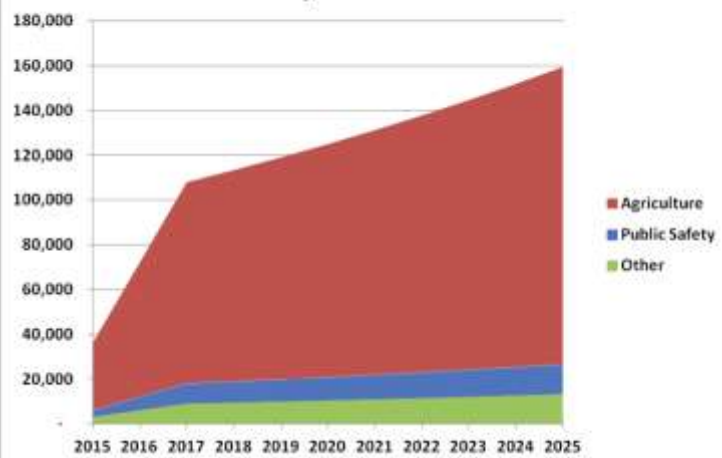


A pilóta nélküli légi járművek közös légtérbe való integrációjának kutatási kérdései

[Vanek Bálint \(vanek@sztaki.hu\)](mailto:vanek@sztaki.hu)

MTA-SZTAKI, Rendszer és Irányításelméleti Kutatólaboratórium,
2014 November 21.

Figure 2: Annual UAS Sales for Agriculture, Public Safety, and Other Markets

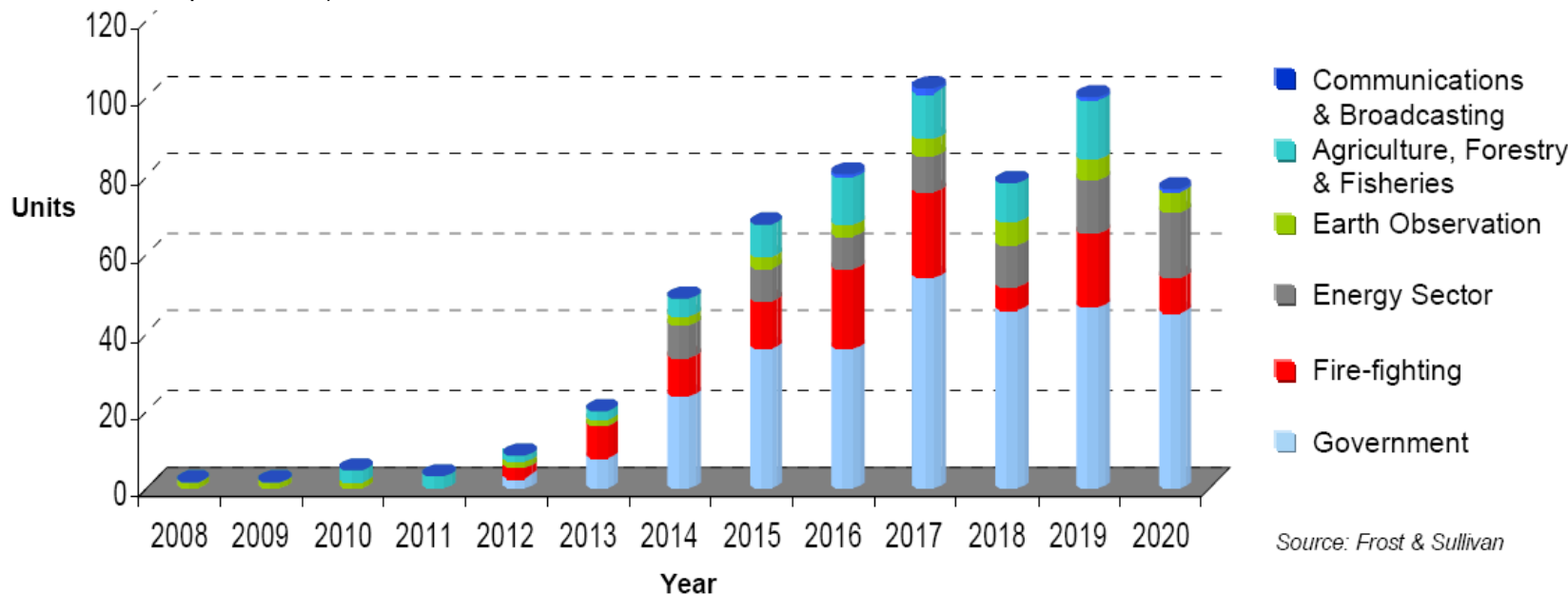


Kormányzati és polgári költségvetés világszerte: 89.1 Milliárd USD (28.5 M USD kutatásra és 60.6 M USD beszerzésre) a következő évtizedben (Teal Group). A fejlődést erősen befolyásolja a törvényi szabályozás állapota, de legfeljebb elodázni tudja a robbanásszerű fejlődést.

Mezőgazdaság a legnagyobb potenciál . Azonban itt kevésbé garantálható a magasan képzett üzemeltető személyzet.

AUVSI Economic Report (2013)
(A Japán rizsföldek 90%-át már most is UAV-k permetezik)

European Civil and Commercial UAV Market.
Total Market by Vertical Segment, 2008-2020

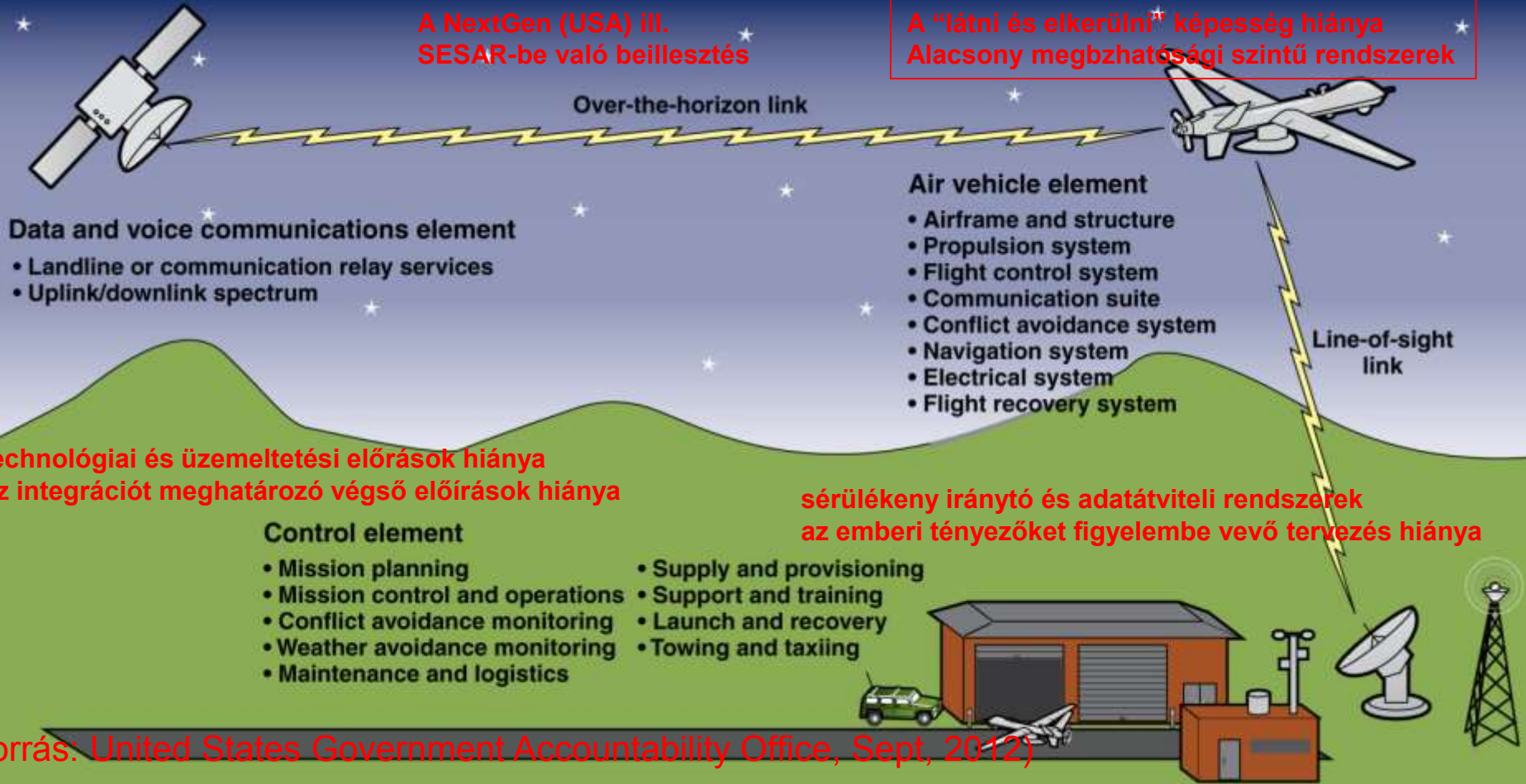


Source: Frost & Sullivan

Kihívások

A NextGen (USA) ill.
SESAR-be való beillesztés

A "látni és elkerülni" képesség hiánya
Alacsony megbízhatósági szintű rendszerek



Gaps in technology or procedures (SESAR JU)

- Detect & Avoid
- Human factors
- C2 (Command & Control)
- Contingency – e.g loss of link, ...
- Security
- SESAR compliance

- SESAR 2020: RPAS Definition Phase (EUROCONTROL)
- European Commission: *Light Remotely Piloted Aircraft Systems*
EC (Vice-President Siim Kallas, Brussels, 8 April 2014):
 - Strict EU rules wide on safety authorisations.
 - Tough controls to ensure security, privacy, data protection.
 - And a clear framework on liability and insurance.(machines under human control, not completely automatic.)
- The civil drones industry has strong potential for growth. On some estimates in the next 10 years it could be worth 10% of the aviation market. That's 15 billion Euros per year.
- At the moment the US is the world leader in operating military drones.
- But safety, security and privacy come first. So this technology can only advance in a well regulated EU marketplace.

