

(19)



**Евразийское
патентное
ведомство**

(11) **035113**

(13) **B1**

(12) **ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОМУ ПАТЕНТУ**

(45) Дата публикации и выдачи патента
2020.04.29

(21) Номер заявки
201891305

(22) Дата подачи заявки
2016.12.16

(51) Int. Cl. **H01Q 1/18** (2006.01)
H01Q 1/28 (2006.01)
F16F 13/00 (2006.01)
F16F 9/02 (2006.01)

(54) **КОМПАКТНАЯ СИСТЕМА СТАБИЛИЗИРУЕМОГО НАВЕДЕНИЯ**

(31) **102015000088006**

(32) **2015.12.28**

(33) **IT**

(43) **2019.01.31**

(86) **PCT/IB2016/057714**

(87) **WO 2017/115204 2017.07.06**

(71)(73) Заявитель и патентовладелец:
СТЕЛЛАР ПРОДЖЕКТ С.Р.Л. (IT)

(72) Изобретатель:
**Сансоне Франческо, Франческони
Алессандро (IT)**

(74) Представитель:
Нилова М.И. (RU)

(56) US-A1-2009050191
JP-A-11097919
DE-A1-102009030239
EP-A1-0043772

(57) Предпочтительной областью применения настоящего изобретения являются технологии стабилизации ориентации платформы наведения в небольших спутниках, таких как, например, так называемые наноспутники. По существу, использование наноспутников для решения низкозатратных задач в космическом пространстве требует наличия у них технических характеристик, подходящих для обеспечения большого количества возможных новых применений, в частности необходимо, чтобы они обеспечивали надлежащее качество связи даже при ограниченности энергоресурсов. Таким образом, для обеспечения максимально возможной эффективности каналов связи важно иметь очень точные системы наведения. Кроме того, следует отметить, что платформы наноспутников также являются очень нестабильными, в результате чего такое наведение, при его достижении, необходимо непрерывно стабилизировать. Наконец, механизмы наведения и стабилизации должны иметь небольшой вес и компактные размеры с тем, чтобы соответствовать другим стандартным ограничивающим условиям (а именно, по весу и размеру) задач в космическом пространстве, при этом они также могут быть использованы и в других областях применения. Механизм, предложенный в настоящем изобретении, обеспечивает регулирующую опорную платформу, прикрепленную к спутниковой платформе (или в целом к нестабильной платформе) в одном из мест посредством шарнира с двумя или тремя степенями свободы. В дальнейшем ориентацией и стабилизацией такой ориентируемой платформы управляют посредством других ограничителей, представляющих собой удлиняемые ножки с регулируемой длиной. Механизм в целом обеспечивает приемлемое решение проблемы стабилизации наведения и одновременно с этим позволяет существенно снизить вес и габаритные размеры.

035113
B1

035113
B1

Предпочтительной областью применения настоящего изобретения является стабилизация ориентации платформы наведения в небольших спутниках, таких как, например, так называемые наноспутники.

Из приведенного далее описания будет понятно, что для использования наноспутников для решения низкокзатратных задач в космическом пространстве необходимо, чтобы эти наноспутники имели технические характеристики, достаточные для обеспечения выполнения новых возможных задач, например может потребоваться более высокое качество связи по сравнению с существующим качеством связи, так что в перспективе было бы целесообразно, в частности, оборудовать эти наноспутники стабилизированной платформой, которая бы позволила корпусу терминала связи работать на несущих частотах оптического диапазона, при этом такой терминал может потребовать точного наведения для обеспечения функционирования.

Несмотря на то, что потребность в стабилизированной платформе является особо актуальной и характеризуется все растущими требованиями в вышеописанных космических областях применения, очевидно, что технология, раскрытая в приведенном далее описании, также может быть применена и в других средах, в которых имеется та же потребность, то есть общее требование наличия компактной и легкой платформы, выполненной с возможностью поддержания стабильной ориентации с заданной точностью, даже если она установлена в нестабилизированной опорной системе.

Проекты на основе обычных спутников характеризуются высокой стоимостью их запуска и очень длительными сроками, которые могут быть необходимы для решения каждой задачи. Эти прерогативы составляют ограничение на распространение обычных спутников и их использование в инновационных областях применения с высоким коммерческим риском, так что эти прерогативы также представляют препятствие для дальнейших разработок, даже в технологическом аспекте.

Этот технико-экономический сценарий, который подрывает полномасштабное развитие коммерческого использования космоса на основе обычных платформ спутников, а с другой стороны, вероятно содействует использованию спутников малых или сверхмалых размеров, например так называемых наноспутников. По существу, наноспутники являются технологическим решением, используемым для решения многих задач, и не подверженным влиянию вышеописанных ограничений.

Становится все более и более очевидным, насколько быстро растут объемы использования спутников, вес которых составляет несколько десятков килограммов или менее: обычно термин "наноспутник" относится к любому спутнику, который весит менее десяти килограмм, вплоть до нескольких килограмм, и имеет размеры, составляющие порядка нескольких дециметров.

Такие небольшие размеры и небольшой вес позволяют существенно снизить затраты на их запуск на орбиту. Данный факт является очень важным, поскольку он приводит в действие эффективный экономический цикл: по существу, более высокое ожидаемое количество запусков оправдывает объединение конструктивных стандартов, которые делают возможными модульные конструкции наноспутниковых платформ, с обеспечением в результате дальнейшего снижения затрат. Кроме того, большое количество объектов, построенных в соответствии с надлежащими стандартами, позволит достигнуть улучшенных технических характеристик и улучшенной надежности, все более и более способствуя закреплению наноспутниковой технологии во всех областях применения, в которых она может быть использована.

Таким образом, приведенное ниже описание будет в целом касаться стабилизирующих платформ, устанавливаемых на наноспутниках; однако оно не предназначено для исключения случая больших спутников или даже установки в других средах, в которых существует потребность в создании платформы, выполненной с возможностью поддержания стабилизируемого наведения. Ссылка на наноспутники просто представляет обычный случай применения, который помимо того, что является случаем применения, эффективным для иллюстрации настоящего изобретения, также представляет очень перспективное применение с технической точки зрения.

Эта краткая информация об успехе, ожидающем наноспутниковые платформы, приведена в данном документе в основном с тем, чтобы подчеркнуть важность технической проблемы, которая может иметь значительное влияние в плане ускорения областей применения, основанных на использовании наноспутниковой технологии.

