

Implementação de Sistemas Embarcados

Drone: FCU+FIRMWARE+MAVROS+GAZEBO



José Colombini, Tiago Takeda, Emanuel Iwanow
Fernando Zolubas Preto



Aula de hoje

- Complexidade de sistemas Ciber-físicos
- FCU: Pixhawk
- Firmware: PX4
- Middleware e pacotes: ROS + MAVROS
- Protocolo de Comunicação: MAVLINK
- Simulador de sistemas físicos: GAZBO



Aula de hoje

PX4
autopilot

pixhawk

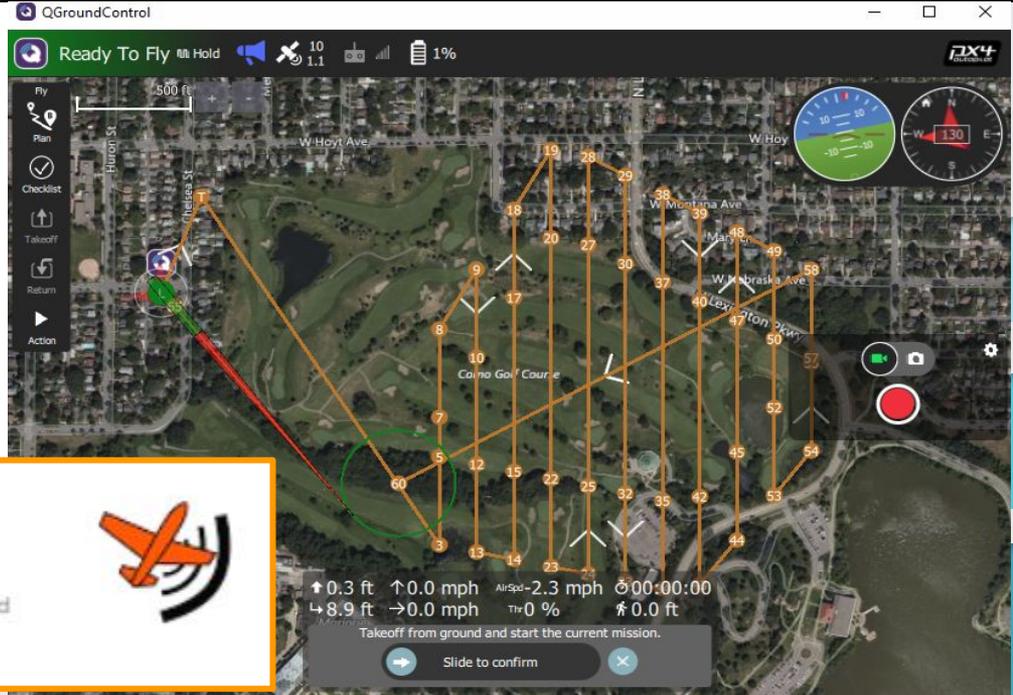


mavlink/mavros

MAVLink to ROS gateway with proxy for Ground Control Station



```
9 import rospy #Habilita ROS+python
10 from geometry_msgs.msg import PoseStamped #Importa biblioteca
11 from mavros_msgs.srv import SetMode, CommandBool
12 from mavros_msgs.msg import State #Importa biblioteca
```





Das aulas anteriores...

- Vimos que um sistema embarcado exige um controle de tempo real com diversas informações de sensores para atuadores e entre scripts de automação.

Mas como implementar isso?

- Tudo isso precisa ser processado de forma DETERMINÍSTICA, em TEMPO REAL e em processadores (controladores) DEDICADOS.

Alguns Desafios

- Scripts de automação podem ser previstos para ODDs muito idealizados
- Sistema operacional pode travar
- Firmware/Configurações/Pacotes podem conter bugs
- Segurança da operação vs viabilidade da operação



Confiabilidade em Complexos



ODD: Operational Design Domain



“Condições operacionais sob as quais um determinado sistema de automação de direção, ou recurso do mesmo, é especificamente projetado para funcionar, incluindo, mas não limitado a, restrições ambientais, geográficas e de horário do dia e/ou a presença ou ausência de certas características do tráfego, ou da via”.

<https://www.sae.org/standards/content/j3259/>



<https://www.youtube.com/watch?v=gEy91PGGLR0>

Erros de configuração do Firmware

- Em um projeto complexo como um drone não é muito difícil configurar alguma coisa errada, o que pode levar a acidentes

Case Real:

“Em 2019 instalamos um Lidar unidirecional para medir a altitude do drone até 12m para depois trocar para o Barômetro em altitudes maiores. Porém, a configuração do Lidar no firmware falhou. O sensor estava instalado, mas não configurado, provocando a perda de referência do drone e queda”.



