

Метод управления следящей камерой винтокрылого летательного аппарата на основе теории нечетких множеств

Д.Б. Дайебал, Н.Е. Сергеев

Институт компьютерных технологий и информационной безопасности Южного федерального университета, Таганрог, Российская федерация

Аннотация: В основе решения задачи автоматического взлета и посадки вертолетной техники лежит проблема ориентирования летательного аппарата относительно места посадки. Существующие подходы основаны на комбинации технологий спутникового позиционирования и сенсоров. Такие решения обладают существенным недостатком – низкой точностью позиционирования. В связи с этим необходима разработка новых методов, обеспечивающих низкую вычислительную сложность и высокую точность позиционирования относительно места посадки. В статье проведён обзор современных решений в области автономного управления летательной техникой. Предлагается новый подход к решению задачи ориентирования вертолета относительно взлетно-посадочной площадки. Подход основан на использовании камеры, следящей за знаком хелипорта. Определение места посадки осуществляется на базе теории нечетких множеств и сложных лингвистических переменных. Сложные лингвистические переменные имеют трехмерные функции принадлежности, что позволяет избегать проблемы неопределенности. Упрощение вычислительного процесса достигается при этом за счет использования проекций сечений трехмерных функций принадлежности.

Ключевые слова: вертолёт, техника, спутник, посадка, взлет, ориентирование, камера, проекция, метод, аппарат.

Введение

Актуальной является задача обеспечения автоматического взлета и посадки вертолета. Для ее решения могут использоваться технологии спутникового позиционирования, дополняемые различными сенсорами и датчиками. Достоинства таких технологий – низкая стоимость и низкая вычислительная сложность алгоритмов. Но такие технологии не получили коммерческого или массового использования. Причина этого состоит в главном их недостатке – точности позиционирования.

На сегодняшний день, типовая точность позиционирования GPS составляет 6-8 метров в горизонтальной плоскости [1]. С применением дополнительных технических устройств ее можно повысить. Но это справедливо для открытой поверхности, где нет естественных и искусственных преград для приема спутникового сигнала. Таким образом,

при размере посадочной площадки 20 на 20 метров, отклонение может составлять более 25% и оказаться критическим.

Альтернативой подобному решению являются системы автоматического мониторинга объектов в пространстве. Они решают задачу определения положения наблюдаемого объекта относительно области наблюдения.

Взлетно-посадочная площадка вертолета обозначается визуальным ориентиром - знаком хелипорта, который имеет стандартизированные размеры и пропорции. Имея возможность отслеживать знак хелипорта и определять его положение можно решить задачу ориентирования вертолета в пространстве. В данной статье предлагается метод управления следящей камерой за визуальным ориентиром, основанный на теории нечетких множеств.

Современное состояние исследований

Основными проблемами в автономной посадке являются: точные измерения (или оптимальные оценки) местоположения платформы посадки, а также БПЛА и устойчивая траектория движения в присутствии помех и неопределенностей. Для решения этих проблем было предложено несколько подходов к автономной посадке беспилотных летательных аппаратов. Гинис Л.А. писал: "Нечеткий когнитивный подход в последнее время становится основой для перспективных разработок при изучении поведения проблемно-ориентированных систем, особенно, в социально – экономической и политической сферах. Когнитивное моделирование дает возможность построения моделей, учитывающих такие особенности как: условия неполноты информации, наличие качественной информации, влияние человеческого фактора, устойчивость развития в условиях бифуркаций, что позволит определять возможные и рациональные пути

управления ситуацией с целью перехода от негативных исходных состояний к позитивным" [2]. Гинис Л.А. представил возможно построение прогнозных сценариев развития сложной системы, с учетом реакции на внешние воздействия [3]. Erginer и Altug предложили конструкцию контроллера PD для управления ориентацией в сочетании с системой слежения на основе зрения, которая позволяет квадрокоптеру автономно приземляться на стационарную посадочную площадку [4]. Voos и Nourghassemi представили систему управления, состоящую из управления ориентацией внутреннего контура с использованием линеаризации обратной связи, контроля скорости и высоты внешнего контура с использованием пропорционального управления и контроллера 2D-трекинга на основе линеаризации обратной связи для автономной посадки БПЛА с четырьмя роторами на движущейся платформе [5]. Ахмед и Пота представили расширенный нелинейный контроллер обратного хода для посадки беспилотного летательного аппарата с использованием привязи [6].

