from vertex to a nearest boundary of the glyph. Each cell includes a procedure to reconstruct the shape represented by the cell. For example, a bilinear interpolation procedure can be performed between cell vertices of the cells to reconstruct the shape within the cells.

Starting with the quadtree representation of a regularly sampled distance field, there are several ways to construct the ADF, two of which are described below.

In a top-down approach, the quadtree representation provides a coarse approximation of the shape. Some of the cells in this coarse representation contain the shape, while others do not. For some of the cells on the boundary of the shape, the interpolated distance values at this coarse approximation are sufficient to reconstruct the shape. For other cells, the interpolated distance values are inaccurate, e.g., for intricate regions with a high level of detail such as curvature, corners and points. These cells are recursively subdivided until the distance field provides a good approximation of the details. There are numerous criteria that can be used to distinguish a good approximation from a bad one, one example being the difference between the distances to the true shape and the distances to an approximate shape reconstructed by bilinear interpolation.

In a bottom-up approach, the quadtree representation provides an accurate representation of the shape up to a specified error tolerance. In this case, it is possible to combine a group of four adjacent cells into a single cell if, after the combining, the distance values interpolated from the distances associated with the vertices of the resulting large cell allow reconstruction of the shape up to the specified error tolerance.

Any of the above approaches can be used to make subtle modifications to the ADF. Then, the subtle differences between the unmodified ADF and the modified ADF can carry the embedded message. For instance, a slight

modification in the curvature of the left edge of a glyph can encode a 0-bit, while a similar modification in the right edge can encode a 1-bit. Other modifications of the shape of the glyph 310 are possible to embed symbols of the message.

The specific modification that is selected depends on the application. For hard-copy documents, when robustness to photocopying is desired, a modification in the shape of the glyph 310 is likely to be more robust than a modification in the color or gray level of the glyph.

### **Color-Fringing for Message Embedding**

One embodiment of our invention uses density values associated with the distance field of the ADF 135 to embed messages in documents displayed on electronic screens. The density values represent the colors of glyphs rendered on display devices, such as LCDs and LEDs, which have addressable pixel components. Sub-pixel rendering of glyphs on such devices results in the appearance of color-fringing artifacts at the boundaries of the glyphs. If the characteristics of the display and the content of the document are known, then it is possible to determine the locations where color-fringing appears. These locations give the candidate density values in which the symbols of the message may be embedded, as described earlier.

### **Aliasing Artifacts**

As is known in the art, rendering glyphs on digital displays produces aliasing artifacts such as the well-known jaggies, see incorporated references. In one embodiment of our invention, we embed messages in the aliasing artifacts. In other

words, we select the subset of the set of density values where the aliasing artifacts occur.

## **Example Embodiments**

### **Embedding Messages in Documents**

Figure 5 shows a method for embedding symbols of a message 501 into a document 502 including a set of glyphs. The glyphs in the document are represented by the ADF.

The symbols of the message are encoded 510 using an error correction code (ECC) to protect the message from intentional attacks and unintentional modifications to the document. Packetization symbols are added to enable decoding of the message in the presence of errors and noise. In the case of a printed document, errors and erasures can occur due to a physical deterioration of the document and limitations of the detector. For an electronic document, such as a portable document format (PDF) document, physical degradation or transmission errors are less likely. However, an error can still occur when the detector recovers an erroneous estimate of the embedded message. The ECC enables algebraic decoding or probabilistic (soft-decision) decoding. A convenient choice is to use Reed-Solomon codes. These codes are optimal for erasure correction. Further, successful Reed-Solomon decoding is guaranteed, irrespective of the pattern of errors as long as a certain minimal number of bits are decoded correctly.

The symbols of the message and the parity symbols are arranged 520 into packets that include synchronization symbols. This reduces the loss of synchronization at the detector, which, in turn, facilitates the decoding.

ADFs 502 are constructed for each glyph or for the entire document. The ADF is traversed to determine 530 sites or subsets, i.e., vertices, where the symbols can be embedded 540. The traversal of the ADF can be done in a raster scan order, along the periphery of the shape, or in any other convenient manner. In the preferred embodiment, the traversal is independent of the shape represented by the ADF.

Among the candidate sites suitable for message embedding and described by, e.g., the candidate distance values, some sites are selected using a secret key 531 which is known by the embedder and the detector.

Then, the symbols are embedded, one by one, at the selected sites. One simple way is to locally subsample the ADF at the site. This operation slightly reduces the fidelity with which that relevant portion of the shape is represented.

Another way slightly modifies the distance values in the neighborhood of the embedding site. Depending upon the way in which the distances are changed, the effect of this operation can be a subtle change in the local curvature of the shape of the glyph, which in turn embeds the *symbols*, i.e., a 0-bit or a 1-bit.