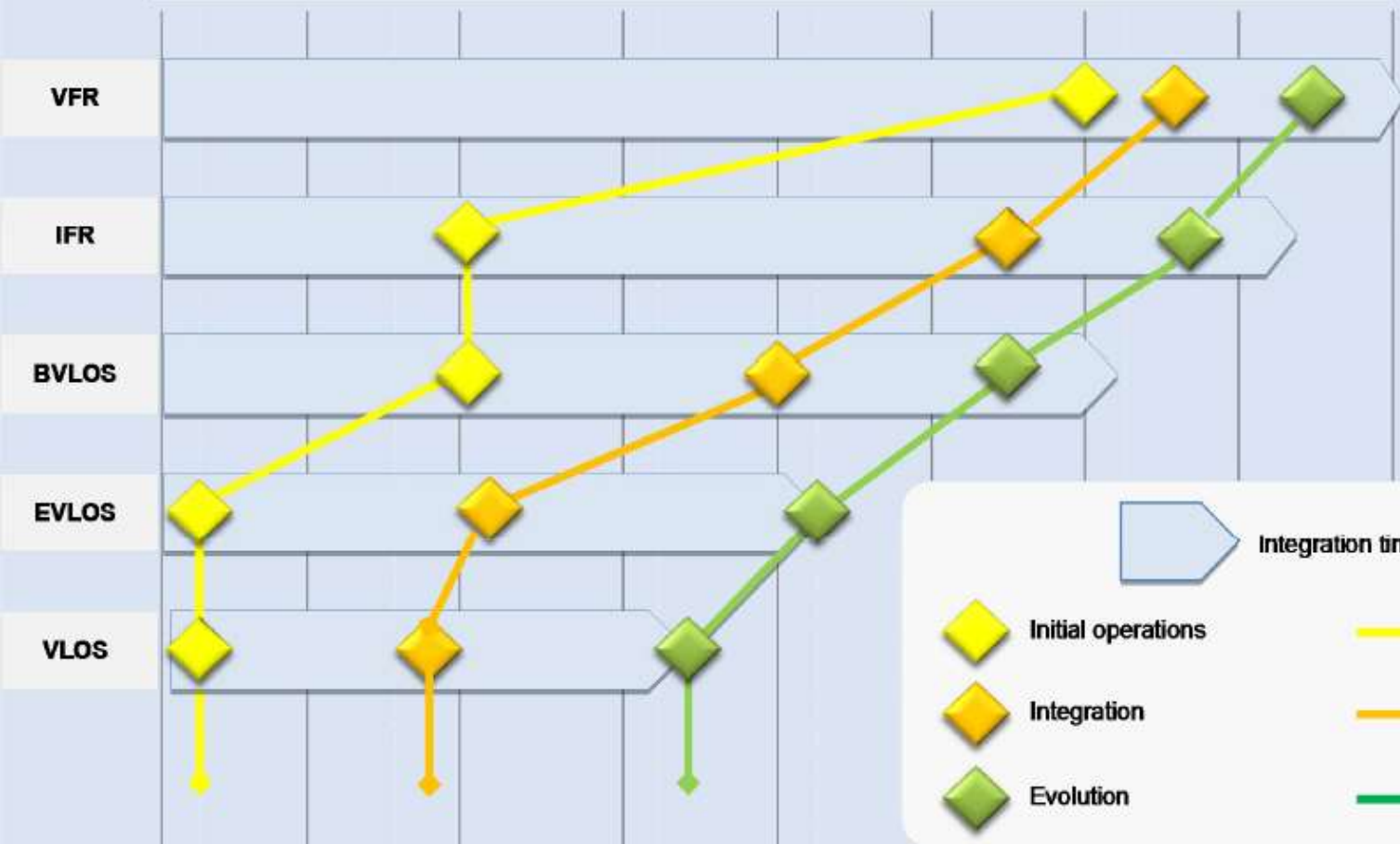
A teljes integrációt még csak távlati célul tűzték ki, főleg az 1-2 éves részfeladatokra koncentrálnak


A kihívások kutatói szemmel

- Nagy megbízhatóság
 - Hibatűrő rendszertervezési módszerek
 - Okos egységek (hibadiagnosztika)
 - Átkonfigurálható irányítás
- Olcsó, megbízható navigáció
 - GPS kritikussága
- Látni és elkerülni rendszer
 - Nem kooperatív megoldások
- Robosztus adatkapcsolat és földi egység a tudatosság növelésére
 - Autonómia foka
- Fejlett szimulációs rendszerek
 - Modell alapú tervezési módszerek
 - Tesztelés
 - Tanusítás

EUROPEAN RPAS R&D ROADMAP TIMELINE

2013				2014				2015				2016				2017				2018				2023				2028			
Q1	Q2	Q3	Q4	Q1	Q2	Q3	Q4	Q1	Q2	Q3	Q4	Q1	Q2	Q3	Q4	Q1	Q2	Q3	Q4	Q1	Q2	Q3	Q4	Q1	Q2	Q3	Q4	Q1	Q2	Q3	Q4

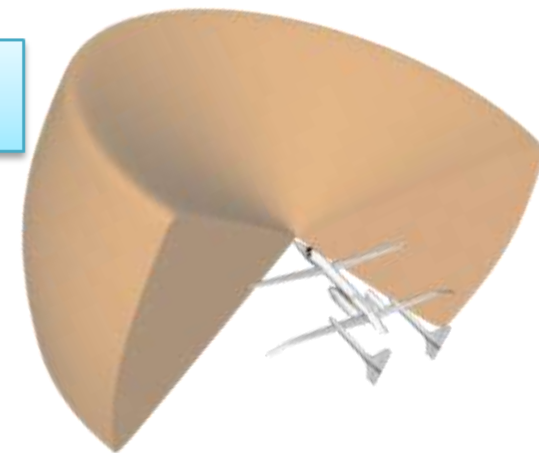
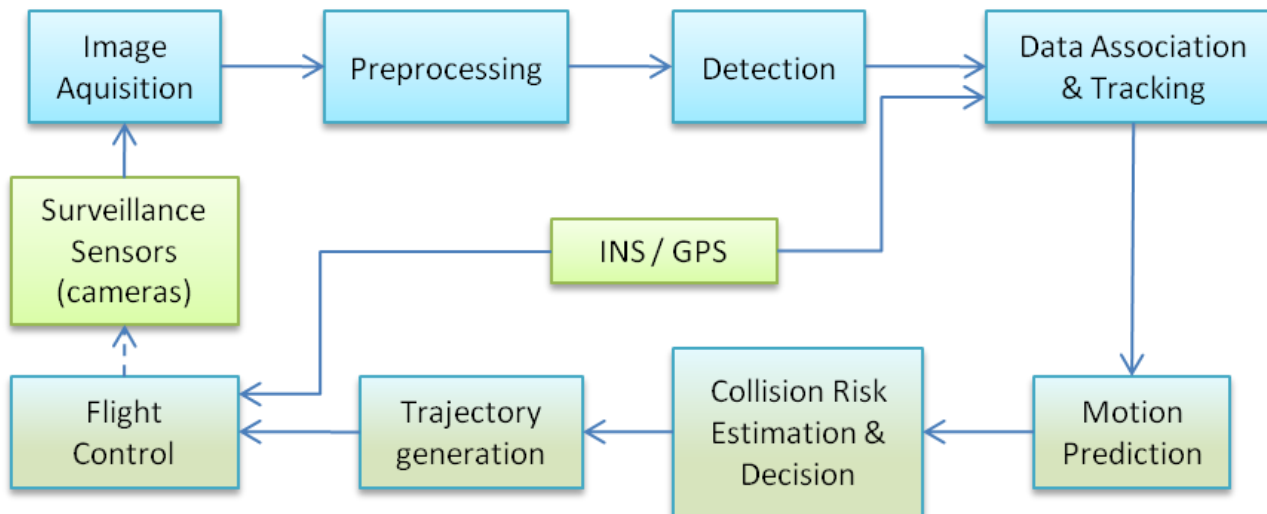


-  Integration timeline
-  Initial operations
-  Integration
-  Evolution
-  Critical path initial operations
-  Critical path integration
-  Critical path evolution

Látni és elkerülni rendszer

- Demonstrate the feasibility of a purely vision based SAA system
 - Low power consumption
 - High resolution imagery
 - Applicable for mini and tactical UAS
 - Along the guidelines of certification
- Restricted intruder flight envelope (speed & trajectory)
- Hosted onboard a reliable UAS platform
- 220 deg FOV horizontal
- +/-15 deg vertical
- +5 Mpixel resolution
- Detect manned planes from at least 2-3 km
- Standard set of INS/GPS sensors
- In-house Flight Control Architecture
- Custom designed test platform
- Validation flights with