Надежные методы управления также использовались для посадки БПЛА, чтобы справиться с неопределенными параметрами системы и помехами. Шу и Агарвал использовали смешанную технику управления H_2 / H_∞ , где метод H_2 используется для оптимизации траектории, а метод H_∞ сводит к минимуму влияние возмущения на выход производительности [7]. Ван и соавт также использовали смешанную технику H_2 / H_∞ , чтобы гарантировать, что БПЛА отслеживает желаемую траекторию посадки под влиянием неопределенностей и помех [8]. В их подходе метод H_2 был сформулирован как линейная квадратичная гауссова задача (LQG) для оптимального динамического отклика, а метод H_∞ был принят для минимизации влияния грунта и атмосферных помех.

Компьютерное зрение использовалось в решающей роли во многих автономных методах посадки. Ли и соавт. [9] представили визуальное

обслуживание на основе изображений (IBVS) для отслеживания посадочной платформы в пространстве двухмерных изображений. Серра и соавт. [10] также приняли динамический IBVS наряду с поступательным оптимальным потоком для измерения скорости. Borowczyk et al. [11] использовали вспомогательную визуальную систему AprilTags [12] вместе с приемником IMU и GPS, встроенным в движущуюся цель, движущуюся со скоростью до 50 км / ч. Veul et al. [13] продемонстрировали автономную посадку на тележке для гольфа, работающей на скорости $\sim 4,2$ м / с, с использованием двух камер для высокочастотного распознавания образов в сочетании со стратегией адаптивного рыскания.

Основанные на обучении методы управления для автономной посадки также были изучены для достижения оптимальной политики управления в условиях неопределенности. Polvara et al. [14] предложили подход, основанный на иерархии глубоких Q-сетей (DQN), которые можно использовать в качестве высококлассной политики управления для навигации на разных этапах. При оптимальной политике они продемонстрировали автономную посадку квадрокоптера в большом разнообразии моделируемых сред. Также был принят ряд подходов, основанных на адаптивных нейронных сетях, чтобы сделать контроллер траектории более надежным и адаптивным, гарантируя, что контроллер способен направлять воздушное судно на безопасную посадку при наличии различных помех и неопределенностей [15-18]

Модель Predictive Control (MPC) - это алгоритм управления, который использует модель процесса для прогнозирования состояний в будущем временном горизонте и вычисления ее оптимальных входных данных системы путем оптимизации линейного или квадратичного объектива без обратной связи с учетом линейных ограничений. Исследователи уже внедрили его в другие проблемы. Темплтон и соавт. [19] представили

систему картирования и анализа местности для автономной посадки вертолета на неподготовленную местность на основе MPC. Юй и Сянчжу [20] внедрили модель прогнозирующего контроллера для избежания препятствий и планирования пути для запуска самолета-носителя. Самал и соавт. [21] представили модель прогнозирующего контроллера на основе нейронной сети для обработки внешних помех и изменений параметров системы для управления высотой беспилотного вертолета. Tian et al. [22] представили метод, который комбинировал MPC с генетическим алгоритмом (GN) для решения проблемы совместного поиска БПЛА.

Feng, Zhang и др. [23] предложили новый метод управления, который позволяет микро БПЛА автономно приземляться на движущейся платформе при наличии неопределенностей и помех. Основное внимание в этом методе управления заключается в реализации такого алгоритма в недорогой, легкой встроенной системе, которая может быть интегрирована в микро-БПЛА. Предложенный подход состоит из визуального отслеживания цели, оптимальной локализации цели и прогнозирующего контроля модели, для оптимального управления БПЛА.

Обзор существующих подходов показал, что нечеткая логика, несмотря на ее достоинства, используется в качестве вспомогательного инструмента, либо не используется вовсе.

