

Óbudai Egyetem

Kandó Kálmán Villamosmérnöki Kar

Műszertechnikai és Automatizálási Tanszék



TUDOMÁNYOS DIÁKKÖRI DOLGOZAT

**EVEZŐS CSAPÁSSZÁMMÉRŐ
MEGVALÓSÍTÁSA GYORSULÁSMÉRŐ
SZENZORRAL**

Szerző: **Válint Zita**
villamosmérnök BSc. szak, IV. évf.

Konzulensek: **Borsos Döníz**
tanársegéd
Sándor Tamás
tanársegéd

Budapest, 2023.

Tartalom

1.	Bevezetés.....	3
2.	Evezős sport alapjai.....	5
3.	Specifikáció	7
3.1	Hasonló termékek áttekintése	7
3.2	Működési elv meghatározása.....	9
3.3	A rendszer logikai terve	10
3.4	Csapásszámmérő szenzor elhelyezése.....	11
4.	A szenzor fizikai megvalósítása	13
4.1	Fizikai rendszerterv	13
4.2	Gyorsulásmérő modul.....	15
4.3	Mikrovezérlő	17
4.4	Bluetooth modul	18
5.	Szoftver logikai rendszerterv	19
6.	Evezős mozgáshoz való igazítás	21
7.	Szenzor szoftveres megvalósítása	24
7.1	A szoftveren belüli függőségek és megszakítások kezelése	24
7.2	Kommunikáció kezelése.....	26
7.3	Hirdetőcsomag felépítése	28
8.	Szenzorral való kommunikáció, kommunikációs szerepek	29
9.	Felhasználói felület	31
10.	Továbbfejlesztési lehetőségek	33
11.	Összefoglalás.....	34
12.	Felhasznált irodalom	35

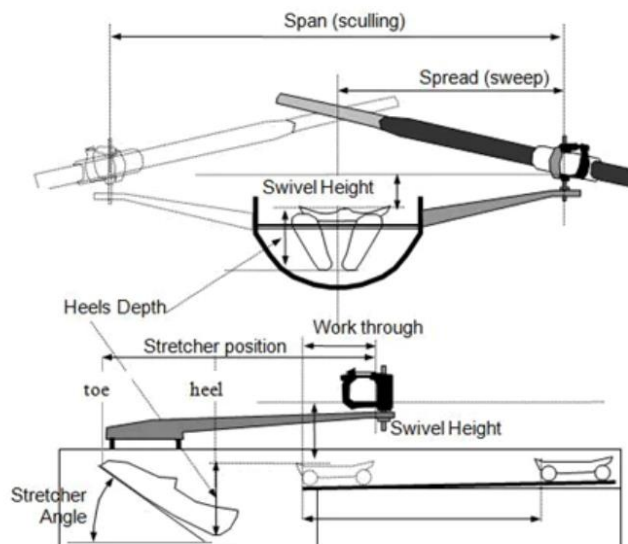
1. Bevezetés

A dolgozat fő témája egy evezős sportban használható csapásszámmérő rendszer fizikai és szoftveres megvalósítása. Az evezős sport iránti szeretetem és a műszaki eszközök iránti érdeklődésem egyaránt elősegítette témaválasztásom és a rendszer megvalósítása iránti elkötelezettségem. A versenysport minden területén előfordul a versenyzők teljesítményének növelése érdekében különböző elektronikus eszközök bevonása a felkészülés során. Az evezős sportban az egyik ilyen készülék a csapásszámmérő. Az edzések alkalmával egy csapásszámmérő nagyban hozzájárul a versenyzők szakszerű, monitorozott felkészüléséhez, ezért világszerte elterjedt edzést-támogató rendszernek számít. A Magyarországon működő vízisport-egyesületek is kivétel nélkül rendelkeznek ilyen eszközzel, azonban egyesületenként jellemzően csak 1-2 ilyen eszköz áll rendelkezésre a készülék magas ára miatt. A dolgozat elkészítése során célom az volt, hogy a piacon megtalálható, evezős csapásszámmérőkhöz hasonló rendszert valósítsak meg nagyságrendekkel olcsóbb, funkcióit tekintve továbbfejlesztett és működési elvében eltérő eszköz formájában. Mindenképpen követelmény volt számomra, hogy a rendszer valóban megvalósuljon, hiszen ez jelentősen leegyszerűsítheti az evezős sportolók számára az edzési folyamatot. A rendszer elsődlegesen egy evezős hajó haladási sebességének (csapásszámának) mérését végzi, emellett idő és távolság mérésére, valamint adatok real-time kiértékelésére és megjelenítésére képes. Az így elkészített rendszer egy fejlett, de mégis költséghatékony edzéstámogatási rendszerként képes a versenyzők felkészüléséhez hozzájárulni. Az általam megvalósított rendszer első sorban egy gyorsulásmérő szenzorból és egy megjelenítést végző eszközből áll, ezzel is eltérve a piaci résztvevők által fejlesztett csapásszámmérőktől. A különálló szenzorral való megvalósítás előnyeit kihasználva pontosabb mérési adatokra tehetünk szert, emellett nagyobb hajóegységben akár több szenzor együttes használatára és az így mért adatok összehasonlítására is van lehetőség. A szenzor a gyűjtött adatokat Bluetooth hirdetőcsomagokba rendezve továbbítja a megjelenítést és kiértékelést végző eszköz felé, ami ebben az esetben az egyszerű fejlesztés és költséghatékonyság miatt egy mobiltelefon. A fogadott adatcsomagok egy elsődlegesen csak Androidos készülékre tervezett grafikus felhasználói felületen jeleníthetők meg. A felhasználói felület képes a szenzor által mért adatokat alkalmazási területnek megfelelő gyorsasággal, valós időben kiértékelni és megjeleníteni. Az adatok kiértékelése egy evezős hajó mozgási paramétereinek megfelelően történik, aminek megértéséhez elengedhetetlen az evezős sport ismerete, ezért dolgozatomban ez is röviden összefoglalásra került. A kutatás ezek mellett

részletesen ismerteti az adatgyűjtés és kiértékelés elvét, az elkészített szoftver logikai felépítését. Zárásként összegzésre kerülnek az eddig megvalósított eredmények, ezek mellett továbbfejlesztési lehetőségek és ötletek is említésre kerülnek.

2. Evezős sport alapjai

Az eszköz működésének és funkcióinak pontos megismeréséhez és megértéséhez szükség van az evezős sport átfogó ismeretéhez. Ebben az alponban ismertetem a fontos technikai alapokat, a működés megértéséhez szükséges alapokat. A 1. ábrán látható egy evezős hajó belső felépítése. A hajó belső részéből indulva (a kép lenti részén, balról jobbra haladva) láthatjuk: a sportoló lábának rögzítésére alkalmas lábtartót, felette a lapát tartására alkalmas villát és tulipánt, alatta az úgy nevezett kocsi, amin a sportoló ül és a sint, amin a kocsi gurul. A hajó oldalára, a lapátok tartására szerelt villák végén, a lapátok úgy nevezett tulipánokban vannak rögzítve, amik a lapátnak bizonyos mértékben szabad elfordulást biztosítanak.



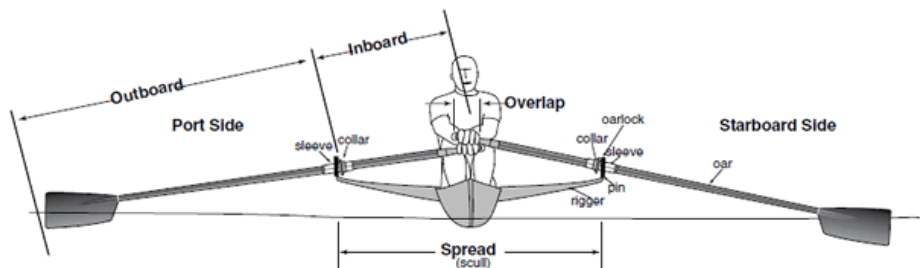
1. ábra: Evezős hajó keresztmetszete ¹ [1]

A következő ábra egy sportoló helyzetét ábrázolja a hajóban, a lapátokkal együtt, hátulról ábrázolva. Az evezős sportban a versenyző a hajóban ülve „hátrafelé” néz. Az evezős hajóban a mozgás első állapotánál a sportoló nyújtott lábával, a karjait behúzva ül a hajóban. A mozgás megkezdésénél először kinyújtja karjait, enyhén előre dől, majd a sportoló a lábai behúzásával elindul a lábtartó felé. A végállapot elérése után a sportoló enyhén hátra dől, a lábával ellöki

¹ Az ábra a következő feliratokat tartalmazza felső szakaszon fentről lefelé haladva: fesztávolság (párevezős hajó esetén a két tulipán közötti távolság), a tulipánok között lévő távolság fele, a tulipán merőleges távolsága kocsihoz viszonyítva, lábtartó mélysége (a kocsi és a lábtartó sarka közötti távolság).

Az ezt követő ábrarészleten látható szöveg fentről lefele majd balról jobbra: a tulipán lábtartótól való horizontális távolsága, lábtartó dőlésszöge, sarokmélység, tulipán magassága a kocsihoz viszonyítva.

magát, majd a karjait behúzza. Egyértelmű, hogy a sportoló így lényegesen nagyobb erőt tud kifejteni, mintha gurulókocsi nélkül haladna.



2. ábra: A sportoló helyzete a hajóban² [2]

Az evezős sportban a csapásszámot az alapján számoljuk, hogy a sportoló egy percen belül hány ilyen teljes csapást képes megtenni. Ez alapján az is feltételezhető lenne, hogy minél nagyobb ez a szám, annál jobban teljesít a versenyző. Ez teljes csapásokat nézve, hosszabb versenytávon nem igaz, hiszen ott fontosabb az egyenletes tempó megtartása a versenytáv nagy részén. Az evezős sport csupán rövid összefoglalása alapján is levonható az a következtetés, hogy a csapásszám mérése az edzések során fontos feladat. Egy ilyen csapásszámmérő eszköz segítségével a versenyzők hatékonyabban készülhetnek fel az általuk teljesítendő versenytávra, valamint az edzések során is jobb eredmények elérésére serkenti őket. Az evezős sportban jelenleg is előfordulnak ilyen felkészülést segítő eszközök, azonban ezek piaci ára meghaladja a legtöbb versenyző anyagi korlátait. Projektemmel az ilyen versenyzőknek is lehetővé szeretném tenni a hatékonyabb edzéseket.

² Az ábra szövege balról jobbra: a lapát külső fele; bal oldal; lapát mandzsettája; lapát bilincs; lapát belső része; átfedés, alatta a két tulipán közötti távolság; villa; bilincs; tulipán; tulipán főtengele; mandzsetta.

3. Specifikáció

Az előző pontokban nagy körvonalakban ismertettem az evezős sport dinamikáját, ez alapján ebben a pontban a felmerülő alkalmazási lehetőségek és megvalósítási opciók felvázolása következik, mivel célom az, hogy a lehető legtöbb lehetséges funkciót megvalósítsam.

