

УДК 681.3.068

А.Ю. СОКОЛОВ, В.М. ХУССЕЙН*Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Украина***УПРАВЛЕНИЕ КВАДРОТОРОМ В НЕДЕТЕРМИНИРОВАННОЙ СРЕДЕ**

В работе рассматривается способ управления сложной динамической системой типа квадрантора на основе применения нечеткого регулятора. В качестве параметров (пространственных и угловых) объекта управления используется видеосигнал. Предлагается двухконтурная система управления. Первый (внутренний) контур представляет собой базу знаний, реализующую управление по ошибке. База правил внешнего контура формирует управляющие воздействия на двигатели квадрантора в соответствии с программой полета. Рассмотрен мультиагентный подход к управлению в условиях неопределенности внешней среды. Выбор наилучшего решения определяется на основе оптимизации функции предпочтения как выбор между возможными вариантами движения. Особенность данного аппарата позволяет применять подобные формулировки задач управления, поскольку квадрантор способен практически мгновенно изменять траекторию движения в произвольном направлении, в отличие от классических схем беспилотных летательных аппаратов.

Ключевые слова: навигация, динамическая система, сигнальные объекты, посадка, летательный аппарат, видеоуправление.

Введение

Современные динамические объекты оснащаются все более разнообразными системами управления, среди которых особое место занимают интеллектуальные системы. Их основная задача – поиск оптимальных решений в условиях неопределенности, характерных для движения объекта в реальной среде. Также характерным является оснащение динамических систем сенсорами разной природы, среди которых видеосистемы занимают одно из первых мест. Обработка видеопотока, получаемого из установленной на объекте видеосистемы, предполагает решения целого ряда задач, традиционно относящихся к категории искусственного интеллекта – распознаванию образов, определению параметров траектории движения по сигнальным объектам, и другие.

Помимо этих задач, важными являются задачи определения в видеопотоке полезной информации – целевых объектов, рекомендуемой траектории. Некоторые задачи и их решения были опубликованы авторами в работах [1, 2].

Цель настоящей работы – развитие интеллектуальных способностей системы управления в направлении взаимодействия с внешней средой на основе мультиагентного подхода.

Ниже предложены постановки и методы решения этих задач для довольно перспективного летательного аппарата - квадрантора.

Квадрантор представляет собой летательный аппарат в виде жестко соединенных четырех про-

пеллерных роторов в перекрестной конструктивной схеме (рис. 1). Для уменьшения гироскопического момента аппарата роторы попарно вращаются в разных направлениях.

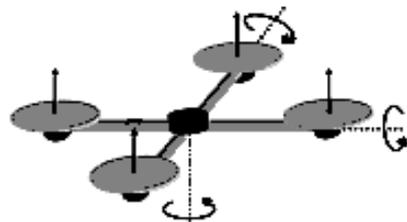


Рис. 1. Схема квадрантора

1. Математическая модель квадрантора

Рассмотрим динамику квадрантора в инерциальной и связанной систем координат (СК) для выработки решений по управлению таким аппаратом. Углы Эйлера определяют ориентацию аппарата с помощью матрицы вращения M из связанной в инерциальную СК. Запишем динамику аппарата из совокупности дифференциальных уравнений – уравнений сил и моментов.

Представленная ниже динамика рассмотрена при следующих предположениях – аппарат является симметричным в продольной и поперечной связанных осях, центр масс совпадает с геометрическим центром и роторы жестко укреплены по осям аппарата.