Постановка задачи

Чтобы обеспечить возможность визуального ориентирования вертолета в автоматическом режиме, необходимо на его нижней части закрепить камеру. Поскольку вертолет не является стабильным объектом и может совершать колебания во всех направлениях относительно своей оси, камера должна оставаться независимой. Для этого камера может быть размещена на подвесе, который управляется при помощи двух шаговых двигателей рис. 1

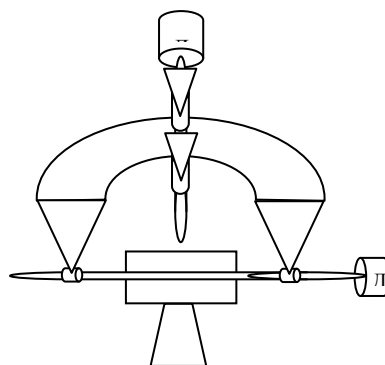


Рис. 1 – Размещение камеры на двух двигателях

Каждый двигатель, таким образом, отвечает за угол отклонения относительно вертикали, проходящей через центр вертолета. Двигатель Д1 управляет отклонением вперед-назад, двигатель Д2 управляет отклонением вправо-влево. Ставится задача разработать правила управления двигателями на основе нечетких лингвистических переменных. Правила должны обеспечить стабилизацию камеры относительно знака хелипорта.

Предлагаемый метод

С использованием камеры можно сформировать следующую плоскость для принятия решения рис. 2.

На данной области существуют позиции отклонения относительно центра. От ближнего правого угла до дальнего левого. Каждая позиция отклонения соответствует нечеткой лингвистической переменной с таким же именем. Каждая такая лингвистическая переменная является сложной. Она определяется на иерархическом множестве термов, где каждый терм представляет в свою очередь самостоятельную нечеткую лингвистическую переменную. Каждая такая переменная может использоваться самостоятельно или в качестве элемента терм-множества другой лингвистической переменной.

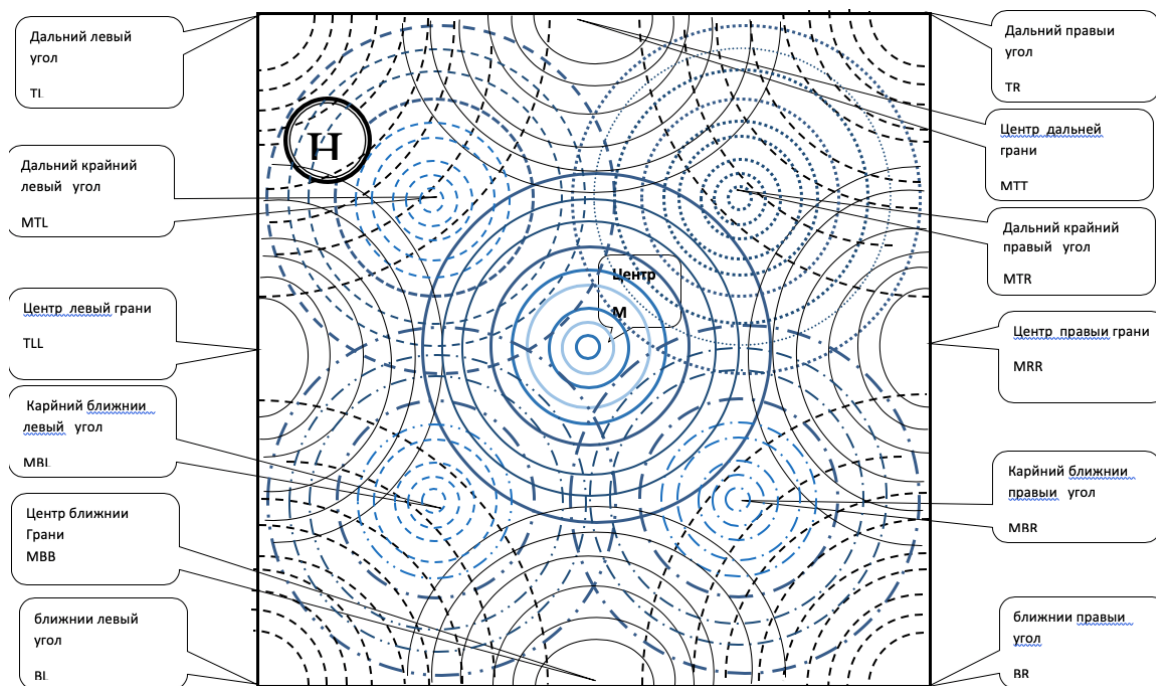


Рис. 2 – Плоскость для принятия решения по управлению камерой

Положение знака хелипорта в пространстве опишем сложной лингвистической переменной:

$$\langle \beta_u, T, X, G, M \rangle$$

где β_u – наименование лингвистической переменной «Положение объекта», T – базовое терм-множество, $T = \{\text{«Крайний ближний левый угол»}, \text{«Центр ближней грани»}, \dots, \text{«Крайний дальний правый угол»}\}$, $\beta_u T = T \cdot \cup T \square \cup T \angle$, $T \cdot$ – центральные термы, $T \square$ – крайние термы, $T \angle$ – угловые термы, X – область определения в классическом виде – предметная плоскость, G – синтаксическая процедура, M – семантическая процедура.