3.1 Hasonló termékek áttekintése

Első sorban fontos említést tenni a kereskedelmi forgalomban megtalálható csapásszámmérő eszközökről és azok működéséről. A 3. ábrán látható egy Nielsen-Kellerman SpeedCoach, GPS használatával működő csapásszámmérő. Ez az evezős sportban az egyik legnépszerűbb csapásszám mérésére és megjelenítésére alkalmas eszköz, ami több fizikai mennyiség mérésére képes alrendszerrel kiegészíthető. Ez lehetővé teszi pontosabb adatok rögzítését és a mérés kiterjesztését. Az említett csapásszámmérő kiegészítések nélkül is több adat kijelzésére képes. Ezek az adatok a következők: 500 méterre levetített átlagidő (hajó gyorsasága), csapásszám (stroke/minute), távolság, idő. A csapásszámmérő eszköz $\pm 2,5$ méteres pontossággal rendelkezik. Külön kiegészítő funkcióként a gyártó felkínál egy Training Pack elnevezésű szolgáltatást, ami lehetővé teszi az edzések beprogramozását (tehát az edzés alatt teljesítendő távolságokat vagy időt) és ezek vezeték nélküli adat-feltöltését is biztosítja.



3. ábra: Példa GPS alapú csapásszámmérőre [3]

A csapásszámmérő eszköz mellé a gyártó (Nielsen-Kellerman) további kiegészítő eszközöket is biztosít, például egy folyó vízben pontosabb mérési eredményeket biztosító impellert, ami a következő képen látható. Egy ilyen kiegészítő eszköz a hajó aljára rögzítve méri a propeller

forgási sebességét, tehát a hajó vízhez viszonyított mozgási sebességét (a csapásszámmérő a hajó földhöz viszonyított sebességét méri, ami állóvízi közegben teljesen megfelelő, de folyóvízben pontatlan eredményeket ad).



4. ábra: Példa a csapásszámmérő kiegészítését szolgáló impellerre [4]

További kiegészítő eszközként megvásárolható a Training Pack szolgáltatás által támogatott EmPower Oarlock szenzor, aminek használatát a következő kép illusztrálja. Ez az eszköz a csapásszámmérő által nem mért értékekről szolgáltat adatokat, például a csapáshosszról és a csapás hatékonyságáról.



5. ábra: EmPower Oarlock szenzor [5]

Összesítésként megállapítható, hogy mérnöki megvalósítás tekintetében a piacon már rendelkezésre álló eszközök is kielégítik a vásárlók igényeit, azonban ezen eszközök beszerzése költséges. Példának okáért, az először említett csapásszámmérő (SpeedCoach GPS) kereskedelmi ára 180 236 Ft, az impeller ára 12 043 Ft, az EmPower Oarlock szenzor ára

199 636 Ft (/darab). ³ Ezen árak megismerése után megfogalmazódott bennem egy saját csapásszámmérő tervezésének ötlete. [3] [5] [4]

3.2 Működési elv meghatározása

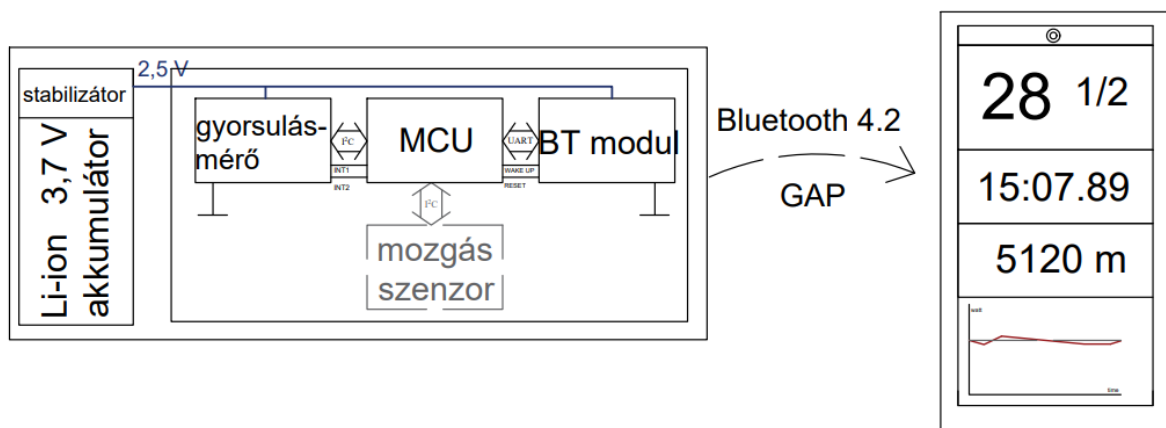
Az általam elképzelt csapásszámmérő eszköz megjelenítést tekintve jobban hasonlít a tulipánra (lapátot tartó forgó rész) szerelhető, csapáshosszt rögzítő szenzorokra, amilyen például az előző alpontban említett EmPower Oarlock edzés segítő szenzor (5.ábra). Elsődleges elképzelésként az adott szenzor egy csapásszámmérő rendszer részeként, csak adatgyűjtő egységként szerepelne. A költséghatékonyság miatt a megjelenítést végző eszköz egy mobiltelefon, mivel a mai világban már a legtöbb ember rendelkezik egygel. Ennek köszönhetően mindenkinek használhatóvá válik egy nagyságrendekkel olcsóbb, felhasználóbarát eszköz. Ez az elrendezés lehetővé teszi, hogy nagyobb hajóegységben akár több ember is tudja egyszerre, ugyan azon szenzor adatait a saját készülékén megjeleníteni, ezzel hatékonyabbá tenni az edzéseket. A szenzorral szemben egyaránt követelmény a költséghatékonyság, a pontos mérési adatok szolgáltatása és a felhasználóbarát működés is, ezeket figyelembevéve törekedtem a lehető legjobban kivitelezni a feladatot. A feladat megvalósítását egy gyorsulásmérő szenzor által képzeltem el. Az eddig ismertetett eszköz a helyzet és csapásszám meghatározásához GPS-t használ gyorsulásmérő szenzorral kiegészítve. Annak ellenére, hogy ezzel a módszerrel is nagy pontossággal, $\pm 2,5$ méteres hibahatárral meg lehet határozni a kívánt adatokat, a feladat megoldását máshonnan közelítettem meg.

Az általam használt szenzor elvét tekintve jobban előtérbe helyezi a dinamikus mozgás és statikus gyorsulás jellemzőinek mérését. [6] Ebből kifolyólag elképzelésem szerint hasonló hatékonysággal, főleg a lapát mozgására figyelve meghatározhatóak a kívánt adatok. A következő fejezetben látható az elképzelt csapásszámmérő rendszer ábrázolása.

³ Az említett árak 2023. októberére vonatkoznak.

3.3 A rendszer logikai terve

Az elképzelt csapásszámmérő rendszer hajón belüli pontos elhelyezésének megértéséhez először a szenzor rendszerben való működését ismertetem. Az rendszer eleme egy méréseket végző szenzor és az adatok megjelenítését végző mobiltelefon. Az adott önálló energiaellátással rendelkező szenzor egy gyorsulásmérő modullal, az evezős sportoló mozgásához igazított mintavételezési frekvencia szerint rögzíti a kívánt értékeket. Ezek után egy Bluetooth protokoll-kompatibilis modul használatával továbbítja a csomagokba gyűjtött adatokat.



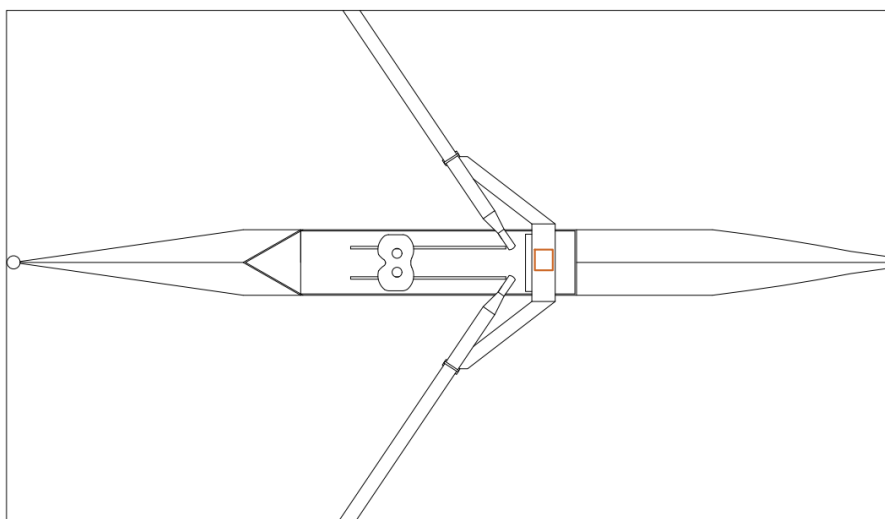
6. ábra: Az elképzelt csapásszámmérő logikai rendszerterve

A fogadott csomagok egy mobiltelefonos alkalmazásban, megfelelő szűrési és adatfeldolgozási logika alapján, kerülnek kiértékelésre. Az elrendezés használatának egyik előnye, hogy telefonos applikáció használata lehetővé teszi a FOTA, azaz firmware vezeték nélküli frissítésének lehetőségét. Ennek eredménye, hogy a szenzorok felprogramozása és a program működésének tesztelése után az egész rendszerben csak a mobiltelefonos alkalmazást kell funkcióbővítés esetén, vezeték nélkül internetes eléréssel frissíteni.

