

Önálló laboratórium beszámoló

Dolgozat címe:

.....

Konzulens(ek) neve:

(Külső cég neve:

címe:

A Hallgató a kitűzött feladatot megfelelő színvonalon és a kiírásnak megfelelően

teljesítette

nem teljesítette

Konzulens aláírása

Hallgató neve:

Képzés:

Leadás dátuma:

MEMS érzékelők alkalmazása sportolók mozgásának vizsgálatára

című önálló laboratóriumi beszámoló dolgozat

Kolits Márton

Konzulens: Tihanyi Attila



Pázmány Péter Katolikus Egyetem

Információs Technológiai Kar

2012

Tartalom

1	Bevezetés.....	4
1.1	A kialakított rendszer ismertetése.....	5
1.2	Mások hasonló megoldásai.....	5
2	Elméleti összefoglaló	6
2.1	Egyenes vonalú egyenletes mozgás.....	6
2.2	Gyorsulás.....	6
2.2.1	Gravitációs gyorsulás.....	7
2.2.2	A gyorsulás és erő kapcsolata.....	7
2.2.3	A gyorsulás változása.....	7
2.3	Perdület.....	7
2.3.1	Perdületmegmaradás törvénye.....	8
2.4	Mágnesség	8
2.4.1	Mágneses pólusok meghatározása.....	8
2.4.2	Állandó mágnes, mint energiatároló	9
3	Milyen rendszert alakítottam ki?	10
4	Eszközleírás.....	11
4.1	MEMS.....	11
4.2	Gyorsulásmérő.....	11
4.3	Magnetométer	12
4.4	Giroszkóp	13
5	Célok.....	14
6	Megvalósítás arról, amit én csináltam	15
7	Eredmények.....	20
8	Konklúzió	24
9	Irodalomjegyzék	25

1 Bevezetés

Manapság minden sportban a fizikai teljesítmény növelésén túl fontos szerepe van a sporttechnika fejlesztésének, hogy növelni tudják a sportolók által végzett munka hatékonyságát és ez által a teljesítmény pontosságát.

A technikai vívmányok segítségével a sportolók hasznos információkat kapnak mozgásukról, technikájukról. Akár az edzők, akár a sportolók ezt fel tudják használni technikájuk fejlesztésére, javítására. Látják, mikor mit végeztek nem megfelelően, látják, hol lehet pontosítani a mozgulatsort. Tanulmányom, a teniszezők mozgásával foglalkozik. A teniszező célja, hogy a felé érkező labdát nagy sebességgel és nagy pontossággal úgy üsse vissza, hogy az ellenfél azt nehezen vagy egyáltalán ne érje el, és ne tudja visszaütni. Mivel mindkét játékos hasonló célok megvalósításán fáradozik, az van előnyösebb helyzetben, aki a nehezen elérhető labdákat is pontosan meg tudja játszani. Ahhoz, hogy a nehezen visszaüthető labdákat a játékos elérje, azaz időben megfelelő közel legyen a sportoló reakció idejét és gyorsaságát kell javítani, ahhoz viszont, hogy az elért labdát esetleg már kiszorított helyzetből is pontosan jól tudja megjátszani az ütés, labda kezelés technikáját kell fejleszteni. A dolgozatban tárgyalt elektronikus megoldás segít az egyes ütések kivitelezése során alkalmazott mozgulatok vizsgálatában, így segítve elő a megfelelő edzőmunka kialakítását, mely nagy hatékonysággal fejleszti a sportoló mozgását.

Egy teniszütőre szerelt érzékelővel mérem és elemzem az ütő mozgását. A mérés és elemzés során vizsgálom az ütő hosszú távú átlag mozgását valamint azokat a rövid idejű elmozdulásokat, melyet az ütő és a labda találkozásakor tapasztalunk. Hosszabb távon szeretném szétválogatni az egyes ütéstípusokat és ütéstípusonként elemezni azokat. A felhasználó munkájának megkönnyítésére az edzésről készített videofelvétellel is szeretném összevetni az eredményeket. Ha sikerül közel megközelítenem a valós mozgást, azzal már lehet olyan eredményeket számolni, mint az ütő és labda sebessége, iránya.

1.1 A kialakított rendszer ismertetése

Teniszütőre felszerelt MEMS (MicroElectroMechanical Systems) érzékelő segítségével végzünk a teniszütő pozíciójának meghatározását. A pozíció adatokat egy 9 dimenziós rendszer 3D nehézségi gyorsulás, 3D szöggyorsulás és 3D iránytű (magnetométer) segítségével vizsgálom. A különböző kísérletek során megfigyelem az ütő mozgását. Céloom hogy a mért paraméterek segítségével le tudjam írni az ütő és labda mozgását, irányát, sebességét.

Önálló laboratóriumi munkám során, főként irodalomkutatót végeztem, mely a mérési módszerek és lehetőségek feltérképezését jelentette.

Elsődleges céloom, hogy megismerjem a szenzorok elvi működését. Fizikai hátterét megértsem, elmélyítsem, mivel a mérések során kapott eredmények feldolgozásához ez elengedhetetlen.

1.2 Mások hasonló megoldásai

A sport területén rengeteg olyan terület van, ahol a MEMS eszközök segítséget nyújtottak már. Számtalan típusú, méretű és fajtájú órát lehet vásárolni, amiben vagy gyorsulásmérő található, ami ugye a futók számára rendkívül hasznos lehet, vagy légnyomásmérő van benne, ami pedig egy hegymászó ember elengedhetetlen kelléke. Vagy ha a száguldó cirkusz, azaz a Forma 1-es versenyautóknak csak a kormányára gondolunk, ott is rengeteg MEMS technológiát találunk. Vagy a kajak-kenu sportágban is ismert egy hajóra rögzíthető eszköz, melynek működési elve rendkívül hasonlít az általam elképzeltre. Igaz, hogy ott a hajó fő mozgási iránya legfőképpen egy tengelyre összpontosul, a Z tengelyre, mivel ott ugye a legfontosabb a hajó mozgása a vízben. Ellenben ott is mérnek különböző adatokat, mint például gyorsulás és csapás/perc. A gyorsulás adataiból meghatározható a csapásszám. Egy megfelelően méretezett és a mikrokontrollerben megvalósított IIR szűrő kiszűri a nemkívánatos jeleket, majd ezután megkeresi a gyorsulásgörbe maximumait. Két egymást követő maximális érték között eltelt időből számítható a csapásszám. Több egymást követő csapásszám értékének figyelembevételével a műszer kijelzi az adatot, amit a sportoló a húzásonként frissülő kijelzőről le tud olvasni. Ezért véleményem szerint ez a technológiai megoldás áll a legközelebb az általam elképzelt megvalósításhoz. Itt is egy gyorsulásmérő szenzor folyamatosan figyeli a kajak mozgását, a mikrokontrolleres vezérlő rendszer pedig másodpercenként több mint százszor rögzíti az X, Y, Z tengelyeken mért pillanatnyi értékeket. A mért értékek rögzítésre kerülnek a memória IC-ben. A rögzített adatokból számítógép segítségével további elemzések végezhetők el. A gyorsulás-grafikonok fontos információval szolgálnak a kajakos technikájáról: melyik karral húz erősebbet, mennyire egyenletesen adja bele a húzásba az erőt mennyire billegtetni oldalra a hajót, mennyire változik a húzás-technika az edzés során, és még számos egyéb apróság megállapítható, amelyek segíthetik a sportolót technikája javításában. Igaz ugyan, hogy itt a legfőbb hangsúly a Z tengely menti elmozduláson, vagyis az előre és hátrafelé haladáson volt. A teniszezéskor mindhárom tengelyen történő elmozdulás éppolyan fontos.

