

Working title drone control

Riadenie dronov

prof. Ing. Gergely Takács, PhD.



- riadenie orientácie, tj. uhly $\Omega = \Phi, \Theta, \Sigma$ a uhlové rýchlosťi $\dot{\Omega}$ v "body frame"
- Pre RC dron by to aj stačilo s plynom $h \leftarrow \tau$ (angl.: throttle)¹ [Boland 2015]
- Riadiť orientáciu (angl.: attitude) len na základe zmeny uhl. rýchlosťi (angl.: rate) by bolo dosť neintuitívne, potrebujeme prepočítať $r_\Theta \rightarrow r_{\dot{\Theta}}$
- Táto slučka je často nazvaná ako stabilizačné riadenie (angl.: stabilize) alebo orientačné riadenie (angl.: attitude control) (predošlá je (angl.: rate))
- Nezabudnime na štvrtú kaskadovanú slučku: výška \rightarrow rýchlosť zmeny výšky resp. vertikálna rýchlosť (angl.: climb rate) \rightarrow zrýchlenie \rightarrow motor

¹Síce rate-control je tiež možné [Boland 2015] !

- riadenie orientácie, tj. uhly $\Omega = \Phi, \Theta, \Sigma$ a uhlové rýchlosťi $\dot{\Omega}$ v "body frame"
- Pre RC dron by to aj stačilo s plynom $h \leftarrow \tau$ (angl.: throttle)¹ [Boland 2015]
- Riadiť orientáciu (angl.: attitude) len na základe zmeny uhl. rýchlosťi (angl.: rate) by bolo dosť neintuitívne, potrebujeme prepočítať $r_\Theta \rightarrow r_{\dot{\Theta}}$
- Táto slučka je často nazvaná ako stabilizačné riadenie (angl.: stabilize) alebo orientačné riadenie (angl.: attitude control) (predošlá je (angl.: rate))
- Nezabudnime na štvrtú kaskadovanú slučku: výška \rightarrow rýchlosť zmeny výšky resp. vertikálna rýchlosť (angl.: climb rate) \rightarrow zrýchlenie \rightarrow motor

¹Síce rate-control je tiež možné [Boland 2015] !

- riadenie orientácie, tj. uhly $\Omega = \Phi, \Theta, \Sigma$ a uhlové rýchlosťi $\dot{\Omega}$ v "body frame"
- Pre RC dron by to aj stačilo s plynom $h \leftarrow \tau$ (angl.: throttle)¹ [Boland 2015]
- Riadiť orientáciu (angl.: attitude) len na základe zmeny uhl. rýchlosťi (angl.: rate) by bolo dosť neintuitívne, potrebujeme prepočítať $r_\Theta \rightarrow r_{\dot{\Theta}}$
- Táto slučka je často nazvaná ako stabilizačné riadenie (angl.: stabilize) alebo orientačné riadenie (angl.: attitude control) (predošlá je (angl.: rate))
- Nezabudnime na štvrtú kaskadovanú slučku: výška \rightarrow rýchlosť zmeny výšky resp. vertikálna rýchlosť (angl.: climb rate) \rightarrow zrýchlenie \rightarrow motor

¹Síce rate-control je tiež možné [Boland 2015] !

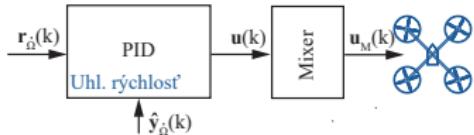
- riadenie orientácie, tj. uhly $\Omega = \Phi, \Theta, \Sigma$ a uhlové rýchlosťi $\dot{\Omega}$ v "body frame"
- Pre RC dron by to aj stačilo s plynom $h \leftarrow \tau$ (angl.: throttle)¹ [Boland 2015]
- Riadiť orientáciu (angl.: attitude) len na základe zmeny uhl. rýchlosťi (angl.: rate) by bolo dosť neintuitívne, potrebujeme prepočítať $r_\Theta \rightarrow r_{\dot{\Theta}}$
- Táto slučka je často nazvaná ako stabilizačné riadenie (angl.: stabilize) alebo orientačné riadenie (angl.: attitude control) (predošlá je (angl.: rate))
- Nezabudnime na štvrtú kaskadovanú slučku: výška \rightarrow rýchlosť zmeny výšky resp. vertikálna rýchlosť (angl.: climb rate) \rightarrow zrýchlenie \rightarrow motor

¹Síce rate-control je tiež možné [Boland 2015] !

