

RTK alapú dual-GNSS vevő összeállítással elérhető statikus orientáció illetve orientáció stabilitás vizsgálata

Analysis of the static orientation and orientation stability with RTK based dual-GNSS receiver setups

Somogyi Huba^a

^aSzéchenyi István Egyetem - Járműipari Kutatóközpont
somogyi.huba@sze.hu

Abstract: Az autonóm rendszerek már nem a távoli jövő, ma ezek a rendszerek az autópályáinkon, városainkban navigálnak. Megnövekedett elterjedtségük ellenére ezeknek a rendszereknek le kell küzdeniük technológiai akadályokat, mivel a zord időjárás, a városi zsúfoltság és más, nem ideális körülmények leállíthatják őket. E kihívások kezelésének kulcsa a továbbfejlesztett szenzor szintézis az autonóm érzékelő készleten belül, amely mérsékli az egyes érzékelők korlátait. Ez a cikk egy dual-GNSS (Global Navigation Satellite System) vevő összeállítást vizsgál meg, amely bemutatja az RTK (Real-Time Kinematics) előnyeit az autonóm jármű szenzor rendszerében. Két hardver konfiguráció a *Moving Baseline RTK* és az *RTK-alapú Heading (RTK pontositáson alapuló járműirány)* kerül beállításra, amelyek jelentősek az autonóm rendszerek számára, és ezek egyértelmű előnyei kerülnek kiemelésre.

Kulcsszavak: nagypontosságú navigáció, RTK, statikus orientáció

Abstract: Autonomous systems are no longer the distant future – today these systems navigate our motorways, our cities. Despite their increased prevalence, these systems have to overcome technological hurdles, as harsh weather, urban congestion and other less than ideal conditions can shut them down. Key to addressing these challenges is improved sensor synthesis within the autonomous sensor suite that mitigates the limitations of individual sensors. This paper examines a dual-GNSS (Global Navigation Satellite System) receiver setup that demonstrates the benefits of RTK (Real-Time Kinematics) in an autonomous vehicle sensor system. Two hardware configurations, *Moving Baseline RTK* and *RTK-based Heading*, are set up that are significant for autonomous systems, and their clear advantages are highlighted.

Keywords: high-precision navigation, RTK, static orientation

Bevezetés

A Széchenyi István Egyetem Járműipari Kutatóközpontjában, már viszonylag régóta foglalkozunk önvezető járművek funkcióinak fejlesztésével és kezd kialakulni egy irány arra vonatkozóan, hogy milyen szenzorok szükségesek egyes önvezető funkciók megvalósításához, Önvezetést itt még nem említének, mert azt még távolinak látom. Tehát lényegileg az általunk eddig megvalósított feladatok ellátásához elegendő megfelelő számú kamera és Lidar szenzor – a megfelelő számú alatt az értendő hogy különböző típusú járműveknél ez eltérő lehet - és ezen kívül szükség lehet vagy szükség van nagy pontosságú műholdas navigációs eszközre illetve nem utolsó sorban nagyon hasznos lehet V2X rendszerek használata, azaz a járműkommunikáció akár az infrastruktúrával akár más járművekkel [1].

A GNSS által biztosított pontos abszolút helymeghatározás számos autonóm navigációs alkalmazás számára értékes. A legalapvetőbb szinten a navigáció megköveteli, hogy a rendszer megértse, hol van, hová tart, és hogyan juthat el e két pont között. Bár sok felhasználási esetben elegendő lehet a két mozgó objektum közötti pontos relatív helymeghatározási információ.

