екта включает координаты и скорости квадрокоптера. Четырехмерный вектор управления определяется подъемными силами четырех винтов дрона, которые являются, вообще говоря, ограниченными по величине. Предлагается некоторый эффективный способ точной посадки квадрокоптера в “гнездо” [2], базирующийся на методе стыковки космических аппаратов [3].

Библиографические ссылки

1. *Красовский Н.Н.* Теория управления движением. М.: Наука, 1968.
2. *Красовский А.Н., Суслова О.А.* Об оптимальном управлении движением дрона-квадрокоптера по критерию качества затрат энергии.// Успехи современной науки и образования. 2017. Т. 4. № 3. С. 193-197.
3. *Трушляков В.И., Шатров Я.Т., Юткин Е.А., Макаров Ю.Н., Олейников И.И.* Способ стыковки космических аппаратов. Патент 2521082, 2010.
4. *Krasovskii A.N., Krasovskii N.N.* Control Under Lack of Information: Birkhauzer. Boston. USA. 1994.
5. *Luukkonen T.* Moddeling and control of quadcopter // Independent research project in applied mathematics. Espoo. Finland. 2011.

УПРАВЛЯЕМОСТЬ ЛИНЕЙНЫХ СИСТЕМ СО МНОГИМИ ЗАПАЗДЫВАНИЯМИ ПО УПРАВЛЕНИЮ ПРИ ПОМОЩИ ДИНАМИЧЕСКОГО РЕГУЛЯТОРА

В.В. Крахотко, Г.П.Размыслович

Белорусский государственный университет

Независимости 4, 220030 Минск, Беларусь

{krakhotko, razmysl}@bsu.by

Рассмотрим систему управления вида

$$\dot{x}(t) = Ax(t) + Bu(t) + \sum_{i=1}^{m} B_i u(t - h_i),\ t \geq 0, \tag{1}$$

с начальным условием

$$x(0) = x_0, u(\cdot) = \{u(t) \equiv 0,\ t \in [-h_m, 0)\}, \tag{2}$$

где $x \in \mathbb{R}^n$, $u \in \mathbb{R}^n$, A, B, B_i, $i = \overline{1,m}$ – постоянные матрицы соответствующих размеров, $n - r$-мерное гладкое управление; $h_i > 0$, $i = \overline{1,m}$ – числа (запаздывания), причем $0 < h_1 < h_2 < \ldots < h_m$; x_0 – заданный n-вектор.

Определение 1. *Система* (1) *назывется относительно управляемой, если для любого начального состояния* (2) *найдутся момент времени* t_1, $0 < t_1 < +\infty$, *и кусочно-непрерывное управление* $u(t)$, $0 \le t \le t_1$, *такие, что состояние системы* (1), *соответствующее этому управлению, удовлетворяет условию* $x(t_1) = 0$.

Обобщая результаты работы [1], можно показать, что система (1) относительно управляема тогда и только тогда, когда выполняется равенство

$$\operatorname{rank}(\tilde{B}, A\tilde{B}, \ldots, A^{n-1}\tilde{B}) = n, \tag{3}$$

где $\tilde{B} = [B, B_1, \ldots, B_m]$ – $n \times (m+1)n$ – матрица.

Пусть управление $u(t)$ строится по выходному сигналу

$$u(t) = Cy(t) \tag{4}$$

дифференциальной системы

$$\dot{y}(t) = Dy(t),\ y(0) = y_0, \tag{5}$$

где C, D – заданные матрицы соответствующих размеров, y_0 – n-вектор.

Определение 2. *Система* (5) *называется наблюдаемой, если существует момент времени* t_1, $0 < t_1 < +\infty$, *такой, что любое начальное состояние* y_0 *системы* (5) *можно восстановить по выходу* (4).

Согласно работе [2], система (5) наблюдаема по выходу (4) тогда и только тогда, когда выполняется условие

$$\operatorname{rank}[C, CD, \ldots, CD^{n-1}] = n.$$

Определение 3. *Система* (1) *называется управляемой динамическим регулятором* (5), *если найдется момент времени* t_1, $0 < t_1 < +\infty$, *такой, что для любого начального состояния* (2) *найдется начальное* y_0 *состояние регулятора* (5), *при котором решение системы* (1) *удовлетворяет условию* $x(t_1) = 0$.

Теорема 1. *Для того чтобы система* (1) *была управляемой динамическим регулятором* (5) *необходимо и достаточно, чтобы система* (1), (2) *была относительно управляемой, а система* (5) *– наблюдаемой.*

Библиографические ссылки

1. *Габасов Р. Ф., Кириллова Ф. М., Крахотко В. В.* Управляемость многоконтурных систем с сосредоточенными параметрами // Автоматика и телемеханика. Т. 21. № 11. 1971. С. 18–25.
2. *Красовский Н. Н.* К теории управляемости и наблюдаемости линейных динамических систем // ПММ. 1984. Т. 28. вып.1.
3. *Крахотко В. В., Размыслович Г. П.* Управляемость линейных систем с запаздыванием по управлению при помощи динамического регулятора. // Материалы XVIII Междунар. науч. конф. по дифференциальным уравнениям "Еругинские чтения–2018". Ч.2. Гродно. 2018.

СПЕЦИАЛЬНЫЕ СХЕМЫ ЗАДЕРЖКИ ВОЗДУШНЫХ СУДОВ ДЛЯ БЕСКОНФЛИКТНОГО СЛИЯНИЯ ИХ ПОТОКОВ

С.И. Кумков[1], С.Г. Пятко[2], М.М. Овчинников[1]

[1]Институт математики и механики им. Н.Н. Красовского УрО РАН
Екатеринбург, Россия

[2]ООО “Фирма НИТА”, Санкт-Перербург, Россия
kumkov@imm.uran.ru, psg_atc@gmail.com, ovchinnikov.m.m@gmail.com

Целью настоящих исследований является разработка алгоритмического и программного обеспечения для перспективных автоматизированных систем управления воздушным движением (АС УВД).

Исследуется применение специальных схем задержки воздушных судов (ВС) для бесконфликтного слияния их потоков в АС УВД.

Данные схемы предварительной задержки были разработаны в соответствии с рекомендациями Eurocontrol и NASA [1, 2]. Схемы размещены на траекториях подхода сливаемых потоков между точками их входа на контроль и общей точкой слияния (рис. 1а). В отличие от стандартных схем (рис. 1б) типа “продольно ориентированный тромбон” [3, 4] исследуемые схемы имеют вид “развернутого полутромбона” (рис. 1в). Такая структура позволяет более точно реализовать необходимую величину задержки управляемого ВС и обеспечить оптимальную (минимально необходимую) суммарную задержку судов для их бесконфликтного слияния в общей точке.

Кроме того, введены алгоритмы расчета необходимой задержки или ускорения (замедления) каждого ВС путем регулирования скорости его движения. Динамика центра масс ВС описывается системой обыкновенных дифференциальных уравнений шестого порядка в соответствии со стандартом [5].