По существу, небольшие размер и вес если с одной стороны и имеют преимущество, заключающееся в вышеописанной оптимизации затрат, то с другой стороны они приводят и к новым техническим проблемам, поскольку вся бортовая измерительная аппаратура (или полезная нагрузка) должна, в частности, иметь небольшие размеры, иметь компактные размеры и иметь небольшой вес с одновременным обеспечением высокой производительности даже при ограниченности доступных ресурсов.

В частности, важно следить за техническими характеристиками систем телекоммуникации. По существу, любому спутнику необходимо устанавливать связь независимо от области применения, для которой он был спроектирован. Например, спутник для разведки наблюдением, который получает изображения Земли, должен быть выполнен с возможностью их передачи в центр управления, также как и любой другой спутник, выполненный с возможностью сбора метеорологических данных или данных о состоянии окружающей среды.

В случае наноспутников проблема установления связи обусловлена также тем, что эти спутники размещены на достаточно низких орбитах, в результате чего они совершают перемещение по отношению

к Земле (и в целом по отношению друг к другу) на достаточно высоких скоростях, что приводит к тому, что временные окна видимости, которые представляют собой период времени, в течение которого два терминала могут устанавливать связь друг с другом, поскольку они находятся достаточно близко друг к другу в поле обзора, могут быть очень короткими.

Это ограничительное условие в отношении длительности осуществления связи в сочетании с требованиями к объему передаваемых данных, который необходим для решения каждой отдельной задачи, заставляет искать системы связи, выполненные с возможностью поддержания существенной скорости передачи данных. Это обусловлено тем, что чем выше скорость обработки данных, которую может поддерживать наноспутник, тем большее количество функций этот наноспутник может выполнить, и тем менее требовательной и сложной будет телекоммуникационная сеть, которую будет необходимо создать для каждого заданного варианта применения таких наноспутников.

Скорость радиопередачи данных в свою очередь связана с мощностью передатчика, а мощность связана с весом и размером системы. В итоге, если требования небольшого веса и размера являются важными основополагающими требованиями для наноспутников, можно сделать вывод, что системы радиосвязи, которые они могут задействовать, ограничены в части скорости ограничительными условиями по весу и размерам передатчика (что ограничивает доступную мощность).

Это ограничение систем радиосвязи в результате привело к росту заинтересованности в оптической связи. По существу, оптическая связь позволяет получить энергетический потенциал линии связи, которая, при наличии доступной энергии на борту наноспутника, может достигать скорости передачи данных, превышающей на несколько порядков скорости передачи данных, получаемые с использованием передатчиков, работающих на радиочастотах. Это обусловлено более высокой направленностью оптических несущих и лучшим контролем шума в оптических сигналах. В итоге, можно сделать вывод, что оптические системы связи подходят, в частности, для создания терминалов, выполненных с возможностью поддержания существенной скорости передачи с одновременным сохранением уменьшенного веса и размера.

Однако при этом следует отметить, что технология связи не является задачей настоящего изобретения, поскольку они являются известными оптическими передающими системами, подходящими для установления связи для решения задач на больших спутниках, или прототипами таких систем, предназначенных для работы на наноспутниках. Настоящее изобретение скорее сосредоточено на механической опоре для телекоммуникационных элементов и раскрывает платформу для поддержания стабилизируемого наведения для использования преимущества предельной направленности, которая может быть достигнута с помощью передачи данных по оптическим несущим.

Для целей пояснения настоящего изобретения приведенное выше описание служит исключительно для объяснения того, почему важно обеспечить возможность использования оптических терминалов при установлении связи, в которой задействован по меньшей мере один наноспутник: причина заключается в том, что связь по оптическим несущим (или лазерным несущим) подходит, в частности, для поддержания высокоскоростной и маломощной связи.

Предельная направленность лазерной несущей для оптической связи на расстояния, типичные для космической области применения, наоборот требует чрезвычайно высокой точности наведения, а именно порядка микро радиан. В зависимости от случая оптическая связь, осуществляемая на большие расстояния и характеризующаяся высокой мощностью, может предъявлять требования к точности наведения порядка нескольких микро радиан или нескольких десятков микро радиан.

Таким образом, последовательность приведенных выше аргументов, приводит к выявлению очень сложной технической проблемы.

По существу, наноспутники, имеющие очень небольшую массу, подвержены неблагоприятным воздействиям в широком спектре частот, которые определяют движения, которые сложно скомпенсировать. Кроме того, поскольку по соображениям веса и размеров количество бортовых ресурсов (таких как движущая сила, мощность или инерционные массы) чрезвычайно снижено, то чрезвычайно сложно обеспечить точную стабилизацию всего наноспутника.

Таким образом, система наведения, необходимая для поддержания в активном состоянии направленного беспроводного соединения, в частности в случае, когда она является активной по оптической несущей, должна компенсировать присущую нестабильность ориентации наноспутника, на котором она установлена.

Показатели качества связи, в которой задействован наноспутник, близкие к тем, которые можно достичь с помощью известных систем, все еще являются недостаточными.

Задачей является обеспечение очень компактного терминала, вес которого, включая механизм наведения и стабилизации, составляет порядка килограмма (или даже менее) с одновременным обеспечением очень высокой точности наведения, даже при установке на чрезвычайно нестабильной платформе, такой как наноспутник, который имеет высокую чувствительность к возмущениям окружающей среды, поскольку он оборудован системой управления пространственной ориентацией, имеющей намного худшие показатели по сравнению с показателями, характерными для обычных больших спутников.

Основная суть вышеописанной проблемы заключается в том, что до сих пор не было предложено

полностью удовлетворительных решений.

Например, в некоторых проектах, координируемых Массачусетским технологическим институтом (MIT), в котором эти проблемы решили с использованием передовых методик, техническое решение проблемы стабилизации наведения искали с использованием технологии, называемой "быстрое отклоняющее зеркало" (FSM), представляющей собой технологию, в которой лазерный источник, неподвижный относительно наноспутниковой платформы, направлен на зеркало с управляемой ориентацией, выполненное с возможностью поддержания стабильной ориентации отраженного луча.

