

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem
Közlekedésmérnöki és Járműmérnöki Kar
Közlekedés- és Járműirányítási Tanszék

Autonóm tesztjármű érzékelőinek és szenzorfüziós
lehetőségeinek vizsgálata

Készítették: Törő Olivér, Gorácz Gergely, Baranyi Márk

Konzulens: Aradi Szilárd, tanársegéd

Tartalomjegyzék

1. Bevezetés	3
2. Kitekintés	4
3. Követelmények	9
4. A tesztjárművön alkalmazandó szenzorok.....	11
4.1 Ultrahang szenzor	11
4.1.1.Bevezetés:Alapfogalmak.....	11
4.1.2.Az ultrahang szenzor működési elve, felépítése.....	13
4.1.3.Alkalmazási Példa. Járműipari felhasználás.	16
4.1.4.Az érzékelő, adatainak kezelése, kommunikáció megvalósítása.	21
4.2 Radar	28
4.2.1. A radar működése	29
4.2.2. Alapfogalmak.....	31
4.2.3. Radar mérések alapelvei	33
4.2.3.1. Doppler radar	33
4.2.3.2. FMCW radar	35
4.2.3.3. Impulzus Doppler-radar	36
4.2.3.4. Beesési szög detektálása	37
4.2.4. Járműiparban használt radar frekvenciák.....	38
4.2.5. Lidar.....	38
4.3. Kamera.....	39
4.4. Egyéb szenzorok	44
4.4.1. Változó mágneses ellenállás érzékelő.....	44
4.4.2.Hall-effektuson alapuló érzékelő	44
4.4.3 Optikai szenzor	45
4.4.4. Piezoelektromos szenzor.....	45
4.4.5. Termisztor	46
4.4.6. Szöghelyzet jeladó	46
4.4.7. Gyorsulásmérő	48
4.4.8. Giroszkóp.....	49
5. Szenzorfüziós módszerek.....	49
6. Összefoglalás	51
7. Irodalomjegyzék.....	52

1. Bevezetés

A Tudományos Diákköri Konferencia dolgozat témája egy autonóm tesztjármű érzékelőinek és szenzorfüziós lehetőségeinek vizsgálata. A dolgozat feladata a Bosch és a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Közlekedés - és Járműirányítási tanszék közös hallgatói projekt adott részfeladatának bemutatása, valamint az első specifikációs és tervezési fázis eredményeinek részletezése.

A dolgozat során egy rövid történeti áttekintéssel kezdünk, ami röviden bemutatja, hogy a kezdetektől napjainkig, hogy alakulnak a járműipari és egyéb cégek fejlesztései a teljesen autonóm módon közlekedő jármű kifejlesztése felé. Ezt követően bemutatjuk feladatunk célját és a tesztjárművel kapcsolatos követelményeket. A következő részben levezetjük az érzékeléssel és a szükséges szenzorokkal szemben támasztott igényeket, végül mindezek alapján megadjuk a használni kívánt szenzorokat. Részletesen ismertetjük az egyes érzékelők fizikai működési elvét, főbb tulajdonságait, korlátait és lehetséges felhasználási területét. A dolgozat hátralévő része a készülő projekthez használatos, a Bosch által biztosított szenzorok leírását, és a kapott információk rövid értelmezését tartalmazza. Ebben a részben külön foglalkozunk azzal, hogy melyik szenzor és milyen mértékben vehet részt az elérendő feladat megvalósításában. Kitérünk még az egyéb érzékelést ellátó hardveres eszközökre is, amiket a megvalósítás során felhasználtunk, vagy a tervek készítése során alternatívaként felmerültek. Röviden értékeljük és indokoljuk a felhasznált szenzorok kiválasztását. A dolgozat utolsó fejezetében ezeknek a szenzoroknak az összehangolásáról és együttműködéséről, valamint az együttműködést segítő különféle eszközökről és a szenzorfüzió elméleti hátteréről esik szó. Összegezzük a szenzorok által biztosított magas szintű információkat és megvizsgáljuk, hogy milyen módon, milyen algoritmusok felhasználásával lehet egységes járműállapot-információkat előállítani a segítségükkel.

Zárásként a jövőben előirányzott tervek, fejlesztési lehetőségek és a megvalósítás következő fázisainak leírása olvasható, amely kitekint az előttünk álló munkára.

