

23. További hasznos szenzorok

Írta: Pepó Tamás

Lektorálta: Lágler Gergely, Szabó Ádám

A tananyagrészt végére megismered a leggyakrabban használt elektromos szenzorokat és képes leszel átfogóbb, komplexebb problémák megoldására is segítségükkel.

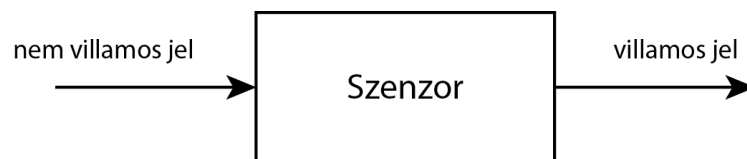
BEVEZETÉS

A korábbi tananyagrészekben már megismerkedhettetek különféle szenzorokkal, melyekkel a külvilágról szerezhetünk hasznos információkat. Szenzorainkkal a valóságot, illetve annak csak egy bizonyos részét képezzük le rendszerünkbe, legyen az a külvilág hőmérséklete, mágnesesség jelenléte, fény mennyisége vagy akár egyszerű nyomás egy adott folyadékban. Általánosságban tehát elmondható, hogy a szenzorok mérendő mennyiségeket (pl. fény, hőmérséklet) alakítanak át villamos mennyiségekké, vagyis a szenzorok jelátalakítók. Az ilyen módon átalakított jelet továbbítják a rendszer felé, mely megvalósítja az általunk kívánt reakciót a jel felhasználásával.

Nevezhetjük-e szenzornak az emberi érzékszerveket? Bár a dolog nem ilyen egyszerű, de önmagában a definíciónak megfelelnek, az agyi idegpályákon elektromos ingerületet hoznak létre a megfelelő külső inger hatására. A szemünk fényérzékelést biztosít, és átalakítja a látott képet a neki megfelelő impulzusok sokaságára. Ebből is látszik, hogy a szenzorok és emberi érzékszerveink nagyon hasonlóak. Ezt a hasonlatot tovább taglalva beláthatjuk, hogy pont úgy, ahogy az ember számára is szinte nélkülözhetetlenek ezek az érzékszervek, úgy nélkülözhetetlenek számunkra a szenzorok elektromos rendszereinkben is, ha a külvilágról bármilyen információval szeretnénk rendelkezni.

A SENZOROK FELÉPÍTÉSE

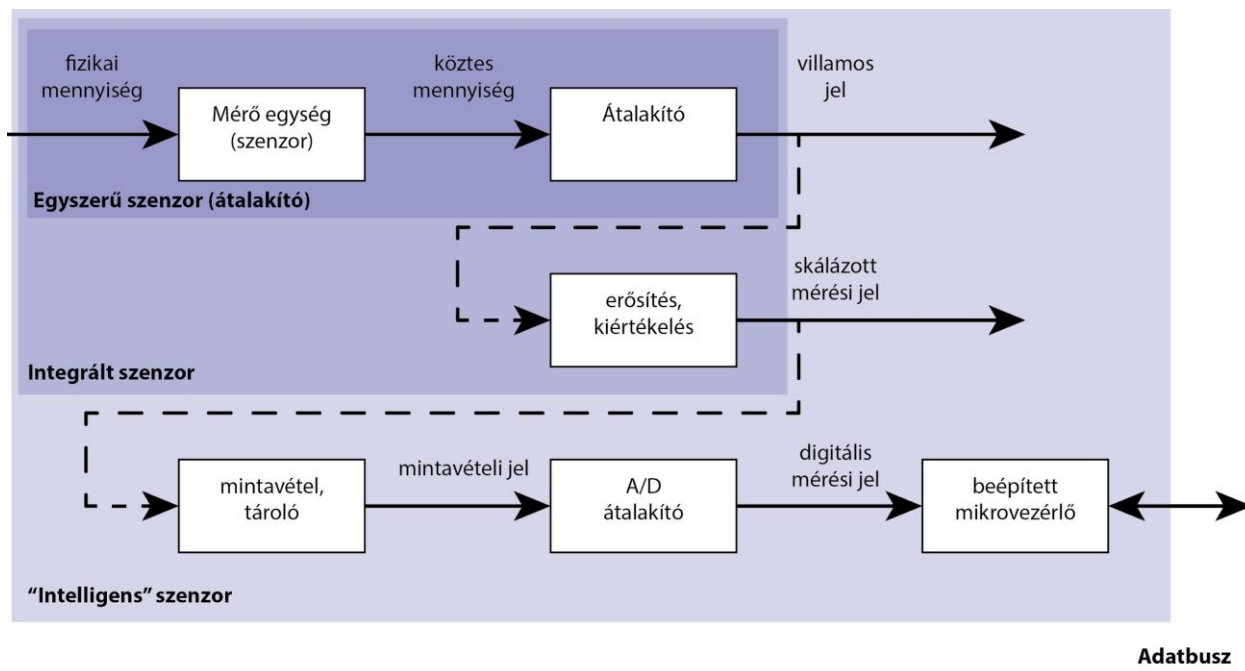
Hogy is épül fel általánosan egy szenzor? Gondolkozzunk!



1. ábra - Szenzorok általános modellje

A bemenő jel szempontjából szükségünk van egy részegységre, mely ezt a nem villamos jelet képes mérni, változását érzékelni. A szenzor kimenetén szükségünk lesz egy elektromos jelre, melyet beágyazott rendszerünkben fel tudunk dolgozni.

A gyakorlatban ez úgy néz ki, hogy a szenzorba bemenő jelet általában egy köztes, nem elektromos jellé alakítjuk, mely könnyebben, hibátűrően alakítható át villamos mennyiséggé. Az alábbi, 1. ábra a szenzorok alaptípusainak általános felépítését mutatja.



2. ábra - Szenzorok általános felépítése

Látható, hogy egy **egyszerű szenzor** esetén a fellebb tárgyalt két egységünk meg is van: a mérőegység méri, detektálja a mérendő jelet, majd egy, az eredetitől különböző, nem villamos jellé alakítja, amit aztán az átalakító fog villamos jellé alakítani. Ez a villamos jel a bemenő jeltől és a mellette érzékelhető, folyton jelen lévő zavarjelekből áll.

A könnyebb megértés érdekében álljon itt egy példa: ha egy tengely forgását potenciométerrel mérjük, akkor a potenciométer belsejében az érintkezőjének pozíciója az ellenálláspályán a forgatással változik. Ez a pozíció egy köztes fizikai mennyiség. A pozíció függvényében változik a potméter kimenetén mérhető ellenállás, ami pedig már egy villamos mennyiség. Ebben az esetben a mérőegység a potméter tengelye, valamint a ráerősített érintkező, az átalakító pedig az ellenálláspálya és a mozgó mérési pont bekötése.

Egyszerű szenzorokat nem csak magukban alkalmazhatunk. Használhatunk úgynevezett **integrált szenzorokat** is bizonyos környezeti hatások mérésére. Az ilyen szenzorok több egyszerű szenzorból állnak, melyek jeleit egy külön egység értékeli ki és összesíti megadott logika szerint. Erre egy nagyon jó gyakorlati példa az ultrahangszenzor, amely önmagában egyetlen irány mentén érzékel hatékonyan, így egy nagyobb térrész lefedéséhez már több egyszerű ultrahang-érzékelőt is használnak. Ezeket egy integrált szenzorban készen megtaláljuk. További előnye az integrált szenzoroknak, hogy a legtöbbször a jelillesztést is megvalósítják, így az analóg jelszintek a rendszerben használt jelszintekhez igazodnak, vagyis mikrokontrollerrel könnyen feldolgozhatók.

Intelligens szenzoroknak nevezzük azokat az érzékelőket, melyek már nem az analóg kimeneti jelet bocsátják rendelkezésünkre, hanem jelformálást végeznek. Ilyen jelformálás lehet a legegyszerűbb esetben az analóg-digitális (A/D) átalakítás, amely a mért analóg jelből több biten ábrázolható digitális kimenetet képez. Ezen kívül találhatunk még az ilyen szenzorokban feldolgozó egységet is, tipikusan mikrokontrollert, ami a mért értékeket kiértékeli, és a beállításoknak megfelelően feldolgozza. Az intelligens szenzorokban található processzorokkal szabványos kommunikációs protokollokon keresztül

kommunikálhatunk, pl. UART vagy SPI, amiken keresztül sokféle beállítást is módosíthatunk az adatfeldolgozásra vonatkozólag.

KOMMUNIKÁCIÓ

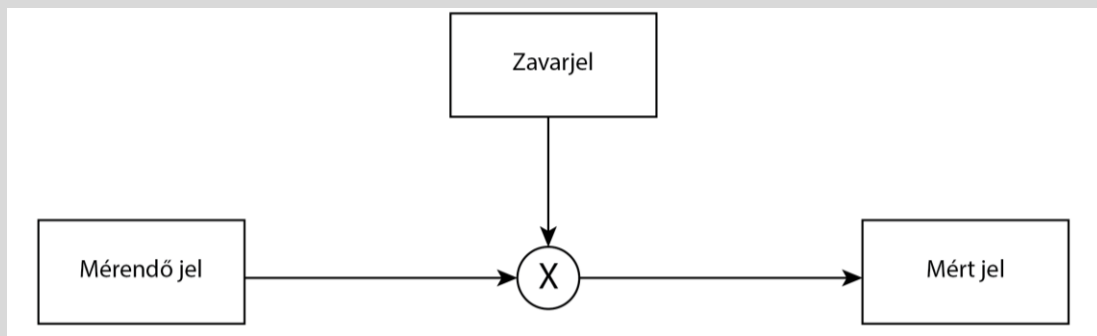
Ha a szenzorunk kimenete nem csupán egyetlen bináris jel, hanem egy bitsorozat, akkor azt megfelelően továbbítani is kell. Erre alapvetően kétféle lehetőségünk van: párhuzamos és soros kommunikáció. A kimeneti értéket jelképező szám (bitsorozat) a szenzor felbontásától függően nagyszámú bináris számjegyből állhat. Példaként gondoljunk csak arra, hogy egy jeltartományt 10000 (ami közel sem tekinthető magas felbontásnak) egyenlő részre felbontani képes szenzor kimenetén előálló számot máris 14 bináris számjeggyel tudunk csak leképezni. (A gyakorlatban alkalmazott szenzorok nem ritkán 64 bites felbontásúak is lehetnek, ilyenek pl. a kódadók.)

A párhuzamos kommunikáció során gyakorlatilag bitenként biztosítunk egy jelvezetékét. Könnyű belátni, hogy ez nagyon gyors, hiszen az egész szám, vagyis az adat, egyszerre áll elő a jelvezetéseken és olvasható ki egy időben egy mikrovezérlő által. A legfőbb hátránya a vezetékköltség, melybe nem csak az adatvezetéseket kell beleszámolni, hanem az adó és a vevő szinkronizálásához szükséges különálló vezetéseket is. Felhasználása csak nagyon kis távolságokra, általában eszközökön belülre a leggyakoribb, ilyenek pl. a számítógépek adatbuszai. További fontos hátrány, hogy mind az adó, mind a vevő oldalán lévő intelligens egység (pl. mikroprocesszor) kivezetéseiből sokat lefoglal a nagy számú összeköttetést biztosító vezeték, ezt sokszor nem engedhetjük meg magunknak, hiszen ezzel nem csak nagyobb lábszámú (több kivezetéssel rendelkező) mikrokontrollert kellene alkalmaznunk, de az áramkörünk mérete is jelentősen megnövekedne. Ha ez még nem volna elég, a nagyszámú vezeték kialakítása már konstrukciójában is növeli a hibalehetőségek számát, így ha lehet, és a sebességszükséglet nem kívánja meg, használatát mellőzni szoktuk.

A soros kommunikáció során adattovábbításra egy adott irányba (legyen ez most a szenzortól a mikrovezérlő felé) egyetlen vezetékét használunk, a megfelelő biteket egymás után, időben eltolva jelenítjük meg a vezetéken, hasonlóan a párhuzamos kommunikáció egy-egy jelvezetékéhez. A vevőnek és az adónak legfőbb feladata, hogy azonos ütemben legyen képes a jel adására és vételére. Ezt sokféleképpen lehet megoldani, például olyan jel átvitelével, ami a vezeték írását és olvasását ütemezi (órajel), ennek külön jelvezeték szükséges. Az is könnyen belátható, hogy az ütemezés elcsúszásával duplán olvashatunk be egy bitnek megfelelő jelet (gyorsabban olvasunk, mint kellene), vagy kihagyhatunk jeleket (lassabban olvasunk, mint kellene). Előnye az alacsony vezetékköltség, amivel egyszerű hardver jár, hátránya az, hogy lassabb, mint a párhuzamos adattovábbítás, valamint, hogy nagy távolságokra a szinkronizáció nehezebben megoldható. A soros kommunikáció lassúsága mára már nem szembetűnő a párhuzamossal szemben, hiszen az ilyen típusú kommunikációkat használó mikroprocesszorok órajele folyamatosan nő, a kommunikációs sebességet magával húzva, így a valóban realizálható különbség egyre elenyészőbb. A digitális kimenetű szenzorokat gyakorlatilag kivétel nélkül soros kommunikációval szoktuk a rendszerhez kapcsolni. Ennek van egy további előnye is, amennyiben nagyobb felbontású szenzort alkalmaznánk a jövőben, úgy elég csak a szenzort cserélni, hiszen a felbontás miatt több jelvezetékre nem lesz szükségünk.