• Sensing Technology

- Radars not applicable for small UAV
- Image processing with low power consumption
- Megapixel resolution cameras for large FOV

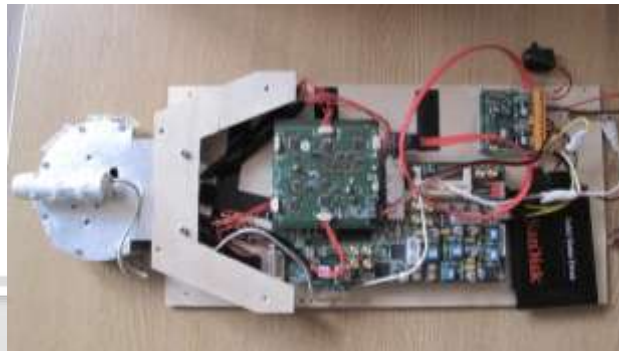
• Estimation and Control

- Low observability process
- Guaranteed estimation precision
- Trajectory generation for enhanced estimation

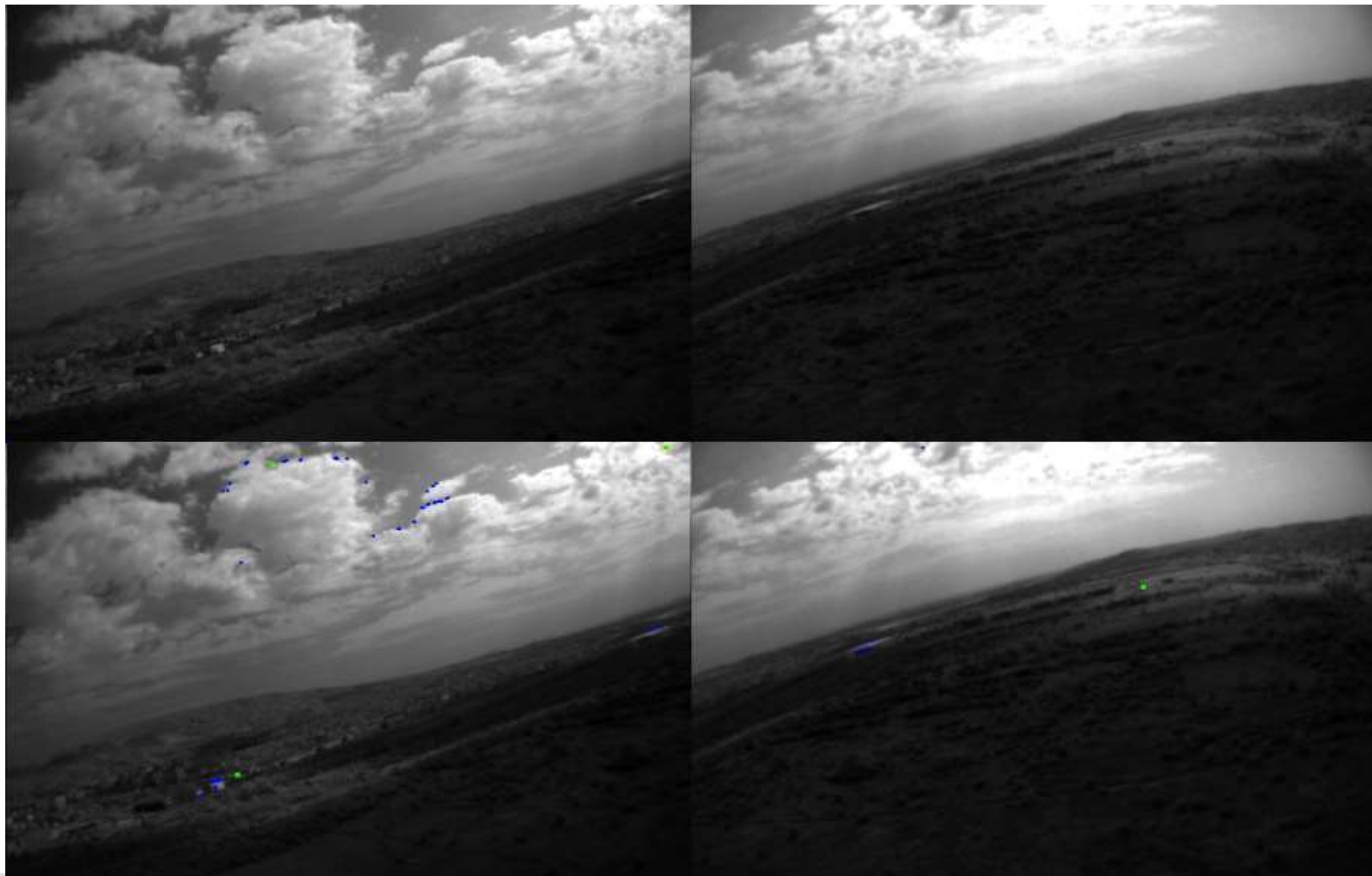
Synergy between low consumption many core computing units and advanced algorithms



3. Serial camera interface compatible with a series of FPGA boards



Légi felvételek



Ütközés detektálás



Ütközés detektálás



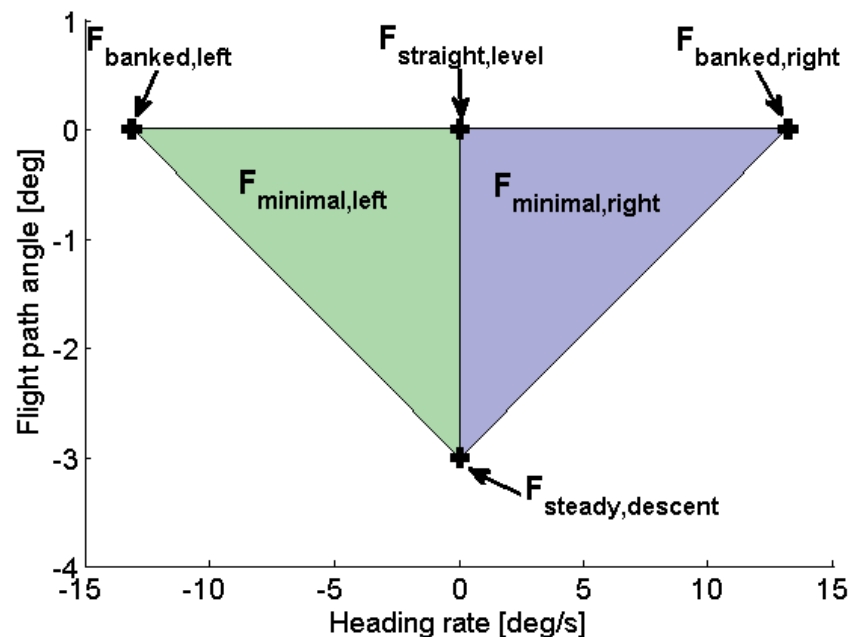
UAV-k megbízhatósága

Az MQ-9 Reaper 15m USD és mégis meghibásodik: F15: 1.47, F-16: 1.96, MQ-1: 13.7, MQ-9: 3.17, B737: 0.009, A320: 0.008 (100.000 repült óra)



5 éven belül 7500 25 kg alatti UAV az USA-ban

- Megbízhatóság becslése kiterjedt repülési tesztek nélkül
- Cél: katasztrofális meghibásodás valószínűségének meghatározása
 - Definíció: a repülőgép nem képes elérni a leszállóhelyet
 - Követelmények
 - Vízszintes, egyenes repülés
 - Jobb vagy bal forduló (áll. mag.)
 - Egyenletes süllyedés
 - Minimális régió ($\gamma - \psi$ sík)
- Meghibásodás okai
 - Motor hibát nem vesszük figyelembe
 - Szervo hibák: jamming / runaway