Сложные лингвистические переменные имеют трехмерные функции принадлежности рис. 3, получаемые путем вращения симметричных функций принадлежности относительно перпендикуляра, опущенного из точек для $\mu=1$.

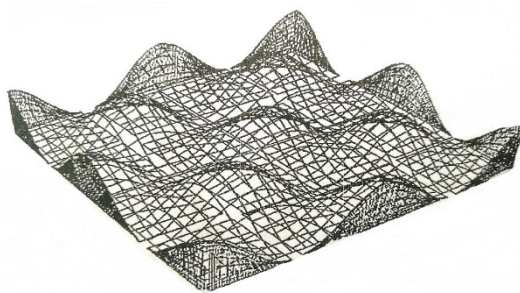


Рис. 3 – Поверхность принадлежности термов

Использование для нечеткого моделирования поверхностей принадлежности может привести к росту объема вычислений. Поэтому практический интерес представляет использование проекции сечений, как показано на рис. 4.

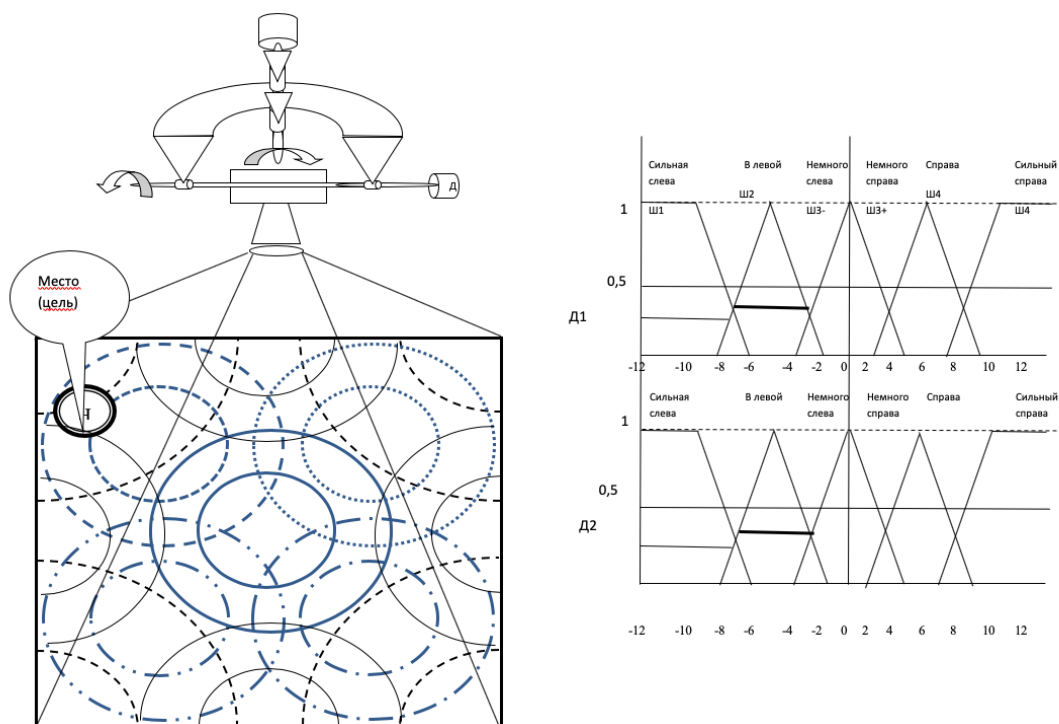


Рис. 4 – Базовое положение камеры и определение положения хелипорта

В случае использования только двух проекций μ -сечений может возникнуть проблема неопределенности в положении объекта, которая решается путем использования отрицательных продолжений функций

принадлежности. Первоначальный полный поиск производится только на этапе инициации системы. Затем производится ненаправленный короткий поиск с некоторым периодом. Определение положения знака хелипорта на плоскости производится путем сканирования по проекциям сечений неопределенности отрицательных продолжений поверхностей принадлежности соседних недоминирующих термов.

