

DEVELOPMENT OF A TETHERED AIR HANDLER WITH A SOFT LINK¹²

Dipl. Eng. Yavor Yotov, PhD Student

Department of Mechtronics,
Institute of Mechanics, BAS, Bulgaria
Tel.: +359 888 966 602
E-mail: Javor.jotov@imbm.bas.bg

Assoc. Prof. Simeon Iliev, PhD

Department of Engines and Vehicles,
“Angel Kanchev” University of Ruse
Phone: 082-888 331
E-mail: spi@uni-ruse.bg

***Abstract:** The high own weight relevant to the relatively low carrying capacity of the air handlers is vastly due to the uneven cantilever load of the air platform when handling. The air turbulence flow formed by the movement of the rotor also hinders the air handling. In order to solve these problems, a new air handler scheme is presented in this document, where the centre of gravity remains unchanged or its impact is kept to a minimum during manipulation. Instead of installing a robotic manipulator directly into the flying system, it is replaced by a gripper mounted on an active platform, which itself is attached to the centre of gravity of the main flying system by a soft link. The handler is co-operated by two independents, but intelinked and interoperable systems. One system holds the main carrying function and the other system - the positioning. The carrier system can serve both as an autonomous aircraft and to be piloted. For positioning and self-stabilisation, the air handler's system (HBM) is equipped with two drive types: winch and motor propeller groups. This document provides an overview of the system of HBM, including the concept, hardware implementation, the principle of management and control and the initial experimental results.*

***Keywords:** Air Platform, Robotic, Air Manipulator, Flying System, Multirotor System*

ВЪВЕДЕНИЕ

Въздушното манипулиране е сред най-разпространените и търсени решение задачи, на които се търси решение и се изследват различни приложения на роботизираните манипулатори. Примери за въздушни манипулации могат да бъдат следните дейности: проверка на различни конструкции, например ветрогенератори, електрически далекопроводи и открити газопроводи, различни видове заснемане на терени и предмети, транспорт и доставка на куриерски пратки, преместване и манипулиране на възли и агрегати в труднодостъпна или опасна среда и др. Според начина на взаимодействие със заобикалящата ги среда, манипулаторите мога да се разделят на два основни вида: Системи за директно взаимодействие с околната среда, и системи за индиректно/аналитично взаимодействие. Към първия вид спадат системите към които има специфичен механизъм (напр. хващач) за определен тип въздушно взаимодействие. Съществуват разработки, които дори разглеждат възможността да се постави цяла роботизирана ръка KUKA, дори няколко такива, към летящи системи, какъвто е примера в проекта финансиран от Европейската комисия – AEROARMS.

Съществуват динамични зависимости, които ограничават до голяма степен максимално допустимия полезен товар и тегло на обекта с който трябва да се манипулира. Въздушната струя от турбуленцията и риска от съприкосновение с въртящия се ротор на летателната система, способна да транспортира роботизирана ръка, също са определящ фактор при намиране на оптимално и безопасно решение за манипулации в сложна среда.

¹² Докладът е представен на научна сесия на 27 октомври 2019 г. с оригинално заглавие на български език: РАЗРАБОТВАНЕ НА ОКАЧЕН ХВАЩАЧ НА ТЕЛЕМАНИПУЛАТОР С МЕКА ВРЪЗКА

В този документ се разглежда хващача на манипулатора, който е свързан с мека връзка към летателната система и шарнирно прикачена активна платформа към него. Схемата на хващача е така подбрана, че да осигурява 3 DoF на ротация, които съвпадат с центъра на захващане. За постигане на 3 DoF за трансляция, се осъществява посредством лебедка и витломоторна група на активната платформа. В резултат от това, основната тежест се поема от летателната система/VTOL, която е отдалечена от хващача. Целта на този документ е да представи процеса на проектиране и създаване и управление на ХВМ.

