



**Wydział Matematyki
i Nauk Informatycznych**

POLITECHNIKA WARSZAWSKA

Opracowanie wirtualnego środowiska do symulacji dynamiki lotu bezzałogowych statków powietrznych

Wojciech Gajda Igor Faliszewski

28 listopada 2023

**Politechnika
Warszawska**



Agenda

1. Wprowadzenie

1.1 Motywacje

1.2 Cel projektu

2. Wstęp teoretyczny

2.1 Dynamika statku powietrznego

2.2 Sterowanie statkiem powietrznym

2.3 Grafika komputerowa

3. Demo

Motywacja

Motywacja



Motywacja



Politechnika
Warszawska

Motywacja



Politechnika
Warszawska

Motywacja



Motywacja



Motywacja



Politechnika
Warszawska



Motywacja



Motywacja

Motywacja



Motywacja



Motywacja



Motywacja



Cel projektu

- First item.

Cel projektu

- ▶ First item.
- ▶ Second item.

Cel projektu

- ▶ First item.
- ▶ Second item.
- ▶ Third item.

Cel projektu

- ▶ First item.
- ▶ Second item.
- ▶ Third item.
- ▶ Fourth item.

Cel projektu

- ▶ First item.
- ▶ Second item.
- ▶ Third item.
- ▶ Fourth item.
- ▶ Fifth item.

Cel projektu

- ▶ First item.
- ▶ Second item.
- ▶ Third item.
- ▶ Fourth item.
- ▶ Fifth item. Extra text in the fifth item.

Wstęp teoretyczny

Wstęp teoretyczny

“ There is nothing so practical as a good theory.

Lewin Kurt

Wstęp teoretyczny

“ There is nothing so practical as a good theory.

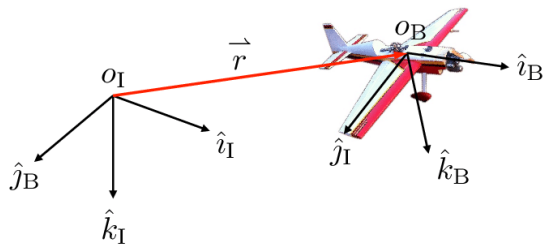
Lewin Kurt

“ Nie ma osobnej ani teorii, ani praktyki inżynierskiej, jest tylko wspólna sztuka inżynierska.

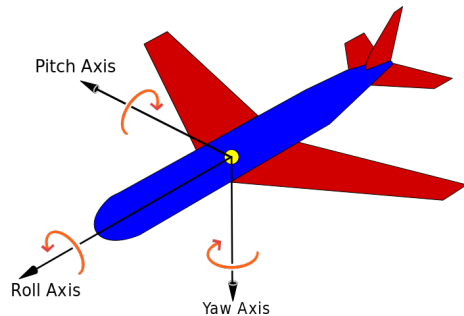
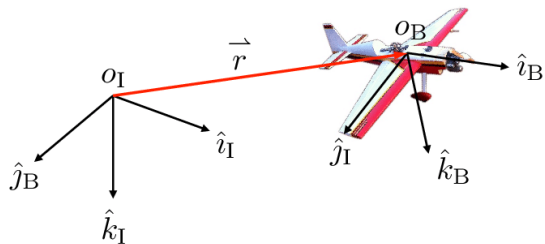
prof. Jan Oderfeld

Dynamika lotu

Dynamika lotu



Dynamika lotu



Równania stanu

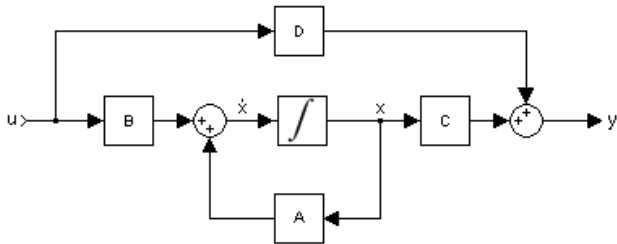
$$\begin{cases} \dot{\boldsymbol{x}}(t) = \boldsymbol{A}\boldsymbol{x}(t) + \boldsymbol{B}\boldsymbol{u}(t) \\ \boldsymbol{y}(t) = \boldsymbol{C}\boldsymbol{x}(t) + \boldsymbol{D}\boldsymbol{u}(t) \end{cases}$$

$$\begin{cases} \dot{\boldsymbol{x}}(t) = \boldsymbol{f}(t, \boldsymbol{x}(t), \boldsymbol{u}(t)) \\ \boldsymbol{y}(t) = \boldsymbol{g}(t, \boldsymbol{x}(t), \boldsymbol{u}(t)) \end{cases}$$