Kitekintés

Most pedig térjünk vissza a zavarral terhelt mérendő jel érzékelésére. Sokszor szembesülünk a szakmában azzal, hogy az adott jel mérése során furcsa, a várttól jelentősen eltérő értékeket mérünk. Ilyenkor, a mérési elrendezés vizsgálata után joggal gondolhatunk arra, hogy nem a megfelelő zavarvédelemmel terveztünk. Általánosan elmondható, hogy a mért jelünk a mérendő jelből és annak zavarjeléből áll, mely úgymond szuperponálódik a mérendő jelre. Vagyis minden általunk kijelölt pillanatban csak és kizárólag a két jelet együtt vagyunk képesek mérni.



3. ábra - Zavarjel mérendő jelre szuperponálódása

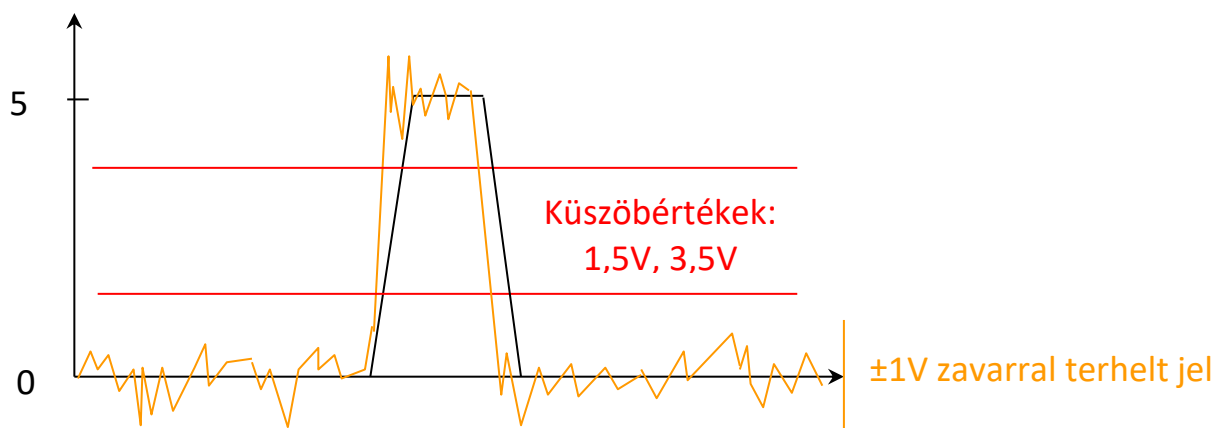
Egy egyszerű trükkel tudjuk elérni, hogy a zavarjelet kiküszöböljük, ugyanakkor szignifikáns adatvesztést ne okozzunk. (Információfeldolgozási szemszögből adatvesztésnek titulálhatjuk az összes olyan cselekvésünket, mellyel a bemenő, hasznos jelet deformáljuk, információtartalmát redukáljuk.) Mivel a jelre szuperponálódó zajok legtöbbször fehér zaj jellegűek, vagyis időbeli összegük zérus, így átlagoló szűrővel el tudjuk érni, hogy kiejtsük a zajt a mérésből. Jeleink csak egy szakaszon helyettesíthetők átlagukkal, ez a szakasz pedig legyen megfelelően kicsi ahhoz, hogy a jel a valós, mérendő jelhez képest alakhű és kellően informatív maradjon. (Gondoljunk csak bele, ha a szinusz jelet átlagolnánk a teljes periódusára, 0-t kapnánk, ami meglehetősen kevés információval bírna az eredeti jelről...) Az átlagoló szűrő algoritmus viszonylag egyszerű: minden pontot a környezetének átlagával helyettesítünk. Ezt egy egyszerű képlettel fejezhetjük ki, csak a teljesség kedvéért:

$$y(n) = \frac{1}{N} \sum_{i=0}^{N-1} (x_{n-i})$$

A jeltorzulás az átlagoló szűrővel is előfordul, méghozzá az alábbi módon. Az átlagolás során pont az vesz el, ami sok esetben nagyon fontos: a gyors fel- és lefutás. Vegyünk egy gyakorlati példát! Kellően hosszú átlagolás esetén nézzük meg egy ablak nyitásérzékelőjét. A nyitásérzékelő egy hirtelen impulzust ad az ablak kinyitásakor. Átlagolásunk során azonban mi a hirtelen felfutás helyett csak lassan érzékeljük a jelváltozást, hiszen a mérési pont környezete ekkor még nagy számban tartalmaz olyan mért értékeket, melyek a felfutás előtti állapotot mutatják. Ezzel lassítjuk az érzékelést, ami ebben a gyakorlati esetben nem feltétlenül kritikus, de vannak olyan alkalmazások, ahol a hirtelen reagálás alapvető szükséglet.

Az átlagolást épp ezért nem tipikus, hogy ugrásszerűen változó jelekre használják, hiszen az ilyen jelekre szuperponálódott fehér zaj mértéke jóval kisebb az ugrás mértékétől, így egyszerű küszöbértékek figyelembe vételével is megvalósítható egy ilyen érzékelő. Ezt az alábbi ábrán láthatjátok, ahol példaként

egy rövid 5V-os impulzust akarunk észrevenni egy olyan jelen, amire 1V amplitúdójú zavarjel szuperponálódott. A jel állandó értéke 0V, az 5V-os ugrás kellően nagy ahhoz, hogy észre tudjuk venni érzékelőinkkel, viszont az átlagoláshoz használt átlagolási időhöz viszonyítva kicsi. Az ábrán látható két küszöbérték esetén logikai "0" állapotban vagyunk, ha 1,5V alatt, és logikai "1" állapotban vagyunk, ha 3,5V fölött mérünk a jelvezetéken - vagyis átlagolás nélkül is stabil állapotot adunk vissza, melyet a zavar nem befolyásol.



4. ábra - Rövid jelek érzékelése zavarjel esetén

OSZTÁLYOZÁS

A rövid bevezetés után nézzük át részletesebben, milyen szenzorokkal találkozhattok majd, ha bővebben is foglalkoztok az elektronikával!

OSZTÁLYOZÁS A MŰKÖDÉSHEZ SZÜKSÉGES ENERGIA SZERINT

Energiaforrás szerint	Magyarázat
Aktív (Generátor típusú)	Nem igényelnek külön energiaforrást, a megfigyelt közegből veszik a működésükhöz szükséges energiát
Passzív (Modulátor típusú)	Működésükhöz külső energiaforrás szükséges

OSZTÁLYOZÁS MŰKÖDÉSI ELV ALAPJÁN

Működési elv	Példák
Analóg	erő- és nyomatékmérők, áramlásmérők, hőmérsékletmérők, útmérők, hosszmérők, elfordulás érzékelők, stb.
Digitális	helyzetérzékelők, közelségérzékelők, nyomáskapcsolók, kapcsoló-hőmérők, stb.

OSZTÁLYOZÁS MÉRENDŐ MENNYISÉG ALAPJÁN

Mérendő mennyiség	Példák
Mechanikai érzékelők	helyzet, elmozdulás, gyorsulás, erő, fordulatszám, áramlási sebesség, hanghullámok, nyomás, stb.
Termodinamikai érzékelők	hőmérséklet, hőmennyiség, hőáram, stb.
Elektromos és mágneses érzékelők	elektromos tér, mágneses tér, töltés, feszültség, áram, ellenállás, stb.
Sugárzásérzékelők	elektromágneses sugárzás (rádióhullám, mikrohullám, röntgen) és korpuszkuláris sugárzás (alfasugárzás, béta-sugárzás, ionizált sugárzás, neutronok)
Kémiai érzékelők	semleges és töltött részecskék áramlása, koncentrációja, aktivitása egy adott közegben
Biológiai érzékelők	élő szervezetek speciális jellemzői

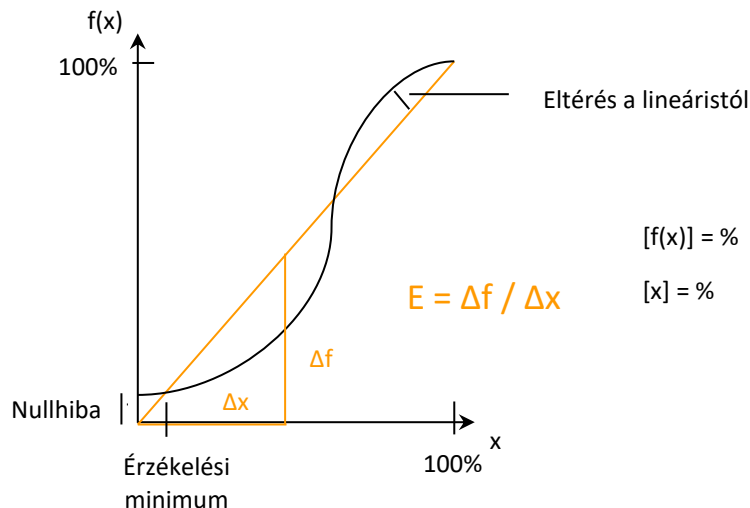
ALAPFOGALMAK

Ebben a részben ejtek pár szót a szenzorikában használt alapfogalmakról, mindezt annak érdekében, hogy a következőkben mélyebben el lehessen merülni a speciális szenzorok alkalmazásaiban, valamint, hogy a későbbiekben ismeretlen szenzortípusokkal találkozva is könnyen megértsétek az adott érzékelő működését..

A szenzor legfőbb jellemzője a statikus karakterisztika. Ez alatt azt a függvénykapcsolatot értjük, mely a mérendő jel és az érzékelő kimeneti jele között áll fenn. Bármilyen mérést is szándékozunk végezni, ezt a függvényt nem hagyhatjuk figyelmen kívül. A legkönnyebben talán a fényérzékelő példáján mutatható ez be: képzeljünk el egy kétdimenziós x - y koordinátarendszert, melyben a bemenő értékek az x tengely mentén találhatók, a kimenő értékek pedig az y mentén. Vagyis a két tengely dimenziója, ahogy a kimenő és bemenő értékek típusa sem azonos, ebben az esetben az x mentén mondjuk Lumen értékek, az y mentén Volt értékek szerepelnek. Az ebben a koordinátarendszerben ábrázolt $f(x)$ függvény a statikus karakterisztika, vagyis milyen bementi Lumen értékekhez milyen feszültség szint tartozik.

A statikus karakterisztika lineáris, ha a bemeneti és kimeneti jelek között egyenes arányosság áll fent.

Nullhibának (angolul offset-nek) hívjuk azt a kimeneti jelszintet, ami a mérendő jel nulla értéke esetén észlelhető a kimeneten. Ez a statikus karakterisztika $x=0$ helyen vett $f(x)$ értéke. Érzékenységnek (E) nevezzük a válaszadási képességet, vagyis a szenzor statikus karakterisztikájának meredekségét. Ez lineáris karakterisztika esetén állandó, nemlineáris karakterisztika esetén a bemeneti érték függvénye. A lenti ábrán egy fiktív statikus karakterisztikát láthattok, ami hasonló a valós szenzorok karakterisztikájához, és jól érzékelteti a fentebb írtakat. Az ábrán sárgával a szenzor ideális statikus karakterisztikáját, valamint az ideális karakterisztika érzékenységét is láthatjátok.



5. ábra - A statikus karakterisztika

Az ábrán látható az érzékelési minimum, ami ahhoz a bemeneti értékhez tartozik, amelynél alacsonyabb bemeneti értékeknél már nem tudunk különbséget tenni, vagyis a legkisebb olyan érték, melytől a nála kisebbeket szenzorunkkal már nem tudjuk megkülönböztetni (az ábrán $f(x)$ ellaposodik, közel vízszintessé válik).

A következő bekezdésben általánosabban fogalmazva szeretném számotokra összefoglalni egy ideális szenzor jellemzőit, mely a valóságban ugyan nem létezik, de ebből látható, hogy mi felé törekszik a szenzorika, mi lenne az ideális az elektronikai felhasználás számára.

Az ideális szenzor statikus karakterisztikája a teljes tartományon lineáris, érzékenysége nagy és nem függ a bemeneti paraméterektől. Nullponthibája nincs. Felfutási ideje zérus, ami azt jelenti, hogy minden bemeneti változást azonnal, időkéscsés nélkül követ a kimeneti jel, vagyis minden pillanatban pontosan az aktuális bemeneti jelnek megfelelő érték mérhető a kimeneten. Ha felfutási ideje zérus, akkor sávszélessége végtelen (azaz bármilyen frekvenciatartományban helyesen működik), vagyis a bemenő jel változásait a változások sebességétől függetlenül, mindig követni tudja. Alsó méréshatára végtelenül kicsi (bármilyen kis értéket képes érzékelni a bemenetén), a felső méréshatára pedig egy kalibrált maximális értékhez igazodik.

Fontos tudni, hogy bizonyos tulajdonságok egyidejű teljesítése egy valós szenzorban nagyon nehéz lenne, így szinte mindig kompromisszumokat kell kössünk annak érdekében, hogy egy jó árú, de pontos és könnyen kezelhető érzékelőt használhassunk fel. Mindezek ellenére a valós, gyakorlati használat során, tekintettel a mérési tartományra és a méréssel szemben támasztott pontossági igényekre, ezek a kompromisszumok ritkán okoznak problémát. Erre jó példa, hogy bármilyen, nagy tömegű tárgy tömegét (legyen ez pl. egy ember, vagy akár egy autó) nem mikrogramm pontossággal akarjuk lemérni, hanem elég lehet számunkra a $\frac{1}{4}$ kg vagy a kg-os pontosság.