Számos, a relatív helymeghatározást és iránymeghatározást támogató technológia nem felel meg az autonóm rendszerek tömeges elterjedéséhez szükséges költség-, pontossági, robusztussági és méretbeli követelményeknek.[2] A relatív helymeghatározásra használt lézeres érzékelők - LiDAR, optikai és ultrahangos érzékelők - nehezen teljesítenek kedvezőtlen időjárási körülmények között, például esőben és hóban. A LiDAR - az autonóm vezetésben vezető szenzor - nagyon költséges lehet, és a rendszer rendkívül összetett. Az infravörös érzékelőket, amelyek a hó különbségeket elemzik, olyan környezeti tényezők befolyásolhatják, mint az alacsony hőmérsékleti átmenetek, beleértve a tűz által okozott változásokat is. Az iránymérésre használt érzékelők - például az inerciális és mozgásérzékelők, a magnetométerek - hajlamosak a mágneses zavaró hatásokra való érzékenységre. A giroszkópok kimeneti jelei sodródhatnak és kalibrálást igényelnek. A giroszkópos iránytűk azonosítják az északi irányt, de drágák és méretileg és mechanikailag előnytelenek. A mágneses iránytűk azonosítják a mágneses északi irányt, de interferencia problémákkal küzdenek. Az inerciális mérőegységek (IMU) és más inerciális érzékelők saját problémákkal küzdenek, ezek a technológiák érzékenyek lehetnek a gép rezgéseire, és időigényesek a mozgás közbeni kalibráláshoz, ami azt jelenti, hogy a rezgések sodródásához vezethetnek. Amint a jármű megáll a mozgásban, a hibaforrások megnövekedhetnek, és a relatív pozicionálási és irány megoldások már nem megfelelőek. Sok ilyen érzékelő önmagában nem elegendő az autonóm rendszerek igényeinek

kielégítésére, míg mások, mint például a gyűrűs lézer giroszkópok, túlságosan költségesek a tömegpiaci alkalmazásokban, vagy túlságosan korlátozottan állnak rendelkezésre ahhoz, hogy az OEM-szintű tömeges alkalmazást támogassák. [3]

Másrészt a GNSS-érzékelők immunisak a mágneses interferenciákra, és statikus környezetben is működhetnek, anélkül, hogy a kezdeti kalibráláshoz mozgásra lenne szükség – természetesen azzal a feltétellel, hogy szabad rálátása van az égboltra, tehát kommunikálni tud a műholdakkal. Az *RTK-Heading*-vel történő iránymérés nem igényel kalibrálási időt, és a jármű állhat, ellentétben a legtöbb rendszerrel, amelyhez a járműnek mozognia kell [4].

Ezek a jellemzők az RTK-t ideális technológiával teszik az olyan alkalmazásokhoz, amelyek pontos relatív pozicionálást és robusztus precíziós iránymérést igényelnek. Az RTK-alapú érzékelők olyan áron jelennek meg, hogy támogatják az OEM-szintű elfogadást [5].

A továbbiakban a cikk az *RTK-Heading* kísérleti vizsgálatával foglalkozik.

Mérési összeállítás

A pontos pozíció és *Heading* irány kiszámításához két Duro vevőre és két GNSS antennára van szükség. Az RTK-korrekciók eléréséhez az egyik Duro-nak mobilmodemen keresztül internet-hozzáféréssel kell rendelkeznie. Ebben a tesztben a Duro-k és a mobilmodem egy 5G mobil router segítségével Ethernet-en keresztül csatlakoznak egymáshoz. (lásd 1. ábra).

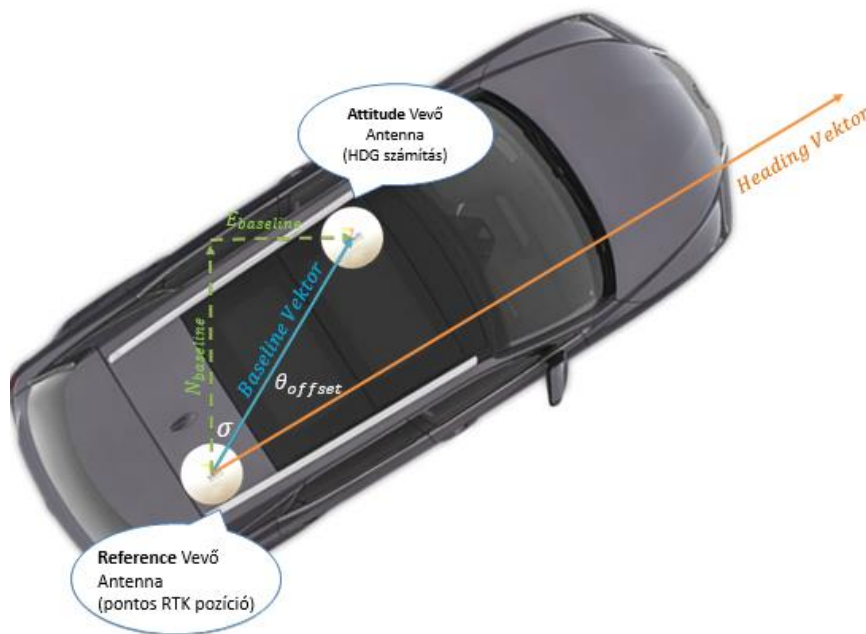
Hardver összeállítás elemei:

