

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号  
特許第7354268号  
(P7354268)

(45)発行日 令和5年10月2日(2023.10.2)

(24)登録日 令和5年9月22日(2023.9.22)

(51)国際特許分類 F I  
G 0 1 V 1/28 (2006.01) G 0 1 V 1/28  
G 0 6 N 3/02 (2006.01) G 0 6 N 3/02

請求項の数 27 (全22頁)

|                   |                                  |          |                                                                                  |
|-------------------|----------------------------------|----------|----------------------------------------------------------------------------------|
| (21)出願番号          | 特願2021-549110(P2021-549110)      | (73)特許権者 | 599130449<br>サウジ アラビアン オイル カンパニー<br>サウジアラビア王国 3 1 3 1 1 ダーラ<br>ン, イースタン アベニュー 1  |
| (86)(22)出願日       | 令和2年2月12日(2020.2.12)             | (74)代理人  | 100108453<br>弁理士 村山 靖彦                                                           |
| (65)公表番号          | 特表2022-520994(P2022-520994<br>A) | (74)代理人  | 100110364<br>弁理士 実広 信哉                                                           |
| (43)公表日           | 令和4年4月4日(2022.4.4)               | (74)代理人  | 100133400<br>弁理士 阿部 達彦                                                           |
| (86)国際出願番号        | PCT/US2020/017916                | (72)発明者  | キリル・ガディールシン<br>サウジアラビア・3 1 3 1 1・ダーラン<br>・イースタン・アベニュー・1・サウジ<br>・アラビアン・オイル・カンパニー内 |
| (87)国際公開番号        | WO2020/172019                    | (72)発明者  | アンドレイ・バクリン                                                                       |
| (87)国際公開日         | 令和2年8月27日(2020.8.27)             |          |                                                                                  |
| 審査請求日             | 令和5年2月8日(2023.2.8)               |          |                                                                                  |
| (31)優先権主張番号       | 62/807,881                       |          |                                                                                  |
| (32)優先日           | 平成31年2月20日(2019.2.20)            |          |                                                                                  |
| (33)優先権主張国・地域又は機関 | 米国(US)                           |          |                                                                                  |
| (31)優先権主張番号       | 16/788,500                       |          |                                                                                  |
| (32)優先日           | 令和2年2月12日(2020.2.12)             |          |                                                                                  |
|                   | 最終頁に続く                           |          | 最終頁に続く                                                                           |

(54)【発明の名称】 人工知能を使った地震属性の高速算出のための方法

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】

炭化水素探査、開発、または生産のために地球の地表下領域をモデル化する方法であつて、

地震重合前データセットを受信するステップと、

前記地震重合前データセットに基づいて、初期グリッド上の初期属性を判定するステップと、

前記初期属性を符号化して、低解像度色付き画像を生成するステップと、

深層ニューラルネットワークによって前記低解像度色付き画像を修復して、高解像度色付き画像を組み立てるステップと、

前記高解像度色付き画像を復号して、結果の属性を生成するステップと、

前記結果の属性を出力するステップと

を含む方法。

【請求項2】

前記復号することが、

前記高解像度色付き画像を、前記結果の属性に転換するステップをさらに含む、請求項1に記載の方法。

【請求項3】

前記初期グリッドは規則グリッドを含む、請求項1に記載の方法。

【請求項4】

前記初期グリッドは不規則グリッドを含む、請求項1に記載の方法。

【請求項5】

非線形ビームフォーミングデータ拡張プロセスを使用して局所運動パラメータを推定するステップをさらに含む、請求項1に記載の方法。

【請求項6】

前記初期属性のそれぞれは傾斜、曲率または類似を含む、請求項1に記載の方法。

【請求項7】

各時間空間座標(t,x)についての前記初期属性のトリプレットを、赤(R)色ピクセル、緑(G)色ピクセル、または青(B)色ピクセルに変換するステップをさらに含む、請求項1に記載の方法。

【請求項8】

前記判定するステップが、

不規則グリッド上の前記初期属性のそれぞれに対する運動パラメータを判定するステップを含む、請求項1に記載の方法。

【請求項9】

前記不規則グリッド上の前記初期属性のそれぞれに対する前記運動パラメータを判定する前記ステップは、前記初期グリッドにランダムマスクを適用するステップを含む、請求項8に記載の方法。

【請求項10】

炭化水素探査、開発、または生産のために地球の地表下領域をモデル化するための装置であって、

地震重合前データを受信するように構成された入力インターフェースと、

前記地震重合前データに基づいて、初期グリッド上の初期属性を判定するように構成された属性判定器と、

前記初期属性を符号化して、低解像度色付き画像を生成するように構成された属性エンコーダと、

深層ニューラルネットワークを使用する、前記低解像度色付き画像を埋めて高解像度色付き画像を生成するように構成された画像修復器と、

前記高解像度色付き画像を、結果の属性に復号するように構成された画像プロセッサと、前記結果の属性を出力するように構成された出力インターフェースと

を備える装置。

【請求項11】

前記深層ニューラルネットワークはU-Netアーキテクチャをもつ畳み込み深層ニューラルネットワークを備える、請求項10に記載の装置。

【請求項12】

前記初期グリッドは規則グリッドを含む、請求項10に記載の装置。

【請求項13】

前記初期グリッドは不規則グリッドを含む、請求項10に記載の装置。

【請求項14】

前記画像修復器は非線形ビームフォーミングデータ拡張プロセスを備える、請求項10に記載の装置。

【請求項15】

前記初期属性のそれぞれは傾斜、曲率または類似を含む、請求項10に記載の装置。

【請求項16】

前記属性エンコーダは、各時間空間座標(t,x)についての前記初期属性のトリプレットを、赤(R)色ピクセル、緑(G)色ピクセル、または青(B)色ピクセルに変換する、請求項10に記載の装置。

【請求項17】

前記属性判定器は不規則グリッド上の前記初期属性のそれぞれに対する運動パラメータを判定する、請求項10に記載の装置。

10

20

30

40

50

## 【請求項 18】

前記属性判定器は、前記初期グリッドにランダムマスクを適用して、前記不規則グリッド上の前記初期属性のそれぞれに対する運動パラメータを判定する、請求項17に記載の装置。

## 【請求項 19】

コンピューティングデバイスによって実行されると、炭化水素探査、開発または生産のための、地球の地表下領域のモデルを、ディスプレイデバイス上でレンダリングさせる地表下モデリングのプログラム命令を記憶した非一時的コンピュータ可読記憶媒体であって、前記プログラム命令は、

地震重合前データセットを受信するステップと、

前記地震重合前データセットに基づいて、初期グリッド上の初期属性を判定するステップと、

前記初期属性を符号化して、低解像度色付き画像を生成するステップと、

深層ニューラルネットワークによって前記低解像度色付き画像を修復して、高解像度色付き画像を組み立てるステップと、

前記高解像度色付き画像を復号して、結果の属性を生成するステップと、

前記結果の属性を出力するステップと

を含む、非一時的コンピュータ可読記憶媒体。

## 【請求項 20】

前記復号することが、

前記高解像度色付き画像を、前記結果の属性に転換することをさらに含む、請求項19に記載の非一時的コンピュータ可読記憶媒体。

## 【請求項 21】

前記初期グリッドは規則グリッドを含む、請求項19に記載の非一時的コンピュータ可読記憶媒体。

## 【請求項 22】

前記初期グリッドは不規則グリッドを含む、請求項19に記載の非一時的コンピュータ可読記憶媒体。

## 【請求項 23】

前記プログラム命令は、  
非線形ビームフォーミングデータ拡張プロセスを使用して局所運動パラメータを推定するさらなるステップを含む、請求項19に記載の非一時的コンピュータ可読記憶媒体。

## 【請求項 24】

前記初期属性のそれぞれは傾斜、曲率または類似を含む、請求項19に記載の非一時的コンピュータ可読記憶媒体。

## 【請求項 25】

前記プログラム命令は、  
各時間空間座標(t,x)についての前記初期属性のトリプレットを、赤(R)色ピクセル、緑(G)色ピクセル、または青(B)色ピクセルに変換するさらなるステップを含む、請求項19に記載の非一時的コンピュータ可読記憶媒体。

## 【請求項 26】

前記判定するステップが、

不規則グリッド上の前記初期属性のそれぞれに対する運動パラメータを判定するステップを含む、請求項19に記載の非一時的コンピュータ可読記憶媒体。

## 【請求項 27】

前記不規則グリッド上の前記初期属性のそれぞれに対する前記運動パラメータを判定する前記ステップは、前記初期グリッドにランダムマスクを適用するステップを含む、請求項26に記載の非一時的コンピュータ可読記憶媒体。