The document can then be rendered 550 using the modified ADF. Then, depending on the application, the document can be, for example, printed, e-mailed, or displayed on a screen 560.

Instead of modifying the ADF for each glyph independently, one embodiment takes advantage of the generality of the ADF. A region in the document that contains an arbitrary number of glyphs can be identified, and a single ADF can be constructed to represent that region. Thus, for the purposes of message embedding, the method can process multiple glyphs at a time, or an entire page of text, or some other graphic. The only requirement to embed the message in an arbitrary collection of glyphs is that one should be able to represent that collection using an ADF.

### **Detecting Messages in Documents**

Figure 6 shows the method for detecting the message 650 in the modified document 560. An ADF is constructed 610 from the document 560. As described above, the ADF can represent individual glyphs or a group of glyphs. This information is either shared by the embedder and the detector, or explicitly sent to the detector as side information. The detector also knows the resolution at which the glyph is to be displayed, i.e., the decomposition level of the quadtree 300 associated with the glyph.

The detector can maintain a database 601 of ADFs representing each glyph at some predetermined resolution. Alternatively, the database can store a set of basic shapes such as strokes or serifs that are used as building blocks to construct more complex glyphs.

Using the key 531, the sites (vertices) in the ADF at which the message symbols and parity symbols are embedded are identified, and the distance values at the sites are detected 620 to recover the symbols of the message.

For example, if the error between the shape represented in the received document 560 at a particular site, and the shape at the given resolution is above a predetermined threshold, assume that a 0-bit has been embedded, otherwise assume that a 1-bit has been embedded.

The recovered symbols are depacketized 630, and ECC decoding 640 is applied to estimate the message 650.

### **Applications of the Invention**

This invention embeds messages in glyphs contained in documents. The term “glyph” as used herein includes, but is not limited to text characters, punctuation, numerals and dingbats in any font in any language. This includes English-like alphabets, or stroke-based fonts such as Japanese, Chinese, Korean, or Sanskrit Devanagari fonts. Glyphs can also be icons, logos, clipart, cartoon strips, and animated versions of all of the above.

The invention can be applied to glyphs in hard-copy documents that are the output of a printer, plotter or a fax machine, electronic documents such as PDF or PS files that are often sent as email attachments or transferred over the internet using a file transfer protocol (FTP), electronic documents that are the output of a word-processing program such as MS Word or Pages or a graphics editing suite

such as Adobe Photoshop, documents that are rendered on a 2D or 3D digital display.

The invention enables the following applications: copyright protection and digital rights management (DRM), document authentication, detecting tampering, tracking the path of dissemination of a document, e.g., email, print, repeated photocopies, scans, reprinting, and device forensics.

Although the invention has been described with reference to certain preferred embodiments, it is to be understood that various other adaptations and modifications can be made within the spirit and scope of the invention. Therefore, it is the object of the appended claims to cover all such variations and modifications as come within the true spirit and scope of the invention.

1. A method for embedding symbols of a message into a document containing a set of glyphs, comprising:

representing a glyph in a document as a distance field;

representing a symbol in a message to be embedded in the document as a modification of a subset of values in the distance field; and

modifying the subset of values in the distance field according to the modification to produce a modified glyph in a modified document, wherein the symbol in the message is embedded in the modified glyph.

2. The method of claim 1, wherein the distance field is a regularly sampled distance field.

3. The method of claim 1, wherein the distance field is an adaptively sampled distance field (ADF).

4. The method of claim 1, wherein the distance field is a set of values stored in a data structure in a memory device.

5. The method of claim 1, wherein the distance field includes procedures to reconstruct and render the glyph based on the message symbols to be embedded.

6. The method of claim 1, wherein the modification includes a deterministic modification and a probabilistic modification.

7. The method of claim 1, further comprising:
  - selecting the subset of values in the distance field according to a key.
8. The method of claim 1, wherein the modification defines new values for the subset of values in the distance field.
9. The method of claim 1, wherein the modification defines correction values for the subset of values in the distance field.
10. The method of claim 1, wherein the modification defines correction values for a sampling density for the subset of values in the distance field.
11. The method of claim 1, further comprising
  - selecting the subset of values in the distance field according to a local sampling density.
12. The method of claim 1, further comprising
  - selecting the subset of values in the distance field according to locally computed gradients on a boundary of a shape of the glyph.
13. The method of claim 1, further comprising:
  - inserting in the message at least one packetization symbol.
14. The method of claim 13, wherein the packetization symbol is selected from a group including a begin packet symbol, a packet number symbol, and a synchronization symbol.