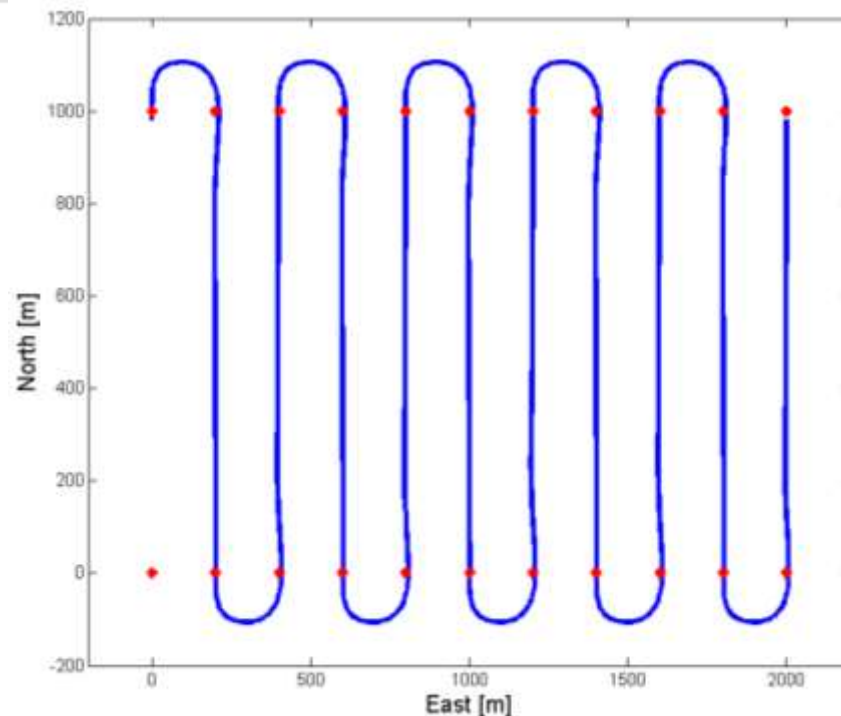
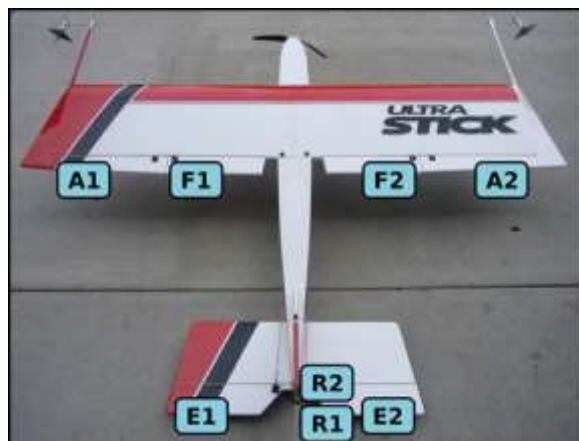
- **Feltevés**
 - Hibadetektáló algoritmus (FDI) használata
 - Detektálási idő, missed detection és false alarm elhanyagolása
 - Rekonfigurálható szabályozási törvények használata
 - Repülőgép stabilizálható, ha trimmelhető
 - Ha létezik trim pont → elérhető bármilyen kezdeti feltételből
 - Egyszeres hibák
 - Többszörös hibák valószínűsége elhanyagolható
- **Követelmények**
 - Megfelelő pontosságú aerodinamikai modell
 - Szervo megbízhatósága
 - MTBF – Mean Time Between Failure

- A módszer lépései
 - Szárnyfelület-kitérítések sűrűségfüggvényei
 - Flight envelope-ok felderítése \longleftrightarrow minimális régió
 - Tolerálható hibák meghatározása
 - Meghibásodási valószínűség számítása
 - $P(\text{szárnyfelület a tartományon kívül van}) \cdot P(\text{szervo hiba})$
 - Összegezve az összes felületre
- FASER UAV
 - University of Minnesota, Aerospace Engineering and Mechanics
 - Ultra Stick 120 airframe
 - Szimulációs környezet
 - Aerodinamikai paraméterek: NASA Langley Research Center (szélcsatornás mérések)

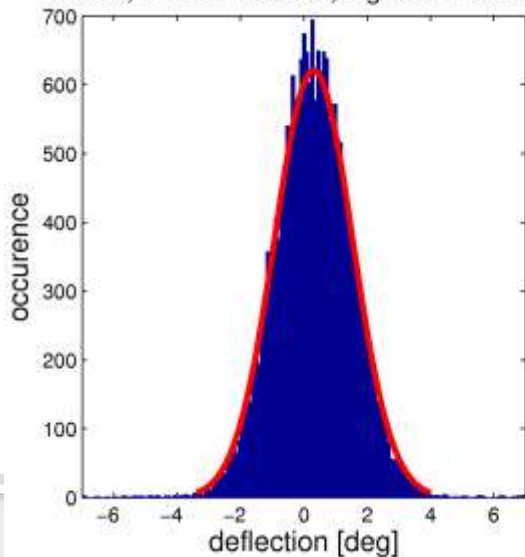
- Szárnyfelület-kitérítések sűrűségfüggvényei
 - P (szárnyfelület egy tartományon kívül van)
 - Szabályozási algoritmus nagyban befolyásolja
 - Meghatározása
 - Mérésekből
 - Szimulált adatokból
 - Becsülhető valamilyen standard sűrűségfüggvénnyel (trim érték és szórás)
 - Küldetés szakaszokra bontható (emelkedés, süllyedés, egyenes repülés, forduló)
 - Szakaszok sűrűségfüggvényei külön-külön meghatározhatóak

FASER, SIL szimuláció

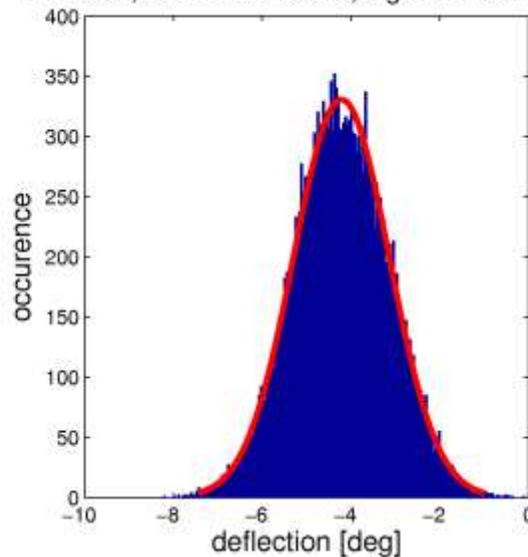
- Repülőgép útvonal



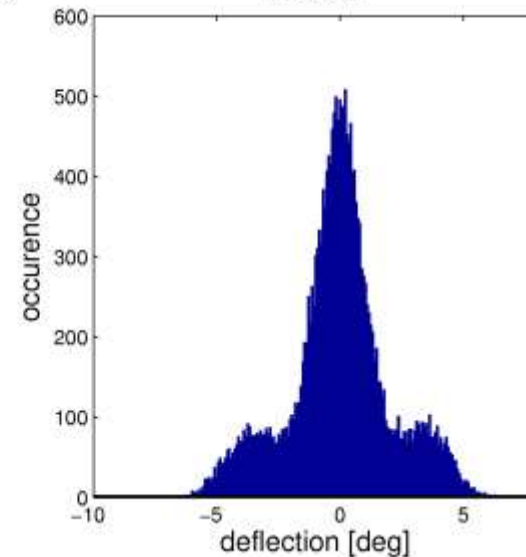
Aileron, $\mu = 0.305535$, $\sigma = 1.229976$



Elevator, $\mu = -4.216014$, $\sigma = 1.075596$



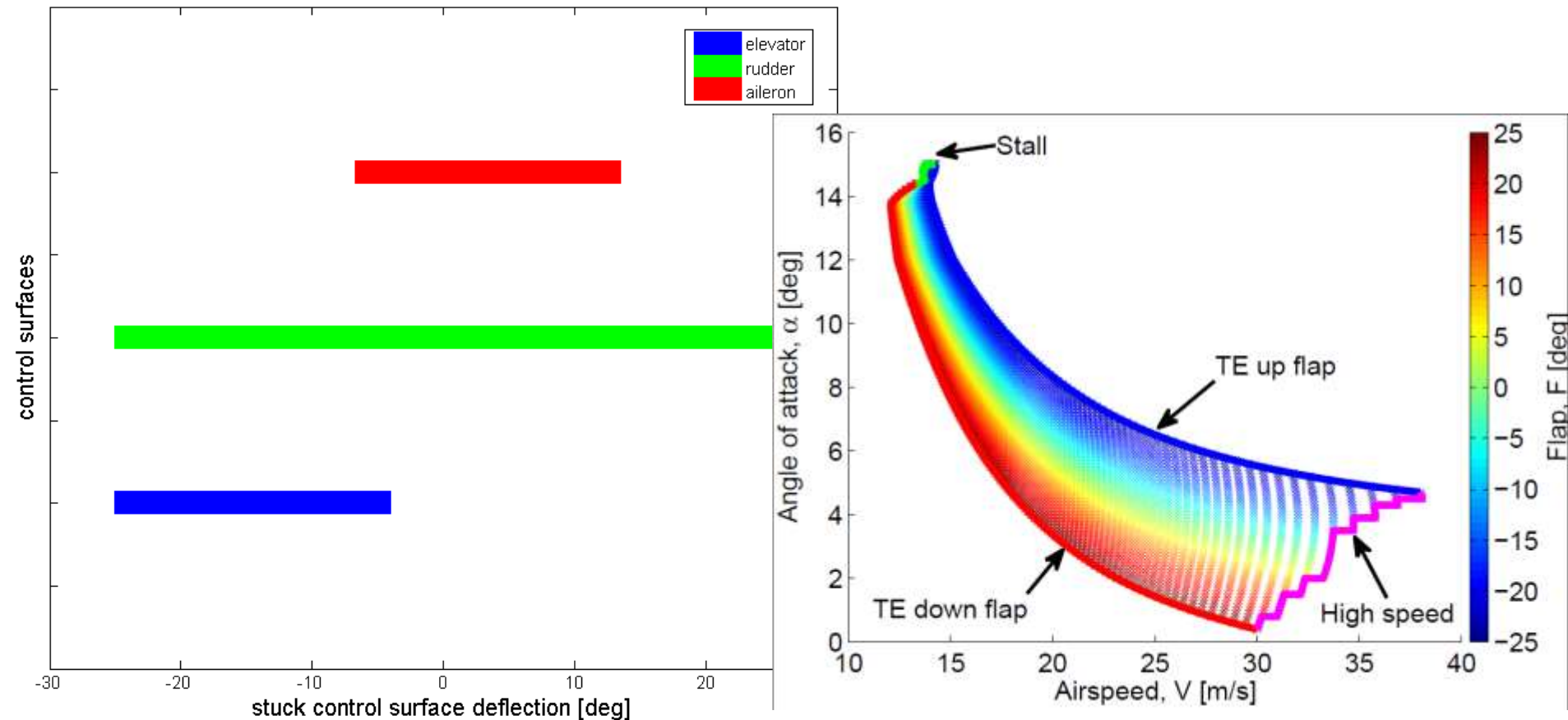
Rudder



- Milyen régiókban létezik trim helyzet?
 - Rácspontok definiálása az envelope-ban
 - Numerikus keresés minden pontban
 - Egy megoldás megtalálása elégséges
- Tolerálható-e egy szárnyfelület beragadása egy adott helyzetben?
 - $\gamma - \psi$ envelope felderítése
 - Trimmelhető régió tartalmazza a minimális régiót \rightarrow hiba tolerálható
- Eredmény
 - Tolerálható beragadás-tartományok minden szárnyfelületre

