

明 細 書

発明の名称： クレーン変形態様推定システム

技術分野

[0001] 本発明は、クレーンにおいて外力および慣性力のそれぞれに応じて変形するアタッチメントの仮想的な変形態様を推定する技術に関する。

背景技術

[0002] クレーンのジブ等の構造部材の変形を検出する技術が提案されている（例えば、特許文献1参照）。クレーン分野について生産性および安全性の向上のため、B I M（B u i l d i n g I n f o r m a t i o n M o d e l i n g）が採用されている。施工段階において、施工に必要な重機の選定およびクレーンなどの建設機械の揚重計画が必要となるので、B I Mが用いられて重機モデルにおけるたわみが3次元で表現されうる。

先行技術文献

特許文献

[0003] 特許文献1：特開2020-158225号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0004] しかし、クレーンを構成するジブ等の構造部材の姿勢と、クレーンにより吊り上げられる物体の重量など、当該構造部材に変形をもたらす因子との組み合わせごとに、仮想空間座標系において当該構造部材の複数の点のそれぞれを変位させて当該アタッチメントの変形態様を表現する際にデータ量が過多となってしまう。

[0005] そこで、本発明は、クレーンにおいて外力を受けるアタッチメントの仮想的な変形態様の推定精度の維持を図りながら、当該推定処理に要するデータ量の低減を図りうる技術を提供することを目的とする。

課題を解決するための手段

[0006] 本発明のクレーン変形態様推定システムは、

クレーンにおいてクレーン本体に対して起伏可能に連結され、外力および慣性力のそれぞれに応じて変形するアタッチメントの仮想的な変形態様を推定するための演算処理装置を備えているシステムであって、

前記演算処理装置が、

入力インターフェースを通じて入力された前記アタッチメントに対する力の作用態様を特定するための作用力因子と、前記アタッチメントの姿勢を特定するための姿勢因子と、を認識する入力処理要素と、

前記入力処理要素により認識された前記作用力因子および前記姿勢因子に基づき、前記作用力因子と、前記姿勢因子と、前記アタッチメントの変形態様を表わす角度変化態様と、の相関関係を表わすクレーンモデルにしたがって、前記アタッチメントが前記姿勢因子により特定される姿勢を基準として、前記アタッチメントに対して前記作用力因子により特定される態様で力が作用している状態における当該アタッチメントの変形態様を表わす角度変化態様を前記アタッチメントの変形態様として推定する推定処理要素と、

前記推定処理要素により推定された前記アタッチメントの変形態様を表わす情報を出力インターフェースに出力させる出力処理要素と、を備えている。

[0007] 当該構成のクレーン変形態様推定システムによれば、クレーン本体に対して起伏可能に連結されているアタッチメントの変形態様がクレーンモデルにしたがって推定される。クレーンモデルは、クレーン本体に対して起伏可能に連結されているアタッチメントに対する力の作用態様を特定するための「作用力因子」と、アタッチメントの姿勢を特定するための「姿勢因子」と、アタッチメントの変形態様を表わす「角度変化態様」と、の相関関係を表わすモデルである。すなわち、クレーンモデルでは、ある姿勢のアタッチメントに対する力の作用態様に応じた当該アタッチメントの変形態様が、アタッチメントの角度変化態様により表現されている。このため、アタッチメントのたわみ量などにより特定される変形態様が、当該アタッチメントの複数箇所のそれぞれの変位態様または複数の点のそれぞれの変位ベクトルにより表

現されている場合と比較して、当該複数の点を代表する単一の角度によって表現されることでデータ量の低減を図りながらも、アタッチメントの変形態様の推定精度の向上が図られる。

[0008] 本発明のクレーン変形態様推定システムにおいて、

前記入力処理要素が、前記アタッチメントを構成する、前記クレーン本体に対して起伏可能に連結されている第1アタッチメント要素の姿勢を特定するための第1姿勢因子と、前記第1アタッチメント要素に対して姿勢および位置のうち少なくとも一方を変更可能に、直接的にまたは間接的に連結されている第2アタッチメント要素の姿勢を特定するための第2姿勢因子と、のそれぞれを前記姿勢因子として認識し、

前記推定処理要素が、前記アタッチメントが前記姿勢因子により特定される姿勢を基準として、前記アタッチメントに対して前記作用力因子により特定される態様で力が作用している状態における前記第1アタッチメント要素および前記第2アタッチメント要素のそれぞれの姿勢変態様を表わす角度変態様を前記アタッチメントの変形態様として推定することが好ましい。

[0009] 当該構成のクレーン変形態様推定システムによれば、クレーン本体に対して起伏可能に連結されているアタッチメントを構成する、第1アタッチメント要素および第2アタッチメント要素のそれぞれの変形態様がクレーンモデルにしたがって推定される。クレーンモデルは、クレーン本体に対して起伏可能に連結されているアタッチメントに対する力の作用態様を特定するための「作用力因子」と、第1アタッチメント要素および第2アタッチメント要素のそれぞれの姿勢を特定するための「姿勢因子」と、第1アタッチメント要素および第2アタッチメント要素のそれぞれの変形態様を表わす「角度変態様」と、の相関関係を表わすモデルである。すなわち、クレーンモデルでは、ある姿勢のアタッチメントに対する力の作用態様に応じた当該アタッチメントを構成する第1アタッチメント要素および第2アタッチメント要素のそれぞれの変形態様が、第1アタッチメント要素および第2アタッチメント要素のそれぞれの角度変態様により表現されている。このため、各アタ