В процессе поиска камера изначально находится в базовом положении, в котором оба отклонения от вертикальной оси вертолета равны 0, рис. 4. После определения положения объекта двигателям камеры передаются управляющие воздействия согласно следующим правилам:

If L1 = TL & L2 = TL , THEN D1 = S5 & D2 = S5

If L1 = TLL & L2 = TLL, THEN D1 = S5 & D2 = S3

If L1 = BL & L2 = BL , THEN D1 = S5 & D2 = S1

If L1 = MBB & L2 = MBB , THEN D1 = S3 & D2 = S1

If L1 = BR & L2 = BR , THEN D1 = S1 & D2 = S1

If L1 = MRR & L2 = MRR , THEN D1 = S1 & D2 = S3

If L1 = TR & L2 = TR , THEN D1 = S1 & D2 = S5

If L1 = MTT & L2 = MTT , THEN D1 = S3 & D2 = S5

If L1 = MTL & L2 = MTL , THEN D1 = S4 & D2 = S4

If L1 = MBL & L2 = MBL , THEN D1 = S4 & D2 = S2

If L1 = MBR & L2 = MBR , THEN D1 = S2 & D2 = S2

If L1 = MTR & L2 = MTR , THEN D1 = S2 & D2 = S4

If L1 = M & L2 = M , THEN D1 = S3 & D2 = S3

Камера перемещается таким образом, чтобы знак хелипорта был всегда в центре наблюдаемой плоскости рис. 5.

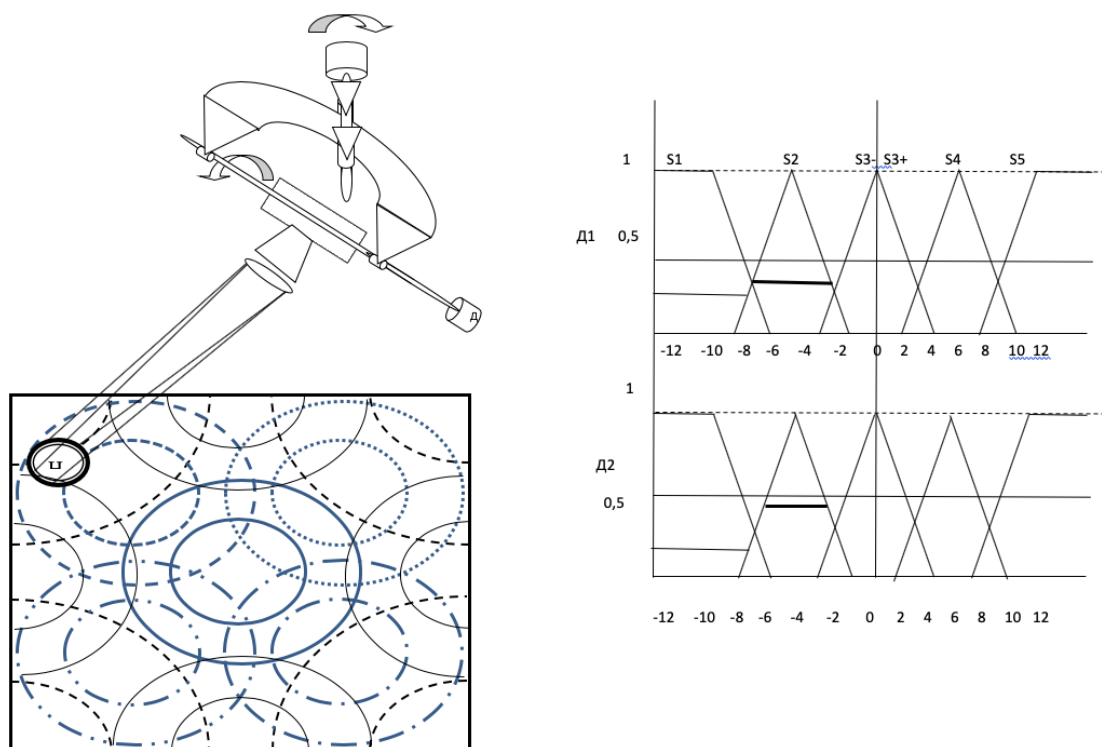


Рис. 5 – Перемещение камеры

Дальнейшее управление вертолетом осуществляется в горизонтальной плоскости таким образом, чтобы:

- 1) отклонение камеры относительно базового положения в двух плоскостях было равно 0;
- 2) пропорции знака хелипорта соответствовали ровному начертанию буквы Н.