## 【発明の詳細な説明】

## 【技術分野】

10

20

30

40

50

## 【 0 0 0 1 】

## 優先権出願の相互参照

本出願は、参照によりそれらのそれぞれの全体が本明細書に組み込まれている、2019年2月20日に出願され、「METHOD FOR FAST CALCULATION OF SEISMIC ATTRIBUTES USING ARTIFICIAL INTELLIGENCE」と題する米国仮特許出願第62/807,881号、および2020年2月12日に出願され、「METHOD FOR FAST CALCULATION OF SEISMIC ATTRIBUTES USING ARTIFICIAL INTELLIGENCE」と題する米国非仮特許出願第16/788,500号に対する優先権および利益を主張する。

## 【 0 0 0 2 】

本開示は、炭化水素探査、開発および生産の分野に関する。

10

## 【背景技術】

## 【 0 0 0 3 】

炭化水素探査、開発および生産の分野には、大量のセンサデータ(重合前地震データを含む)を処理し、分析し、正確な高解像度モデルを組み立て、効果的および効率的にモデルを実装して、炭化水素探査機会を識別し、実装することができる技術的ソリューションに対する、満たされていない必要が存在する。

## 【発明の概要】

## 【課題を解決するための手段】

## 【 0 0 0 4 】

本開示は、重合前地震データを処理し、マルチパラメータ属性を推定し、炭化水素探査、開発または生産機会を識別するための、深層学習を効果的および効率的に統合し、実装する、方法、システム、およびコンピュータプログラムを含む、新規性のある技術的ソリューションを提供する。

20

## 【 0 0 0 5 】

本開示のある態様は、密であり大量の重合前地震データから重合前地震属性を算出するための高速な方法を含む。この方法は、1つまたは複数の手法を使う、ある程度疎な規則または不規則グリッド上の時間および空間における限られた数のロケーションでの属性の算出に基づき得る。方法は、非常に高速および効率的に、特別にトレーニングされた深層ニューラルネットワークを使用する人工知能による、残りのロケーションにおける属性の埋め込みを含み得る。方法は、一度の稼働中に同時に、複数属性の推定を容易にすることができる着色方式によってマルチパラメータ属性を組み込む。本開示は、重合前地震データの拡張、または速度分析もしくは断層撮像法など、他のアプリケーションに適用することができる。

30

## 【 0 0 0 6 】

本開示の1つの非限定的実施形態によると、炭化水素探査、開発、または生産のために地球の地表下領域をモデル化するための方法が提供される。この方法は、地震重合前データセットを受信するステップと、地震重合前データセットに基づいて、疎グリッド上の1つまたは複数のマルチパラメータ属性を判定するステップと、1つまたは複数のマルチパラメータ属性をカラー画像ピクセルと関連付けるステップと、関連付けられた1つまたは複数のマルチパラメータ属性を符号化して、低解像度色付き画像を生成するステップと、深層ニューラルネットワークによって低解像度色付き画像を修復して、高解像度色付き画像を組み立てるステップと、高解像度画像を色抜きするステップとを含む。疎グリッドは、疎な規則グリッドまたは疎な不規則グリッドを含み得る。マルチパラメータ属性は、傾斜、曲率または類似を含み得る。方法は、色付き画像を、密グリッド上で予測されるマルチパラメータ属性に転換するステップをさらに含み得る。方法は、非線形ビームフォーミング(NLBF)を使って局所運動パラメータを推定するステップをさらに含み得る。方法は、各時間空間座標(t,x)についてのマルチパラメータ属性のトリプレットを、赤(R)色ピクセル、緑(G)色ピクセル、または青(B)色ピクセルに変換するステップをさらに含み得る。方法は、不規則グリッド上の運動パラメータを判定するステップをさらに含み得る。不規則グリッド上の運動パラメータを判定するステップは、オリジナルグリッドにランダムマス

40

50

クを適用するステップを含み得る。

【0007】

本開示の別の非限定的実施形態によると、炭化水素探査、開発、または生産のために地球の地表下領域をモデル化するための装置が提供される。この装置は、地震重合前データを受信するインターフェースと、地震重合前データに基づいて、疎グリッド上の複数の属性を算出する属性判定器と、複数の属性を低解像度色付き画像に転換する属性エンコーダと、低解像度色付き画像を埋めて高解像度色付き画像を生成する画像修復器と、高解像度色付き画像を、密グリッド上で予測されるマルチパラメータ属性に転換する画像プロセッサとを備える。疎グリッドは、疎な規則グリッドまたは疎な不規則グリッドを含み得る。マルチパラメータ属性は、傾斜、曲率または類似を含み得る。画像修復器は、U-Netアーキテクチャをもつ畳み込み深層ニューラルネットワークを備え得る。画像修復器は、非線形ビームフォーミングデータ拡張プロセス(nonlinear beamforming data enhancement process)を備え得る。属性エンコーダは、各時間空間座標(t,x)についてのマルチパラメータ属性のトリプレットを、赤(R)色ピクセル、緑(G)色ピクセル、または青(B)色ピクセルに変換することができる。属性判定器は、不規則グリッド上の運動パラメータを算出することができる。属性判定器は、オリジナルグリッドにランダムマスクを適用して、不規則グリッド上の運動パラメータを算出することができる。

10

【0008】

本開示の別の非限定的実施形態によると、コンピューティングデバイスによって実行されると、炭化水素探査、開発または生産のための、地球の地表下領域のモデルをディスプレイデバイス上でレンダリングさせる地表下モデリングプログラム命令を記憶する非一時的コンピュータ可読記憶媒体が提供される。プログラム命令は、地震重合前データセットを受信するステップと、地震重合前データセットに基づいて、疎グリッド上の1つまたは複数のマルチパラメータ属性を判定するステップと、1つまたは複数のマルチパラメータ属性をカラー画像ピクセルと関連付けるステップと、関連付けられた1つまたは複数のマルチパラメータ属性を符号化して、色付き画像を生成するステップと、深層ニューラルネットワークによって低解像度色付き画像を修復して、高解像度色付き画像を組み立てるステップと、高解像度画像を色抜きするステップとを含む。プログラム命令は、色付き画像を、密グリッド上で予測されるマルチパラメータ属性に転換するか、または非線形ビームフォーミングデータ拡張プロセスを使って局所運動パラメータを推定するか、または各時間空間座標(t,x)についてのマルチパラメータ属性のトリプレットを、赤(R)色ピクセル、緑(G)色ピクセル、もしくは青(B)色ピクセルに変換するか、または不規則グリッド上の運動パラメータを判定する、さらなるステップを含み得る。不規則グリッド上の運動パラメータを判定するステップは、オリジナルグリッドにランダムマスクを適用するステップを含み得る。疎グリッドは、疎な規則グリッドまたは疎な不規則グリッドを含み得る。マルチパラメータ属性は、傾斜、曲率または類似を含み得る。

20

30

【0009】

本開示の追加の特徴、利点、および実施形態が、説明されるか、または詳細な説明および図面の検討から明らかになる場合がある。その上、本開示の上記の要約ならびに以下の詳細な説明および図面は、特許請求される本開示の範囲を限定することなく、さらなる説明を与えることを意図された非限定的例を与えることを理解されたい。

40

【0010】

本開示のさらなる理解をもたらすために含まれている添付の図面は、本明細書に組み込まれるとともにその一部をなし、本開示の実施形態を示し、詳細な説明と一緒にあって、本開示の原理を説明するのに役立つ。本開示の根本的理解のために必要であり得るよりも詳しく、本開示の構造上の詳細と、本開示が実践され得る様々なやり方とを示す試みは行われない。

【図面の簡単な説明】

【0011】

【図1】本開示の原理に従って構築された高速炭化水素モデリング(FHM)システムの例を

50

示す図である。

【図 2】本開示の原理に従って構築された高速算出モデリングプロセッサの例を示す図である。

【図 3】図 2 の高速算出モデリングプロセッサによって実践され得る高速地震拡張プロセスの例を示す図である。

【図 4】図 2 の高速算出モデリングプロセッサによって実践されるプロセスのフローチャートである。

【図 5 A】非線形ビームフォーミング前の重合前データの例を示す図である。

【図 5 B】非線形ビームフォーミング後の重合前データの例を示す図である。

【図 6】マルチパラメータ属性を表す RGB 画像の例を示す図である。

10

【図 7】画像(図 7A)に適用され、その結果、修復された画像(図 7C に示す)が図 2 の高速算出モデリングプロセッサ中の深層ニューラルネットワーク(DNN)によって組み立てられる、ランダムに生成された画像マスク(図 7B に示す)の例を示す図である。

