

МЕТОДЫ ОПТИМИЗАЦИИ ВЕКТОРА ТЯГИ МУЛЬТИРОТОРНЫХ ЛЕТАЛЬНЫХ АППАРАТОВ

Шанин А. В., Кузнецов А. П.

Кафедра систем управления, Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники

Минск, Республика Беларусь

E-mail: alexey_public@tut.by, kuznap@bsuir.by

Произведен общий анализ мультироторных систем и предложены методы оптимизации алгоритмов управления

ВВЕДЕНИЕ

Существует несколько схем мультироторных летающих аппаратов вертолетного исполнения. По большей части все они используют возможности применения нескольких винтов вместо одного большого. Это дает ряд преимуществ, в частности винт малого диаметра значительно меньше весит, меньше изнашивается, легче обслуживается. Это серьезные преимущества, но и недостатки тоже существенные. В первую очередь необходимость наличия нескольких двигателей, как правило по одному на винт. Это сдерживает применение таких схем в крупных аппаратах, т.к. турбопоршневые и газотурбинные двигатели имеют большое время реакции, что сильно усложняет их работу в паре. Кроме того как правило это время разное для разного состояния двигателя, и также зависит от его выработанного ресурса. Второй недостаток – низкое соотношение тяги двигателя к его массе. Оно улучшается при увеличении мощности двигателя.

Данные проблемы постепенно решаются, но на текущий момент это привело к использованию не более двух двигателей в одном летальном аппарате вертолетного исполнения, за редким исключением. Но преимущества многовинтовой вертолетной схемы привели к появлению отдельного класса малых летальных аппаратов с электрическим приводом. Его применение решило проблему с массой двигателей и дало возможность собирать недорогие летальные аппараты с дешевыми, компактными винтами. В первую очередь это сверхмалые БПЛА, а также небольшие аппараты с грузоподъемностью до 100 кг, как правило, непилотируемые. На настоящий момент ведется разработка сразу нескольких пилотируемых аппаратов, использующих подобную схему, например летательный аппарат по схеме [1].

I. ОПИСАНИЕ ОБЪЕКТА УПРАВЛЕНИЯ

В сверхмалых аппаратах используется от 4 до 6 винтов, система стабилизации аппарата использует МЭМС гироскопы (акселерометры), при этом расчеты вектора тяги получаются достаточно простыми. Самая сложная задача – оценить поведение аппарата с малой мас-

сой, чаще всего эта задача решается применением фильтра Калмана на входных данных с гироскопа.

При повышении массы аппарата также появляется возможность применения большего числа двигателей, компактных, дешевых, расположенных на пространственной раме (см. рис. 1). Но возникает задача управления большим количеством двигателей расположенных в пространстве, причем геометрическое положение каждого оказывает существенное влияние на общий вектор тяги аппарата. Влияние окружающей среды и непредсказуемость поведения аппарата в сложном воздушном потоке при повышении его массы заметно снижается, снижаются и требования к фильтру Калмана, возможно использование других фильтров или алгоритмов обработки. Тем не менее множество двигателей создают воздушный поток сложной формы, что приводит к необходимости согласования их работы и не просто получения общего вектора тяги, а скорее к необходимости расчета векторного поля, тензора. В противном случае качество управления в области стабилизации положения будет сильно снижено, т.к. даже небольшой момент, создаваемый отдельным двигателем приводит к существенному отклонению в ориентации аппарата. Расчет единственного вектора тяги приведет к игнорированию краевых эффектов, что в свою очередь будет приводить к постоянным колебаниям аппарата при небольшой скорости движения или его зависании в заданной точке.

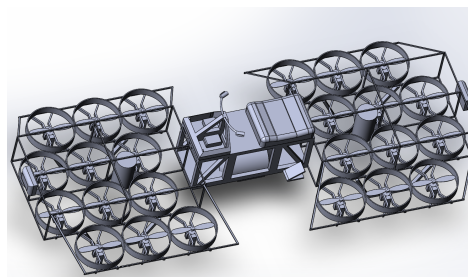


Рис. 1 – Мультироторное воздушное судно

II. НАПРАВЛЕНИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Чтобы определить возможные области поиска методов оптимального управления в первую

очередь необходимо определить методы управления мультироторным летательным аппаратом. Основной метод управления мультироторными аппаратами заключается в регулировании тяги любого отдельно взятого винта. При этом возможности реверса, необходимые для получения быстрой реакции в условиях больших возмущений, как правило сильно ограничены, в первую очередь схематически, т.к. большинство драйверов двигателей подобного типа не позволяют сделать реверс направления вращения двигателей в полете. Вторая сложность заключается в профиле воздушного винта, т.к. профиль винта оптимизируется под одно направление вращения, поэтому при его реверсе тяга сильно снижается. Т.о. система управления должна использовать реверс только как крайний метод, и с учетом заметно падающей тяги и низкого КПД.