SPECIÁLIS SZENZOROK

KÖZELÍTÉSKAPCSOLÓK

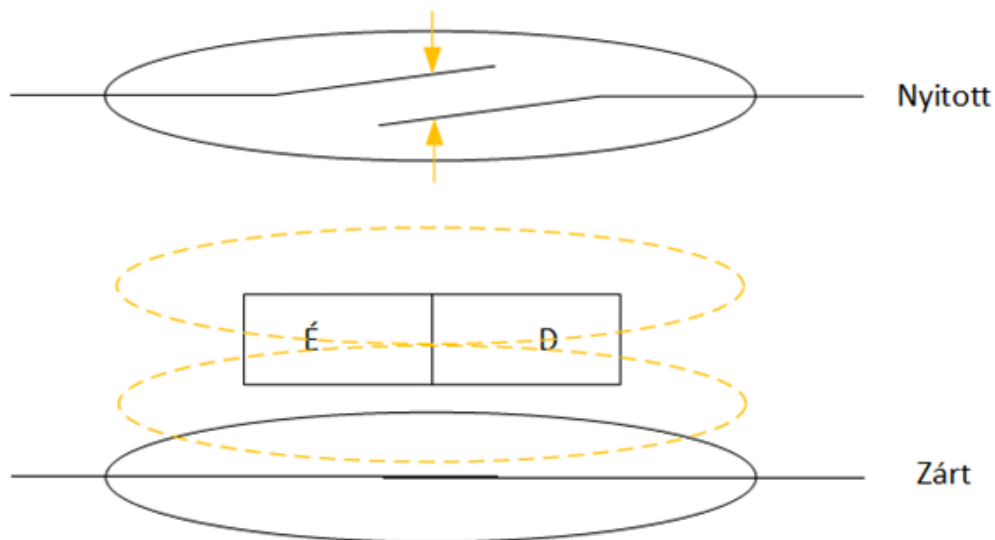
A tananyagban az alábbi közelítéskapcsolókkal foglalkozunk behatóbban:

- Mágneses
- Induktív
- Optikai
- Kapacitív
- Ultrahangos

Általánosságban a közelítéskapcsolók feladata, hogy a hozzájuk közelítő tárgyat érzékeljék úgy, hogy kihasználják annak valamely, számukra kedvező tulajdonságát közelségének jelzésére. A tárgyak ezen speciális tulajdonsága az, ami mentén a különböző működési elvű közelítéskapcsolókat meg tudjuk különböztetni. A kezdő projektek leggyakoribb érzékelői, egyszerűségüknél fogva, a mágneses és optikai érzékelők, ezekről bővebben is olvashattok a továbbiakban.

Mágneses

A mágneses közelítéskapcsoló (másnéven REED-relé) érzékeli a mágneses tér hiányát és jelenlétét, legyen az egy permanens mágnes tere vagy egy elektromágnesé. Sokszor végálláskapcsolóként alkalmazzák őket, például műanyag vagy alumínium falú munkahengerekben, ahol a henger anyaga nem befolyásolja a mágneses hatást. Ebben az esetben a dugattyú maga, vagy a tömítés anyaga mágneses, melyet a munkahengeren kívül helyezett szenzor képes érzékelni. Ez előnyös, mert a szenzor jól elszigetelt a munkahenger belsejétől, így kevésbé kell ellenállónak lennie, mint ha egy belső szenzort kellene alkalmazni, sőt, cseréje is sokszor megoldható a munkahenger cseréje nélkül. Ritkábban akár nyílászárók (gondoljunk itt ablakokra, ajtókra, de kicsit absztraktabb esetben elektromos eszközök fedelére is) állapotának érzékelésére is jó lehet.



6. ábra - Mágneses közelítéskapcsoló

Mágneses tér hatására az egymástól néhány tizedmilliméter távolságra lévő két érintkező összeér, a tér elvételével újra széthúznak. Ezeket hívják zárt és nyitott állapotoknak. Vásárolhatunk ellentétes módon működő közelítéskapcsolókat is. Az érintkezők a gyakorlatban általában valamilyen semleges gázzal töltött üvegcsőben találhatók.

Induktív

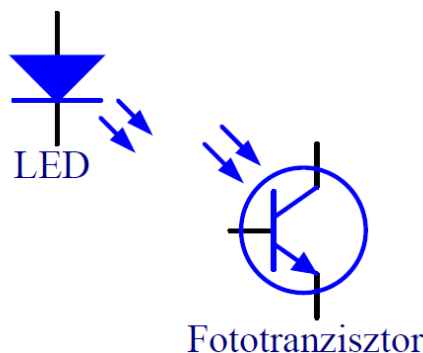
Az induktív közelítéskapcsoló egy aktív eszköz, saját maga állít elő mágneses teret, majd az ebbe belépő mágnesezhető anyagok jelenlétét képes érzékelni. Legtöbbször speciális körülmények előfordulásakor szokták használni, ilyen például a vízállóság követelménye, vagy erősen szennyezett környezetek.

Működési elve jóval bonyolultabb a korábban részletezett mágneses közelítéskapcsolónál. A teljesség igénye nélkül annyit érdemes róla tudni, hogy az általa gerjesztett mágneses tér egy váltakozó mágneses tér, ennek löktetését egy oszcillátor biztosítja. A mágneses térbe belépő mágnesezhető anyagok az oszcillátor által biztosított löktetést lassítják, sőt, áttételesen feszültségváltozást hoznak létre az oszcillátoron (emlékezzünk, hogy bizonyos szenzorok először köztes mennyiséggé alakítják a mérendő mennyiséget - ebben az esetben a löktetés frekvenciája). A működés megértéséhez hozzátartozik, hogy az oszcillátor rezgőköre egy mágnesesen szigetelt térrészben (dobozban) található, ahol csupán a rezgőkör tekercsének egy része az, amire kívülről hatni tudunk. A tekercsnél nyitott tok biztosítja, hogy az ott kilépő mágneses erővonalak segítségével érzékelni tudjunk.

Hogy hogyan lesz egy változó oszcillátorfeszültségből bináris kimenet? Ehhez egy triggerszintet alkalmazunk, a bináris jelet pedig a triggerszinthez viszonyítva határozzuk meg. Többet erről a típusú érzékelőről nem szeretnék írni, viszonylag ritkán része hobbiprojekteknek. A későbbiekben, ha továbbtanulsz ilyen irányba, akkor a felhasználási területnek megfelelően további érdekes dolgokat fogsz megismerni erről a szenzortípusról.

Optikai

Az ilyen típusú érzékelőket gyakran csomagológépek érzékelő megoldásaiként találhatjátok meg, vagy sokszor optikai érzékelőket alkalmaznak arra is, hogy detektálják az egy adott kapun áthaladó embereket vagy tárgyakat. Ezek a fotocellás kapuk. A működési elvük igen egyszerű, a fényérzékelő által impulzusokban kibocsátott infravörös, vagyis látható tartományon kívüli fényt a megfigyelt tárgy, vagy egy reflektor (fényvisszaverő) visszaveri, ezt érzékeli a fényérzékelő. Lényegesen nagyobb távolságból képesek érzékelni a tárgyat, mint a mágneses és induktív érzékelők, azonban fokozottan kell figyelni arra, hogy sem a fényt kibocsátó, sem az azt érzékelő rész nem koszolódhat el, így ilyen környezetben használatuk nem ajánlott.



7. ábra - Fototranzisztor mint fényérzékelő, és fotodióda, mint fényforrás

A fényt kibocsátó alkatrész egy fotodióda (LED), az azt érzékelni képes részegység a fototranzisztor, mely fény hatására nyit ki.

Kapacitív

A kapacitív közelítéskapcsolóknál létezik egy aktív felület, ami a kapacitív csatolás mértékének mérését biztosítja. Amennyiben egy tárgyat közelítünk a szenzor aktív felületéhez, úgy az aktív felület és a tárgy közötti kapacitás megváltozik. Képzeljük csak el, mindez hasonlóan játszódik le, mint egy kondenzátorban! Ha a kondenzátor lemezei közötti távolságot változtatni tudnánk, úgy a kondenzátor kapacitását is változtatni tudnánk.

Leggyakoribb felhasználása tartályok szintmérése. Itt azt a tulajdonságukat használják ki, hogy a nedvesség is befolyásolja a kapacitás mértékét (másféle dielektrikum a nedvességnek köszönhetően). De sokszor használják ki azt, hogy nem szükséges érintkezés az aktív felülethez, így szerszámgépekben is használják ellenőrzésre. Hogy ne csak ipari használatot említsek, gyakran használatos szenzorfajta akváriumokban, terráriumokban, valamint növények mellett is.

Ultrahangos

Ez a szenzortípus nagyon hasonló a fotoérzékelőhöz, mindkettő hullámterjedésen alapul. Itt is adóról és vevőről beszélhetünk, azonban a szenzorok ultrahanghullámokat érzékelnek, melyek az érzékelendő tárgyról visszaverődnek. Az ultrahang a hallható hangoknál magasabb frekvenciájú (a hallható tartomány 20Hz – 20000Hz között van), általában 30kHz és 300kHz közé esik.

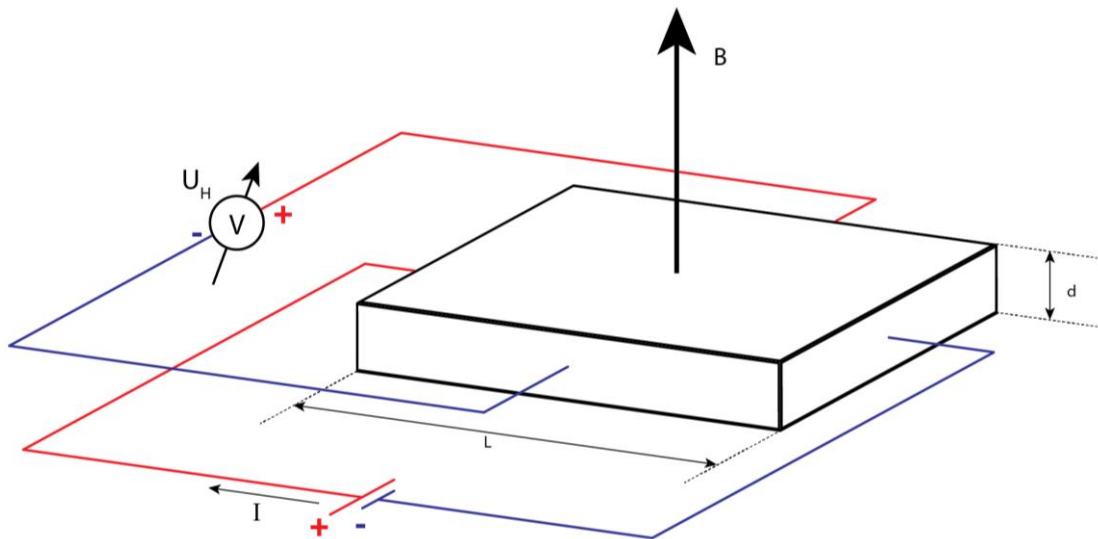
A hanghullámok terjedési idejét jelentősen befolyásolja a környező levegő (illetve a közvetítő közeg) nedvességtartalma valamint hőmérséklete. Ez a hatás nem okoz problémát, ha a keletkező hiba elhanyagolható a megkövetelt mérési pontosság mellett, például ha csak egy test jelenlétét akarjuk detektálni egy adott térrészben. A hanghullámokat nehéz zárt térrészbe fókuszálni, így a hullámok szétterülésének mértékétől függhet az érzékelhető legkisebb tárgy mérete.

HALL-SENZOR

A Hall-szenzor egy mágneses működési elvű szenzor, melyet sokféleképpen felhasználhatunk, például áram vagy mágneses térerősség jelenlétének érzékelésére. A szenzor a nevét a kihasznált fizikai effektusnak köszönheti, ez a Hall-effektus.

Hall-effektus

A Hall-effektust Edwin Hall fedezte fel 1879-ben. Ha egy derékszögű hasáb félvezető lapka egyik hosszanti élével párhuzamosan áram folyik, és a lapkára merőlegesen mágneses tér hat, akkor a mintán mind az áramirányra, mind a mágneses térerősségre merőleges irányban elektromos feszültség jön létre.



8. ábra - Hall-feszültség ábrázolása

A fenti ábrán a térben felfelé mutató mágneses fluxus (B) és a térrészen folyó áram (I) okozta U_H Hall-feszültség látható. A feszültség létrejöttét valójában a Lorentz-erő okozza, mely a mágneses térrészben mozgó töltött részecskére hat. A Lorentz-erő okán a töltött részecskék elmozdulnak az erő irányába, a hasábjában eloszlásuk ezért megváltozik, ami potenciálkülönbséget eredményez.

A hosszú levezetésektől tekintünk el, fogadjuk el, hogy az U_H Hall-feszültség könnyen kiszámolható az áramerősség és a mágneses indukció ismeretében az alábbi képlettel:

$$U_h = R_h \cdot B \cdot \frac{I}{d}$$

Az egyenletből látható, hogy a Hall-feszültség nagyságából állandó mágneses indukció esetén következtethetünk az átfolyó áramerősségre, illetve állandó áramerősség esetén (gerjesztő áram) következtethetünk a mágneses indukció nagyságára. Az egyenletben egy eddig még ismeretlen állandót találhatunk, ez a Hall-állandó, jele R_h .