Использование технологии быстрого отклоняющего зеркала (FSM-технологии) позволяет иметь достаточный вес и достаточные размеры, поскольку лазерный излучатель (зафиксированный) может быть установлен посредством небольших и легких опор, зеркало также представляет собой элемент с небольшим весом, а двигатели, которые управляют степенями свободы, связанными с зеркалом, обычно двумя степенями свободы, могут быть подвергнуты существенной миниатюризации. Ограничением FSM-технологии является небольшой диапазон наведения, который обычно составляет менее нескольких десятых градуса. В особенности для высоких частот очень быстрые приводы имеют короткий ход, а это ограничение диапазона предусматривает по меньшей мере два очень важных противопоказания.

Первый недостаток заключается в том, что FSM-технология не может выполнять функцию наведения, только функцию стабилизации: вся система, таким образом, обязательно должна состоять из механизма наведения, даже с недостаточной точностью, соединенного с системой стабилизации по FSM-технологии. Второй недостаток заключается в необходимости компенсации ограниченного диапазона с помощью широкого расхождения оптических несущих, которое ухудшает коэффициент передачи и, соответственно, снижает пропускную способность. По существу, существующие варианты реализации страдают от вышеописанных ограничений, которые являются достаточно критичными для многих интересующих областей применения, поскольку они влияют как на компактность системы, так и на ее ограниченную пригодность для поддержания связи с высокой скоростью передачи данных.

Иные проекты, такие как проект по небольшим оптическим повторителям (SOTA), продвигаемый "Национальным институтом Японии по информационно-коммуникационным технологиям", основывают свои разработки на возврате к оптическим передатчикам, устанавливаемым непосредственно на механизмах с управляемыми шарнирами, которые позволяют управлять по меньшей мере двумя степенями свободы. Однако этот проект обеспечивает возможность установки системы связи на платформе с размером и массой, которые не позволяют встроить их на борту наноспутника; таким образом, ограничения по массе и мощности являются менее строгими, при этом требования к наведению также являются менее строгими, поскольку большой спутник также по существу является более стабильным. Все это привело к развитию технических решений с признаками, которые не могут быть приведены к масштабу наноспутников, при этом общий вес оптических терминалов (включая механизмы наведения) составляет порядка нескольких килограммов.

Таким образом, основная задача, решаемая в настоящем изобретении, состоит в разработке нового механизма, выполненного с возможностью обеспечения очень стабильного наведения и имеющего очень высокую точность даже при установке в опоре (такой как, например, наноспутник), подверженной существенным перемещениям и колебаниям в широком спектре частот.

Еще одна задача, решаемая в настоящем изобретении, заключается в разработке нового механизма стабилизации, имеющего меньший вес и выполненного более компактным по сравнению с известными механизмами стабилизации, а возможно являющегося и более экономически целесообразным (также основываясь на надежности и эксплуатации).

В итоге, дополнительная задача, решаемая в настоящем изобретении, заключается в разработке нового механизма для стабилизируемого наведения, который может представлять собой модуль, потенциально стандартизованный, подходящий для его присоединения к небольшому спутнику (например наноспутнику), предназначенному для работы в космической среде.

Поставленные задачи решены в настоящем изобретении с помощью системы для стабилизируемого наведения, содержащей подвижный опорный элемент, соединенный по меньшей мере тремя соединительными элементами с нестабильной платформой, при этом соединительные элементы характеризуются следующим:

- 1) один из соединительных элементов представляет собой шарнир, который обеспечивает возможность вращения только с двумя или тремя степенями свободы и который соединяет вместе подвижный опорный элемент и нестабильную платформу;
- 2) другие по меньшей мере два соединительных элемента представляют собой удлиняемые ножки с изменяемой длиной, при этом каждая из удлиняемых ножек соединена одним из своих концов с подвижным опорным элементом и соединена другим своим концом с нестабильной платформой;
- 3) соединения указанных по меньшей мере двух удлиняемых ножек с подвижным опорным элементом и нестабильной платформой представляют собой шарниры, каждый из которых обеспечивает возможность только вращения по меньшей мере с двумя степенями свободы;
- 4) в случае, в котором оба соединения на двух концевых частях удлиняемой ножки обеспечивают только две степени свободы, одна из частей удлиняемой ножки может совершать вращение по отноше-

нию к ее другой части вокруг осей удлинения (таким образом, ножка включает внутренний шарнир, обеспечивающий кручение);

5) каждая удлиняемая ножка содержит привод, который обеспечивает возможность управления длиной указанной ножки.

6) по меньшей мере одна из удлиняемых ножек (в предпочтительных вариантах реализации каждая из ножек) также содержит один элемент для демпфирования и амортизации удлинения или сжатия удлиняемой ножки.

Основное преимущество настоящего изобретения заключается в том, что система стабилизируемого наведения мобильной платформы, реализованная согласно принципам настоящего изобретения, удовлетворяет основным целям, для которых она было задумана.

Кроме того, настоящее изобретение имеет и дополнительные преимущества, которые будут очевидны из приведенного далее описания, в котором приведено больше подробных сведений, из приложенной формулы изобретения, которая составляет неотъемлемую часть этого описания, и из иллюстрации некоторых примеров варианта реализации, раскрытых, помимо прочего, в приведенном далее описании и представленных на прилагаемых чертежах, на которых

на фиг. 1 показан спутник, оборудованный системой стабилизируемого наведения согласно принципам настоящего изобретения;

на фиг. 2 более подробно показаны характеристические элементы системы стабилизируемого наведения согласно принципам настоящего изобретения;

на фиг. 3 показан конкретный случай установки всей системы стабилизируемого наведения.

На фиг. 1 показан общий вид наноспутника, на котором показано наличие оптического передатчика для телекоммуникации, установленного на регулируемой опоре, стабилизируемой согласно настоящему изобретению.

Ссылочным номером 100 обозначена наноспутниковая платформа, лишенная полезной нагрузки. Ссылочным номером 101 обозначена декартова система координат, объединенная с наноспутниковой платформой 100.

Система 101 координат следует за перемещениями наноспутниковой платформы 100, в результате чего она совершает перемещение по отношению к земле и по отношению к другим спутникам. Как уже было описано в отношении наноспутниковых платформ, такие перемещения системы 101 координат являются поступательными и вращательными, при этом они характеризуются значительными колебаниями в широком спектре частот.