2. Kitekintés

Mai társadalmunkban, ahol a járművek a meglévő úthálózatot egyre jobban kezdik telíteni egyre többször esik szó arról, hogy a közlekedést milyen módon tudnánk optimalizálni. E felé az optimalizálási folyamat felé vezető úton több állomáson keresztül jutunk el. A mai kor mérnökei a teljesen önjáró jármű kifejlesztését látják a végső és legideálisabb megoldásnak, ezzel az emberi tényezők teljes kiküszöbölését a rendszerből. De hogy milyen irányú fejlesztések is zajlanak a cél elérésében, a dolgozat jelen része erre próbál rámutatni.

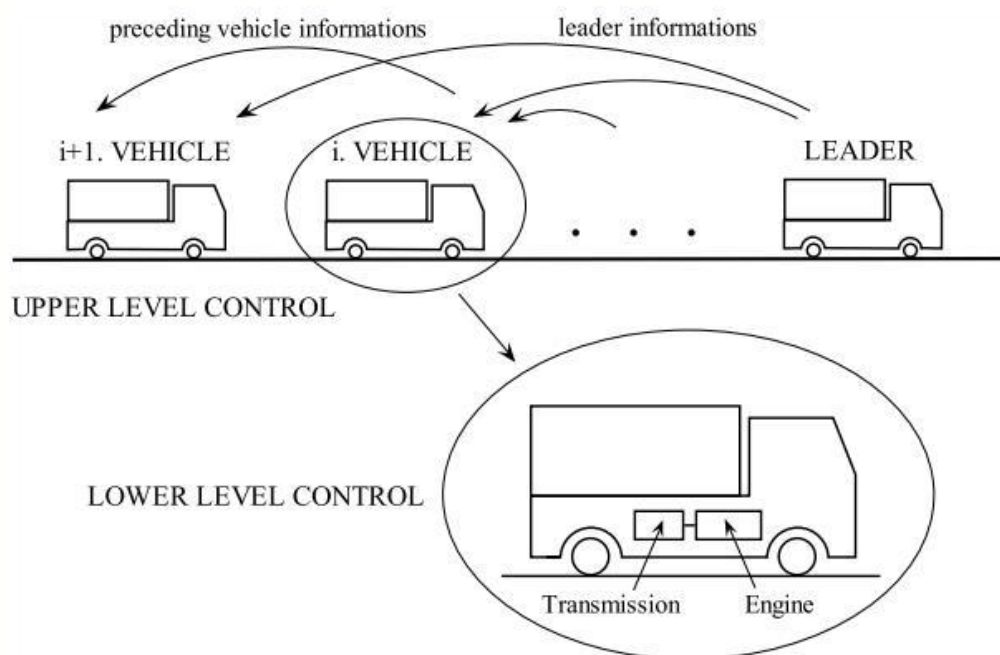
Az első törekvések még magára a járművek üzemanyag fogyasztásának minimalizálására törekednek és ezen belül is a fő fogyasztók, a kamionok fogyasztásának drasztikus csökkentésére. A kamionok fogyasztása az országúton egymás mögött haladva nagymértékben csökkenthető, ha a kamionok egymáshoz képest nagyon közel követik egymást. Ennek megvalósítására szükség van egy nagyon komplex irányító rendszerre, amiben a járművek egymással kommunikálnak. Ezt az irányítási feladatot a nemzetközi irodalomban „Platoon control”-nak nevezik.



1. ábra Járműoszlopban haladó tehergépjárművek

Az irányítás lényege, hogy a vezető jármű az aktuális menetadatokat és fizikai állapotokat, mint például a gázpedál állását, a kormány állásszögét és a fék működési

állapotát az oszlopban haladó összes járműnek továbbítja. Az oszlopon belül a járművek az utánuk következő járművel szintén megosztják az információt.



2. ábra Platooning control elméleti vázlat

A feladat első szintű megoldásához az úgynevezett „string stabilitás” problémáját kell megoldani. A „string stabilitási” feladat azt jelenti, hogy a konvoj elején keletkező követési hiba ne növekedjen a járműoszlop mentén a később érkező járművek irányában. A stabilitás megoldására kétféle megoldás létezik. Az állandó időköz és az állandó távolság tartása. Ennek az irányítási feladatnak a hiánytalan megoldásához szükség van még a jármű műszaki tulajdonságainak maradéktalan ismeretére. Az irányítás megtervezése szempontjából nagyon fontos, hogy a járműoszlop a külső zavarások ellenére is együtt maradjon. Ilyen például egy domb, amin a járműnek fel kell jutnia. Ha a kamion nem elég erős motorral rendelkezik, vagy túl nagy a vontatott tömege, vissza fog lassulni. Ez a visszalassulás a járműoszlop szétszakadásához vezethet. Ennek a problémának a megoldása még a szakemberek előtt áll, de már léteznek valódi realizációk. Egy spanyolországi autópályán egy felvezető kamiont úgy követett négy másik jármű, hogy azokban a sofőröknek semmi dolguk nem volt, mert a járműveik érzékelők segítségével önállóan követték a vezető teherautót. Az Európai Bizottság által támogatott, két év fél éve indult SARTRE (Safe Road Trains for the