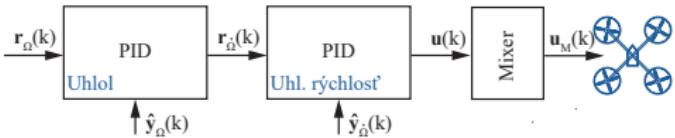
- riadenie orientácie, tj. uhly $\Omega = \Phi, \Theta, \Sigma$ a uhlové rýchlosťi $\dot{\Omega}$ v "body frame"
- Pre RC dron by to aj stačilo s plynom $h \leftarrow \tau$ (angl.: throttle)¹ [Boland 2015]
- Riadiť orientáciu (angl.: attitude) len na základe zmeny uhl. rýchlosťi (angl.: rate) by bolo dosť neintuitívne, potrebujeme prepočítať $r_\Theta \rightarrow r_{\dot{\Theta}}$
- Táto slučka je často nazvaná ako stabilizačné riadenie (angl.: stabilize) alebo orientačné riadenie (angl.: attitude control) (predošlá je (angl.: rate))
- Nezabudnime na štvrtú kaskadovanú slučku: výška \rightarrow rýchlosť zmeny výšky resp. vertikálna rýchlosť (angl.: climb rate) \rightarrow zrýchlenie \rightarrow motor

¹Síce rate-control je tiež možné [Boland 2015] !

- Tvárme sa, že poznáme žiadané orientácie (napr. RC), napr. klopenie r_Θ a chceme riadiť y_Θ . V skutočnosti riešené s kvaternióny aby sme obišli singularitu Eulerových uhlov pri odhadе [Erasmus 2020]. Ak by sme priamo pilotovali RC , bol by to tzv. stabilizovaný letový mód [Boland 2015].
- Riadenie orientácie môže byť riešené ďalšou, nadradenou regulačnou slučkou - hovoríme o tzv. kaskádnom riadení (*angl.*: nested, cascaded).



- Tvárme sa, že poznáme žiadané orientácie (napr. RC), napr. klopenie r_Θ a chceme riadiť y_Θ . V skutočnosti riešené s kvaternióny aby sme obišli singularitu Eulerových uhlov pri odhadе [Erasmus 2020]. Ak by sme priamo pilotovali RC , bol by to tzv. stabilizovaný letový mód [Boland 2015].
- Riadenie orientácie môže byť riešené ďalšou, nadradenou regulačnou slučkou - hovoríme o tzv. kaskádnom riadení (*angl.*: nested, cascaded).