Felhasználás

A Hall-szenzorok felhasználása sokrétű éppen azért, mert könnyen mérhetünk velük mágneses indukciót (vagy térerősséget), illetve áramerősséget is. Alapvetően négyféle felhasználási módjuk van:

- Lineáris kimenetű:
 - *Áramerősség-mérés* - Biztosítjuk az állandó mágneses indukciót, a vizsgált térrészen áthaladó áram nagyságát pedig a Hall-feszültség mérésével mérjük. A Hall-feszültség nagysága egyenesen arányos az áthaladó áram erősségével.
 - *Mágneses térerősségmérés* - Vagyis a szenzor bemenetén a mért mágneses indukció függvényében lineárisan változik a kimeneti jel (Hall-feszültség). Újból meg kell jegyezni, hogy ekkor fix áramerősségű gerjesztőáramra van szükség.
- Kétállapotú kimenetű:
 - *Unipoláris* - Egyfajta közelítéskapcsolóként (lásd előző rész) működik, ahol a megfelelő indukciójú mágnes közelsége bekapcsolt állapotban tartja a kimenetet.

- *Bipoláris* - Az egyik kitüntetett mágnespólus jelenlétére bekapcsolnak, a másik jelenlétére pedig kikapcsolnak.

Hogy ne hagyjuk példa nélkül a Hall-érzékelőket, álljon itt pár gyakori eset:

- Bináris kimenetű érzékelőként sűrűn alkalmazzák forgástengelyeken a forgás érzékelésére - minden egyes megtett fordulatkor a szenzor érzékeli a forgástengelyre erősített mágnest, ez az egyik legprimitívebb felhasználás. Természetesen ennél bonyolultabb érzékelést is meg lehet valósítani, pl. periodikusan mágnesezett tárcsákkal, amiknek így a szögsebességét is pontosabban mérhetjük. Emlékezzünk erre, mikor az utolsó részben a szögadókat tárgyaljuk!
- Lineáris kimenetű szenzorként gyakran használják az autók gázpedáljának szög mérésére is. A pedál lenyomására egy mágnesezett körív a lenyomás mértékének megfelelően fordul el, ezzel a mágneses térerősség változik a Hall-szenzoron, ami erre a kimenetén a feszültségszintet változtatja.
- Aktív közelítéskapcsolóként gerjesztett árammal - a mágnesezett ellenoldal eltávolítását követően a szenzor kimenete kikapcsol, vagyis detektálja a tárgy elvételét. Itt a fő probléma a Reed-relékellemmel szemben (szintén lásd előző rész) az, hogy a gerjesztett áramhoz elektronikát kell biztosítani, az állandó áramerősséget meg kell tartani.
- Autóipari felhasználása rendkívül sokrétű:
 - Dugattyúk helyzetének meghatározása
 - Gyújtáskapcsoló
 - Gázadagoló szelepek helyzetének érzékelése
 - Fékdob blokkolásszenzora
 - Üzemanyagszint-mérő (úszóra rögzített mágneses résszel)

Miért használhatjuk ennyi helyen a Hall-szenzorokat? Az ilyen érzékelők rendszerint nagy tűrőképességűek, így autókban, fagynak, jégnek, elhasználódásnak kitéve is helyesen működnek. Ezeknél még fontosabb tulajdonságuk, hogy a szenzornak nincs mozgó alkatrésze - ahogy a gépész mondás is tartja, "Ami mozog, az el is romlik" - a mondásra érdemes emlékezni akkor is, amikor háttértárolót vásárolunk, és HDD és SSD között kell választanunk.

Legfontosabb tulajdonságuk mégis az, hogy mindig hiteles adattal szolgálnak, még nagy mérési frekvencia esetén is. A szenzorok akár több száz kilohertz-en is képesek működni, nagy pontossággal, de statikus mérésre is kiválóan használhatóak.

MEMS GIROSKÓPOK ÉS GYORSULÁSÉRZÉKELŐK

Giroszkópokat és gyorsulásérzékelőket használunk olyan helyeken, ahol a pozíciónk vagy orientációnk változását úgy akarjuk nyomon követni, hogy ehhez külső segítséget nem veszünk igénybe, vagyis a mozgást végző eszközön elhelyezett szenzorokkal próbáljuk a megtett fordulatot és utat nyomon követni, érzékelni. Az eszköz általi elmozdulás és orientációváltozás (gyakorlatilag elfordulás) nagyságának megállapításához földhöz rögzített, így ahhoz képest nyugalomban lévő szenzort tehát nem alkalmazunk.

Fontos hangsúlyozni, hogy bár ezen szenzorokkal legtöbbször pozícióinformációt próbálunk szerezni, de abszolút információt nem képesek szolgáltatni számunkra: vagyis mindig csak a kiindulási helyzettől vett (relatív) elmozdulásunkat tudjuk velük érzékelni. A helyzetet tovább bonyolítja, hogy az egyenes vonalon egyenletes mozgást végző járművön elhelyezett szenzorainkkal sem magát a mozgást, sem annak

sebességét nem vagyunk képesek fizikailag mérni úgy, hogy szenzoraink a jármű belsejében találhatók és azok semmilyen kapcsolatban sem állnak a jármű környezetével. Ezért beszélünk a giroszkópok és gyorsulásérzékelők esetében mozgásállapot-változások méréséről.

Egyszerű giroszkópokat már régóta alkalmaznak az űrtechnikában valamint a hajózásban. Ezek bonyolult mechanikus szerkezetek voltak, melyek ára messze túlmutatott a hétköznapi használatban is megtérülőn. A helyzetet a MEMS (Mikro elektro-mechanikus rendszer, avagy Micro Electro-Mechanical System) technológia érkezése változtatta véglegesen meg, amivel ma már kis méretű, kellően pontos, valamint olcsó megoldásokat kapunk, így ilyen szenzorokat már hobbiprojektjeink is tartalmazhatnak. Az eszközök árának drasztikus csökkenése, pontosságuk növekedése új utakat nyitott meg a robotikában is, ahol önjáró robotok pozíció és orientációbecslésére használhatók.



Szerző: KUKA Laboratories GmbH [CC BY-SA 3.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/>)]
https://commons.wikimedia.org/wiki/File:KUKA_youBot.jpg

9. ábra - KUKA önjáró mobilrobot

A mindennapi életünkben is rengeteg példát említhetünk, ahol MEMS technológiájú gyorsulásérzékelőket vagy giroszkópokat találhatunk. A legtöbb okostelefon, tablet tartalmaz ilyen érzékelőt, ezzel érzékeli azt, hogy el kell forgatni a kijelzőt. Itt akár mindkét (gyorsulás, giro) megoldást is alkalmazzák a pontosabb meghatározás céljából, de legtöbbször csak egy egyszerű gyorsulásérzékelőt alkalmaznak, ami a gravitációs gyorsulás mérésére szolgál - ezért is nem fordul el a képernyő, ha a telefont egy asztalon forgatjuk. Szintén hozzátok közeli példaként felhozhatók a játékkonzolok irányítói, mint például a teniszütők, amikbe szintén MEMS érzékelőket építenek, ezzel pedig a kiváltott mozdulatról pontos leíráshoz jutnak.

Egy távolabbi példával ismét visszakanyarodnék a robotikához. Bizonyára sokan találkoztatok már a drónokkal, melyek népszerű hobbivá váltak. Alapvetően négyrotoros távirányítható helikopterekről (quadrocopter) beszélünk (de találkoztam már hatrotoros hexacopter-rel, valamint nyolcrotoros oktacopter-rel is), amelyek autonóm irányítása bonyolult feladat. Eltérően pl. az autók önálló beparkolásától, itt nem egy síkon kell navigálnunk, hanem a tér minden irányába, illetve a stabil pozíció eléréséhez is állandó, minden térbeli tengely menti szabályozásra van szükségünk. A szabályozásról későbbi tananyagrészen fogtok még bővebben is hallani, itt elég annyit tudnotok, hogy a drón adott magasságban és adott orientációban tartásához folyamatosan figyelni kell az érzékelőket, és azoknak megfelelően állítani az egyes, külön-külön vezérelhető rotorok fordulatszámát. (Ezzel áttételesen a

felhajtóerőt tudjuk növelni vagy csökkenteni, bármelyik oldalon, amivel kihatással vagyunk a pozícióra és a térbeli helyzetre.)

A következőkben kétféle MEMS érzékelővel fogtok részletesebben is megismerkedni.

Gyorsulásérzékelők

A gyorsulásérzékelők segítségével egy mozgó test gyorsulásáról, illetve a rá ható erők okozta eredő gyorsulásról nyerhetünk információkat. Mi történik, ha az eszközünk nem gyorsul, hanem egyenes vonalú egyenletes mozgást végez? Nos, ekkor a gyorsulásérzékelőnk is zérus gyorsulást mér, természetes módon, vagyis az állóhelyzetet (nyugalomban maradást) és az egyenesvonalú egyenletes mozgást ilyen módon megkülönböztetni nincs lehetőségünk.

A gyorsulásérzékelőket alkalmazhatjuk pozícióinformáció kinyerésére is, azonban megfelelő korlátozásokkal. Mivel az abszolút pozíció meghatározására nincs lehetőségünk, így csak a kezdőállapothoz képesti relatív elmozdulást tudjuk mérni úgy, hogy az átlalatok is ismert képleteket alkalmazzuk: a gyorsulás és az idő ismeretében meghatározható a sebesség, amiből pedig szintén az idő ismeretében megállapítható a megtett út. A fentebb részletezett módszer bár valóban működőképes, de van egy nagy hátránya, mégpedig ez az apró részlet: "...az idő ismeretében...".

A megfelelő matematikai részletezés nélkül fogadjuk el, hogy az összeadás folytonos időben integrálás. A szorzás is egyfajta összeadás, amikor pedig a sebességet akarjuk megállapítani, az idővel szorzunk. A $v = v_0 + a \cdot t$ képletben elrejtve azt láthatjuk, hogy a sebesség a gyorsulás idő szerinti integrálja. Ezt muszáj megemlíteni azért, hogy tisztábban láthassuk, milyen probléma adódik ezzel a módszerrel. A mérés alapvető hiányossága az, hogy mivel relatív pozíciót (illetve jelen esetben sebességet) mér, ezért minden egyes időpontban a mérési eredményünk függ az összes addigi mérési eredménytől. Ezt beláthatjuk, hiszen a sebességünk függ attól, hogy eddig milyen gyorsulásokat mérve milyen kezdősebességgel (v_0) rendelkezünk a mérés kezdetekor. Ha v_0 megállapításába hiba adódott, ami a mérést terhelő zavaroknak köszönhetően mindig előáll (egyedül a mértéke különböző), akkor az az aktuális mérésre, és közvetve az összes ezután következő mérésre is kihat. Mivel itt még mindig csak a sebességet ismerjük, így egy újabb integrálásra lesz szükségünk a pozíció meghatározásához ($s = s_0 + v \cdot t$). Ez jelentős mennyiségű hibát hozhat a mérésbe, ami ráadásul az idő telésével egyre csak nő.

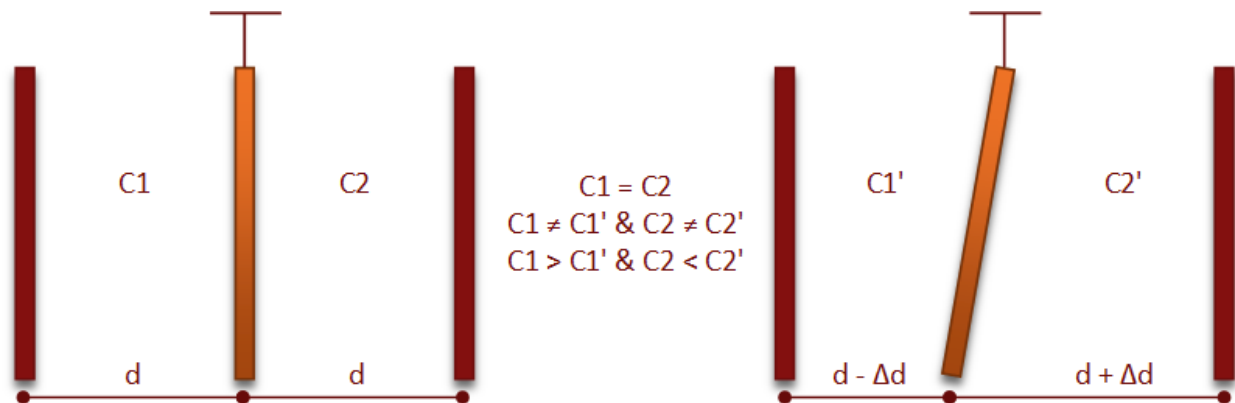
Látható tehát, hogy praktikusán a gyorsulásérzékelőket nem az abszolút pozíció kizárólagos megállapítására, inkább csak a más, abszolút pozícióinformációt szolgáltató érzékelők (pl. GPS) pontosítására használják. Ezen felül egy adott időpillanatban vagy időintervallumban, például egy kanyar bevételekor (vagy rosszabb esetben ütközéskor) az autóban ébredő erők kiszámítására használják.