Environment, azaz "Biztonságos közúti szerelvények a környezetvédelemért") projekt célja, hogy hamarosan olyan autóvonatok közlekedjenek az országutakon, amelyekben a hátul haladó autók vezetői pihenhetnek, mert járműveik automatikusan követik az élen haladót. A Közlekedés - és Járműirányítási tanszék a Magyar Tudományos Akadémia Számítástechnikai és Automatizálási Kutatóintézetével, valamint a Knorr-Bremse Fékrendszerek Kft.-vel való közös project keretében egy hasonló tesztet hajtott végre. A megtervezett és a kamionokba beépített irányítási rendszerrel a repülőtéri kifutópályán haladva egymáshoz képest a kamionok állandó távolságot tartottak és így közlekedtek.

A következő a nem járműiparból származó, mégis teljesen autonóm közlekedésű jármű, amit feltétlenül meg kell említeni az a Google által készített jármű. A fejlesztőcsoport többféle autótípust alakított át. Legsikeresebb és legtöbbet használt típus a Toyota Prius volt, amiből hatot alakítottak át. Autóik már több mint 500 000 kilométert teljesítettek közutakon. A Google a járművét több egymással összefüggő és egymással együtt dolgozó szenzorral szerelte fel és segítségével valósította meg e célkitűzést. Az elsődleges és a működést legjobban befolyásoló szenzor a lidar.

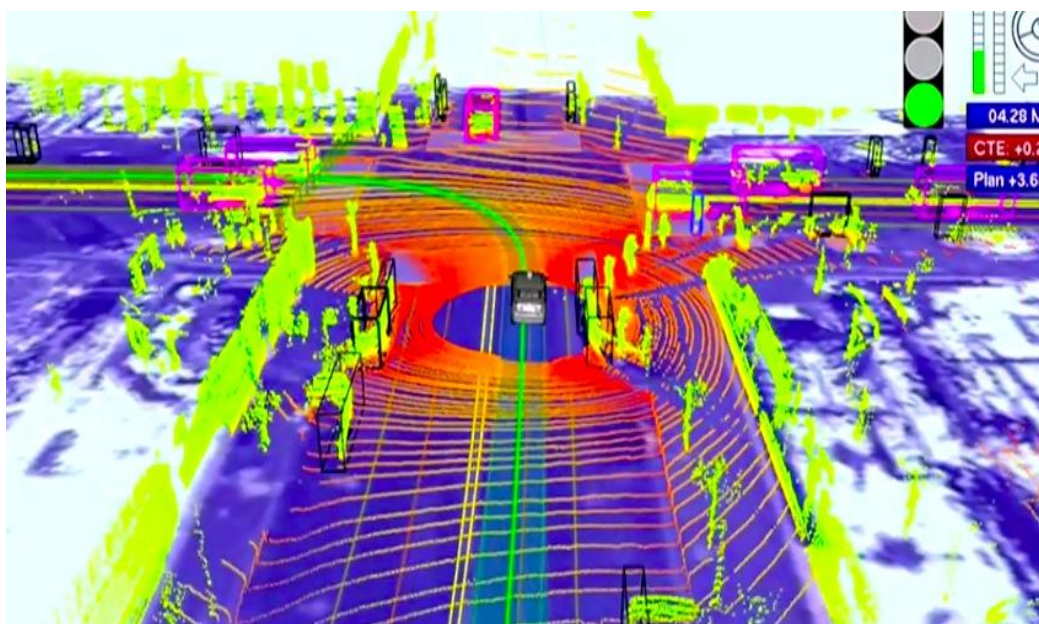


3. ábra Google autonóm járműve

A lidar egy lézeres radar, ami az angol Light Detection And Ranging kifejezésből alkotott mozaikszókból alkottak. Ez egy olyan optikai távérzékelő technológia, amivel elsődlegesen a céltárgy távolságát lehet meghatározni, jellemzően lézerfény-impulzusok kibocsátásával. A lidar adott szögsebességgel forog a kocsí tetején, így 360°-os panoráma képet tud adni a környezetéről akár 60 méter távolságban, és természetesen 3

dimenzióban. Mint minden szenzornak, a lidarnak is megvannak azok a tulajdonságai, ami miatt önmagában nem elegendő egyedül a teljesen önműködő jármű megvalósításához.

