

論文内容要旨 (和文)

2014年度入学 大学院博士後期課程

機械システム工学専攻

氏名 Erick Fernando Moya Arimie



論文題目 Study on an Inertially Stabilized Platform with a Two-axis Passive Gimbal for an Omnidirectional Vehicle

(全方向移動車両のための2軸受動ジンバル機構に基づく慣性利用型車体安定装置の研究)

本研究においては、慣性に基づいて物体搬送用トレイの姿勢を安定化する受動ジンバル機構の設計・製作を行い、そのジンバル機構を備えた全方向移動車両を開発した。

特に、重い荷物を搬送して人間を補助することを目的として、使用者が物体搬送用トレイの上に置いた荷物の重さと、トレイ上の重心の位置・高さを瞬時に計測・計算し、それに基づいて X-Y-Z 方向の能動軸を動かしてカウンターウェイトとしてのバッテリーや制御装置の位置を変更し、ジンバル機構全体の重心の位置が、ジンバル機構の受動回転軸の交点の位置に一致するようにして、全方向移動車両がどのような不整地や斜面を移動しても、物体搬送用トレイの姿勢が水平を保つように制御アルゴリズムを構築した。

本研究で解決することを目指した、従来の、慣性による姿勢安定化技術の問題は、以下に挙げられるようなものである。

1. 従来の技術においては、実際に慣性による姿勢安定化機構を運用する前に、「安定化されるべき物体」の重さや形状を正確に把握した上で、姿勢安定化機構を制御する必要があった。すなわち、ジンバル機構全体の重心位置を、ジンバル機構の回転軸の交点の位置に一致させるということを、手動で、様々なノウハウに基づき、極めて高い精度で正確に行った上で、ジンバル機構に付属させたアクチュエータを用いて、能動的な制御を行うという方式であった。

2. 従来技術においては、搬送車両が運動している間、物体搬送用トレイを支持しているジンバル機構の回転軸を回転させている能動アクチュエータを常にリアルタイムで制御しておかなければならず、そのアクチュエータの制御の遅延やサイクルタイムが問題になると同時に、常にアクチュエータを駆動していなければならないことによる、大きなエネルギー消費の問題があった。

上記の問題を有する従来技術に対する本研究の特長は、ジンバル機構のロール・ピッチ軸に直接アクチュエータを配置して、能動的にジンバル機構の姿勢角を制御するのではなく、ジンバル機構全体の重心を、全方向移動車両が動き出す前にジンバル機構の回転軸の交点に予め一致させておくように X-Y-Z 方向の能動軸を動かしてカウンターウェイトの位置を制御することによって、物体搬送用トレイの姿勢を水平に維持するためのエネルギー消費を抑えて、計算の負荷を減らすことを可能にした点にある。このことは、より容易で直感的な対人インターフェースによるロボットの制御も可能とする。

本研究は、このように慣性を用いて、ジンバル機構を安定化するためのセンサ系および電子回路を構成し、十分なリアルタイム性を持って、出来る限り素早く、全方向移動車両が動き出す前に X-Y-Z 方向の能動軸を制御するためのアルゴリズムを制御ソフトウェア上に構築した。これは、物体搬送用トレイの姿勢を安定化するのみならず、物体搬送用トレイに取り付けられた、視覚カメラなどのセンサレイの姿勢を、水平方向に安定化するためにも使用可能なものである。

全方向移動車両の姿勢角の変化は、慣性計測ユニット(IMU)により計測した。これは、ジンバル機構が実現するべき安定化されたトレイの姿勢角を計算するためにも使用された。

上記の従来技術の問題(1)については、物体搬送用トレイを支持する 120° おきの支柱にそれぞれ力センサを配置し、それらの合計3個の力センサの出力に基づいて、物体搬送用トレイの上に置かれた物体の重心の位置と高さを計算するという手法を用いた。

また、上記の従来技術の問題(2)については、全方向移動車両が動き出す前に、予め X-Y-Z 方向の能動軸を動かしてカウンターウェイトの位置を変更し、ジンバル機構全体の重心の位置を、ジンバル機構の受動回転軸の交点に一致させて、全方向移動車両がどのように運動しても、物体搬送用トレイの姿勢が水平を保つようにした。この方法により、全方向移動車両の運動中には、予め X-Y-Z 方向の能動軸を駆動するためのアクチュエータをリアルタイム制御する必要がなくなり、エネルギー消費や計算の負荷を小さく抑えることが可能となった。