Эти характеристики перемещения системы 101 координат в конструктивном отношении относятся к технологии наноспутниковых платформ, при этом не следует полагать, что за короткий промежуток времени любая технология стабилизации всей наноспутниковой платформы способна исключить некоторые компоненты таких перемещений без снижения ресурсов, имеющихся для полезной нагрузки наноспутника, или оказания на них воздействия.

По существу, исключение или даже просто существенное ограничение, например, вращений потребовало бы использования систем стабилизации с существенным влиянием на ограничения по весу и стоимости; а научные исследования в отношении наноспутниковых платформ в настоящее время отдают приоритет, но иногда и способствуют, снижению веса и стоимости.

Таким образом, настоящее изобретение соответствует тренду развития в наноспутниковых платформах (и малых спутниках в целом) и предлагает решение проблемы стабилизируемого наведения, которое оказывает минимальное воздействие на эти спутниковые платформы, поскольку они быстро эволюционируют.

Таким образом, это техническое решение имеет значительную степень модульности в том смысле, что оно оказывает минимальное влияние на требования по разработке и развитию на платформах, в отношении которых оно и будет применено. Таким образом, имеется решение, которое следует отметить в качестве возможного стандарта в данной отрасли.

На фиг. 1 ссылочным номером 111 обозначен ограничительный элемент, который выполнен за одно целое с системой 101 координат и который обеспечивает ограничительное место, предназначенное для закрепления мобильной и ориентируемой опоры. Подвижный опорный элемент обозначен на фиг. 1 ссылочным номером 210, а ссылочным номером 211 обозначена ограничительная связь подвижного опорного элемента 210 с ограничительным элементом 111 и, таким образом, с наноспутниковой платформой 100; при этом ограничительная связь 211 образована шарниром свободного хода, который в зависимости от варианта реализации обеспечивает возможность вращения с двумя или тремя степенями свободы.

На данном этапе следует отметить, что для определения ориентации (или наведения) опорного элемента 210 теоретически должно быть достаточно вращения с двумя степенями свободы; однако механизм наведения и стабилизации, который будет описан ниже, предпочтительно использует перемещения, обеспечивающие то, что ограничительная связь 211 представляет собой поворотный шарнир с тремя степенями свободы. По существу, вращение с третьей степенью свободы может быть целесообразно для выполнения перемещений системы наведения с более подходящими траекториями, которые обеспечивают соответствие дополнительным условиям оптимизации, таким как минимизация потребления энергии,

повышение скорости привода или т.п.

Ограничительный элемент 111, зафиксированный по отношению к системе 101 координат наноспутниковой платформы 100, может быть образован чем-то наподобие скобы, используемой в отношении наноспутниковой платформы в соответствии с одним из имеющихся стандартов, или, во всяком случае, он может быть образован любым подходящим элементом существующей наноспутниковой платформы, например кромкой, которая обеспечивает возможность закрепления подвижного опорного элемента 210 в месте, которое обеспечивает достаточный запас перемещения при вращении во всех направлениях, что обеспечивает достаточную амплитуду наведения.

В одной из разновидностей вариантов реализации ограничительный элемент 111 может также частично или полностью представлять собой промежуточную платформу, выполненную с возможностью перемещения по отношению к системе 101 координат, объединенной со спутниковой платформой 100, однако при этом он все еще может оставаться нестабильным с учетом требований к системе наведения.

Как уже было описано, в случае, в котором отсутствуют промежуточные платформы (случай с промежуточными платформами будет описан далее), подвижный опорный элемент 210 соединен с наноспутниковой платформой 100 посредством шарнира, обозначенного на фиг. 1 ссылочным номером 211 (размещенного на ограничительном элементе 111), который обеспечивает возможность только вращательных перемещений с двумя или тремя степенями свободы.

В дальнейшем ссылочным номером 201 обозначена декартова система координат, объединенная с подвижным опорным элементом 210. Благодаря воздействию ограничительного типа, за счет которого подвижный опорный элемент 201 соединен с наноспутниковой платформой 100, система 201 координат может совершать поворот по отношению к системе 101, выполненной за одно целое с наноспутниковой платформой 100. В частности, подвижным опорным элементом 210 можно управлять для поддержания конкретного наведения, указанного на фиг. 1 посредством оси "w" системы 201 координат.

На фиг. 1 ссылочным номером 220 обозначен пример оптической антенны лазерного передатчика, подходящей для передачи телекоммуникационного сигнала, модулируемого по оптической несущей. Лазерный передатчик 220 установлен на подвижном опорном элементе 210 и выполнен с ним за одно целое. В случае, показанном на фиг. 1, система 201 координат, объединенная с подвижным опорным элементом 210, была выбрана таким образом, что ось "w" также совпадает с направлением наведения лазерного передатчика 220. Очевидно, что установочные механизмы лазерного передатчика 220 на подвижном опорном элементе 210 могут иметь различные типы: для целей реализации настоящего изобретения имеет значение тот факт, что лазерный передатчик 220 установлен на опорном элементе 210, выполненном с возможностью перемещения по отношению к наноспутниковой платформе 100 (которая представляет собой по своему существу нестабильную платформу), при этом путем управления подвижным опорным элементом 210 можно как управлять наведением, так и стабилизировать наведение лазерного передатчика 220.

Использование двух отдельных фраз: "стабилизация" наведения и "управление" наведением необходимо для уточнения того, что описанный механизм также подходит и для поддержания самой функциональной возможности по наведению, имея возможность работать с величиной поворотов, которые могут легко достигать порядка десяти градусов.

Другие известные способы, которые способны компенсировать нестабильность платформы, не обеспечивают "диапазон" перемещения, достаточный для управления фактическим наведением, так что они должны быть связаны с другими системами, которые обеспечивают наведение, которое в дальнейшем должно быть стабилизировано путем более точного контроля.

Важно отметить, что управление наведением опорного элемента 210 не происходит при приложении крутящего момента непосредственно к шарниру 211 (который может обеспечить возможность управления подвижным опорным элементом 210 путем возврата к использованию рычагов, имеющих свои недостатки): По существу, этот шарнир имеет предельно простую конструкцию с конструктивной точки зрения и образован поворотной ограничительной связью. Таким образом, в предпочтительном варианте реализации шарнирное сочленение 211 представляет собой очень простой механизм без каких-либо зубчатых колес или механизмов для передачи движения и может быть образовано, например, путем соединения вращающихся подшипников, что обеспечивает его высокую надежность.