A GPS-t használó csapásszámmérővel szemben a rendszer másik előnye, hogy a GPS hálózat használatával járó bizonytalanságok és a környezetből származó akadályok nem hátráltatják a mérés folyamatát, hiszen maga a szenzort más külső rendszer a működésében nem támogatja. [7]

3.4 Csapásszámmérő szenzor elhelyezése

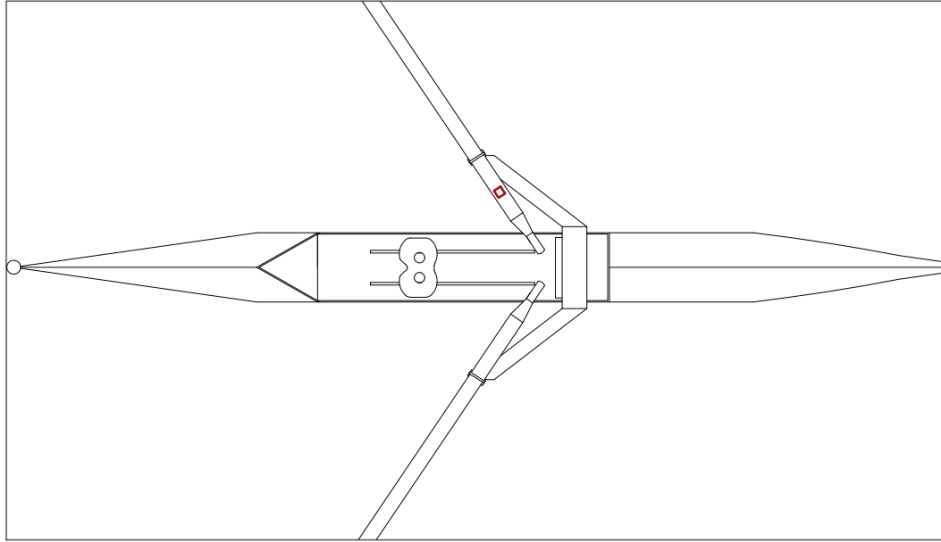
A mérési elvet meghatározza a szenzor elhelyezése. Az előző alpontokban leírtak szerint, a szenzor elhelyezkedése eltérő az eddig használt csapásszámmérő szenzoroktól. A piacon elérhető mérőegység (Nielsen-Kellerman SpeedCoach) GPS alapú, ezért a hajón belüli elhelyezkedés nem változtat a szenzor által szolgáltatott mérési eredményeken, bárhol elhelyezhető nagyobb hajóegység esetén is. A következő ábrán látható a GPS-es gyorsulásmérést használó csapásszámmérő egy lehetséges elhelyezése egy egypárevezős hajóegységen belül, az eszközt barna színnel jelöltem. [7]



7. ábra: GPS alapú csapásszámmérő elhelyezése

Az általam tervezett szenzor elhelyezés az előző pontban is ismertetettek szerint eltérő. A szenzor erőforrásait tekintve a 7. ábra szerinti elhelyezés is megvalósítható lenne, de figyelembe véve azt, hogy a hajón belül a lapát mozgása, gyorsulásának iránya a legszemléletesebb, valamint a mozgás mintavételezése és az adatok feldolgozása is egyszerűbb feladat, ezért ettől eltérő elhelyezést választottam. Szempont volt ennek kiválasztásában, hogy mivel elektronikus eszközről beszélünk, a megfelelő, cseppálló borítás után se érje jelentős nedvesség. Mivel vízisport, ezért elkerülhetetlen, hogy a szenzor egy borulás után ne legyen vizes. Szerencsére ez gyakorlott sportolók esetén elkerülhető lehet, hiszen a vízisportok közül az evezőshajó (keskenyebb versenyhajók szempontjából is) az egyik legstabilabb. A szenzor méretéből adódó előnyöket kihasználva a lapáton való elhelyezést választottam. Azon belül, a sportolóhoz minél közelebbi való elhelyezés tudja a legjobban biztosítani víz elkerülését. Ezzel ellentétben a lapát mozgását tanulmányozva megfigyelhető, hogy a lapát vízhez közelebbi része a teszi meg az arra merőleges síkban a legnagyobb távolságot. A kettő megfigyelés alapján a szenzor számára legmegfelelőbb rögzítési pontot a lapát sportolóhoz közelebbi részén középen állapítottam meg.

Ezt az elhelyezést a következő ábra szemlélteti, ahol a szenzort piros téglalappal jelöltem. A kiválasztott rögzítési pontból a lapát mozgása során a vízre és a hajóra merőleges síkban történő elmozdulások hatásai is mérhetőek.



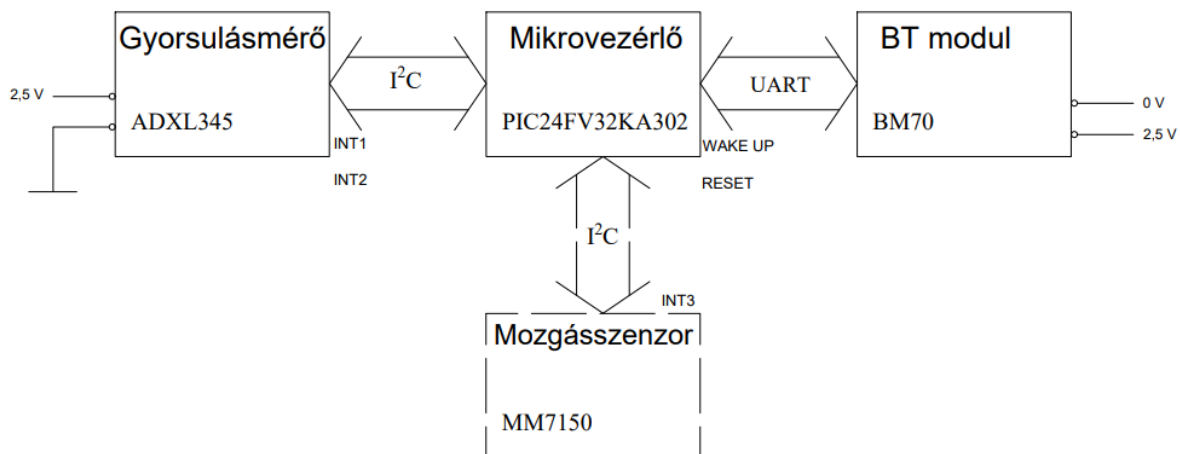
8. ábra: Gyorsulásmérő alapú csapásszámmérő szenzor elhelyezése

A szenzor így megválasztott elhelyezése funkcióbővítés szempontjából is előnyt jelent: több szenzor által rögzített adatok utólag összehasonlíthatóak és elemezhetők nagyobb hajóegységben történő alkalmazás esetén. Ezek a továbbfejlesztési lehetőségek a 10. fejezetben, lesznek részletesen felvázolva.

4. A szenzor fizikai megvalósítása

4.1 Fizikai rendszerterv

Ebben a fejezetben szeretném röviden ismertetni a szenzor felépítését. A fizikai rendszerterven látható, hogy a szenzornak három főbb alkatrésze van: egy ADXL345-ös gyorsulásmérő modul, ez az inercia adatok rögzítésére szolgál; egy BM70-es Bluetooth modul, ami a Bluetooth protokoll szerint való adatküldést teszi lehetővé; egy PIC24FV32KA302-es 16 bites mikrovezérlő, ami a mért valós idejű adatok adatsomagokba rendezését, kommunikációs paraméterek beállítását és ellenőrzését végzi. A rendszerterven szerepel még egy MM7150-es mozgás szenzor, amivel a jelenlegi rendszert továbbfejlesztés esetén tetszőlegesen bővíteni lehet (az áramkörtervezésnél a bővítési opció figyelembe lett véve). A jelenlegi rendszer a gyorsulásmérőre támaszkodik, mivel a követelmények teljesítése szempontjából a szenzor kibővítése nélkül is kielégíti az elképzelt felhasználáshoz szükséges pontossággal szemben támasztott elvárásokat. A szenzorral szemben a pontosság mellett követelmény az alacsony fogyasztás biztosítása: az akkumulátor élettartam meghosszabbításának céljából a szenzornak a mozgás abbamaradását követően egyből ki kell kapcsolnia. Ezt kiegészíti az a funkció, hogy csapásszámmérőként használva a sportoló felől érkező közvetlen beavatkozás nélkül visszkapcsoljon.



9. ábra: A szenzor fizikai rendszerterve

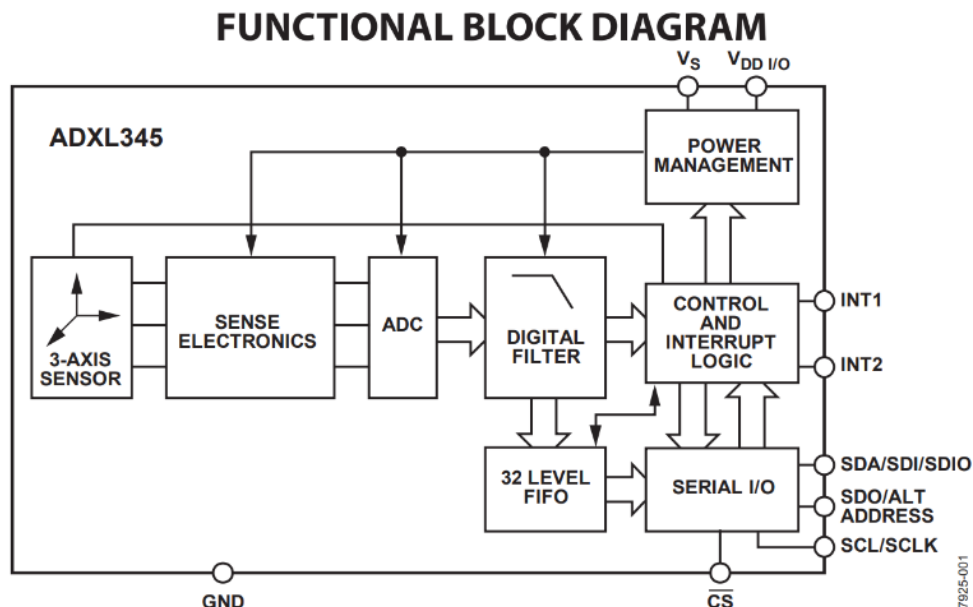
A szenzoregység ebből következtethető logikai működése alapján megköveteli a megszakítások használatát. A fizikai rendszerterven láthatóak a gyorsulásmérő modul és a mikrovezérlő (valamint a nem használt mozgás szenzor és a mikrovezérlő között) lévő INT1, INT2 (, INT3) jelölések. Ezek az áramkörön fizikailag szereplő külön a megszakítások jelzésére szolgáló vezetékeket jelölik, amik vagy kapcsolatban vannak, tehát utólagosan a megszakítást kiszolgáló programrészletben megkülönböztetés szükséges. Emellett, a mikrovezérlő és a Bluetooth modul között megtalálható meg két vezeték WAKE UP és RESET elnevezéssel. A WAKE UP vezeték a Bluetooth modul energiatakarékos alvó üzemmódból való „felébresztésének” céljából van jelen, a RESET vezetékre probléma esetén való újra konfigurálás esetén van szükség. A következő bekezdésekben az egyes modulok közötti kommunikációs paramétereket ismertetem.

A modulok közti kommunikáció is jelölésre került a fizikai rendszerterven: a gyorsulásmérő modul és a mikrovezérlő között I²C-n, a mikrovezérlő és a Bluetooth modul között UART-on. Az I²C a beágyazott rendszerek területén gyakran használt szinkron adatátvitelt megvalósító busz. A kommunikációhoz 2 vezeték áll rendelkezésre. A két vezeték közül az egyik továbbítja az adatokat, a másik az ütemezéshez és szinkronizációhoz szükséges órajelet, erre utal elnevezésük: SDA (Serial Data) és SCL (Serial Clock). [8] A másik megvalósuló kommunikációs szabvány az UART. Az UART, azaz univerzális aszinkron adóvevő egy iparban elterjedt és megbízható soros kommunikáció. A kommunikáció jellege az ismertetett I²C busztól eltérően aszinkron, ami szerint az adatátvitelhez nem szükséges az órajel, a szinkronizáció Baud Rate, start és stop bit beállításával történik. A kommunikáció megvalósítása érdekében fontos ennek pontos beállítása. [9] A kommunikációs paraméterek számszerű beállításait a 7.2. alpontban ismertetem.