タッチメント要素のたわみ量などにより特定される変形態様が、当該各アタッチメント要素の複数箇所のそれぞれの変位態様または複数の点のそれぞれの変位ベクトルにより表現されている場合と比較して、データ量の低減を図りながらも、各アタッチメント要素の変形態様の推定精度の向上が図られる。

[0010] 本発明のクレーン変形態様推定システムにおいて、

前記入力処理要素が、前記アタッチメントにより吊り上げられる吊荷の重量を前記作用力因子として認識することが好ましい。

[0011] 当該構成のクレーン変形態様推定システムによれば、吊荷の重量が入力インターフェースを通じてユーザにより指定されることにより、当該指定重量を有する吊荷が吊り上げられている際にアタッチメントに作用する力に応じた当該アタッチメントの角度がその変形態様として推定される。

図面の簡単な説明

[0012] [図1]クレーン変形態様推定システムの構成説明図。

[図2]詳細クレーンモデルにより表現されるクレーンの概略説明図。

[図3]クレーンの構成説明図。

[図4]簡易クレーンモデルに関する説明図。

[図5]クレーン変形態様推定方法を示すフローチャート。

[図6]クレーン変形態様の推定結果の出力態様に関する説明図。

発明を実施するための形態

[0013] (クレーン変形態様システムの構成)

クレーン変形態様システム20は、端末装置40とネットワークを介して相互通信可能に接続されているサーバにより構成されている。

[0014] クレーン変形態様システム20は、入力処理要素21と、出力処理要素22と、推定処理要素24と、クレーンモデルデータベース28と、を備えている。クレーンモデルデータベース28は、クレーン変形態様システム20を構成するサーバとは別個のデータベースサーバにより構成されていてもよい。

[0015] 入力処理要素21、出力処理要素22および推定処理要素24のそれぞれ

は、単一のまたは複数の演算処理装置（CPU、シングルプロセッサコア、マルチプロセッサコアなど）により構成されている。当該演算処理装置が記憶装置（メモリ、ハードディスクなど）に格納されているデータおよびプログラム（コンピュータソフトウェア）を読み取り、当該データに基づき、当該プログラムにしたがって演算処理を実行する機能を有している。

[0016] 端末装置40は、例えばスマートホン、タブレット端末およびノートパソコンなどの携帯可能な情報処理装置により構成されている。端末装置40は、端末入力インターフェース41と、端末出力インターフェース42と、端末制御装置44と、を備えている。端末入力インターフェース41は、手動操作式のキーおよび／またはボタン、ならびに必要に応じて音声認識装置により構成されている。「Aおよび／またはB」という表現は、「AおよびBのうち少なくとも一方」を意味している。同様に、「A、Bおよび／またはC」という表現は、「A、BおよびCのうち少なくとも1つ」を意味している。端末出力インターフェース42は、画像表示装置および必要に応じて音声出力装置により構成されている。端末入力インターフェース41および端末出力インターフェース42がタッチパネルにより構成されていてもよい。端末制御装置44は、演算処理装置（CPU、シングルプロセッサコア、マルチプロセッサコアなど）により構成されている。当該演算処理装置が記憶装置（メモリ、ハードディスクなど）に格納されているデータおよびプログラム（コンピュータソフトウェア）を読み取り、当該データに基づき、当該プログラムにしたがって演算処理を実行する機能を有している。

[0017] （詳細クレーンモデルにより表現されるクレーンの構成）

図2には、詳細クレーンモデルにより表現されるクレーンの一例が示されている。詳細クレーンモデルによれば、クレーン10が無負荷状態であって変形していない場合における当該クレーンの複数の点 $p_n(0)$ （ $n=1, 2, \dots, N$ ）の座標値が定義され、クレーン10が負荷状態であって変形した場合における当該クレーンの複数の点 $p_n(m)$ の座標値が、FEM（有限要素法）にしたがって計算または算定される。図2に示されている移動式のクレーン

ーン１０は、下部走行体１１と、上部旋回体１２と、ブーム起伏装置１２１と、ジブ起伏装置１２２と、ブーム１４１と、ジブ１４２と、を備えている。下部走行体１１および上部旋回体１２により「クレーン本体」が構成されている。ブーム１４１（第１アタッチメント要素）およびジブ１４２（第２アタッチメント要素）により「アタッチメント１４」が構成されている。

[0018] クレーン１０の種類、仕様およびアタッチメント１４の種類は様々に変更されてもよい。クレーン１０の種類、仕様およびアタッチメント１４の種類により、クレーン１０の「機種」が定義されている。クレーン１０は、クローラークレーンではなく、ホイールクレーン（タイヤ走行するクレーン、ラフテレーンクレーン、トラッククレーン、オールテレーンクレーン）などの異なる移動式クレーンであってもよく、ジブクレーン、クライミングクレーンまたはタワークレーンなどの固定式クレーンであってもよい。クレーン１０が、タワークレーンのほか、ラフィングクレーンまたは固定ジブクレーンであってもよい。ジブ１４２が省略され、クレーン１０が、ブーム１４１をアタッチメント１４として備えていてもよい。ブーム１４が、テレスコ（登録商標）（伸縮）ブームのほか、ラチスブームであってもよい。

