A geodézia szerepe autonóm terepi jármű útvonaltervezésében

Hrutka Bence Péter

BME Építőmérnöki Kar 1782

Terepi útvonaltervezés

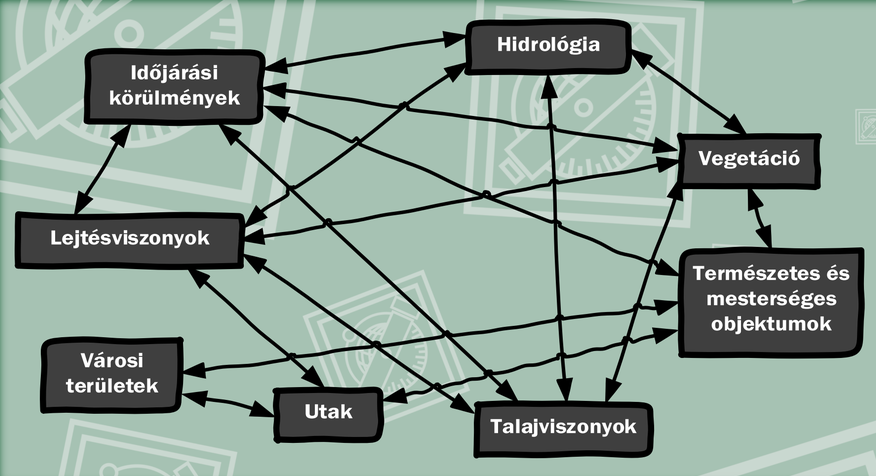
Az autonóm járművek fejlődése az elmúlt években elsősorban a közúti közlekedés optimalizálására irányult, különös tekintettel a biztonság növelésére, a forgalmi torlódások csökkentésére és a hatékonyság javítására. A HD térképek (High-Definition Maps) és különböző szenzorok – például szkennerek, radarok és kamerák – fúziójának köszönhetően ma már a szabályozott, épített környezetekben az autonóm közlekedés különböző szintjei valósulnak meg. Ugyanakkor az autonóm járművek alkalmazási lehetőségei messze túlmutatnak a közúti alkalmazásokon. Olyan terepi környezetekben, mint például mezőgazdasági területek, erdők, bányák, katasztrófa sújtotta zónák és katonai műveleti területek, egyre fontosabb szerepet kap az önvezetés és az ehhez kapcsolódó útvonaltervezés.

A hagyományosan, katonai értelemben vett off-road útvonaltervezés statikus megközelítést alkalmazott. Ennek eredményeként terepjárhatósági (Cross-Country Movement – CCM) térképeket állítottak elő, amelyeken a terepet a jármű és az időjárási körülmények alapján sorolták be járható (GO), korlátozásokkal járható (SLOW GO) és nem járható (NO GO) osztályokra. A végső döntéshozatal a terepen történt, és nagymértékben támaszkodott a vezető tapasztalataira.

Automatizált rendszerek esetén hasonló megközelítés alkalmazható; a küldetés előtt szükség van egy aktuális CCM elkészítésére, amihez elengedhetetlen a terep előzetes felmérése. A rendelkezésre álló pontfelhőt alkotó technikáknak köszönhetően ma már nagy területeket kellő részletességgel és hatékonysággal tudunk térképezni. A felmérések eredményeként előállított pontfelhőből különböző szegmentáló és osztályozó algoritmusokkal digitális terepmodellt (Digital Terrain Model - DTM), valamint normalizált digitális felszínmodellt (normalised Digital Surface Model - nDSM) tudunk levezetni. A DTM és térinformatikai elemzések segítségével a terepjáróságot befolyásoló tényezőket modellezhetjük raszteres rétegek (pl. lejtő-, érdességtérkép) formájában. Az egyes rétegekből, egy adott jármű specifikációjához és terepjáró képességeihez igazodó költségfüggvények segítségével költségrétegeket (cost layers) határozhatunk meg. A költségrétegek és az nDSM-en detektált akadályok kombinálásával előzetes útvonalat tervezhetünk az adott jármű számára.

