

ЛИТЕРАТУРА

1. Ю.В. Чернухин, Ю.С. Доленко, П.А. Бутов. Бионические подходы к обработке сенсорной информации в нейросетевых системах управления интеллектуальных мобильных роботов / Ю.В. Чернухин, Ю.С. Доленко, П.А. Бутов. – Известия ЮФУ. Технические науки, 2012. – 193 с.

УДК 629.735

УПРАВЛЕНИЕ И СТАБИЛИЗАЦИЯ ПОДВЕСНОГО ОБОРУДОВАНИЯ БЕСПИЛОТНОГО ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТ

А.П. GERMANOVICH, В.П. ЩЕКЛЕИНА, Т.А. ГРИШКОВ
Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь

Покраска многоэтажных зданий представляет собой сложную задачу, которая включает в себя ряд проблем, доступ к высоким уровням здания может быть трудным и потенциально опасным для рабочих. Использование дронов может помочь решить эти проблемы. Дроны могут без проблем летать около зданий на необходимой высоте, обеспечивая безопасный и эффективный способ покраски. Они могут быть запрограммированы для выполнения точных и сложных движений, что может позволить наносить изображения на фасады зданий тем самым декорируя их. Однако для реализации подобного дрона нужно обеспечить точное и стабильное позиционирование рабочего прибора для нанесения краски.

Основная сложность с подвесным оборудованием, установленным на БПЛА, связана с вибрацией, вызванной двигателями и наклонами (тангаж, рысканье, крен), которые выполняет аппарат для полетов и стабилизации положения при зависании. Эту проблему можно решить с помощью трехосного стабилизатора, который сейчас широко используется, в частности, для стабилизации камеры. Однако на положение дрона влияет не только его собственное перемещение, но и внешние факторы (например, ветер). Есть ряд ситуаций, в которых такое смещение критично. Одной из таких задач является окрашивание зданий с помощью дрона. Чтобы предотвратить отклонения, необходимо к

угловой добавить ещё линейную стабилизацию. Для решения этой проблемы можно использовать стабилизатор, основанный на кинематике платформы Стюарта. Это позволит стабилизировать подвесное оборудование по всем осям.

Принцип работы стабилизатора основывается на платформе Стюарта, которая является типом параллельного манипулятора и использует октаэдральную конфигурацию стоек. Этот механизм имеет шесть независимых ног на шарнирных соединениях и шесть степеней свободы, что обеспечивает максимальную мобильность. Длины ног можно регулировать, изменяя таким образом ориентацию платформы, или в нашем случае рабочего инструмента дрона. Согласование фактического положения платформы с заданным является обратной кинематической задачей и для выбранного механизма имеет единственное и простое решение. Такое решение позволит достичь эффективной стабилизации и позиционирования. Помимо проектирования стабилизатора с механической точки зрения, стоит задача реализации программной части, которая включает в себя создание алгоритма работы.

Стабилизатор, основанный на платформе Стюарта, имеет ряд уникальных характеристик. Этот тип платформы позволяет перемещать рабочий орган в шести направлениях: поперечное, продольное и вертикальное перемещение (по осям x , y , z) и три вращения вокруг этих осей (тангаж, крен и рыскание). Основу механизма составляет параллельная конструкция, где шесть приводов работают совместно для управления движениями верхней платформы. Это обеспечивает стабильность и точность перемещений. Двенадцать шарниров используются для соединения приводов с платформами, обеспечивая гибкость в движениях и возможность осуществления широкого диапазона перемещений. Непосредственное движение обеспечивается за счет шести опор, способных изменять свою длину. Это могут быть как линейные приводы, приводимые в движение гидравликой, пневматикой или электромоторами, так и рычажные приводы. Возможность изменения длин ног позволяет варьировать ориентацию платформы. В контексте прямой кинематической задачи, где для заданных длин ног определяется положение и ориентация платформы, возможны до 40 различных решений. Однако в случае обратной кинематической задачи, при которой необходимо определить длины ног по заданному положению и ориентации платформы, существует простое решение [1].