В дальнейшем ориентацию подвижного опорного элемента 210 по отношению к наноспутниковой нестабильной платформе, на которой он установлен, определяют приводами, образованными по меньшей мере двумя удлиняемыми ножками.

Ссылочным номером 310 обозначена одна из ножек, посредством которой подвижный опорный элемент 210 соединен с наноспутниковой платформой 100, а ссылочным номером 320 обозначена вторая удлиняемая ножка, аналогичная ножке 310, но не обязательно идентичная ей.

Удлиняемая ножка 310 соединена со своих двух концов посредством поворотных ограничителей: одним из концов она соединена с подвижным опорным элементом 210, а другим своим концом она соединена с наноспутниковой платформой 100. Важно отметить, что даже в шарнирах, которые соединены с ножкой 310, как и в случае с шарниром 211 (посредством которого подвижный опорный элемент 210 соединен с наноспутниковой платформой 100), не обеспечено прямое приложение какого-либо крутяще-

го момента. В механизмах удлинения ножек установлены только активные элементы.

Таким образом, ориентацию подвижного опорного элемента 210 определяют по длине, допускаемой удлиняемыми ножками, с помощью которых подвижный опорный элемент 210 соединен с наноспутниковой платформой 100.

Шарнир 211 и соединения посредством удлиняемых ножек представляют собой исключительно ограничительные связи, посредством которых подвижный опорный элемент 210 соединен с наноспутниковой платформой 100, которая подвержена воздействию напряжений, вызывающих ее нестабильность, что особенно усложняет точное наведение.

В итоге, следует отметить, что в предпочтительной реализации все удлиняемые ножки имеют одни и те же характеристики (фактически они имеют одинаковые характеристики). Однако в теории они также могут иметь разные форму и размер, а также могут иметь немного разные механические характеристики. В любом случае, такие ножки, как ножка 310, характеризуются тем, что они соединены своими концами посредством поворотных ограничительных связей, при этом одним из концов они соединены с подвижным опорным элементом 210, а другим своим концом они соединены с наноспутниковой платформой 100. Кроме того, все удлиняемые ножки выполнены с возможностью их управляемого точного удлинения, поскольку они содержат линейный привод. Следует отметить, что выражение "линейный привод", относящееся к приводу любого типа, также потенциально включает и механизмы для преобразования поворотного перемещения, которые позволяют управлять изменением длины удлиняемой ножки. Длина, задаваемая этими удлиняемыми ножками, определяет ориентацию подвижного опорного элемента 210 по отношению к наноспутниковой платформе 100.

На фиг. 2 показан пример реализации, похожий на пример реализации, показанный на фиг. 1 (который также иллюстрирует принципы, являющиеся предметом настоящего изобретения), при этом на фиг. 2 некоторые элементы системы для стабилизации наведения подвижного опорного элемента 210 согласно принципам настоящего изобретения обозначены теми же ссылочными номерами, которые были использованы на фиг. 1. Таким образом, ссылочным номером 100 обозначена наноспутниковая платформа (на фиг. 2 она видна только частично), ссылочным номером 210 все еще обозначен подвижный опорный элемент, а ссылочным номером 220 обозначена оптическая антенна лазерного передатчика. Как и на фиг. 1, направление наведения оптической антенны лазерного передатчика 220 представляет собой направление оси "w" декартовой системы 201 координат, объединенной с подвижным опорным элементом 210.

Кроме того, ссылочным номером 200 обозначена вся мобильная система, которая образована набором из всех элементов, которые выполнены за одно целое с подвижным опорным элементом 210.

Кроме того, на фиг. 2 показаны две удлиняемые ножки, которые в зависимости от своих изменяемых длин определяют ориентацию мобильной системы 200. Эти две удлиняемые ножки обозначены ссылочными номерами 310 и 320. В ножке 310, находящейся на переднем плане и заключенной в пунктирный прямоугольник, более подробно показаны некоторые характеристические элементы, которые она содержит.

Ссылочным номером 311 обозначен один из шарниров свободного хода, который обеспечивает возможность соединения удлиняемой ножки 310 с подвижным опорным элементом 210. Ссылочным номером 314 обозначен еще один шарнир по меньшей мере с двумя степенями свободы, который обеспечивает возможность соединения удлиняемой ножки 310 с ее другого конца с наноспутниковой платформой 100.

В примере реализации, показанном на фиг. 2, только шаровой шарнир 311 представляет собой присоединяемый шарнир свободного хода с вращением с тремя степенями свободы, а другая ограничительная связь реализована с использованием более простого шарнира с двумя степенями свободы, однако выбор реализации может быть изменен на противоположный при условии, что шарнир 314 имеет свободный ход для вращения с тремя степенями свободы. При условии, что система содержит две удлиняемые ножки, возможна конфигурация, в которой все эти шарниры имеют свободный ход (имеют три степени свободы), при этом теоретически также возможен и еще один вариант, в котором в качестве альтернативы можно использовать шарниры только с двумя степенями свободы с обоих концов каждой удлиняемой ножки: в этом случае на удлиняемой ножке может быть создано напряжение кручения; однако такой феномен может быть легко компенсирован путем использования шарнира, который обеспечивает возможность свободного кручения в промежуточной точке удлиняемой ножки.

Однако среди вышеописанных вариантов реализации предпочтительными являются только те варианты реализации, в которых один из поворотных ограничителей с одного из концов удлиняемой ножки 310 представляет собой шарнир свободного хода, а другой поворотный ограничитель с другого конца удлиняемой ножки 310 представляет собой шарнирное сочленение с двумя степенями свободы.

Касательно обследования удлиняемой ножки 310 (как и в других удлиняемых ножках) следует отметить, что она содержит по меньшей мере два последовательно размещенных удлиняемых элемента, так что в случае, в котором они оба удлинены, общее удлинение ножки 310 задано суммой удлинений двух элементов; в случае, когда в качестве альтернативы они оба сжаты, общее сжатие ножки 310 задано суммой сжатий двух элементов (очевидно, что в случае, когда один из элементов оказывается укороченным, а другой элемент оказывается удлиненным, оба эффекта по меньшей мере частично компенсируют изме-

нение длины ножки).

Ссылочным номером 313 обозначен амортизирующий и демпфирующий элемент, который представляет собой сжимающийся или удлиняющийся пассивный элемент. В обычном варианте реализации пассивный элемент 313 характеризуется жесткостью "k" и коэффициентом рассеяния "c", и фактически он действует как пружина (обычно нелинейная и также характеризующаяся диссипативными свойствами), работающая как фильтр нижних частот (по меньшей мере второго порядка, поскольку он также характеризуется, как указано, коэффициентом диссипативного трения).