Repülési tartományok felderítése

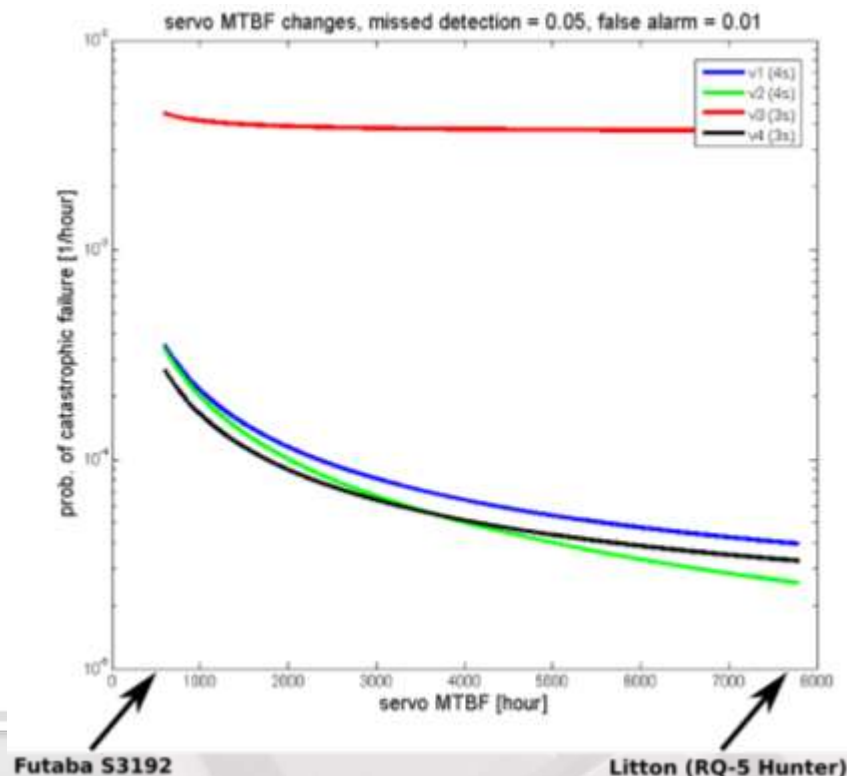
- FASER UAV, egy magassági és egy oldalkormány, csatolt csűrők (vízszintes repülés, $\gamma = 0$, β tetsz.)

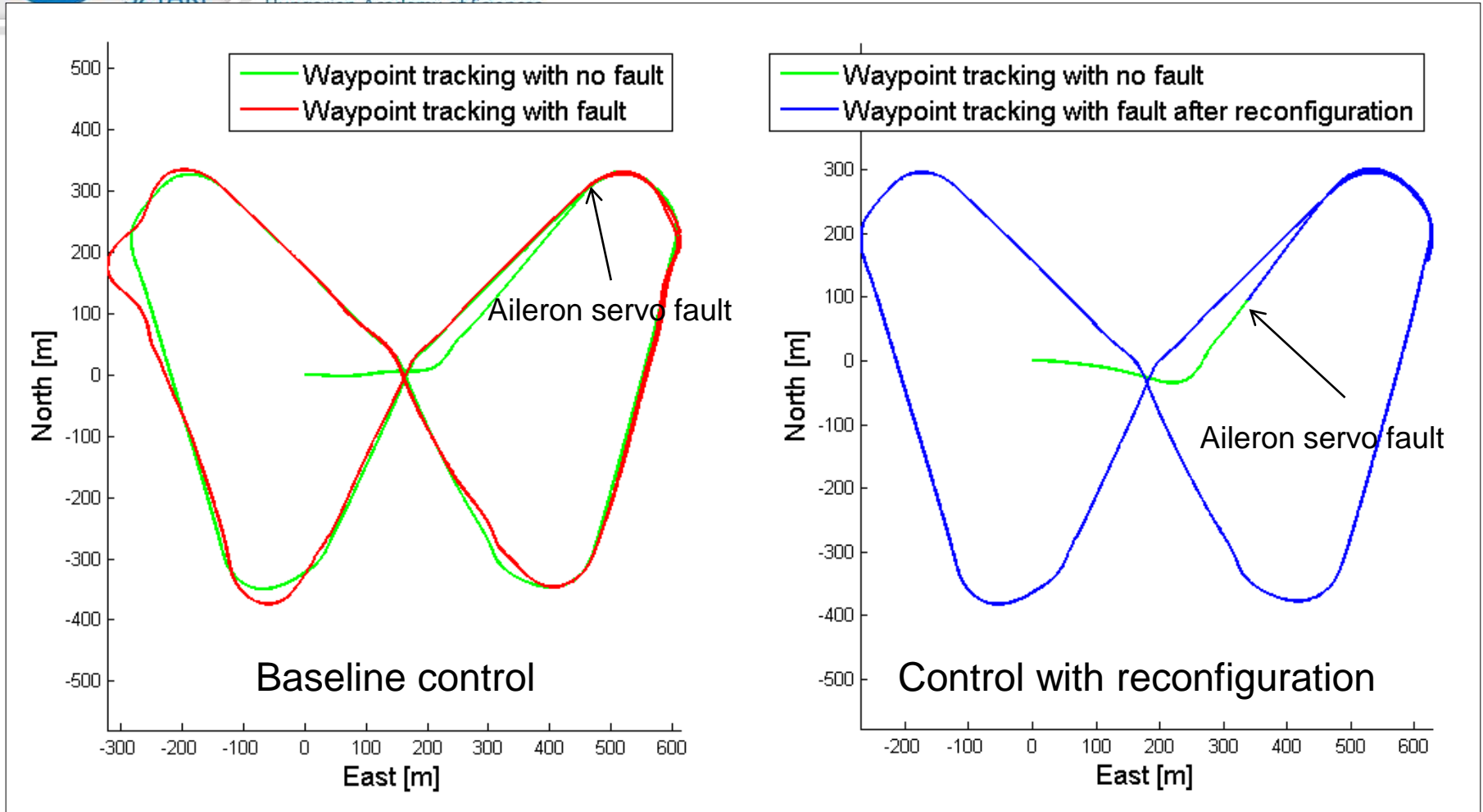


- Egy szárnyfelületre nézve
 - $P(\text{szervo hiba}) \cdot P(\text{szárnyfelület a tartományon kívül van}) =$
 $= \int_{-\infty}^l q p_i(\delta_i) d\delta_i + \int_u^{+\infty} q p_i(\delta_i) d\delta_i = q(1 - \int_l^u p_i(\delta_i) d\delta_i)$
 - δ_i : i . szárnyfelület kitérítése
 - $[l \ u]$: tolerálható hibatartomány δ_i -ben
 - $p_i(\delta_i)$: i . szárnyfelület sűrűségfüggvénye
 - q : szervo meghibásodási valószínűség ($1 / \text{MTBF}$)
- Összegzés minden szárnyfelületre

Különböző aktuátor konfigurációk a FASER-en

- v1: egy magassági és egy oldalkormány, független csűrők (4 szervo)
- v2: két magassági és egy oldalkormány, csatolt csűrők (4 szervo)
- v3: egy magassági és egy oldalkormány, csatolt csűrők (3 szervo)
- v4: egy magassági kormány, független csűrők (3 szervo)

