

## ИНТЕГРАЦИЯ НА АВТОПИЛОТ И БЕЗПИЛОТЕН ЛЕТАТЕЛЕН АПАРАТ СЪС СЪЧЛЕНЕНО КРИЛО

**Христиан ПАНАЙОТОВ**  
ТУ-София, филиал Пловдив  
България  
[hristian@tu-plovdiv.bg](mailto:hristian@tu-plovdiv.bg)

**Йордан ХАДЖИЕВ**  
ТУ-София, филиал Пловдив  
България

**Димо ЗАФИРОВ**  
ТУ-София, филиал Пловдив  
България  
[zafirov@tu-plovdiv.bg](mailto:zafirov@tu-plovdiv.bg)

**Резюме:** Интеграцията на автопилота и летателния апарат (ЛА) е ключов момент за постигането на желаните характеристики при проектирането. Този процес се усложнява при използването на нетрадиционни балансировъчни схеми. В доклада е описан подход за интегриране на автопилот Piccolo II и безпилотен летателен апарат (БЛА) със съчленено крило.

**Ключови думи:** интеграция на автопилот, безпилотен летателен апарат, БЛА, съчленено крило.

### 1. Въведение

При проектирането на летателни апарати (ЛА) се използват два основни подхода за интегрирането им със автопилот:

- да се използва съществуващ автопилот и се подберат подходящи параметри на елементите за управление;
- да се създаде нов автопилот, който да съответства на проектиран ЛА, параметрите на елементите за управление са определени от конструктора.

През последните години се появиха автопилоти с повишени възможности за адаптация към конкретни ЛА с различни балансировъчни схеми.

Целта на настоящата работа е да изследва възможността за интеграция на автопилот Piccolo II със БЛА с нетрадиционна схема съчленено крило.

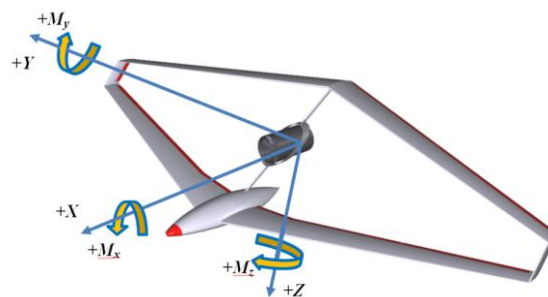
### 2. Мотивация

Настоящата работа е резултат от дейността по проект 102ни067-24 на ТУ-София, филиал Пловдив. Разработването на тестов БЛА със съчленено крило и подготовката му за полетни изпитвания изискваше интегриране на автопилота и БЛА. За целта беше направено проучване [1] и закупена интегрирана система за управление на полета на Cloud Cap Technology, включваща

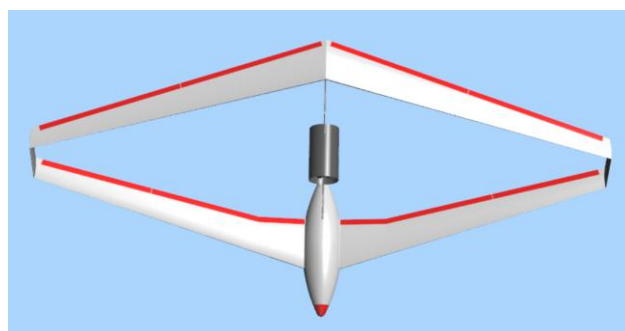
автопилот, наземна станция, телеметрична апаратура и софтуер.

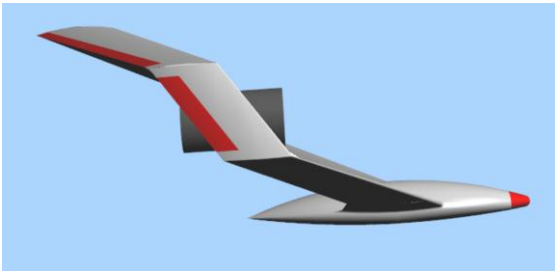
### 3. БЛА със съчленено крило като обект на управление

На фиг. 1 е показана използваната координатна система, на фиг. 2 разположението на кормилата.



фиг. 1 Координатна система



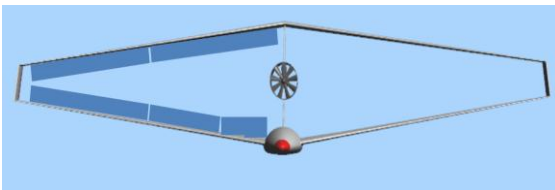


фиг. 2 Разположение на кормилата на БЛА

От фигурите се вижда, че разглежданата схема разполага с 10 кормила. БЛА със съчленено крило предлага възможности за комбиниране на кормилата за изпълнение на различни маневри. Плоскостите на изходящия ръб на крилото могат да служат за клапи, кормила за височина, елерони, кормила за посока и въздушни спирачки.