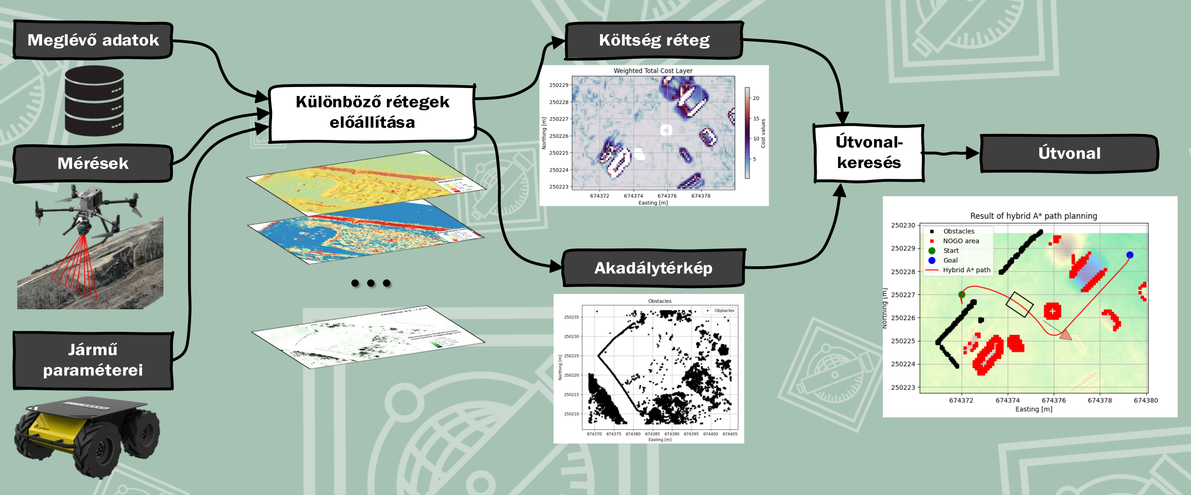
Alkalmazási területek

Terepjáróság szempontrendszere



CCM szintek:
- GO
- SLOW GO
- NO GO

Szempontrendszer az útvonaltervezés folyamatában



Terepi mérések

ZalaZONE off-road pálya

ZalaZONE (2023.03.22.)
- 19.1 ha terület
- rács (grid mission)
- 80% átfedés
- 1803 fotó (22 GB)
- ferde kameratengely (10°)
- 10 (+3) db illesztőpont

Gödöllő (2023.04.06.)
- 4.9 ha terület
- rács (grid mission)
- 80% átfedés
- 459 fotó (4 GB)
- Ferde kameratengely (15°)
- 10 (+3) db illesztőpont

ZalaZONE Off-road pálya pontfelhője

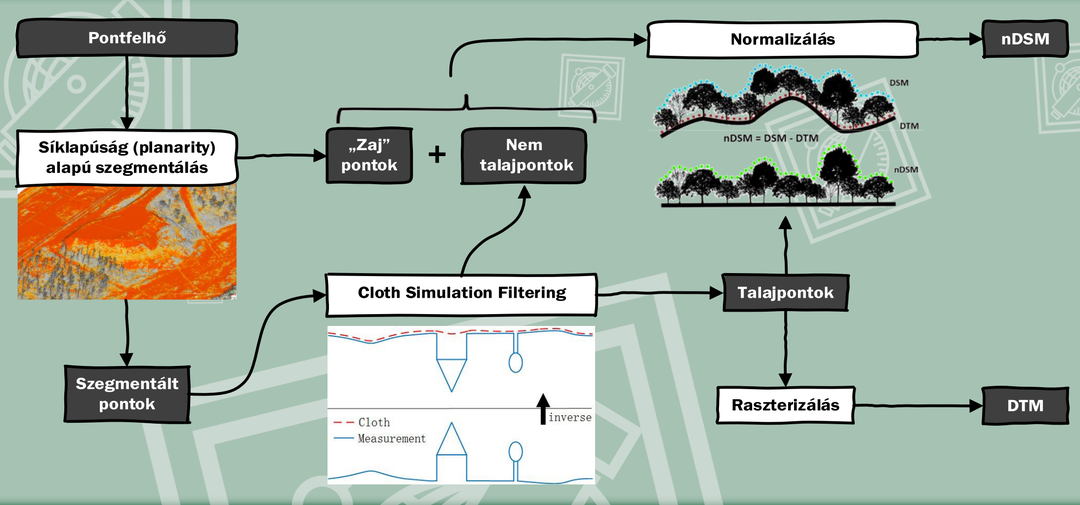
MATE teszterület pontfelhője

Jelmagyarázat
- Illesztőpontok (GCPs)