【図 8 A】図 2 の高速算出モデリングプロセッサ中の DNN に含まれ得る部分的畳み込みレイヤをもつ U-Net DNN アーキテクチャの例を示す図である。

【図 8 B】図 2 の高速算出モデリングプロセッサ中の DNN に含まれ得る部分的畳み込みレイヤをもつ U-Net DNN アーキテクチャの例を示す図である。

【図 8 C】図 2 の高速算出モデリングプロセッサ中の DNN に含まれ得る部分的畳み込みレイヤをもつ U-Net DNN アーキテクチャの例を示す図である。

【図 9】図 2 の高速算出モデリングプロセッサにおけるマルチパラメータ属性の例を示す図である。

20

【図 10】2D グリッド(ポイントグリッドノード)への 2D マスク(グレイエリア)の適用を用いたグリッド粗大化を含む 2D 空間の例を示す図である。

【図 11】本開示の原理による、中間処理ステップを含む非線形ビームフォーミングの前および後の重合前データの例を示す図である。

【発明を実施するための形態】

【0012】

後続く詳細な説明において、本開示をさらに記載する。

【0013】

本開示ならびにその様々な特徴および有利な詳細について、添付の図面において記載され、または示され、以下の説明において詳述される非限定的実施形態および例を参照して、より十分に説明する。図面に示される特徴は必ずしも正確な比率ではなく、ある実施形態の特徴が、明示的に述べられていなくても、当業者なら認識するであろうように、他の実施形態とともに利用されてよいことに留意されたい。よく知られている構成要素および処理技法の記述は、本開示の実施形態を不必要に不明瞭にすることがないように、省かれる場合がある。例は、単に、本開示が実践され得るやり方の理解を容易にすること、および当業者が本開示の実施形態を実践するのをさらに可能にすることを意図されている。したがって、例および実施形態は、本開示の範囲を限定するものと企図されるべきでない。その上、同じ参照番号は、図面のいくつかのビューを通して同様の部分を表すことに留意されたい。

30

【0014】

地表下モデリングは、炭化水素探査、開発または生産において実装され得る。地表下モデルは、たとえば、検層データ、坑井試験データ、地震データ、生産データ、または 1 つもしくは複数の地表下領域における物理プロパティをモデリングするのに使うことができる他のデータも含むセンサデータに基づいて生成され得る。センサデータは、たとえば、検層データ、坑井試験データ、地震データまたは生産データに関連付けられた、座標データまたは高度データを含み得る。地表下モデルは、構造、空洞、障害、体積、面積、物質プロパティ、または液体プロパティを含む地表下領域を表すことができる。地表下モデルは、各地表下領域についての、測定されたデータまたは解釈されたデータを表すことができる。地表下モデルは、たとえば、地表下領域における温度、圧力、密度、多孔率、

40

50

浸透率、液体内容物、体積、流動率、または粘度などの物質または液体プロパティを表すことができる。地表下モデルは、たとえば、地質モデルまたは貯留層モデルを含み得る。地表下モデルは、現地における井戸の最適配置を判定する際に利用することができる。

#### 【0015】

地震データに関して、地震反転プロセスが、地表下領域をモデリングし、地表下領域における物質または液体プロパティを再構築または推定するのに使われてよい。地震反転プロセスは、たとえば、非線形データあてはめプロセスである全波形反転(FWI)プロセスを含み得る。地震反転プロセスは、地表下のモデルを組み立て、記録された地震センサデータと、モデリングされた地震センサデータとの間の不整合を最小限にするように、モデルを反復的に更新するのに使われ得る。プロセスは、地震データと検層データを組み合わせ、地表下領域における物質または液体プロパティを予測することができる。プロセスは、生産データも使ってよい。これらのプロパティは、地表下領域における炭化水素および貯留層を識別するのに使うことができる。地震反転は、たとえば、インピーダンスへの結果の逆畳み込みおよび転換などによって、地震データにおけるウェーブレットの痕跡を取り除くことができる。

10

#### 【0016】

地震モデルを組み立てる際、たとえば、潜水波、危機前反射、危機後反射、多重散乱、自由表面、内部マルチプル(internal multiples)、または圧縮(P)-剪断(S)転換された波を含む、様々な波動現象が考慮に入れられてよい。これらの波動現象のうちの可能な限り多くを考慮に入れるモデルは、地表下領域の高解像度画像の生成を容易にし得る。モデルは、領域における物理プロパティを十分に記述するとともに、たとえば、異なるクラスのパラメータの間のクロストークノイズを含むノイズを最小限にする、目標地表下領域の正確なパラメータ化をもたらすべきである。

20

#### 【0017】

困難のあるエリアから炭化水素を探索し、生産するための獲得技術の進歩および必要により、処理され、分析されるべき量のデータが、「ビッグデータ」カテゴリに押し込まれている。たとえば、高密度地震調査からの重合前データは、低減した信号対ノイズ比で、概して、数百~数千テラバイト(テラバイト=10<sup>12</sup>バイト)のサイズに達し得る。したがって、これらの大量のデータを効率的に処理し、解釈するために、技術的ソリューションが必要である。

30

#### 【0018】

大規模な地震データセットの活用法は、たとえば、記録されたセンサデータの導出物などの重合前地震属性を使うものであり、データセットを、より圧縮された、有益な形で表すものである。これらの属性は、データ処理および分析の異なるステップにおいて使うことができる。属性の例が通常移動速度であり、この速度は、疎グリッド上で選択され、次いで、積層地震断面を取得するように、グリッドポイントの間で補間され得る。多くのケースにおいて、データキューブ中の各ポイントに対応する属性の数は1よりも大きくてよく、属性は同時に算出され得る。たとえば、部分的共通反射面スタック、非双曲多段フォーカスまたは非線形ビームフォーミングを含む多次元データ駆動局所積層化およびデータ拡張技法が使われてよく、これらは、データ中の局所的にコヒーレントなイベントの推定に基づき得る。推定は規則グリッドに対して実施されてよく、出力は、地震波面の、局所的に推定される傾斜、曲率および類似を含み得る。プロセスのこの部分は、最も時間を消費する可能性があり、そのスピードアップは多大な利益であり、現実的な必要性であり得る。同様に、重合前運動属性が、たとえば、立体断層撮影手法に基づいて、ならびに他の処理ステップのために、地震反射断層撮影において使われ得る。

40

#### 【0019】

本開示の非限定的実施形態によると、深層ニューラルネットワーク(DNN)を含み得る高速地震属性判定プロセスが提供される。DNNは、部分的畳み込みレイヤをもつ深層ニューラルネットワークを含み得る。このプロセスは、所与の低解像度入力向けの高解像度出力を与えるように、深層ニューラルネットワークをトレーニングすることを含み得る。

50

## 【 0 0 2 0 】

図1は、本開示の原理に従って構築された高速炭化水素モデリング(FHM)システム1の例を示す。FHMシステム1は、地表下領域モデリング(SRM)サーバ10および通信デバイス20を含む。FHMシステム1は、センサ機器30、実装ツール40、またはネットワーク50を含み得る。FHMシステム1中の様々な構成要素は、通信リンク5を介して、または通信リンク5およびネットワーク50を介して直接、互いと通信可能に結合され得る。

## 【 0 0 2 1 】

SRMサーバ10は、高速算出モデリング(FCM)プロセッサ100(図2に示す)を含み得る。SRMサーバ10は、センサ機器30を使って実践され得る陸上または海上地震調査から、センサデータ $S_1$ 、 $S_2$ 、... $S_m$ ( $m$ は、2よりも大きい正の整数である)を直接、またはネットワーク50を介して受信し得る。受信されるセンサデータは、地震データ、検層データ、坑井試験データ、生産データ、および地表下領域をモデリングするための他の利用可能データを含み得る。受信されるセンサデータは、重合前地震データを含み得る。受信されるセンサデータは、座標データまたは高度データを含み得る。受信されるセンサデータは、2次元(2D)データ、3次元(3D)データ、または4次元(4D)データを含み得る。SRMサーバ10は、受信されたセンサデータ $S_1$ 、 $S_2$ 、... $S_m$ 中に存在するかもしれない異なるタイプのノイズから、未加工センサデータをフィルタリングし、未加工センサデータに基づいて、地表下領域についての1つまたは複数のモデルを生成することができる。モデルは、たとえば、地質モデルまたは貯留層モデルを含み得る。SRMサーバ10は、モデルを構築するために地震シミュレーションプロセスを実践することができ、モデルは、オリジナル検層データ、地震データ、坑井試験データ、または生産データを正確に反映し得る。

## 【 0 0 2 2 】

SRMサーバ10は、未加工重合前地震データを含み得る未加工センサデータに基づいて地震モデルを生成することができる。SRMサーバ10は、地震モデルに基づいて地質モデルを生成することができる。SRMサーバ10は、たとえば、目標地表下領域における多孔率、浸透率、密度、温度、圧力、粘度、液体内容物、液体飽和、または流動率など、1つまたは複数の物理プロパティを推定することができる。