[0019] クレーン１０に対して位置および姿勢が固定されている、詳細クレーンモデルを定義する仮想空間における実機座標系は、下部走行体１１に対する上部旋回体１２の旋回軸線に平行な z 軸と、上部旋回体１２の前後方向に平行な x 軸と、 z 軸および x 軸のそれぞれに直交する y 軸と、により定義されている。クレーン１０の構成要素の位置および／または姿勢を説明するために実機座標系が適宜参照される。

[0020] 下部走行体１１は、例えば、原動機の動力をクローラおよび／またはホイールに伝達することにより当該クローラおよび／またはホイールが接している地面に対して移動する機能を有している。上部旋回体１２は、下部走行体１１の上側にあって下部走行体１１に対して旋回可能に連結されている。上部旋回体１２は、クレーン１０の前後方向のバランスをとるためのカウンタウエイト１２０と、キャブ１２４（運転室）と、を備えている。

- [0021] ブーム141は、左右一对のブームフットピン1410（フットピン）のそれぞれを介して、上部旋回体12の左右両側に対して起伏可能に取り付けられる。ブーム141は、パイプが組み合わされたラチス構造を有するラチスブームであってもよく、箱形構造を有する伸縮ブームであってもよい。
- [0022] ブーム141がラチスブームである場合、ブーム141の長手方向に垂直なブーム141の断面形状は、略四角形である。ブーム141は、左右の側面1411と、背面1412と、腹面1413と、を有している。ブーム141の左右の側面1411のそれぞれは、左方向（+y方向）および右方向（-y方向）のそれぞれに向いている。ブーム141の背面1412は、当該ブーム141が起こされた状態においてブーム141の後方向（-x方向）に向いている。ブーム141の腹面1413は、この状態においてブーム141の前方向（+x方向）に向いている。
- [0023] ブーム141が箱型構造の伸縮ブームである場合、ブーム141の長手方向に対してブーム141の断面形状は、略四角形である。この場合、当該断面における腹面1413に相当する輪郭線は略半円形状または略円弧状であってもよい。ブーム141がラチスブームである場合、ブーム141を構成するパイプには、主柱1414と、縦材1415と、横材（図示略）と、斜材1416と、がある。主柱1414は、ブーム141の四角形断面の4つの隅角部分に配置され、ブーム141の長手方向に延在しているパイプである。縦材1415は、側面1411を構成し、ブーム141の長手方向および横方向Yのそれぞれに直交する方向に延在している。図示しない横材は、背面1412および腹面1413を構成し、左右方向に延在しているパイプである。斜材1416は、ブーム141の表面を構成し、主柱1414、縦材1415および横材のそれぞれに対して傾斜する方向に延在している。
- [0024] ブーム141の背面1412の左右のそれぞれには、左右一对のブームバックストップ1210のそれぞれが取り付けられている。ブームバックストップ1210（バックストップ）は、ブーム141の回転を制限し、ひいては、上部旋回体12に対するブーム141の後方向への回転を制限する。ブ

ームバックストップ1210の上端部は、ブーム141に接触可能であってもよく、ブーム141に接続されていてもよい。ブームバックストップ1210の下端部は、上部旋回体12に接触可能であってもよく、上部旋回体12に接続されていてもよい。ブームバックストップ1210の上端部および下端部のうち少なくとも一方の端部は、当該端部と隣り合う構造物（ブーム141または上部旋回体12）に対して連結されている。ブームバックストップ1210は、ばねにより伸縮可能であってもよく、油圧により伸縮可能であってもよく、ばねおよび油圧により伸縮可能であってもよい。ジブバックストップ1220も同様である。

- [0025] 上部旋回体12に対してブーム141をクレーン本体または上部旋回体12に対して起伏させるためのブーム起伏装置121は、マスト1211と、ブームガイライン1212（ガイライン）と、上部スプレッド1213と、下部スプレッド1214と、ブーム起伏ロープ1215と、を備えている。
- [0026] マスト1211は、上部旋回体12に起伏可能に取り付けられ、ブーム141よりも後方向に配置される。マスト1211は、左右の（2本の）支柱と、左右の支柱どうしをつなぐ部材と、を備えている。
- [0027] ブームガイライン1212（ガイライン）は、マスト1211の先端部（上部旋回体12に取り付けられる側とは反対側）とブーム141の先端部とに接続される。ブームガイライン1212は、リンク部材（ガイリンク）およびロープ（ガイロープ）の少なくともいずれかを有する部材である（後述するジブガイライン1223およびストラットガイライン1224も同様）。ブームガイライン1212は、左右に（2本）設けられ、ブーム141およびマスト1211のそれぞれの左右部分に取り付けられる。
- [0028] 上部スプレッド1213は、複数のシーブを有する装置であり、マスト1211の先端部に配置される。下部スプレッド1214は、複数のシーブを有する装置であり、上部旋回体12の後方向端部に配置される。ブーム起伏ロープ1215は、下部スプレッド1214および上部スプレッド1213に掛けられている。このため、ブーム起伏ロープ1215が、ウインチ（図