Równania stanu

$$\begin{cases} \dot{\mathbf{x}}(t) = \mathbf{A}\mathbf{x}(t) + \mathbf{B}\mathbf{u}(t) \\ \mathbf{y}(t) = \mathbf{C}\mathbf{x}(t) + \mathbf{D}\mathbf{u}(t) \end{cases}$$

$$\begin{cases} \dot{\mathbf{x}}(t) = \mathbf{f}(t, \mathbf{x}(t), \mathbf{u}(t)) \\ \mathbf{y}(t) = \mathbf{g}(t, \mathbf{x}(t), \mathbf{u}(t)) \end{cases}$$



Równania różniczkowe

- ▶ Przed zastosowaniem algorytmu obniżyć rząd równania różniczkowego.

Równania różniczkowe

- ▶ Przed zastosowaniem algorytmu obniżyć rząd równania różniczkowego.
- ▶ Skorzystać z algorytmu jawnego lub niejawnego algorytmu całkowania RR

Równania różniczkowe

- ▶ Przed zastosowaniem algorytmu obniżyć rząd równania różniczkowego.
- ▶ Skorzystać z algorytmu jawnego lub niejawnego algorytmu całkowania RR
- ▶ Algorytmy jawne:

Równania różniczkowe

- ▶ Przed zastosowaniem algorytmu obniżyć rząd równania różniczkowego.
- ▶ Skorzystać z algorytmu jawnego lub niejawnego algorytmu całkowania RR
- ▶ Algorytmy jawne:
 - ▶ Euler: $\boldsymbol{x}(t + \Delta t) = \boldsymbol{x}(t) + \Delta t \cdot \dot{\boldsymbol{x}}$

Równania różniczkowe

- ▶ Przed zastosowaniem algorytmu obniżyć rząd równania różniczkowego.
- ▶ Skorzystać z algorytmu jawnego lub niejawnego algorytmu całkowania RR
- ▶ Algorytmy jawne:
 - ▶ Euler: $\mathbf{x}(t + \Delta t) = \mathbf{x}(t) + \Delta t \cdot \dot{\mathbf{x}}$
 - ▶ Rugge-Kutty 4 rzędu

Model matematyczny statku powietrznego I

Kolizje I

Odrzut

Odrzut

Zasada zachowania pędu \vec{p} i zasada zachowania momentu pędu (krętu) \vec{L} .

Odrzut

Zasada zachowania pędu \vec{p} i zasada zachowania momentu pędu (krętu) \vec{L} .

$$\begin{bmatrix} \vec{p}_{przed} \\ \vec{L}_{przed} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \vec{p}_{po} \\ \vec{L}_{po} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \vec{p}_{pocisku} \\ \vec{L}_{pocisku} \end{bmatrix}$$

Odrzut

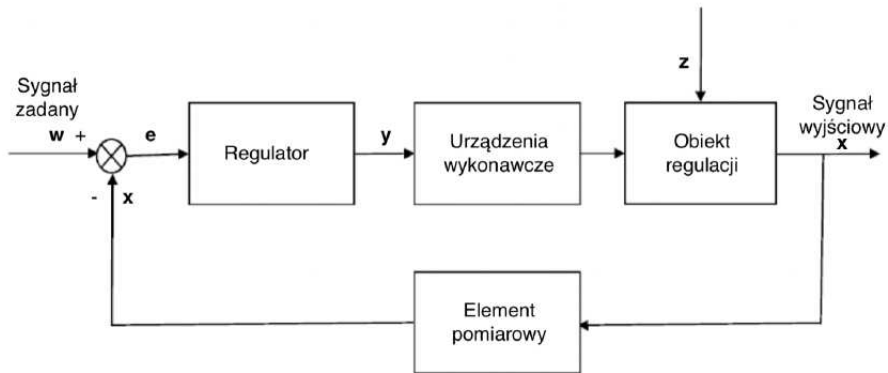
Zasada zachowania pędu \vec{p} i zasada zachowania momentu pędu (krętu) \vec{L} .