本論文では、2台の試作機の製作・改良を通して開発された、上記の物体搬送用トレイおよびジンバル機構の慣性による姿勢安定化技術について詳述し、特に、物体が物体搬送用トレイの上に載せられた後に、その物体の、重心の位置と高さなどを、極めて短時間で計算するアルゴリズムを紹介し、そのアルゴリズムによって可能となった、低いエネルギー消費と計算負荷による物体搬送型全方向移動車両の機能について説明を行う。

論文内容要旨 (英文)

2014年度入学 大学院博士後期課程

機械システム工学専攻

氏 名 Erick Fernando Moya Arimie



論 文 題 目 Study on an Inertially Stabilized Platform with a Two-axis Passive Gimbal for an Omnidirectional Vehicle

In this thesis, I describe the design of a wheeled omnidirectional robot equipped with a stabilization mechanism that maintains a steady line of sight a payload mounted to it, despite external motion disturbance. The stabilization method employed is motion isolation with a two-axis gimbal with passive revolute joints. I introduce a method for the calculation of the position of the center of gravity of the payload placed on the stabilizing mechanism.

Chapter one states the concept of inertial stabilization. An inertially stabilized platform consists of a gimballed electromechanical system that maintains a steady line of sight (LOS) of a payload with respect to an inertial reference frame. The stabilizing platform is mounted on a host vehicle, such an aircraft, ship, ground vehicle, or mobile robot, and a payload (camera, a communication instrument, sensor, etc.) is placed on the platform. The angular motion of the host vehicle is measured with an inertial measurement unit (IMU). The stabilizing algorithm uses this measurement as feedback to calculate the target orientation of the gimbal to compensate for the changes in orientation of the host vehicle.

In chapter 2, I describe the principle of operation of the inertially stabilized platform with passive two-axis gimbal. The method chosen to tackle the challenge of latency in stabilization response of an inertially stabilized platform is the implementation of a passive gimbal. In the proposed method, the gimbal is suspended on the host vehicle chassis by freely rotating (passive) joints, with no coupling between the gimbal and the host vehicle chassis. As a result, the gimbal is isolated from the vehicle chassis angular motion. This eliminates the need for compensation, therefore eliminates response latency. The stabilizing mechanism of the inertially stabilized platform with two-axis passive gimbal consists of a platform located above the centers of rotations of the gimbal's passive roll and pitch axes. A counterweight is mounted below the centers of rotation of the passive gimbal's roll and pitch axes. The counterweight consists of a XY stage with omnidirectional driving gear. The rotation of the stabilized platform about its roll and pitch axes is achieved by actuating the XY stage to displace the counterweight horizontally. Moreover, the counterweight is mounted on a Z stage that displaces it vertically. The pitch and roll inclination angle of the passive gimbal caused by placing the payload on the platform are measured with a nine degrees-of-freedom

inertial measurement unit. The measured orientation angles of the gimbal are used to displace the position of the counterweight in order to align the line of sight of the platform to be parallel to the ground. The vertical position of the counterweight is adjusted with the Z stage to locate the center of gravity of the payload-counterweight system at the crossing point of the orthogonal gimbal axes, eliminating inertia moments induced on the passive gimbal roll axis and pitch axis by motion of the host vehicle.

Chapter 3 describes the method to calculate the position of the center of gravity of the payload placed on the inertially stabilized platform. In the proposed stabilized platform, the weight of the payload is measured with three strain gauge load cells laid out equidistant from the platform's vertical axis of symmetry. The horizontal position of the payload's center of gravity is calculated using the relationships of the values measured by each load cell. The vertical position of the payload's center of gravity is calculated using the inclination of the passive gimbal resulting from the placement of the payload on the platform.

Chapter 4 shows the results from fundamental experiments performed on the stabilizing mechanism. A fundamental experiment was carried out to measure the maximum linear speed XY stage and Z stage mechanisms used to displace the counterweight position. The X stage was found to have a maximum linear speed of 200 mm/s. The Y stage was found to have a maximum linear speed of 210 mm/s. The Z stage was found to have a maximum linear speed of 5.7 mm/s. A fundamental experiment was performed to measure the accuracy of calculation for the horizontal position of the center of gravity of a payload placed on the platform. For this experiment, a 1.5 kg calibration weight was used. The results show an average standard error of 1.2 mm in the calculation of the X coordinate of the center of gravity. An average standard error of 0.14 mm on the calculation of the Y coordinate of the center of gravity was found. The fundamental experiment to measure the accuracy of calculation of the vertical position of the center of gravity of the payload showed a minimum relative error of 5.94% from the expected value. A fundamental experiment was done to measure the stability of line of sight of a 3.5 kg payload placed on the stabilizing mechanism. The experiment was done by driving the omnidirectional vehicle down a 15 degree slope. The payload's pitch inclination angle had a max. of 1.9 degrees and a min. of -0.1 degrees. The payload's roll inclination angle had a maximum of 0.15 degrees and a minimum of -0.3 degrees.

