

## СИМУЛИРАНЕ НА АВТОНОМЕН ПОЛЕТ НА БЕЗПИЛОТЕН САМОЛЕТ СЪС СЪЧЛЕНЕНО КРИЛО И АВТОПИЛОТ PICCOLO II

**ХРИСТИАН ПАНАЙОТОВ**

Технически университет – София,  
филиал Пловдив  
[hristian@tu-plovdiv.bg](mailto:hristian@tu-plovdiv.bg)

**ЙОРДАН ХАДЖИЕВ**

Технически университет – София,  
филиал Пловдив

**ДИМО ЗАФИРОВ**

Технически университет – София,  
филиал Пловдив  
[zafirov@tu-plovdiv.bg](mailto:zafirov@tu-plovdiv.bg)

### **Abstract:**

Целта на изследванията, представени в настоящия доклад, е да се симулира автономен полет на безпилотен самолет със съчленено крило и автопилот Piccolo II при условия, максимално близки до натурните. Разгледани са два типа симулации на полета – софтуерна и хардуерна. При първия тип всички елементи са компютърно симулирани, а при втория - всички хардуерни елементи са включени реално при симулациите в лабораторни условия. Този подход позволява анализиране на параметрите на полета при различни зададени мисии при висока точност на получаваните резултати.

**Keywords:** *безпилотен самолет, автопилот, симулации, автономен полет.*

### **1. Увод**

Изследването на автономен полет на безпилотен самолет със съчленено крило с помощта на симулации предоставя широки възможности за разглеждане на редица мисии на полета, в т.ч. автономно излитане и кацане. Симулациите като елемент от подготовката за реализация на автономен полет позволяват при достатъчно близки условия до натурните да се уточнят важни характеристики на летателния апарат и неговото управление. Също така при иновационна схема, каквато е съчлененото крило, могат да се разгледат някои нетрадиционни закони на управление.

Не на последно място рискът за неблагоприятен полет, при равни други условия, следва да бъде минимизиран.

В настоящия доклад са представени възможностите за софтуерна и хардуерна симулации за реализация на автономен полет с автопилот Piccolo II (фиг. 1) на Cloud Cap Technology, САЩ и включения „в комплекта за разработки на Piccolo II (Piccolo Development Kit), симулатор на полета.

Настоящата работа е част от дейностите по изпълнение на втория етап на проект 102ни067-24 “Изследвания на безпилотен летателен апарат със съчленено крило и управление вектор на тягата за реализация на автономен полет с автопилот” на Технически университет – София.

### **2. Софтуерна и хардуерна симулации**

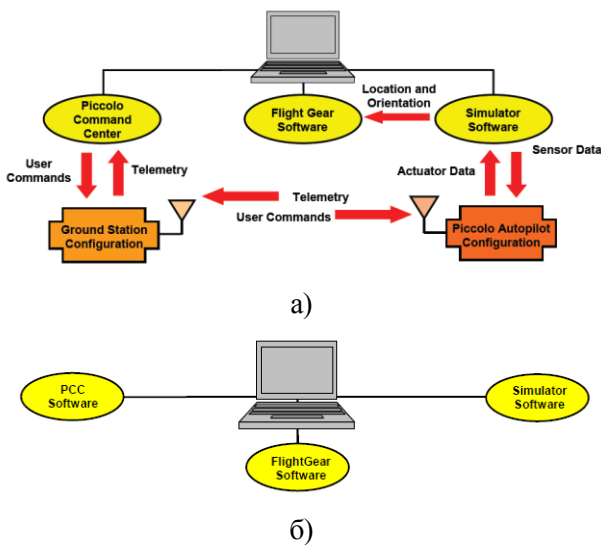
Симулационната среда на Piccolo II позволява провеждането на два типа симулации: софтуерна симулация (Software-in-Loop Simulation – SiL) и хардуерна симулация (Hardware-in-Loop Simulation – HiL). Симулацията на полета дава възможност законите за управление на самолета и функционалността на мисията, да бъдат изпитвани, без да се рискуват летателния апарат в реален тестов полет. Симулационната среда осигурява идеален инструмент за обучение, който може да



**Фиг. 1. Автопилот Piccolo II**

бъде използван в лабораторни условия. Въпреки, че симулацията не може да замени реалните полетни изпитвания, измеримо намалява вероятността от провал чрез откриване на грешки и пропуски, преди летателният апарат и системите му да са подложени на риск [1].

Конфигурацията HiL използва наземната станция, както и автопилота - Piccolo в контура на симулацията (фиг. 2а). Конфигурацията SiL предоставя същата функционалност като HiL, но без участието на автопилота и наземната станция. В SiL-конфигурацията, компютърни приложения заемат мястото на наземната станция и автопилота. (фиг. 2б).