1. Referencia Duro GNSS antenna (pozicionálás)
2. Attitude Duro GNSS-antenna (irány)
3. 12V-os akkumulátor
4. Referencia (helymeghatározás) Duro
5. Hálózati switch
6. 5G mobil router
7. Attitude (irány) Duro
8. Vezérlő számítógép



1. ábra: Mérési összeállítás asztalon illetve járműre/járműbe szerelve

Két Duro vevőt és két GNSS - antennát kell elhelyezni egy mozgó járművön. A referencia Duro (4) az RTK korrekciós szolgáltatások segítségével kiszámítja a pontos pozíciót, és ezzel egyidejűleg GNSS - megfigyeléseket szolgáltat az attitude Duro (7) számára, amely kiszámítja az RTK-ből származtatott *Heading* irányt. A legjobb eredmények elérése érdekében a GNSS - antennákat a jármű tetején kell felszerelni, ha lehetséges a középvonal mentén, az antennák között legalább 0,5 m távolságot tartva. Ez a feltétel nálunk nem volt adott ezért egy offset szög értékkel eltolódott a *Baseline Vektor* és a *Heading Vektor* (lásd 2. ábra) A referencia Duro lehet egy Duro Inertial is, hogy az inerciális érzékelők fúziójával pontos pozíciót biztosítson. Az Attitude Duro nem szolgál pontos helymeghatározásra, és elegendő GNSS Duro-nak lennie.



2. ábra: A járműre szerelt GNSS antennák helyzete és a *Baseline Vektor* és a *Heading Vektor* kapcsolata

A *Heading* kimenet az alábbi egyenletekkel számolható:

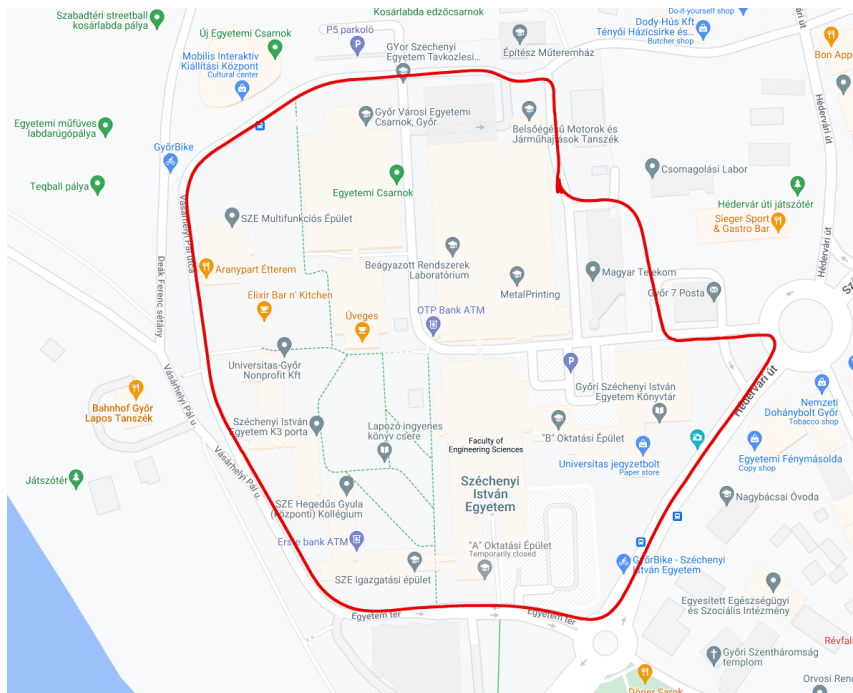
$$\text{Baseline Heading} = \sigma = \tan \left(\frac{E_{\text{baseline}}}{N_{\text{baseline}}} \right) \quad (1)$$

$$\text{Jármű Heading} = \psi = \sigma + \theta_{\text{offset}} \quad (2)$$

A szoftveres beállításoknál, ami fontos, hogy csak a Referencia Duro kapcsolódik közvetlenül az internetre és kéri le az RTK pontosítási adatokat, amelyeket a másik Duro felé a hálózaton keresztül továbbít. Mivel az Attitude Duro szerepe annyi, hogy a saját antennája és a Referencia Duro antennája közti *Baseline Vektort* határozza meg a keleti (E_{Baseline}) és az északi (N_{Baseline}) irányvektorból az (1) képlet alapján, tehát pontos pozíció adatot nem szolgáltat kifelé.