A gyorsulásérzékelők általában egy térbeli tengely mentén képesek a gyorsulás mérésére, vagyis egydimenziós érzékelők. Ezért a legtöbbször olyan háromdimenziós gyorsulásérzékelő szenzorokat használunk, melyek három, egyenként egydimenziós érzékelőből összeillesztett, integrált szenzorok. Így a tér minden irányában képesek vagyunk a gyorsulás mértékének megállapítására, az eredő gyorsulás mérésére. Alapvetően kétféle működési elvű gyorsulásérzékelőt ismerünk:

Kapacitív

A gyorsulás érzékeléséhez egy összetett rugó-tömeg rendszert alkalmazunk. Ezt úgy kell elképzelni, mintha összefordítanánk két kondenzátort, és egy-egy elektródájukat közösítenénk. Ezt a közös lemezt felfüggesztjük úgy, hogy felületének síkja merőleges legyen a gyorsulásmérés tengelyére. A gyorsulást

kiváltó erő szempontjából a közös lemez tehetetlensége miatt úgy viselkedik, mint egy rugóra függesztett tömeg, mely a gyorsulásnak ellenirányban elhajlik. Az elhajlással az elektródák közötti távolság változik, amivel együtt a kondenzátorok kapacitása is változik. Ezt az alábbi ábra szemlélteti:

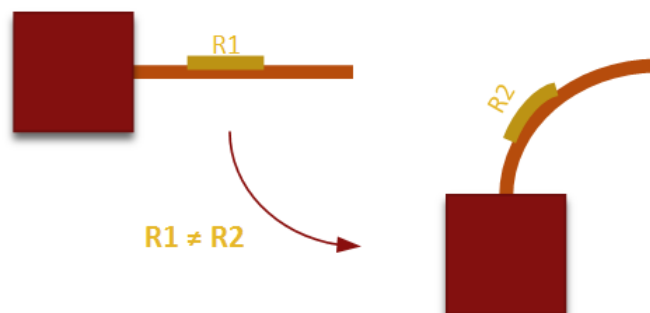


10. ábra - Kapacitív gyorsulásérzékelő elvi kialakítása

Piezorezisztív

A piezorezisztív érzékelők azt használják ki, hogy a gyorsulást okozó erők rugalmas alakváltozást okoznak bizonyos anyagokban, mely a rugalmassági határig lineáris az azt kiváltó erővel. A rugalmassági határ az a legnagyobb erőhatás, amely még rugalmas változást okoz az anyagban, és nem végleges deformitást.

Leggyakrabban ellenállásokkal mérjük ezt a hatást, még hozzá két alapvető fizikai jelenséget kihasználva: az ellenállás alakjának megváltozásával az ellenállás mértéke, valamint a rugalmas alakváltozással a fajlagos ellenállása is megváltozik (ez utóbbi a piezorezisztivitás, melyet számos más területen, például hangérzékelésnél is kihasználunk). A két hatás által kiváltott ellenállásváltozás könnyen mérhető elektromos jellemző. Ha felfüggesztünk egy tömeget (hasonlóan az előző példához a közösített elektróddal), a függesztékekre nyúlásmérő bélyeget (speciális ellenállás, melyet kifejezetten nyúlásmérésre használunk) helyezünk, a rugalmas elhajlás mértéke meghatározható a bélyegek ellenállásának változásából. Ebből könnyen következtethetünk az elhajlást kiváltó erő mértékére. Mindezt az alábbi, sematikus ábra mutatja:



11. ábra - Piezorezisztív gyorsulásérzékelő elvi kialakítása

Giroszkópok

A járművekre szerelt giroszkópok segítségével a járművek görbe vonalú mozgásának jellemzőit mérhetjük, ilyen a jármű által megtett elfordulás mértéke, illetve az ezt kiváltó szögsebességi összetevő. Alapvetően a giroszkópok működési elve jóval bonyolultabb, mint azt a gyorsulásérzékelők esetében láthattuk, ahol sokszor a rugalmas alakváltozás linearitását használtuk ki, amit többféleképpen mérhettünk.

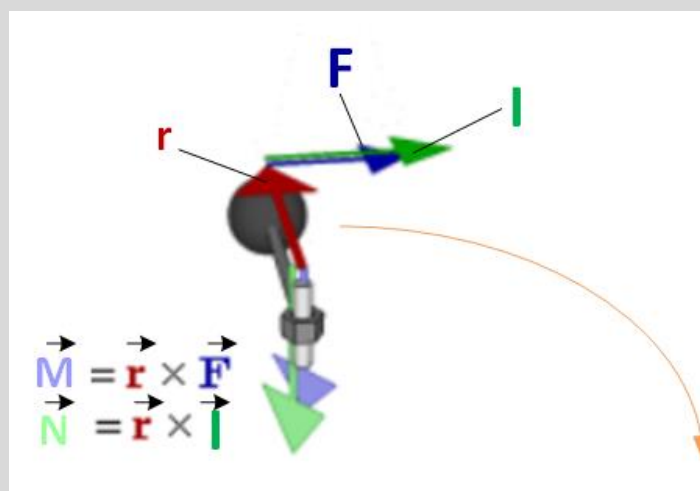
Mielőtt rátérünk a MEMS giroszkópokra, vessünk egy pillantást a mechanikus giroszkópokra is! Az első giroszkópot már az 1800-as évek közepén feltalálta Foucault (ő az ingájáról is ismerhetitek). A fizika egyik alapvető törvényét használta ki, ez pedig a perdületmegmaradás törvénye.

Kitekintés

A perdület a merev test tehetetlenségi nyomatékának és szögsebességének szorzata, jele N . Azt is tudjuk, hogy a testre ható eredő forgatónyomatékok (M_e) a test tehetetlenségi nyomatékának és szöggyorsulásának szorzataként számíthatók. Ezekből már könnyen levezethetővé válik az alábbi egyenlet, ami a perdülettétel:

$$M_e = \Theta \cdot \beta = \Theta \cdot \frac{\Delta\omega}{\Delta t} = \frac{\Delta N}{\Delta t}$$

Azt láthatjuk, hogy az eredő forgatónyomaték, amennyiben az nem zérus, perdületváltozást okoz - ezzel analógiában tehát, amennyiben a testre ható forgatónyomatékok összege nulla, akkor a perdülete állandó. Ez a perdületmegmaradás törvénye. Mivel az egyenlet egyik oldalán egy vektoros mennyiség áll, a forgatónyomaték, így a perdületnek is vektoros mennyiségnek kell lennie. Így a perdületmegmaradás nem csupán a perdület nagyságának megmaradásáról, de térbeli irányának megtartásáról is szól. A következő ábrán láthatjátok a tárgyalt fizikai mennyiségeket, az összetartozó jelölések és vektoraik azonos színnel vannak feltüntetve.



12. ábra - Erő, forgatónyomaték, lendület, perdület

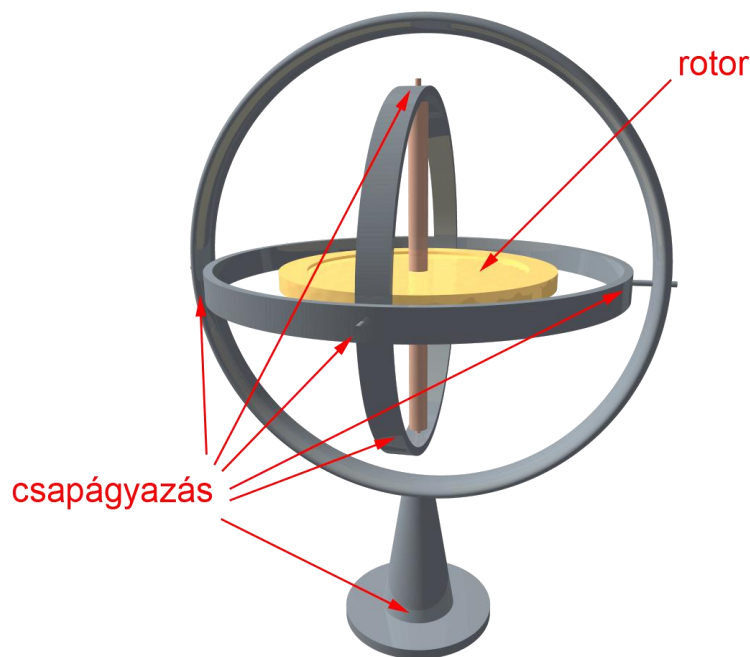
A fentebbi ábrán egy forgó mozgást végző golyó látható, a narancssárga nyíl szerinti irányban forog. Ekkor a mozgását kiváltó erő (F) olyan forgatónyomatékot képez rajta, mely $F \cdot r$ nagyságú, ahol r az erőkar. Ugyanebben az esetben a golyó perdülete (N) egyszerűen számolható a test impulzusának (I) és az impulzus erőkarának szorzataként ($I \cdot r$). Vegyük észre, hogy az ábrán a szorzás helyett egy kereszt látható, ez a vektoriális szorzat. Ebben a tananyagban nem célom ezt kifejtetni, a képen látható esetben, mikor az erőkar és az erő/impulzus merőlegesek egymásra, akkor ez a vektoriális szorzat éppen egyenlő lesz a vektorok hosszának szorzatával, iránya pedig mindkettőre merőleges és a jobbsodrású koordinátarendszernek megfelelő. Minden egyéb esetben a vektor iránya azonos, de nagysága a két vektor hosszának $\sin(\alpha)$ szorosa, ahol α a két vektor közötti szög.

A mechanikus giroszkóp a pörgettyűn alapszik, melyre alkalmazhatjuk a perdületmegmaradás törvényét, így az elindítása után mindig próbálja megőrizni forgástengelyének irányát. Ebben sok tényező akadályozhatja, de speciális esetben, ha pörgettyűnk a tér minden irányában könnyen el képes fordulni, képes tartósan is megőrizni azt. Ehhez persze, ahogy a valós fizikai jelenségek során ezt megszokhattuk, biztosítanunk kell pár feltételt:

- fordulatszáma és tömege legyen minél nagyobb
- pörgettyűnk ne lassuljon (vagyis fordulatszámát tartani kell) - annak ellenére se, hogy a súrlódás okozta veszteségek hatására szögsebessége csökkenne.

Ha képesek vagyunk a fordulatszám megőrzésére, akkor a szabadon elfordulni képes pörgettyűnk a tér minden irányában szolgáltat elfordulási információt, vagyis szenzorként kiválóan alkalmazható. Az ilyen szenzorok a három szabadságfokú erőmentes pörgettyűk.

A három szabadságfokú pörgettyűket mozgó járműveken alkalmazva mechanikus giroszkópként, azok a jármű térbeli elfordulására jellemző mérhető jelet szolgáltatnak. Úgy is mondhatjuk, hogy ha ismerjük azt az irányt, melyben a giroszkópot a jármű indulásakor elindítottuk, a giroszkóp ezt a kitüntetett irányt megőrzi, így a jármű bármely későbbi orientációját össze tudjuk vetni a kezdeti, indítási orientációval. Ebből azt láthatjuk, hogy ismét egy relatív meghatározási formával találkoztunk, hiszen az orientációt csak egy kitüntetett kezdeti irányhoz képest tudjuk meghatározni.



13. ábra - Klasszikus mechanikai giroszkóp

A giroszkóphoz hozzá tartozik még mindaz az elektronika, mely a fellebb taglalt fizikai feltételeket elégíti ki. Sokszor fordul elő, hogy az adott fordulatszámon tartáshoz a giroszkóp forgó része azonos egy elektromotor forgórészével, így triviális módon vagyunk képesek azt adott szögsebességen tartani. A mechanikus giroszkópok használata során a nagy fordulatszám és a nagy tömeg, valamint ezek

hozományaként a tartósság ennél kritikusabb problémákat vetnek fel, melyeket azonban nem kell mindig, minden felhasználás során megoldani.

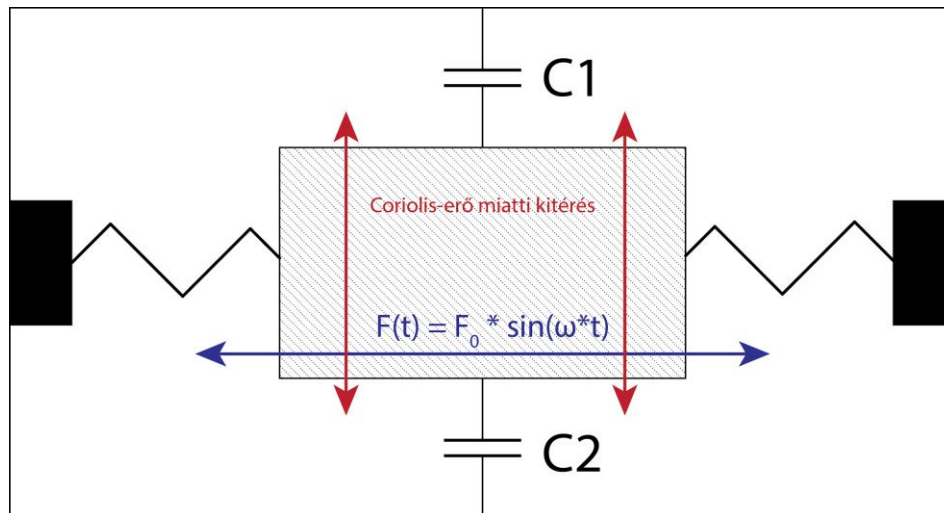
A nagy tömeg a giroszkópok elfordulását biztosító tartószerkezetre ró nagy terhet (szó szerint), erősen igénybe veszi azt, főleg akkor, amikor az adott jármű vagy eszköz, melyen a giroszkópot alkalmazzuk, nagy gyorsulásoknak van kitéve. Bár a mérés pontosságát a nagy tömeg növeli, ez azonban jobban kiteszi az eszközt a gravitációs tér változásának. Mint az köztudott, a gravitációs tér a Földön inhomogén, a gravitációs gyorsulás értéke csak megközelítőleg 10m/s, a mérés helyétől függően változik. Épp ezért, olyan járművekben, ahol ez a hatás számottevő, ilyenek a nagy távolságokat megtevő teherhajók vagy rakéták, ott ezt nem szabad figyelmen kívül hagyni sem a tervezéskor, sem pedig a mérési eredmények kiértékelésekor.