Francia Babolat gyár következő évben dob piacra egy hasonló terméket. Szintén teniszütőben elhelyezett MEMS érzékelőkkel elemzik majd az ütések minőségét. Pontos megjelenést 2013-ra ígért a cég, így árát és pontos leírását se tudjuk.

2 Elméleti összefoglaló

Egy test elmozdulását, egy egyenes vagy egy görbe mentén, három paraméterrel jellemezhetünk: pillanatnyi helyzet, sebesség és gyorsulás az adott pillanatban.

2.1 Egyenes vonalú egyenletes mozgás

Az egyenes vonalú egyenletes mozgás a kinematika tárgykörébe tartozó legegyszerűbb mozgásforma.

Jellemzője, hogy a test egyenes pályán, változatlan irányban úgy mozog, hogy egyenlő idők alatt egyenlő utakat fut be, bármilyen kicsik is ezek az időközök. A test által megtett s út és a megtételéhez szükséges t idő egyenesen arányosak, azaz hányadosuk állandó. Ezt a hányadost a test sebességének (v) nevezzük.

$$v = \frac{s}{t}$$

1.Egyenlet

A sebesség-idő grafikon a vízszintes t -tengellyel párhuzamos egyenes, a grafikon alatti terület a test által megtett út.

A hely-idő grafikon egyenes, melynek meredeksége a test sebessége. Az út-idő grafikon az origóból kiinduló, az előzővel párhuzamos egyenes.

Az egyenes vonalú egyenletes mozgást végző (vagy nyugalomban levő) pontszerű test kölcsönhatás hiányában nem változtatja meg mozgásállapotát (Newton 1. axiómája), ezt a tulajdonságot tehetetlenségnek nevezzük. Ugyancsak egyenes vonalú egyenletes mozgást végez a pontszerű test akkor, ha a rá ható erők vektori összege nulla.

2.2 Gyorsulás

A fizikában a gyorsulás (jele: a) a sebesség változási gyorsasága (idő szerinti deriváltja). A gyorsulás egy vektormennyiség, amelynek a dimenziója **hosszúság/idő²**. Az SI mértékegységrendszerben az egysége **méter/másodperc²**. A gyorsulás időegységre eső sebességváltozás.

Ha görbe vonalú mozgásom van, akkor a gyorsulást vektorként kell tekinteni, mely a sebességvektor idő szerinti deriváltja:

$$a = \frac{dv}{dt}$$

2.Egyenlet

Ahol a gyorsulásvektor, v a sebesség **m/s**-ban kifejezve és t az idő másodpercben. Ennek a képletnek az alapján a gyorsulás mértékegysége **m/(s·s)** vagy **m/s²**.

Görbe vonalú mozgásnál a gyorsulás felbontható érintőirányú (tangenciális) gyorsulásra (a_t), és arra merőleges, úgynevezett centripetális gyorsulásra (a_{cp}), melyek nagysága a következőképp számolható:

$$a_t = \frac{dv}{dt} \quad ((a \text{ sebességnagyság változásából származik}).$$

3.Egyenlet

$$a_{cp} = \dot{v} = \omega \cdot r$$

4.Egyenlet

(a sebességirány változásából származik).

Ahol v a sebesség nagyságát, ω a szögsebességet, r a simuló kör sugarát jelöli.

2.2.1 Gravitációs gyorsulás

Egyik legismertebb gyorsulási állandó a g , egy g a Föld gravitációja által okozott gyorsulás a tengerszinten a 45° szélességi fokon (Párizs környékén) mennyiségileg körülbelül $9,81 \text{ m/s}^2$.

2.2.2 A gyorsulás és erő kapcsolata

A klasszikus mechanikában az a gyorsulás az erő (F) és a tömeg (m) függvénye, amit Newton második törvénye fejez ki:

5.Egyenlet $F = m \cdot a$

2.2.3 A gyorsulás változása

A gyorsulás megváltozását, vagyis az idő szerinti deriváltját, tehát a sebesség idő szerinti második deriváltját rándulásnak nevezzük.

2.3 Perdület

A perdület, szögmomentum (más néven anguláris mozgási momentum vagy forgási momentum), vagy ritkán forgásmennyiség, általában véve egy test azon törekvése, hogy fenntartsa forgómozgásának állapotát. Mértéke arányos a tehetetlenségi nyomatékkal és a szögsebességgel.

Jele L . Mértékegysége a $\text{kg} \cdot \frac{\text{m}^2}{\text{s}}$, vagy az ezzel ekvivalens $\text{N} \cdot \text{m} \cdot \text{s}$. Egy test perdületének megváltozása a szögimpulzus (ΔL). A két, elvben különböző, de a gyakorlatban egyként kezelhető fogalmat legtöbbször szinonimaként használják.

Egy mozgó tömegpont perdületét az alábbi kifejezés adja meg:

6.Egyenlet $L = r \times p$

ahol r a tömegpont valamely vonatkoztatási ponttól vett helyvektora, p a lendülete.

Több tömegpontra a teljes perdület a részek perdületeinek eredője:

$$L = \sum_i L_i = \sum_i r_i \times p_i$$

7.Egyenlet

Kiterjedt testek esetén hasznos a tehetetlenségi nyomaték segítségével kifejezni L -t:

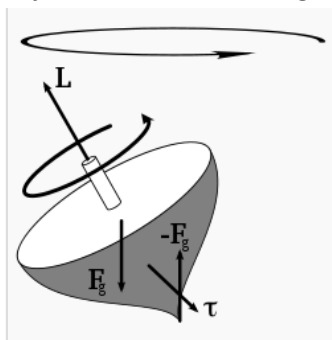
8.Egyenlet $L = \bar{\theta} \omega$

ahol ω a test (előjeles) szögsebessége, θ a tehetetlenségi nyomatéka.

Megmaradó mennyiség, azaz zárt rendszer összes perdülete állandó. Ez a perdületmegmaradás törvénye.

2.3.1 Perdületmegmaradás törvénye

A perdületmegmaradás törvénye kimondja, hogy zárt rendszer perdületösszege állandó. Ez a törvény a tér folyamatos irányszimmetriájának a matematikailag levezetett következménye. (1. ábra)



1. ábra A perdület

Mivel a forgatónyomaték a perdület idő szerinti deriváltja, a két ellentétes irányban ható, F_g és $-F_g$ erők által okozott forgatónyomaték megváltoztatja az L perdület nagyságát ezen forgatónyomaték irányában. (A precesszió ennek a következménye.)

A perdület idő szerinti deriváltját forgatónyomatéknak nevezzük:

9.Egyenlet
$$\mathbf{M} = \frac{d\mathbf{L}}{dt} = \mathbf{r} \times \frac{d\mathbf{p}}{dt} = \mathbf{r} \times \mathbf{F}$$

Mivel „zárt” rendszerről van szó ez matematikailag azt jelenti, hogy a rendszerre ható forgatónyomaték értéke zérus:

$$\mathbf{L} = \text{const.} \Leftrightarrow \sum \mathbf{M} = \mathbf{0}$$

10.Egyenlet

Ahol M a részecskerendszerre ható bármilyen forgatónyomaték.

Egy keringési pályán a perdület eloszlik a bolygó perdülete (spin) és annak keringési pályája által okozta perdület között:

11.Egyenlet
$$\mathbf{L}_{\text{total}} = \mathbf{L}_{\text{spin}} + \mathbf{L}_{\text{orbit}}$$

2.4 Mágnesség

A mágnesség fizikai fogalom, mely bizonyos testek egymás közötti vonzó és taszító képességére utal.