## 【 0 0 2 3 】

センサ機器30は、たとえば、音響パルスを含む信号を生成し、発し、目標エリアから反射信号を受信して、目標エリアの画像(たとえば、超音波画像)を形成するように手配され得る1つまたは複数のトランスデューサデバイス(図示せず)を含み得る。各トランスデューサデバイス(図示せず)は、エネルギー源(たとえば、超音波パルスジェネレータおよび送信機)と、受信機(たとえば、超音波信号受信機)とを含み得る。センサ機器30は、たとえば、受振器、地震計、または他の波エネルギー放出デバイス、もしくは波エネルギー検知デバイスを含み得る。センサ機器30は、送信機または受信機のアレイを含み得る。

## 【 0 0 2 4 】

実装ツール40は、たとえば、ボーリング穴を掘削し、または覆うための掘削リグ(図示せず)または坑井ケーシング設置機器(図示せず)を含み得る。実装ツール40は十分に自動化されてよい。実装ツールは、人間制御を含んでよい。実装ツール40は、SRMサーバ10によって判定された座標に基づく地理的ロケーションに位置決めされてよい。

## 【 0 0 2 5 】

図2は、本開示の原理に従って構築された高速算出モデリング(FCM)プロセッサ100の非限定的実施形態を示す。FCMプロセッサ100は、センサデータ $S_1$ 、 $S_2$ 、... $S_m$ を受信し得る。FCMプロセッサ100は、マルチパラメータ属性データ $A_1$ 、 $A_2$ 、... $A_n$ を出力し得る( $n$ は、2よりも大きい正の整数であり、 $n$ は、 $m$ と同じであっても、異なってもよい)。センサデータまたは属性データは、通信リンク5(図1に示す)を介して送信または受信され得る。FCMプロセッサ100は、プロセス200(図3に示す)を実践して、密であり大量の重合前地震データから重合前地震属性を算出するように手配され得る。プロセス200は、たとえば、退避アルゴリズムなど、1つまたは複数の手法を使って、疎な規則または不規則グリッド上の時間および空間において、限られた数のロケーションにおける属性を算出するこ

とを含み得る。退避アルゴリズムは、たとえば、重合前および重合後退避、時間/深度退避、Kirchoff、またはビームもしくは波退避を含み得る。プロセス200は、高速であり効率的なやり方での、トレーニングされた深層ニューラルネットワークによる、残りのロケーションにおける属性の埋め込みを含み得る。プロセス200は、マルチパラメータ属性と、一度の稼働中に同時にマルチパラメータ属性の推定を容易にする着色方式とを含み得る。プロセス200は、重合前地震データ、ならびに速度分析または断層撮像法の拡張を伴うアプリケーション用に実装され得る。

#### 【0026】

非限定的実装形態では、FCMプロセッサ100はSRMサーバ10(図1に示す)に含まれてよい。図2に見られるように、FCMプロセッサ100は、グラフィックス処理ユニット(GPU)110、読取り専用メモリ(ROM)115、ランダムアクセスメモリ(RAM)120、ディスクドライブ(DD)125、ネットワークインターフェース130、入力および出力(I/O)インターフェース135、ビデオドライバ145、属性判定器150、属性エンコーダ155、画像修復器160、画像プロセッサ165、またはデータベース(DB)170を含み得る。FCMプロセッサ110中の様々な構成要素は、1つまたは複数の通信リンクを介してバス105に接続され得る。FCMプロセッサ100は、たとえば、ネットワークインターフェース130、I/Oインターフェース135、DD125、またはDB170を介して、センサデータ $S_1$ 、 $S_2$ 、... $S_m$ を受信し得る。

#### 【0027】

システムバス105は、様々な市販のバスアーキテクチャのいずれをも使って、メモリバス(メモリコントローラ付きまたはなし)、周辺バス、およびローカルバスにさらに相互接続され得る、いくつかのタイプのバス構造のいずれであってもよい。

#### 【0028】

GPU110は、様々な市販のプロセッサのいずれであってもよい。デュアルマイクロプロセッサおよび他のマルチプロセッサアーキテクチャが、GPU110として利用されてもよい。GPU110は、中央処理ユニット(CPU)であってもよい。

#### 【0029】

FCMプロセッサ100は、GPU110によって実行されると、記載したステップ、プロセスおよび方法を実践させる実行可能または解釈可能コンピュータコード(または命令)を保持することができるコンピュータ可読媒体を含む。コンピュータ可読媒体は、ネットワークインターフェース130またはI/Oインターフェース135を介してFCMプロセッサ100に接続された、ROM115、RAM120、DD125、DB170、または外部コンピュータ可読媒体で提供され得る。コンピュータ可読媒体は、GPU110(または属性判定器150、属性エンコーダ155、画像修復器160、もしくは画像プロセッサ165)によって実行されると、プロセス200(図3に示す)を実践させるコンピュータコードのセクションと、本記述において記載または企図されるすべての他のプロセスステップとを含み得る。

#### 【0030】

基本入力出力システム(BIOS)が、たとえば、ROM115など、FCMプロセッサ100中の不揮発性メモリに格納されてよい。ROM115は、ROM、消去可能プログラマブル読取り専用メモリ(EPROM)、または電氣的消去可能プログラマブル読取り専用メモリ(EEPROM)を含み得る。BIOSは、起動中などに、FCMプロセッサ100内の構成要素の間で情報を転送するのを助ける基本ルーチンを含み得る。

#### 【0031】

RAM120は、データをキャッシュするためのスタティックRAMなどのハイスピードRAMを含み得る。RAM120は、高性能コンピューティング(HPC)環境のための、不揮発性ランダムアクセスメモリ(NVRAM)、固体状態デバイス(SSD)、またはバーストバッファ(BB)を含み得る。

#### 【0032】

ディスクドライブ(DD)125は、たとえば、拡大統合ドライブエレクトロニクス(EIDE)ドライブ、またはシリアルアドバンスドテクノロジーアタッチメント(SATA)ドライブなどのハードドライブを含み得る。DD125は、コンパクトディスク読取り専用メモリ(CD-ROM)

10

20

30

40

50

ディスク(図示せず)に対して読み書きし、またはデジタルビデオディスク(DVD)など、他の高容量光学媒体から読み取るかもしくは書き込むことができる光ディスクドライブを含み得る。DD125は、適切なシャーシ(図示せず)における外部使用のために構成されてよい。DD125は、それぞれ、ハードディスクドライブインターフェース(図示せず)および光ドライブインターフェース(図示せず)によってシステムバス105に接続され得る。ハードディスクドライブインターフェース(図示せず)は、外部アプリケーション用のユニバーサルシリアルバス(USB)(図示せず)またはIEEE1394インターフェース(図示せず)を含み得る。

【0033】

DD125および関連付けられたコンピュータ可読媒体は、データ、データ構造、またはコンピュータ実行可能命令の不揮発性記憶を提供し得る。DD125は、適切なデジタルフォーマットでの、いかなるデータの記憶にも応じることができる。DD125は、本明細書に記載するアーキテクチャの態様を実行するのに使われる1つまたは複数のアプリを含み得る。

【0034】

オペレーティングシステム(図示せず)、1つまたは複数のアプリケーションプログラム(図示せず)、他のプログラムモジュール(図示せず)、およびプログラムデータ(図示せず)を含むいくつかのプログラムモジュールが、DD125、ROM115、またはRAM120に記憶され得る。オペレーティングシステム、アプリケーションプログラム、プログラムモジュール、およびプログラムデータのいずれか(または全部)は、コンピュータコードの実行可能セクションとして、RAM120にキャッシュされてよい。

【0035】

ネットワークインターフェース130は、ネットワーク50(図1に示す)に接続され得る。ネットワークインターフェース130は、ワイヤードもしくはワイヤレス通信ネットワークインターフェース(図示せず)またはモデム(図示せず)を含み得る。ローカルエリアネットワーク(LAN)において使われるとき、FCMプロセッサ100は、ワイヤードまたはワイヤレス通信ネットワークインターフェースを通してLANネットワークに接続されてよく、ワイドエリアネットワーク(WAN)において使われるとき、FCMプロセッサ100は、モデムを通してWANネットワークに接続されてよい。モデム(図示せず)は、内部または外部であってよく、ワイヤードまたはワイヤレスであってよい。モデムは、たとえば、シリアルポートインターフェース(図示せず)を介して、システムバス105に接続され得る。