Взаимосвязь угловых скоростей аппарата по осям связанной СК определяется кинематическим соотношением для углов Эйлера

$$\begin{aligned} \dot{\gamma} &= \omega_x - \operatorname{tg}(\vartheta)(\omega_y \cos(\gamma) - \omega_z \sin(\gamma)), \\ \dot{\psi} &= \sec(\vartheta)(\omega_y \cos(\gamma) - \omega_z \sin(\gamma)), \\ \dot{\vartheta} &= \omega_y \sin(\gamma) + \omega_z \cos(\gamma), \end{aligned} \quad (1)$$

где γ, ψ, ϑ – углы крена, курса и тангажа соответственно, $\omega_x, \omega_y, \omega_z$ – угловые скорости в связанной СК. Углы ориентации определяют матрицу вращения M , как матрицу поворота на углы Эйлера $M = M(\vartheta, \psi, \gamma)$ и которая преобразует вектор линейной скорости из связанной в инерциальную СК.

$$\begin{bmatrix} v_{x,I} & v_{y,I} & v_{z,I} \end{bmatrix}^T = M(\vartheta, \psi, \gamma) \begin{bmatrix} v_{x,b} & v_{y,b} & v_{z,b} \end{bmatrix}^T,$$

где индекс I – обозначает вектор в инерциальной СК, а b – связанной СК.

Уравнения сил. Аэродинамические силы, образованные тягой ротора, являются пропорциональными квадрату скорости вращения ротора и выражаются так [3]

$$P_j = C_1 \left(\frac{1 - 2\pi L C S}{v_{pr} \Omega_j} + 2\pi \frac{\dot{y} - w_y}{v_{pr} \Omega_j} \right),$$

где v_{pr} – установочный угол тангажа пропеллера ротора; Ω_j – угловая скорость соответствующего ротора, $C_1 = k_{motor} \rho S_{pr} \Omega_j^2 R_{pr}^2$; L – расстояние до точки установки ротора; C – параметр, зависящий от номера ротора и $C=1$, если $j=1$ или 4 , $C=-1$, если $j=2$ или 3 ; $S = \omega_{z,b}$, если $j=1$ или 3 , $S = \omega_{x,b}$, если $j=2$ или 4 .

Аэродинамические силы ветрового смещения в связанной СК можно представить как

$$P_w = \begin{bmatrix} k_a(w_{x,b} - \dot{x}_b) & k_a(w_{y,b} - \dot{y}_b) & k_a(w_{z,b} - \dot{z}_b) \end{bmatrix}^T.$$

где $\begin{bmatrix} w_{x,b} & w_{y,b} & w_{z,b} \end{bmatrix}^T$ – вектор скорости в связанной СК, k_a – коэффициент демпфирования в атмосфере.

Тогда система уравнений для сил в инерциальной СК, действующих на квадросотор, запишется

$$\begin{aligned} \begin{bmatrix} \ddot{x}_I \\ \ddot{y}_I \\ \ddot{z}_I \end{bmatrix} &= \begin{bmatrix} 0 \\ g \\ 0 \end{bmatrix} + M(\vartheta, \psi, \gamma) \frac{P_w}{m} + \\ &+ \frac{P_1 + P_2 + P_3 + P_4}{m} M(\vartheta, \psi, \gamma) \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \\ 0 \end{bmatrix}. \end{aligned}$$

Последнее уравнение можно дополнить уравнениями относительно координат смещения БЛА.

Уравнения моментов. На аппарат действуют следующие моменты – аэродинамический момент сопротивления вращающихся роторов, гироскопический момент роторов, момент сопротивления от вращения аппарата, инерционный момент роторов.

Аэродинамический момент сопротивления вращающихся роторов можно записать как

$$D_j = C_2 \left(\frac{1 - 2\pi L C S}{v_{pr} \Omega_j} + 2\pi \frac{\dot{y} - w_y}{v_{pr} \Omega_j} \right),$$

где $C_2 = k_d \rho S_{pr} \Omega_j^2 R_{pr}^3$.

Инерционный момент роторов, как суммарное влияние вращения 4-х роторов $T_R = J_R(-\Omega_1 + \Omega_2 + \Omega_3 - \Omega_4)$, где J_R – момент инерции одного ротора (двигатель и пропеллер).