В дополнение к вышеизложенному, платформа Стюарта имеет ещё одну характеристику. Все тяжелые элементы, такие как приводы, находятся на нижней платформе, что позволяет максимально уменьшить вес

верхней. В обычных условиях это позволяет снизить инерцию и увеличить скорость перемещения верхней платформы. В контексте дрона для покраски зданий эта особенность становится ключевой, поскольку рабочее оборудование должно выходить за пределы габаритов дрона, чтобы иметь возможность окрашивать стену на близком расстоянии [2]. Это приводит к смещению центра тяжести к центру дрона, что является положительной особенностью, а в случае, если использовался тяжелому стабилизатору, основанному на стандартной кинематике промышленных роботов, это смещение было бы в сторону рабочего органа и оно что может стать критическим. Кроме того, такие стабилизаторы могут вызвать колебания дрона из-за большой инерции, что недопустимо при полете рядом со стенами. Данных проблем лишена платформа Стюарта. Еще одной особенностью является то, что все приводы расположены на расстоянии друг от друга. Это позволит воздуху проходить через стабилизатор и не оказывать значительного давления на дрон.

Ввиду всех уникальных характеристик данной платформы её применение в роли стабилизатора для краскопульта представляется наиболее подходящим. Стабилизация по шести осям позволяет осуществлять перемещение в шести направлениях. Это в свою очередь обеспечивает возможность более точного контроля над положением стабилизатора в пространстве и компенсации неточности позиционирования дрона. Такой уровень точности особенно важен при выполнении задач покраски при полёте вблизи стены во время покраски зданий. Стабилизация по шести осям позволяет более эффективно компенсировать внешние воздействия, поддерживая более стабильное положение стабилизатора независимо от характера внешних воздействий на дрона. Кроме того, эта система позволяет перемещать стабилизируемое тело независимо от дрона, что позволяет управлять им, не меняя положение дрона, благодаря чему его полет становится более стабильным. Это снижает вероятность возникновения неожиданных ситуаций, таких как потеря контроля или аварийные ситуации.

Другим важным аспектом задачи окрашивания зданий является определение положения рабочего инструмента относительно уже окрашенной поверхности, а если наносится изображение, то относительно уже нарисованного рисунка. Это можно осуществить с помощью камеры и технологии компьютерного зрения.

Контроль над стабилизатором осуществляется с помощью программного кода. Для определения положения манипулятора и последующей коррекции его координат применяется камера, ориентированная

на верхнюю платформу стабилизатора и стену. Чтобы камера могла определить положение манипулятора, используется технология позиционирования ArUco-маркеры.

Этот подход включает использование специализированных черно-белых маркеров с уникальным изображением, которые прикреплены к частям стабилизатора для определения их местоположения с помощью технологии компьютерного зрения. Алгоритм изучает их расположение относительно камеры, оценивает их местоположение и сравнивает его с необходимым. Затем алгоритм корректирует положение рабочего устройства робота, изменяя положение стабилизатора [3]. ArUco-маркеры также применяются для определения местоположения самого дрона. На стене размещаются маркеры, которые позволяют задать нулевую точку относительно которой и будет строить свою систему координат дрон. За основу для позиционирования дрона могут выступать края стен, окна и другие объекты, находящиеся на стене. Кроме того, компьютерное зрение позволяет использовать уже нанесённое изображение или окрашенную поверхность для определения фактического положения. Таким образом, данные о местоположении дрона собираются как с самой стены, так и с полетного контроллера, что позволяет избежать накопления ошибок, вызванных не идеальными условиями работы устройства.

Для качественной покраски фасадов многоэтажных зданий следует использовать шести осевой стабилизатор. Применение платформы Стюарда для этих целей позволяет получить ряд преимуществ перед обычными концепциями манипуляторов. В частности, расположение приводов стабилизатора вдали от непосредственно стабилизируемой части, что смещает центр тяжести к центру дрона. Также для качественного нанесения изображений на стену необходимо реализовать машинное зрение, которое будет опираться на фактическое положение дрона относительно стены и расположение рабочего органа, расположенного на стабилизаторе относительно стены и изображения на нём.

ЛИТЕРАТУРА

1. Stewart, D. (1965). A Platform with Six Degrees of Freedom. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers*, 180(15), 371-386.
2. Johnson, A. "Stewart Platform Applications in Aerial Systems." *International Conference on Unmanned Vehicles*, 2020.
3. Siciliano, B., & Khatib, O. (2016). *Springer Handbook of Robotics*. Springer.