2.4.1 Mágneses pólusok meghatározása

A mágneses térben szabadon mozgó rúd mágnes a vonzó erőhatás következtében meghatározott irányba áll be. A földrajzi északi sarok irányába mutató pólust északi pólusnak, a földrajzi déli sarok

irányába mutatót déli pólusnak nevezzük. A földrajzi északi sarok irányába mutató mágnespólus az eddigiek szerint valójában a mágneses déli pólus.

2.4.2 Állandó mágnes, mint energiatároló

Az állandómágnes statikus mágneses teret hoz létre. A mágnesben elraktározott energia és az általa keltett tér a benne lejátszódó elektromágneses folyamatok hatására változatlan marad. Egyetlen feltétel, hogy a folyamatok ne okozzanak olyan nagy térerősséget, amely az állandómágnes munkapontjának irreverzibilis megváltozásához (lemágnesezéshez) vezet.

Ha az ilyen statikus mágneses teret a gravitációs térrel hasonlítjuk össze, az a különbség, hogy a gravitációs tér hatása a benne lévő test tömegétől függ, amíg a mágneses térben csak a test mágneses tulajdonságai befolyásolják a hatást.

A mágnesesség egyik keletkezési módja, amikor egy irányba mozgó elektronok hatására, vagyis elektromos áram által átvárt vezető körül keletkezik mágneses erőter. Ezt Ørsted dán fizikus észlelte először. Néhány jól ismert anyaggal, mint a vas vagy magnetit azonosíthatjuk ezt a hatást. A mágnesesség az elektromágneses kölcsönhatás egyik megjelenési formája.

A mágneses mező poláris, mindig két ellentétes pólus létezik, önmagában csak az egyik nem. Az ellentétes pólusok vonzzák, az azonosak taszítják egymást. Az egyik pólust északinak, a másikat déli pólusnak nevezzük. A vastárgyak a közelükben lévő mágneses mező hatására maguk is mágnesként viselkednek, a mező hatására ugyanis a bennük lévő részecskék "vonalba" rendeződnek, és a hatásuk összeadódik. A külső mágneses mező megszűnésekor a részecskék ismét rendezetlenné válnak, és az egyes részecskék mágneses hatásai kioltják egymást. Az acél azonban megtartja a mágnesességét, a mező megszűnésekor a részecskék rendezettek maradnak.

Fontos különbség a mágnesesség és az elektromosság között, hogy az elektromos töltéseket szét lehet választani, a mágneses mező pólusait azonban nem.

3 Milyen rendszert alakítottam ki?

A szabadalmi információk első számú világcége, a Derwent új szolgáltatása arra vállalkozik, hogy szabadalmak útján nyomon kövesse a mikro-elektromechanikai rendszerek (MEMS) és nano-elektromechanikai rendszerek (NEMS) gyors előretörését. A Derwent szabadalmi szolgáltatásait a csúcstechnikai szektorban dolgozó szabadalmi szakértők és mérnökök hasznosítják. 400 szakemberük a szabadalmi adatokból kulcsfontosságú információkat képes feltárni, olyanokat, amelyek eddig szándékoltan félrevezetőek voltak. Az egyes szabadalmi rekordok ipari szektorok szerint is kereshetők; az információhasználók gyorsan meg tudják állapítani, kik dolgoznak ezeken a szakterületeken, és milyen szabadalmakat publikáltak.

A mérőrendszer felállításakor nem foglalkoztam a hardver praktikus elhelyezésével, törekedtem arra, hogy minél egyszerűbben el tudjam kezdeni a méréseket, de emellett a hardver korrekt eredményeket mutasson, ezért a teniszütő „szívére” felragasztottam a chipet, amin található három szenzor: magnetométer, gyorsulásmérő, giroszkóp. Azért választottam az ütőn ezt a pontot, mert a játék folyamán nem találkozik a labdával normális esetben, így nem sérül a műszer, viszont ez a pont van legközelebb a fejhez, ami találkozik a labdával.

Később a mérések pontosítása érdekében, lehet két hardverrel is dolgozni, méghozzá úgy hogy az ütő legvégére is felszerelünk még egy eszközt, amivel pontosítani lehet a méréseket, hiszen két eszköz két különböző rezgési pontban méri az ütő mozgását a labda találkozásakor, így akár lehet külön eseteket vizsgálni.

A chip usbporton keresztül kommunikál a számítógépen futó programmal, ahova menti a szenzorok mért eredményeit. (2. ábra)



2. ábra hardver elhelyezése az ütőn

Később, miután a teszteléseket befejeztem és beállítottam a mérőműszert, érdemes az egész adatfelvevő egységet elhelyezni az ütő nyelében, és a kommunikációt megoldani vezeték nélkül (pl: Bluetooth, ZigBee), hiszen így nem fog akadályozni a játékban, és az edzésben sem a kábel, sem pedig az ütőre rászert hardver.

4 Eszközleírás

Elsőként általánosan ismertetem a MEMS szenzorokat, utána a konkrét típus leírását is ismertetem.

4.1 MEMS

Mikro-elektro mechanikai rendszerek angol rövidítése. Elektronika, mechanikai elemek, szenzorok, szelepek integrációja egy közös szilícium felületen, amely mikrogyártási technológiát alkalmaz. Használják a Bio-Memseket az orvosi és egészségügyi technológiákban is, tintasugaras nyomtatókban, a modern autók irányváloztatásának kimutatásánál, légzsák vezérlésnél, szilícium nyomásérzékelőknél, DMD chipenél a projektorokba és számos más példát is említhetnék. A DMD rövidítés az angol digital micromirror device kifejezésnek a rövidítése. Magyarul egy digitális mikrotükör eszköz, egy optikai félvezető és egy vetítési technológia alapját képezi. A MEMS-ek több okból kifolyólag is hasznosak és megbízhatóak. Egyrészt nincsenek összeszerelési lépései a mechanikának, mikroelektronika szempontjából egyszerű a gyártása, a tervezési folyamat hasonlít a klasszikus mikroelektronika terveihez, nem bonyolult, főként mechanikai elemek, rugók, karok vannak benne. Ezen túl a nyersanyagok is megbízhatóak és könnyen elérhetőek, amik a szilícium, kvarc, üveg, polimerek. A leggyakrabban használt anyag a szilícium. A szilícium megmunkálása ismert. Rendkívül jó tulajdonságokkal bír, tiszta, rugalmas, jól súrlódik és ez által nincs kitéve nagy kopásnak. A hőhatást akár 500 Celsius fokig is bírja. Szakítószilárdsága nagyon jó, szerkezete mechanikailag stabil, nincsenek rejtett hibák, és nagy a piezo ellenállása.

4.2 Gyorsulásmérő

A gyorsulásmérő egy olyan elektromechanikai eszköz, ami gyorsulási erőket mér. Ezek az erők lehetnek statikusak, mint a gravitációs erő, vagy lehetnek dinamikusak, például, ha mozog vagy rezeg a gyorsulásmérő. Azáltal hogy méréd a gravitációs erőt, meg lehet állapítani hogy milyen helyzetben van a földhöz képest. A dinamikus mérésekkel analizálni lehet az utat, ahogy mozgott a mérési eszköz.