示略)により巻き取られまたは繰り出されると、下部スプレッド１２１４と上部スプレッド１２１３との間隔が変化する。その結果、マスト１２１１は、上部旋回体１２に対して起伏する。マスト１２１１とブーム１４１とがブームガイライン１２１２で接続されているので、上部旋回体１２に対してマスト１２１１が起伏すると、上部旋回体１２に対してブーム１４１が起伏する。

[0029] ジブ１４２は、左右一対のジブフットピン１４２０（フットピン）のそれぞれを介して、ブーム１４１の左右両側に対して起伏可能または回動可能に連結されている。ジブ１４２は、ブーム１４１を介して、クレーン本体または上部旋回体１２に対して起伏可能である。ジブ１４２は、ラチス構造を有するラチスジブでもよく、箱形構造を有してもよい。

[0030] ブーム１４１と同様に、ジブ１４２は、左右の側面１４２１と、背面１４２２と、腹面１４２３と、を有している。ブーム１４１と同様に、ジブ１４２を構成するパイプには、主柱１４２４と、縦材１４２５と、横材（図示略）と、斜材１４２６と、が含まれている。

[0031] ジブ１４２の背面１４２２の左右両側のそれぞれに、左右一対のジブバックストップ１２２０が取り付けられている。ジブバックストップ１２２０（バックストップ）は、ジブ１４２の回転を制限し、ひいてはブーム１４１に対するジブ１４２の後方向への回転を制限する。ジブバックストップ１２２０の長手方向の一端は、ジブ１４２に接続されてもよく、ジブ１４２に接触可能でもよい。ジブバックストップ１２２０の長手方向の他端（ジブ１４２に接続される側とは反対側の端）は、ブーム１４１の先端部に接触可能でもよく、ブーム１４１の先端部に接続されてもよい。ジブバックストップ１２２０の一端および他端の少なくともいずれかの端部は、この端部と隣り合う構造物（ジブ１４２またはブーム１４１）に接続されている。

[0032] ブーム１４１に対してジブ１４２を回動させるためのジブ起伏装置１２２は、フロントストラット１２２１と、リアストラット１２２２と、ジブガイライン１２２３（ガイライン）と、ストラットガイライン１２２４（ガイラ

イン) と、ジブ起伏ロープ 1 2 2 6 と、を備えている。ストラット 1 2 2 1、1 2 2 2 は、ブーム 1 4 1 の先端部に対して起伏可能であり、ジブ 1 4 2 よりも後方向に配置されている。フロントストラット 1 2 2 1 は、ブーム 1 4 1 の先端部に起伏可能に取り付けられていてもよく、ジブ 1 4 2 の基端部に起伏可能に取り付けられていてもよい。フロントストラット 1 2 2 1 は、ラチス構造を有していてもよく、箱形構造を有していてもよい。これは、リアストラット 1 2 2 2 についても同様である。フロントストラット 1 2 2 1 の先端部には、複数のシーブが設けられる。これは、リアストラット 1 2 2 2 についても同様である。リアストラット 1 2 2 2 は、ブーム 1 4 1 の先端部に起伏可能に取り付けられている。リアストラット 1 2 2 2 は、フロントストラット 1 2 2 1 よりも、下方向および後方向のうち少なくともいずれか一方に配置されている。

[0033] ストラットは、1 本のみ設けられていてもよく、3 本以上設けられていてもよい。リアストラット 1 2 2 2 にバックストップ (リアストラットバックストップ 1 2 2 5) が取り付けられているが、フロントストラット 1 2 2 1 にバックストップが取り付けられていてもよい。

[0034] ジブガイドライン 1 2 2 3 (ガイドライン) は、フロントストラット 1 2 2 1 の先端部とジブ 1 4 2 の先端部とに接続される。左右一対のジブガイドライン 1 2 2 3 は、ジブ 1 4 2 およびフロントストラット 1 2 2 1 のそれぞれの左側および右側のそれぞれに取り付けられている。

[0035] ストラットガイドライン 1 2 2 4 (ガイドライン) は、リアストラット 1 2 2 2 の先端部とブーム 1 4 1 とに接続されている。左右一対のストラットガイドライン 1 2 2 4 は、リアストラット 1 2 2 2 およびブーム 1 4 1 のそれぞれの左側および右側のそれぞれに取り付けられている。

[0036] ジブ起伏ロープ 1 2 2 6 は、フロントストラット 1 2 2 1 およびリアストラット 1 2 2 2 のそれぞれの先端部のシーブに掛けられている。このため、ジブ起伏ロープ 1 2 2 6 が、図示しないウインチにより巻き取られまたは繰り出されると、リアストラット 1 2 2 2 の先端部とフロントストラット 1 2

２１の先端部との間隔が変わる。この結果、フロントストラット１２２１が、ブーム１４１に対して起伏する。フロントストラット１２２１とジブ１４２とがジブガイライン１２２３で接続されているので、ブーム１４１に対してフロントストラット１２２１が起伏すると、ブーム１４１に対してジブ１４２が起伏する。

[0037] キャブ１２４の内部に配置されている操作レバーおよびペダルなどにより構成されている実機操作機構が、当該キャブ１２４の内部に搭乗したオペレータにより操作されることにより、クレーン１０の動作が制御される。遠隔操作装置を構成する操作レバーおよびペダルなどにより構成されている遠隔操作機構がオペレータにより操作されることにより、クレーン１０の動作が遠隔制御されてもよい。クレーン１０は、例えば、油圧ポンプ、油圧アクチュエータ、およびコントロールバルブなどを備えている油圧回路により構成されている駆動機構によって駆動される。