Dual-GNSS összeállítás tesztelése járművel és a mérések kiértékelése

A tesztek elvégzésének helyszíne a Széchenyi István Egyetem egyetemi kampusza volt (lásd 3. ábra), mivel itt megtalálhatóak magas épületek és fák, melyek alkalmasak nagyvárosi környezet imitálására, illetve kellő számban található az útvonalon különböző kanyarodási rádiusszal rendelkező kanyar.



3. ábra: Mérési útvonal térképen

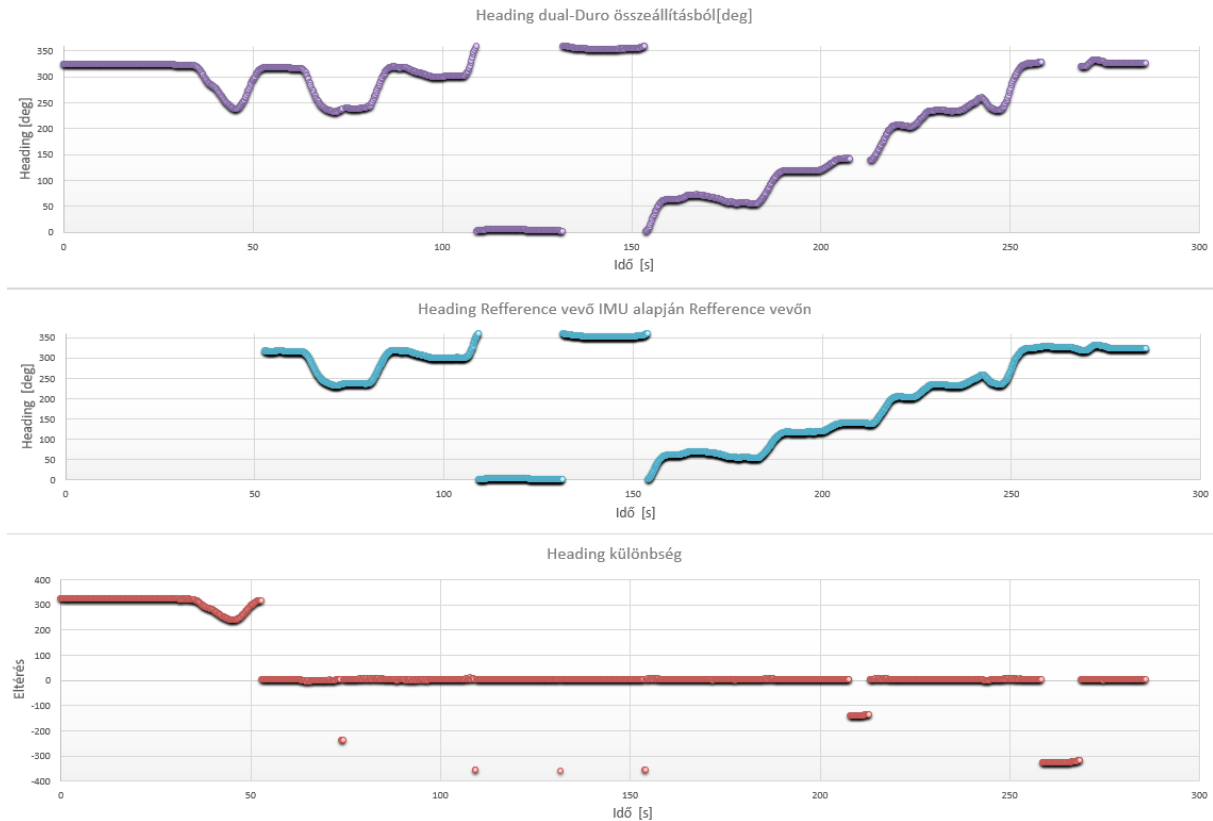
A tesztek során a fókusz egyrészt a statikus helyzetben elérhető *Heading* irány meghatározására koncentrálnak, másrészt pedig a folyamatos haladás során elérhető *Heading* irány stabilitására. Első körben a mentett adatokból a két különálló vevőben lévő IMU által szolgáltatott *Heading*