Второй вариант управления - это изменение плоскости вращения воздушного винта, как правило по одной или нескольким степеням свободы (как правило, двум), так, чтобы можно было изменять вектор тяги в одной или нескольких плоскостях. Данный вариант управления вектором тяги не является весьма эффективным с точки зрения формирования суммарного вектора тяги воздушного судна, но резко снижает общий КПД, это связано с большим весом приводных двигателей, обеспечивающих изменение плоскости вращения воздушного винта. Вес этих двигателей, их крепежа, редукторов, механики изменения плоскости вращения винта (тяги, подшипники и т.д.) будет постоянно перевозиться вместе с аппаратом, и может составлять до 30% от веса основного привода воздушного винта, а также будет требовать значительное количество энергии для их работы. В связи с этим подобный метод является малоэффективным для легких аппаратов с работой от аккумуляторов и характерен скорее для 2-4 винтовых конструкций, работающих на углеводородном топливе, например системы управления вектором тяги реактивных двигателей (механическое и газодинамическое).

Т.о. наиболее эффективная с точки зрения КПД система управления должна позволять осуществлять управление тягой каждого из воздушных винтов, в некоторых случаях может потребоваться реверс. Но необходимость реверса может нивелироваться массой аппарата, т.к. снижение тяги ниже определенного значения при горизонтальном положении аппарата приводит к прорыванию воздушного потока через область аппарата, ометаемую этим винтом в обратном направлении, фактически, при отключении двига-

теля аппарат сразу же начинает быстро падать, т.о. реверс может быть востребован лишь в исключительных случаях.

В первую очередь необходимо определить способ формирования общего вектора тяги, во вторую - методы повышения КПД. Способы формирования вектора тяги могут быть весьма различны, стоит отметить особый вклад воздушных винтов, расположенных на максимальном удалении от центра тяжести аппарата. Их вектор тяги способен быстро менять ориентацию аппарата. В тоже время винты, расположенные возле центра тяжести целесообразно использовать для формирования основного значения вектора тяги. Т.о. базовый метод управления подразумевает использование части винтов для управления ориентацией аппарата, а часть винтов должна использоваться для движения аппарата в заданном направлении. Остальные винты могут быть использованы для поддержания аппарата в воздухе и разгрузки наиболее интенсивно работающих винтов.

III. ВОЗМОЖНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ

Для обеспечения эффективности применения математических методов анализа в реальном режиме времени необходимо высокое быстродействие системы. Чтобы обеспечить это требование необходимо разложить общий алгоритм поиска оптимума на несколько уровней, работающих параллельно, при этом на высоком уровне допустимо снижение общего быстродействия, т.к. там обычно производится только анализ результатов, а максимальное быстродействие необходимо на самом низком уровне. Т.к. поиск решения привязан к допустимому времени принятия решения, то оптимально часть работы переложить на предварительно обученные нейросети, позволяющие быстро подобрать оптимальные параметры с приемлемым быстродействием. Эти параметры можно использовать в качестве отправной точки при поиске текущего оптимума в условиях быстро изменяющихся показателей взаимодействия аппарата с окружающей средой.

Также нейросеть можно использовать для оптимизации работы фильтра Калмана для ускорения процесса идентификации параметров положения, например динамически управляемыми рекуррентными сетями[2, стр. 956].

1. Летательный аппарат вертикального взлета и посадки, патент RU2603302, авт. Игор Чудаков, Товкач Сергей Евгеньевич, Шанин Алексей Викторович.
2. Нейронные сети: полный курс, 2е- изд. Пер. с англ. / С. Хайкин. // Издательство: "И.Д. Вильямс 2016. - 1104 с.