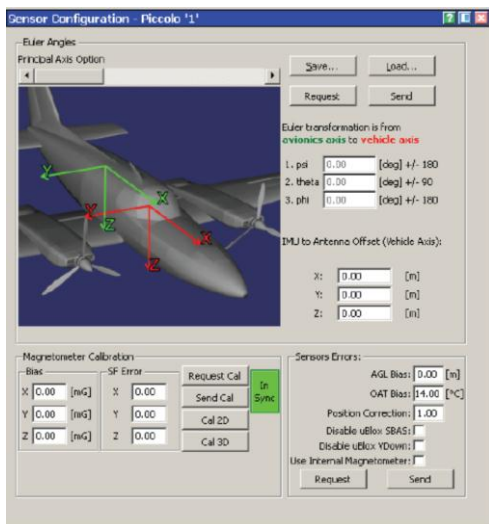
Piccolo II формира сигнали за изменение на височината, наклона, посоката и тягата. Тези сигнали могат да се предадат директно на изпълнителните механизми на кормилата, определени за изпълнение на тези функции, но може да се извърши и миксиране на сигналите за комбинирано действие на кормилата.

БЛА със съчленено крило ще бъде много по-маневрен от еквивалентни БЛА с други аеродинамични схеми поради по-малките инерционни моменти [2] и по-голямата площ при комбинация на кормилата.



фиг. 3 Примерна конфигурация на кормилата, за изпълнение на зададена маневра

#### 4. Piccolo II



фиг. 4 Разположение на координатните системи на ЛА и автопилота

На фиг. 4 е показана схема на разположение на координатните системи на ЛА и автопилота. Осите им задължително трябва да са паралелни, а разликите в координатите на центровете на координатните системи се задават при програмиране на автопилота.

#### 5. Софтуерна симулация на изпълнение на мисия

Софтуерната симулация се извършва, като се направи цифров модел на БЛА в програмата AVL разработена от Марк Дрела от MIT. Софтуер за симулация на автопилота PCC е разработен от производителя Cloud Cap Technology. Като симулатор на полета се използва FlightGear на Microsoft.



фиг. 5 Схема на софтуерна симулация

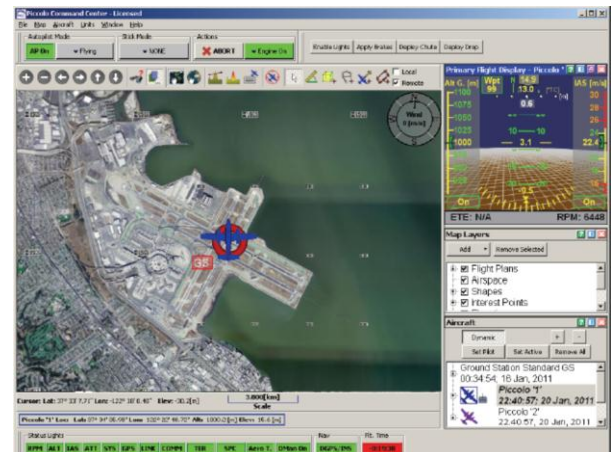
Като начални данни се задават аеродинамични коефициенти [3, 4, 5, 6, 7], инерционни моменти [2] и характеристики на двигателя,

Върху екрана на монитора се изобразява полетната информация, която се и записва за следваща обработка.

#### 6. Хардуерна симулация на изпълнение на мисия

Хардуерната симулация е техника, която се използва все повече при разработването и изпитването в реално време на сложни технически системи.

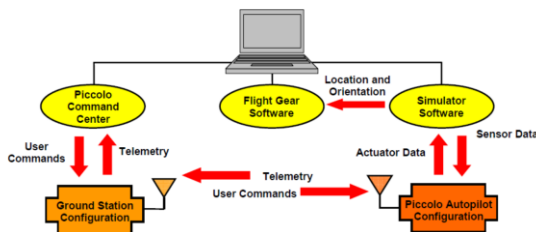
Интегрираната система за управление на полета на БЛА, предлагана от производителя на Piccolo II, позволява да се извършва хардуерна симулация на всички елементи-наземни и бордни. При това се проверяват не само на настройките, но и правилността на функционирането на кабелните и радиовръзките.