Erros de configuração do Firmware

PX4 Quadrotor

[Open 3D View](#)[Open PID Analysis](#)

Airframe: DJI F450 w/ DJI ESCs
Quadrotor x (4011)

Hardware: PX4_FMU_V5 (V500)

Software Version: v1.9.2 ([10690587](#))

OS Version: NuttX, v7.28.0

Estimator: EKF2

Logging Start **?**: 29-09-2019 11:29

Logging Duration: 0:03:57

Vehicle Life
Flight Time: 1 hours 24 minutes 44 seconds

Vehicle UUID:

Distance: 1.05 km

Max Altitude Difference: 197 m

Average Speed: 15.9 km/h

Max Speed: 93.3 km/h

Max Speed Horizontal: 60.2 km/h

Max Speed Up: 20.4 km/h

Max Speed Down: 91.4 km/h

Max Tilt Angle: 174.4 deg

Max Rotation Speed: 1253.8 deg/s

Average Current: 20.2 A

Max Current: 51.5 A

Erros de configuração do Firmware

PX4 Quadrotor

[Open 3D View](#)[Open PID Analysis](#)

**Drone médio 20A
Máx 50A**

Airframe: DJI F450 w/ DJI ESCs
Quadrotor x (4011)

Hardware: PX4_FMU_V5 (V500)

Software Version: v1.9.2 (10690587)

OS Version: NuttX, v7.28.0

Estimator: EKF2

Logging Start ? : 29-09-2019 11:29

Logging Duration: 0:03:57

Vehicle Life
Flight Time: 1 hours 24 minutes 44 seconds

Vehicle UUID: 0002000C

Distance: 1.05 km

Max Altitude Difference: 197 m

Average Speed: 15.9 km/h

Max Speed: 93.3 km/h

Max Speed Horizontal: 60.2 km/h

Max Speed Up: 20.4 km/h

Max Speed Down: 91.4 km/h

Max Tilt Angle: 174.4 deg

Max Rotation Speed: 1253.8 deg/s

Average Current: 20.2 A

51.5 A

Casa comum com 1 geladeira, 1 chuveiro, algumas lampadas ligados.
Aproximadamente 40A



Erros de configuração do Firmware



Exemplos de outros problemas

- Antena

- Perda de pacotes
- perda de potência (distância)
- Direção da antena e região de máxima transmissão de potência



- Câmera

- Espelhos: Criam objetos com velocidade que não existem na vida real
- Superfícies reflexivas: cegam câmera
- Vidros: Obstáculos não detectáveis



FCU-Flight Unit Control: Pixhawk



xCU: x Unit Control

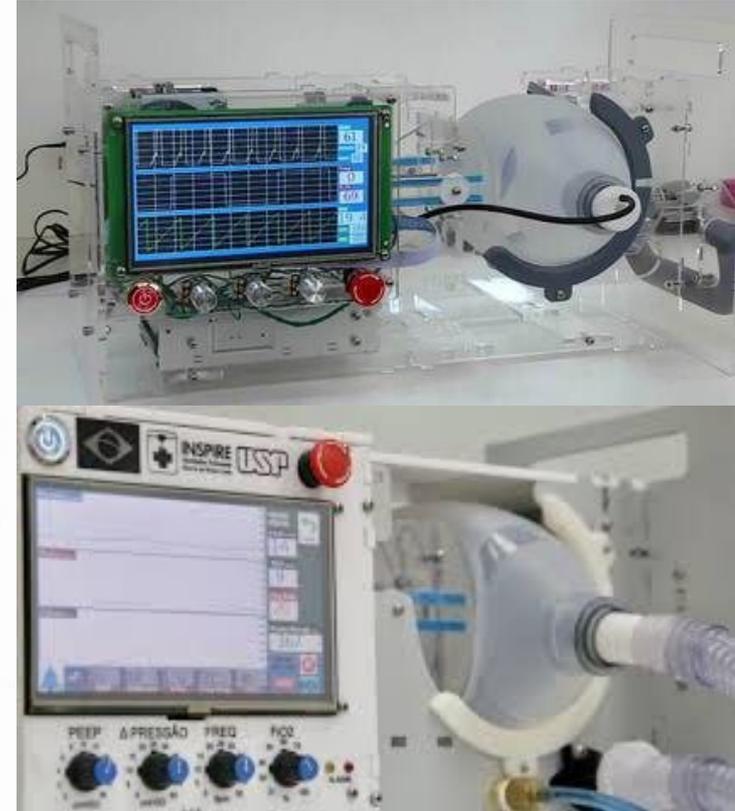
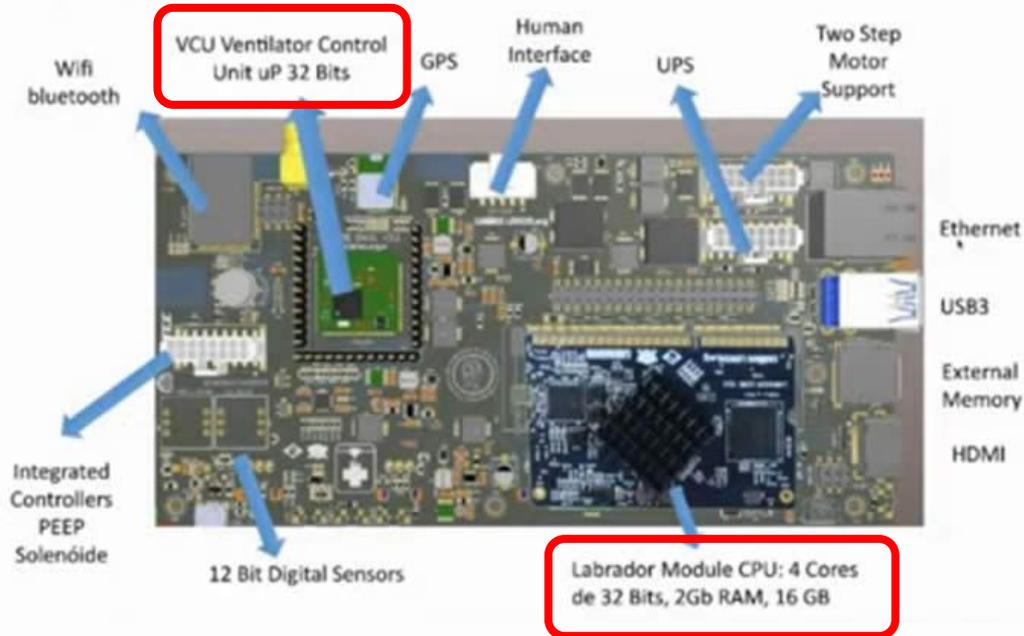
Este processador/controlador dedicado a aplicação de sistemas embarcados é o xCU