Момент сопротивления от вращения аппарата пропорционален угловой скорости вращения

$$T_f = k_f \begin{bmatrix} \dot{\gamma} & \dot{\psi} & \dot{\vartheta} \end{bmatrix}^T,$$

где k_f – коэффициент сопротивления вращению в атмосфере.

Гироскопический момент роторов вызван комбинацией вращения роторов и аппарата и выражается как

$$T_g = J_R \begin{bmatrix} \dot{\vartheta} \Omega & 0 & \dot{\gamma} \Omega \end{bmatrix}^T,$$

где $\Omega = -\Omega_1 + \Omega_2 - \Omega_3 + \Omega_4$ суммарная угловая скорость роторов.

Момент возмущений обозначим как

$$T_d = \begin{bmatrix} \tau_x & \tau_y & \tau_z \end{bmatrix}^T.$$

Тогда для момента вращения аппарата для связанной СК запишется

$$\begin{aligned} \begin{bmatrix} \dot{\omega}_{x,b} \\ \dot{\omega}_{y,b} \\ \dot{\omega}_{z,b} \end{bmatrix} &= -J^{-1} \begin{bmatrix} 0 & -\omega_{z,b} & \omega_{y,b} \\ \omega_{z,b} & 0 & -\omega_{x,b} \\ -\omega_{y,b} & \omega_{x,b} & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \omega_{x,b} \\ \omega_{y,b} \\ \omega_{z,b} \end{bmatrix} - \\ &- J^{-1} (T_R + T_d + T_g) + J^{-1} \begin{bmatrix} L(P_4 - P_2) \\ D_1 - D_2 + D_3 - D_4 + I_g \\ L(P_1 - P_3) \end{bmatrix}, \end{aligned}$$

где J – матрица моментов инерции аппарата.

Предположения относительно роторов – их динамика в сравнении с динамикой самого аппарата является более быстросействующей, поэтому динамикой роторов пренебрегаем, а так же считаем идентичными все роторы.

Зависимость угловой скорости ротора двигателя от сигнала управления считаем линейной и определяем как

$$\Omega_i = k_{dv} u_i,$$

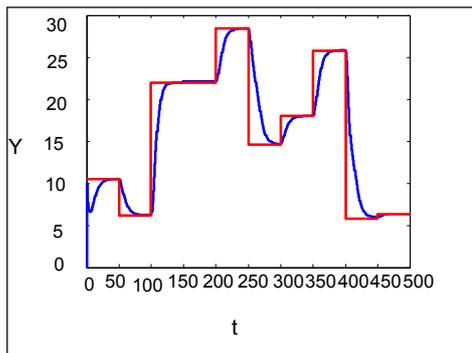
где k_{dv} – коэффициент передачи электродвигателя, u_i – входной сигнал электродвигателя.

Нелинейный характер модели квадросотора приводит к необходимости применения нескольких уровней управления, каждый из которых решает различные задачи управления. Предлагается двух-контурная система управления.

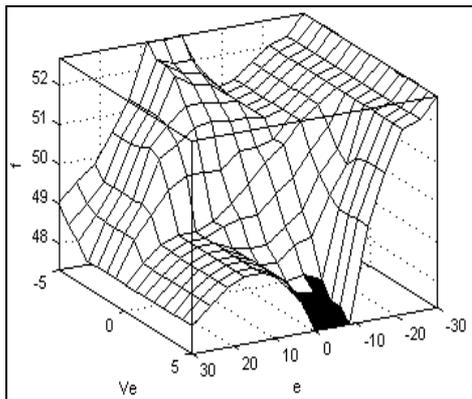
2. Контур управления положением

Управление положением аппарата и вращением вокруг осей осуществляется путем изменения осевых сил роторов f_1, f_2, f_3, f_4 . Внутренний контур обеспечивает управление положением квадротора.

Для реализации внутреннего контура предложено использовать нечеткий контроллер. На рис. 2 приведен график переходного процесса изменения высоты и функция, формируемая нечетким регулятором внутреннего контура $FC: \varepsilon, \dot{\varepsilon} \rightarrow f_i, i = \overline{1,4}$.