1. Táblázat ADXL 345 adatai

paraméter	körülmények	Min	typical	max	mértékegység
<i>energiaellátás</i>					
feszültség (Vs)		2.0	2.5	3.6	V
<i>Bemenet:</i>	tengelyenként				
mérési határ	változtatható				g
nemlinearitás	teljes skála százaléka				%
<i>kimeneti felbontás:</i>	tengelyenként				
Összes g skála	10-bites felbontás		10		bit

	teljes felbontás		10		bit
	teljes felbontás		11		bit
	teljes felbontás		12		bit
±16g	teljes felbontás		13		bit
érzékenység	tengelyenként				
érzékenység az $X_{out}, Y_{out}, Z_{out}$ ben	összes g skála, teljes felbontás	230	256	282	LSB/g
	, 10-bites felbontás	230	256	282	LSB/g
	10-bites felbontás	115	128	141	LSB/g
	10-bites felbontás	57	64	71	LSB/g
	±16g , 10-bites felbontás	29	32	35	LSB/g

4.3 Magnetométer

A mágneses tér erősségét, egyes esetekben az irányát is mérő műszer. Az abszolút magnetométerek önmagukban mérik a mágneses mezőt, anélkül, hogy referenciaként standard mágneses eszközt használnának. A leggyakrabban használt magnetométerek a vibrációs magnetométer, az elfordulás-galvanométer és a modernebb nukleáris magnetométer. Vibrációs eszközt Gauss készített elsőként 1832-ben, amely egy vízszintesen felfüggesztett kis mágnesrúd (vagy -tű) rezgési idejére támaszkodik. Ugyanezt a mágneszt ezt követően rögzítették és egy másik hasonlóan felfüggesztett mágnes kitérítését vizsgálták az előző mágnes terében. A kitérés-galvanométer ismert méretű Helmholtz-tekercekre épül, amelynek középebe egy kis mágneszt függesztenek fel. A kis mágnes elfordul, és a nyugalmi helyzetét a Föld mágneses tere, a tekercsek mágneses tere és az a szög határozza meg, amellyel a tekercseket el kell fordítani ahhoz, hogy a mágnes iránya a tekercsek tengelyébe essen. Az érzékeny nukleáris magnetométerek egy vízmintában precesszáló protonok által valamely tekercsben keltett audiófrekvenciás feszültségjelek mérésére épülnek. Használatosak még különböző relatív magnetométerek, a Föld mágneses terének mérésére, továbbá egyéb berendezések kalibrálására. Ezzel az eszközzel már meghatározható a föld mágneses terének erőssége és iránya is.

Az iránytű egyszerű irány meghatározó műszer, amelyben egy függőleges tengelyen elhelyezett szabadon lengő mágneses acéltű a földmágnesesség hatására közel az észak-déli irányba áll be.

Létezik olyan speciálisan kialakított giroszkópot tartalmazó műszer, amivel ténylegesen megtalálható a Föld északi és déli sarka. Ez az eszköz a giroszkopikus iránytű, amely a Föld forgástengelye által kijelölt valódi északra mutat, nem pedig a mágneses észak felé, tehát a kijelzés nem tartalmazza a mágneses deklinációt. Ebből következik, hogy a giroszkopikus iránytűre sincs hatással a földmágnesesség, így érzéketlen a fémtestek és elektromos alkatrészek mágneses zavaróhatásaira is. A többnyire hajókon használatos „gyrocompass” neve ellenére tehát más műszert takar, mint a repülőgépeken használatos pörgettyűs iránytű, de az közös bennük, hogy mindkettőben giroszkóp található és egyik sem a Föld mágneses mezejét használja ki működése során. A Föld forgásából adódó erő fordítja a giroszkópot észak-déli irányba, mivel a giroszkóp forgástengelyén ekkor lesz a Coriolis-erő forgatónyomatéka nulla, amire a szabadon felfüggesztett forgó testek törekednek.

2. Táblázat HMC5843 adatai

Karakterisztika	körülmények	min	typical	max	mértékegység
<i>energiaellátás</i>					
feszültség	AVDD Referenced to AGND ¹	2.5		3.3	Volt
	DVDD Referenced to DGND ²	1.6	1.8	2.0	Volt
<i>teljesítmény</i>					
mezőtartomány	Teljes skála (FS) - összesen alkalmazott mező	-4		+4	gauss
Sávszélesség	-3dB pont		10		kHz
felbontás	AVDD=3.0V, GN		7		milli-gauss
mérési periódus	output rate = 50Hz (10Hz typ.)		-	10	msec
Mag Dynamic Range	3-bit gain control	±0.7	±1.0	±4.0	gauss

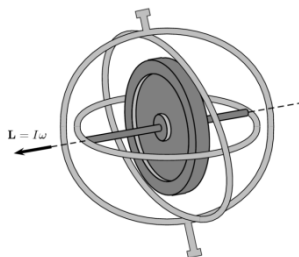
¹ AGND -- Analog Supply Ground/Return. AVDD -- Analog Positive Supply

² DGND -- Digital Supply Ground/Return. DVDD -- Digital Positive Supply

4.4 Giroszkóp

A giroszkóp (más néven pörgettyű) a fizikából ismert perdületmegmaradás törvényét demonstráló eszköz.

A legegyszerűbb változata egy tengely körül szabadon forgó lendkerékből áll. Amikor a kerék forgása közben az eszközt a tengelyre merőleges erőhatás éri, az eszköz „meglepő módon” a tengelyre és a külső erőhatásra egyaránt merőleges irányban fordul el.



3. ábra Giroszkóp

A giroszkópot (3. ábra) Léon Foucault francia fizikus találta fel és nevezte el 1852-ben, amikor egy, a Föld forgását igazolandó kísérletén dolgozott (ld. még Foucault-inga).

Giroszkópokat gyakran alkalmaznak iránytűk helyett vagy azok kiegészítéseként (hajókon, repülőkön, űreszközökön). Ha ugyanis az eszközt további két tengellyel látjuk el úgy, hogy a három tengely egymásra kölcsönösen merőleges legyen, hogy a giroszkóp tetszőleges irányba szabadon el tudjon fordulni, akkor a pörgő kerék megőrzi forgási tengelyének eredeti irányát, függetlenül attól, hogy a kerete hogyan fordul el (ld. ábra.)

A giroszkóp használható a stabilitás fokozására is. A legközismertebb ilyen előfordulása a kerékpár kereke, amelynek forgása megakadályozza, hogy a bicikli feldőljön. Minél gyorsabban forog

a kerék, annál stabilabb a jármű. Minden biciklista tudja, hogy ha a kerékpár megdől, akkor a pörgettyűhatás a kormányt elfordítja: azaz a kerék tengelye az erőhatásra merőleges irányban fordul el. Hasonló funkciót látnak el a giroszkópok precíziós műszerekben és más járműveken is.

A giroszkóp viselkedését leíró alapegyenlet a következő:

12.Egyenlet
$$\tau = \frac{d\mathbf{L}}{dt} = \frac{d(I\omega)}{dt} = I\alpha$$

ahol τ a kifejtett külső erőhatás forgatónyomatéka, $\mathbf{L}$ a perdület vektora, ω a szögsebesség vektora, α pedig a szöggyorsulásé. A skaláris I érték a tehetetlenségi nyomaték.

