

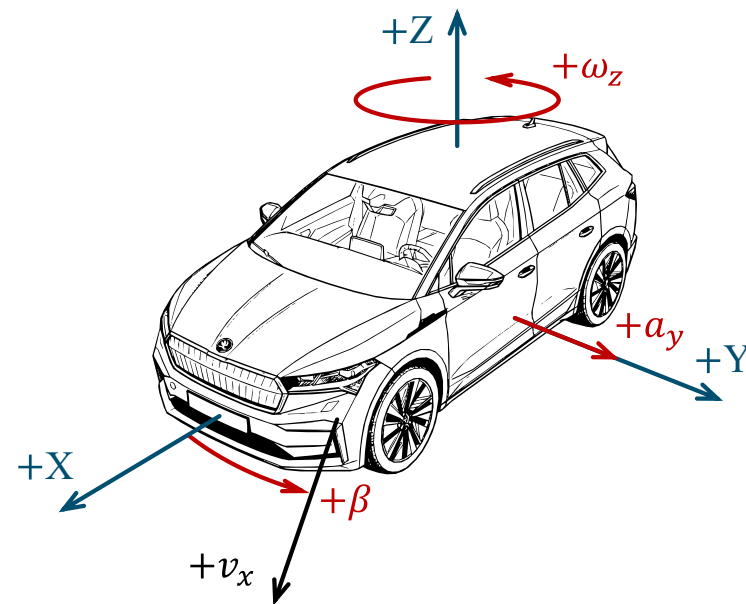
HYBRIDNÍ ODHAD STAVU VOZIDLA V PROSTŘEDÍ MATLAB A SIMULINK

Ústav automobilního a dopravního inženýrství

Fakulta strojního inženýrství

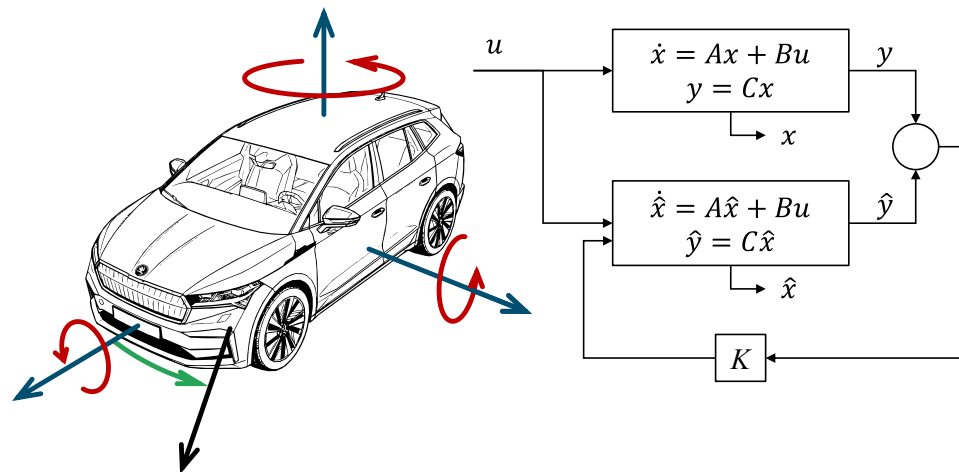
Vysoké učení technické v Brně

- Parametr β proč je důležitý?
 - Indikuje příčnou stabilitu vozidla
 - Chování pneumatik
 - Indikuje blížící se stav ztráty adheze
- Proč ho neměříme přímo?
 - Přímé měření vyžaduje přesné a drahé senzory
 - Pro sériovou aplikaci nerentabilní
- Proč nestačí jeden přístup?
 - Fyzikální model je rychlý a snadno interpretovatelný, trpí ale nesouladem s reálným modelem
 - ANN se snadno učí nelinearity, ale není schopno spolehlivě extrapolovat
- Jak využít fyziku i data tak, aby se vzájemně doplňovaly?



STATE OBSERVER

- Kalmanův filtr
- Proč samotný fyzikální model nemusí být dostatečný
- Řešení na problém



DVĚ CESTY K ODHADU: MODEL X DATA

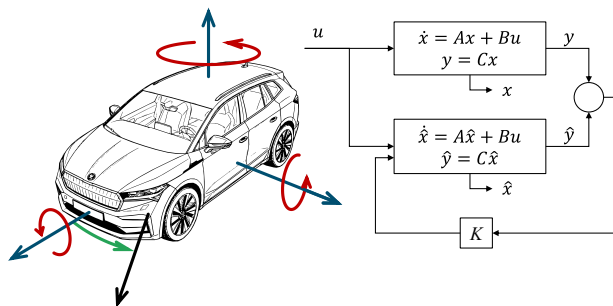
Model-based observer

- Respektuje fyzikální závislosti
- Nízká výpočetní náročnost
- Interpretovatelnost
- Stabilní chování v pracovním rozsahu