[0038] クレーン１０は、主巻フック１６１と、補巻フック１６２と、主巻フック１６１を巻き上げるための主巻ワイヤロープ１６３と、補巻フック１６２を巻き上げるための補巻ワイヤロープ１６４と、をさらに備えている。主巻ワイヤロープ１６３および補巻ワイヤロープ１６４のそれぞれが別個のウインチ（図示略）により巻き上げられるまたは巻き下げられることにより主巻フック１６１および補巻フック１６２のそれぞれが昇降される。

[0039] 図３に示されているように、クレーン１０は、実機制御装置１００、センサ群１０１、実機操作機構１０２および駆動機構１０４を備えている。これらの構成は、詳細クレーンモデルにおいてクレーンを表現する際には省略される構成である。

[0040] 実機操作機構１０２は、上部旋回体１２の一部を構成するキャブ１２４（運転室）に搭載されている。実機操作機構１０２は、実機入力インターフェース１０２１および実機出力インターフェース１０２２を備えている。実機入力インターフェース１０２１は、下部走行体１１の移動動作、下部走行体１１に対する上部旋回体１２の旋回動作など、クレーン１０を操作するため

の操作レバーおよび操作ボタンなどにより構成されている。実機出力インターフェース 1022 は、画像表示装置のほか、音響出力装置により構成されている。操作レバーおよび操作ボタン、ならびに、画像表示装置等は、キャブ 124 の内部においてオペレータが座るシートの周囲に配置されている。

[0041] センサ群 101 は、ブーム 141 の上端部の位置または当該上端部を構成する 4 本の支柱 1414 のそれぞれの変位量を測定するためのセンサ、ならびに、ジブ 142 の上端部（先端部）の位置または当該上端部を構成する 4 本の支柱 1424 のそれぞれの変位量を測定するためのセンサにより構成されている。センサ群 101 は、さらに、ブームフットピン 1410 まわりのブーム 141 の仰角（または起伏角）および方位を測定するためのセンサ、ジブフットピン 1420 まわりのジブ 142 の回転角（または起伏角）および方位を測定するためのセンサ、吊荷用のワイヤに生じる張力およびワイヤの繰り出し長さを測定するためのセンサ、ならびに、下部走行体 11 に対する上部旋回体 12 の旋回角度を測定するためのセンサなどにより構成されている。ブーム 141 がラチスブームである場合、当該ブーム 141 の延在長さを測定するためのセンサは省略される。

[0042] 駆動機構 104 は、実機入力インターフェース 1021 を構成する実機操作レバー等の操作態様に応じて、下部走行体 11 の移動、下部走行体 11 に対する上部旋回体 12 の旋回、ブーム 141 およびジブ 142 のそれぞれの起伏および／または伸縮、ウインチによるワイヤの巻き取りまたは繰り出し等を実現するためのアクチュエータおよび力伝達機構等により構成されている。

[0043] （クレーンモデル）

前記構成のクレーン 10 のアタッチメント 14 の変形態様を表現するための簡易クレーンモデルによれば、図 4 に示されているように、アタッチメント 14 が実機座標系の $x-z$ 平面に平行な平面におけるスケルトンにより表現されている。

[0044] 図 4 において、点 $P_0(0)$ 、 $P_1(0)$ 、 $P_2(0)$ および $P_3(0)$ のそれ

それは、アタッチメント 14 により吊荷が吊り上げられていない状態（吊荷の重力がアタッチメント 14 に作用していない無負荷状態）におけるブームフットピン 1410、ブーム 141 の先端部（例えば、リアストラット 1222 の取り付け位置）、ジブフットピン 1420 およびジブ 142 の先端部のそれぞれに相当する。

[0045] 当該無負荷状態において、例えば、左右のブームフットピン 1410 のそれぞれを表わす 2 つの点 $p_{14101}(0)$ および $p_{14102}(0)$ の座標値の平均値が点 $P_0(0)$ の座標値 $(x_0(0), y_0(0), z_0(0))$ として定義されている。同様に、左右のジブフットピン 1420 のそれぞれを表わす 2 つの点 $p_{14201}(0)$ および $p_{14202}(0)$ の座標値の平均値が点 $P_2(0)$ の座標値 $(x_2(0), y_2(0), z_2(0))$ として定義されている。また、ブーム 141 の先端部を構成する 4 本の支柱 1414 またはそれらの先端部のそれぞれを表わす 4 つの点 $p_{14141}(0)$ 、 $p_{14142}(0)$ 、 $p_{14143}(0)$ および $p_{14144}(0)$ の座標値の平均値が点 $P_1(0)$ の座標値 $(x_1(0), y_1(0), z_1(0))$ として定義されている。同様に、ジブ 142 の先端部を構成する 4 本の支柱 1424 またはそれらの先端部のそれぞれを表わす 4 つの点 $p_{14241}(0)$ 、 $p_{14242}(0)$ 、 $p_{14243}(0)$ および $p_{14244}(0)$ の座標値の平均値が点 $P_3(0)$ の座標値 $(x_3(0), y_3(0), z_3(0))$ として定義されている。