A képletből következik, hogy ha a nyomaték merőleges a forgás, és így a perdületvektor tengelyére, akkor az eredő forgatónyomaték mindkét vektorra merőleges lesz, ez a precesszió jelensége. A precesszió nagysága az Ω_P szögsebességgel jellemezhető:

13.Egyenlet
$$\tau = \Omega_P \times \mathbf{L}$$

3. Táblázat ITG3200 adatai

Paraméter	körülmények	Min	Typical	Max	mértékegység
<i>gyro érzékenység</i>					
Full-Scale Range	FS_SEL=3		±2000		°/s
Gyro ADC Word Length			16		bit
érzékenység skála faktor	FS_SEL=3		14.374		LSB/(°/s)
<i>GYRO mechanikus frekvenciák</i>					
X- tengely		30	33	36	kHz
Y- tengely		27	30	33	kHz
Z-tengely		24	27	30	kHz
frekvencia elkülönítés	bármely két tengely között	1.7			kHz

5 Célok

Önálló laboratóriumi kutatásként az a célom, hogy sikerüljön eljutni odáig, hogy az adatokat fel tudjam dolgozni, és grafikonon ábrázolni tudjam, ahol lássam is a diagramon a mozgulatsort. Ehhez mindenképpen első feladatként a hardver mérési állományát fel kell dolgoznom, és az irodalomkutatás segítségével értelmezni tudjam a számokat, amiket mértem.

Hosszútávon fő cél a valós idejű megjelenítés. Emellett pedig, olyan szintre hozni az adatfeldolgozást, hogy normális edzésen is használható eszköz legyen. Tehát bírja a kemény ütések, ne csak teszt szintjén. Fontos cél még, hogy mind az ütőt, mind a labdát tudjuk elemezni olyan szinten, hogy akár a találkozás előtti és utáni sebességet, irányt meg tudjuk határozni.

Ha sikerül elérni, hogy jól használható legyen teniszezéshez, akkor akár az élet más területein is könnyen használható lesz, apró átírással, átalakítással.

6 Megvalósítás arról, amit én csináltam

A Laboratóriumi munkám kezdetén, megismerkedtem az eszközzel, és a programmal ami rögzíti az adatokat. A program saját fájlformátumban menti az adatokat. Ha szövegszerkesztő programmal megnyitjuk, ezt látjuk benne (sokkal több mérési eredmény van a fájlban, ezt csak bemutatás céljából emeltem ki):

```
ADXL345: -129, 5, -2
HMC5843: -101, -176, 67
PSITG3200: 65497, 38, 65452
SEQ: 1
ADXL345: -129, 9, -4
HMC5843: -95, -177, 80
PSITG3200: 65500, 42, 65489
SEQ: 2
ADXL345: -127, 8, -8
HMC5843: -101, -180, 78
PSITG3200: 65515, 26, 65510
SEQ: 3
ADXL345: -128, 9, -2
HMC5843: -106, -176, 82
PSITG3200: 8, 1, 65455
SEQ: 4
ADXL345: -127, 9, 0
HMC5843: -100, -175, 76
PSITG3200: 6, 65509, 65474
SEQ: 5
```

Amint látható, mindhárom szenzor 3 koordinátáját mutatja a szenzor saját mértékegységében. Első lépésként, írtam egy java programot, ami ebből a fájlból csinál 3 másik fájlt, ami az egyes szenzorok saját koordinátáit tartalmazza csak. A java kód alább látható:

```
public class meres {
    public static void main(String[] args) throws FileNotFoundException {
        // TODO Auto-generated method stub
        String fajlnev = "forgatas3 ";
        File f = new File(fajlnev);
        try {
            BufferedReader br = new BufferedReader(new FileReader(f));
            while (f.exists()) {
                String sor = br.readLine();
                String[] tomb = sor.split(",");
                String[] tomb2 = tomb[0].split(" ");
                if (tomb2[0].equals("ADXL345:")) {
                    FileWriter fstream = new FileWriter("ADXL345.txt", true);
                    PrintWriter out = new PrintWriter(fstream);
                    out.println(tomb2[1] + " " + tomb[1] + " " + tomb[2] + " ");
                    out.close();
                } else if (tomb2[0].equals("HMC5843:")) {
                    FileWriter fstream = new FileWriter("HMC5843.txt", true);
                    PrintWriter out = new PrintWriter(fstream);
                    int xMagnetoe = Integer.parseInt(tomb2[1]);
                    out.println(tomb2[1] + " " + tomb[1] + " " + tomb[2] + " ");
                    out.close();
                }
            }
        } catch (IOException e) {
            e.printStackTrace();
        }
    }
}
```

```

    } else if (tomb2[0].equals("PSITG3200:")) {
        FileWriter fstream = new FileWriter("PSITG3200.txt", true);
        PrintWriter out = new PrintWriter(fstream);
        String ystring = tomb[1].trim();
        String zstring = tomb[2].trim();
        int x = Integer.parseInt(tomb2[1]);
        int y = Integer.parseInt(ystring);
        int z = Integer.parseInt(zstring);
        if (x >= 32768) // gyroscope számbábrázolása más mint a
                        // többi, így át kellett alakítani
        {
            x -= 65536;
            tomb2[1] = Integer.toString(x);
        }
        if (y >= 32768) {
            y -= 65536;
            tomb[1] = Integer.toString(y);
        }
        if (z >= 32768) {
            z -= 65536;
            tomb[2] = Integer.toString(z);
        }
        out.println(tomb2[1] + " " + tomb[1] + " " + tomb[2]
                    + " ");
        out.close();
    }
}
} catch (IOException e) {
    // TODO Auto-generated catch block
    e.printStackTrace();
}
}
}

```

A kód lefuttatása után, létrejött három fájl: ADXL345.txt, HMC5843.txt, PSITG3200.txt. Mindhárom szöveges állományban már csak a számhármassok vannak, soronként egy mérés három koordinátája. Egy kis részletet kiemeltem a fájlokból, bemutatás céljából (4. Táblázat):

4. Táblázat fájlok tartalma

ADXL345.txt	HMC5843.txt	PSITG3200.txt
-129 5 -2	-101 -176 67	-39 38 -84
-129 9 -4	-95 -177 80	-36 42 -47
-127 8 -8	-101 -180 78	-21 26 -26
-128 9 -2	-106 -176 82	8 1 -81

Látható hogy a harmadik szenzor (giroszkóp) értékei már nem 0 és 65535 között vannak, hanem a java programkódban már át lett alakítva a többihez hasonló formátumba.

Miután sikerült szétválasztanom a szenzorokat külön fájlokba, Matlab program segítségével ábrázoltam őket, hogy lássam mit is mértem pontosan, hiszen így számokból nem nagyon lehet tudni mit is mértünk pontosan. Mivel minden szenzort más cég gyártott, így várható volt, hogy nincsenek összhangban. Figyelnem kellett, hogy a tengelyek egyezzenek. Ezeket az ábrázolás után tudtam megoldani, hisz ott láttam, hogy egy mérés során, az egyik szenzornál az x tengely mutat nulla közeli eredményt, míg másik szenzornál a z tengely mutatott hasonlóakat. Ezeket a Matlab kóddal könnyen sikerült megoldanom. A szenzorokat külön kezeltem. Először a gyorsulásmérő (ADXL345.txt) fájlt dolgoztam föl. Soronként beolvastam, és a számokat A, B, C vektorokba raktam. Tehát egy vektor tengelyenként az összes koordinátát tartalmazta. Kirajzolásnál, egy grafikonra rajoltam ki a 3 tengely összes pontját. Ugyanígy tettem a magnetométer és a giroszkóp adataival is. Figyelni kellett a