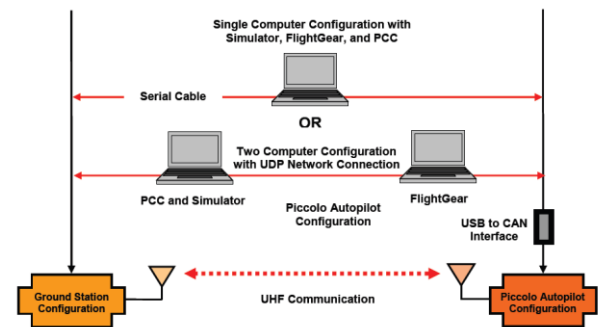
Фиг. 2. Схеми на HiL- и SiL-симулация

По време на HiL-симулация командният център на Piccolo (Piccolo Command Center - PCC) изпраща потребителски команди на наземната станция (фиг. 3), които след това се изпращат на Piccolo автопилот. Симулаторът чете положението на кормилните машини от Piccolo, прилага ги в модела на динамиката на полета на самолета, изчислява нови данни на сензорите, и ги изпраща обратно към Piccolo. Piccolo подава телеметрични данни към наземната станция, които след това се изпращат на PCC. Географските координати и пространственото положение, се изпращат до FlightGear за визуализация.



Фиг. 3. Наземна станция

Комуникациите при хардуерната симулация са показани на фиг. 4.

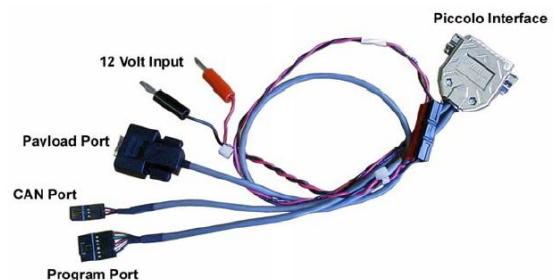


Фиг. 4. Комуникации при хардуерна симулация

Връзката между автопилота и командния център на пиколо (PCC), инсталиран на компютър, се осъществява посредством CAN-интерфейс и преходник USB-CAN (фиг. 5). Комуникацията между Piccolo и наземната станция е чрез радио линия на 2.4 GHz, а комуникацията между наземната станция и командния център е чрез сериен интерфейс RS 232. Управляващият сигнал към кормилните машини и полезните товари се предава чрез интерфейсния кабел на Piccolo (фиг. 6). Съответно управляващият сигнал може да бъде изработен от самия автопилот, при включен автопилот или от пилот-оператора, при включен ръчен режим. Във втория случай управлението става с предавателна конзола Futaba 9CAPS (фиг. 7). Превключването между ръчен режим и автопилот става чрез означения със стрелка ключ.



Фиг. 5. USB-CAN преход



Фиг. 6. Интерфейсен кабел на Piccolo



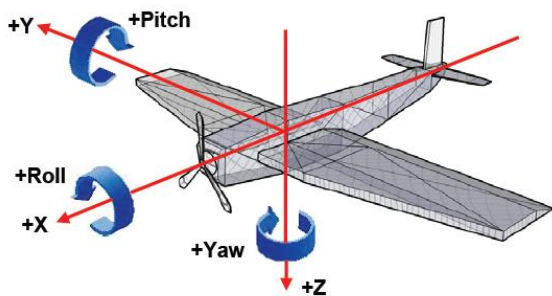
Фиг. 7. Конзола за ръчно управление Futaba 9CAPS

### 3. Модел на летателния апарат

Симулаторът, от състава на развойния комплект на Piccolo, позволява моделиране на динамиката на полета на летателния апарат в реален мащаб на времето. Общият модел на летателния апарат се състои от следните основни частни модели: аеродинамичен, инерционен, силова установка, система за излитане и кацане и др.

#### 3.1. Аеродинамичен модел

Създаването на аеродинамичния модел е подробно описано в [4]. За изчисляване на аеродинамичните характеристики са използвани програмните продукти на Марк Дрела XFOIL и AVL. Като резултат се определят необходимите за симулатора аеродинамични коефициенти и производни. Координатната система на симулатора е показана на фиг. 8.



Фиг. 8. Координатна система

#### 3.2. Инерционен модел

Инерционният модел включва задаване на масите на летателния апарат (излетна маса, маса празен, маса на горивото и др.) и инерционни моменти. Определянето на инерционните моменти е разгледано в [5].

#### 3.3. Модел на силовата установка

Моделът на силовата установка се състои от модел на двигателя, в зависимост от неговия тип (бутален, електрически или реактивен) и модел на

двигателя (витло, вентилатор, тунелен вентилатор). Моделът на двигателя определя енергетичните и честотни характеристики.