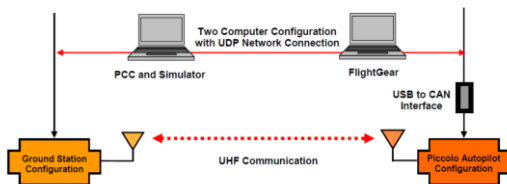
фиг. 6 Показания на екрана при хардуерна симулация

Хардуерната симулация може да се извърши с един или два компютъра, като всички данни за полета се записват за следващо анализиране. При схемата с два компютъра на единия се показва информацията от наземната станция за управление на Piccolo, а на другия - полетната информация от FlightGear.

При хардуерната симулация се прави пълна емуляция на датчиците и характеристиките на летателния апарат, като за всичко останало в системата се използват реалните елементи.



фиг. 7 Схема на хардуерна симулация с един компютър



фиг. 8 Схема на хардуерна симулация с два компютъра

## 7. Тунинговане на автопилота

В [11] е описана детайлно процедурата на задаване на параметрите на интегрираната система за управление на полета и следващо настройване на коефициентите на съгласуване (тунинговане) за получаване на желаните характеристики. Това е особено полезна възможност, защото позволява на оператора при хардуерната симулация в ръчен режим да настрои окончателно управлението на БЛА.

## 8. Полетни тестове

Подготвени са полетни тестове в съответствие с изискванията описани в [8, 9, 10, 12] и е започнато тяхното изпълнение. При тези тестове ще се оценят летателно-техническите характеристики на БЛА със съчленено крило и интеграцията му с автопилота.

## 9. Заключение и бъдещи работи

Извършените симулации позволиха да се направят финални настройки на автопилота за точно изпълнение на маневрите, необходими за реализация на мисията.

Като следваща дейност е планирано да се извърши изследване на поведението на БЛА при различни комбинации на отклонения на кормилата и оптимизиране на изпълнението на различни мисии.

## 10. Литература

- [1] Д. Зафиров, Автономен безпилотен летателен апарат, ТЕХСИС2011, Пловдив.
- [2] А. Божков, П. Роглев и Д. Зафиров, Определяне на инерционните моменти на безпилотен летателен апарат със съчленено крило, BulTrans-2011, Созопол.
- [3] Х. Панайотов, Оптимизация на аеродинамичните характеристики на съчленено крило, *Journal of the Technical University at Plovdiv*, Vol. 13(8), 2006
- [4] Х. Панайотов, П. Стоянов, Изчисляване на положението на аеродинамичния фокус на съчленено крило, *Journal of the Technical University at Plovdiv*, Vol. 14(2), 2009, стр. 387-392.
- [5] Х. Панайотов, Й. Хаджиев и Д. Зафиров, Симулиране на автономен полет на безпилотен самолет със съчленено крило и автопилот Piccolo II, BulTrans 2011, Sozopol.
- [6] Х. Панайотов и Й. Хаджиев, Изследване на аеродинамиката на безпилотен самолет за реализация на автономен полет, BulTrans 2011, Sozopol
- [7] Х. Панайотов, Оптимизация на проектните параметри на безпилотен летателен апарат със съчленено крило, *trans&Motauto '07*, Русе, 2007
- [8] R. Jager, Test and Evaluation of the Piccolo Autopilot System on a One-Third Scale Yak-54, B.A.E. Auburn University, Auburn, Alabama, 2005
- [9] M. Niculescu, Steps to Autonomous Flight, Hood River, Oregon, 2010, [www.cloudcaptech.com](http://www.cloudcaptech.com)
- [10] J. Hammitt, D. Miley, Piccolo Vehicle Integration Guide, Hood River, Oregon, 2011, [www.cloudcaptech.com](http://www.cloudcaptech.com)
- [11] B. Vaglianti, Setup and tuning of Piccolo control laws for 2.0.x, Hood River, Oregon, 2007, [www.cloudcaptech.com](http://www.cloudcaptech.com)
- [12] D. Erdos and S. Watkins, UAV Autopilot Integration and Testing, IEEE 2008

**INTEGRATION OF AUTOPILOT  
WITH JOINED WING UNMANNED AERIAL VEHICLE**

**Hristian PANAYOTOV**  
TU-Sofia, branch Plovdiv  
Bulgaria  
[hristian@tu-plovdiv.bg](mailto:hristian@tu-plovdiv.bg)

**Jordan HADZHIEV**  
TU-Sofia, branch Plovdiv  
Bulgaria

**Dimo ZAFIROV**  
TU-Sofia, branch Plovdiv  
Bulgaria  
[zafirov@tu-plovdiv.bg](mailto:zafirov@tu-plovdiv.bg)