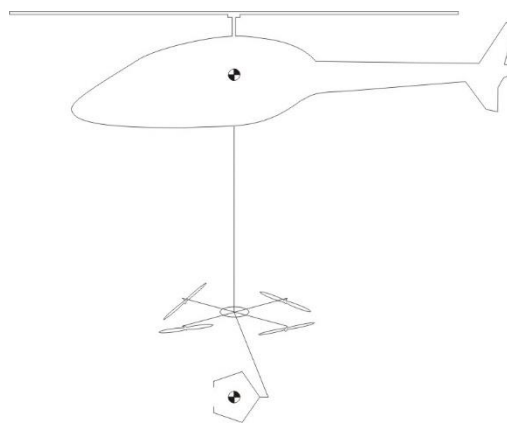
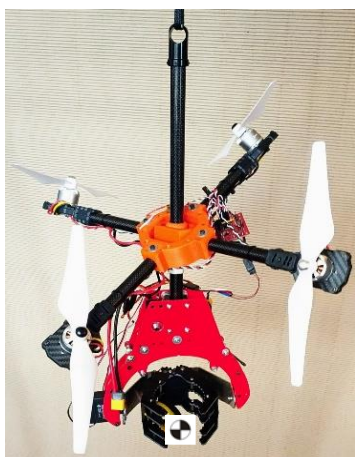
Информацията е представена в следната последователност: в раздел II е описано моделирането на прототипа на ХВМ. В раздел III се разглежда динамиката и управлението на системата на хващача, в раздел IV е заключителната част.

ИЗЛОЖЕНИЕ

Моделиране

Както е описано по-горе в документа, хващача и активната платформа която е прикачена към него, са свързани с мека връзка към основната летателна система.

Тъй като вече основната или подемна сила се осигурява от основната летателна система, то активната платформа на хващача е с по-малка маса и размери на витломоторната група, необходими единствено за обезпечаване на позиционирането и стабилизирането в пространството. Концепцията се основава на условието, всички динамични натоварвания да оказват минимално влияние на стабилността и ефективността на активната платформа, респективно хващача, като центъра на тежестта на цялата система да остане непроменен или промяната да оказва минимално влияние върху останалите параметри. Важно е да се отбележи, че управлението на активната платформа влияе на управлението на VTOL я направлява до положение в което винаги техните ЦТ да са разположени в една вертикална ос.



Фиг. 1 Център на тежестта на манипулатора в покой Фиг. 2 Схема на ЦТ на хващача и VTOL

Описание на дизайна на ХВМ, функционални компоненти и характеристики. Конструкцията на ХВМ позволява тя да се използва с различни конфигурации VTOL, също така няма ограничение да се използва и в конфигурация с наземна конструкция/портален кран. Конфигурацията зависи от манипулацията която трябва да изпълни системата, или при невъзможност да се използва летателна система.

Активната въздушна платформа представлява многороторна система - квадрокоптер схема „+“ с наклонени ротори. Състои се от: основно или носещо рамо, шарнирна връзка, част на рамата представлява разглобяема шарнирна връзка, която лагерува посредством радиални съчмени лагери зароботени в конструкцията.

Хващача и активната платформа се състоят от следните елементи:

- Носещо рамо;
- Шарнирна връзка – каре;
- 3 осна самостабилизираща се люлка;
- Хващач;
- Витломоторна група;
- Блок за управление;



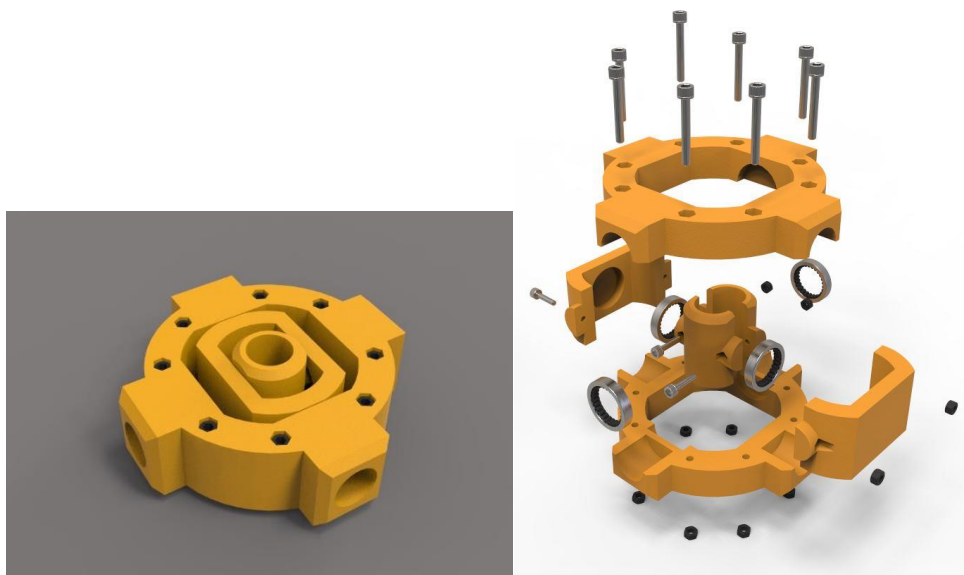
Фиг. 3 Схема на компонентите на манипулатора.