- (x Control Unit), onde x pode ser:
 - Engine ECU (automóveis)
 - Flying FCU (tudo que voa)
 - Ventilator VCU (ventilador Inspire)



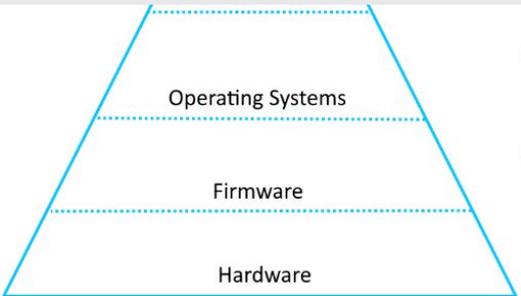
VCU: Ventilator Unit Control

Inspire Base V3.2



FCU: Flight Unit Control

A pixhawk é uma FCU comumente usada em drones. Ela pode rodar o firmware PX4 sobre o Nuttx: sistema operacional de tempo real (RTOS)



OS: Nuttx (RTOS)

Firmware: PX4

FCU: PIXHAWK



Firmware: PX4



Firmware:PX4

- A PX4 é um Firmware de piloto automático open-source amplamente utilizado para drones
 - Como é organizado?
 - Modularizado (Reactive Manifesto, uORB (publish/subscriber))
 - Módulos independentes
 - Podem ser trocados
 - Evita bugs por substituição de drivers/hardwares