$$\begin{bmatrix} \vec{p}_{przed} \\ \vec{L}_{przed} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \vec{p}_{po} \\ \vec{L}_{po} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \vec{p}_{pocisku} \\ \vec{L}_{pocisku} \end{bmatrix}$$

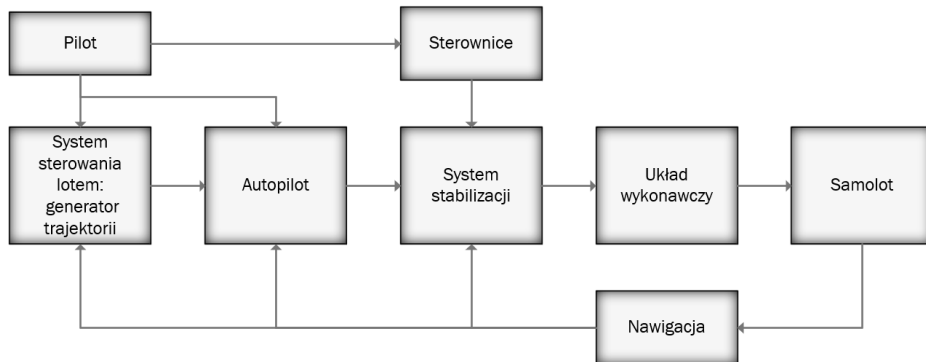
$$M \begin{bmatrix} \vec{v}_{przed} \\ \vec{\omega}_{przed} \end{bmatrix} = M \begin{bmatrix} \vec{v}_{po} \\ \vec{\omega}_{po} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \vec{v}_{pocisku} \\ \vec{r}_{pocisku} \times \vec{v}_{pocisku} \end{bmatrix}$$

Sterowanie statkiem powietrznym

Sterowanie statkiem powietrznym

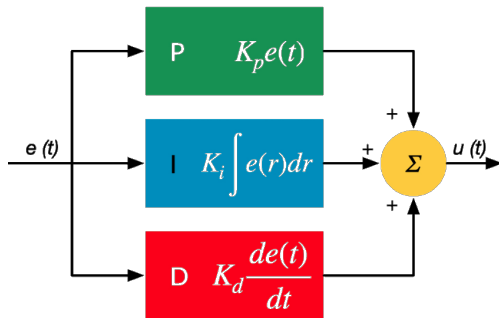


Sterowanie statkiem powietrznym

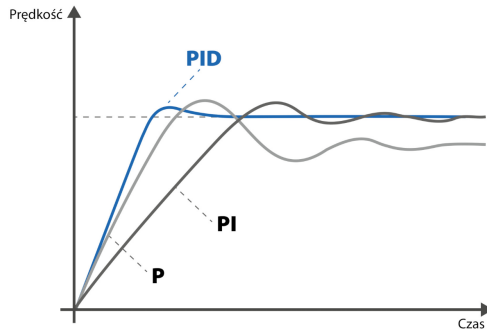
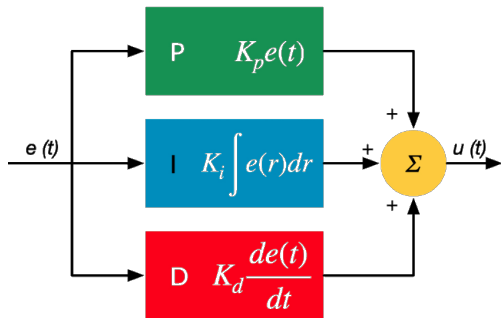