Data-driven observer

- Učí se z měřených dat
- Snadno zachytí nelinearity modelu
- Závislost na reprezentativnosti učícího datasetu

Hybridní observer



OVĚŘENÍ NA EXPERIMENTU: REÁLNÉ VOZIDLO + MĚŘENÍ

- Měřené signály

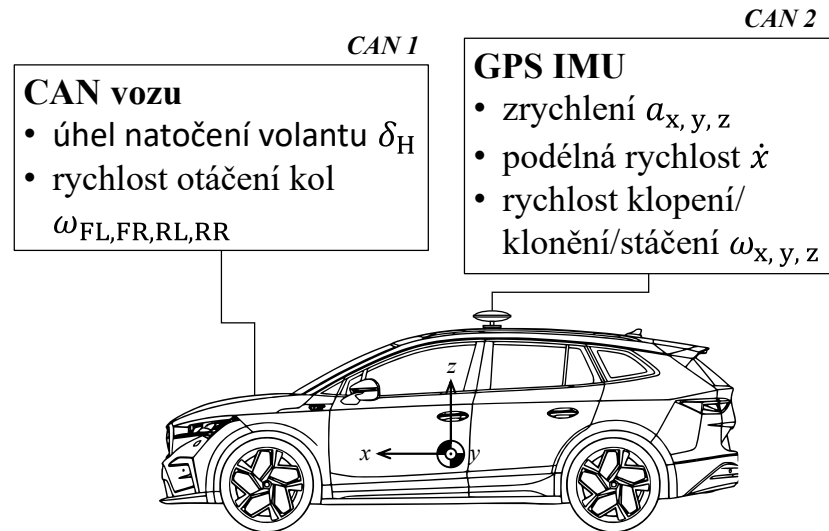
- $u_{obs} = [\delta_H, \dot{x}, a_x, a_y, a_z, \omega_x, \omega_y, \omega_z, \omega_{fl}, \omega_{fr}, \omega_{rl}, \omega_{rr}]^T$

- Referenční hodnota β

- Vysoce přesná IMU: ADMA-G-Pro+
 - Slouží jako „*ground truth*“ pro vývoj a validaci observeru

- Zpracování signálu

- Záznam 100 Hz
 - LP Butterworth 5 Hz
 - Resampling 10 Hz



FYZIKÁLNÍ ZÁKLAD: JEDNOSTOPÝ MODEL V SIMULINKU

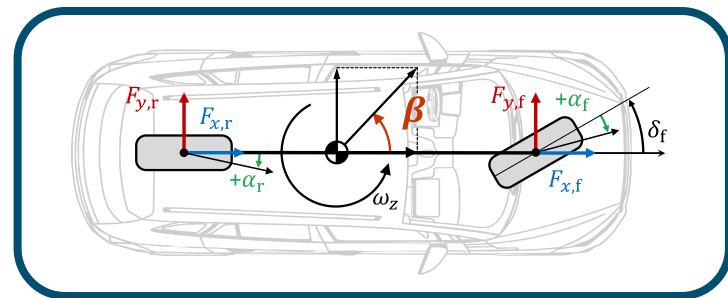
- Fyzikální model
 - Kalmanův filtr
- Vstupní veličiny
 $u = [\delta_H]$
- Měřitelné výstupy
 $y = [a_y, \omega_z]^T$
- Stavový vektor
 $x = [\dot{y}, \omega_z]^T$

$$\beta = \text{atan} \frac{\dot{y}}{\dot{x}}$$

PLANT



MODEL



- Model based
- Blackbox
- Physics-informed
- Physics-infused
- Hybrid
- Hlavní poznatek:

Nejlepší řešení nevzniklo přidáním dalších neuronů, ale správným rozdělením rolí mezi fyzikálním modelem a ANN