MATE teszterület

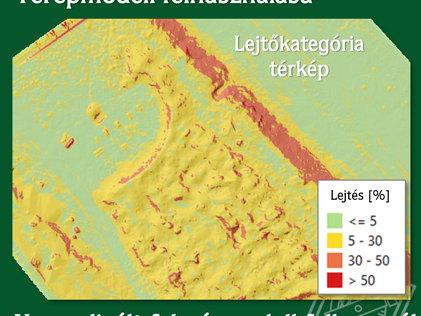
Pontfelhő feldolgozás

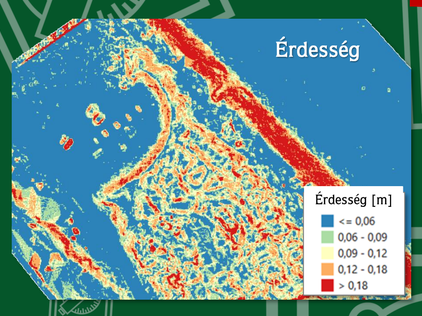
A „nyers” mérési eredmények feldolgozása



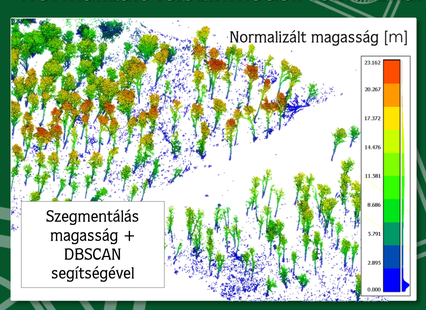
Raszter rétegek előállítása

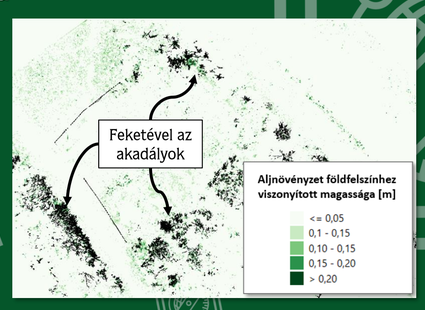
Terepmodell felhasználása



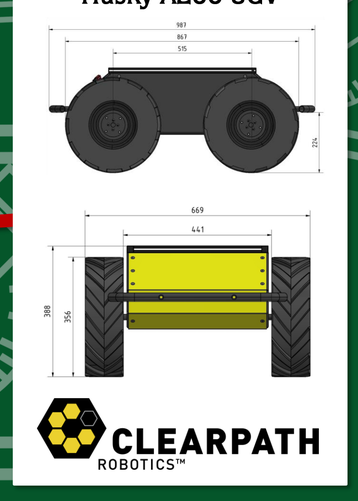


Normalizált felszínmodell felhasználása





Husky A200 UGV

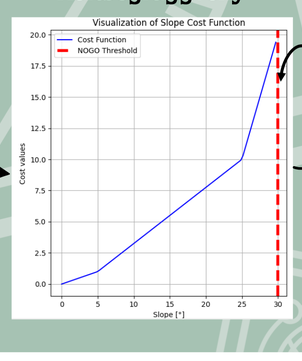


Költségrétegek előállítása

Jármű paraméterek

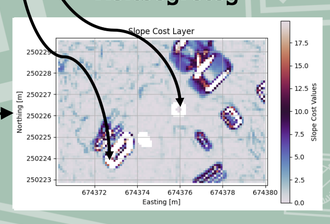
```
HuskyA200_config.json
{
    "SLOPE_COST": {
        "GO": {
            "thresholds": [0, 5],
            "costs": [0, 1],
            "function": "linear"
        },
        "SLOWGO": {
            "thresholds": [5, 25, 30],
            "costs": [1, 10, 20],
            "function": "linear"
        },
        "NOGO": {
            "threshold": 30,
            "cost": "inf"
        }
    },
    "ROUGHNESS_COST":
            …
}
```