【0036】

I/Oインターフェース135は、たとえば、キーボード(図示せず)、マウス(図示せず)、ポインタ(図示せず)、マイクロフォン(図示せず)、スピーカー(図示せず)、またはディスプレイ(図示せず)などのユーザインターフェースデバイス(図示せず)を介して、オペレータからコマンドおよびデータを受信し得る。受信されたコマンドまたはデータは、命令およびデータ信号として、バス105を介してI/Oインターフェース135からGPU110へフォワードされてよい。

【0037】

ビデオドライバ145は、グラフィックスドライバ(図示せず)、ビデオアダプタ(図示せず)、または、たとえば、通信デバイス20(図1に示す)においてディスプレイデバイスなどのディスプレイデバイス上で画像信号をレンダリングするのに必要な、どの他のデバイスも含み得る。

【0038】

属性判定器150、属性エンコーダ155、画像修復器160、または画像プロセッサ165は各々、デバイスまたはモジュールであってよい。属性判定器150、属性エンコーダ155、画像修復器160、および画像プロセッサ165のうちの1つまたは複数が、GPU110と統合されるか、または図2に見られるように、別々に設けられてよい。

【0039】

図3は、本開示の原理による、高速地震拡張プロセス200の例を示す。図2および図3を参照すると、センサデータが、FCMプロセッサ100によって受信され得る(ステップ210)。受信されるセンサデータは、地震重合前データを含み得る。センサデータは、未加工地

10

20

30

40

50

震データを含み得る。受信されたセンサデータは、属性判定器150によって処理されてよい。属性判定器は、地震重合前データを分析し、センサデータから、疎グリッド(または小規模アレイ)上の多重パラメータ(またはマルチパラメータ)属性を算出することができる(ステップ220)。属性判定器150は、より複雑なエリアが精細化された、疎な規則グリッド(もしくはアレイ)または不規則グリッド(もしくはアレイ)のいずれか、あるいはFCMプロセッサ100がデータセット中の主要な特色をキャプチャできるようにし得るランダムグリッド(もしくはアレイ)さえも含み得る。属性判定器150は、疎グリッド上のマルチパラメータ属性の推定を与えることができる。疎グリッド上のマルチパラメータ属性は、属性判定器150から出力され、属性エンコーダ155へフォワードされてよい。

#### 【0040】

属性エンコーダ155は、単色画像としてのマルチパラメータ属性の取扱いを容易にする符号化方式によって、受信されたマルチパラメータ属性を、色付き画像と関連付けることができる(ステップ230)。符号化画像が取得されると(ステップ230)、マルチパラメータ属性の、得られた低解像度カラー画像は、画像修復器160へフォワードされ得る。画像修復器160は、マルチパラメータ属性の高解像度(HR)色付き画像を予測することができる深層ニューラル部分的畳み込みネットワークを含み得る(ステップ240)。画像修復器160は、いかなるギャップもホールもない、マルチパラメータ属性の高解像度(HR)色付き画像を組み立てることができる。HR色付き画像は、画像プロセッサ165に出力されてよく、プロセッサ165は、HR色付き画像を復号し、密グリッド上で予測されるマルチパラメータ属性に転換すればよい(ステップ250)。得られたマルチパラメータ属性は、FCMプロセッサ100によって出力することができる(ステップ260)。マルチパラメータ属性は、属性データ $A_1$ 、 $A_2$ 、... $A_n$ として出力され得る( $n$ は、 $m$ と同じか、または異なる、2よりも大きい正の整数である)。

#### 【0041】

「高解像度」カラー画像とは、たとえば、少なくとも $512 \times 512$ ピクセルの密度を有するが、そのことに限定されない画像を含み得る。「低解像度」カラー画像とは、本開示のコンテキストでは、元の高解像度画像と同じサイズのマスクされた画像である。したがって、「低解像度」は、ゼロマスキングによる画像品質の損失を指す。

#### 【0042】

図4は、FCMプロセッサ100(図2に示す)によって実践されるプロセス200のフローチャートを示す。図4において、平行四辺形は、入力および出力データを示し、長方形は、FCMプロセッサ100(図2に示す)中の構成要素のうちのいくつかによって実践されるプロセスを示す。フローチャートに見られるように、重合前地震データが、疎グリッド上の複数属性を分析し、算出する算出プロセスに入力されてよい。算出された複数属性は、着色プロセスにフィードされてよく、このプロセスは、複数属性に基づいて色データを生成し、複数属性の低解像度色付き画像を、深層ニューラル部分的畳み込みネットワークに出力することができる。深層ニューラル部分的畳み込みネットワークは、低解像度色付き画像を処理し、複数属性の高解像度色付き画像を作成するように、低解像度色付き画像中のギャップまたはホールを修復するか、または埋めればよい。高解像度色付き画像は、高解像度を密グリッド上の複数属性に復号する色抜きプロセスに入力されてよい。

#### 【0043】

図5Aおよび図5Bは、それぞれ、非線形ビームフォーミングの前および後の地震重合前データの例を示す。図5Bに見られるように、重合前データに対してプロセス200を実践すると、非線形ビームフォーミング(NLBF)データ拡張において使われる局所運動パラメータの推定において、ランダムノイズが大幅に削減され、主要イベントの連続性が増し得る。NLBFの推定部は、たとえば、波面が、その移動について以下の関係を与える2次表面によって局所的に近似され得るという仮定に基づき得る。

$$t=t(x,y)-t_0(x_0,y_0)=A x+B y+C x y+D x^2+E y^2$$

上式で、 $A$ 、 $B$ 、 $C$ 、 $D$ 、 $E$ は未知のビームフォーミング係数であり、 $x$ および $y$ は、出力トレースに対する積算トレースの空間シフトを表し、 $t$ は、 $x$ - $y$ 平面中の初期位置 $x_0$ 、 $y_0$

10

20

30

40

50

における初期時点 $t(x_0, y_0)$ から、同じ $x$ - $y$ 平面中の位置 $x$ 、 $y$ における時間 $t(x, y)$ までの移行時間である。未知の係数 $A$ 、 $B$ 、 $C$ 、 $D$ 、 $E$ は、局所イベントのコヒーレンシを表す、類似関数 $S$ の値を最大化することによって推定され得る。この手法の例を一方向で(たとえば、 $x$ 方向で)検討すると、傾斜 $A$ 、曲率 $D$ および類似 $S$ の推定は大きく単純化され得る。各時間-空間座標 $(t, x)$ に対するマルチパラメータ属性のトリプレット  $A$ 、 $D$ 、 $S$  は、赤、緑、青 カラー画像ピクセルに変換され得る。この変換は、たとえば、属性エンコーダ155(図2に示す)によって実践されてよい。局所運動パラメータ $A$ 、 $D$ および類似 $S$ は、図6に見られるように、色付き画像に対して考えることができる。

【0044】

本開示の1つまたは複数の例は3つのマルチパラメータ属性を含むが、本開示は、3つよりも多い(または少ない)マルチパラメータ属性、たとえば、4、5、またはより多くのマルチパラメータ属性などを含み得る。追加のマルチパラメータ属性は、たとえば、直交補空間などの補助的属性、ならびに他の属性を含み得る。

10

【0045】

図6は、たとえば、属性エンコーダ155(図2に示す)の出力において観察され得るマルチパラメータ属性を表すRGB画像の例のグレースケールレンダリングを示す。図6において、マルチパラメータ属性は、局所的に推定される傾斜、曲率および類似を含む。

【0046】

属性推定は、計算コストが高い場合がある。計算時間を削減するために、オリジナルグリッドにランダムマスクを適用することによって、運動パラメータが、不規則グリッド上で算出され得る。マスクが適用されるポイント $(t, x)$ において、運動パラメータが推定される必要はなく、そうすることによって、プロセスをスピードアップする。本質的に、総面積の割合としてのマスクの累積面積は、計算コストにおける総節約量を表し得る。深層ニューラルネットワーク(たとえば、図2に示す、画像修復器160中のDNN)は不規則マスクを扱うことができる。

20

【0047】

図7A、図7B、図7Cは、画像(図7A)に適用される、ランダムに生成された画像マスク(図7Bに示す)の例のグレースケールレンダリングを示し、結果として、DNNによって組み立てられた画像修復結果画像(図7Cに示す)が生じる。

【0048】

DNNは、部分的畳み込みを含み得るU-Netアーキテクチャをもつ畳み込み深層ニューラルネットワークを含み得る。不規則マスクを適切に扱うために、DNNは、マスク更新ステップがその後続く、マスクされ、再規則化された畳み込み演算を含む部分的畳み込みレイヤを使えばよい。