Ссылочным номером 312 обозначен линейный привод, который позволяет удлинять и/или укорачивать ножки. В данном случае он представляет собой активный управляемый элемент, который позволяет изменять длину ножки 310 в пределах конкретного диапазона.

Следует отметить, что пассивный демпфер 313 работает в качестве идеального фильтра нижних частот с нижней частотой среза, более того подвижный опорный элемент 210 может в результате обеспечить стабилизированную ориентацию по меньшей мере в случае, в котором это обусловлено частотами, значительно большими частоты среза. По существу, все высокочастотные воздействия, определенные перемещениями наноспутниковой платформы 100 и передаваемые через связь 314, могут быть поглощены пассивным демпфирующим элементом 313, который с другого своего конца может быть сам практически неподвижным и может передавать на активный линейный привод 312 только низкочастотные перемещения.

Однако очевидно, что идеальные характеристики являются только теоретическими приближениями, которые не воспроизводятся в реальных системах, при этом регулирование длины ножек прежде всего требует того, чтобы регулирующие перемещения также передавали составляющие на достаточно высоких частотах (например, для осуществления быстрого управления наведением). Таким образом, пассивный амортизирующий и демпфирующий элемент 313 поглощает только часть напряжений, создаваемых на каждой удлиняемой ножке наноспутниковой платформой 100, к которой он присоединен, при этом он также будет передавать остальную часть этих напряжений на свой другой конец. Таким образом, необходим линейный привод 312, поскольку он должен компенсировать любые напряжения, которые не отфильтровывает пассивный демпфер 313 (в частности, нижние частоты, для которых демпфер не предназначен).

Теперь стало очевидным, как наличие пассивного элемента 313 в каждой ножке системы стабилизации согласно настоящему изобретению позволяет облегчить управление стабилизацией подвижного опорного элемента 210 путем фильтрации релевантной части перемещений, которые должны были быть компенсированы.

Должно быть также очевидно, что чем выше способность пассивного демпфера 313 к фильтрации напряжений, создаваемых наноспутниковой платформой 100, путем их поглощения, тем проще будет задача стабилизации, которая возложена на активный линейный привод 312.

В обычном варианте реализации настоящего изобретения пассивный амортизирующий и демпфирующий элемент 313 содержит пружину, характеризующуюся очень низкой жесткостью. При этом следует отметить, что в средах с низкой гравитацией (таких как космическая среда) несомненно можно использовать очень "слабые" пружины (поскольку отсутствует необходимость в компенсации веса, который может чрезмерно сжимать или расширять эти слишком "слабые" пружины). Однако продолжающиеся исследования направлены на разработку более сложных пассивных демпферов по сравнению с обычными пружинами, при этом в результате таких исследований могут быть созданы демпферы 313 других типов с повышенной экономичностью при решении задач в области, описанной выше в данном документе.

Обычно в реальных случаях, в которых конструкция удлиняемых ножек основана на использовании пружин, поршней или прочих реальных физических компонентов, их характеристики могут быть описаны посредством упрощенной модели, в которой последовательно размещены полностью упругий элемент (характеризуется коэффициентом "1/k" упругости) и диссипативный элемент (характеризуется коэффициентом "c"). Они могут быть развернуты в соответствии с более сложной моделью, в которой некоторые упругие и диссипативные факторы объединены различными способами, в частности последовательно и параллельно.

Таким образом, принципы настоящего изобретения позволяют реализовать подвижный опорный элемент 210, выполненный с возможностью управления его ориентацией посредством нескольких (обычно двух) линейных приводов, при этом получаемая общая стабилизированная система имеет очень компактные размеры и сохраняет в некоторой степени небольшой вес.

Управление стабилизацией, которое может быть реализовано, обеспечивает весьма приемлемые характеристики по точности и скорости реакции благодаря конкретной системе ограничивающих связей и вставке некоторых пассивных амортизирующих и демпфирующих элементов, которые значительно упрощают структуру функции автоматического управления, с помощью которой управляют линейными приводами, которые представляют собой элементы управления.

Другими словами, система ограничительных связей, использованных в настоящем изобретении, подходит для поддержания исполнения функции управления, предназначенной для создания управляю-

ших команд для линейных приводов, способна обеспечить очень низкие значения погрешности допуска и также соответствует конкретным строгим требованиям, определяемым задачами наведения для оптических линий связи, в которых задействованы платформы наноспутников.

Выбор пассивного элемента амортизации и демпфирования, характеризующегося конкретной жесткостью "k" и конкретным коэффициентом "с" рассеяния, которые не подвергаются активному управлению, продиктован из соображения простоты, так что по этой причине и можно обдумывать выбор предпочтительного варианта реализации. Однако принцип настоящего изобретения заключается в концепции управления ориентацией подвижной платформы 210 путем регулирования длины двух или более удлиняемых ножек, которые, в дополнение к приводу, также содержат элемент амортизации и демпфирования, подходящий для фильтрации некоторых механических требований. Таким образом, такой принцип, являющийся предметом изобретения, также может быть реализован в соответствии с вариантом, который, несмотря на привнесение большей сложности, обеспечивает наличие элемента амортизации и демпфирования, который также может быть активным: например, элемент, в котором разрешено управление коэффициентом "k", или более сложный механический фильтр более высокого порядка, в котором можно управлять множеством коэффициентов.

Таким образом, все разновидности вариантов реализации, которые используют элементы амортизации и демпфирования различной сложности и различного порядка, иногда даже не пассивные (в том смысле, что разрешено конкретное управление одним или более коэффициентами упругости или диссипативным демпфированием), также следует рассматривать в качестве вариантов одного и того же изобретения.

Как указано выше, количество удлиняемых ножек, с помощью которых можно реализовать настоящее изобретение, является изменяемым и, несмотря на то, что в качестве предпочтительного следует рассматривать вариант только с двумя ножками, поскольку это единственный вариант, который является более простым и более компактным, в качестве возможных реализаций настоящего изобретения следует рассматривать как варианты с тремя ножками, так и варианты с большим количеством ножек.