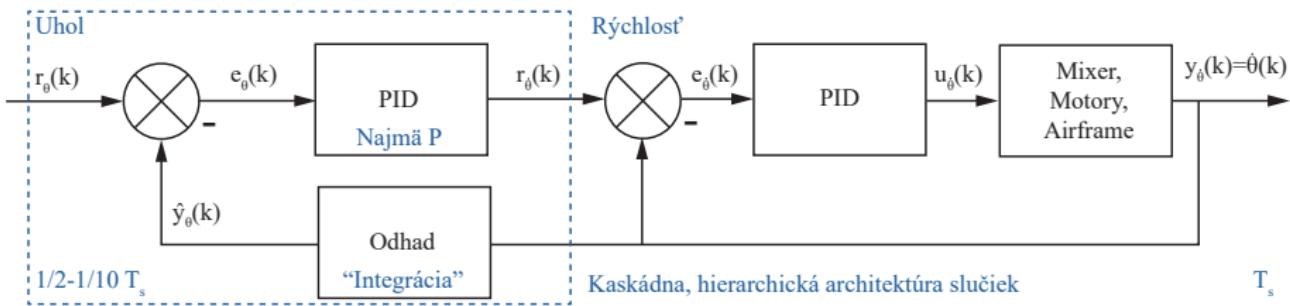


- Nadradené slučky sú pomalšie, vytvára to istý "filter", t.j. nemôžeme rýchlejšie ovládať rýchlosť ako polohu (cca. o rád, min polovicu pomalšie²⁾) [Hall 2018; PX4 Autopilot 2021]
- Pri PID skôr P³, lebo reaguje príliš agresívne na šum.
- Do slučky dopracujeme doprednú väzbu (*angl.*: feedforward) ktorá zrýchli odozvu regulácie. "Whatever works" - netreba mystifikovať.

²ArduCopter 40 Hz vs 400 Hz, PX4 250 vs. 1000 Hz [Hall 2018; PX4 Autopilot 2021]

³ArduCopter a PX4 Autopilot používa P regulátor [PX4 Autopilot 2021; ArduPilot 2021]

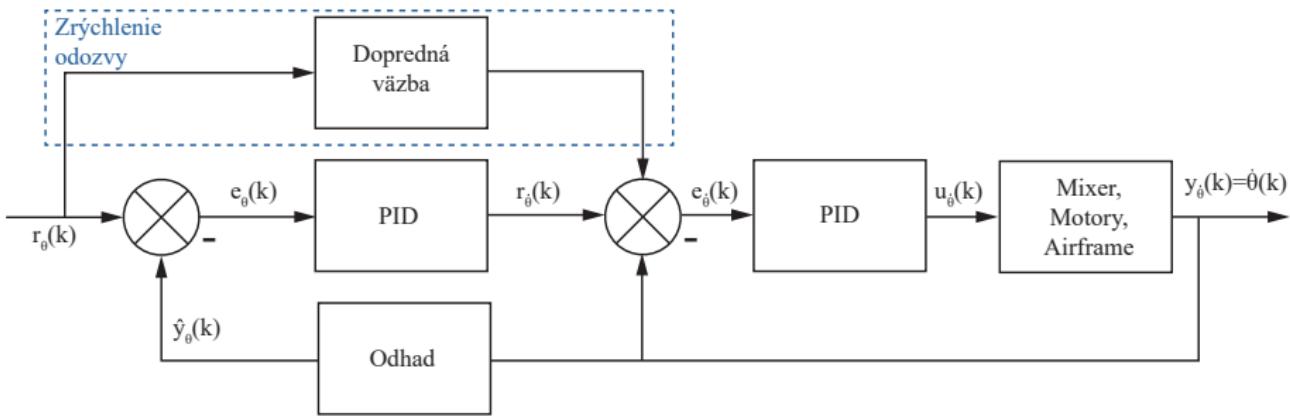
- Nadradené slučky sú pomalšie, vytvára to istý "filter", t.j. nemôžeme rýchlejšie ovládať rýchlosť ako polohu (cca. o rád, min polovicu pomalšie²⁾) [Hall 2018; PX4 Autopilot 2021]
- Pri PID skôr P³, lebo reaguje príliš agresívne na šum.
- Do slučky dopracujeme doprednú väzbu (*angl.*: feedforward) ktorá zrýchli odozvu regulácie. "Whatever works" - netreba mystifikovať.