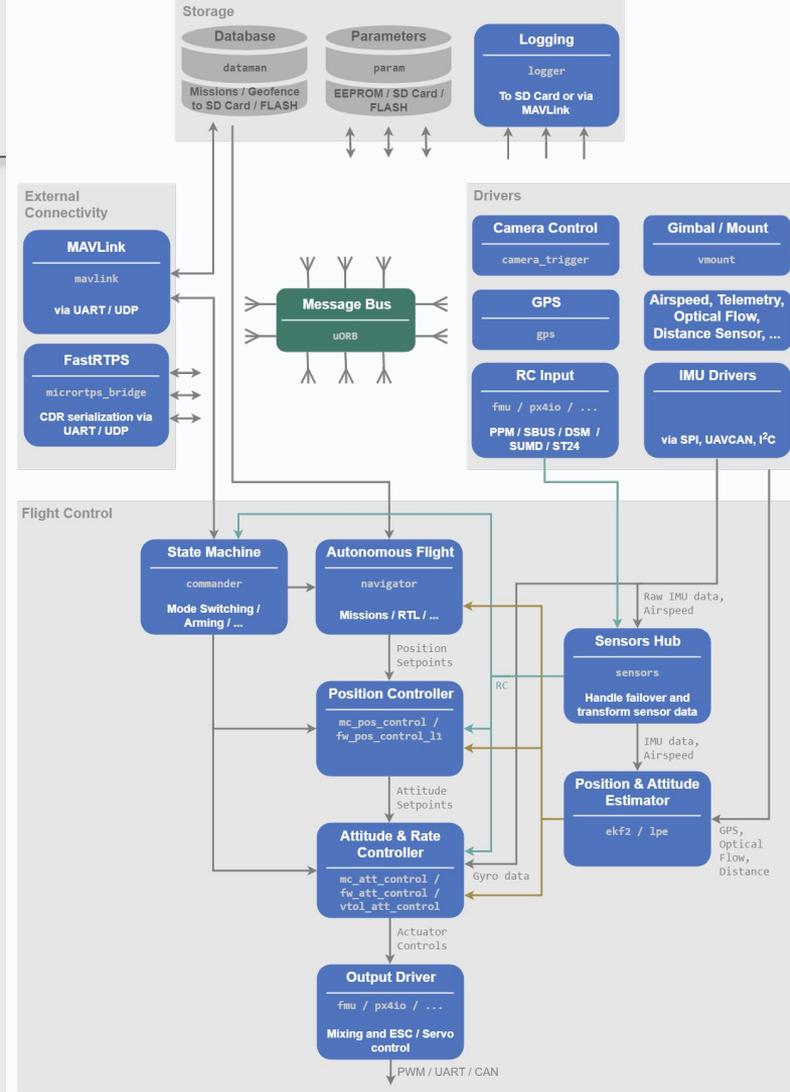
Firmware:PX4

- Reactive Manifesto
 - É um princípio de projeto que quando seguido resulta em uma comunicação robusta e a prova de falhas entre as diversas partes de um sistema complexo
- É frequentemente usado no projeto de sistemas críticos