WORKFLOW V PROSTŘEDÍ MATLAB/SIMULINK

Preprocessing

- Filtrace
- Synchronizace
- Normalizace dat
- *Signal processing toolbox*



Fyzikální model

- Redukovaný model
- *Vehicle dynamics blockset*



Machine Learning

- LSTM/GRU
- *DeepLearning Toolbox*



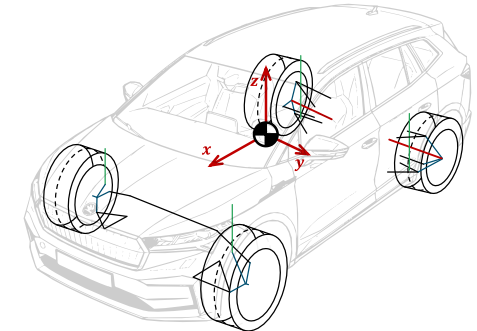
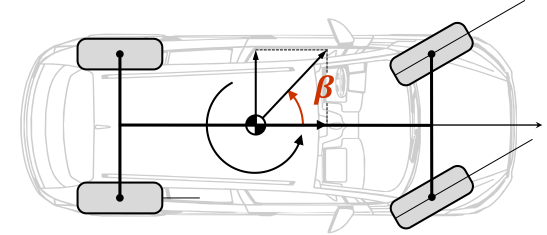
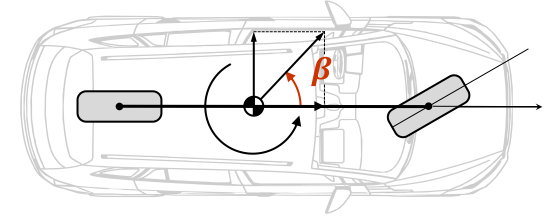
Validace

- RMSE
- Timeseries

- Model-Based design: fyzikální model zůstává explicitní a kontrolovatelný pro změnu parametrů

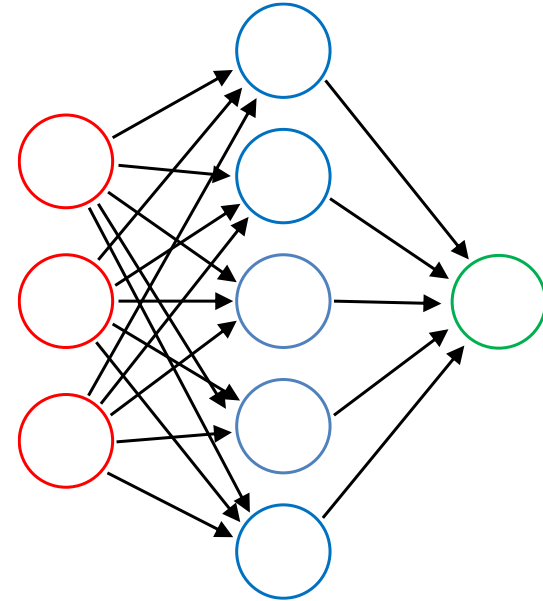
FYZIKÁLNÍ MODEL VOZIDLA V PROSTŘEDÍ SIMULINK

- Komplexita modelu
 - Jednostopý model
 - Dvoustopý model
 - Multibody model
- Výhody:
 - Exaktnost řešení
- Nevýhody:
 - Závislost na přesnosti parametrů modelu

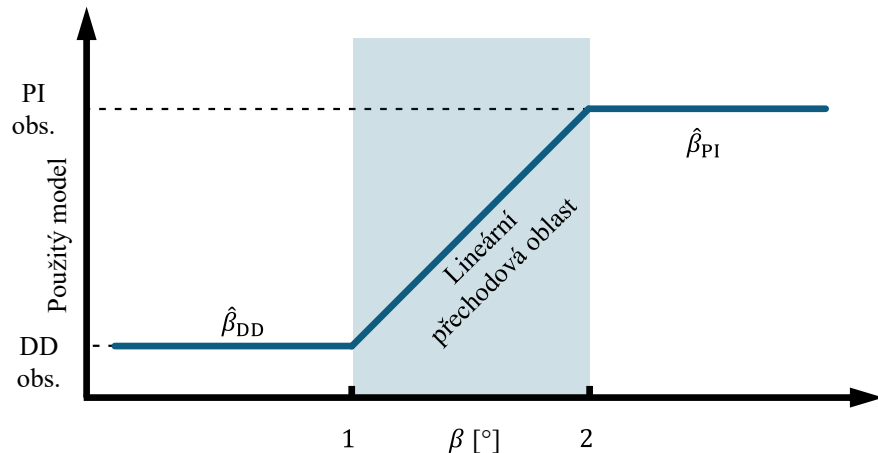


NEURONOVÁ SÍŤ – DEEPLARNING TOOLBOX

- Co se naučí z měřených dat
- Výhody/nevýhody oproti fyzikálnímu modelu
- Výhody:
 - Není zapotřebí fyzikální model
 - Nejsou vyžadovány parametry fyzikálního modelu
- Nevýhody:
 - Při změně parametrů nutné přeučení modelu
 - Špatná extrapolace dat mimo trénovací dataset