- ***Носещо рамо***

Носещото рамо представлява кръгла карбонова тръба в чиито краища са закачени хващача на манипулатора и единия край на меката връзка. Неиното основно предназначение е да осигурява връзката между активната платформа и хващача на манипулатора. Към нея са прикрепени също така и захранващия силов акумулаторен блок, и кабелни връзки.

- ***Шарнирна връзка – каре***

Шарнирната връзка осигурява необходимия наклон на рамата на роторната система за позициониране по осите X и Y .



Фиг. 4 Схема на компонентите на шарнирната връзка.

- *Двуосна самостабилизираща се люлка*

При движението в пространството позицията на хващача спрямо земната координатна система не е постоянна величина. Непрекъснатото репозициониране на хващача спрямо основата се осъществява посредством жирокопично самостабилизираща се люлката. Кострукцията ѝ е изпълнена от композитен материал и метал. Задвижването по осите X и Y се осъществява посредством сервомотори.



Фиг. 5 Общ изглед на двуосната самостабилизираща се люлка.

- *Хващач*

Хващача на манипулатора представлява щипка с две челюсти, която се управлява посредством сервомотор. Центъра на захващане е съобразен да съвпада с центъра на тежестта на манипулатора.



Фиг. 6 Общ изглед на хващача

- *Витломоторна група*

Витломоторната група представлява съвкупността от всички витломоторни компоненти на системата за позициониране на автономната платформа. За първоначалните тестови резултати на прототипа са използвани безчеткови електромотори 2212-920 KV и витла 9.4'x 5'. Разположението и движението на витлата/роторите е в следния ред:



Фиг. 7 Общ изглед на витломоторната група

I. Контрол

- *Тегло и инерционни сили*

Динамичното поведение на въздушен манипулатор, състоящ се от въздушна платформа с едно или повече роботизирани рамена, е в тясна зависимост от инерциалните моменти и теглото на отделните елементи на системата. Това означава, че инерциалните моменти се променят значително и общия център на тежестта се променя непрекъснато, като внася реактивни сили и движения, които застрашават стабилността на въздушната платформа. Уравненията на динамичния модел на ръката с M стави могат да бъдат извлечени и чрез формализма на Денавит-Хартенберг и могат да бъдат изразени в компактна матрична Форма. Поради факта, че в разглеждания от нас случай подемната сила се поема от основната летателна система, то активната платформа може да бъде разглеждана като летателна система само с хоризонтално ориентиране. В този случай математически изразено изглежда така:

$$M_a(q)\ddot{q} + C_a(q, \dot{q})\dot{q} + G_a(q) = \tau$$

Където M е матрица на инерционния момент, C е центробежната сила, g е вектора на гравитацията.

$$q = [q_y \ q_1^T \ q_2^T \ q_m^T]^T$$

Входния сигнал τ може да бъде представен като:

$$\tau = [\tau_y \ \tau_1^T \ \tau_2^T \ \tau_m^T]^T$$

Където $q = [q_1 \ q_2 \ \dots \ q_M]^T$ са ъглите на отклонение на ставите и $M_a \in R^{M \times M}$, $C_a \in R^M$ и $G_a \in R^M$ са стойностите на теглото, кориолисовите и гравитационни сили, респективно.

Вектора $\tau \in R^M$ е тягата приложена от моторите на всяка става.

Допускаме, че цялата система работи като едно цяло.