Chapter 5 shows the summary of the study. The feasibility of the method for stabilization and calculation of the mass properties of the payload was experimentally tested. It was found that the method of mass stabilization by center of gravity displacement is feasible. Furthermore, the method proposed to calculate the three-dimensional position of the center of gravity of the payload was experimentally tested and found to be feasible.

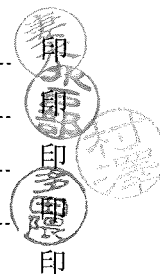
学位論文の審査及び最終試験の結果の要旨

2017年 8月 17日

理工学研究科長 殿

課程博士論文審査委員会

主査 妻木 勇一
 副査 水戸部 和久
 副査 村澤 剛
 副査 多田隈 理一郎
 副査



学位論文の審査及び最終試験の結果を下記のとおり報告します。

記

論文申請者	機械システム工学専攻 氏名 Erick Fernando Moya Arimie		
論文題目	Study on an Inertially Stabilized Platform with a Two-axis Passive Gimbal for an Omnidirectional Vehicle (全方向移動車両のための2軸受動ジンバル機構に基づく慣性利用型車体安定装置の研究)		
学位論文審査結果	合格	論文審査年月日	2017年 7月 26日～ 2017年 8月 10日
論文公聴会	2017年 8月 10日	場 所	工学部 6-508 教室
最終試験結果	合格	最終試験年月日	2017年 8月 10日

学位論文の審査結果の要旨 (1,000 字程度)

本論文は、安定して物体を搬送するために、慣性を利用した新しい2軸受動ジンバル機構と、搭載物体の重心位置を推定するためのセンサシステムおよびアルゴリズムを提案し、試作機を設計・製作し、提案手法の有用性を実験により検証したものである。

第一章では、人間の生活空間で荷物を運搬する自走車両を中心に、十分な数の文献を引用して、本研究の背景及び位置づけを示した。2軸受動ジンバル機構と、カウンターウェイト位置をX-Y-Z軸方向に自在に変更する仕組みとの組み合わせが、先行例の無い、学術的新規性の高いものであることが示されている。第二章においては、全方向駆動歯車を応用することで、カウンターウェイトの位置を制御する装置の原理を提案した。第三章においては、物体搬送用トレイの支柱にロードセルを配置し、物体搬送用トレイの上に置かれた物体の重心の座標を、短時間で計算するアルゴリズムについて詳述した。特に、物体がトレイの上に載せられた直後の、トレイがまだ揺れている状態から、トレイの上に置かれた物体の重心を推定して、X-Y-Z軸ステージを駆動するアルゴリズムに学術的新規性が認められる。第四章においては、前述の全方向移動車両と2軸受動ジンバル機構およびセンサシステムを用いた各種の走行実験について述べ、そのデータの意味について議論した。第五章においては、従来型と比較して、開発した物体搬送ロボットが、トレイ及び車体の安定性において優れていることを、実験的に確認して、論文全体の結論とした。このように、本学位論文は、適切な構成と共に、論理的に論点が記述されており、設定した研究テーマに沿った明確な結論が述べられている。

上記の研究成果は、この学位論文に密接に関連する査読付き筆頭著者論文1報が学術雑誌に掲載され、かつ別の査読付き筆頭著者論文1報が全文査読付き国際会議にてフルペーパーのプロシーディング論文として発表されており、当該専攻の審査基準を満たしている。

以上より、本論文により得られた知見およびその成果は、ロボット工学及び機械工学の発展に寄与するところが少なくない。よって、博士(工学)の学位論文として合格と判定した。

なお、本論文は、研究倫理又は利益相反等に係る学内規則に基づく手続きは必要ない。

最終試験の結果の要旨

最終試験は、学位論文に関する1時間の口頭発表の後に、主査・副査の教員により、30分以上に渡り質疑応答を行う形で実施された。当該学生の、専門的知識と、学位論文の妥当性、論理性について、深い議論が行われた。その結果、博士の学位を授与するのに十分な知識と能力を有していると判断されたため、最終試験について合格と判定した。