HYBRIDNÍ METODA VYUŽITÍ PŘÍSTUPŮ TAM, KDE FUNGUJÍ NEJLÉPE



$$|\hat{\beta}| \leq 1^\circ$$

Data-driven observer

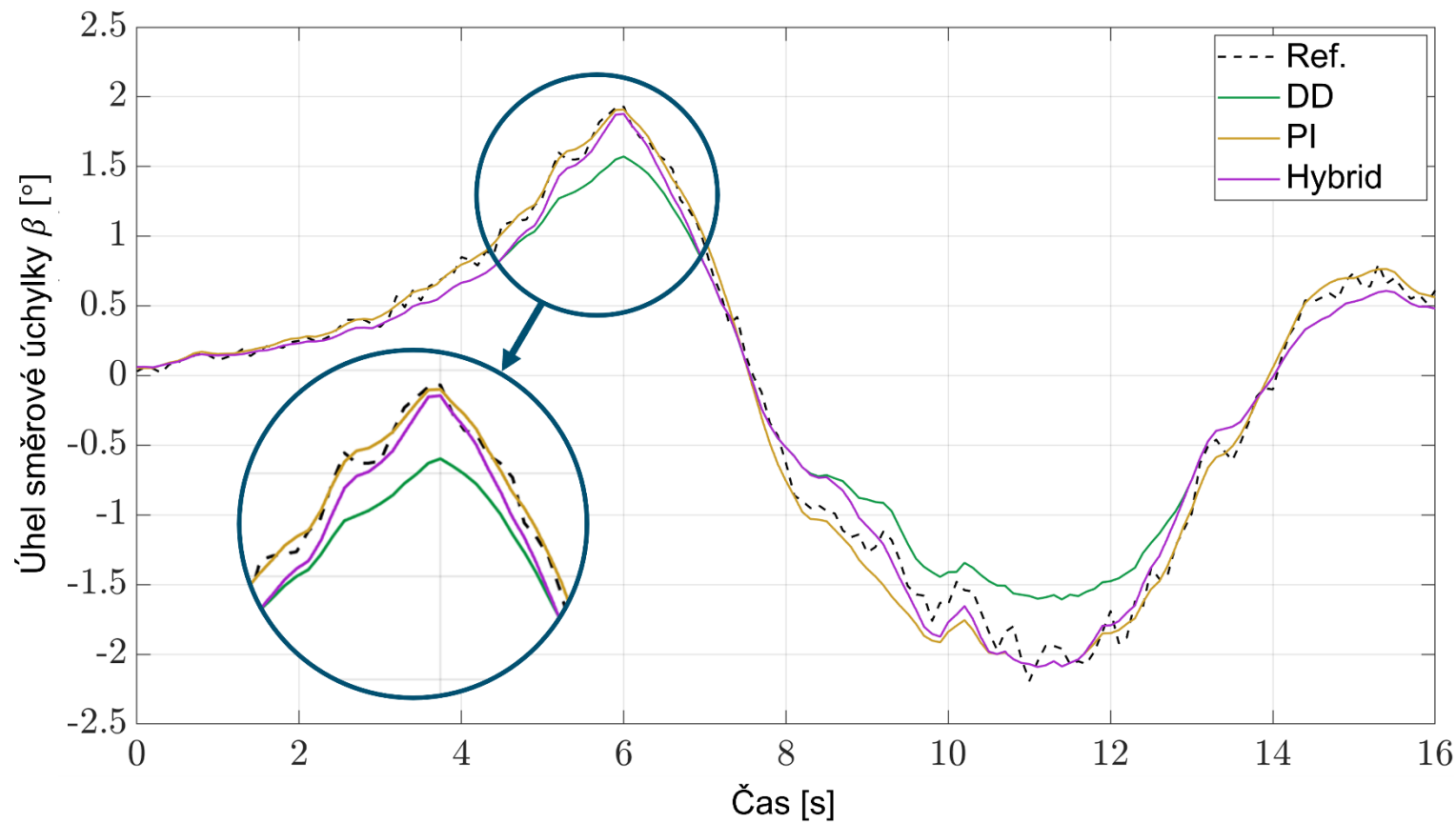
$$1^\circ < |\hat{\beta}| < 2^\circ$$

Vážený průměr

$$|\hat{\beta}| \geq 2^\circ$$

Physics-infused observer

VÝSLEDEK ODHADU



DĚKUJI ZA POZORNOST

Ústav automobilního a dopravního inženýrství
Fakulta strojního inženýrství
Vysoké učení technické v Brně

Ing. Martin Repka, Ph.D.
Odbor motorových vozidel
Výzkumný pracovník
Martin.Repka1@vutbr.cz

uadi.fme.vutbr.cz