15. The method of claim 1, further comprising:

representing the modified glyph with a modified distance field including modified distance values;

detecting an embedded modification associated with a subset of the modified distance values in the modified distance field; and

determining the symbol of the message based on the embedded modification.

16. The method of claim 15, further comprising:

determining the subset of the modified distance values according to a key.

17. The method of claim 15, further comprising:

determining the subset of the modified distance values according to a database of shape elements of glyphs.

18. A method for embedding a message into a document, comprising:

representing at least part of a document as a distance field including distance values;

representing a symbol in a message to be embedded in the document as a modification of a subset of the values in the distance field; and

modifying the subset of the values in the distance field according to the modification to produce a modified document, wherein the symbol in the message is embedded in the modified document.

19. The method of claim 18, wherein the subset of values in the distance field is associated with a glyph in the document.

20. The method of claim 18, further comprising:

processing the modified document.

21. The method of claim 20, wherein the processing is selected from the group including rendering, copying, printing, faxing, emailing, displaying, scanning of the modified document, file transferring of the modified document or combinations thereof.

22. The method of claim 18, further comprising:

selecting the subset of values in the distance field according to a key.

23. The method of claim 18, further comprising:

representing the modified document with a modified distance field;

detecting a modification associated with a subset of the modified distance values in the modified distance field; and

determining the symbol of the message based on the modification.

24. The method of claim 23, further comprising:

determining the subset of values in the modified distance field according to a key.

25. The method of claim 23, further comprising:

determining the subset of values in the modified distance field according to a database of shape elements of glyphs.

26. A method for embedding a message into a document, comprising:

representing a glyph in a document as a distance field including distance values;

mapping the distance values in the distance field to a set of density values;  
representing a symbol in a message to be embedded in the document as  
modification of a subset of the set of density values; and

modifying the subset of the set of density values according to the  
modification to produce a modified document, wherein the symbol in the message  
is embedded in the modified document.

27. The method of claim 26, wherein the set of density values represents intensities  
of pixels of the glyph in the document.

28. The method of claim 26, wherein the set of density values represents colors of  
the glyph in the document.

29. The method of claim 26, wherein the set of density values represents texture of  
the glyph in the document.

30. The method of claim 26, further comprising:

selecting the subset of the set of density values according to color-fringing  
artifacts of a display device, wherein the display device uses addressable pixel  
components.

31. The method of claim 26, further comprising:

selecting the subset of the set of density values according to a aliasing  
artifact of a display device, wherein the aliasing artifact is associated with a display  
position of the glyph.

32. The method of claim 26, further comprising:

selecting the subset of the set of density values according to a key.

### Abstract

A method embeds a message into a document containing a set of glyphs. Individual glyphs in the document, groups of glyphs in the document, or the entire document are represented using a distance field that includes distance values from the shapes of interest. Each symbol of the message is represented as modifications of a subset of the distance values in the distance field. This subset of the distance values in the distance field is modified according to modification to produce a modified glyph in a modified document, wherein the symbol in the message is embedded in the modified glyph.