²ArduCopter 40 Hz vs 400 Hz, PX4 250 vs. 1000 Hz [Hall 2018; PX4 Autopilot 2021]

³ArduCopter a PX4 Autopilot používa P regulátor [PX4 Autopilot 2021; ArduPilot 2021]

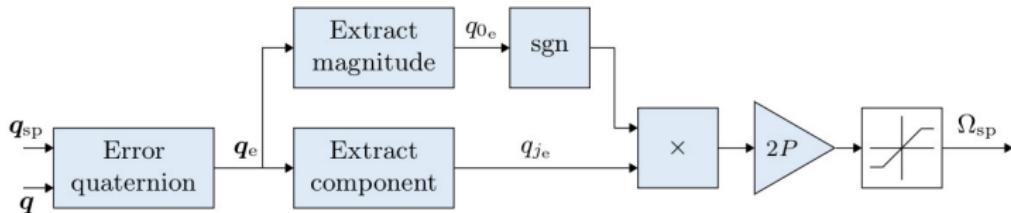
- Nadradené slučky sú pomalšie, vytvára to istý "filter", t.j. nemôžeme rýchlejšie ovládať rýchlosť ako polohu (cca. o rád, min polovicu pomalšie²) [Hall 2018; PX4 Autopilot 2021]
- Pri PID skôr P³, lebo reaguje príliš agresívne na šum.
- Do slučky dopracujeme doprednú väzbu (*angl.*: feedforward) ktorá zrýchli odozvu regulácie. "Whatever works" - netreba mystifikovať.



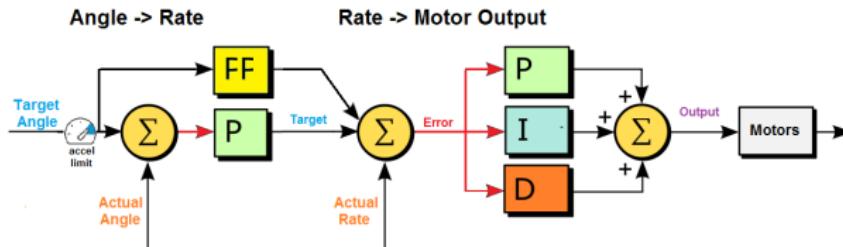
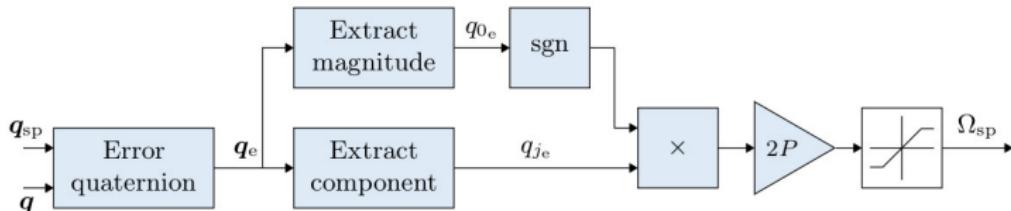
²ArduCopter 40 Hz vs 400 Hz, PX4 250 vs. 1000 Hz [Hall 2018; PX4 Autopilot 2021]

³ArduCopter a PX4 Autopilot používa P regulátor [PX4 Autopilot 2021; ArduPilot 2021]

- PX4 používa kvaternióny, ale je to iba P regulátor
- ArduCopter v podstate taktiež tam má P regulátor + FF