Firmware:PX4

https://github.com/SkyRats/psi3442/tree/master/Curso2023/4a_aula

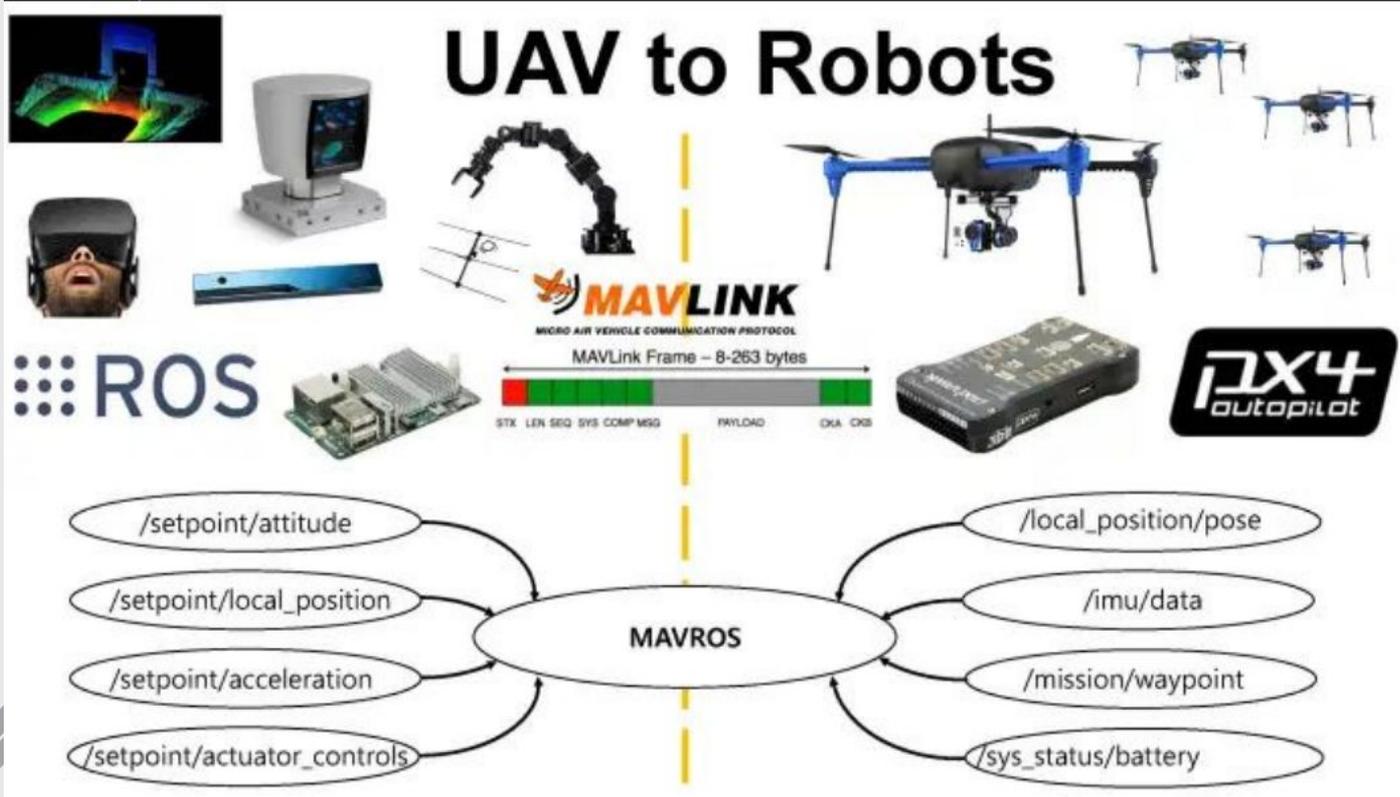


Middleware e pacotes: ROS + MAVROS



MAVROS

Rospackage: Interliga ROS e PX4

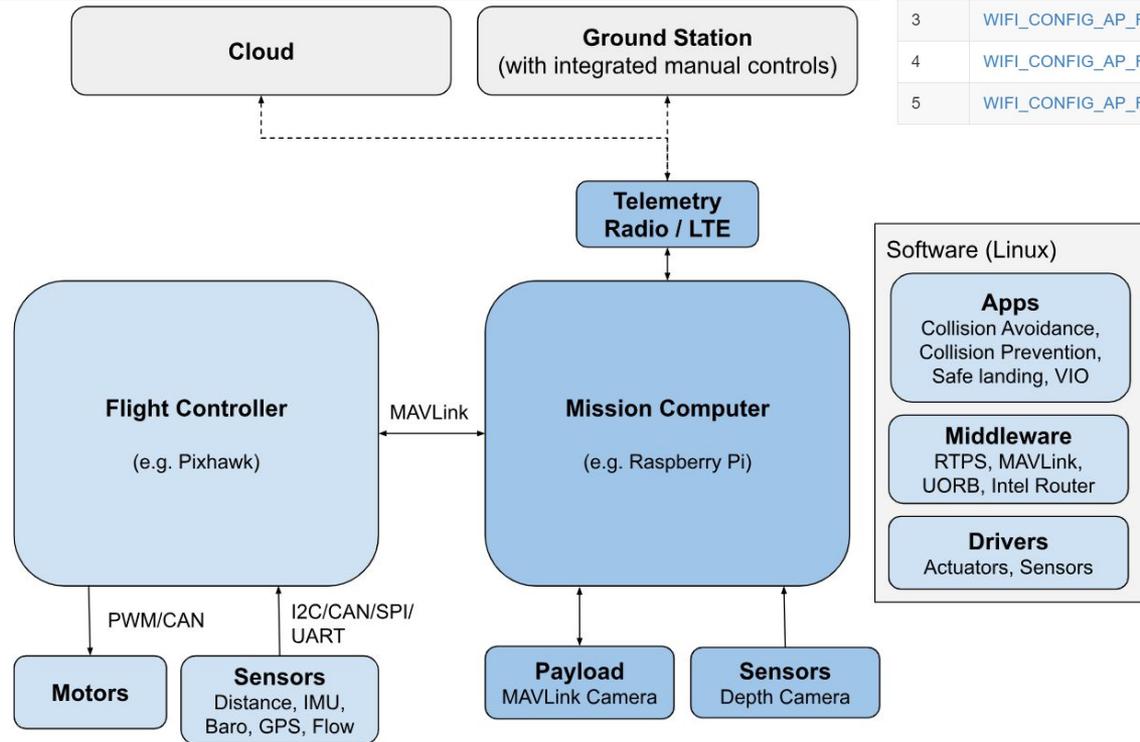


Protocolo de Comunicação: MAVLINK



MAVLINK

Protocolo de comunicação leve para UAV.



WIFI_CONFIG_AP_RESPONSE

[Enum] Possible responses from a WIFI_CONFIG_AP message.

Value	Field Name	Description
0	WIFI_CONFIG_AP_RESPONSE_UNDEFINED	Undefined response. Likely an indicative of a system that doesn't support this request.
1	WIFI_CONFIG_AP_RESPONSE_ACCEPTED	Changes accepted.
2	WIFI_CONFIG_AP_RESPONSE_REJECTED	Changes rejected.
3	WIFI_CONFIG_AP_RESPONSE_MODE_ERROR	Invalid Mode.
4	WIFI_CONFIG_AP_RESPONSE_SSID_ERROR	Invalid SSID.
5	WIFI_CONFIG_AP_RESPONSE_PASSWORD_ERROR	Invalid Password.