а



б

Рис. 2. График переходного процесса:
а – управление по высоте;
б – функция нечеткого контроллера

Система управления представляет собой набор правил для решения задач навигации квадротора. Введя лингвистические переменные – *Low*, *Middle*, *High* для обозначения осевых сил роторов, можно сформулировать следующие правила управления:

Если режим «Подъем», то

f_1 is High, f_2 is High, f_3 is High, f_4 is High.

Если режим «Зависание», то

f_1 is Middle, f_2 is Middle, f_3 is Middle, f_4 is Middle.

Если режим «Спуск», то

f_1 is Low, f_2 is Low, f_3 is Low, f_4 is Low.

Если режим «Движение влево», то

f_1 is Middle, f_2 is Middle, f_3 is High, f_4 is Low.

Если режим «Движение вправо», то

f_1 is Middle, f_2 is Middle, f_3 is Low, f_4 is High.

Если режим «Движение вперед», то

f_1 is Low, f_2 is High, f_3 is Middle, f_4 is Middle.

Если режим «Движение назад», то

f_1 is High, f_2 is Low, f_3 is Middle, f_4 is Middle.

Если режим «Поворот по час. стрелке», то

f_1 is High, f_2 is High, f_3 is Low, f_4 is Low.

Если режим «Поворот против час. стрелки», то

f_1 is Low, f_2 is Low, f_3 is High, f_4 is High.

Введя подобный набор правил, можно решать задачи управления движением квадротора по заданной программе (пример на рис. 3.) в условиях недетерминированной среды с помощью специального набора команд со структурой *<режим, продолжительность>*, например: *<Подъем, 10 с>*, *<Вперед, 20 с>*, *<Зависание, 15 с>*,....

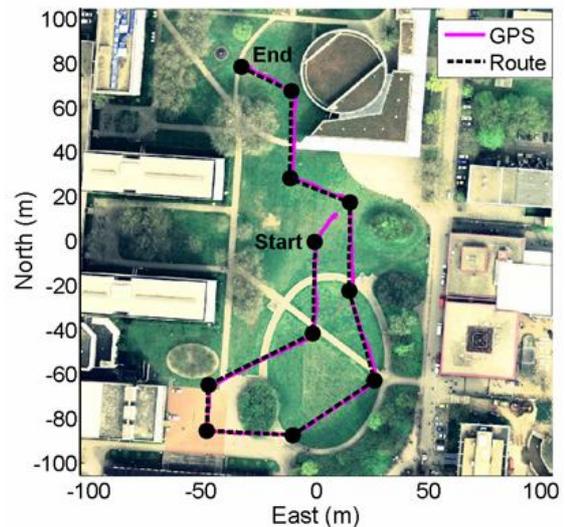


Рис. 3. Пример программы облета

3. Контур логического управления в мультиагентной среде

Внешний контур предназначен для логического управления в условиях недетерминированной среды, то есть когда среда является частично известной.

Особенностью управления является то, что квадротор способен перемещаться в трехмерной среде произвольным образом, что позволяет сформулировать множество альтернатив перемещения, в отличие от двумерной среды, в которой обычно рассматриваются задачи принятия решений.

Решение основных задач управления, связанных с выполнением полетного задания в автономном режиме, связано с принятием решения в условиях активной и недетерминированной внешней среды. Одним из современных подходов в управлении является агентное представление задач управления. Квадротор можно представить в виде агента, который принимает решение в условиях изменяющейся внешней среды.

Разобьем пространство, в котором находится квадратотор, на трехмерную сетку с длиной ребра, соответствующей среднему расстоянию, которое квадратотор проходит за время обработки двух соседних кадров (рис. 4).

Если скорость видеосъемки – 1/10 с., средняя скорость полета – 10 м/с, время на работу алгоритма определения положения – 1/20 с., то длина ребра – 1,5 м.