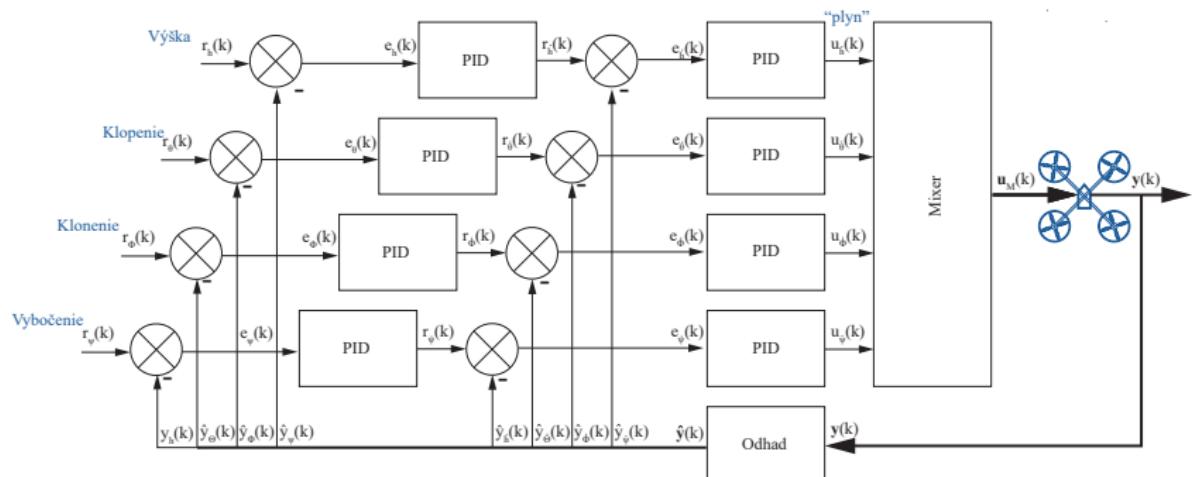


- PX4 používa kvaternióny, ale je to iba P regulátor
- ArduCopter v podstate taktiež tam má P regulátor + FF