grafikon tengelyeire is, hisz az adatok még mindig nem közelítettek a valós eredményekhez. Például a gyorsulásmérőnél az értékeknek $-1g$ $+1g$ között kell lennie. Ennek megoldására, megnéztem a szenzor paramétereit, amit már az eszközeírásban bemutatam. Paraméterlistában látható hogy a szenzor LSB/g-ben méri az adatokat, így hogy csak g-ben lássam, le kellett osztanom az összes értéket az LSB értékével. Ez az érték a szenzor érzékenységtől függően változik. Nekem $\pm 4g$ -re van állítva már a szenzor, mert első méréseknél az alap $\pm 2g$ -s beállításnál látszott, hogy túl van vezérelve, így állítani kellett az érzékenységen. $\pm 4g$ -nél az LSB érték 128, így ezzel az értékkel osztottam el a mért számokat. Magnetométernél ez az érték 256 volt, giroszkópnál pedig 14.374. Így a grafikon tengelyeit sikerült lenormálnom olyan értékre, amivel már jól lehet számolni, kalkulálni a méréseket. A Matlab kód így néz ki:

```
fid = fopen('ADXL345.txt', 'r');
figure('name', 'ADXL345 - ACCELEROMETER', 'numbertitle', 'off')
A=[]; %% vektor létrehozása
B=[];
C=[];
while 1 %% fájl végigolvasása
    tline = fgetl(fid);
    if ~ischar(tline)
        break;
    end;
    parts = regexp(tline, ' ', 'split');
    a = str2double(parts(1)); %% tengelyekre szétszedés
    b = str2double(parts(2));
    c = str2double(parts(3));
    a=a/128; %% normalizálás (LSB-vel leosztás)
    b=b/128; )
    c=c/128;
    A=[A a]; %% minden új elem berakása a vektorba
    B=[B b];
    C=[C c];

end;
%%kirajzolás a 3 vektort különböző színnel
plot(A, 'r');
hold on;
plot(B, 'b');
hold on;
plot(C, 'g');
%%címkék, tengelyek beállítása
legend('x', 'y', 'z');
ylabel('g');

fclose(fid);

G=[A;B;C]; %% egy mátrixot csináltam a tengelyekből
G=G.'; %% transzponáltam hogy a mátrixom 3 oszlopból álljon, ne pedig 3 sorból

fid2 = fopen('HMC5843.txt', 'r');
figure('name', 'HMC5843 - MAGNETOMETER', 'numbertitle', 'off')

A2=[];
B2=[];
C2=[];
while 1
    tline2 = fgetl(fid2);
    if ~ischar(tline2)
        break;
    end;
    parts2 = regexp(tline2, ' ', 'split');
    b2 = str2double(parts2(1)); %% tengelyekre szétszedés
    c2 = str2double(parts2(2));
```

```

a2 = str2double(parts2(3));
b2=b2/256; %% normalizálás (LSB-vel leosztás)
c2=c2/256;
a2=a2/256;
A2=[A2 a2];%% minden új elem berakása a vektorba
B2=[B2 b2];
C2=[C2 c2];
if B2(1)==-4096
    B2(1)=-350;
end
for i=2:size(B2,2)
    if B2(i)==-4096
        B2(i)=B2(i-1);
    end
end
end;
%%kirajzolás a 3 vektort különböző színnel
plot(A2,'r');
hold on;
plot(B2,'b');
hold on;
plot(C2,'g');
%%címkék, tengelyek beállítása
legend('x','y','z');
ylabel('gauss');
fclose(fid2);

G2=[A2;B2;C2]; %% egy mátrixot csináltam a tengelyekből
G2=G2.';%% transzponáltam hogy a mátrixom 3 oszlopból álljon,ne pedig 3 sorból

fid3 = fopen('PSITG3200.txt', 'r');
figure('name','PSITG3200 - GYROSCOPE','numbertitle','off')
A3=[];
B3=[];
C3=[];
while 1
    tline3 = fgetl(fid3);
    if ~ischar(tline3)
        break;
    end;
    parts3 = regexp(tline3,' ','split');
    a3 = str2double(parts3(1));%% tengelyekre szétszedés
    b3 = str2double(parts3(2));
    c3 = str2double(parts3(3));
    a3=a3/14.374; %% normalizálás (LSB-vel leosztás)
    b3=b3/14.374;
    c3=c3/14.374;
    A3=[A3 a3];%% minden új elem berakása a vektorba
    B3=[B3 b3];
    C3=[C3 c3];
end;
%%kirajzolás a 3 vektort különböző színnel
plot(A3,'r');
hold on;
plot(B3,'b');
hold on;
plot(C3,'g');
%%címkék, tengelyek beállítása
legend('x','y','z');
ylabel('fok/s');
% xlabel('');

fclose(fid3);

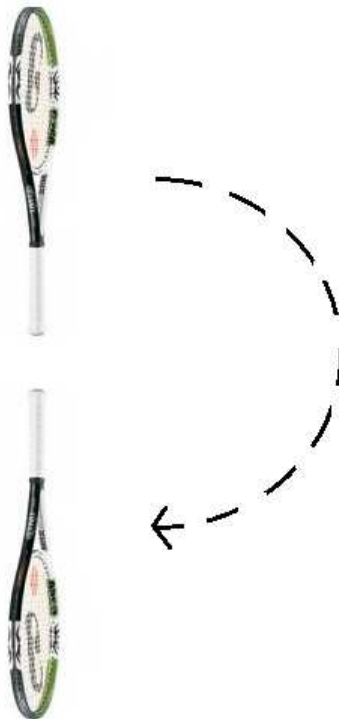
G3=[A3;B3;C3]; %% egy mátrixot csináltam a tengelyekből
G3=G3.';%% transzponáltam hogy a mátrixom 3 oszlopból álljon,ne pedig 3 sorból

```

Miután sikerült egy fájlt feldolgoznom az előbb leírt módszerek segítségével, kialakítottam egy mérési eljárást. Először is, rögzítettem az ütőt a nyelénél fogva az asztalhoz, hogy a kéz által mért ellenerőket kiküszöböljem, és csak olyan mérési eredményeket kapjak, amibe az emberi tényező nem játszik szerepet. Úgy helyeztem el az ütőt, hogy a húrjai síkban legyenek az asztallal és a földdel természetesen. Ezek után következtek a különböző tesztelések. Függőlegesen ejtettem a labdát az ütőre, egy pattanásig, majd elkaptam a labdát. Ezt a tesztet megismételtem többször, figyelve hogy az ütő fejének melyik részére esik a labda. Rögzítettem olyan mérést is, amikor valamelyik irányból érkezik a labda, itt is csak egy pattanásig vizsgáltam, hisz minden mérésnél majd egy-egy mozdulatra kell koncentrálni, nem több labda - ütő találkozást vizsgálunk.