adatokat hasonlítottam össze (lásd 4. ábra). Amit először érdemes megfigyelni, hogy a mérés első 50 másodpercében nem érkezik *Heading* adat az IMU-któl, ekkor a jármű még álló helyzetben volt és így indult a mérés, majd miután elindult a jármű az IMU-ból érkező *Heading* adatfolyam is szintén elindult. A másik dolog, ami észrevehető, hogy az egyik IMU (Attitude Duro IMU) melynek adatai zölddel vannak ábrázolva, a mérés során többször is egy-egy pillanatra nulla értéket adott majd visszatért a megfelelő értékhez. Ez a jelenség jól szemlélteti, hogy az IMU magában képes nem várt hibákat produkálni és érdemes más forrásból is előállítani a kívánt adatokat. Jelen esetben a második IMU egység jól működött és a kettő összevonásával egy jól beállított szűrő algoritmus megfelelő adatot szolgáltathat. Az összehasonlítás harmadik aspektusa a két IMU adatai közötti eltérés, ez az ábrán pirossal van jelölve és fokban értendő. A megjelenített eltérés egy szűrt adatsor mivel a már említett nullázódási pontokon kiugróan nagy hibapontok jelentkeznek, így viszont látható, hogy ahol mindkét IMU jól működött, ott maximálisan ± 1 fok eltérés keletkezett.

A következő összehasonlítás (lásd 5. ábra), ahol a *dual-GNSS Heading* került összevetésre a végig jól működő *IMU Heading* adataival, rögtön feltűnik, hogy a dual-GNSS (ábrán lilával jelzett) már a mérés megkezdésétől szolgáltat *Heading* adatot. Ez az egyik fontos előnye, amire a mérések során fókuszálni kívántam, és az ábrán szintén pirossal jelölt eltérési grafikonból leolvasható, hogy az autó elindulása után 10 másodperccel később jelent meg az első IMU adat.



4. ábra: Két IMU Heading összehasonlítása



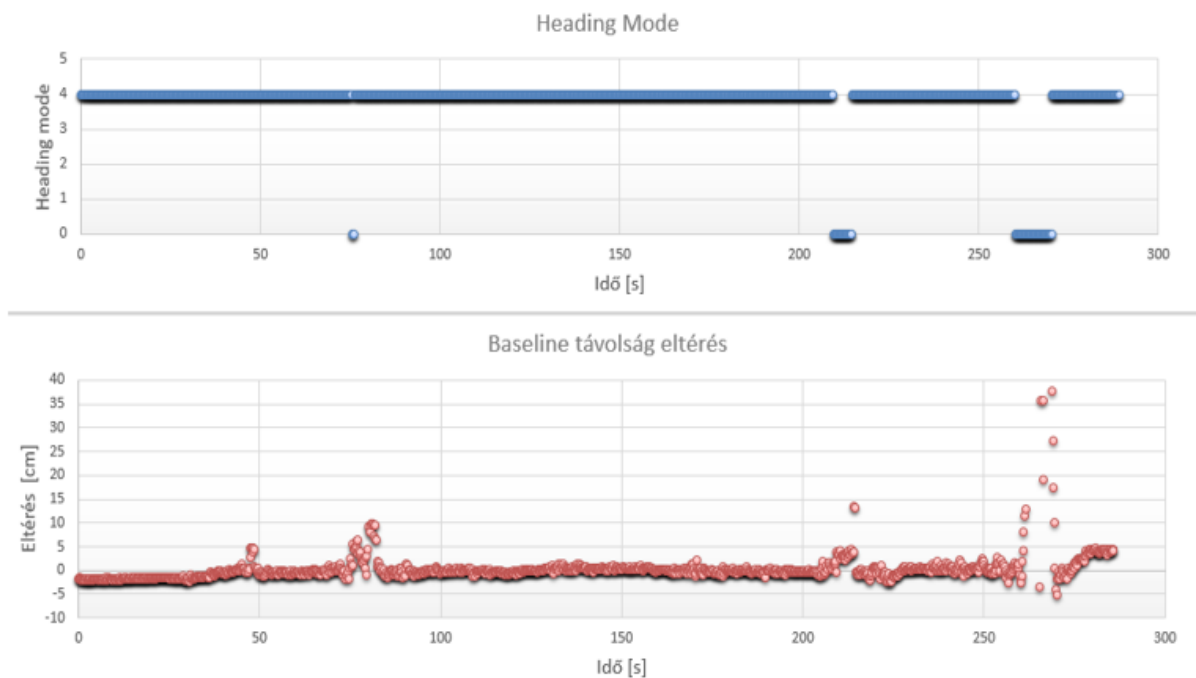
5. ábra: IMU Heading és dual-GNSS Heading összehasonlítása