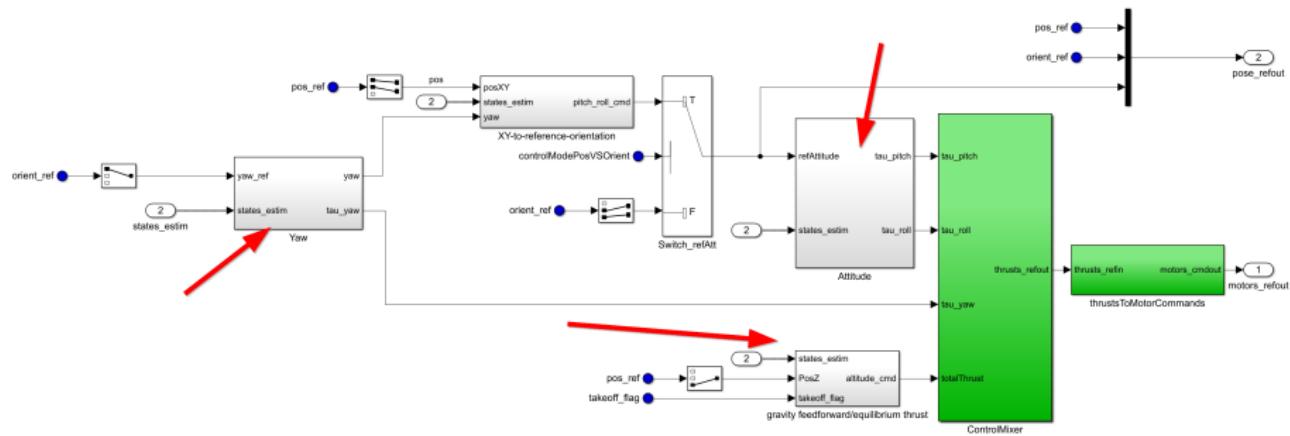


- Máme 4 nezávislých slučiek

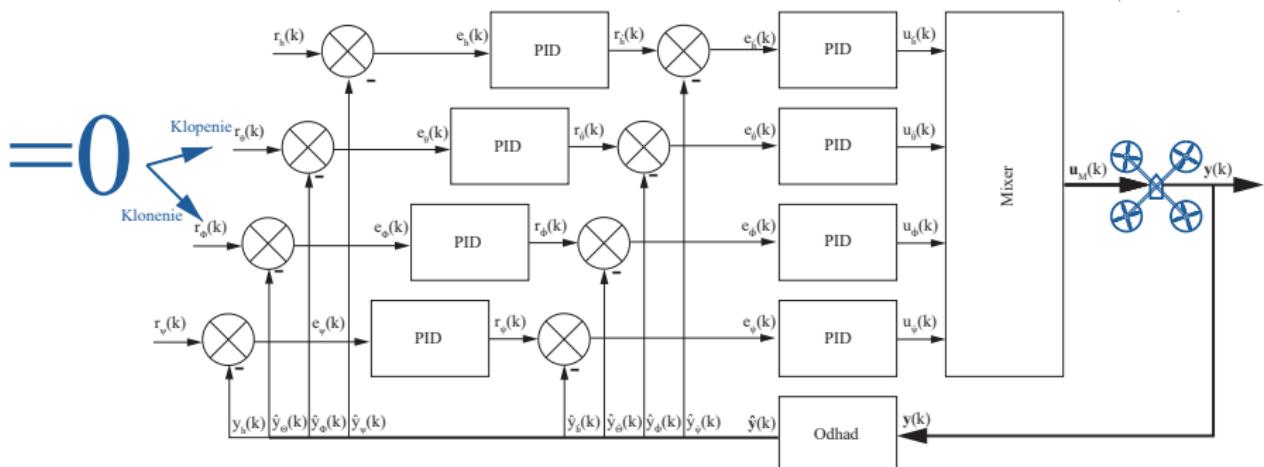
- Ako to vyzerá v MATLAB príklade?
- Čo sa stane ak chceme dron stabilizovať? Majme 0-vé Eulerove uhly!
- Určite to drží na jednom mieste?
- Potrebujeme nenulové klopenie a klonenie, a referenciu na základe polohy!



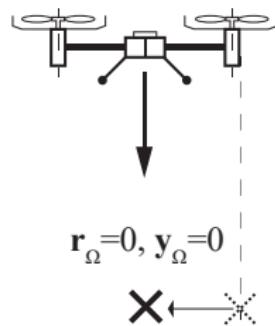
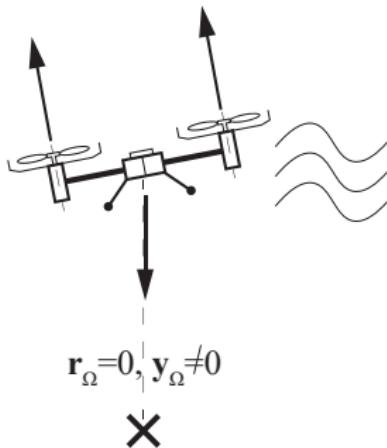
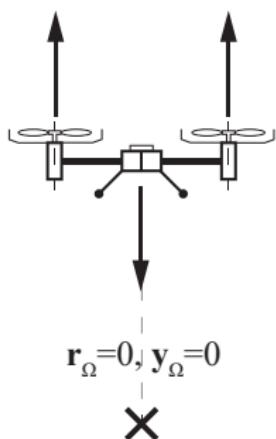
- Máme 4 nezávislých slučiek
- Ako to vyzerá v MATLAB príklade?
- Čo sa stane ak chceme dron stabilizovať? Majme 0-vé Eulerove uhly!
- Určite to drží na jednom mieste?
- Potrebujeme nenulové klopenie a klonenie, a referenciu na základe polohy!