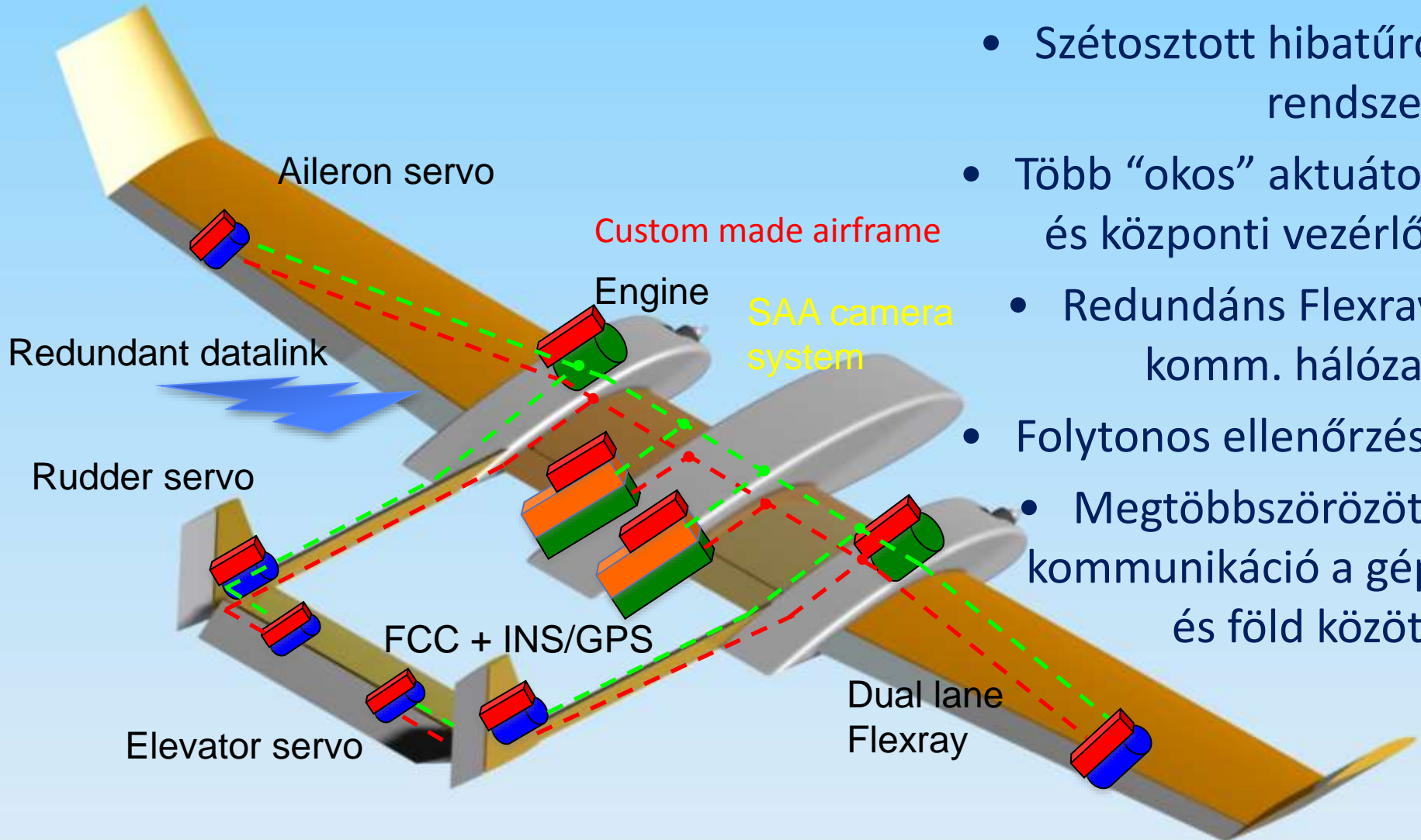




Megbízhatóság növekedés pusztán intelligencia által

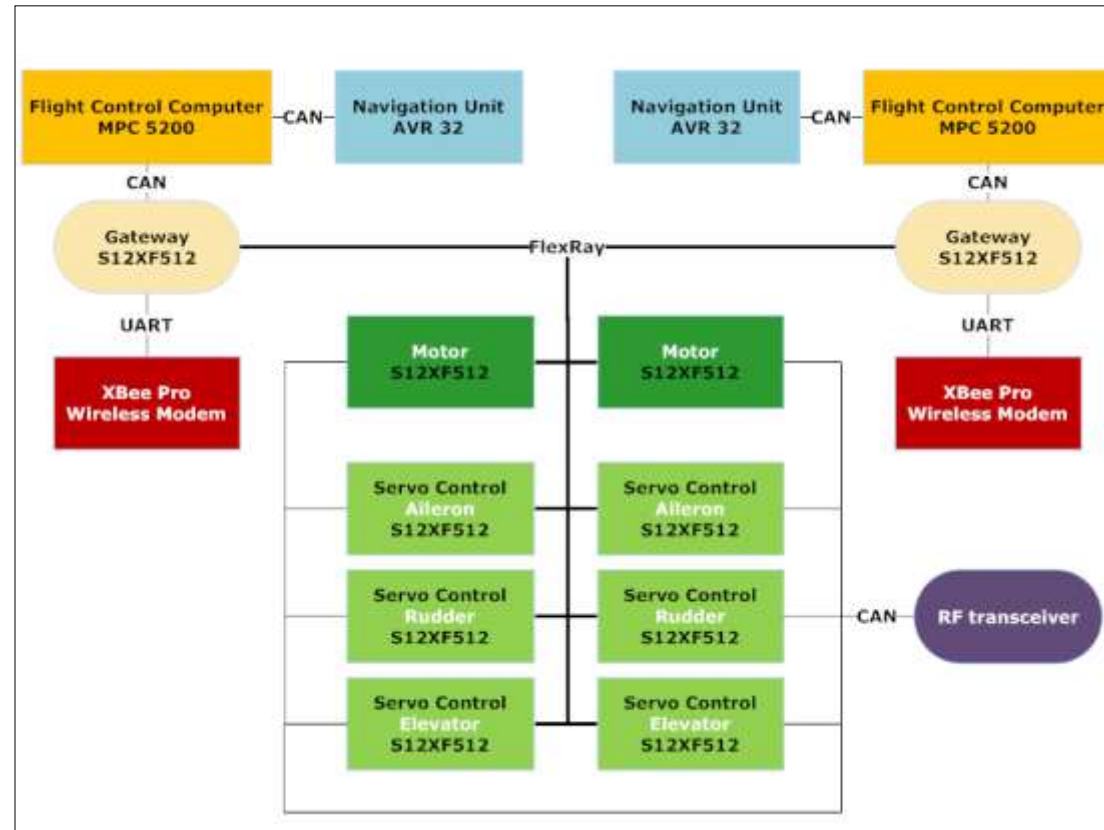
Biztonságkritikus UAS Avionika

A légtérbe való integráció elengedhetetlen része a megbízható Rendszer, amely garantálhatóan viselkedik.

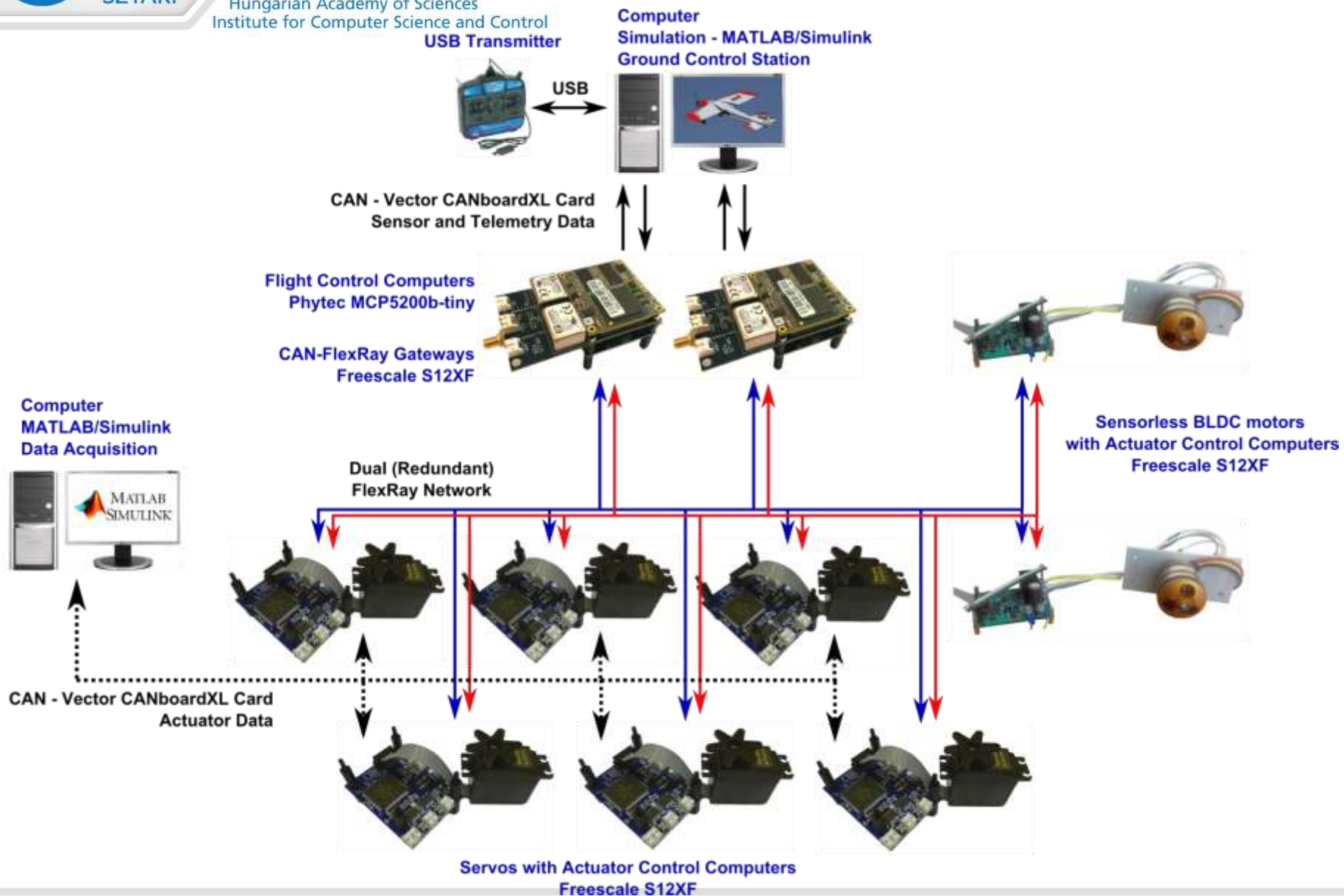


- Szétosztott hibatűrő rendszer
- Több “okos” aktuátor és központi vezérlő.
- Redundáns Flexray komm. hálózat
- Folytonos ellenőrzés.
- Megtöbbszörözött kommunikáció a gép és föld között