4.2 Gyorsulásmérő modul

A szenzor elemeként egy ADXL345 háromtengelyes gyorsulásmérő modul méri a csapásszám megállapítása szempontjából hasznos inercia adatokat. A modul nem csak statikus gyorsulás, de dőlésszög mérésére is alkalmas eszköz. A következő ábrán látható a gyorsulásmérő modul funkcionális blokkdiagramja.

Fontosnak tartom a szenzor működési elvét röviden összefoglalni: egy poliszilikon alapú felület a felületre ható erők megváltozásával elhajlik. Az elhajlás mértéke differenciális kapacitás elven mérhető: a szenzor elhajlásra képes lemezére rögzített fegyverzet a rá ható erők megváltozásának hatására az adott mozgó réteggel kileng, ebből adódóan a kimeneten az elmozdulásnak megfelelő jelváltozás figyelhető meg. [10] [6]



10. ábra: A szenzoron szereplő gyorsulásmérő modul blokkvázlata [6]

Következő lépésben az érzékelő kimenetén mérhető jelből kell a hasznos jelet meghatározni, ez fázis érzékeny demodulációval valósítható meg, amivel meghatározható a gyorsulás iránya és nagysága. Az adatok feldolgozása után a megszakításokat és az irányítást végző részegység az adatoknak megfelelő megszakításként jelzi a mikrovezérlő felé az adott esemény bekövetkezését, ez alapján a mikrovezérlő I²C buszon adatküldést kezdeményez. A működés bővebb leírása a 7.2. alfejezetben található. A megszakítás forrás konfigurálhatósága mellett a mérési tartomány $\pm 2g$, $\pm 4g$, $\pm 8g$, $\pm 16g$ között változtatható. Az alkalmazási területnek megfelelő méréshatár $\pm 2g$. A használat során az egyik legkritikusabb megválaszolandó kérdés a szenzorral szemben az alkalmazási területhez szükséges pontosság, tehát az, hogy

csapásszámmérőként a megengedhető hibahatáron belül vannak-e a mért adatok. Ennek megállapítása során a következő paramétereket szükséges figyelembe venni: a szenzor belső koordináta-rendszer meghatározásából adódó hiba ($\pm 0,1^\circ$), a kereszt-tengelyes érzékenység ($\pm 1\%$), a kimenet felbontása ($\pm 2g$ méréstartomány esetén 10 bit), a szenzor érzékenysége (átlagosan 256 LSB/g, az átlagos érzékenységtől való eltérés $\pm 1\%$), a zajhatások (100 Hz-es kimeneti adatsebesség esetén X és Y tengelyen 0,75 LSB rms, Z tengelyen 1,1 LSB rms), az alvó állapotból való felébresztésnél fellépő késleltetés és nem utolsó sorban a hőmérsékletváltozás hatására fellépő pontatlanságok. Ezek az adatok a szenzor adatlapja szerint 0g gyorsulásra, 25°C-os közegre, 2,5V tápfeszültségre, 1,8V kimeneten megjelenő feszültségre, valamint 800 Hz-es kimeneti adatsebesség értékre vonatkoznak. A fenti jellemzőket összegezve megállapítható, hogy a szenzor alkalmazási területnek megfelelő. [6]

4.3 Mikrovezérlő

A szenzor részeként egy 16 bites PIC24FV32KA302 mikrovezérlő felelős a valós idejű adatok továbbításának ütemezéséért. A szenzor programja C nyelven íródott, ennek futtatását elősegíti, hogy a mikrovezérlő C compiler-re igazított, optimalizált utasításkészlet architektúrával rendelkezik. A használat során Flash memória és SRAM is rendelkezésre áll.

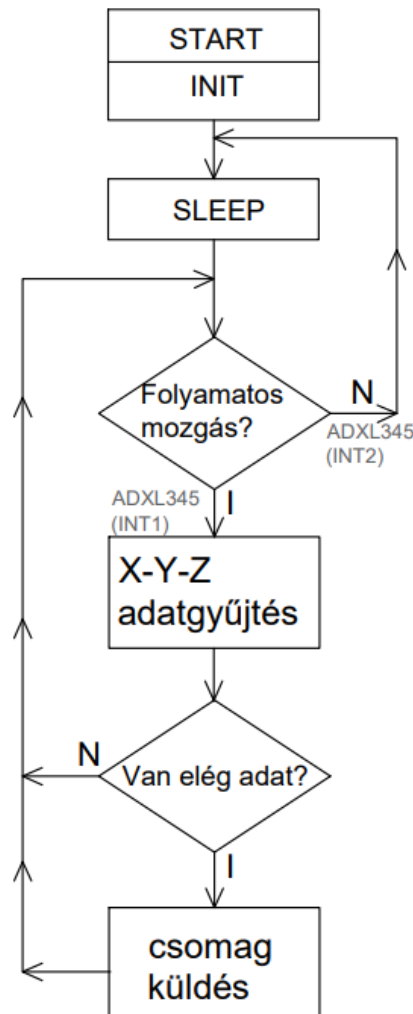
Az alkalmazási területre tekintettel fontos jellemzője, hogy különböző alvó állapot módokkal is rendelkezik. A funkciók jellemzői a következők: „Sleep” alvó üzemmódban a CPU (Központi Műveletvégző Egység), Flash és a perifériák kikapcsolt állapotban vannak, az SRAM „bekapcsolt” állapotban van. A „Deep Sleep” azaz mély alvás állapotban a CPU, Flash, SRAM és a legtöbb periféria kikapcsolt állapotban van, de ebben az esetben több különálló megszakításforrás definiálható, ami hatására az eszköz kilép ebből az állapotból. Ezek az állapotok a programfutási állapothoz lényegesen kisebb fogyasztás miatt előnyösek: a normál módban az áramfelvétel átlagosan 8 μ A, alvó állapotban átlagosan 20 nA. A Deep Sleep állapot elérése a jelen alkalmazásban csapásszámmérőnek felhasználva előnyös, hiszen nem szükséges kikapcsolni a szenzort abban az esetben, ha a sportoló edzés közben egy rövid szünetet tart. A Deep Sleep állapot esetén egy külön Deep Sleep Brown Out Reset (DSBOR) és egy Deep Sleep Watchdog timer (DSWDT) számláló használható, ami független a rendszer Watchdog timer és Brown out reset funkciójától. A Watchdog timer egy alkalmazástól függetlenül futó időzítő, ami ebben az esetben a Deep Sleep módba lépés során nullázódik. A Brown out reset egy rendszer lefagyására való reakció, ami például feszültség ingadozás során lép fel. Mivel csapásszámmérőként a szenzor használatának célja mozgás közben történő mintavételezés, ezért az energiafogyasztás miatt előnyös, ha a mikrovezérlő nyugalmi állapotban Deep Sleep üzemmódba lép. A szenzor bekapcsolásának viszont a mozgás megkezdődésének hatására minél előbb el kell kezdenie méréseket végezni, ezért a Deep Sleep üzemmódból való felébresztés megszakítások használatával történik. [11] A Watchdog timer az alkalmazásnak megfelelően a szenzor nyugalmi helyzetbe lépését követően egyfajta „késleltetésként” használjuk a mikrovezérlő mély alvása előtt, ennek hatására javul a szenzor energiafogyasztása.

4.4 Bluetooth modul

A szenzorral való kommunikációt a csapásszámmérő rendszeren belül egy BM70-es Bluetooth modul támogatja. Ez az alkatrész Bluetooth Low Energy modulként a szenzor számára alacsony fogyasztást tesz lehetővé, amit a BLE 4.2 protokoll hatékony keretkihasználása, a szoftveres és a hardveres megvalósítás is kiegészít. Ennek eredményeképpen az akkumulátor üzemideje használat közben is jelentősen megnő. A modul több Bluetooth kommunikációs profilt támogat, mint például a GAP (Generic Access Profile), a GATT (Generic Attribute Profile), SMP (Security Manager Protocol) és az L2CAP (Logical Link Control and Adaptation Protocol). Ezek közül a szenzoron belül a GAP protokoll kerül alkalmazásra. A GAP a Bluetooth Low Energy protokoll részeként határozza meg a készülékek közötti kapcsolattartás jellemzőit és az adott eszköz betöltött szerepét a kommunikáció során. A GAP protokoll szerint az általam elképzelt csapásszámmérő rendszer részeként a szenzor slave eszközként, az adatokat hirdetőcsomagokba rendezve „hirdeti” az adatok fogadására és kiértékelésére képes mobiltelefonos alkalmazásnak. Ennek részletes leírása a 8. fejezetben található. A rádiófrekvenciás jellemzőit tekintve a modul az ISM (Industrial-Scientific-Medical) ipari, tudományos és orvosi alkalmazások számára behatárolt frekvenciasávot (2,402 GHz – 2,480 GHz) használja. A kommunikáció megvalósításához az eszköz belső antennával és egy 32 MHz-es kristály oszcillátorral rendelkezik. [12] [13]

A 4.2 és 4.3 alpontokban említettekhez hasonlóan ennél a modulnál is van lehetőség a modul elaltatására, ennek elősegítésére a modul a szenzoron fizikailag elkülönülő Wake Up vezetékekkel rendelkezik. A folyamat részeként a gyorsulásmérő mozgás érzékelését és a mikrovezérlő Deep Sleep üzemmódból való felébredését követően a Bluetooth modul az említett vezetékeken keresztül magas értéket kap, majd a mikrovezérlő által UART-on keresztül továbbított adatokat csomagokban hirdetni kezdi. A modul egészen addig van csak bekapcsolt állapotban, amíg aktívan adatokat továbbít.