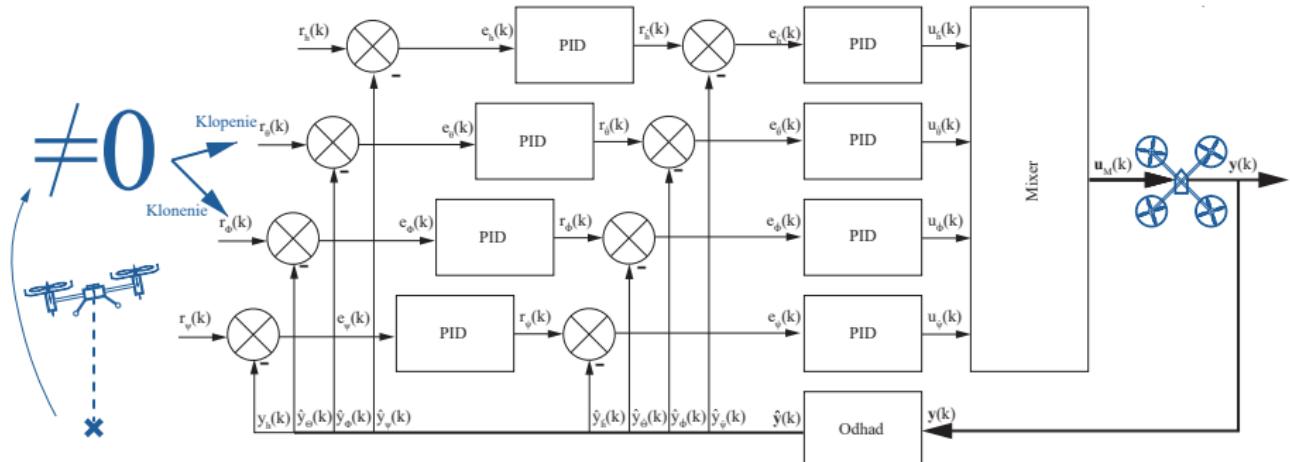
- Máme 4 nezávislých slučiek
- Ako to vyzerá v MATLAB príklade?
- Čo sa stane ak chceme dron stabilizovať? Majme 0-vé Eulerove uhly!
- Určite to drží na jednom mieste?
- Potrebujeme nenulové klopenie a klonenie, a referenciu na základe polohy!



- Máme 4 nezávislých slučiek
- Ako to vyzerá v MATLAB príklade?
- Čo sa stane ak chceme dron stabilizovať? Majme 0-vé Eulerove uhly!
- Určite to drží na jednom mieste?
- Potrebujeme nenulové klopenie a klonenie, a referenciu na základe polohy!



- Máme 4 nezávislých slučiek
- Ako to vyzerá v MATLAB príklade?
- Čo sa stane ak chceme dron stabilizovať? Majme 0-vé Eulerove uhly!
- Určite to drží na jednom mieste?
- Potrebujeme nenulové klopenie a klonenie, a referenciu na základe polohy!



Notes: [Hall 2018](#)

User (ROS) → Shaping → PID → Actuators Yaw je prioritizovanych nad Pitch Roll, lebo to drzi dron v lufte [\[Erasmus 2020\]](#) 50 Hz -> 400 Hz Min 24 tazsie uchopytelne koncepty pre prezentaciu, dava menej konkretnosti Velocity prioritizuje vertikalnu rychlosť [\[Erasmus 2020\]](#)

Ďakujem za Vašu pozornosť.

- [1] **ArduPilot.** *Copter Attitude Control*. Online. [cited 29.11.2021]; Available from <https://ardupilot.org/dev/docs/apmcopter-programming-attitude-control-2.html>. 2021.
- [2] **Ryan Boland.** *Embedded Programming for Quadcopters*. Online. [cited 2.12.2021]; Available from <https://www.youtube.com/watch?v=CHSYgLfhwUo&t=3s>. 2015.
- [3] **Anton Erasmus.** *An In-depth Look at the Multicopter Control System Architecture*. Online. PX4 Developer Summit Virtual 2020. [cited 1.12.2021]; Available from <https://www.youtube.com/watch?v=nEo4WG14Lgc>. 2020.
- [4] **Leonard Hall.** *Pratical PID implementation and the new Position Controller*. [online]. ArduPilot UnConference 2018, uploaded Feb 22, 2018 [cited 24.11.2021]; Available from <https://www.youtube.com/watch?v=-PC69jcMizA>. 2018.
- [5] **PX4 Autopilot.** *Controller Diagrams — Multicopter Control Architecture*. Online. [cited 29.11.2021]; Available from https://docs.px4.io/master/en/flight_stack/controller_diagrams.html. 2021.