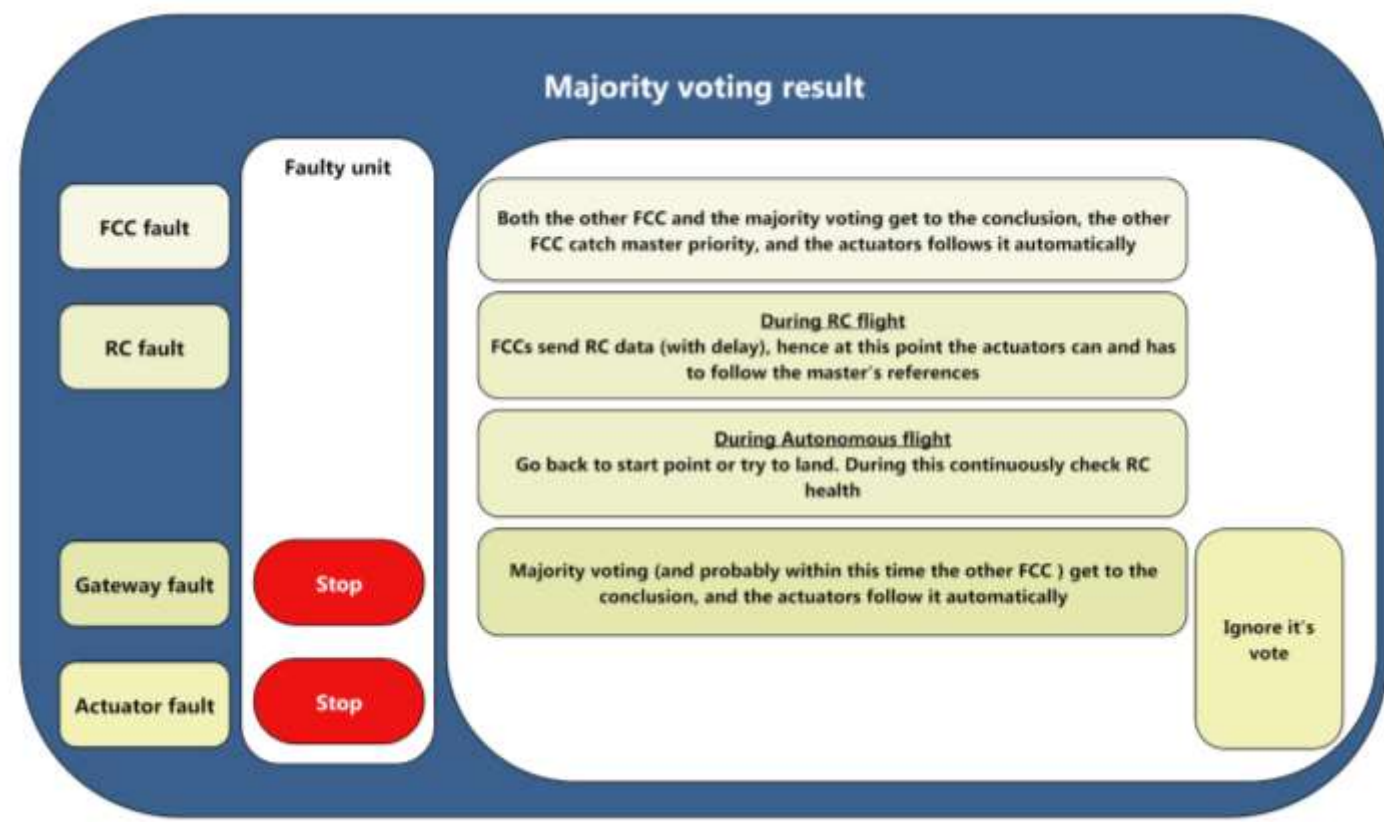
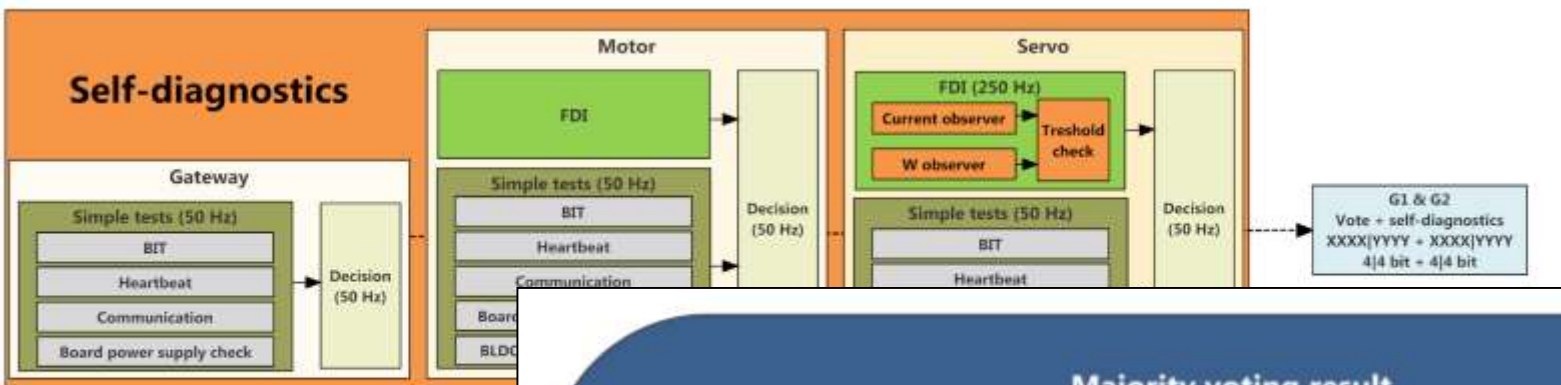
- FTA és FMEA alapú
 - Független elektromos rendszerek
 - Független kézi irányítás
 - Hardver és Analitikus redundancia
- FCC szoftver
 - Embedded Real-Time Linux
 - hordozható
 - kész driverek
 - Közösségi támogatás
 - POSIX szálak (8 párhuzamos)
 - CAN kommunikáció és adatmentés
 - Becslés és szabályozás
 - Útvonal management
 - Beépített öntesztelés és kereszt diagnosztika
 - Szál biztos adat struktúrák



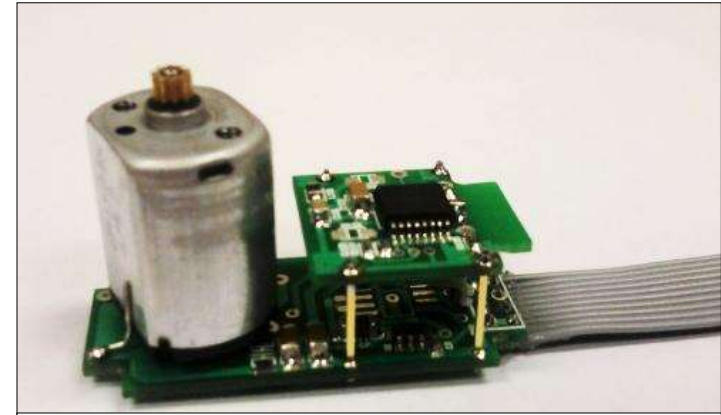
Hungarian Academy of Sciences
Institute for Computer Science and Control



FTA és FMEA
alapú vizsgálat
Model alapú
hibadiagnosztika

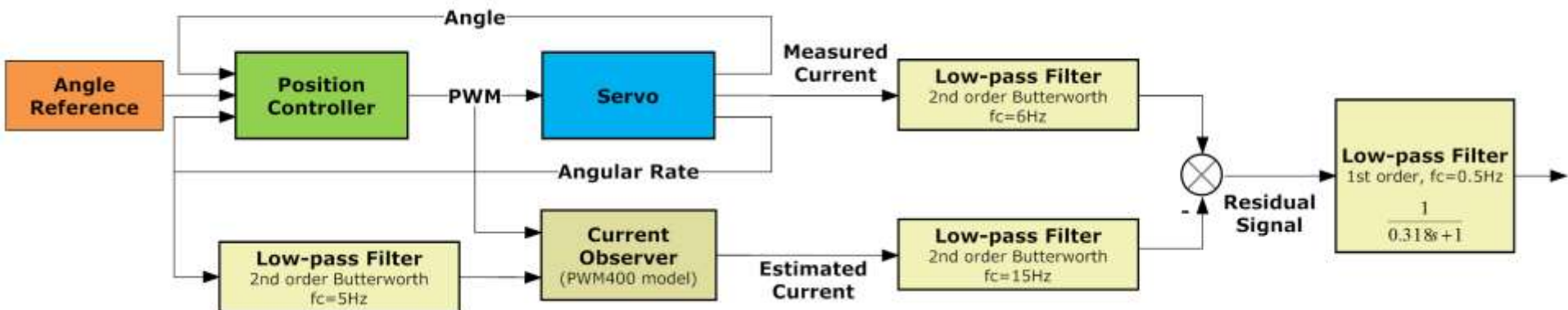


- Szervó
 - Futaba mechanika
 - Átalaktott vezérlő elektronika
 - Mágneses pozíció szenzor (SPI)
 - Kétirányú kommunikáció
 - Öntesztelés/Hibadiagnosztika
 - Átalakított teljesítmény elektronika
- Aktuátor Vezérlő számítógép
 - Freescale S12XF512 (16 bit)
 - PWM, SPI, DIR
 - FlexRay, CAN
 - Teljestmény management, szavazó logika
 - Azonos a szervó és motor esetén