5. Szoftver logikai rendszerterv



11. ábra: Szenzor logikai rendszerterve

A fenti képen látható az adatgyűjtést végző szenzor logikai rendszerterve, ami alapján történt a szenzor programozásának kivitelezése. A szenzor alapállapotban az energiatakarékosság biztosításának érdekében sleep üzemmódból indul. Csapásszámmérőként alkalmazva a mozgás szolgáltatja a hasznos információt, tehát itt erre az állapotra kell a szenzornak figyelni. Ez az információ az ADXL345 gyorsulásmérő modul lehetséges megszakításainak paraméterei között kell beállítani a programozása során. A gyorsulásmérő modul ebben az esetben két állapotban generál megszakítást: az egyik megszakítás mozgás érzékelésének hatására (INT1) az adatgyűjtés megkezdését, a másik (INT2) hosszabb késleltetési idő lejártá után alvó üzemmódba való kapcsolását eredményezi. [6] Amennyiben egy csomag összeállítására elegendő adat gyűlik össze, a szenzor Bluetooth moduljának

segítségével a mikrovezérlő által összeállított adatcsomagok továbbításra kerülnek. Az adatok mintavételezése során fontos tényező még, hogy a szenzor ne csak a mozgás megkezdésének időpontjában gyűjtsön adatot, hanem folyamatosan, egészen a mozgás teljes megszűnéséig, amíg a gyorsulásmérő újabb megszakítást nem generál. A nyugalmi állapot bekövetkezésével megszakítás generálása után először kikapcsol a gyorsulásmérő modul, majd a megszakítás hatására a mikrovezérlő is, ami ezzel egyidejűleg kikapcsolja a Bluetooth modult is. Mivel a szenzor a késleltetési idő lejárta után nyugalmi állapotban részlegesen kikapcsol, (a jelentős energiafogyasztást jelentő funkciók letiltásra kerülnek és csak a feltétlenül szükséges funkciók működnek) a szenzor külön kikapcsolására (fizikailag) nincs szükség. Ez a funkció megkönnyíti a csapásszámmérő felhasználójának, hogy erre a ne kelljen figyelmet fordítania, a szenzor automatikusan alkalmazkodik. Ezekből adódóan a csapásszámmérőt külön bekapcsolni sem szükséges. Eredetileg terveim között szerepelt, hogy az adatcsomagok hirdetése helyett közvetlen Bluetooth kapcsolat legyen a csapásszámmérő szenzor és a megjelenítést végző mobiltelefon között. Ennek elvetését a továbbfejlesztési lehetőségek mellett még az is indokolhatta, hogy hirdetőcsomagok adásával sokkal kisebb késleltetési idő szükséges kikapcsolás előtt, mint közvetlen Bluetooth kapcsolat kialakítása esetén: az első esetben nem gond, ha a szenzor inaktivitás után hirtelen kikapcsol. Példának vehetjük a következőt: a szenzort használó versenyző az edzés közben rövid pihenőt tart, majd a pihenő után tovább folytatja az edzést. A pihenő közben a hajó (a víz esetleges sodrásától eltekintve) mozdulatlan állapotban van. Közvetlen Bluetooth kapcsolat esetén a szenzornak a pihenő alatt is aktív állapotban kell maradnia, ezzel ellentétben hirdetőcsomagok esetén nem kell közvetlenül a szenzorhoz kapcsolódnia. Emiatt az energiafogyasztás is csökkenthető csupán ezzel a változtatással.

6. Evezős mozgáshoz való igazítás

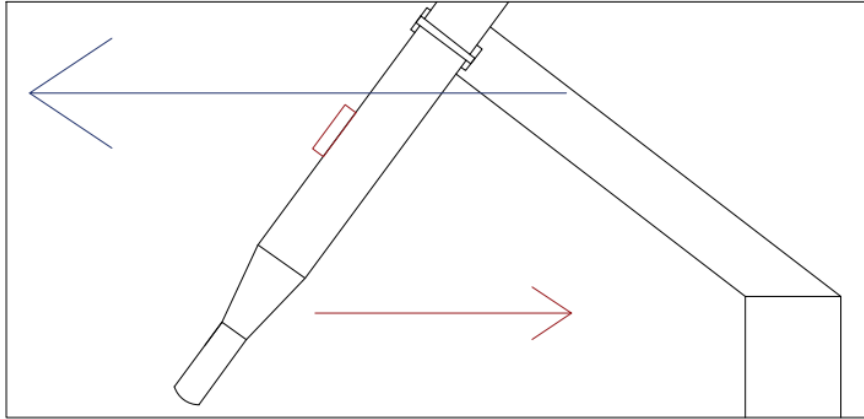
A logikai rendszerterv megismerése után felmerülhet még a mintavételezés gyakoriságának kérdése. Egy csapáson belül milyen gyakorisággal szükséges egy evezős hajó mozgásából értékeket rögzíteni, hogy az adott mintákból a sebesség és a csapásszám megfelelően nélkül kiszámítható legyen?

Ennek meghatározásához szükség van egy mérési határértéket megállapítani. Időhöz köthető mintavételezésről beszélünk-e, vagy elforduláshoz, esetleg a gyorsulásvektor irányának megváltozásához köthető? A megvalósítás szempontjából a legelőnyösebb a mintavételezést időhöz és a mozgás meglétéhez kötni. Ezek alapján jelentősen nagyobb adatfolyam rögzíthető, aminek elemzésével pontosabb értékek állapíthatók meg. A megfelelő mintavételezési frekvencia érdekében szükséges egy mérési határérték megállapítása, ami meghatározza azt a frekvenciát, amivel a számítások elvégzéséhez megfelelő mennyiségű adatot kapunk. Ehhez a lehetséges legnagyobb csapásszám meghatározására van szükség. Személyes tapasztalataim szerint a GPS alapú csapásszámmérő által mért abszolút maximális érték 60 csapás per perc. Ez egy irreálisan magas érték⁴, így a csapások „frekvenciája” körülbelül 0,83 Hz. A csapásszám értékének hiba nélküli mérése céljából a mintavételi frekvenciát úgy állítottam be, hogy a maximum értékhez viszonyítva is csapásonként legalább 7 minta készüljön. Az ez alapján kiszámított érték kibővítve 6,25 Hz.

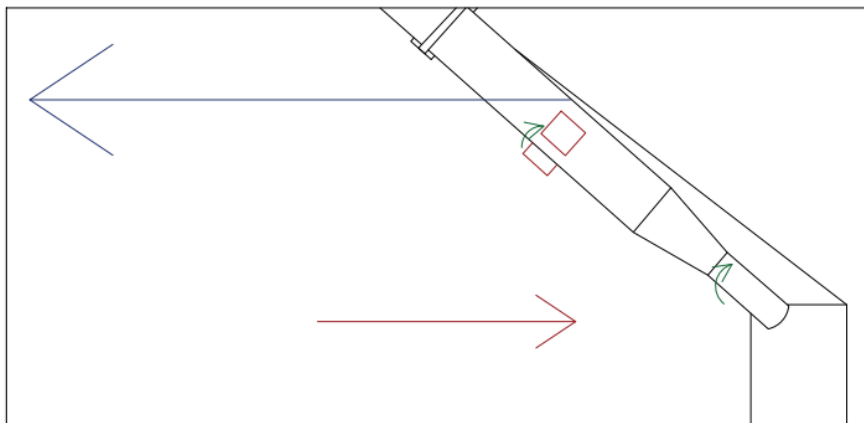
A mintavételezés módja mellett hasonlóan fontos a mintavételezett adatok feldolgozásának módja. Mivel a gyorsulásmérő szenzor alapvetően mozgás megléte alapján méri az adatokat, szükséges a hasznos adatok kinyerése végett bizonyos adatszűrési feltételeket kell meghatározni. A felhasználói felület így a megfelelően mintavételezett jelből, az említett adatszűrési feltételek felhasználásával lesz képes kiszámítani és megjeleníteni a csapásszámot. A szűrési jellemzők a szenzor elhelyezése alapján jelölhetőek ki. Ezt a 9. fejezetben található 20. ábra ismerteti. Az említett elhelyezés megválasztásával látványosan és egyszerűbb módon meghatározható a csapásszám. Ez a lapát által megtett mozgásnak köszönhető, mivel az evezési folyamat közben változik a gyorsulásvektor iránya, és a lapát orientáltsága is. A lapát orientáltságának változásából nem minden esetben lehet egyértelműen meghatározni a csapásszámot, mert az evezős sportban az evezési technika fejlesztésének céljából edzés közben előfordulhat, hogy a lapátokat a sportoló nem forgatja. Ebben az esetben is megfelelő a mérési

⁴ A csapásszám értéke verseny közben jellemzően 28-37 közötti értéket vesz fel. Ennél nagyobb érték előfordulása esetén feltételezhető, hogy nem teljes csapásról beszélünk.

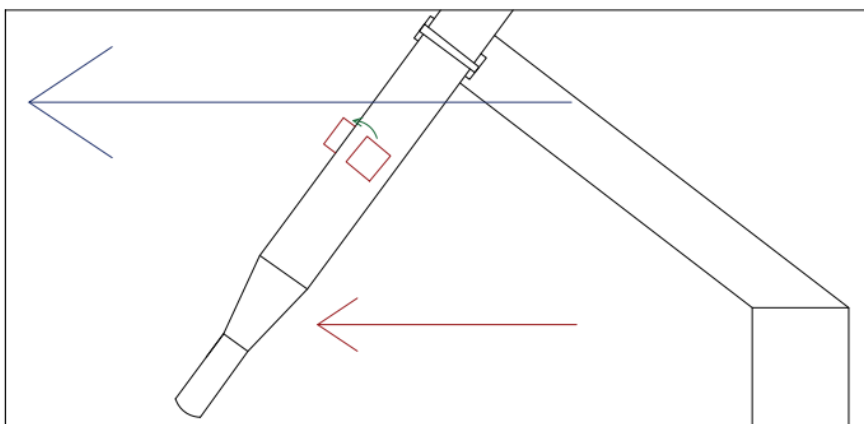
elv, hiszen a lapátok gyorsulásának iránya ugyan úgy megváltozik. Egyelőre a jelenlegi alkalmazásban egyszerűsítés céljából feltételezzük, hogy a sportoló minden esetben a lapát forgatásával halad. A következő oldal képeiben egy evezős csapást bontottam folyamataira a haladási irány és a lapát gyorsulás vektorának feltüntetésével.



12. ábra: Lapát indulási állapota



13. ábra: A lapát vízfogáskor



14. ábra: A lapát helyzete erő kifejtés után

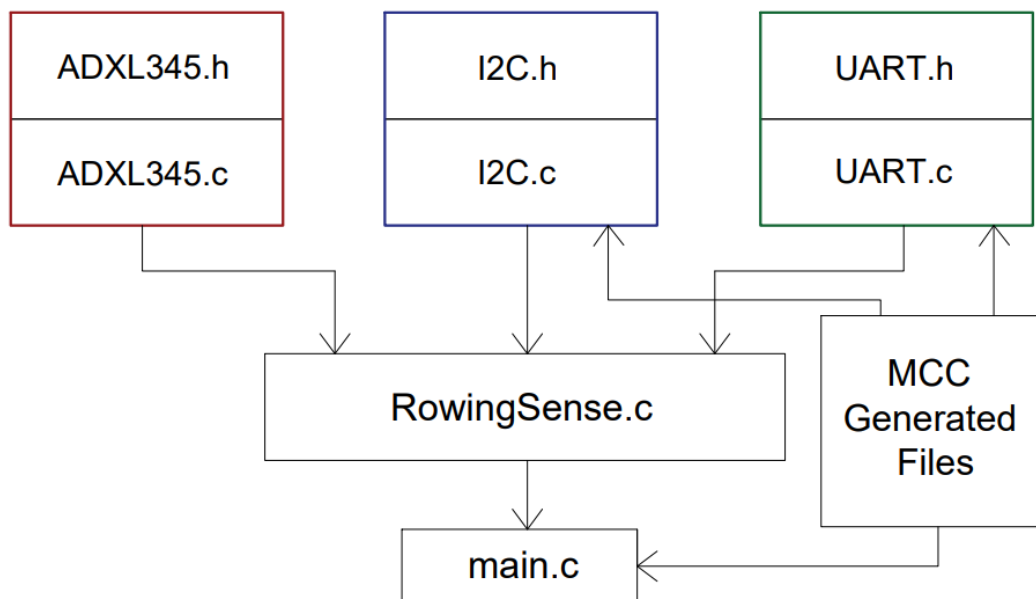
Az ábrákon a hajó haladási irányát kék, a lapát mozgásának irányát piros, a lapát és egyben a szenzor forgatásának irányát zöld nyilakkal jelöltem. A folyamatban az első kép (12.ábra) a jelenleg feltételezett indulási állapotot illusztrálja. Ebben az állapotban a lapát a sportoló öléből indul, a lapátot a víz felett csúsztatva, a lapátot a vízzel párhuzamosan vezetve indul meg a vízfogási állapot felé. A vízfogási állapot előtt a sportoló a lapátot 90° -kal elforgatja. A sorban következő ábrán a vízfogási állapot látható a lapát beforgatása után. A lapát beforgatásával a szenzor is elfordított állapotba kerül, aminek eredményeképpen a gyorsulásmérő modul által rögzített adatok a szenzorhoz rögzített koordináta-rendszer alapján megváltoznak. A vízfogást követően az erő kifejtés szakaszában a lapátot a sportoló a vízfogási állapotból maga felé húzza. A 14. ábra az erő kifejtés utáni állapotot mutatja, amikor a lapát egy körülbelül 90° -os forgatás után visszatér az eredeti kiindulási állapotba.