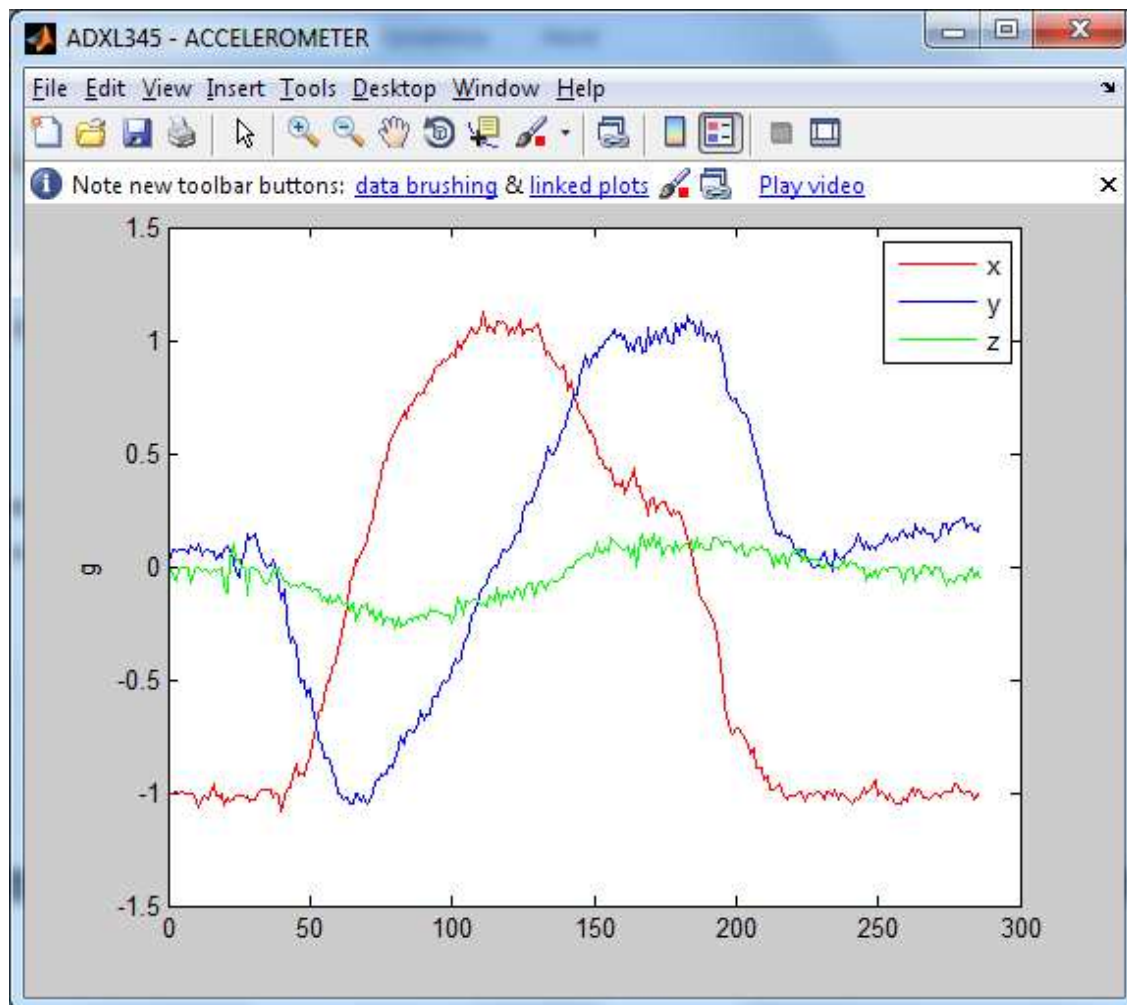
7 Eredmények

A mostani mérésnél nem foglalkoztam a labdával, csak az ütő mozgásával, bemutatás céljából, hogy jól látható legyen, mi is a kapcsolat az ütő mozgása és a grafikonon látható ábrák között. Közel függőleges helyzetből, lassan leengedtem az ütőt szintén függőleges helyzetig, de úgy, hogy a kezdeti és végállapot között 180° -ot fordul az ütő. (4. ábra)



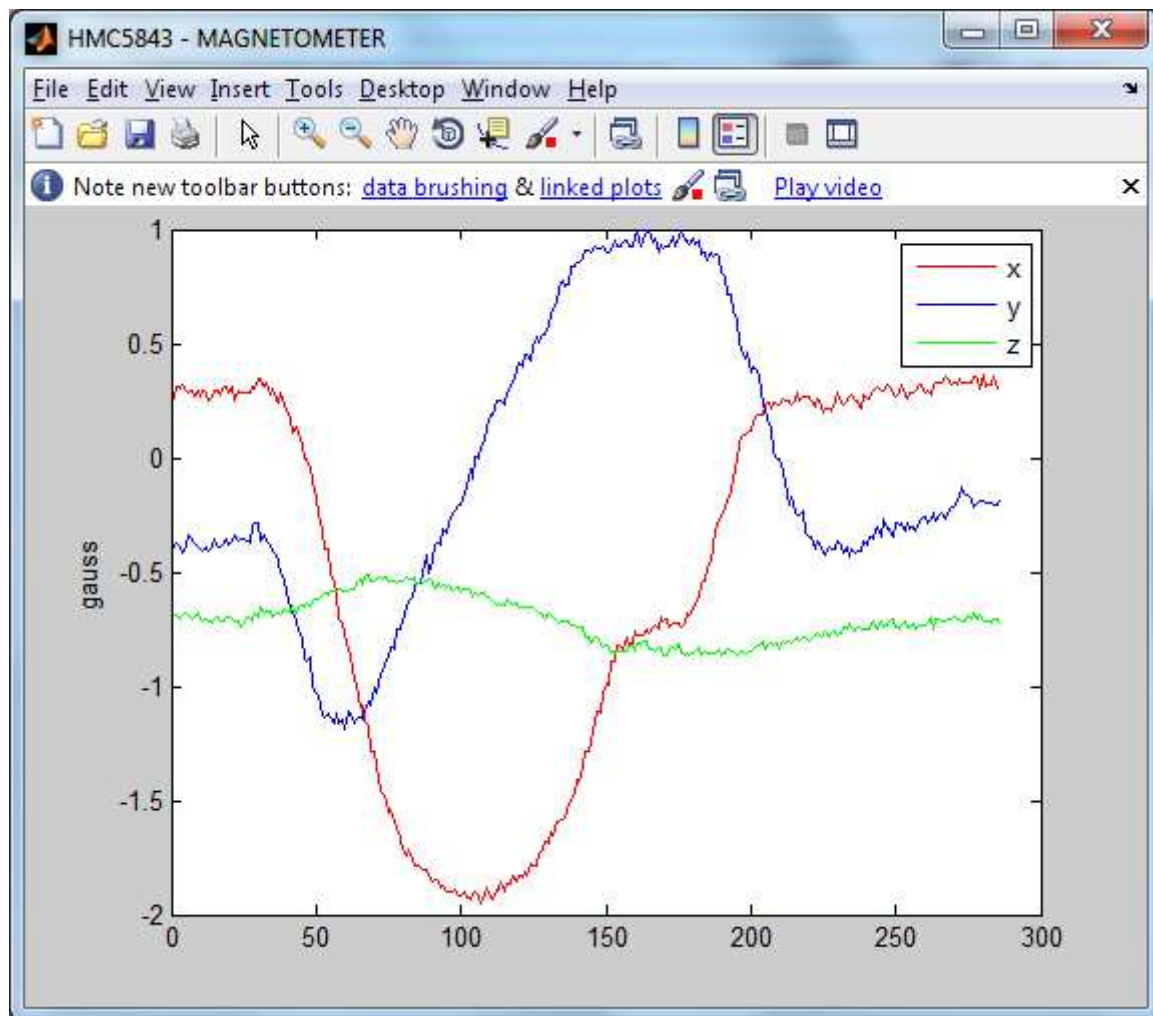
4. ábra ütő mozgásának iránya

A következő grafikonon (5. ábra) a gyorsulásmérő szenzor mérési eredményét lehet látni. Az egyes színek –piros, kék, zöld – a szenzoron mért tengelyek koordinátái. A grafikonon az y tengelyen a nehézségi gyorsulás figyelhető meg $-1g$ és $+1g$ között. X tengelyen pedig időben változik, sorban a mérések eredményei. A Z-tengelyen nem történik változás, mert a z tengely körül forgattuk. Az x és y tengelyek pedig mutatják hogy itt forgómozgás történt, hiszen sinus és cosinus görbék jelentek meg. -1 es érték akkor van, amikor nyugalmi állapotban van az ütő, és hat rá az $1g$ nehézségi erő, a mínusz előtag pedig az irányát mutatja.