Másik fontos feladatunk, hogy a megfelelően nagy fordulatszámot biztosítsuk. Ekkor a szögsebesség növelésével együtt a súrlódás hatása is növekedik. A súrlódásos erők a szenzor élettartamát csökkentik. Tipikusan a rakéták giroszkópjai olyanok, amelyeknél nagyon magas fordulatszámot kell biztosítani, akár nagy tömeg mellett is, de nem kell odafigyelni arra, hogy giroszkópunk tartós is legyen - nyilván, hiszen nem volt még olyan rakéta, ami fent maradt volna. Az ilyen nagy pontosságú giroszkópokat ezért nem is tervezik tartósnak, maximum $n \cdot 10$ perces időtartamok azok, amiket ezen szenzoroktól elvárhatunk. Ezért ezek a szenzorok jellemzően nem olyan drágák, mint a repülőgépek vagy hajók irányítását biztosító eszközök - melyek nagy megbízhatóságúak, nagy teherbírásúak, hosszú élettartamúak, és kifejezetten nagy pontosságúak. Utóbbiak esetében ezen jellemzők összessége igazolja, hogy áruk sokszor a 100-200 ezer dollárt is elérheti.

Most, hogy megismertük a giroszkópok legelső hírvivőit a mechanikus giroszkópokban, rá is térhetünk a MEMS giroszkópokra! Látható, hogy a mechanikus giroszkópok kialakítása bonyolult lehet, így a magas árukat részben ez indokolja. A MEMS technológia azonban az egyszerűséget, a mechanikai kialakítás árának csökkenését hozza el a pontosság növekedésével, és a kiszolgáló elektronika szenzorral való egybeintegrálásával együtt.

A MEMS giroszkópok működési elvében már a Coriolis-erő játszik szerepet. Definíció szerint a Coriolis-erő az inerciarendszerhez képest forgó (tehát gyorsuló) vonatkoztatási rendszerben mozgó testre ható egyik tehetetlenségi erő, Gaspard Coriolis, francia mérnök és matematikus írta le először 1835-ben. Az erő által okozott hatás számítása bonyolult, hiszen az arányos a forgó vonatkoztatási rendszer szögsebességével, a forgó rendszerben mozgó test sebességével, a mozgó test sebességvektora és a forgástengely által bezárt szög szinuszával, valamint, mint minden tehetetlenségi erő, arányos a mozgó test tömegével. Iránya a mozgó test sebességvektorára merőleges.

A MEMS giroszkópok esetében a Coriolis-erő érzékelésére egy, az érzékelőt hordozó szilícium lapon kialakított mikroelektronikai rezgő tömeget használunk. A rezgő tömeg egy kitüntetett rezgési irányban mozog. Amennyiben a rezgő mozgást végző tömeg hordozóját elforgatjuk, akkor a szögsebességgel arányos, a rezgés irányára merőleges erő ébred. Ezt a legkönnyebben úgy képzelhetjük el, hogy miközben a rezgést végző test az egyik végpontból a másik felé indul rezgése során, addig a hordozó "kifordul" alóla, vagyis a tömeg kimozdul. A kimozdulás mértékét a korábbiakban megismert módon (pl. a kapacitív közelítéskapcsolóknál vagy a gyorsulásérzékelőknél) kapacitásváltozásra lehet visszavezetni.



14. ábra - A rezgő tömeggel mérő giroszkóp sematikus ábrája

A Coriolis-erő okozta kitérés a rezgő mozgás során kapacitásváltozást hoz létre a mozgó test és a hordozó oldala között, a Coriolis-erő nélkül a test oldalirányban nem térne ki, a fenti sematikus esetben $C1 = C2$ maradna, hiszen csak a rezgés irányában mozog a tömeg. Az alábbi ábra a korszerű giroszkópok méretét szemlélteti:



Szerző: SparkFun [CC BY 2.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by/2.0/>)]
<https://cdn.sparkfun.com/assets/0/1/5/c/f/5112d377ce395ffd27000002.jpg>

15. ábra - Korszerű MEMS giroszkóp

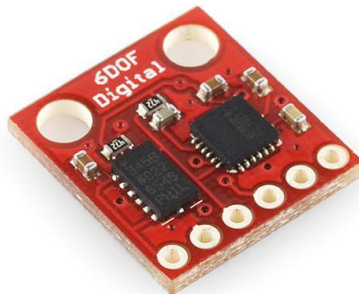
Még egy fontos dolgot érdemes megemlíteni a MEMS gyorsulásérzékelők és giroszópokkal kapcsolatban. Ez a két érzékelő gyakran kapható egy integrált szenzorként, amikkel így 6 szabadságfokú érzékelést valósítunk meg. Ez lehet, hogy még tisztázatlan fogalom lehet számotokra, ezért csak bevezetés jelleggel tisztázzuk is, hogy ez mit jelent. Ehhez két példát fogunk venni.

Az első példa legyen egy autó helyzete egy parkolóban. Mit kell tennünk ahhoz, hogy tudjuk, hol és hogyan (!) áll ez az autó? Először is rögzítsünk a parkoló egyik csúcsához egy derékszögű koordináta-rendszert! Az autó pozícióját ebben a koordináta-rendszerben már könnyen megmondhatjuk, x és y irányú összetevőkkel. Vagyis az autót szabadon elhelyezhetem a parkoló minden pontjában (ahol kiterjedése miatt elfér), szabadon választhatok mindkét tengelyen. Azonban azzal, hogy az autó (tömegközéppontja) egy adott pontban van, még nem írtam le teljesen a helyzetét, hiszen kell az autó orientációja is, vagyis, hogy milyen szögben van elforgatva az adott pontban. Ezt a szöget is szabadon megválaszthatom (csak a

parkoló véges kiterjedése akadályoz meg benne a valóságban, végtelen nagy parkoló esetén már nem létezne fal mellett álló autó). Ebből azt a következtetést kell levonni, hogy egy adott síkban három paraméter mentén helyezhetem el az autót, melyeket egymástól függetlenül, szabadon választhatom meg. Az egy anyagi rendszer állapotát pontosan leíró egymástól független mennyiségeket szabadságfoknak nevezzük. Jelen esetben a parkoló autónkat három szabadságfok mentén tudjuk elhelyezni, vagyis három szabadságfokú a rendszerünk (3DOF - Degree Of Freedom).

A második példa az iménti példa analógiája kiterjesztve a háromdimenziós térre. Helyezzünk el egy légüres kockában egy helikoptert - vagy, ha aktuális akarok maradni, egy drónt! Ismét előáll az a gyakorlati probléma, hogy a drón nem helyezhető bárhol el a kocka széleinél, de ettől most tekintsünk el, akár végtelen térben is gondolkozhatunk. Ha a drón pozícióját szeretnénk megmondani, ismét egy derékszögű koordináta-rendszert kell a térrész egyik csúcsához illeszteni, az egyszerűség kedvéért a kocka éleivel legyenek párhuzamosak a tengelyek (természetesen máshogy is elhelyezhetjük, csak a szemléltetés okán csináljuk így). Ebben a koordináta-rendszerben az x, y, és z koordináták segítségével egyszerűen megadhatom a drón pozícióját. Ezzel azonban nem árultam el semmit a drón orientációjáról! A drónt mindegyik tengely mentén el tudom forgatni, egymástól függetlenül. Így egyszerűen belátható, hogy a térbeli helyzetfelismerés már 6 szabadságfok mentén (6DOF) valósul meg. A síkok a teret úgy redukálják, hogy a síkban történő mozgás már csak három szabadságfokú marad.

Utólagos elnézésekért kell kérjem ezért a rövid matematikai kitekintésért, de térjünk most vissza a hat szabadságfokú, integrált gyorsulásérzékelő és giroszkóp szenzorainkhoz. Ezek mérete már olyan apró, hogy összevethető egy kisebb cseresznye méretével, így rengeteg helyre beépíthetők, a térbeli szabályozást igen könnyűvé téve. Ezeket az érzékelőket Inerciális szenzoroknak nevezzük (IMU - Inertial Measurement Unit), és három-három giroszkóp és gyorsulásérzékelő alkotja őket.



Szerző: SparkFun [CC BY 2.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by/2.0/>)]
https://commons.wikimedia.org/wiki/File:SparkFun_6DoF-IMU-Digital-Combo-Board_ITG3200%2BADXL345_10121-01d.jpg

16. ábra - Hat szabadságfokú inerciális szenzor

ROBOTIKAI KITÉRŐ

A tananyag rész végére egy érdekesebb kitérőt tartogattam számotokra. A tananyag rész írásának időpontjában egy német multinacionális robotipari cégnél dolgozom, így a robotikai témák érthető módon közel állnak hozzám. Ebben a részben a robotok talán legfontosabb szenzorairól fogtok olvasni, azokról, melyek az egyes csuklók helyzetét és sebességét mérik vissza, és jelzik azt a robotvezérlő felé.

EGY ÁTLAGOS ROBOTKAR FELÉPÍTÉSE

Amikor robotkarokról beszélünk, olyan, az emberi kar felépítését utánzó elektromechanikus szerkezetről beszélünk, mely előírható pályán mozog és annak pontjaiban műveleteket képes végezni. Egy ilyen robotkart láthattok a következő ábrán is. A robotkar általános feladata az, hogy az általa elérhető térben, vagyis a munkatérben lévő pontokra be tudjon állni tetszőleges orientációban (ez nyilván az adott pont távolságától is függ), és az ott elvégzendő feladatot ellássa. Ehhez ismét elő kell vennünk a szabadsági fok fogalmát. Ha egy térben minden pontba minden orientációban be akarunk pozícionálni egy robotkart, akkor ahhoz egy legalább hat szabadságfokú robotra van szükségünk. (Az absztrakció céljából tekintsünk el attól, hogy a robotkar hossza véges, így igazából nem minden pontról van szó.)

Több lehet? Természetesen lehet, csak ilyenkor sokkal bonyolultabb irányításra van szükségünk, de ezzel egyidőben redundánssá válik a robotunk, vagyis (elvben, de ennek a robotkar hossza a valóságban ismét gátat szab) minden pontot minden orientációban akár többféleképpen is elérhetünk. Itt arról van szó, hogy a robottengelyek elforgatásának kombinációiból akár több is alkalmas lehet ahhoz, hogy a robot műveletet végző vége a megfelelő pozícióban és orientációban érje el a munkatér egy pontját.

A robotkar mozgásának szabadságfokait az egymástól függetlenül vezérelhető translációs vagy rotációs csuklók biztosítják. Egy translációs csukló hosszirányú mozgást, egy rotációs pedig forgómozgást képes előállítani.



Szerző: KUKA Systems GmbH [CC BY-SA 3.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/>)
https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Application_field_aerospace.jpg

17. ábra - Egy valós robotkar képe

A fentebbi képen is jól látható, hogy egy csukló mozgása során az összes utána következő csukló térbeli helyzete is megváltozik - ez egy apró ízelítő egy igazi robotirányítási rendszer megvalósítási problémáiból.

A robotvezérlés egyik nagy számítási kapacitást igénylő feladata az, hogy bármilyen adott térbeli helyzethez (pozícióhoz és orientációhoz) meg kell találni az annak megfelelő csuklőhelyzeteket. Ha ebben a pontban bármire is erőt vagy nyomatékot akarnánk kifejteni, az egy másik jellegű számítás eredményeképpen áll elő, ami még a korábbi, adott helyzetbe történő szabályozásnál is nagyobb számítási kapacitást kíván. A végső elijesztés céljából pedig, bő magyarázat nélkül álljon itt, hogy a robot egy bonyolult nemlineáris rendszer, így pontos irányítása dinamikus, időben folyton változó matematikai modellek mentén lehetséges csak. Ez azt jelenti, hogy minden időpillanatban más és más egyenletrendszereket kell megoldani a közelítő megoldás megtalálásához, amely egyenletrendszerek a robot, mint fizikai rendszer aktuális állapotából adódnak.

Most már láthatjuk, hogy ha ebbe az irányításba számítási bizonytalanságot viszünk a csuklók helyzetének nem megfelelő érzékelésével, a teljes szabályozás és irányítás pontatlanná, kivitelezhetetlenné válik. Az egyes csuklók visszamérésére szolgáló kódadók kritikus feladatot látnak el a robotkar működése során. (Megjegyezném még, hogy a kódadók használata nem korlátozódik a robotokra, hiszen bárhol, ahol forgó mozgásos pozícionálást kell végezni, a nagypontosságú kódadók valós alternatívát nyújtanak.)