Az így meghatározott állapotokat alapul véve az adott mozgási állapotokban a lapát elfordulását tekintve a szenzoron található gyorsulásmérő modul alapján koordináta-rendszer rendelhető. A gyorsulásmérő modul koordináta-rendszere alapján rögzített mérési eredményekben az x, y, z koordináták előjelei ennek eredményeképpen a mozgás különböző állapotaiban eltérnek. Ennek ellenére a mozgás mintavételezés nem az elfordulástól függ. A szenzor az evezős sportban előforduló csapásszám értékek alapján beállított mintavételezési frekvenciával rögzíti az adatokat a mozgás minden szakaszában. Az így rögzített adatok alapján megkülönböztethetők az evezős mozgás közben fellépő állapotok, az adatokhoz a felhasználói felületet megvalósító alkalmazásban időbélyeg hozzárendelésével meghatározható a szenzor felvett helyzetei között eltelt idő. A mintavételi frekvencia ismeretében és a fent említettek alapján meghatározható a lapát mozgásának iránya is. Ez a lapát helyzetét jelenti az adott csapáson belül, azaz a gyorsulásvektorok egymáshoz viszonyított irányát. Ennek meghatározására azért van szükség, mert csupán a lapát forgatásából nem biztos, hogy minden esetben határozható meg a csapásszám értéke. De milyen módon lehet megkülönböztetni koordináta-adatok alapján a két vektor párhuzamosságát vagy ellentétes viszonyát? A szenzor által továbbított adatcsomagokat fogadás közben időbélyeghez rendeljük. Feltéve, hogy a szenzor mintavételezési frekvenciája az evezős mozgáshoz viszonyítva elég gyors, a két minta között eltelt idő és az adott pontban felvett koordináta-értékek alapján meghatározható a két gyorsulás. Az ezek alapján meghatározott mintáknál megfigyelhető, hogy a lapát gyorsulásvektor és a hajó gyorsulásvektor párhuzamossága esetén változatlan mintavételezési frekvenciával nagyobb a két pont között megtett távolság. Ellenkező esetben viszont a mintavételi pontokban felvett értékek távolságot tekintve sűrűsödni látszanak.

7. Szenzor szoftveres megvalósítása

7.1 A szoftveren belüli függőségek és megszakítások kezelése

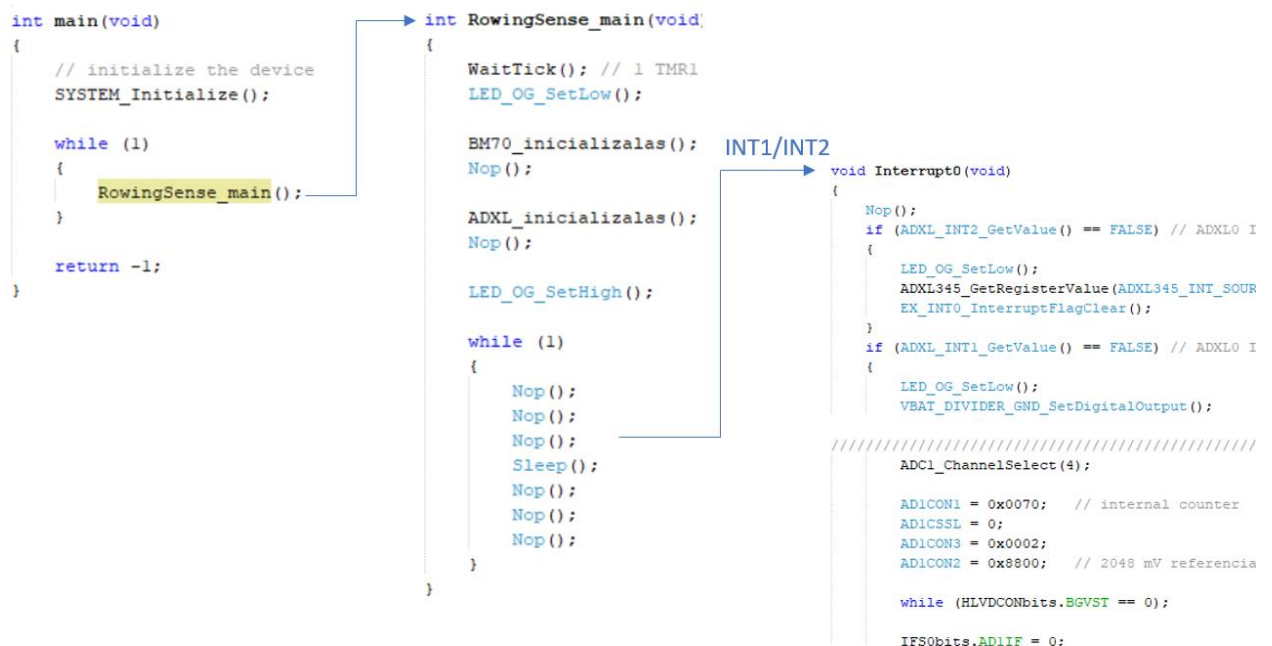
A szenzor számára az 5. fejezetben ismertetésre kerültek a logikai rendszerterv alapján a megvalósítandó követelmények. Az így definiált szoftver felépítését és függőségi kapcsolatait a 15. ábra jeleníti meg. A szoftver tervezése során első lépésként a fejlesztői környezethez tartozó Microchip kód konfigurátor (továbbiakban MCC) segítségével beállításra kerültek az eszközt jellemző paraméterek és felhasználni kívánt perifériák. A beállított adatok alapján ezeket az alapbeállításokat tartalmazó C és header állományok automatikusan létrehozásra kerülnek. Ezeket az állományokat az ábrán az MCC Generated Files (MCC által generált fájlok) pont jelöli. Ezek közé tartoznak például: az órajelre és időzítésre vonatkozó beállításokat, a kommunikációs csatornák alapbeállításai (I²C és UART), külső megszakításokkal kapcsolatos beállításokat tartalmazó fájlok. Ezek a fájlok csak a mikrovezérlő periféria szintű beállításait tartalmazzák, a kommunikációt kezelő függvények külön kerültek csoportosításra.



15. ábra: Szoftver függőségi kapcsolatai

Az ábrán látható, hogy a main.c állomány MCC által generált fájlokra való hivatkozása azzal indokolható, hogy a rendszer szintű beállítások a main függvényben kerülnek meghívásra. A main.c állományban ezek mellett a konfigurációs bitek is beállításra kerülnek, például: oszcillátor kiválasztását meghatározó, watchdog timer előosztásának beállítására szolgáló,

brown out reset enable bitek. Ezen paraméterek, mint például a watchdog timer is külön funkcióval van felruházva az adott alkalmazásban. Az ábrázolt függvénykönyvtár használatával képes a szenzor hatékonyan a mozgás érzékelésére és rögzítésére. Az 5. fejezetben tárgyaltak alapján ennek megfelelően a következő feladat a mintavételezés szoftveres leképezése. Az említett fejezetben mozgás hatására kiváltott, adott frekvencia szerinti mintavételezést állapítottam meg. Ennek szoftveres leképezése megszakítások definiálása mellett adott frekvenciával történő mintavételezés formájában valósul meg. Megvalósítása a következő: a main.c állományon belüli rendszer inicializálást követően a main végtelen ciklusán belül a RowingSense állomány „fő” függvénye kerül meghívásra, majd ebben a függvényben a további alapbeállításokat követően ismételten szerepel egy végtelen while ciklus. Ebben a végtelen ciklusban a 16. ábrán is látható utasítások szerepelnek. A RowingSense.c állomány main függvényében látható utasítássorozat valósítja meg a logikai rendszerterven (11.ábra) látható, indulás után felvett alvó állapotot. Az említett alvó állapotból csak bizonyos megszakítások hatására „ébred fel” a szenzor, amiket jelen esetben a gyorsulásmérő modul alapján definiálhatunk. Ennek működését a következő ábra ismerteti.



16. ábra: Megszakítások folyamata

A két gyorsulásmérő modul által kijelölt megszakítást kiváltó esemény bekövetkezése után a program az ezt kiszolgáló rutinra ugrik, ami a két esemény számára azonos. Itt a forrás megkülönböztetése után valósulnak meg az ennek megfelelő, logikai rendszertervben meghatározott funkciók.

7.2 Kommunikáció kezelése

Ebben az alfejezetben a szenzorrendszer moduljai között megvalósuló kommunikációs csatornák paramétereit mutatom be és azok adottságainak kihasználását az alkalmazás szempontjából. Elsőként a gyorsulásmérő és mikrovezérlő között megtalálható soros I²C busz működését és jellemző értékeit ismertetem. A szenzor esetében egyszerű master-slave kapcsolat van jelen. A busz működési elve a következő: a buszt használó slave eszköz(ök) csak akkor továbbítanak adatot, ha a master által kezdeményezve volt az adatküldés. A kommunikáció folyamata a következőként alakulhat: a master eszköz küld adatot, a másik esetben a master kér adatot a slave modultól. A szenzor tekintetében a következő esetek fordulhatnak elő: a mikrovezérlő adatküldés után abban az esetben nem vár választ a gyorsulásmérő slave modultól, amennyiben az üzenet célja a slave energiatakarékos üzemmódba való állítása. Másik esetben a master adatkérése akkor valósul meg, ha a gyorsulásmérő megszakítást jelzett az erre a célra kitalált vezetékek egyikén, amik használata azért is előnyös, mivel erre nem vonatkozik az I²C buszra vonatkozó hierarchia, tehát ebben az alkalmazásban a slave modul is kezdeményezheti a kommunikációt.