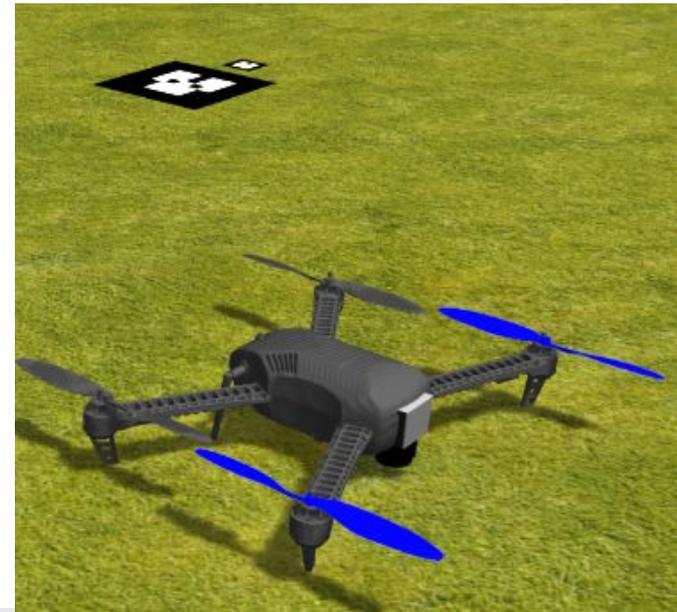
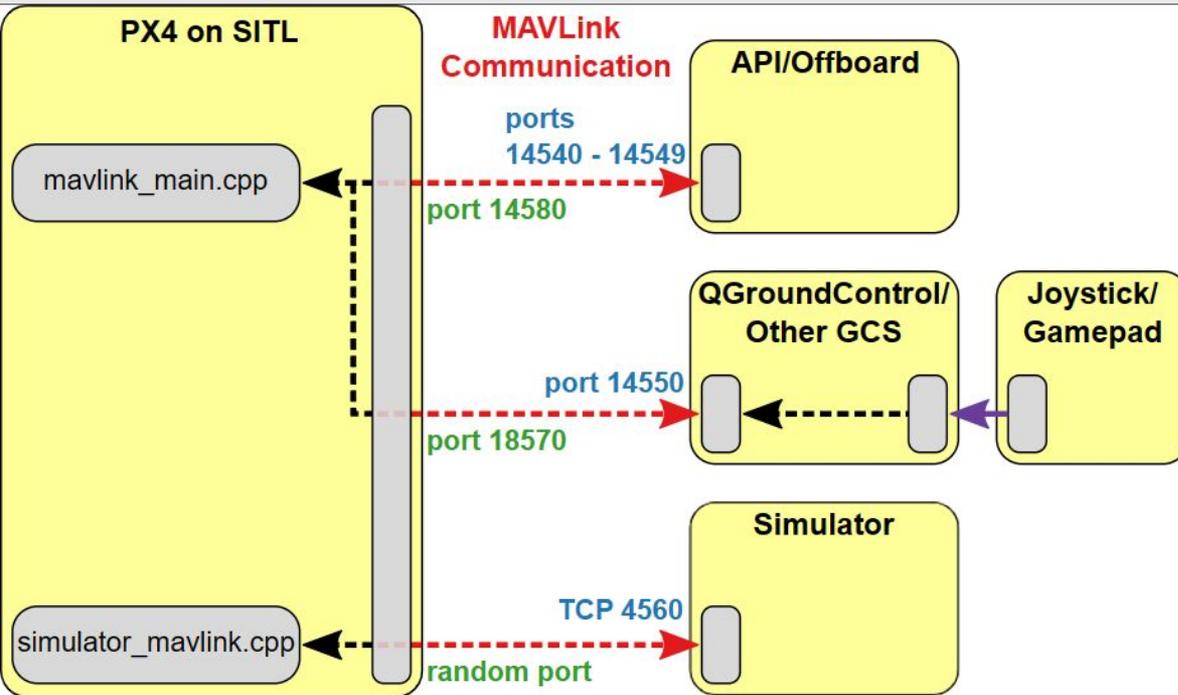
Simulador de sistemas físicos: GAZBO



SITL: Software in the loop

Emula FCU+SCRIPPS+GroundControl+Mundo Físico (Gazebo)

Exemplo: <https://www.youtube.com/watch?v=iRnLB31aQmA>



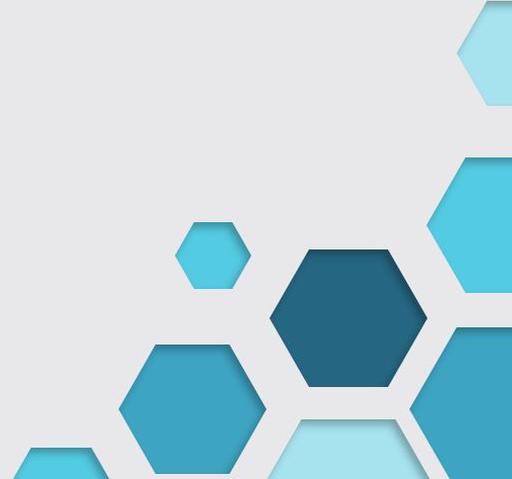
Para aprender mais

Firmware e Drivers



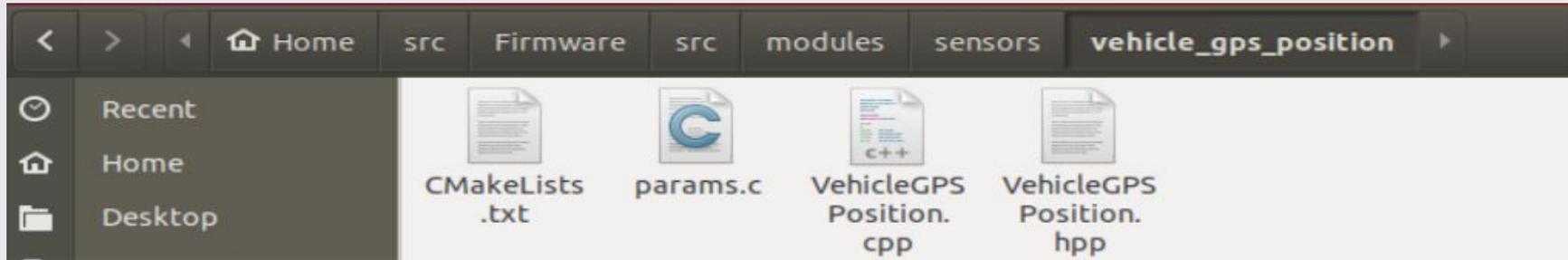
Aprendendo mais

Os slides a seguir sugerem exemplos dentro do firmware PX4 para que os interessados possam aprender mais sobre scripts, algoritmos e drivers que compõem um Firmware de um sistema Ciber-físico complexo.