Заключение

В статье предложена концепция метода управления на основе сложных нечетких лингвистических переменных. Реализация данного метода является предметом дальнейших исследований. Это в итоге позволит строить системы слежения за объектом в пространстве. В случае использования в качестве объекта знака хелипорта, можно построить систему автоматического взлета и посадки вертолета. Дальнейшие исследования требуют программной

реализации предложенного метода и точной калибровки функций принадлежности термов.

**Работа выполнена в рамках проектной части госзадания Минобрнауки России № 2.3928.2017/4.6 в Южном федеральном университете.*

Литература

1. Найман В.С., Самойлов А.Е., Ильин Н.Р., Шейнис А.И. Все о GPS-навигаторах 2017. URL:survival.com.ua/tochnost-opredeleniya-koordinat-gps-navigatsii-prichinyi-oshibok-gps/.
2. Гинис Л.А. Развитие инструментария когнитивного моделирования для исследования сложных систем // Инженерный вестник Дона. 2013. URL:ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2013/1806.
3. Гинис Л.А. Методологические основы нечеткого когнитивного моделирования иерархических проблемно-ориентированных систем // Инженерный вестник Дона. 2014. URL:ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2014.
4. Erginer B., Altug E. Modeling and PD Control of a Quadrotor VTOL Vehicle. In Proceedings of the 2007 IEEE Intelligent Vehicles Symposium, IEEE, Istanbul, Turkey, 13-15 June 2007; pp. 894-899.
5. Voos H., Nourghassemi B. Nonlinear Control of Stabilized Flight and Landing for Quadrotor UAVs. In Proceedings of the 7th Workshop on Advanced Control and Diagnosis ACD, Zielo Gora, Poland, 17-18 November 2009. pp. 1-6.
6. Ahmed B., Pota H.R. Backstepping-based landing control of a RUAV using tether incorporating flapping correction dynamics. In Proceedings of the 2008 American Control Conference, Seattle, WA, USA, 11-13 June 2008. pp. 2728-2733.
7. Shue S. P., Agarwal R.K. Design of Automatic Landing Systems Using Mixed H/H Control. J. Guid Control Dyn. 1999, Vol. 22, pp. 103-114.

8. Wang R., Zhou Z., Shen Y. Flying-wing UAV landing control and simulation based on mixed H2. In Proceedings of the 2007 IEEE International Conference on Mechatronics and Automation, ICMA 2007, Harbin, China, 5-8 August 2007. pp. 1523-1528.
 9. Lee D., Ryan T., Kim H.J. Autonomous landing of a VTOL UAV on a moving platform using image-based visual servoing. In Proceedings of the IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA), Saint Paul, MN, USA, 14-18 May 2012. pp. 971-976.
 10. Serra P., Cunha R., Hamel T., Cabecinhas D., Silvestre C. Landing of a Quadrotor on a Moving Target Using Dynamic Image-Based Visual Servo Control. IEEE Trans. Robot. 2016, Vol. 32, pp. 1524-1535.
 11. Borowczyk A., Nguyen D.T., Nguyen A.P., Nguyen D.Q., Saussi D., Jerome L.N. Autonomous Landing of a Multicopter Micro Air Vehicle on a High Velocity Ground Vehicle. J. Guid Dyn. 2016, Vol. 40, pp. 2373-2380.
 12. Olson E. AprilTag: A robust and flexible visual fiducial system. In Proceedings of the IEEE International Conference on Robotics and Automation, Shanghai, China, 9-13 May 2011. pp. 3400-3407.
 13. Beul M., Houben S., Nieuwenhuisen M., Behnke S. Landing on a Moving Target Using an Autonomous Helicopter. In Proceedings of the 2017 European Conference on Mobile Robots (ECMR), Paris, France, 6-8 September 2017. pp. 277-286.
 14. Polvara R., Patacchiola M., Wan J., Manning A., Sutton R., Cangelosi A. Toward End-to-End Control for UAV Autonomous Landing via Deep Reinforcement Learning. In Proceedings of the 2018 International Conference on Unmanned Aircraft Systems (ICUAS), Dallas, TX, USA, 12-15 June 2018. pp. 115-123.
-