Költségfüggvény

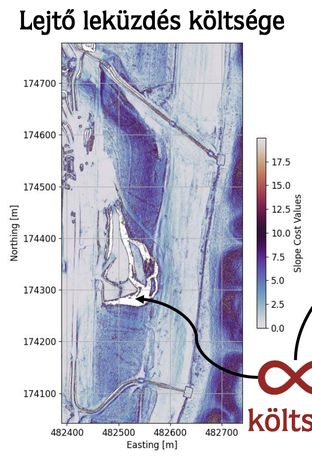


∞ költség

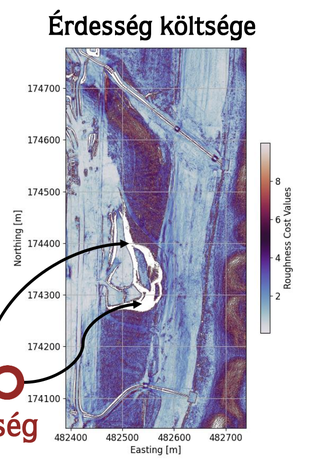
Költségréteg



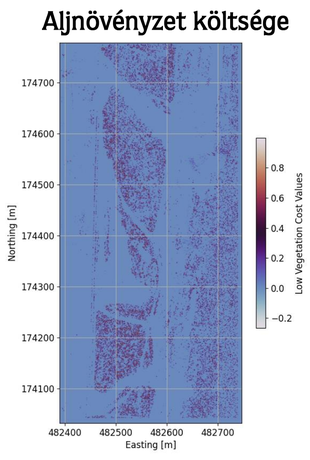
Lejtő leküzdés költsége



Érdesség költsége



Aljnövényzet költsége



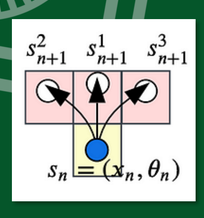
∞ költség

- $C_{teljes} = \sum_{i=1}^{n} w_i c_i$
- $C_{teljes} > C_{küszöbérték}$
  - NOGO

Teljes költségréteg

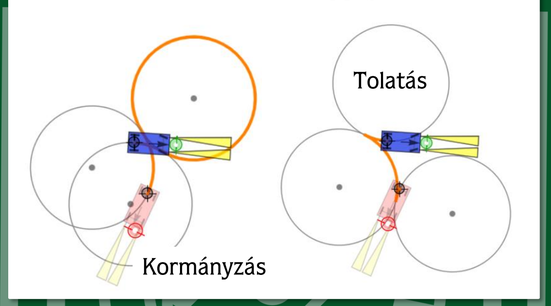
Útvonaltervezés

Hibrid A* algoritmus

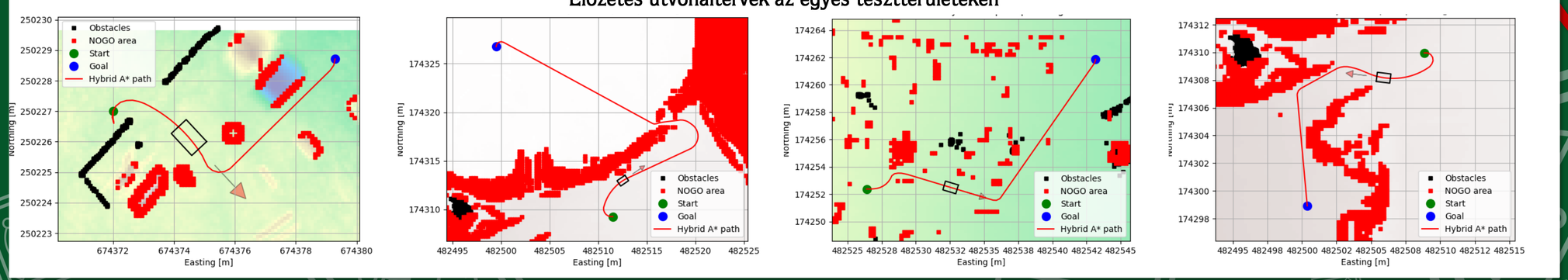


Útvonal keresés „járműszerű” mozgás figyelembevételével

Útvonal keresés Reeds-Shepp görbe mentén



Előzetes útvonaltervek az egyes tesztterületeken



A kutatás a 2022-2.1.1-NL-2022-00012 számú "Kooperatív Technológiák Nemzeti Laboratórium" projekt a Kulturális és Innovációs Minisztérium Nemzeti Kutatási és Fejlesztési és Innovációs Alapból nyújtott támogatásával, a Nemzeti Laboratóriumok pályázati program finanszírozásában valósult meg.