Driver: GPS

Driver em C++ de um GPS

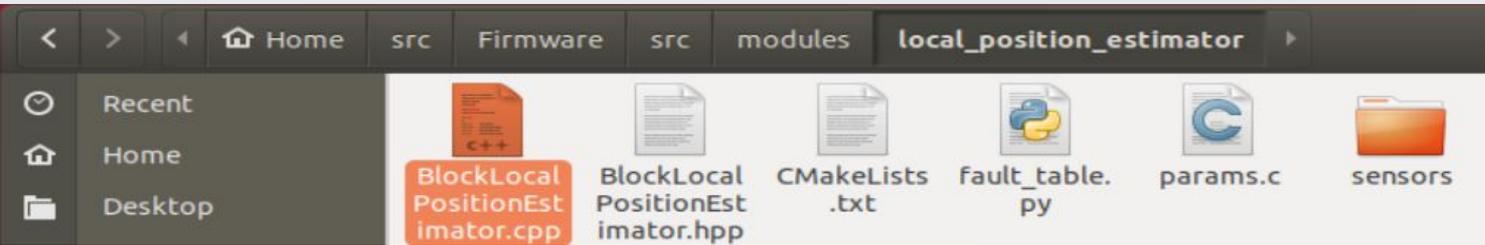


Aqui você pode ver como é o código de um driver de um sensor GPS.

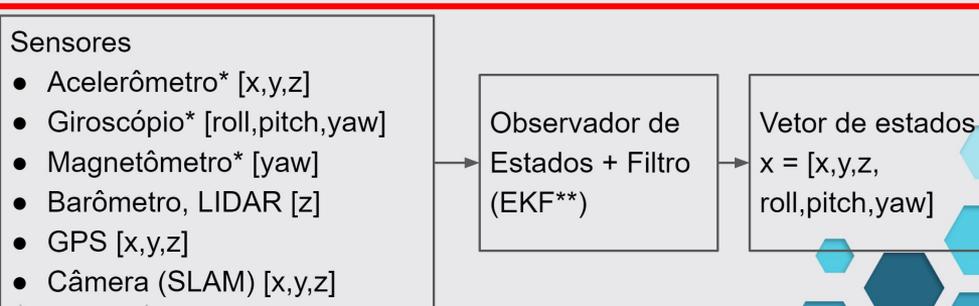


Script: Local Position Estimator (EKF2)

Script estimador de posição de um drone



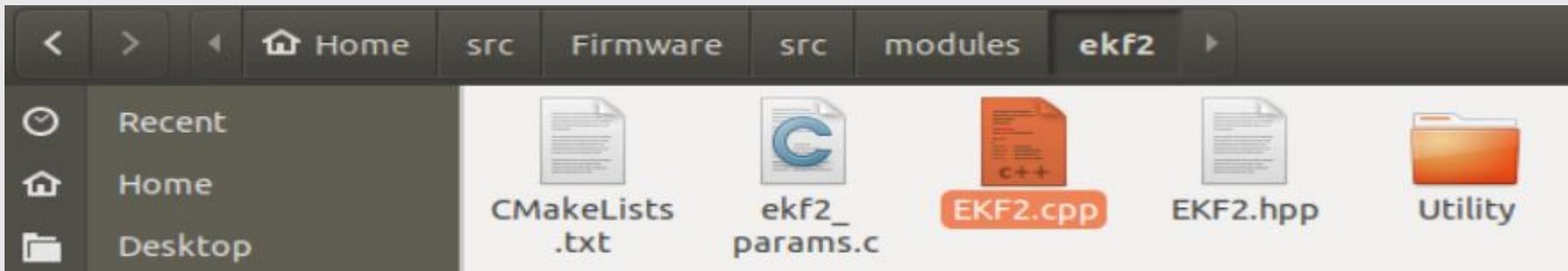
Falamos brevemente sobre ele na primeira aula do curso:



```
// matching EKF2 covariances indexing
// quaternion - not determined, as it is a position estimator
_pub_est_states.get().covariances[0] = NAN;
_pub_est_states.get().covariances[1] = NAN;
_pub_est_states.get().covariances[2] = NAN;
_pub_est_states.get().covariances[3] = NAN;
// linear velocity
_pub_est_states.get().covariances[4] = m_P(X_vx, X_vx);
_pub_est_states.get().covariances[5] = m_P(X_vy, X_vy);
_pub_est_states.get().covariances[6] = m_P(X_vz, X_vz);
// position
_pub_est_states.get().covariances[7] = m_P(X_x, X_x);
_pub_est_states.get().covariances[8] = m_P(X_y, X_y);
_pub_est_states.get().covariances[9] = m_P(X_z, X_z);
// gyro bias - not determined
_pub_est_states.get().covariances[10] = NAN;
_pub_est_states.get().covariances[11] = NAN;
_pub_est_states.get().covariances[12] = NAN;
// accel bias
_pub_est_states.get().covariances[13] = m_P(X_bx, X_bx);
_pub_est_states.get().covariances[14] = m_P(X_by, X_by);
_pub_est_states.get().covariances[15] = m_P(X_bz, X_bz);
```