С точки зрения функциональности наличие удлиняемых ножек обеспечивает возможность наличия трех параметров управления и, таким образом, позволяет управлять тремя степенями свободы.

Очевидно, что задачи наведения (и стабилизации) обычно требуют управления только двумя степенями свободы, при этом обычно не требуется механическое управление поляризацией оптических сигналов; однако в некоторых случаях также может быть необходимо сделать выбор в пользу функциональных реализаций с тремя ножками: например, три ножки реализуют систему ограничительных связей, которая позволяет с большей гибкостью управлять требованиями к надежности. Управление третьей степенью свободы также позволяет осуществлять перемещения с большим количеством возможных траекторий, среди которых может быть выбрана одна траектория, которая сводит к минимуму, например, удлинение ножек, скорость удлинения или потребление энергии.

Как уже было описано, система, показанная в настоящем изобретении, может поддерживать углы наведения с амплитудой порядка десяти градусов: это "диапазон", уже достаточный для многих областей применения, однако в некоторых областях применения этот "диапазон" может быть важно увеличить даже на несколько градусов с тем, чтобы удовлетворять возможным дополнительным требованиям в области применения.

Во многих случаях, в особенности в платформах спутников, которые также должны поддерживать и другие области применения, может быть необходим угол наведения, превышающий угол наведения, допускаемый подвижностью мобильной системы 200, при этом в случае, когда было невозможно компенсировать пониженный угол наведения путем изменения ориентации всего спутника, необходимо увеличить ширину "диапазона" наведения, прибегая к альтернативным мерам.

Очевидно, что при использовании более массивных систем стабилизации с более длинными ножками и с более выступающим ограничительным элементом 111, может быть увеличен угол из "диапазона" наведения: однако лучше не следовать этим путем, причем не только потому, что это увеличивает общие размеры (это последствие является по существу неизбежным), но и потому, что это усложняет модульность системы и делает ее менее стандартизуемой, поскольку должны быть использованы различные модули в зависимости от необходимого "диапазона" наведения. Кроме того, выбор приводов может представлять собой более сложную задачу, поскольку в целом увеличение рабочего "диапазона" подразумевает снижение скорости реакции.

Кроме того, имеется еще одно решение, которое можно считать вариантом установки системы согласно принципам настоящего изобретения и которое обеспечивает то, что эта система не связана непосредственно со спутниковой платформой 100 или так или иначе не закреплена на элементе, жестко соединенном с ней, но обеспечивает ее соединение с промежуточной платформой, которая в свою очередь может совершать перемещение по отношению к системе 101 координат, объединенной со спутниковой платформой 100.

На фиг. 3 показан еще один вариант установки системы стабилизации и наведения согласно настоящему изобретению.

В верхней части этой фигуры показан подвижный опорный элемент 210, стабилизированный как и

в примере, показанном на фиг. 2. Однако на фиг. 3 ограничительный элемент 111 не выполнен за одно целое с наноспутниковой платформой 100, но может совершать перемещение по отношению к ней и затем по отношению к системе 101 координат. На фиг. 3 ограничительный элемент 111 затем принимает более удлиненную форму, поскольку он имеет места соединения даже для удлиняемых ножек, которые в случае, показанном на фиг. 2, соединены в качестве альтернативы с наноспутниковой платформой 100. Таким образом, на фиг. 3 (в отличие от фиг. 2) поворотный шарнир, который связывает ножку 310 с ограничительным элементом 111 (который в этом случае становится промежуточной платформой) обозначен ссылкой номером 314, а ссылкой номером 324 аналогичным образом обозначен поворотный шарнир, который связывает другую удлиняемую ножку всегда с одним и тем же ограничительным элементом 111.

В итоге, ссылкой номером 110 обозначен еще один поворотный шарнир, с помощью которого ограничительный элемент 111 соединен со спутниковой платформой 100 (которая, таким образом, жестко прикреплена к ней). Поворотный шарнир 110 выполнен с возможностью управления обычным приводным средством; однако управление шарниром 110 не предназначено для точной компенсации неустойчивости наноспутниковой платформы 100, при этом ограничительный элемент 111 продолжит являться нестабильной промежуточной платформой, а подвижный опорный элемент 210 все также будет нужен, при этом в конфигурации, показанной на фиг. 3, управление стабилизацией и наведением осуществляется также, как и в случае, показанном на фиг. 2.

Таким образом, основная функция поворотного шарнира 110 заключается в увеличении амплитуды наведения.

Необходимо определить, как в конфигурации, показанной на фиг. 3, тот же самый механический модуль, выполненный в виде подвижного опорного элемента 210, стабилизируемого и регулируемого управляемым способом, может быть использован в системах, в которых необходима увеличенная амплитуда наведения; при этом все может быть реализовано исключительно путем добавления еще одного управляемого шарнира.

Важно отметить, что приводные средства, которые реализуют управление шарниром 110, не должны иметь какие-то специальные технические характеристики. Теоретически не требуется даже соединение ограничительного элемента 111 посредством поворотной ограничительной связи 110 или исключительно посредством поворотной ограничительной связи 110; по существу, функция увеличения "диапазона" углового наведения может быть достигнута с использованием соединения любого типа, которое позволяет ограничительному элементу 111 осуществлять конкретные перемещения при вращении с двумя степенями свободы по отношению к системе 101 координат, объединенной со спутниковой платформой 100.

Кроме того, описанное изобретение само по себе может подходить для множества вариантов, которые могут обеспечивать дополнительные преимущества по сравнению с ранее описанными преимуществами. Эти дополнительные варианты могут быть реализованы специалистом в данной области техники без выхода за пределы объема настоящего изобретения, что очевидным образом следует из описания и прилагаемой формулы изобретения.

Таким образом, положение некоторых описанных элементов может быть изменено, например, порядок, в котором расположены активные и пассивные элементы в удлиняемых ножках, может быть изменен на противоположный.

В дальнейшем точность и эффективность управления ориентацией системы 200 могут быть улучшены путем оптимизации геометрического типа, например, путем изменения наклона удлиняемых ножек. Эти геометрические процессы стабилизации также являются функциональными с тем, чтобы сделать всю систему более компактной и более жесткой, при этом все решения, которые будут достигнуты, следует считать вариантами с теми же изобретательскими принципами, что и изобретательские принципы, использованные в настоящем изобретении.