30

【0049】

図8A~図8Cは、DNNに含まれ得る部分的畳み込みレイヤをもつとともにマスクと画像の両方をもつU-Net DNNアーキテクチャの例を示す。

【0050】

DNNは、NLBFにおいて使われる重合前地震データの小規模サブセットでトレーニングされ得るので、DNNをトレーニングするのに要求される時間とともに、トレーニングデータセットを作成する算出時間は無視することができる。トレーニングされた部分的畳み込みDNNは、高解像度画像を与えるために、符号化運動パラメータの画像修復(たとえば、図7A~図7Cに示す)に使われてよい。高解像度画像に復号を(たとえば、画像プロセッサ165によって)適用することで、拡張ワークフローを完成させ、たとえば、図9に示すマルチパラメータ属性を与えることができる。

40

【0051】

図9は、たとえば、画像プロセッサ165(図2に示す)によって出力され得るマルチパラメータ属性の例のグレースケールレンダリングを示す。図9を左から右へ参照すると、図解は、傾斜、曲率および類似を示す。上から下へ参照すると、図解は、マスクされたパラメータ(入力)、真のパラメータ(検証に使われるグランドトゥルース結果)、およびDNNによ

50

って予測されるパラメータを示す。図9に見られるように、DNNを使う、埋め込まれた属性は、NLBFを使って算出された属性と同様であり得るが、埋め込みプロセスにおいて実装されるコンピューティングリソースは、NLBFを使うのと比較して、たとえば、2倍以上削減され得る。修復プロセスによって消費される時間は、たとえば、運動パラメータを推定するのに使われ得る他のプロセスによって要求される時間と比較して無視することができる。

#### 【0052】

本開示の非限定的実施形態によると、DNNが、以前獲得された地震データセットでトレーニングされ、新たなデータセットが、オリジナルデータセットと十分類似している場合、追加トレーニングに関連付けられた計算コストはゼロ(またはほぼゼロ)である。まれな状況においてのみ起こることが期待され得ることはあるが、受信された地震データが、以前獲得された地震データセットとは大幅に異なる場合、DNNトレーニングまたは再トレーニングは、オリジナルデータボリュームの小さい割合のみを表す、新たなデータの、小規模だが多様なサブセットで遂行されてよい。

10

#### 【0053】

DNNの性能は、たとえば、波動場の複雑さに、および初期推定に使われるオリジナル疎グリッド(または小型デジタルアレイ)の密度に依存し得る。ランダム入力グリッド(またはアレイ)が、オリジナル疎グリッド用に使われてよい。代替として、規則グリッドが代わりに、またはランダム入力グリッドに加えて使われてよい。DNNは、たとえば、2つのトレースごとにパラメータを推定することができ、1つおきの時間サンプルが、たとえば、2次元(2D)空間用に約4倍、および3次元(3D)立方空間用に約8倍のスピードアップをもたらし得る。

20

#### 【0054】

図10は、2Dグリッド(ポイントグリッドノード)への2Dマスク(グレイエリア)の適用を用いたグリッド粗大化を含む2D空間の例を示す。たとえば、図10の白色エリアのみにおける属性を推定し、残りはDNNを使って埋めることによって、コンピューティングリソースの4倍の削減が遂行され得る。

#### 【0055】

図11は、中間処理ステップを含む、プロセス200(図3に示す)、または流れ図(図4に示す)による非線形ビームフォーミングの前および後の重合前データの例を示す。図解に見られるように、属性は、たとえば、重合前地震データから直接抽出され、色(グレースケールで示す)に符号化され、次いで、疎グリッドからフルグリッドに補間されて、高解像度画像データを出力することができる。図11に見られるように、FCMプロセッサ100(図2に示す)によって実施され得る2段階プロセスにより、重合前地震データが分析され、埋め込みデータが、非線形ビームフォーミング段階への入力として解釈され、含められて、高解像度画像データを作成することができる。

30

#### 【0056】

地震データキューブが、たとえば、5つの次元(たとえば、xおよびy方向でのショットおよびレシーバ座標ならびに時間)を有する実装形態では、DNNは、NLBF実装単独よりも約32倍高速に、2つのポイントごとにパラメータを推定することができ、これは、サイズが数百または数千テラバイトの巨大な重合前地震データセットに対しては、算出時間の多大な減少である。

40

#### 【0057】

本記述は、非線形ビームフォーミングを用いる地震データ拡張のアプリケーションの例を挙げたが、同じまたは同様の手法が、膨大な量の重合前地震データに対する地震属性の推定を要求する広範囲の問題に適用されてよいことに留意されたい。たとえば、本開示は、等方性または非等方性速度フィールド、共通反射面(CRS)スタックについてのパラメータフィールド、多段フォーカスのためのパラメータの推定、または等方性および非等方性振幅対オフセット(AVO)の推定に適用されてよい。同様に、時間内に複数の画像が取得され、対応する属性が何度も繰り返し抽出される地震監視の分野では、これらのパラメータ

50

を、高価な処理または獲得を繰り返すことなく、DNN(たとえば、画像修復器160中の)で補間するという追加利益がある。

【0058】

高度に冗長なデータの獲得は、1)属性(たとえば、重合前データからのみ推定され得る速さなど)を抽出できること、および2)信号対ノイズ比を増大させるための、撮像プロセス中の冗長信号の加算によって正当化され得る。より疎な推定のためにデータのわずかのみが獲得されること、および残りの属性をDNNにより埋めることを要求することによって、演算量を減らすことができる。本開示は、費用効果が高い地震または地球物理学的獲得を容易にし得る。

【0059】

本開示は、現代の高チャネルカウントおよび信号センサデータからなる地震処理結果における多大な発展をもたらし、現代の陸上データ調査から、より使用可能な情報を抽出することを可能にし、より優れた石油およびガス探査につながる。

【0060】

本開示において使われる限り、「a」、「an」、および「the」という用語は、別段に明記されていない限り、「1つまたは複数」を意味する。

【0061】

「通信デバイス」という用語は、本開示において使われる限り、通信リンクを介してデータパケット、命令信号またはデータ信号を送信または受信することができるどのハードウェア、ファームウェア、またはソフトウェアも意味する。通信デバイスは、コンピュータまたはサーバを含み得る。通信デバイスは、可搬型または定置型であってよい。

【0062】

「通信リンク」という用語は、本開示において使われる限り、少なくとも2つのポイントの間でデータまたは情報を伝えるワイヤードまたはワイヤレス媒体を意味する。ワイヤードまたはワイヤレス媒体は、たとえば、金属導体リンク、無線周波数(RF)通信リンク、赤外線(IR)通信リンク、または光通信リンクを含み得る。RF通信リンクは、たとえば、Wi-Fi、WiMAX、IEEE802.11、DECT、0G、1G、2G、3Gもしくは4Gセルラー規格、またはBluetoothを含み得る。

【0063】

「コンピュータ」または「コンピューティングデバイス」という用語は、本開示において使われる限り、たとえば、限定なしで、プロセッサ、マイクロプロセッサ、グラフィックス処理ユニット、中央処理ユニット、汎用コンピュータ、スーパーコンピュータ、パーソナルコンピュータ、ラップトップコンピュータ、パームトップコンピュータ、ノートブックコンピュータ、デスクトップコンピュータ、ワークステーションコンピュータ、サーバ、サーバファーム、コンピュータクラウド、またはプロセッサ、マイクロプロセッサ、中央処理ユニット、汎用コンピュータ、スーパーコンピュータ、パーソナルコンピュータ、ラップトップコンピュータ、パームトップコンピュータ、ノートブックコンピュータ、デスクトップコンピュータ、ワークステーションコンピュータ、もしくはサーバのレイアウトなど、どの機械、デバイス、回路、構成要素、もしくはモジュールも、または1つもしくは複数の命令に従ってデータを操作することが可能な機械、デバイス、回路、構成要素、もしくはモジュールからなるどのシステムも意味する。

【0064】

「コンピュータ可読媒体」という用語は、本開示において使われる限り、コンピュータによって読み取られ得るデータ(たとえば、命令)を与えることに関わるどの記憶媒体も意味する。そのような媒体は、不揮発性媒体および揮発性媒体を含む、数多くの形をとり得る。不揮発性媒体は、たとえば、光ディスクまたは磁気ディスクおよび他の永続メモリを含み得る。揮発性媒体は、動的ランダムアクセスメモリ(DRAM)を含み得る。コンピュータ可読媒体の一般的な形態としては、たとえば、フロッピーディスク、フレキシブルディスク、ハードディスク、磁気テープ、他の任意の磁気媒体、CD-ROM、DVD、他の任意の光媒体、パンチカード、紙テープ、穴のパターンを有する他の任意の物理媒体、RAM、P

10

20

30

40

50

ROM、EPROM、FLASH(登録商標)-EEPROM、他の任意のメモリチップもしくはカートリッジ、搬送波、またはコンピュータが読み取ることができる他の任意の媒体がある。コンピュータ可読媒体は「クラウド」を含んでよく、クラウドは、複数の(たとえば、数千の)コンピュータ上の複数の(たとえば、数千の)メモリキャッシュにわたるファイルの分散を含む。