A szenzoron belüli adatátvitel a mikrovezérlő és a Bluetooth modul között UART-on történik. Az ehhez tartozó paraméterek közül a felhasználó által a rendszerhez igazítva kalibrálható a Baud Rate. A Baud Rate nem megfelelő vagy pontatlan beállítása információvesztéshez is vezethet, ennek előre definiált szabványosított értékei a következők lehetnek: 110, 300, 600, 1200, 2400, 4800, 9600, 14400, 19200, 38400, 57600, 115200, 128000 és 256000 bit/s. A pontos beállítást a mikrovezérlőn belül az órajelből az osztó regiszterek állítják elő. Az osztó regiszter számára a pontos értéket az érték kiszámításához szükséges képletből tudjuk származtatni, ami a következő:

$$BaudRate = \frac{F_{CY}}{4 \cdot (U2BRG + 1)} \quad (1)$$

$$U2BRG = \frac{F_{CY}}{4 \cdot BaudRate} - 1 \quad (2) [11]$$

$$\text{ahol } F_{CY} = \frac{F_{OSC}}{2} \quad (3)$$

A szenzor esetében az érték hiba nélküli előállításához egy 3,6864 MHz-es kvarc oszcillátor biztosítja az órajelet. Ezzel az értékkel standard soros vonali sebesség a mikrovezérlő belső osztó regisztereivel 0%-os hibával számítható ki. A beállítani kívánt Baud Rate érték 115 200,

tehát ez alapján szükséges ebben U2BRG regiszter értékét beállítani. A kiszámított érték a következő:

$$F_{CY} = \frac{F_{OSC}}{2} = \frac{3,6864 \cdot 10^6}{2} = 1,8432 \text{ MHz} \quad (4)$$

$$U2BRG = \frac{1,8432 \cdot 10^6}{4 \cdot 115200} - 1 = 3 \quad (5)$$

Az előző bekezdésben az I²C busz adatküldési folyamatához hasonlóan szeretném ezt az UART esetében is ismertetni. UART esetében a kommunikáció full duplex és fél duplex módon is megvalósulhat. A két megvalósítás a következőképpen hasonlítható össze: mindkettő két irányú kommunikációt jelent, azonban full duplex esetben történhet ez egyidőben is. Ebben az esetben fél duplex kommunikáció valósul meg, hiszen a master és a slave modul közötti üzenetváltások között mindig megtalálható az üzenet nyugtázása. Az adatátvitel során konfigurálható az adatkeretek felépítése is, ami ebben az esetben „8N1”, tehát az adatkeret 8adatbitből, és egy stop bitből áll, emellett nem rendelkezik paritásbittel. [14] [9]

A szenzor szoftveres leírását tartalmazó fejezet zárásaként megállapítható, hogy az eddig megvalósított funkciók nem merítik ki a rendelkezésre álló erőforrásokat. A szenzor memóriakapacitását a jelenlegi alkalmazás 7%-ig használja ki, ami a továbbfejlesztési lehetőségek figyelembevételével hasznos tulajdonság.

7.3 Hirdetőcsomag felépítése

A mért adatok Bluetooth-on való továbbítása előtt a csomag szoftveres összeállítására van szükség. A következő sorokban látható egy ilyen érkezett adatcsomag felbontása:

001C700200419A32F481341101014300000180018D075CFF2A0063FFB0B8

001C: csomag hossza
70: esemény meghatározása – (7x: GAP, 70: hirdetőcsomag - advertising report)
02: esemény típusa – (02: scannable undirected advertising (ADV_SCAN_IND))
00: cím típusa - publikus (Public Device Address)

419A32F48134: BM70 modul MAC cím

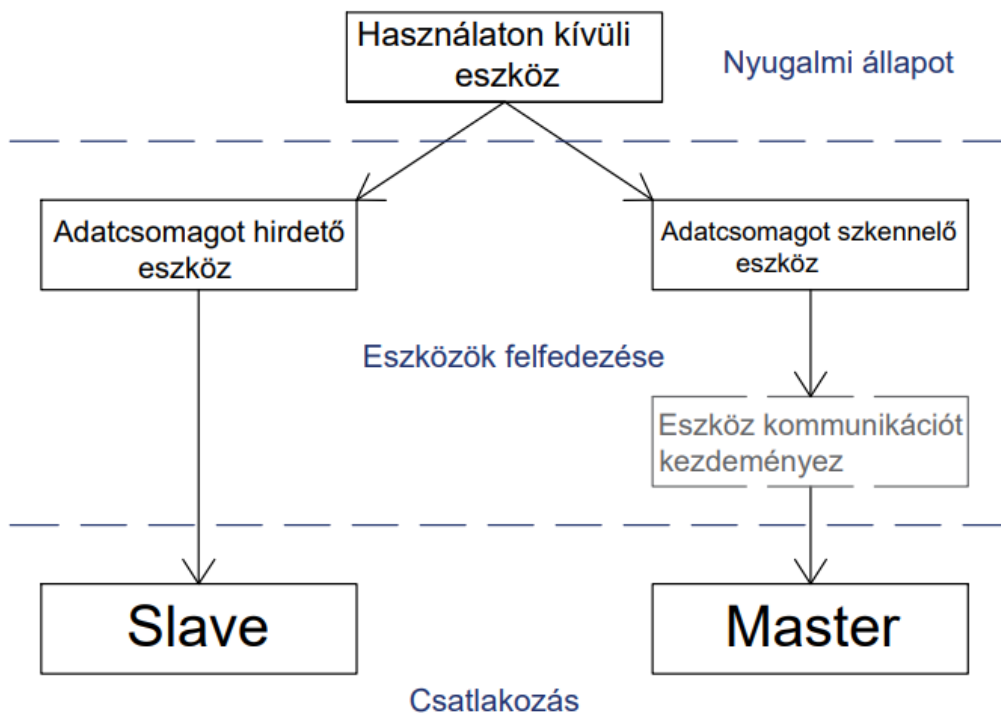
11: adathossz

Az egyértelműen az üzenet tartalmában szereplő koordináta-adatok mellett egyéb hasznos adatok továbbítására is lehetőség van. A csomagban elsőként az üzenet hossza szerepel ezzel a csomag feldolgozását segítve, ezt követi az adott esemény jellegét meghatározó, GAP protokollra jellemző kód. Ennek ebben az esetben (és a szenzor ezen alkalmazása során mindig) értéke 7, ami csomag hirdetésére jellemző érték. A következő egy ezt kiegészítő információtartalommal rendelkező altípust ad meg, ami szkennelhető indirekt hirdetést határoz meg. A csomagban következő a hirdetést végző Bluetooth modul egyedi azonosítója (MAC address). További adatvesztés ellenőrzési lehetőségként külön, csak az adatok hosszát megadó részlet is szerepel, amit az adatok követnek. A csomagot egy RSSI, azaz a jel erősség értékének megjelenítését számszerűsítő érték zárja.

8. Szenzorral való kommunikáció, kommunikációs szerepek

A következő ábrán látható a megvalósított csapásszámmérő rendszer GAP protokollnak megfeleltetése. Az eszköz nyugalmi állapotból indul (ami ebben az esetben a szenzor számára az alvó üzemmód). A kommunikációt először a szenzor oldaláról vizsgálva az adatcsomag összeállítása után azt egyből hirdetni kezdi. Ebben az alkalmazásban a szkennelő eszköz „szkennelési kérése” nélkül, publikus üzenetként szerepel az adatcsomag. Ez megengedhető, hiszen a rendszer által megvalósított funkciók nem teszik azt biztonságkritikussá. A két szerep között megállapítható master-slave kapcsolat van.

A jelenlegi alkalmazásban az említettek szerint csak publikus adatkeretről van szó, azonban ez a két eszköz között zárt kapcsolatként is kalibrálható. A leírt kapcsolat létesítéséhez már szükség van a master eszköz által való (a slave felől kommunikációt kezdeményező adatkeretre válaszolva) szkennelési kérés kiadására.



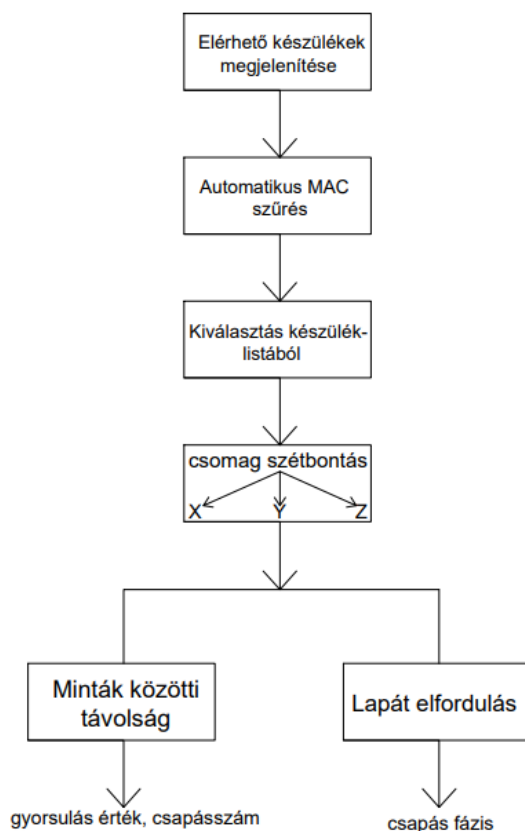
17. ábra: GAP protokoll szerint betöltött szerepek állapotdiagramja⁵

⁵ Az ábra a jelenlegi rendszerre [12] forrás alapján lett vonatkoztatva

Az így kialakult kapcsolat a két eszköz között transzparens UART összeköttetésként is felfogható. A kommunikációs paraméterek így történő beállítása viszont a csapásszámmérő szempontjából határokat szab a rendszer kibővítésének. A szemléltetett direkt kapcsolat létrejöttékor már nincs lehetőség egyszerre több szenzor használatára. [12]