Тогава може да разглеждаме силите като сума от:

- Константна матрица на инерционния момент I_b куадкоптер;
- Променлива матрица на инерционния момент I_a хващач.

$$I_{total} = I_b + I_a$$

Извод: Позицията на центъра на тежестта се променя и зависи от положението на манипулатора / хващача.

Приложение

В тази част са разгледани възможни приложения, като основна насока на в прецизинето им е възможността на манипулатора да оперира с обекти изискващи точност при позициониране и сравнително високо тегло.

В зависимост от дължината на меката връзка на окачения манипулатор ъгъла на отклонение от вертикално положение е различен. Това определя и различен обхват на достижимост при различни маси на полезния товар.

- Обследване на вътрешни повърхнини на строителни конструкции и комини. Поради възможността системата да се окачва и да манипулира в този си вид, би могла да се използва за продължителен и обстоен оглед и анализ на вътрешността на недостъпни по друг начин строителни конструкции и високи комини, като се осъществява и определен вид манипулация.
- Манипулиране в ограничени и труднодостъпни пространства – открити земни канали, гори.
- Спомагателни манипулации към други подобни системи
- Паралелни манипулации.

ИЗВОДИ

Така представения дизайн на телеманипулатор манипулатор с мека връзка, е в състояние да изпълни непостижими или изискващи огромен ресурс манипулации реализирани с други средства. Подобрения дизайн осигурява гъвкавост и нови възможности при въздушните манипулации.

REFERENCES

- [1] F. Ruggiero, V. Lippiello, and A. Ollero, "Aerial manipulation: A literature review," *Robotics and Automation Letters*, vol. 3, no. 3, pp.1957–1964, 2018.
- [2] A. Ollero, G. Heredia, A. Franchi, G. Antonelli, K. Kondak, A. S.Cortes, A. Viguria, J. R. Martinez-de Dios, F. Pierri, J. Cortes, et al., "The aeroarms project: Aerial robots with advanced

manipulation capabilities for inspection and maintenance,” *IEEE Robotics & Automation Magazine*, no. 99, pp. 1–1, 2018.

[3] N. Staub, D. Bicego, Q. Sabl'e, V. Arellano, S. Mishra, and A. Franchi, “Towards a flying assistant paradigm: the othex,” in *IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA)*, 2018.

[4] C. Korpela, P. Oh, M. Orsag, and S. Bogdan, “Aerial manipulation,” 2018.

[5] J. Thomas, J. Polin, K. Sreenath, and V. Kumar, “Avian-inspired grasping for quadrotor micro uavs,” in *ASME International Design Engineering Technical Conferences & Computers and Information in Engineering Conference*, 2013.

[6] A. Albers, S. Trautmann, T. Howard, T. A. Nguyen, M. Frietsch, and C. Sauter, “Semi-autonomous flying robot for physical interaction with environment,” in *IEEE Conference on Robotics Automation and Mechatronics (RAM)*, 2010, pp. 441–446.

[7] M. Bernard and K. Kondak, “Generic slung load transportation system using small size helicopters,” in *IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA)*, 2009, pp. 3258–3264.

[8] A. Q. Keemink, M. Fumagalli, S. Stramigioli, and R. Carloni, “Mechanical design of a manipulation system for unmanned aerial vehicles,” in *IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA)*, 2012, pp. 3147–3152.

[9] T. J. Bartelds, A. Capra, S. Hamaza, S. Stramigioli, and M. Fumagalli, “Compliant aerial manipulators: Toward a new generation of aerial robotic workers.” *Robotics and Automation Letters*, vol. 1, no. 1, pp.477–483, 2016.

[10] S. Kim, S. Choi, and H. J. Kim, “Aerial manipulation using a quadrotor with a two dof robotic arm,” in *IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS)*, 2013, pp. 4990–4995.

[11] A. Suarez, G. Heredia, and A. Ollero, “Lightweight compliant arm with compliant finger for aerial manipulation and inspection,” in *IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS)*, 2016, pp. 4449–4454.

[12] C. M. Korpela, T. W. Danko, and P. Y. Oh, “Mm-uav: Mobile manipulating unmanned aerial vehicle,” *Journal of Intelligent & Robotic Systems*, vol. 65, no. 1-4, pp. 93–101, 2012.