Script: EKF2: Extended Kalman Filter 2

Script de implementação em C++ de um filtro de Kalman (Linear ótimo).



Para quem já estudou filtragem de sinais, em particular sobre o filtro de Kalman e deseja ver como é uma implementação dele na prática observe esse exemplo.

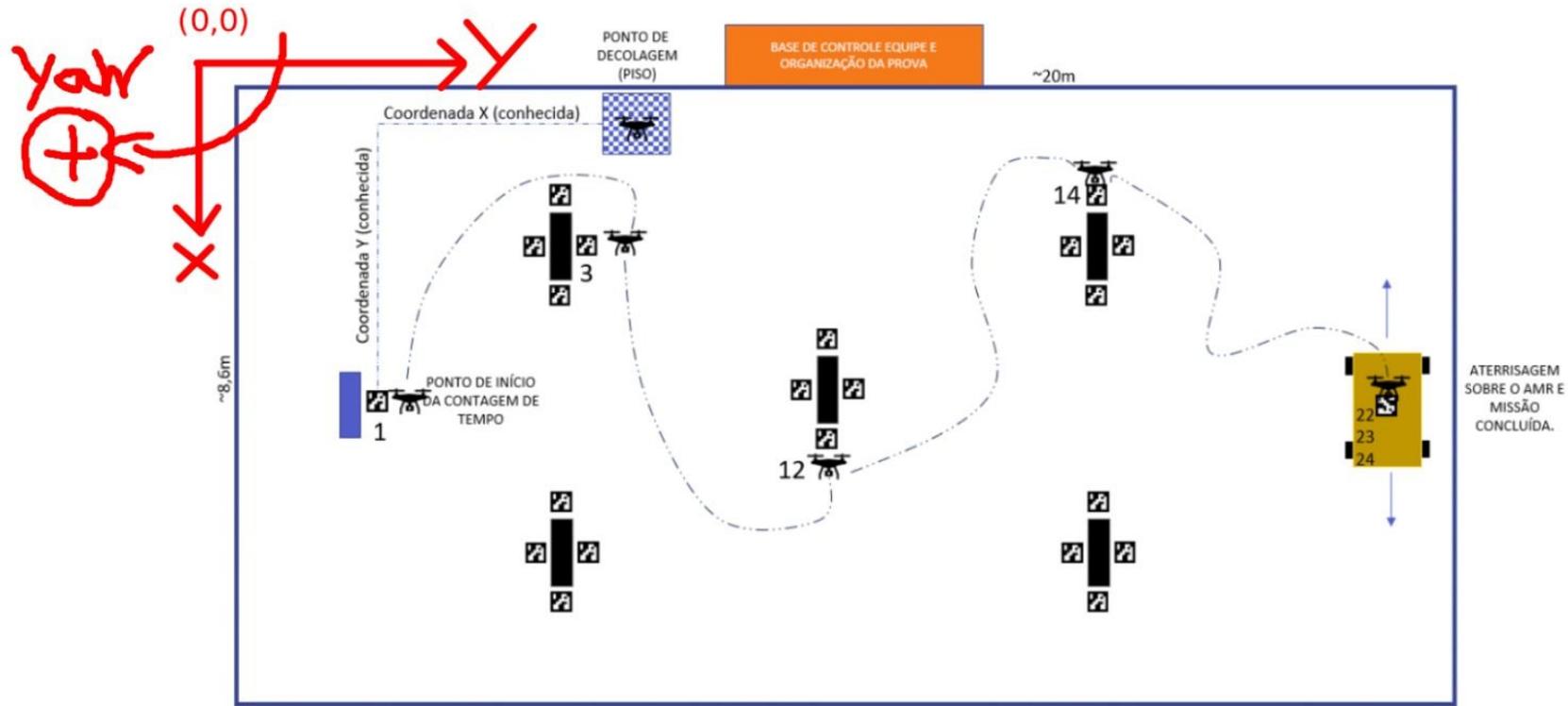


ABII Challenge 2023

Desafios de sistemas embarcados



Desafios de Sistemas Embarcados



Desafios de Sistemas Embarcados



Desafios de Sistemas Embarcados