### Representative Drawing

Fig.1

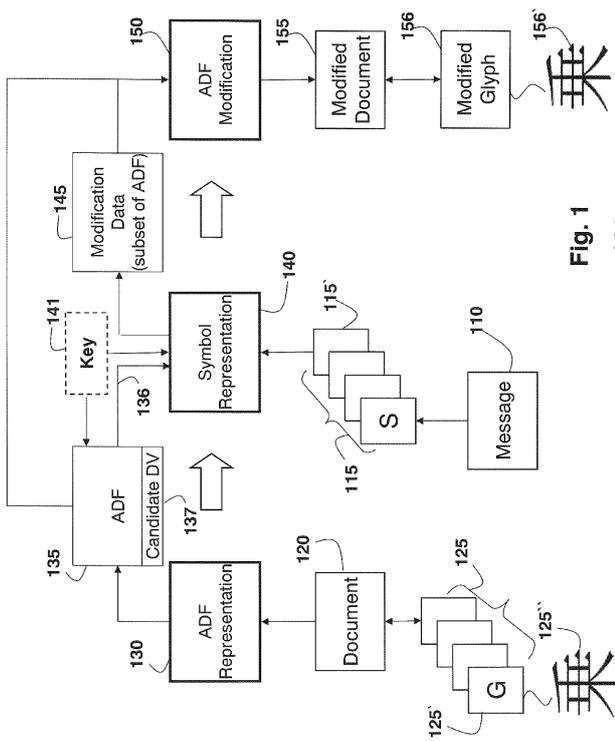


Fig. 1  
100

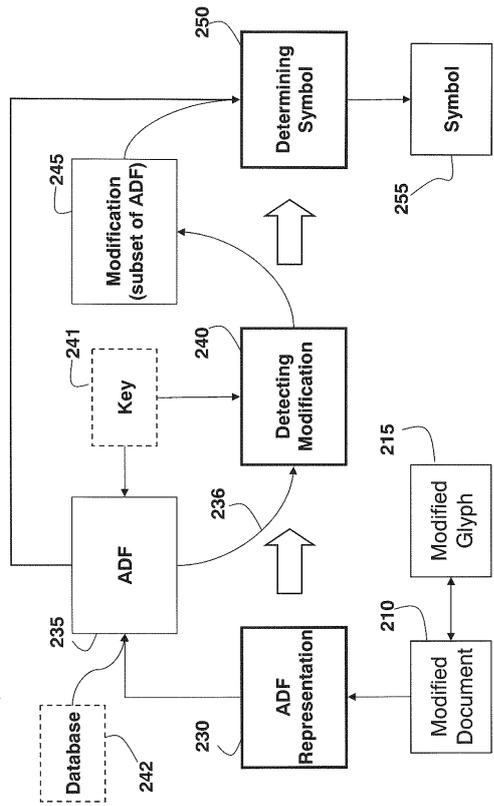


Fig. 2  
200

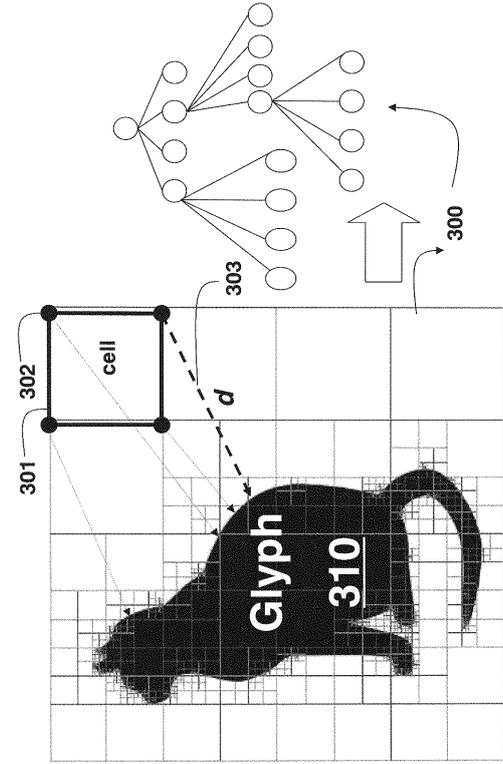


Fig. 3



Fig. 4A



Fig. 4B

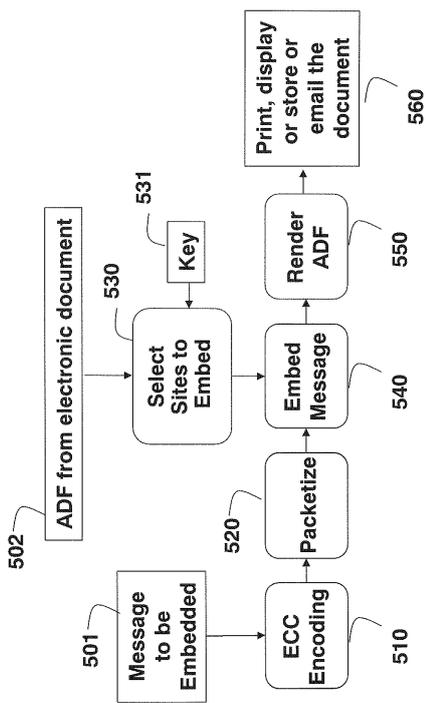


Fig. 5

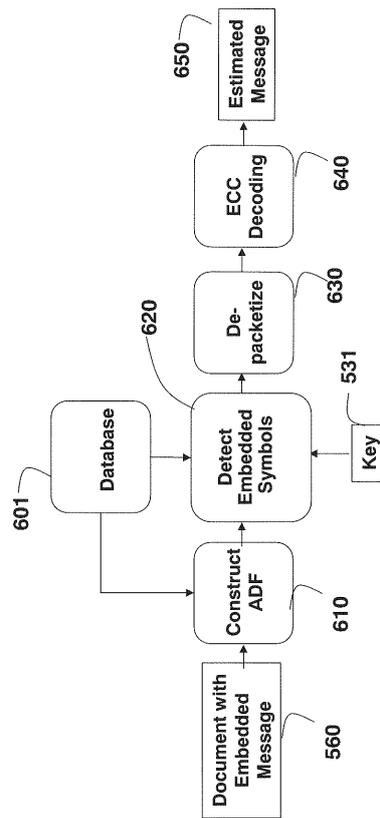


Fig. 6