15. Juang J., Chien L., Lin F. Automatic Landing Control System Design Using Adaptive Neural Network and Its Hardware Realization. IEEE Syst. J. 2011, Vol. 5, pp. 266-277.
 16. Lungu R., Lungu M. Automatic landing system using neural networks and radio-technical subsystems. Chinese Journal of Aeronautics, Vol. 30, № 1, февраль 2017. P. 399-411.
 17. Qing Z., Zhu M., Wu Z. Adaptive Neural Network Control for a Quadrotor Landing on a Moving Vehicle. In Proceedings of the 2018 Chinese Control and Decision Conference (CCDC), Shenyang, China, 9-11 June 2018. P. 28-33.
 18. Lee S., Shim T., Kim S., Park J., Hong K., Bang H. Vision-Based Autonomous Landing of a Multi-Copter Unmanned Aerial Vehicle using Reinforcement Learning. In Proceedings of the 2018 International Conference on Unmanned Aircraft Systems (ICUAS), Dallas, TX, USA, 12-15 June 2018. pp. 108-114.
 19. Templeton T., Shim D.H., Geyer C., Sastry S.S. Autonomous vision-based landing and terrain mapping using an MPC-controlled unmanned rotorcraft. In Proceedings of the IEEE International Conference on Robotics and Automation, Roma, Italy, 10-14 April 2007. pp. 1349-1356.
 20. Wu Y., Qu X. Obstacle avoidance and path planning for carrier aircraft launching. Chin. J. Aeronaut. 2015, Vol. 28 pp. 695-703.
 21. Samal M.K., Anavatti S., Garratt M. Neural Network Based Model Predictive Controller for Simplified Heave Model of an Unmanned Helicopter. In Proceedings of the International Conference on Swarm, Evolutionary, and Memetic Computing, Bhubaneswar, India, 20-22 December 2012. pp. 356-363.
 22. Tian J., Zheng Y., Zhu H., Shen L. A MPC and Genetic Algorithm Based Approach for Multiple UAVs Cooperative Search. In Proceedings of the
-

International Conference on Computational and Information Science, Shanghai, China, 16-18 December 2005. pp. 399-404.

23. Yi Feng, Cong Zhang, Stanley Baek, Samir Rawashdeh and Alireza Mohammadi. Autonomous Landing of a UAV on a Moving Platform Using Model Predictive Control, 8 February, 2018. URL:researchgate.net/publication/328257943_Autonomous_Landing_of_a_UAV_on_a_Moving_Platform_Using_Model_Predictive_Control.

References

1. Najman V.S., Samojlov A.E., Il'in N.R., Shejnis A.I. Vse o GPS-navigatoriakh 2017. URL:survival.com.ua/tochnost-opredeleniya-koordinat-gps-navigatsii-prichinyi-oshibok-gps/.
2. Ginis L.A. Razvitiye instrumentariya kognetivnogo modelirovaniya dlja issledovaniya slozhnyh system. Inzhenernyj vestnik Dona. 2013. URL:ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2013/1806.
3. Ginis L.A. Metodologicheskie osnovy nechetkogo kognitivnogo modelirovaniya ierarhicheskikh problemno-orientirovannyh system. Inzhenernyj vestnik Dona. 2014. URL:ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2014.
4. Erginer B., Altug E. Modeling and PD Control of a Quadrotor VTOL Vehicle. In Proceedings of the 2007 IEEE Intelligent Vehicles Symposium, IEEE, Istanbul, Turkey, 13-15 June 2007; pp. 894-899.
5. Voos H., Nourghassemi B. Nonlinear Control of Stabilized Flight and Landing for Quadrotor UAVs. In Proceedings of the 7th Workshop on Advanced Control and Diagnosis ACD, Zielo Gora, Poland, 17-18 November 2009. pp. 1-6.
6. Ahmed B., Pota H.R. Backstepping-based landing control of a RUAV using tether incorporating flapping correction dynamics. In Proceedings of the 2008 American Control Conference, Seattle, WA, USA, 11-13 June 2008. pp. 2728-2733.