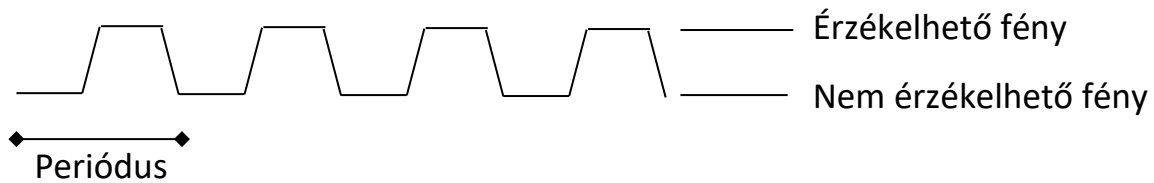
AZ INKREMENTÁLIS ADÓK

Ezekkel a szenzorokkal a forgó tengelyek, csuklók relatív pozícióját, valamint sebességét szeretnénk visszamérni. Nem csak robotokon kell ezt elképzelnünk, pl. futószalag pozíciójának mérésére is használhatjuk őket. Az inkrementális adók relatív elfordulást mérnek, abszolút mérést biztosító fajtájuk a kódadó. Mindkét szenzortípussal jellemzően olyan helyeken találkozhatunk, ahol elengedhetetlen a nagy mérési pontosság.

Általánosan elmondható, hogy az inkrementális adók a körülfordulás mértékével arányos jelet szolgáltatnak. A forgás detektálása egyszerű elven alapszik, a szenzort azonban bonyolult kiegészítőelektronika kíséri - ezért integrált szenzorként kell kezelnünk. Az egyszerű szenzor a relatív körülfordulásra jellemző impulzussorozatot szolgáltat, amit az összegző (kiértékelő) értékel ki, majd valamilyen soros kommunikáción keresztül a pozícióinformációt a rendszer számára elküldi.

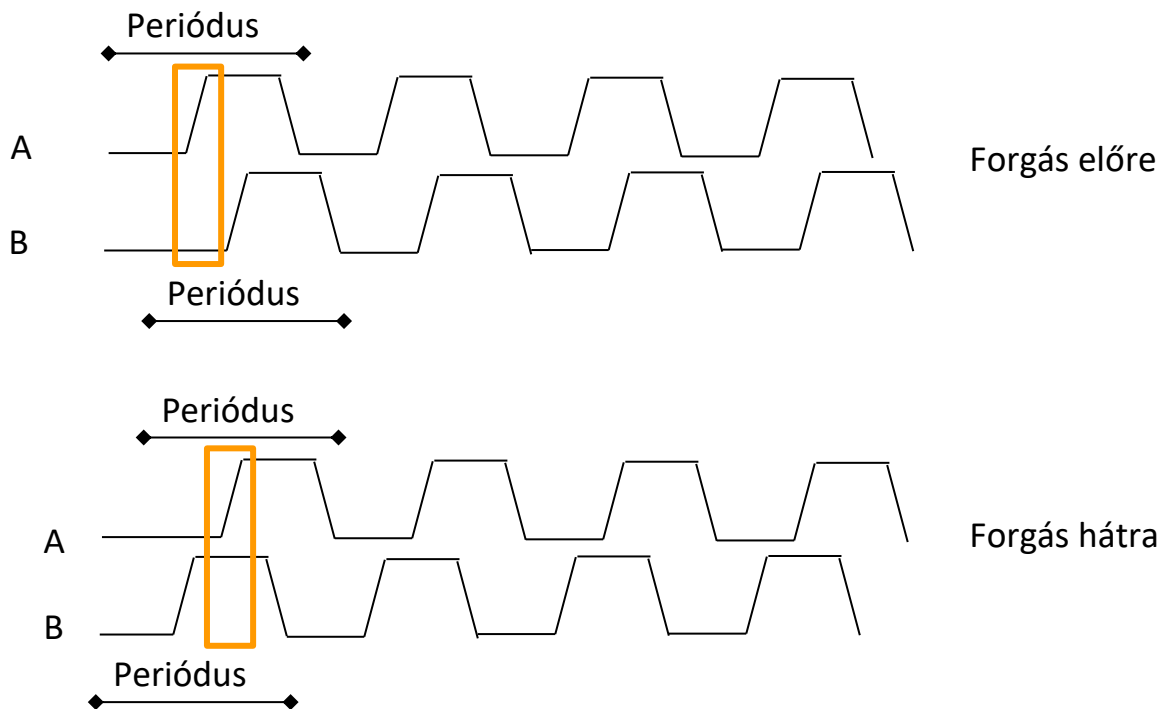
Érzékelés

Először is képzeljük el az információt szolgáltató impulzusokat! Az ilyen szenzorok leggyakoribb megvalósítása olyan, hogy egy, a forgó tengelyre erősített körlapra valamilyen eljárással (ritkán fúrás, gyakrabban fémes felgőzölés) egyenlő sugárban, valamint egymástól egyenlő távolságra lévő lyukakat (vagy éppen az átlátszó tárcsán sötét sávokat) alakítunk ki. A körlap egyik oldalára fényforrást, a másik oldalára fényérzékelőt teszünk (emlékezzünk vissza az optikai közelítéskapcsolóknál tanultakra!). A körlap állandó sebességű forgásakor állandó sebességű, a körlap forgásának sebességére jellemző gyakoriságú impulzussorozatot kapunk. (Ez a viselkedés azonban nem csak optikai szenzorokkal valósítható meg. Ismerünk még fogazott adókat is, ahol a körlap szélén elhelyezett fogazás biztosítja az impulzusokat, de létezik magnetorezisztív érzékelő is, mely a körlap mentén váltakozó polaritású mágneses mezőt érzékeli.)



18. ábra - Sebességre jellemző impulzussorozatot

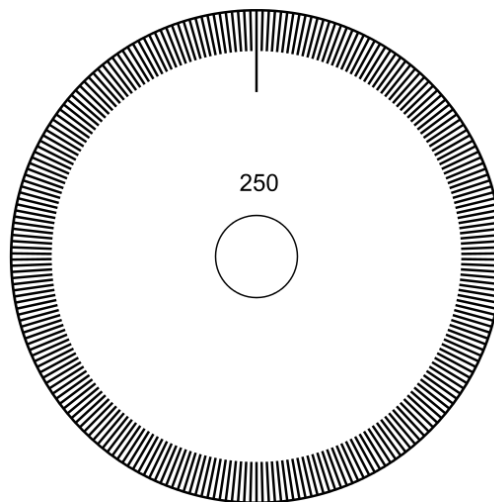
A mérés nagy hátránya, hogy ezzel nem lennénk képesek a forgás irányának megállapítására, lássuk be, hogy az impulzussorozat mindkét irányba történő forgásnál pontosan ugyanúgy nézne ki. Ezért a gyakorlatban sem csak egyetlen impulzussorozatot, és ezzel analóg módon nem csak egyetlen fényforrás-fényérzékelő párost alkalmaznak - általában egy fényforrást és több fényérzékelőt alkalmazunk, de létezik több fényforrásos megoldás is. Amennyiben a második fényforrást, vagy ugyanazon fényforrás második érzékelőjét úgy helyezzük el, hogy az általa szolgáltatott impulzusok sorozata az első sorozat periódusának negyedével van eltolva, úgy az elindulás pillanatában a két jel egymáshoz képesti eltolásából következtethetünk a forgás irányára. Ezt az alábbi ábra szemlélteti, ahol az első és a második jelsorozatot A és B jelekként szemléltetem.



19. ábra - Forgásirány érzékelése inkrementális adóban

Mi történik gyorsuláskor? Ekkor a mért impulzussorozat periódusideje is változik, még hozzá egy adott perióduson belül is. Ezért a gyakorlatban nem azt mérjük, hogy a második jelsorozat valóban negyed periódusnyit van eltolva az elsőhöz képest, hanem azt, hogy ezen jelsorozatokban történt jelszintváltozás a másik milyen jelszintje közben történik. Az előbbi ábrán ezt a narancs téglalapokkal bekeretezett részekben figyelhetitek meg.

Az eddig megismert fizikai jeleket rendelkezésre bocsátó elrendezést egy zárt fémházban hozzák forgalomba, ezzel a körlapot és a két oldalán elhelyezett szenzorokat is védik a környezeti behatásoktól. Ez főként az optikai szenzoroknál fontos, ahol felléphet a koszolódás, vagy a külső fény érzékelésének is veszélye. Mivel a lezárást könnyen meg lehet oldani, és az optikai megoldás (a fémes felgőzölésnek hála, amivel üveglapra fémréteget tudunk felvinni kis szélességben) nyújtja a legnagyobb felbontást, így ez viszonylag gyakori. Sokszor fordul elő az is, hogy nem külön "lyukak" találhatók a tárcsán a két jelnek, hanem egyetlen sor, és a jeladók-jelvevők különböző pozíciója adja a jelsorozatok közötti eltolást. (Ha megfigyelitek, a következő ábrán egyetlen sorban felgőzölt jelek láthatók.)



Szerző: Saure [CC BY-SA 2.0 de (<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/2.0/de/deed.en>)]
https://commons.wikimedia.org/wiki/File:DMT_Winkelkod-inkr.svg

20. ábra - Üveg forgótárcsa a rágózott fémes, nem átlátszó részekkel (sematikus)

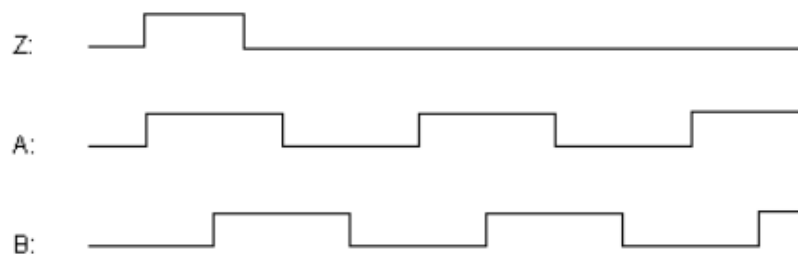
Mint már említettem korábban, az inkrementális szögadók integrált szenzorok, kiértékelő elektronikát tartalmaznak. Ez oldja meg a jelillesztést is a rendszerünk felé, valamint alakítja át a tárcsa felől érkező jeleket. A tárcsa jelei a valóságban sajnos nem olyan négyszögjelek, mint amiket a korábbi ábrák mutattak, sokkal inkább szinuszos jelek. Ezeket a kiértékelő feldolgozza, és a rendszer felé már a négyszögjeles impulzusokat továbbítja. Az ilyen típusú szögadót impulzus jeladónak nevezzük. Vannak olyan jeladók is, amelyek nem dolgozzák fel így a jelet, hanem a tárcsáról érkező szinuszos jelet illesztik a rendszerünk bemenetére, így sokkal több információt szolgáltatva számunkra. Ezek az analóg jeladók. Ezt a jelet analóg-digitális átalakítóval már tetszőleges felbontásban elemezhetjük. (Vegyük észre, hogy a két adó csak abban különbözik, hogy az impulzusjeladóban egy komparátor bemenetére kapcsoljuk ugyanazt a szinuszos jelet, ami így két bites információt szolgáltat számunkra.)

A fentebbi információink segítségével már képesek lennénk megállapítani a tengely által megtett elfordulás szögét. Annak ellenére is el tudjuk ezt képzelni, hogy még nem tértem ki az eredmények pontos kiértékelésére: az elfordulás arányos a beérkezett impulzusok számával. Mielőtt a pontos megállapításhoz használt módszereket részleteznénk, térjünk rá arra, hogyan küszöböljük ki az abszolút pozíció információjának hiányát!

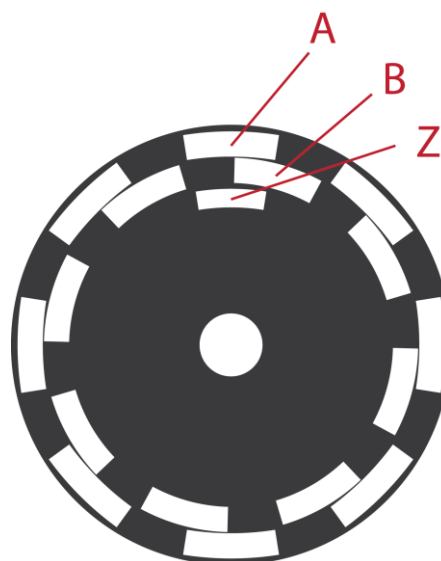
Az az eddigiekből látható, hogy impulzusaink segítségével csak egy relatív elmozdulást vagyunk képesek mérni. Vagyis arról nincs információnk, hogy jelenleg mi a tengely elfordulási szöge. Valós problémával érzékeltetve a dolgot, a robotunk karja egy adott pozícióban van, például egy kulcsot illesztett egy

kulcslyukba. A zárat felnyitotta, azonban mielőtt kihúzta volna a kulcsot, a rendszer leállt. A robot újraindításakor tudja, hogy programjának melyik pontján állt le - vagyis, hogy a kulcs elforgatása és kivétele következik, de a pontos csuklópozíciót nem ismeri, nem tudja, hogy hány fokkal fordította el eddig a kulcsot, és hogy az párhuzamos-e a kulcslyukkal, vagyis kivehető-e. Általánosan is elmondható persze, hogy egy robot mozgásánál az aktuális pozíció ismerete elengedhetetlen, ezért szükséges abszolút információt szereznünk arról.