Ahhoz, hogy az előző állítás jól látható legyen az ábrán, első körben az eltéréseket szemléltető rész az előzőhöz képest nem a szűrt adatokkal történt. Viszont ebből más nem várt hibajelenség is leolvasható, az egyik, hogy a *dual-GNSS Heading* adatsorban is keletkeztek kimaradások, ennek oka pedig az, hogy az Attitude Duro vevő elvesztette a kapcsolatot a műholdakkal és így nem tudott pontos Baseline Vektort számítani, így nem szolgáltatott ezekben az időablakokban semmilyen *Heading* információt. További érdekes jelenség a 0 és 360 fok közti váltásoknál figyelhető meg, az eltérési grafikonból jól látszik, hogy ez a váltás egy idő-pillanattal később történik meg a dual-GNSS Heading adatsorban, ebből pedig az következik, hogy a *dual-GNSS Heading* számítása néhány 10 ezred másodperccel tovább tart. Ezt támasztja alá a nagyobb hibáktól megszűrt eltérési ábra (6. ábra) is, amelyen jól látszik, hogy a kanyarokban a hiba 9-10 fokos eltérést is elér, viszont egyenes haladás mellett 2 fok alatti az eltérés.



6. ábra: Dual-GNSS Heading és IMU Heading eltérés szűrt adatsorral

A kimaradások a *dual-GNSS Heading* adatban megjelennek a vevő által szolgáltatott *Heading Mode* adatsorban is (lásd 7. ábra), ez egy hasznos indikátor, ha fuzionáljuk az IMU és a *dual-GNSS Heading* adatokat, mert ebből tudjuk, hogy mikor ne vegyük számításba az utóbbit. Ugyanezen az ábrán került megjelenítésre az antennák közötti távolság valós illetve mért értékeinek eltérése, hogy jól látható legyen, hogy azokban az időablakokban van kiugró eltérés, amikor a vevő nem szolgáltat *Heading* adatot a műholdakkal való rossz kapcsolat miatt.



7. ábra: *Heading Mode* és valós és mért antennák közötti távolság eltérése

Mindezeket figyelembe véve a mérések és azok elemzése több olyan hibaforrásra is rámutatott, ami eddig nem volt számításba véve, de ezután már erre is nagyobb hangsúlyt kell fordítani.

Összefoglaló

A *dual-GNSS Heading* információt vizsgáló mérések sikeresen végre lettek hajtva és a két vizsgálni kívánt pont közül az egyikben pozitív eredményt hoztak, mégpedig a statikus orientáció tekintetében, viszont a második pont esetében, ami stabilitásra fókuszált, több nem várt jelenség miatt nem a várt eredmények születtek. Ennek ellenére ez is fontos tapasztalat volt, így ebből kiindulva tovább vizsgálható a *dual-GNSS Heading* adatok IMU adatokkal való fuzionálásának létjogosultsága és mikéntje.

Köszönetnyilvánítás

A publikációban szereplő kutatást a Széchenyi István Egyetem az Európai Unió támogatásával valósította meg, az Autonóm Rendszerek Nemzeti Laboratórium keretében. (RRF-2.3.1-21-2022-00002)

Irodalomjegyzék

- [1] Somogy Huba: Műholdalapú nagy pontosságú navigáció nagyvárosi környezetben V2X módszer segítségével, „Autonóm járművek – Jövőformáló járműipari kutatások” konferencia (2021).
- [2] Leonid A. Lipatnikov, Stanislav O. Shevchuk: Cost Effective Precise Positioning with GNSS, International Federation of Surveyors, FIG publication No 74 (2019)
- [3] Rachel Schmalzried: The Role of RTK in the Autonomous System Sensor Suite, Web: https://www.swiftnav.com/sites/default/files/whitepapers/moving_baseline_white_paper_092017.pdf (letöltés: 2022.08.11)
- [4] Niels Joubert, Tyler G. R. Reid, fergus Noble: A Survey of Developments in Modern GNSS and Its Role in Autonomous Vehicles, ”Developments in Modern GNSS and Its Impact on Autonomous Vehicle Architectures” conference (2020)
- [5] T. G. R. Reid, S. E. Houts, R. Cammarata, G. Mills, S. Agarwal, A. Vora, and G. Pandey: Localization Requirements for Autonomous Vehicles, SAE International Journal of Connected and Automated Vehicles, vol. 2, no. 3, pp. 173–190