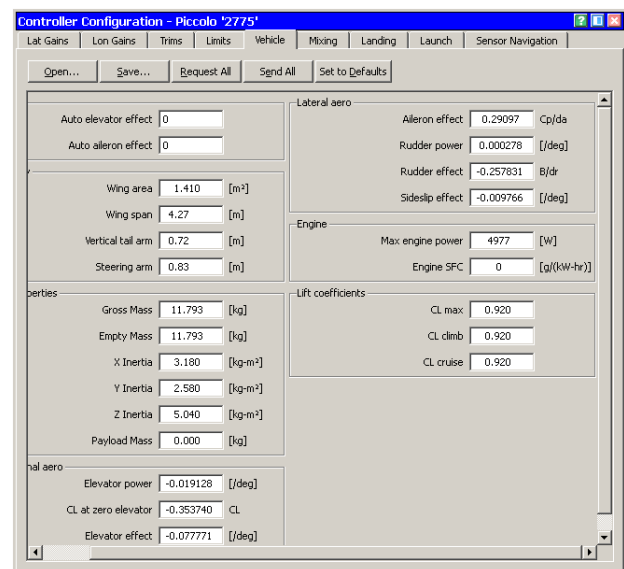
Моделът на витлото се задава чрез основните геометрични и инерционни характеристики, и чрез таблично дефинирана зависимост на коефициента на тягата и мощността от коефициента на скоростта.

#### 3.4. Модел на системата за излитане и кацане

В модела на колесника се задават най-вече координатите на контактните точки на летателния апарат и земната повърхност. Освен това при стартиране от стартова установка (направляващи, катапулт и др.) се дефинира наклон и дължина на направляващите, импулс на тягата за стартиране и др.

### 4. Резултати

Създаденият модел на летателен апарат се зарежда в симулатора на Piccolo, след което е необходимо да се настроят характеристиките на летателния апарат в контролера на автопилота. Тази функция се изпълнява от командния център (PCC) (фиг. 9).

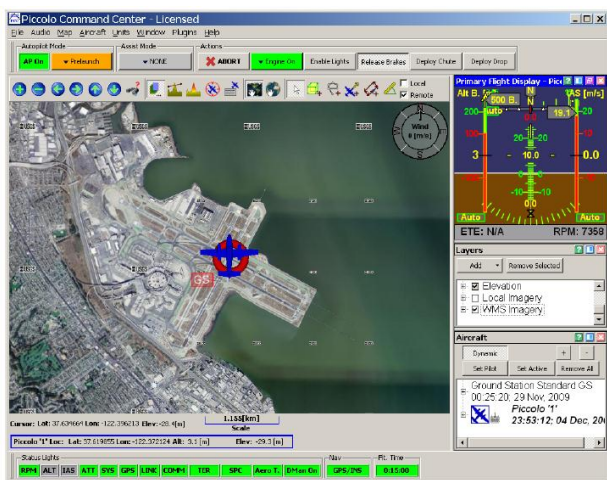


Фиг. 9. Характеристики на летателния апарат

За да се стартира симулацията се генерира, в PCC, полетен план чрез задаване на навигационни точки в тримерно геоинформационно пространство (фиг. 10). При правилно конфигуриран симулатор летателният апарат може да се стартира, да набере височина и да започне полет по зададения маршрут. Във всеки един момент летателният апарат може да се управлява пълноценно в симулационната среда във всички оперативни режими на Piccolo.

Визуализацията на полета при различни изгледи (поглед от кабината, поглед от земята и

т.н.) се осъществява в симулатора с отворен код FlightGear (фиг. 11). Същият може да е инсталиран на един компютър, заедно с PCC или на отдалечен компютър в локална мрежа.



Фиг. 10. Графичен интерфейс на PCC

В симулационната среда на Piccolo, в конфигурация HiL или SiL, има отлична възможност в реално време да се отработят множество режими на полета, което в резултат ще редуцира необходимото време от полетни изпитвания и ще доведе, при равни други условия, до намаляване на риска от неблагоприятен полет. Симулаторът може да бъде полезен при проектирането, изпитването и експлоатацията на летателни апарати.



Фиг. 11. Визуализация на полета (FlightGear)

## 5. Заключение

В настоящия доклад е направено кратко описание на симулационната среда на Piccolo и е разработен конкретен симулационен модел на самолет със съчленено крило. Особено внимание е отделено на възможността за включване на реалните системи от състава на Piccolo (бордова и наземна част) в контурите на симулатора. Представената разработка може да се ползва за анализ на мисиите и динамиката на полета на безпилотния самолет, за изследване на различни конфигурации за управление, за първоначално обучение на пилоти – оператори и др.

## Литература

- [1] M. Zanmiller, D. Miley, Piccolo Setup Guide, Cloud Cap Technology, 2009
- [2] B. Vaglianti, M. Niculescu, J. Hammit, Piccolo Simulator, Cloud Cap Technology, 2009
- [3] B. Vaglianti, R. Hoag, M. Niculescu, Piccolo User's Guide v2.1.1, Cloud Cap Technology, 2010.
- [4] X. Панайотов, Й. Хаджиев, Изследване на аеродинамиката на безпилотен самолет за реализация на автономен полет, БулТранс-2011, Созопол, 2011
- [5] А. Божков, Д. Зафиров, Определяне на инерционните моменти на безпилотен летателен апарата със съчленено крило, БулТранс-2011, Созопол, 2011