Az ilyen problémák orvosolására használhatunk olyan külső eszközöket, melyek abszolút információt szolgáltatnak, pl. potenciométereket. A legnagyobb baj ezekkel, hogy pontosságuk több nagyságrenddel különbözik a szögadókétól. Ezért ezt a megoldást a gyakorlatban nem használják, mert pontatlan, hanem egy harmadik jelet vezetnek ki helyette az inkrementális adóból, a nullimpulzust. Ez egyetlen impulzust szolgáltat körülfordulásonként, az A és B jelek periódushosszában negyedében. Vagyis a nullimpulzus körülfordulásonként egyszer, csak A és B periódusának negyedéig aktív. Ezzel azonos pontossággal állapítható meg az egy körülforduláson belüli pozíció, mint a relatív mérés pontossága. A megoldással még mindig nem ismerjük azt, hogy a tengely hány fokot fordult el összesen, de segítségével már használhatjuk a bekezdés elején ismertett potenciométert, amely ugyan nem szolgáltat elég pontos információt a teljes tartományban, de azt meg lehet vele állapítani, hogy melyik körülfordulásban járunk. Körülfordulás alatt itt azt kell érteni, hogy az enkóderrel vizsgált tengely többször is teljesen körbefordulhat, de ha a potenciométer segítségével tudjuk, hogy hanyadik ilyen teljes körülfordulásban jár a tengely, azon belül a kódadó segítségével már precízen tudunk pozícionálni. A két megoldás együtt abszolút pozíciót eredményez.



21. ábra - Nullimpulzus (Z) és elfordulási adójelek (A,B)



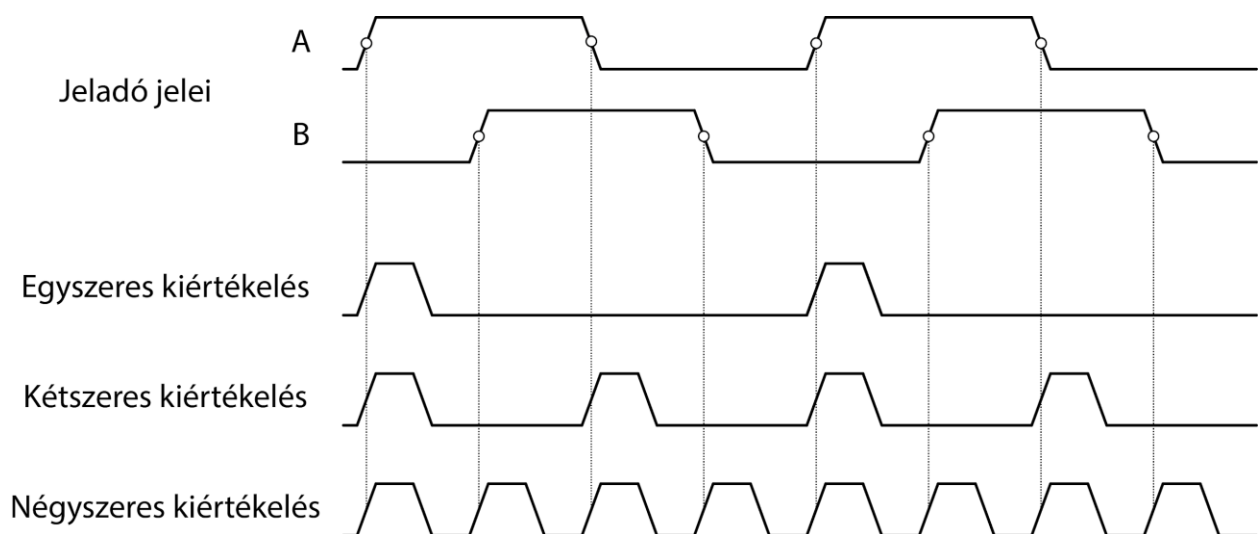
22. ábra - Nullimpulzus (Z) és elfordulási adójelek (A,B) furatai egy tárcsán

Kiértékelés

A jelsorozat kiértékelése bonyolult feladat lehet, pláne akkor, ha a lehető legtöbb információt próbáljuk belőle kinyerni. Az alapötlet az, hogy számoljuk meg az A jel impulzusait, B segítségével már ismerhetjük az irányt, a nullimpulzussal pedig ismerjük a fordulatot. Ez valóban igaz, de a jel ennél sokkal több információt tartalmaz. Amennyiben más jel változását a pozíció számításánál nem vesszük figyelembe, úgy egyszeres kiértékelésről beszélünk.

Kétszeres kiértékelést is alkalmazhatunk, ilyenkor A jel fel- és lefutó éleit is számoljuk, vagyis A jel egy impulzusára kétszer is inkrementáljuk az összegünket. A pontosságot nyilvánvalóan növeli, hiszen egy jelperióduson belül már két jelzést is számolunk.

A jelenleg elérhető legnagyobb pozíciószámítási pontosságot a négyszeres kiértékelés biztosítja. Ekkor nem csak A jel, hanem B jel impulzusait is számoljuk, mind fel-, mind pedig lefutás során. Ha visszagondolunk, a nullimpulzus jele is csak negyedperiódusig aktív, ez azért fontos, mert így a négyszeres kiértékelés esetén is a relatív pozíció kiértékelésének pontosságával tudjuk a körülfordulásokat érzékelni.



23. ábra - Kiértékelési módok

Fontos tudni, hogy a jelek által szolgáltatott impulzusok száma, valamint a számolásunk során az összeget növelő inkrementek száma nem feltétlen azonos. Egy impulzuson belül figyelhetjük annak le- és felfutását, valamint időzítését másik jelhez képest is.

Az eddig ismertetett érzékelés velejárója, hogy az impulzusok nagy sebességűek lehetnek, azokat mikrokontrollerünkben lekezelni végzetes lehetne. Az állandó megszakításként érkező impulzussorozat processzorunkat túlságosan lefoglalná, a program "bent rekedne" a megszakítást lekezelő függvényben. Ezért a szögadóktól érkező impulzusok kezelésére külön logikát tartalmaz több mikrokontroller is (melyeket speciálisan olyan feladatokra terveztek, amikhez inkrementális jeladó szükséges), ennek a neve iránydiszkriminátor.

Összességében az iránydiszkriminátort úgy lehetne jellemezni, hogy egy olyan periféria, mely fogadja a bemenetére kötött inkrementális adó jeleit, megállapítja a forgás irányát, számolja az impulzusok számát, valamint kezeli a nullimpulzust. Minderre egy számlálót alkalmaz, mely értéke növelhető és csökkenthető a beérkező impulzusok által, valamint beállítható a nullimpulzusnak megfelelően. A periféria a processzor

felé megszakítást jelezhet, de aszinkron, megszakítástól független olvasást is lehetővé tesz. A számláló processzor általi írása is lehetséges, ez elraktározott pozíciók visszatöltésénél jöhet jól. A periféria a beérkező impulzusoknak és nullimpulzusoknak megfelelően a számláló értékét ellenőrizheti is, így azonnal hibát jelezhet, ha anomáliát észlel (pl. a nullimpulzus beérkezésének idejében azzal összeegyeztethetetlen számlálóérték).

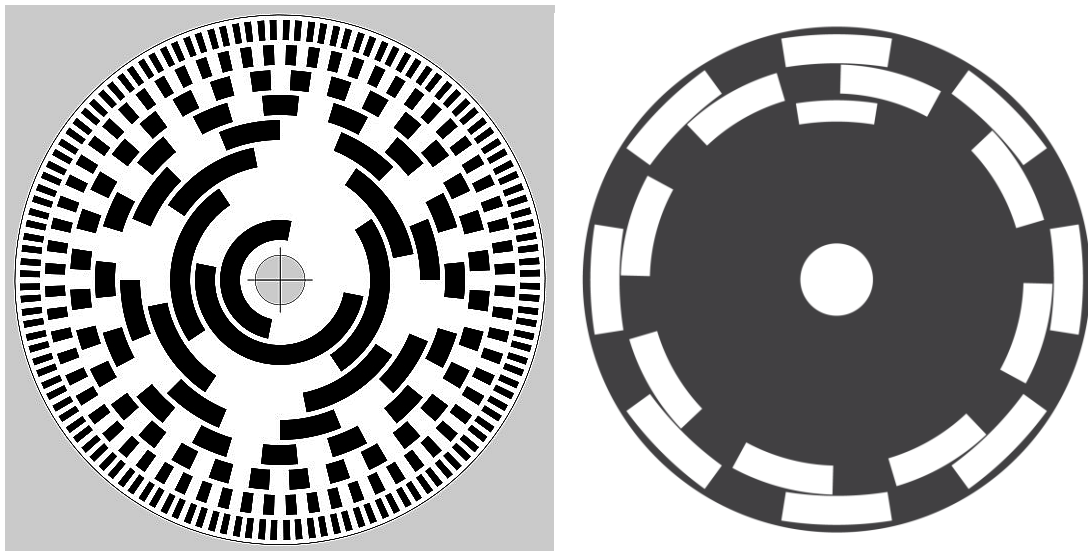
Előnyök és hátrányok

Először tárgyaljuk át a szenzor pozitívumait. Legfőbb erénye a nagy pontosság, mely akár a fordulatonkénti 50-100 ezer impulzusból, és annak akár négyszeres kiértékeléséből származik. Minden pozíció tökéletesen reprodukálható, a kinyert információ megbízható a zárt szenzorház miatt. A szenzor illesztése, a beépített jelillesztőnek köszönhetően könnyű, az impulzus jeladó egyszerűen, a dedikált perifériával használható.

Ennek a megoldásnak azonban jelentős hátrányai is vannak. A legnagyobb probléma az abszolút pozíció hiánya, illetve a kisegítő elektronika szükségessége, mely az abszolút érzékelést lehetővé tenné. Ezzel kapcsolatban meg lehet azt is említeni, hogy a szenzor bekapcsolásakor nem áll rendelkezésünkre pozícióinformáció, valamint, hogy a bekapcsolás után bármilyen információ kinyeréséhez a tengely mozgatására van szükségünk. Leginkább a dedikált periféria kialakításánál kell számolni azzal, hogy az impulzusvesztés végleges károkat okoz, a tengely pozíciója a későbbiekben sem lesz pontosan megállapítható.

ABSZOLÚT SZÖGHELYZETADÓK

Az abszolút szöghelyzetadók annyiban nyújtanak többet az egyszerű inkrementális adóknál, hogy minden időpillanatban a körülforduláson belül abszolút pozíciót szolgáltatnak, így a tengely mozgatása nélkül is kinyerhető az abszolút pozícióra vonatkozó információ. Ezzel máris két problémát kiküszöbölnek, amit az inkrementális adók használatánál tapasztaltunk. Az alábbi ábra egy abszolút szöghelyzetadó (kódadó) fémezett tárcsáját mutatja.



Szerző (bal): W.Rebel [CC BY-SA 3.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/>)]
https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Gray_disc.png

24. ábra - Abszolút és inkrementális jeladók tárcsái

A kódadó és az egyszerű inkrementális jeladók közötti különbséget a tárcsák felépítése szemlélteti a leginkább. A kódadó minden pillanatban egy bináris sorozatot olvas le a tárcsáról. Ehhez annyi impulzusforrásra van szüksége, ahány bites maga a pozícióinformáció. A fentebbi ábrán jól látszik, hogy a tárcsa adott sugara mentén elhelyezett érzékelők a forgás minden pillanatában egy bináris kódot adnak, annak megfelelően, hogy a jeladóhoz tartozó érzékelő érzékeli-e a jelet, vagy sem (vagyis optikai érzékelés esetében az adott körív mentén a fény átjut-e a tárcsán, vagy sem). Az ábrán látható kódadó összesen 8 körív mentén tartalmaz érzékelőket, 8 bites információt képes előállítani a tengely forgatása nélkül is. Az ábrán a legkülső körív mentén a legalsó helyiértékű bitet, a legbelső pedig a legnagyobb helyiértékű bitet lehet felfedezni - a legkisebb változásra a legalsó bit köríve mentén történik jelváltás, a legbelső ív mentén már csak fél körülfordulásnál érzékelhető ugyanaz.

Mivel itt nem csupán egy számláló inkrementálásáról, hanem abszolút pozícióinformációról beszélünk, ezért a szenzor bekötése sem olyan egyszerű - nem impulzussorozat továbbításáról beszélünk, hanem (ebben az esetben) nyolc bites számok továbbításáról. Ehhez legtöbbször valamilyen - kellően gyors - soros kommunikációt szoktak alkalmazni. A modern robotok legtöbbje már kódadókat használ a csuklók helyzetének pontos visszamérésére.

VÉGSZÓ

Elérkeztünk ennek a hosszú tananyagrésznek a végére. Remélem, reméljük - hogy szerzőtársam nevében is beszéljek -, hogy hasznosnak találtátok ezt a tananyagrészt annak ellenére is, hogy ez egy inkább elméleti jellegű kitekintés a szenzorika világába. A szenzorok általi mérések megértése szükséges a következő tananyagrész megértéséhez, hiszen pontos szabályzás a kimeneti jel megfelelően pontos visszamérése nélkül nem hozható létre. Aki pedig érti a fizikai jelek észlelésének folyamatát, valamint a rajtuk alapuló bonyolult szabályzásokat, az előtt nem állhat megoldhatatlan feladat.