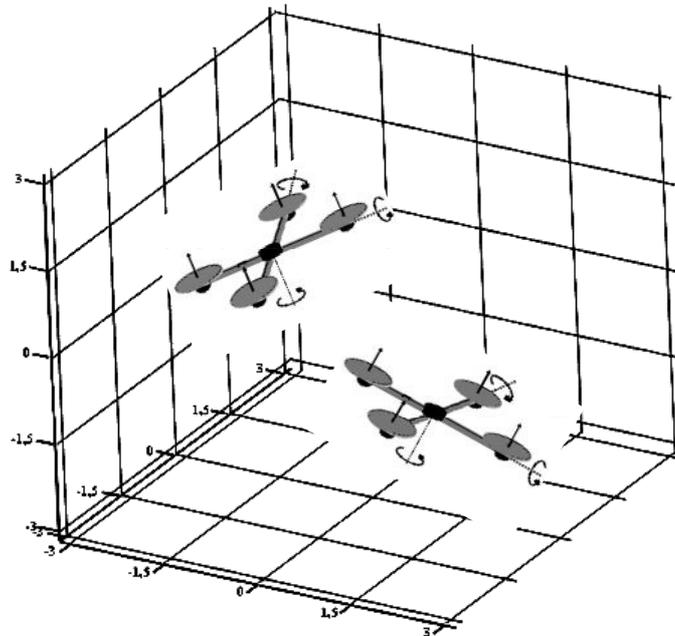


Рис. 4. Представление пространства перемещения квадратотора

Квадротор в агентной интерпретации можно представить в виде пары

$$Ag = \langle shmP, M \rangle,$$

где P – схема агента (база данных и знаний), $M = \{Per, Dec, Trans\}$ – методы, которым обладает агент:

- восприятие $Per : E \rightarrow A_{in}$,
- принятие решения $Dec : A_{in} \rightarrow A_{out}$,
- изменение среды $Trans : A_{out} \rightarrow E'$.

В зависимости от способов реализации этих операций зависят интеллектуальные свойства агентов.

Предположим существование мира, в котором существует один или более агентов (квадроторов), и в котором они могут воспринимать информацию, принимать решения и действовать. Коллективная информация, которую содержит мир на некотором временном шаге t , и которая соответствует рассматриваемому заданию, называется состоянием мира и обозначается s_t . Множество всех возможных состояний мира обозначим через s .

Рассмотрим дискретное множество временных шагов $t=0,1,2,\dots$, на каждом из которых агент

должен выбрать действие a_t из конечного множества доступных действий A . Интуитивно предполагаем, что для того чтобы действовать рационально в момент времени t , во время выбора действия агент должен учесть прошлое и будущее. К прошлому относятся ранее воспринятая информация и действия, выполненные до момента t , к будущему – то, какую информацию агент ожидает получить и какие действия выполнить после момента t .

Пусть заданы следующие множества действий и состояния окружающей среды соответственно:

$$A = \{A_1, \dots, A_n\}, E = \{E_1, \dots, E_m\}.$$

Текущее действие – элемент множества

$$a_i = A_j, i = 0,1,2,3,\dots, j = 1,\dots,n,$$

а текущее наблюдение – элемент множества

$$\theta_i = E_j, i = 0,1,2,3,\dots, j = 1,\dots,m.$$

Пусть θ_τ – наблюдение агента в момент времени τ , тогда, что для оптимального выбора действия в момент времени t агент должен учесть полную историю наблюдений θ_τ и действий a_t для $\tau \leq t$. Политикой поведения агента называется функция вид

$$\pi(\theta_0, a_0, \theta_1, a_1, \dots, \theta_t) = a_t, \quad (2)$$

которая на основе всей воспринятой информации за момент времени t и всех действий до последнего восприятия определяет поведение агента в момент времени t (рис. 5).