[0046] ブーム 141（線分 $P_0(0) - P_1(0)$ に相当する。）およびジブ 142（線分 $P_2(0) - P_3(0)$ に相当する）のそれぞれの水平面に対する仰角 $\theta_1(0)$ および $\theta_2(0)$ は次の関係式 (01) および (02) により表現される。

$$[0047] \quad \theta_1(0) = \tan^{-1} \{ (z_1(0) - z_0(0)) / (x_1(0) - x_0(0)) \} \quad \cdots (01)。$$

$$[0048] \quad \theta_2(0) = \tan^{-1} \{ (z_3(0) - z_2(0)) / (x_3(0) - x_2(0)) \} \quad \cdots (02)。$$

[0049] 図 4 において、点 $P_0(m)$ 、 $P_1(m)$ 、 $P_2(m)$ および $P_3(m)$ のそれぞれは、アタッチメント 14 により質量 m の吊荷が吊り上げられている状態

(吊荷の重力がアタッチメント 1 4 に作用している負荷状態)におけるブームフットピン 1 4 1 0、ブーム 1 4 1 の先端部、ジブフットピン 1 4 2 0 およびジブ 1 4 2 の先端部のそれぞれに相当する。

[0050] 当該負荷状態において、例えば、F E M (有限要素法)にしたがって算出される左右のブームフットピン 1 4 1 0 のそれぞれを表わす 2 つの点 p_{14101} (m) および p_{14102} (m) の座標値の平均値が点 P_0 (m) の座標値 (x_0 (m)、 y_0 (m)、 z_0 (m)) として算出される。同様に、F E M (有限要素法)にしたがって算出される左右のジブフットピン 1 4 2 0 のそれぞれを表わす 2 つの点 p_{14201} (m) および p_{14202} (m) の座標値の平均値が点 P_2 (m) の座標値 (x_2 (m)、 y_2 (m)、 z_2 (m)) として算出される。また、F E M (有限要素法)にしたがって算出されるブーム 1 4 1 の先端部を構成する 4 本の支柱 1 4 1 4 またはそれらの先端部のそれぞれを表わす 4 つの点 p_{14141} (m)、 p_{14142} (m)、 p_{14143} (m) および p_{14144} (m) の座標値の平均値が点 P_1 (m) の座標値 (x_1 (m)、 y_1 (m)、 z_1 (m)) として算出される。同様に、F E M (有限要素法)にしたがって算出されるジブ 1 4 2 の先端部を構成する 4 本の支柱 1 4 2 4 またはそれらの先端部のそれぞれを表わす 4 つの点 p_{14241} (m)、 p_{14242} (m)、 p_{14243} (m) および p_{14244} (m) の座標値の平均値が点 P_3 (m) の座標値 (x_3 (m)、 y_3 (m)、 z_3 (m)) として算出される。クレーン 1 0 の仕様によっては、ブーム 1 4 1 またはジブ 1 4 2 の先端部の点を表わす座標値として、フック 1 6 1、1 6 2 を吊り下げるシーブを表わす点の座標値または複数の点の座標値の平均値が用いられてもよい。

[0051] ブーム 1 4 1 (線分 P_0 (m) - P_1 (m) に相当する。) およびジブ 1 4 2 (線分 P_2 (m) - P_3 (m) に相当する) のそれぞれの水平面に対する仰角 θ_1 (m) および θ_2 (m) は次の関係式 (2 1) および (2 2) により表現される。

[0052] θ_1 (m) = $\tan^{-1} \{ (z_1$ (m) - z_0 (m)) / (x_1 (m) - x_0 (m)) $\}$.. (2 1)。

[0053] θ_2 (m) = $\tan^{-1} \{ (z_3$ (m) - z_2 (m)) / (x_3 (m) - x_2 (m))

) } \cdots (22)。

[0054] ブーム141の水平面に対する仰角の偏差 $\Delta\theta_1 = \theta_1(m) - \theta_1(m)$ は、ブーム141が水平面に対して仰角 $\theta_1(m)$ （～上部旋回体12に対する起伏角度）をなす姿勢にあり、かつ、ジブ142が水平面に対して仰角 $\theta_2(m)$ （～上部旋回体12に対する起伏角度）をなす姿勢にある状態で、アタッチメント14により質量 m の吊荷が吊り上げられた際のブーム141の変形態様またはたわみ量を表わしている。ジブ142の水平面に対する仰角の偏差 $\Delta\theta_2 = \theta_2(m) - \theta_2(m)$ は、ブーム141が水平面に対して仰角 $\theta_1(m)$ の姿勢にあり、かつ、ジブ142が水平面に対して仰角 $\theta_2(m)$ の姿勢にある状態で、アタッチメント14により質量 m の吊荷が吊り上げられた際のジブ142の変形態様またはたわみ量を表わしている。

[0055] アタッチメント14の姿勢（ブーム141の仰角 $\theta_1(m)$ およびジブ142の仰角 $\theta_2(m)$ により特定される。）および当該アタッチメント14により吊り上げられる吊荷の質量 m がさまざまに変更されたうえで、前記のようなアタッチメント14の変形態様を表わす仰角偏差 $\Delta\theta_1$ 、 $\Delta\theta_2$ の特定が繰り返される。結果的に、アタッチメント14の姿勢と、吊荷の質量 m （アタッチメント14に対する力の作用態様）と、仰角偏差（角度変化態様）で表現されているアタッチメント14の変形態様と、の相関関係を表わす簡易クレーンモデルがテーブル、関数またはモデルパラメータなどにより定義される。簡易クレーンモデルは、詳細クレーンモデルと同様にクレーン10の機種ごとに別個に構築され、機種を識別するための機種識別子と関連付けられてクレーンモデルデータベース28に登録される。