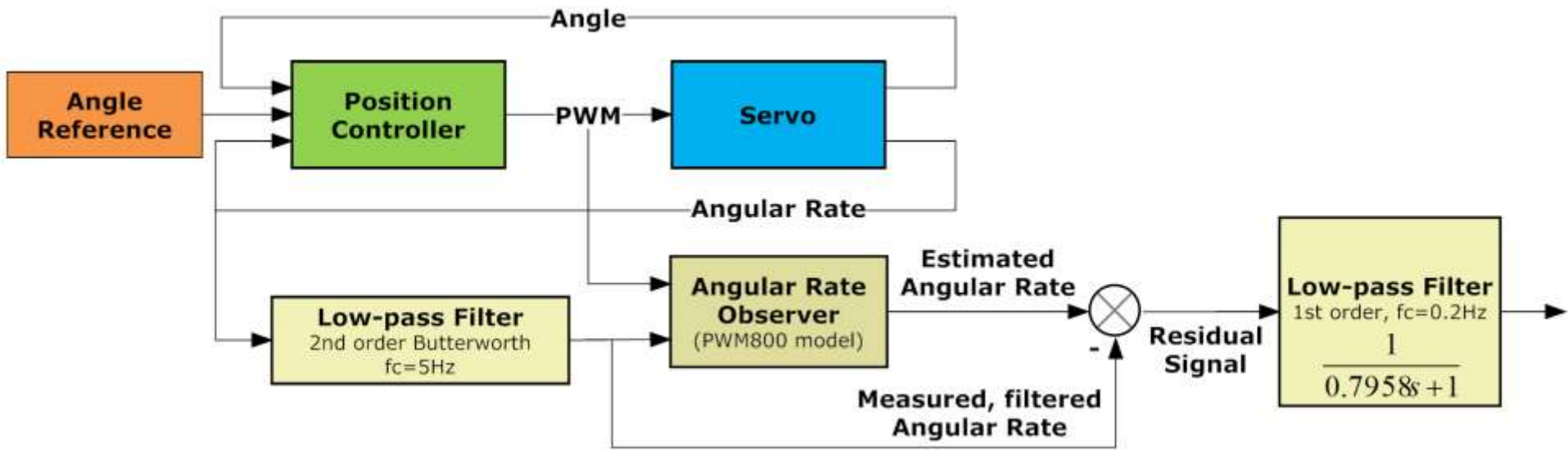


- Motor
 - Hacker mechanika
 - Saját teljesítmény elektronika
 - Mező-orientált szabályozás
 - Saját hibadiagnosztika

Áram- és szögsebesség megfigyelő



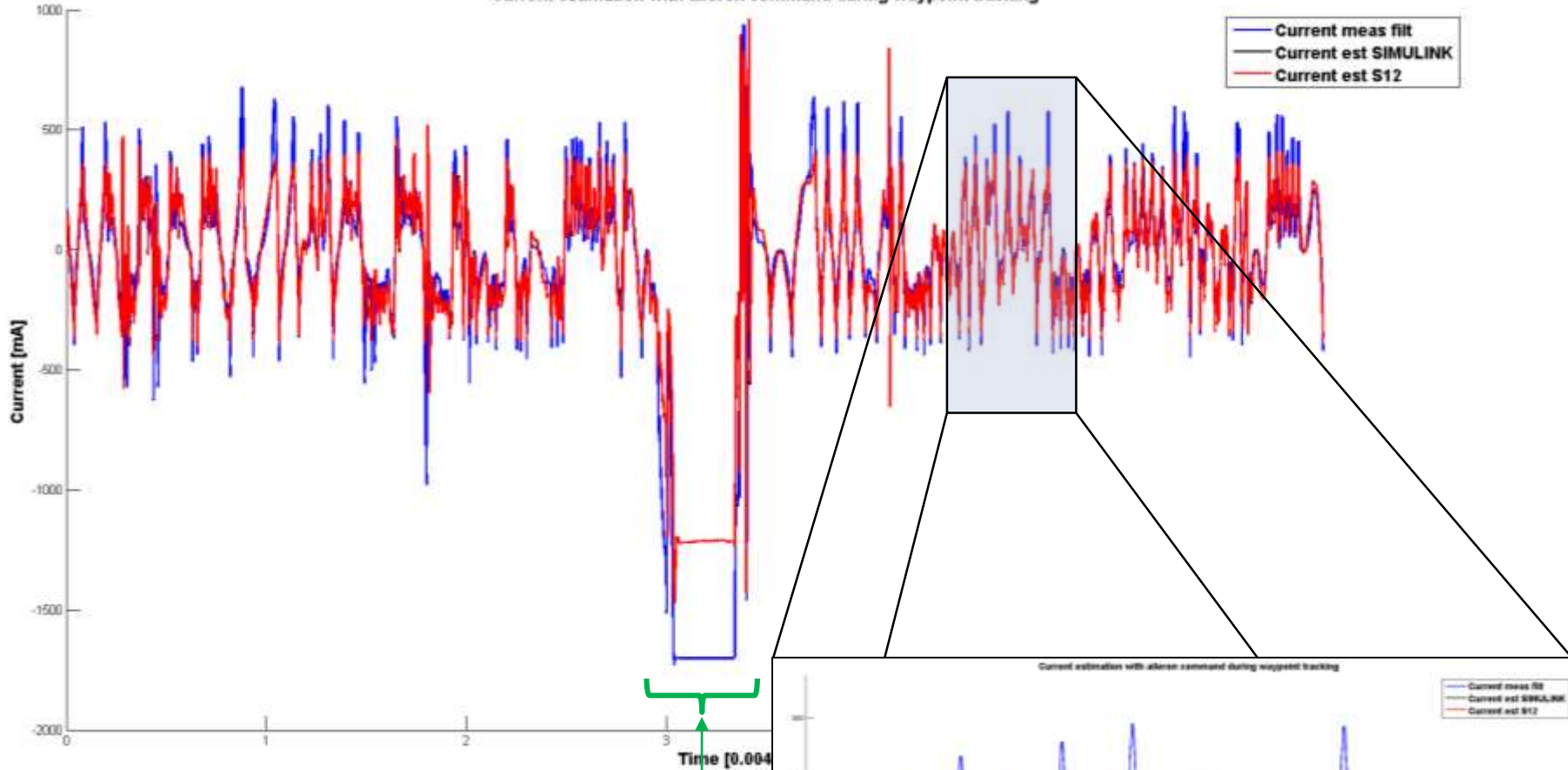
Áram megfigyelő



Szögsebesség megfigyelő

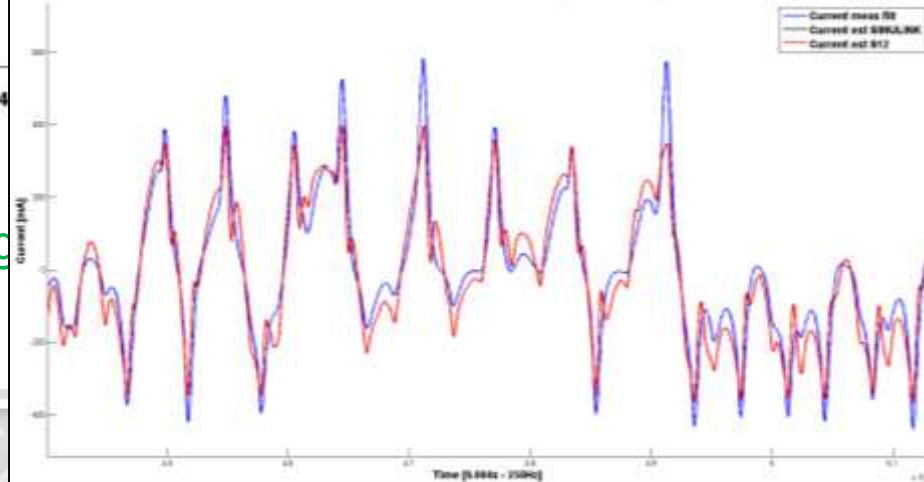
Áram megfigyelő alapú hibadetektálás

Current estimation with aileron command during waypoint tracking



Hardveres (HIL)
szimuláció

Current estimation with aileron command during waypoint tracking



Köszönöm a figyelmet!





MTA
SZTAKI

Hungarian Academy of Sciences
Institute for Computer Science and Control