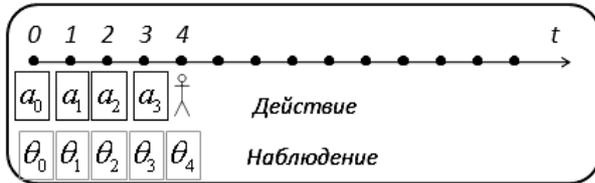


Рис. 5. Определение политики агента

Псевдокод функции определения политики агента приведен на рис. 6.

```

Function Skeleton-Agent (percept) returns action
  Static: memory
  memory ← Update-Memory(memory, percept)
  action ← Choose-best-action(memory)
  memory ← UPDATE-MEMORY(memory, action)
  return action
    
```

Рис. 6. Псевдокод функции определения политики агента

При каждом вызове функции, память агента обновляется и отображает новое восприятие, после чего выбирается лучшее решение, и этот факт запоминается в памяти. Содержимое памяти сохраняется от одного вызова к другому. В каждый момент времени t агент выбирает действие из конечного множества действий A .

Модель перехода (модель мира) определяет, как изменяется внешняя среда под действием, выполняемым агентом.

Если текущее состояние – s_t и агент выбирает действие a_t , можно рассмотреть два случая:

в детерминированном мире – модель перехода – это отображение действие (s_t, a_t) в новое состояние s_{t+1} , в стохастическом мире – это распределение вероятностей $p(s_{t+1}|s_t, a_t)$. В случае частичной видимости внешней среды, характерной для управления динамической системой, такой подход к моделированию является более приемлемым.

Помимо состояний среды и действий агента целесообразно ввести также функцию предпочтения $U(s)$, которая каждому состоянию среды ставит в соответствие вещественное число. Формально, для двух состояний s и s' выполняется $U(s) > U(s')$, тогда и только тогда, когда агент предпочитает

состояние s состоянию s' , и $U(s) = U(s')$ тогда и только тогда, когда для агента состояния s и s' неразличимы.

Для формирования действий агента – квадратора прежде всего необходимо определить множество возможных состояний агента, учитывающих внешнюю среду, и множество действий.

Определим состояние агента в виде вектора $\langle \text{position, bar, goal} \rangle$ с элементами: *position* – положение квадратора в виде вектора линейных и угловых перемещений $(x, y, z, \alpha, \beta, \gamma)$, *bar* – наличие препятствия в различных направлениях (*front, left, right*), *goal* – признак нахождения в целевом состоянии («зависание» над заданным объектом, обнаружение заданной цели и т.п.). Для определения положения предлагается использовать результаты видеосъемки с определением параметров перемещения на основе проективных преобразований, алгоритм которых предложен в [1]. На основе видеонаблюдений определяются также наличие препятствия движению квадратора.

Тогда база правил определения поведения может быть представлена в виде таблицы:

Таблица 1

База знаний агента «Квадратор»

Состояние	Действие
Bar-front is true and Bar-right is true and Bar-left is true	режим «Подъем»
Goal is true	режим «Зависание»
Bar-front is true and Bar-right is true	режим «Движение влево»
x is high and y is low and z is middle	режим «Движение вперед»
...	...

Сформированная база знаний позволяет выполнять различные задания полета по маршруту. Однако важным представляется выработка политики агента в условиях неопределенности, когда распознать препятствия удастся не сразу, а при некотором приближении к ним. С этой целью формируются гипотезы о возможных препятствиях по текущим изображениям и формировании функции полезности.

Введем в рассмотрение функцию, определяющую наилучшую стратегию в виде

$$a_t^* = \arg \max_{a_t \in A} \sum_{s_{t+1}} p(s_{t+1}|s_t, a_t) U(s_{t+1}),$$

где $U(s)$ – функция полезности состояния $s(x, y, z)$, $p(s_{t+1}|s_t, a_t)$ – вероятность перехода из состояния s_t в состояние s_{t+1} .

4. Иллюстративный пример

Рассмотрим данную задачу более подробно на следующем примере. Для упрощения изложения рассмотрена двумерная модель мира.