[0056] （機能）

前記構成のクレーン変形態様推定システム20の機能について図5のフローチャートを用いて説明する。

[0057] 端末装置40において端末入力インターフェース41を通じて指定アプリ（アプリケーションソフトウェア）が起動されるなどの指定操作があったことに応じて、機種識別子を指定するための画面が端末制御装置44によって

端末出力インターフェース42に出力される(図5/STEP410)。

[0058] 端末制御装置44により、端末入力インターフェース41を通じて機種識別子が一定時間内に指定されたか否かが判定される(図5/STEP412)。当該判定結果が否定的である場合(図5/STEP412・NO)、STEP410以降の処理が繰り返される。

[0059] 当該判定結果が肯定的である場合(図5/STEP412・YES)、姿勢因子および作用力因子を指定するための画面が端末制御装置44によって端末出力インターフェース42に出力される(図5/STEP414)。

[0060] 「作用力因子」は、アタッチメント14に対する力の作用態様を特定するための因子である。例えば、アタッチメント14により吊り上げられる吊荷の質量が作用力因子に該当する。「姿勢因子」は、アタッチメント14の姿勢を特定するための因子である。例えば、ブーム141の水平面に対する仰角 θ_1 (m)(～上部旋回体12に対する起伏角度)およびジブ142の水平面に対する仰角 θ_2 (m)(～上部旋回体12に対する起伏角度)が姿勢因子に該当する。

[0061] 端末制御装置44により、端末入力インターフェース41を通じて姿勢因子および作用力因子が一定時間内に指定されたか否かが判定される(図5/STEP416)。当該判定結果が否定的である場合(図5/STEP416・NO)、STEP410以降の処理が繰り返される。

[0062] 当該判定結果が肯定的である場合(図5/STEP416・YES)、機種識別子、姿勢因子および作用力因子が端末制御装置44によって、端末出力インターフェース42を構成する端末無線通信機器により、クレーン変形態様推定システム20を構成するサーバに対して送信される(図5/STEP418)。

[0063] クレーン変形態様推定システム20において、入力処理要素21により機種識別子、姿勢因子および作用力因子が受信される(図5/STEP210)。推定処理要素24により、機種識別子により識別される機種に対応するクレーンモデルがクレーンモデルデータベース28から読み出されまたは検

索される（図5／STEP212）。推定処理要素24により、姿勢因子および作用力因子に基づき、当該クレーンモデルにしたがって、クレーン10のアタッチメント14の仮想空間における変形態様が推定される（図5／STEP214）。これにより、ブーム141が水平面に対して仰角 θ_1 （m）をなす姿勢にあり、かつ、ジブ142が水平面に対して仰角 θ_2 （m）をなす姿勢にある状態で、アタッチメント14により質量mの吊荷が吊り上げられた際のブーム141の変形態様またはたわみ量がブーム141の水平面に対する仰角偏差 $\Delta\theta_1 = \theta_1$ （m） $-\theta_1$ （m）およびジブ142の水平面に対する仰角偏差 $\Delta\theta_2 = \theta_2$ （m） $-\theta_2$ （m）が、ブーム141およびジブ142の変形態様またはたわみ量として推定される（図4参照）。

[0064] 続いて、出力処理要素22により当該推定結果が端末装置40に対して送信される（図5／STEP220）。これに応じて、端末装置40において端末制御装置44により端末無線通信機器を通じて当該推定結果が受信される（図5／STEP420）。そして、端末制御装置44により、端末出力インターフェース42に当該推定結果を表わす画面が出力される（図5／STEP420）。これにより、例えば図6に示されているように、姿勢因子により特定される姿勢にある変形前のアタッチメント14と、作用力因子により特定される態様で仮想的に作用する力に応じた変形後のアタッチメント14と、が模擬的に表現され、かつ、当該変形量を表わす仰角偏差 $\Delta\theta_1$ および $\Delta\theta_2$ の数値が示されている画面が端末出力インターフェース42に出力される。

[0065] （作用効果）

前記機能を発揮するクレーン変形態様推定システム20によれば、クレーン本体に対して起伏可能に連結されているアタッチメント14を構成する、ブーム141（第1アタッチメント要素）およびジブ142（第2アタッチメント要素）のそれぞれの変形態様がクレーンモデルにしたがって推定される。クレーンモデルは、クレーン本体に対して起伏可能に連結されているアタッチメント14に対する力の作用態様を特定するための「作用力因子」と

、ブーム141およびジブ142のそれぞれの姿勢を特定するための「姿勢因子」と、ブーム141およびジブ142のそれぞれの変形態様を表わす「角度変化（仰角偏差 $\Delta\theta_1$ 、 $\Delta\theta_2$ ）」と、の相関関係を表わすモデルである（図4参照）。すなわち、クレーンモデルでは、ある姿勢のアタッチメント14に対する力の作用態様に応じた当該アタッチメント14を構成するブーム141およびジブ142のそれぞれの変形態様が、ブーム141およびジブ142のそれぞれの角度変化量により表現されている。このため、各アタッチメント要素のたわみ量などにより特定される変形態様が、当該各アタッチメント要素の複数箇所のそれぞれの変位態様または複数の点のそれぞれの変位ベクトルにより表現されている場合と比較して、当該複数の点を代表する単一の角度によって表現されることでデータ量の低減を図りながらも、ブーム141およびジブ142の変形態様の推定精度の向上が図られる。