【0065】

様々な形のコンピュータ可読媒体が、命令のシーケンスをコンピュータに運ぶことに関与し得る。たとえば、命令のシーケンスは、(i)RAMからプロセッサへ送達されてよく、(ii)ワイヤレス伝送媒体を介して運ばれてよく、または(iii)たとえば、WiFi、WiMAX、IEEE 802.11、DECT、0G、1G、2G、3G、4G、もしくは5Gセルラー規格、またはBluetoothを含む、多数のフォーマット、規格またはプロトコルに従ってフォーマットされてよい。

10

【0066】

「データベース」という用語は、本開示において使われる限り、少なくとも1つのアプリケーションまたは少なくとも1つのコンピュータを含む、ソフトウェアまたはハードウェアのどの組合せも意味する。データベースは、たとえば、関係モデル、階層モデル、またはネットワークモデルのうちの少なくとも1つなどだが、それらに限定されないデータベースモデルに従って編成されたレコードまたはデータの構造化集合体を含み得る。データベースは、当該分野において知られているように、データベース管理システムアプリケーション(DBMS)を含み得る。少なくとも1つのアプリケーションは、たとえば、クライアントへ応答を返送することによって、クライアントからのサービスリクエストへの接続を受け入れることができるアプリケーションプログラムを含み得るが、それらに限定されない。データベースは、最小限の人間指示で、拡張時間期間だけ、しばしば重い作業負荷の下で、無人で、少なくとも1つのアプリケーションを稼働するように構成されてよい。

20

【0067】

本開示において使われる限り、「含む」、「備える」という用語およびそれらの変化形は、別段に明記されていない限り、「含むが、それらに限定されない」ことを意味する。

【0068】

「ネットワーク」という用語は、本開示において使われる限り、たとえば、ローカルエリアネットワーク(LAN)、ワイドエリアネットワーク(WAN)、メトロポリタンエリアネットワーク(MAN)、パーソナルエリアネットワーク(PAN)、キャンパスエリアネットワーク、企業エリアネットワーク、グローバルエリアネットワーク(GAN)、ブロードバンドエリアネットワーク(BAN)、セルラーネットワーク、またはインターネットのうちの少なくとも1つを意味するが、それらに限定されるわけではなく、それらのうちのいずれも、ワイヤレスまたはワイヤード通信媒体を介してデータを通信するように構成されてよい。これらのネットワークは、TCP/IP、IRCまたはHTTPに限定されない様々なプロトコルを稼働することができる。

30

【0069】

「サーバ」という用語は、本開示において使われる限り、クライアントサーバアーキテクチャの一部として、接続されたクライアントにサービスを実施するための少なくとも1つのアプリケーションまたは少なくとも1つのコンピュータを含む、ソフトウェアまたはハードウェアのどの組合せも意味する。少なくとも1つのサーバアプリケーションは、たとえば、クライアントへ応答を返送することによって、クライアントからのサービスリクエストへの接続を受け入れることができるアプリケーションプログラムを含み得るが、それらに限定されない。サーバは、最小限の人間指示で、拡張時間期間だけ、しばしば重い作業負荷の下で、無人で、少なくとも1つのアプリケーションを稼働するように構成されてよい。サーバは、作業負荷に応じて、コンピュータの間で分割される少なくとも1つのアプリケーションで構成された複数のコンピュータを含み得る。たとえば、軽い負荷の下では、少なくとも1つのアプリケーションが、単一のコンピュータ上で稼働し得る。ただし、重い負荷の下では、複数のコンピュータが、少なくとも1つのアプリケーションを稼働するよう要求され得る。サーバ、またはそのコンピュータのうちのいずれも、ワークス

40

50

ーションとして使われてよい。

【0070】

「送信」という用語は、本開示において使われる限り、電気、音響波、光波および他の電磁気放出による、無線周波数(RF)または赤外線(IR)スペクトルでの通信で生成されたような信号の伝達を意味する。そのような送信のための送信媒体は、プロセッサに結合されたシステムバスを備えるワイヤーを含む、同軸ケーブル、銅線および光ファイバを含み得る。

【0071】

互いと通信するデバイスは、別段に明記されていない限り、互いと持続的に通信する必要はない。さらに、互いと通信するデバイスは、1つまたは複数の媒介物を通して直接または間接的に通信することができる。

10

【0072】

プロセスステップ、方法ステップ、またはアルゴリズムは、連続または並列順序で記載されている場合があるが、そのようなプロセス、方法およびアルゴリズムは、代替順序で作用するように構成されてよい。言い換えると、連続順序で記載される場合があるステップのどのシーケンスまたは順序も、その順序でステップが実施される要件を必ずしも示すわけではなく、いくつかのステップは、同時に実施されてよい。同様に、ステップのシーケンスまたは順序が、並列(または同時)順序で記載される場合、そのようなステップは連続順序で実施されてよい。本明細書に記載するプロセス、方法またはアルゴリズムのステップは、現実的などの順序で実施されてもよい。

20

【0073】

単一のデバイスまたは物品が記載されるとき、複数のデバイスまたは物品が単一のデバイスまたは物品の代わりに使われてよいことが、容易に明らかであろう。同様に、複数のデバイスまたは物品が記載される場合、単一のデバイスまたは物品が、複数のデバイスまたは物品の代わりに使われてよいことが、容易に明らかであろう。デバイスの機能性または特徴は代替として、そのような機能性または特徴を有するものとして明示的に記載されていない1つまたは複数の他のデバイスによって具現化され得る。

【0074】

本開示が、例示的な実施形態によって記載されたが、本開示は、添付の請求項の趣旨および範囲を修正して実践されてよいことが、当業者には理解されよう。これらの例は、例示に過ぎず、本開示のすべての可能な設計、実施形態、適用、または修正の網羅的リストであることは意図してなく、本開示は、添付の請求項における具陳のセットによって、また、これらの具陳に等価である構造および機能またはステップによって定義される。

30

【符号の説明】

【0075】

- 1 高速炭化水素モデリング(FHM)システム
- 5 通信リンク
- 10 地表下領域モデリング(SRM)サーバ
- 20 通信デバイス
- 30 センサ機器
- 40 実装ツール
- 50 ネットワーク
- 100 高速算出モデリング(FCM)プロセッサ
- 105 バス、システムバス
- 110 グラフィックス処理ユニット(GPU)
- 115 読取り専用メモリ(ROM)
- 120 ランダムアクセスメモリ(RAM)
- 125 ディスクドライブ(DD)
- 130 ネットワークインターフェース
- 135 入力および出力(I/O)インターフェース

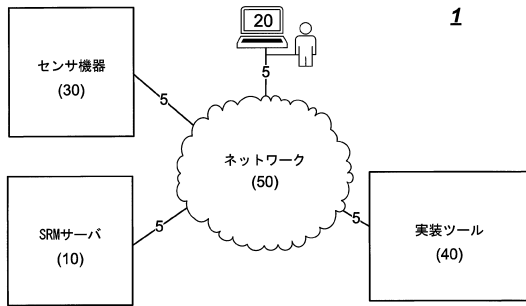
40

50

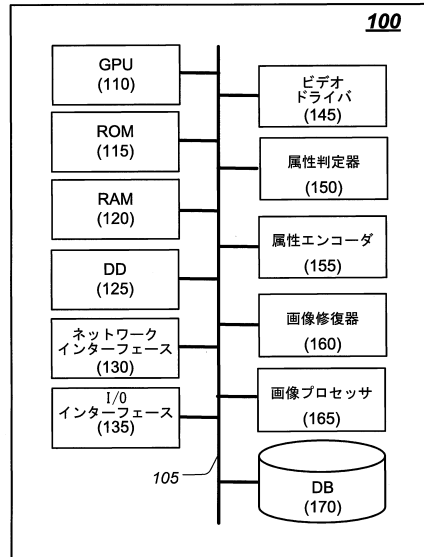
- 145 ビデオドライバ
- 150 属性判定器
- 155 属性エンコーダ
- 160 画像修復器
- 165 画像プロセッサ
- 170 データベース(DB)