Пусть мир, в котором функционирует агент-квадротор, позволяет выполнять агентом следующие действия:

$$\{Up, Down, Left, Right\}.$$

Рассмотрим случай полной видимости агента, то есть агент знает свое местоположение.

Пусть также заданы терминальные состояния – желаемое (целевое) со значением функции предпочтения 1, и два нежелательных состояния со значениями – 1. На рис. 7 приведен пример фрагмента мира со значениями функции предпочтений агента в узлах допустимого расположения. Каждая позиция оценена априори и значения функции предпочтений приведены на рис. 7. Пусть начальным состоянием является состояние A1. Рассмотрим стохастическую переходную модель мира с заданными вероятностями перехода в желаемое состояние – 0,8, и в перпендикулярные состояния – 0,2.

Пусть каждая позиция оценена априори и значения функции полезности приведены на рис. 7. Пусть также заданы вероятности переходов состояний. Рассмотрим выбор наилучшего перемещения из точки B3. Определим лучшую стратегию в соответствии с формулой:

$$\pi^*(s) = \operatorname{argmax}_a \sum_{s'} p(s'|s, a) U^*(s').$$

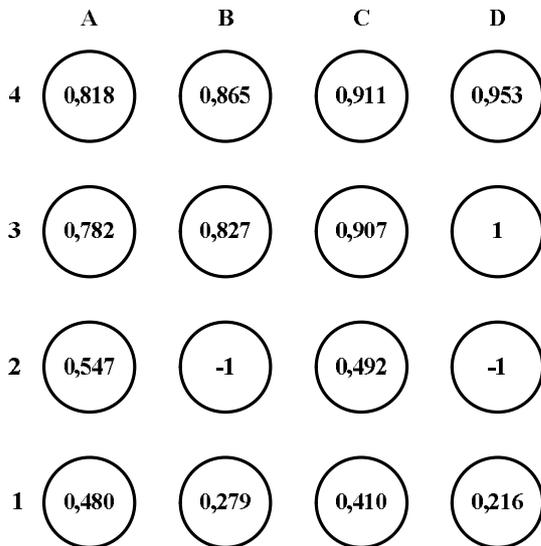


Рис. 7. Фрагмент мира

Возможны следующие действия квадротора:

1. Режим «Подъем»

$$p(B4|B3, Up) \cdot U(B4) + p(A3|B3, Up) \cdot U(A3) + p(C3|B3, Up) \cdot U(C3) = 0,8 \cdot 0,865 + 0,1 \cdot 0,782 + 0,1 \cdot 0,907 = 0,8609.$$

2. Режим «Движение вправо»

$$p(C3|B3, Right) \cdot U(C3) + p(B4|B3, Right) \cdot U(B4) + p(B2|B3, Right) \cdot U(B2) = 0,8 \cdot 0,907 + 0,1 \cdot 0,865 + 0,1 \cdot (-1) = 0,7121.$$

3. Режим «Движение влево»

$$p(A3|B3, Left) \cdot U(A3) + p(B2|B3, Left) \cdot U(B2) + p(B4|B3, Left) \cdot U(B4) = 0,8 \cdot 0,782 + 0,1 \cdot (-1) + 0,1 \cdot 0,865 = 0,6121.$$

4. Режим «Спуск»

$$p(B2|B3, Down) \cdot U(B2) + p(C3|B3, Down) \cdot U(C3) + p(A3|B3, Down) \cdot U(A3) = 0,8 \cdot (-1) + 0,1 \cdot 0,907 + 0,1 \cdot 0,782 = -0,6311.$$

Очевидно, наилучшее решение дает режим «Подъем», даже несмотря на то, что $U(B4) < U(C3)$.

Заключение

В работе рассмотрены задачи управления БПЛА типа «квадротор». Особенности данного летательного аппарата позволяют рассмотреть различные содержательные задачи управления, среди которых – стабилизация движения в различных режимах, выбор режима для решения задач, выполняющих полетное задание, определение навигационных параметров на основе обработки видеопотока, взаимодействие с внешней средой и другими летательными аппаратами.