[0066] （本発明の他の実施形態）

前記実施形態では、クレーン変形態様推定システム20が端末装置40と相互通信機能を有するサーバにより構成されていたが、他の実施形態としてクレーン変形態様推定システム20が端末装置40により構成されていてもよい。

[0067] 前記実施形態では、ブーム141およびジブ142のそれぞれの変形態様が、実機座標系の $x-z$ 平面に平行な平面におけるブーム141およびジブ142のそれぞれの仰角偏差 $\Delta\theta_1$ 、 $\Delta\theta_2$ として表現または推定されていたが、他の実施形態として、ブーム141およびジブ142のそれぞれの変形態様が、実機座標系の $y-z$ 平面または $x-y$ 平面に平行な平面におけるブーム141およびジブ142のそれぞれの仰角偏差 $\Delta\theta_1$ 、 $\Delta\theta_2$ として表現または推定されていてもよい。アタッチメント14のたわみ方向およびたわみ量のほか、アタッチメント14のねじれ方向およびねじれ量により、アタッチメント14の変形態様が表現または定義されていてもよい。

[0068] 前記実施形態では、アタッチメント14により吊り上げられる吊荷の質量 m 、ひいては当該吊荷の重力由来の力がワイヤを介してアタッチメント14

に作用する態様が力作用因子により定義または特定されていたが、他の実施形態として、吊荷の質量 m に代えてまたは加えて、下部走行体 11 に対する上部旋回体 12 の旋回角速度および／または旋回角加速度の時間変化態様、ブーム 141 の起伏角速度および／または起伏角加速度の時間変化態様、ならびに、ジブ 142 の起伏角速度および／または起伏角加速度の時間変化態様により、当該角速度および／または角加速度に由来してアタッチメント 14 に作用する慣性力の作用態様が力作用因子により定義または特定されていてもよい。

符号の説明

[0069] 10・・・クレーン、11・・・下部走行体、12・・・上部旋回体、14・・・アタッチメント、20・・・クレーン変形態様推定システム、21・・・入力処理要素、22・・・出力処理要素、24・・・推定処理要素、28・・・クレーンモデルデータベース、40・・・端末装置、41・・・端末入力インターフェース、42・・・端末出力インターフェース、44・・・端末制御装置、100・・・実機制御装置、101・・・センサ群、102・・・実機操作機構、104・・・駆動機構、124・・・キャブ（運転室）、141・・・ブーム、142・・・ジブ、1021・・・実機入力インターフェース、1022・・・実機出力インターフェース。

請求の範囲

- [請求項1] クレーンにおいてクレーン本体に対して起伏可能に連結され、外力および慣性力のそれぞれに応じて変形するアタッチメントの仮想的な変形態様を推定するための演算処理装置を備えているシステムであって、
- 前記演算処理装置が、
- 入力インターフェースを通じて入力された前記アタッチメントに対する力の作用態様を特定するための作用力因子と、前記アタッチメントの姿勢を特定するための姿勢因子と、を認識する入力処理要素と、
- 前記入力処理要素により認識された前記作用力因子および前記姿勢因子に基づき、前記作用力因子と、前記姿勢因子と、前記アタッチメントの変形態様を表わす角度変化態様と、の相関関係を表わすクレーンモデルにしたがって、前記アタッチメントが前記姿勢因子により特定される姿勢を基準として、前記アタッチメントに対して前記作用力因子により特定される態様で力が作用している状態における当該アタッチメントの変形態様を表わす角度変化態様を前記アタッチメントの変形態様として推定する推定処理要素と、
- 前記推定処理要素により推定された前記アタッチメントの変形態様を表わす情報を出力インターフェースに出力させる出力処理要素と、を備えている
- ことを特徴とするクレーン変形態様推定システム。
- [請求項2] 請求項1記載のクレーン変形態様推定システムにおいて、
- 前記入力処理要素が、前記アタッチメントを構成する、前記クレーン本体に対して起伏可能に連結されている第1アタッチメント要素の姿勢を特定するための第1姿勢因子と、前記第1アタッチメント要素に対して姿勢および位置のうち少なくとも一方を変更可能に、直接的にまたは間接的に連結されている第2アタッチメント要素の姿勢を特定するための第2姿勢因子と、のそれぞれを前記姿勢因子として認識

し、

前記推定処理要素が、前記アタッチメントが前記姿勢因子により特定される姿勢を基準として、前記アタッチメントに対して前記作用力因子により特定される態様で力が作用している状態における前記第1アタッチメント要素および前記第2アタッチメント要素のそれぞれの姿勢変化態様を表わす角度変化態様を前記アタッチメントの変形態様として推定する

ことを特徴とするクレーン変形態様推定システム。

[請求項3]

請求項1または2記載のクレーン変形態様推定システムにおいて、

前記入力処理要素が、前記アタッチメントにより吊り上げられる吊荷の重量を前記作用力因子として認識する

ことを特徴とするクレーン変形態様推定システム。