9. Felhasználói felület

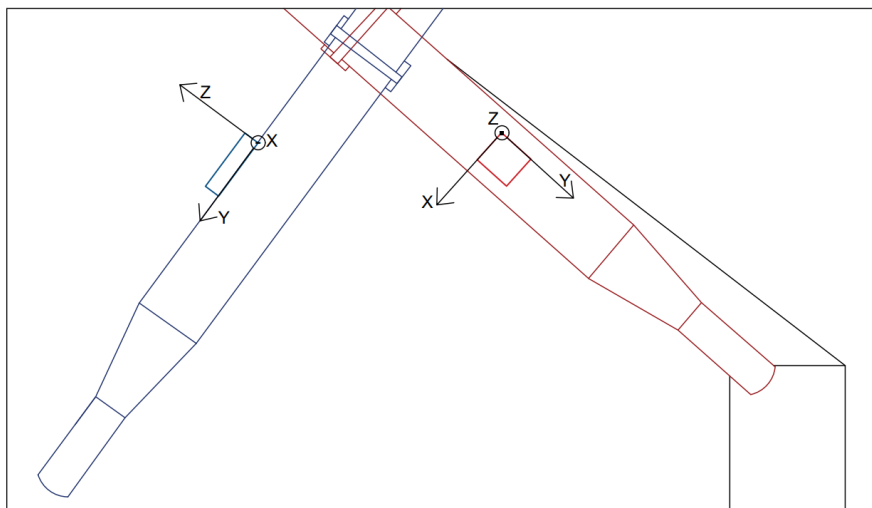
A felhasználói felülettel szemben támasztott elvárások főleg az adatok megjelenítése szempontjából kerültek megfogalmazásra. Elsődleges feladat a csapáásszám megjelenítése, emellett az elindulás óta eltelt idő és a megtett távolság. Ennek hatékony felhasználása érdekében a felhasználóval való interakció szempontjából a minimális követelmény Start, Stop és Reset gombok konfigurálása. További interakcióra a szenzor kiválasztása során számíthatunk. A következő ábrán látható az elképzelt felhasználói felület logikai rendszerterve. Az elérhető készülékek megjelenítése során mivel ebben az alkalmazásban a függetlenül csomagot hirdető eszközök által történnek a mérések, ezért ilyen kritériummal rendelkező szűrés szükséges. Adott egy időintervallum az eszközök keresésének megkezdése után, amikor az összes ilyen csomagot hirdető szenzor azonosítója naplózásra kerül a rendszer által, amik közül a választás megkönnyítése érdekében a szoftver automatikusan listázza a Bluetooth modul gyártójára specifikus MAC címmel rendelkező, hirdetést végző eszközöket. Ebben az intervallumban a megfelelő szenzor érzékeléséhez szükséges annak megmozgatása, hogy a használni kívánt eszköz mindenképpen a felajánlott opciók között szerepeljen.



18. ábra: A felhasználói felület logikai rendszerterve

Az ez alapján kiválasztott készüléket a rendszer megjegyzi, és a következő csomag érkezésekor már csak a kiválasztott szenzor azonosítójával rendelkező hirdetőcsomagok tartalmát értelmezi. Ily módon kikerülhető a folyamatos újra-csatlakozás. Ezek után a csomag értelmezése és szeparálása következik, előtérbe helyezve a koordináta-adatokat. A csomagban közvetített egyéb adatok is kinyerésre kerülnek, mint például a szenzor töltöttsége, amiről ezt követően a felhasználói felület tájékoztatást ad.

A kiszűrt helyzetet meghatározó adatok a szenzorhoz rendelt koordináta-rendszer alapján értelmezendők, amik a szenzort a lapátra helyezve pontosan leírják annak mozgását. Tekintve, hogy a szenzorok a 3.4. alfejezetben is ismertetett elhelyezés szerint vannak a lapátra rögzítve, a szenzor koordináta-rendszere a következő síkokban található:



19. ábra: Rögzített szenzorhoz tartozó koordináta-rendszerek

Elsődlegesen a megvalósítás és a mérési eredmények egyértelmű értékelésének egyszerűsítése miatt a szenzor felhelyezésének iránya is rögzítve van, de a fejlesztési tervek között szerepel ennek felismerésére szolgáló logikai művelet megtervezése. A 19. ábrán késsel a szenzor indulási állapotát, pirossal a vízfogási állapotot jelöltem. A szenzorhoz rögzített koordináta-rendszerek alapján mért adatok alapján meghatározható a lapát forgatása. A gyorsulás ettől eltérő módon, a szenzor által rögzített minták között eltelt távolság alapján határozható meg. A két módszer alapján kiszámítható jellemzőkből a csapásszám egyértelműen meghatározható, az így kiszámított értékeket a felhasználói felület valós időben kijelzi. A megjelenítő felületként szolgáló alkalmazás modelljét a 3.3 fejezetben található ábra mutatja.

10. Továbbfejlesztési lehetőségek

A továbbfejlesztési ötletek között szerepelnek a rendszer használatának megkönnyítése és a szenzor méretéből adódó előnyök alapján elképzelt javítások. Elsődlegesen edzést és elemzést javító funkcióként a szenzor-mobiltelefon kapcsolatot kihasználva a telefonon bizonyos mértékig naplózási funkció is megvalósítható. A helytakarékosság miatt a Start és Stop gomb megnyomása között eltelt idő és az ez alatt mért mennyiségek átlagértéke és a megtett távolság kerülne csak naplózásra.

Ehhez hasonlóan egy elemzést elősegítő funkció is megvalósítható lenne a szenzor elektronikájának egy LoRa⁶ chippel való bővítésével. A bővítés célja a szenzor által közvetített üzenetek hatótávolságának növelése, mivel ennek használatával akár a partról vagy egy motorcsónakból a felkészülést felügyelő edző számára is láthatóvá válhatnának a mért adatok. A távolságok áthidalásával az adatok így módon egyszerre láthatóak az edző és a sportoló előtt megjelenített felhasználói felületen.

A funkcióbővítések között szerepel még a több szenzor használatával való mozgáselemzés ötlete is. Ezt a lehetőséget véleményem szerint kettes hajóegységben, két szenzor használatával lehetne a legjobban kihasználni. Kettes hajóegység felépítése a következő: a hajóegységben két sportoló egy-egy lapáttal, ellenkező oldalon evez. Ebben az esetben a sportolók lapátjaira szerelt szenzorok által mért adatok utólagosan összehasonlíthatók, ez alapján elemezhetővé válhat a csapás hatékonysága és az egység egyensúlya, amivel javíthatóvá válik a teljesítmény. A felvázolt funkciók megvalósítása és a további lehetőségek feltérképezése terveim között szerepel.

⁶ Vezetéknélküli IoT kommunikáció [15]

11. Összefoglalás

TDK dolgozatom megvalósítása során egy evezős sportban használható csapásszámmérő rendszert készítettem el. Ez az általam eddig használt eszközöktől elképzelés tekintetében és mérési elv szempontjából is eltér. A piacon elérhető csapásszámmérők GPS-es helyzetmeghatározás segítségével, az általam megvalósított rendszer egy gyorsulásmérő szenzoron alapuló helyzetmeghatározást használ. Alkalmazásomban az eddig ismert eszközök bizonytalanságait figyelembevéve határoztam meg a választott szenzor által teljesítendő követelményeket. A szenzor programjának működés alapján való definiálásával együtt elkészült az ez alapján tervezett szoftver. A szoftverben megfelelően kezelésre kerültek a szenzor modulok közti kommunikációs formák. Az ily módon az inercia adatok mérésére és továbbítására képes szenzor az evezős mozgás és a külső, ezt befolyásoló tényezők elemzése után megfelelően elhelyezésre került a hajón belül. Az elhelyezés kiválasztásának eredményeképpen a szenzor adatok értelmezéséhez különböző módszerek kerültek meghatározásra a mérések utáni adatszűrés szempontjából. Ez után az evezős mozgásra jellemző fizikai mennyiségek nagyságának felvázolásával megállapítható volt a mintavételezés sebessége és módja. Az így gyűjtött adatokból összeállított csomag megismerése után a rendszerelemek (szenzor és megjelenítést végző eszköz) között megvalósuló, protokoll alapján felvett kommunikációs szerepek elemzése és az azok alapján levonható következtetések szerepelnek. Ezt az adatokat megjelenítő felhasználói felület logikai működésének bemutatása követi a megállapított adatszűrési feltételeket alkalmazva. Végül, de nem utolsó sorban az eddig megvalósított funkciók mellett a folyamatos fejlesztés elvét igyekeztem a témával kapcsolatban szem előtt tartani a fejlesztési lehetőségek bemutatásával.

12. Felhasznált irodalom

- [1] „Sliding Seat Rowing Geometry,” [Online]. Available: <https://angusrowboats.com/pages/rowing-geometry>. [Hozzáférés dátuma: 15 09 2023].
- [2] [Online]. Available: <https://www.concept2.com/service/oars/setting-inboard>. [Hozzáférés dátuma: 17 9 2023].
- [3] „SpeedCoach GPS 2,” [Online]. Available: <https://nksports.com/speedcoach-gps-2>. [Hozzáférés dátuma: 31 10 2023].
- [4] „NK Impeller,” [Online]. Available: https://nksports.com/speedcoach-impeller_1. [Hozzáférés dátuma: 31 10 2023].
- [5] „EmPower Oarlock,” [Online]. Available: <https://nksports.com/empower-oarlock>. [Hozzáférés dátuma: 31 10 2023].
- [6] „ADXL345 Datasheet,” [Online]. Available: <https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/adxl345.pdf>. [Hozzáférés dátuma: 8 10 2022].
- [7] „SpeedCoach Instruction Manual,” [Online]. Available: <https://nksports.com/mwdownloads/download/link/id/201>. [Hozzáférés dátuma: 5 11 2023].
- [8] „Understanding the I2C Bus,” [Online]. Available: https://www.ti.com/lit/an/slva704/slva704.pdf?ts=1699493218862&ref_url=https%253A%252F%252Fwww.google.co.kr%252F. [Hozzáférés dátuma: 5 11 2023].
- [9] „UART: A Hardware Communication Protocol,” [Online]. Available: <https://www.analog.com/media/en/analog-dialogue/volume-54/number-4/uart-a-hardware-communication-protocol.pdf>. [Hozzáférés dátuma: 30 10 2023].
- [10] „FDC1004: Basics of Capacitive Sensing and Applications,” [Online]. Available: <https://www.ti.com/lit/an/snoa927a/snoa927a.pdf?ts=1699508848907>. [Hozzáférés dátuma: 5 11 2023].
- [11] „PIC24FV32KA302,” [Online]. Available: <http://ww1.microchip.com/downloads/en/devicedoc/39995a.pdf>. [Hozzáférés dátuma: 8 10 2022].
- [12] „Generic Access Profile,” [Online]. Available: https://software-dl.ti.com/lprf/simplelink_cc2640r2_latest/docs/blestack/ble_user_guide/html/ble-stack-3.x/gap.html. [Hozzáférés dátuma: 2 11 2023].
- [13] „Bluetooth Low Energy Module,” [Online]. Available: <https://ww1.microchip.com/downloads/aemDocuments/documents/OTH/ProductDocuments/DataSheets/Bluetooth-Low-Energy-BLE-Module-DS60001372K.pdf>. [Hozzáférés dátuma: 8 10 2022].
- [14] „Universal Asynchronous Receiver/Transmitter (UART),” [Online]. Available: https://www.ti.com/lit/ug/sprugp1/sprugp1.pdf?ts=1699451002110&ref_url=https%253A%252F%252Fwww.google.com%252F. [Hozzáférés dátuma: 30 10 2023].
- [15] „LoRa,” [Online]. Available: <https://lora.readthedocs.io/en/latest/>. [Hozzáférés dátuma: 7 11 2023].