【図面】

【図 1】



【図 2】



10

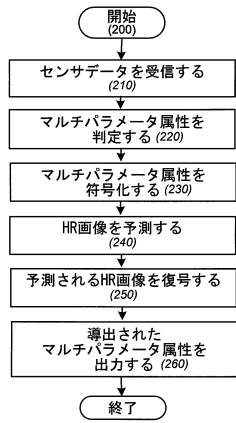
20

30

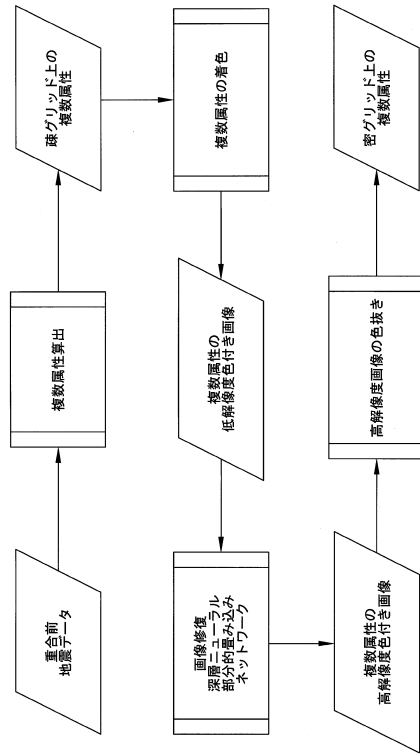
40

50

【 図 3 】



【 図 4 】



10

20

【 図 5 A 】

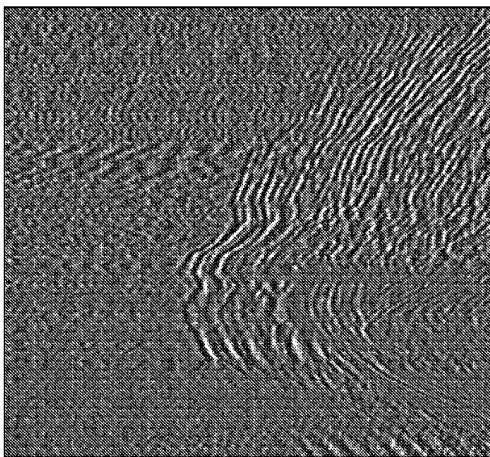


FIG. 5A

【 図 5 B 】

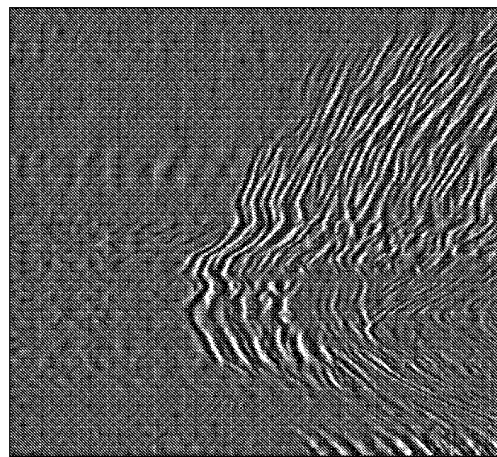


FIG. 5B

30

40

50

【 図 6 】

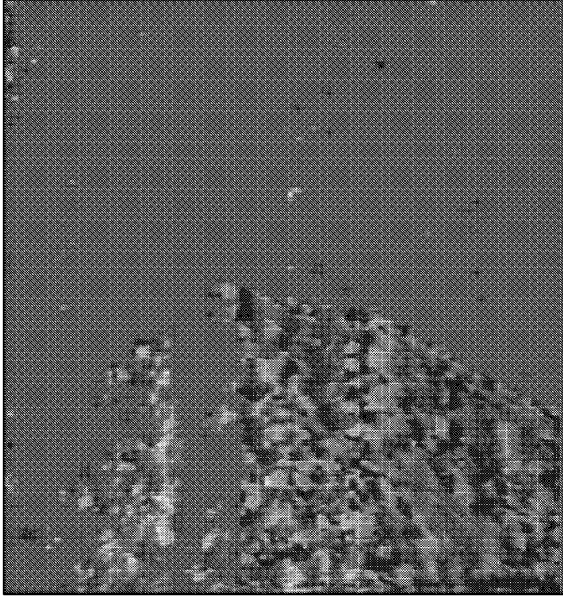


FIG. 6

【 図 7 A 】

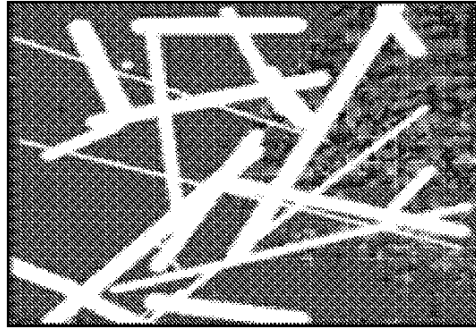


FIG. 7A

10

【 図 7 B 】

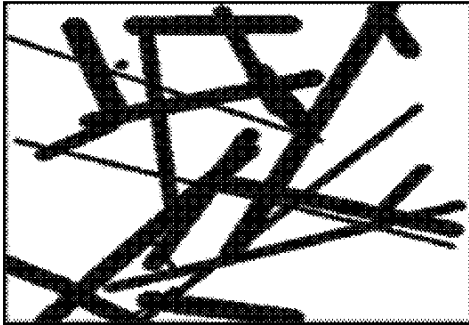


FIG. 7B

【 図 7 C 】

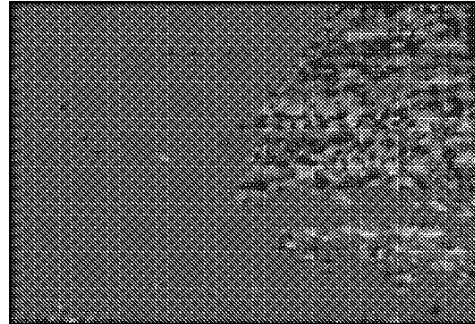


FIG. 7C

20

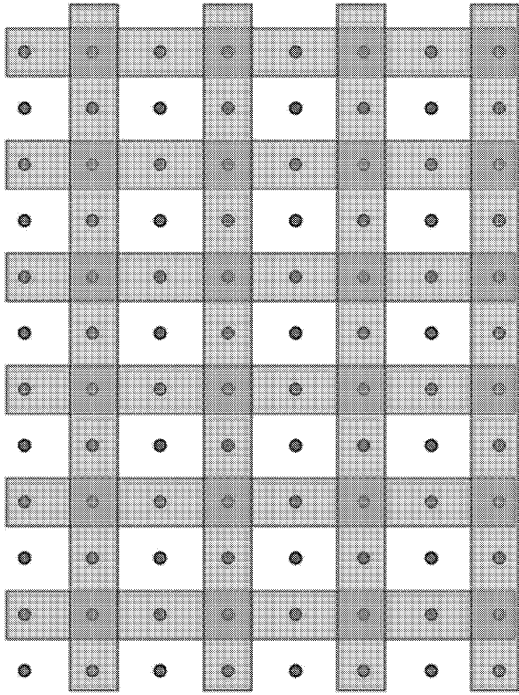
30

40

50



【図 10】



【図 11】

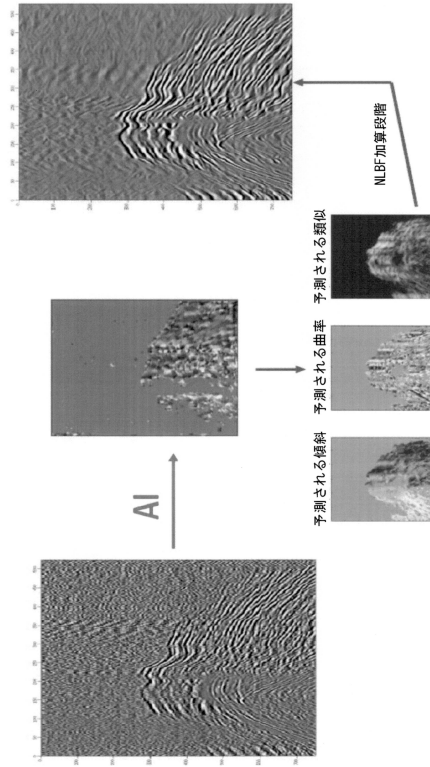


FIG. 10

10

20

30

40

50

---

フロントページの続き

(33)優先権主張国・地域又は機関

米国(US)

早期審査対象出願

サウジアラビア・31311・ダーラン・イースタン・アベニュー・1・サウジ・アラビアン・オイル・カンパニー内

(72)発明者 イリヤ・シルヴェストロフ

サウジアラビア・31311・ダーラン・イースタン・アベニュー・1・サウジ・アラビアン・オイル・カンパニー内

審査官 山口 剛

(56)参考文献

特開平04-127009(JP,A)

特表2014-535044(JP,A)

特開2018-048898(JP,A)

特開2004-029361(JP,A)

米国特許出願公開第2015/0032426(US,A1)

国際公開第2018/148492(WO,A1)

米国特許第09977996(US,B2)

(58)調査した分野 (Int.Cl., DB名)

G01V 1/00 - 99/00