В качестве математического аппарата для решения этих задач предложено использование теории нечеткой логики, мультиагентного представления, а также методов вычислительной геометрии.

Перспективным представляется включение в контур управления интеллектуальных функций, позволяющих оценивать текущую обстановку (обнаружение непредвиденных препятствий, достижение целевого положения и др.) и автоматически корректировать программу движения квадротора на основе заложенной логики поведения.

Литература

1. Goela Rahul. *Modeling, Simulation and Flight Testing of an Autonomous Quadrotor* / Rahul Goela, Sapan M. Shahb, Nitin K. Gupta, I. N. Ananthkrishnan. – *Proceedings of ICEAE, 2009*. – P. 31-36.
Соколов А.Ю. Методы формирования параметров пространственного движения объекта на

основе обработки визуальной информации / А.Ю. Соколов, В.М. Хуссейн // *Радиоэлектронні і комп'ютерні системи*. – 2009. – № 3 (37). – С. 104-110.

2. Кортунов В.И. Управление квадродором на этапе посадки / В.И. Кортунов, В.М. Хуссейн // *«Авиационно-космическая техника и технология»*. – 2010. № 2 (69). – С. 55-61.

Поступила в редакцию: 25.05.2010

Рецензент: д-р техн. наук, проф., зав. каф. 502, декан факультета радиотехнических систем ЛА В.М. Илюшко, Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Харьков, Украина.

**УПРАВЛІННЯ КВАДРОТОРОМ
У НЕДЕТЕРМІНОВАНОМУ СЕРЕДОВИЩІ**

О.Ю. Соколов, В.М. Хуссейн

У роботі розглядається спосіб управління складною динамічною системою типу квадродора на основі застосування нечіткого регулятора. Як параметри (просторові та кутові) об'єкта управління використовується відеосигнал. Пропонується двоконтурна система управління. Перший (внутрішній) контур являє собою базу знань, що реалізовує управління за похибкою. База правил зовнішнього контуру формує керуючі впливи на двигуни квадродора відповідно до програми польоту. Розглянуто мультиагентний підхід до управління в умовах невизначеності зовнішнього середовища. Вибір найкращого рішення визначається на основі оптимізації функції переваги як вибір між можливими варіантами руху. Особливість даного апарату дозволяє застосовувати подібні формулювання завдань управління, оскільки квадродор здатний практично миттєво змінювати траєкторію руху в довільному напрямі, на відміну від класичних схем безпілотних літальних апаратів.

Ключові слова: навігація, динамічна система, сигнальні об'єкти, посадка, літальний апарат, відеоуправління.

**QUAD-ROTOR CONTROL
IN NONDETERMINISTIC ENVIRONMENTS**

O.Ur. Sokolov, W.M. Hussein

The method of complex dynamic system such as quad-rotor control through the application of fuzzy controller is considered. Video stream as a parameter (spatial and angular) control object is used. Two-circuit control system is proposed. The first (inner) circuit is a knowledge base, which implements a control by mistake. The base rules of the external circuit generates the control actions on engines quad-rotor in accordance with the flight program. Multi-agent approach to control under conditions of uncertainty of environment is considered. The choice of the best solution is defined on the base of optimization function of preference as the choice between possible variants of motion. Feature of this aircraft allows to use similar formulation of control problems as quad-rotor can practically immediately change motion trajectory in any direction as opposed to classic diagrams of pilotless aircraft.

Keywords: navigation, dynamic system, signal objects, landing, aircraft, vision responsive control.

Соколов Александр Юрьевич – д-р техн. наук, проф., зав. каф. інформатики Национального аэрокосмического университета им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Харьков, Украина.

Хуссейн Ватик М. – аспирант кафедры інформатики Национального аэрокосмического университета им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Харьков, Украина.