7. Shue S. P., Agarwal R.K. Control. J. Guid Control Dyn. 1999, Vol. 22, pp. 103-114.
 8. Wang R., Zhou Z., Shen Y. Flying-wing UAV landing control and simulation based on mixed H2. In Proceedings of the 2007 IEEE International Conference on Mechatronics and Automation, ICMA 2007, Harbin, China, 5-8 August 2007. pp. 1523-1528.
 9. Lee D., Ryan T., Kim H.J. Autonomous landing of a VTOL UAV on a moving platform using image-based visual servoing. In Proceedings of the IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA), Saint Paul, MN, USA, 14-18 May 2012. pp. 971-976.
 10. Serra P., Cunha R., Hamel T., Cabecinhas D., Silvestre C. Landing of a Quadrotor on a Moving Target Using Dynamic Image-Based Visual Servo Control. IEEE Trans. Robot. 2016, Vol. 32, pp. 1524-1535.
 11. Borowczyk A., Nguyen D.T., Nguyen A.P., Nguyen D.Q., Saussi D., Jerome L.N. J. Guid Dyn. 2016, Vol. 40, pp. 2373-2380.
 12. Olson E. AprilTag: A robust and flexible visual fiducial system. In Proceedings of the IEEE International Conference on Robotics and Automation, Shanghai, China, 9-13 May 2011. pp. 3400-3407.
 13. Beul M., Houben S., Nieuwenhuisen M., Behnke S. Landing on a Moving Target Using an Autonomous Helicopter. In Proceedings of the 2017 European Conference on Mobile Robots (ECMR), Paris, France, 6-8 September 2017. pp. 277-286.
 14. Polvara R., Patacchiola M., Wan J., Manning A., Sutton R., Cangelosi A. Toward End-to-End Control for UAV Autonomous Landing via Deep Reinforcement Learning. In Proceedings of the 2018 International Conference on Unmanned Aircraft Systems (ICUAS), Dallas, TX, USA, 12-15 June 2018. pp. 115-123.
 15. Juang J., Chien L., Lin F. IEEE Syst. J. 2011, Vol. 5, pp. 266-277.
-

16. Lungu R., Lungu M. Chinese Journal of Aeronautics, Vol. 30, № 1, 2017. P. 399-411.
 17. Qing Z., Zhu M., Wu Z. Adaptive Neural Network Control for a Quadrotor Landing on a Moving Vehicle. In Proceedings of the 2018 Chinese Control and Decision Conference (CCDC), Shenyang, China, 9-11 June 2018. P. 28-33.
 18. Lee S., Shim T., Kim S., Park J., Hong K., Bang H. Vision-Based Autonomous Landing of a Multi-Copter Unmanned Aerial Vehicle using Reinforcement Learning. In Proceedings of the 2018 International Conference on Unmanned Aircraft Systems (ICUAS), Dallas, TX, USA, 12-15 June 2018. pp. 108-114.
 19. Templeton T., Shim D.H., Geyer C., Sastry S.S. Autonomous vision-based landing and terrain mapping using an MPC-controlled unmanned rotorcraft. In Proceedings of the IEEE International Conference on Robotics and Automation, Roma, Italy, 10-14 April 2007. pp. 1349-1356.
 20. Wu Y., Qu X. Chin. J. Aeronaut. 2015, Vol. 28 pp. 695-703.
 21. Samal M.K., Anavatti S., Garratt M. Neural Network Based Model Predictive Controller for Simplified Heave Model of an Unmanned Helicopter. In Proceedings of the International Conference on Swarm, Evolutionary, and Memetic Computing, Bhubaneswar, India, 20-22 December 2012. pp. 356-363.
 22. Tian J., Zheng Y., Zhu H., Shen L. A MPC and Genetic Algorithm Based Approach for Multiple UAVs Cooperative Search. In Proceedings of the International Conference on Computational and Information Science, Shanghai, China, 16-18 December 2005. pp. 399-404.
 23. Yi Feng, Cong Zhang, Stanley Baek, Samir Rawashdeh and Alireza Mohammadi. Autonomous Landing of a UAV on a Moving Platform Using Model Predictive Control, 8 February, 2018.
-



URL:researchgate.net/publication/328257943_Autonomous_Landing_of_a_UAV_on_a_Moving_Platform_Using_Model_Predictive_Control.