Regulator PID

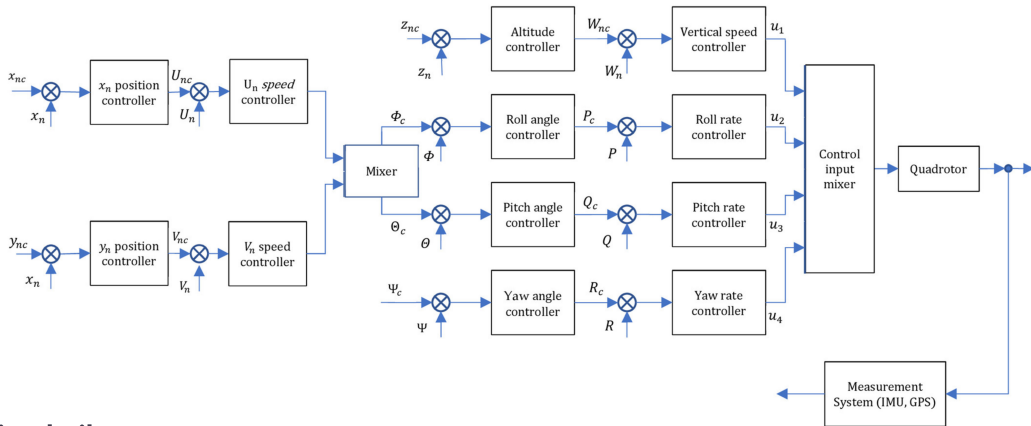
Regulator PID



Regulator PID



Sterowanie statkiem powietrznym



Nawigacja

Czujniki:

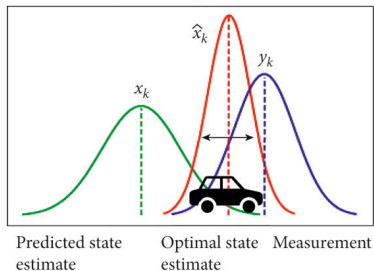
- ▶ Żyroskop
- ▶ Akcelerometer
- ▶ Barometer
- ▶ Czujnik prędkości powietrza
- ▶ Nawigacja satelitarna
- ▶ Radar, sonar, lidar

Nawigacja

Czujniki:

- ▶ Żyroskop
- ▶ Akcelerometer
- ▶ Barometer
- ▶ Czujnik prędkości powietrza
- ▶ Nawigacja satelitarna
- ▶ Radar, sonar, lidar

Filtr Kalmana:



Potok renderowania I

Shadery I

GPU I

Cieniowanie i model oświetlenia I

Renderowanie interfejsu I

Obsługa kontrolera I

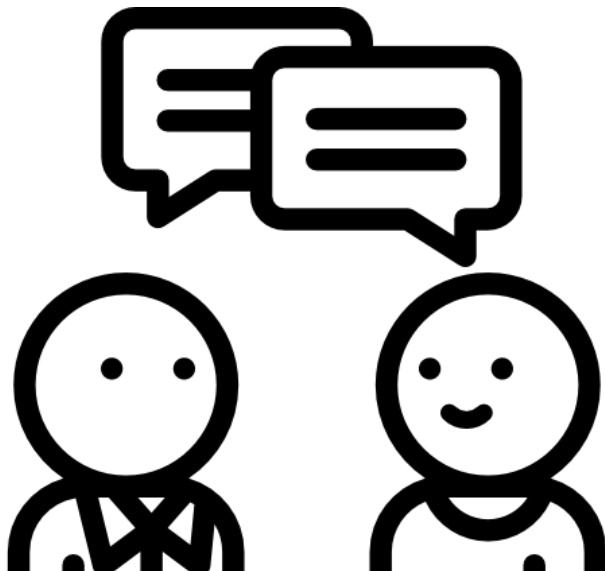
Krzywa łańcuchowa I

Demo

Testy α



Dyskusja



Literatura



[Energies, 2022] Quadrotor Model for Energy Consumption Analysis
Jacewicz, Mariusz and Żugaj, Marcin and Głębocki, Robert and Bibik,
Przemysław

Dziękuję za uwagę!