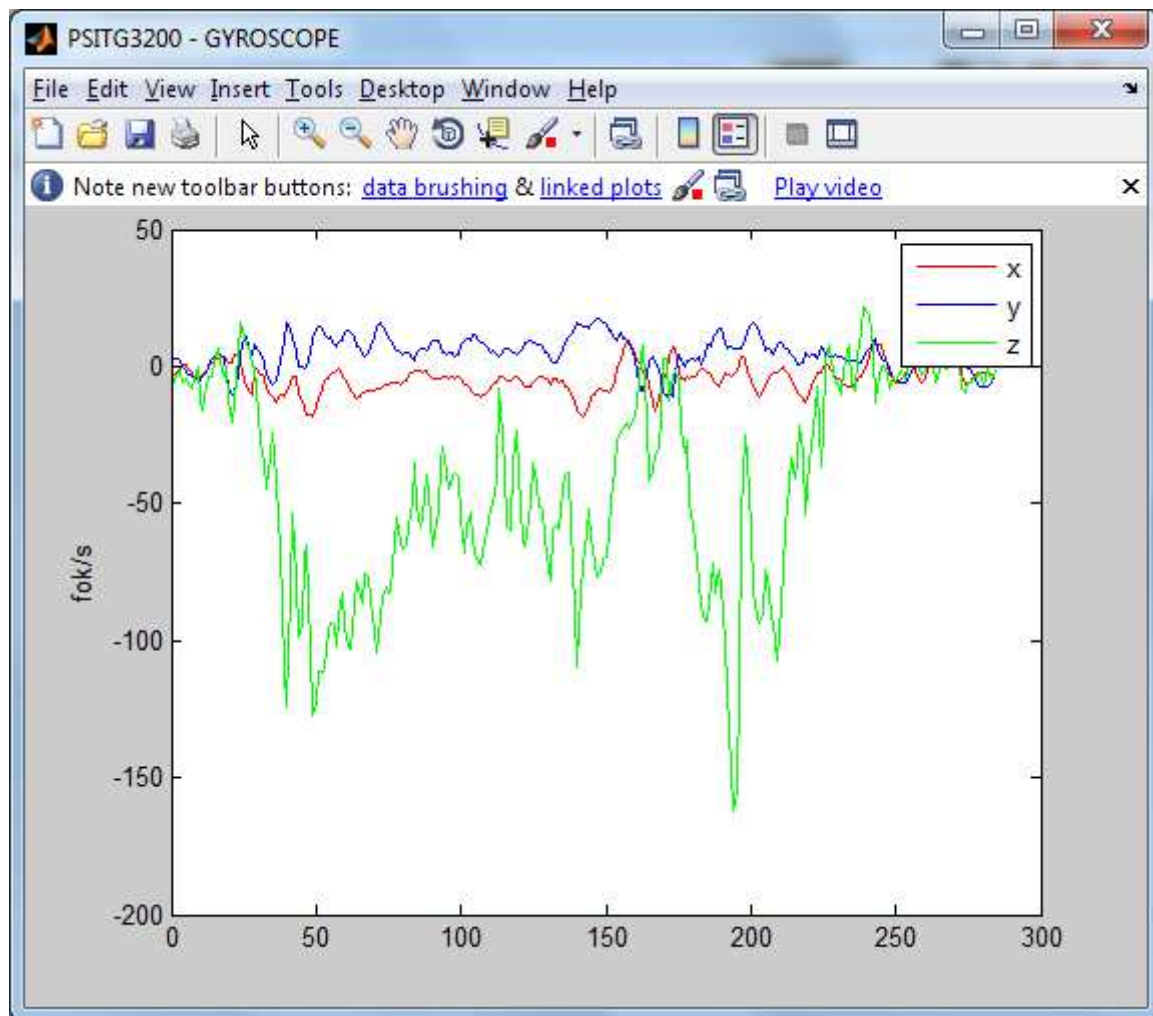
5. ábra Gyorsulásmérő diagram

Magnetométer grafikonján (6. ábra) y tengelyen a magnetométer gaussban mért eredményei figyelhetők meg, az idő függvényében. Szintén látható a magnetométeren is, hogy forgómozgást végeztünk, nem találkozott semmilyen labdával az mozdulat során, hiszen akkor látható lenne hirtelen kitérés bizonyos irányokba. A gyorsulásmérőhöz vannak igazítva a tengelyek, hogy a két grafikon ne térjen el egymástól ábrázolásban.



6. ábra Magnetométer diagram

A giroszkóp diagramján (7. ábra) a mért eredmények értékei közel nullát mutatnak. A Z-tengelyen azért vannak ilyen kitérések, mert amikor kézzel engedtem le az ütőt, előfordult, hogy kicsit elmozdult, elfordult valamelyik irányba. Látható hogy itt forgásról van szó, ezért is a mértékegység a fok/sec.



7. ábra Giroszkóp diagram

A fent látható grafikonok alapján jól látható, hogy az ütő milyen mozgást végzett. Céлом az volt, hogy sikerüljön feldolgozni az adatokat, és egy látható, értelmes grafikont kapjak. Ez sikerült, de ez még csak részben siker, hiszen ennél jóval több információt kell majd kinyerni az adatokból, és a háromdimenziós megjelenítés is fontos lesz.

8 Konklúzió

Kutatásaim eredményeként, kicsit részletesebben belelátok a témakörbe, és látom, milyen sok irányba lehet ezt a témát tovább vinni. Külön figyelni az ütő mozgását, külön figyelni a labda mozgását. Ezen felül, ha nem csak teniszezésre gondolunk, hanem a hétköznapi életben használt bármelyin cselekvésre, mozgásra, kis átalakítással a kialakított mérési eljárás alapján nagyon sok hasznos információt tudhatunk meg. Mindenképpen a járható út a témakörben az lenne, ha sikerülne a mérést és a megjelenítést közel valós időben végrehajtani. Még így első mérésnél, nem törekedtem ennek megoldására, csak a szenzorok beállítására és megismerésére, és a mérési környezet kialakítására. Reprezentáció szintjén a háromdimenziós megjelenítés megkönnyíti a tesztek kiértékelését, ezt is, mint kitűzendő célként tartom számon, mivel szeretném ezt a témát tovább vinni szakdolgozat szintjére.

Köszönetnyilvánítás

Szeretnék köszönetet mondani Tihanyi Attila Tanár Úrnak, aki bemutatta a projektet, felhívta figyelmemet a témakör fontosságában, lehetőségeiben, és mindvégig nagy mértékben segítette és támogatta munkámat!

9 Irodalomjegyzék

- [1] Nyers Szabina: *Mozgáselemzés MEMS alapú gyorsulás mérő adatai alapján*, 2011.
- [2] Gerber Balázs : *Kajakozási technika komplex elemzése gyorsulásmérés segítségével*, TDK dolgozat 2007.
- [3] ADXL345 datasheet: http://www.analog.com/static/imported-files/data_sheets/ADXL345.pdf
- [4] HMC5843 datasheet: <http://www.sparkfun.com/datasheets/Sensors/Magneto/HMC5843.pdf>
- [5] PSITG3200 datasheet: <http://www.sparkfun.com/datasheets/Sensors/Gyro/PS-ITG-3200-00-01.4.pdf>
- [6] Giroszkóp: <http://www.gyroscopes.org/> (Angol)
- [7] Giroszkóp: <http://www.gyroscope.com/> (Angol)
- [8] Könyvtár- és információtudományi szakfolyóirat, 50. évfolyam (2003) 4. szám
http://tmt.omikk.bme.hu/show_news.html?id=1843&issue_id=50