Кроме того, каждый элемент может быть выполнен из различных материалов, может иметь различную форму или может иметь различный размер; а также само изобретение может быть реализовано конкретным способом, при этом многие приведенные особенности могут быть заменены на технически эквивалентные элементы.

В итоге, описанное изобретение может быть пригодно для использования и поддержания дополнительных способов улучшения технических характеристик описанной стабилизированной платформы. В частности, значительный прогресс ожидается в осуществлении пассивного элемента 313, соединенного с удлиняемыми ножками. Кроме того, технологический прогресс также происходит и в области линейных приводов 312: в ближайшее время могут стать доступными более легкие, более точные или более быстрые управляемые линейные приводы, в результате чего они могут быть использованы для реализации новых и более эффективных средств по управлению стабилизацией.

Особо интересным может быть вариант осуществления, в котором параметры рассеяния и жесткости/упругости получены в структуре самого двигателя. Реальные двигатели безусловно всегда имеют эти параметры, поскольку не существует совершенно недеформируемых материалов и движений, не подверженных воздействию трения, однако не существует достаточно отработанных технологий, которые

бы обеспечивали конструкцию двигателей, в которой определение этих параметров могло быть надлежащим образом задано с необходимой степенью свободы в качестве конструктивной переменной. Однако в возможном случае, в котором имелись доступные технологии конструкции и материалов, позволяющие разрабатывать двигатели, в которых такие коэффициенты жесткости и рассеяния являются управляемыми, как и происходит с другими параметрами из технических характеристик, при этом очевидно, что настоящее изобретение может быть реализовано с использованием удлиняемых ножек, все компоненты которых выполнены в виде единого элемента.

Очевидно, что в дальнейшем многие улучшения могут быть представлены в зависимости от эволюции техники, которая заинтересована в реализации настоящего изобретения. Такие меры улучшения, которые не описаны в данном документе, могут, в конечном счете, стать объектом дополнительных патентных заявок, связанных с настоящим изобретением.

ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Система стабилизируемого наведения, содержащая подвижный опорный элемент (210), соединенный по меньшей мере тремя соединительными элементами с нестабильной платформой,

при этом один соединительный элемент представляет собой шарнир (211), обеспечивающий возможность вращения только с двумя или тремя степенями свободы, а другие по меньшей мере два соединительных элемента представляют собой удлиняемые ножки, регулировка длины которых обеспечена с помощью привода,

каждая из удлиняемых ножек соединена одним из своих концов с подвижным опорным элементом (210) и соединена другим своим концом с нестабильной платформой;

характеризующаяся тем, что

а) по меньшей мере одна из удлиняемых ножек также содержит один или более элементов для демпфирования и амортизации удлинения или сжатия удлиняемой ножки,

б) указанные элементы для демпфирования и амортизации размещены последовательно с приводом,

и

с) соединения указанных по меньшей мере двух удлиняемых ножек с подвижным опорным элементом (210) и нестабильной платформой представляют собой шарниры, каждый из которых обеспечивает возможность вращения по меньшей мере с двумя степенями свободы.

2. Система стабилизируемого наведения по п.1, содержащая две удлиняемые ножки.

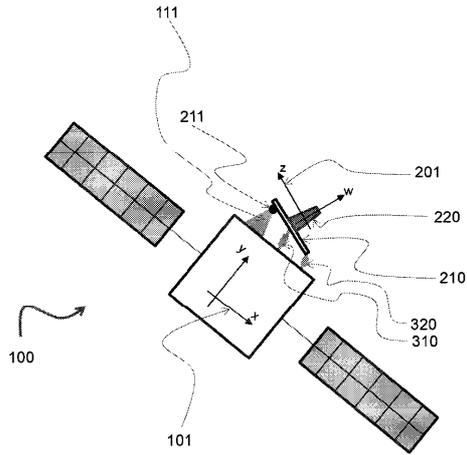
3. Система стабилизируемого наведения по п.1, в которой по меньшей мере одна удлиняемая ножка присоединена по меньшей мере одним из своих двух концов посредством шарнира, обеспечивающего возможность вращения с тремя степенями свободы.

4. Система стабилизируемого наведения по п.1, в которой по меньшей мере одна удлиняемая ножка присоединена своими обоими концами посредством шарнира, обеспечивающего возможность вращения только с двумя степенями свободы, при этом одна часть удлиняемой ножки выполнена с возможностью свободного вращения по отношению к ее другой части вокруг оси удлинения.

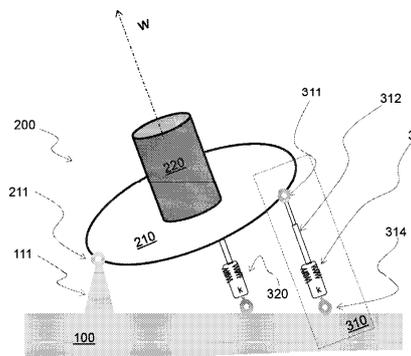
5. Система стабилизируемого наведения по п.1, в которой указанные один или более элементов для демпфирования и амортизации удлинения или сжатия удлиняемой ножки представляют собой пассивные элементы, характеризующиеся неуправляемым коэффициентом "k" жесткости и неуправляемым диссипативным коэффициентом "с".

6. Система стабилизируемого наведения по любому из пп.1-5, в которой нестабильная платформа, с которой соединен подвижный опорный элемент (210), представляет собой спутниковую платформу (100).

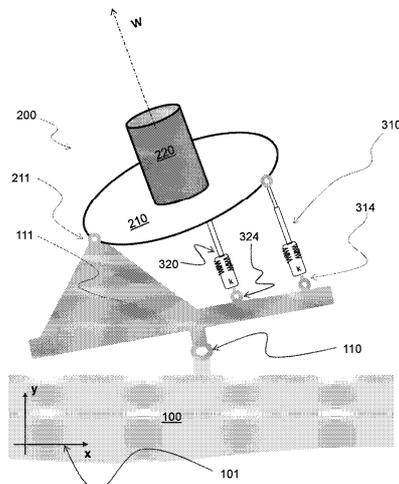
7. Система стабилизируемого наведения по любому из пп.1-5, в которой нестабильная платформа, с которой соединен подвижный опорный элемент (210), в свою очередь соединена со спутниковой платформой (100) посредством системы связей, обеспечивающей перемещения при вращении по меньшей мере с двумя степенями свободы.



Фиг. 1



Фиг. 2



Фиг. 3