A lidar hátránya az elhelyezése. A probléma hogy minél magasabbra kell szerelni, hogy minél többet lásson a közvetlenül előtte, néhány méteren belül lévő dolgokból. A felszerelt autók további három szenzort tartalmaznak. Ezek az érzékelők hivatottak azokat a funkciókat ellátni, amit a lidar önmagában képtelen lenne. Az autó elején és hátulján 3-3 radar található, a szélvédő mögött egy kamera és a bal hátsó keréken egy pozícióbecslő szenzor van, ami a kerék elfordulását méri. A radarral az autó közvetlen közelébe eső dolgokat figyelik, lassú városi forgalomban az előttük haladó jármű távolságát. A radar hivatott befedni azokat a területeket, amit a lidar nem, vagy csak nehezen lát.



4. ábra Lidar látképe

A szélvédő mögötti kamera hivatott a különböző közúti jelzések felismerésére (mint például, a jelzőlámpák jelzéseképei, táblák stb.) és az autónál kisebb, a forgalomban tevőlegesen résztvevők figyelésére. Ilyen forgalomban résztvevők a gyalogosok és a kerékpárosok, akik a lidar hatáskörén belül kerülhetnek az útra. Habár a jármű képes az önálló közlekedésre, mégsem képes arra, hogy olyan helyekre eljusson, ahol eddig még más nem járt. Itt felvetődhet a kérdés, hogy az általuk eddig elért eredmények mennyire

hozhatók kapcsolatba a Street View-al, ami GPS alapon tárol már most rengeteg információt, amit könnyen át lehet adni az autónak, így előre fel lehet készíteni bizonyos eshetőségekre. Az autó irányítását különféle vezető modellekkel oldották meg. Az autóban a működés során mindig ember ült. Erre biztonsági okokból volt szükség, mivel a váratlan helyzeteket nem tudják programból kezelni. A tesztek során egyik ilyen váratlan esemény egy parkolóhelyre visszatolni szándékozó autó volt. Itt a kísérő sofőrnek kellett beavatkozni és a helyzetet megoldani.

A mai járműveinkben is rengeteg olyan technika eszköz megtalálható már, ami a teljesen önjáró jármű felé mutat. Ezek a kényelmi elektronikai eszközök arra szolgálnak, hogy a sofőrök egyszerűbben tudjanak egyes komplexebb műveletet végrehajtani, vagy a közlekedés biztonságának javítása.

Ilyen eszköz a modern járművekben található kamera, ami a forgalom és a sávok figyelése az egyes közúti táblák detektálása és a jelentéstartalmuk visszajelzése a műszerfalra, továbbá éjszakai környezetben az előttünk álló útszakasz mutatása.



5. ábra Éjjellátó kamera képe

A kamera működési elvéről a dolgozat későbbi részében teszünk említést. További ilyen, a járművekben használt technika az ultrahang szenzorok és radar által biztosított távolság érzékelés. Ilyen feladatok például az előttünk lévő járművektől a távolságtartás illetve a városi forgalomban esetleges hirtelen fékezéskor a baleset megakadályozása.

Továbbá kényelmi feladata az ultrahang szenzornak, a gépjármű önálló parkolásának megvalósítása.



6. ábra Magától parkoló autó

3. Követelmények

Miket várunk el a kapott szenzoroktól? Milyen funkciókra lesz szükségünk az adott feladat megoldása során. Ebben a fejezet részben erre a kérdésre próbálunk válaszolni.

Háromféle szenzort áll rendelkezésre a projekt keretében. Ezek a szenzorok sorban ultrahang szenzor, radar és kamera. A három közül a legfontosabbal, a kamerával kezdjük. A kezdeti fázisban ez az érzékelő lesz az, amit a legnagyobb mértékben fogunk tudni használni.

A kamera felé azt a z elvárást támasztjuk, hogy a lehető legtöbb információt értelmezze, és ezeket küldje ki nekünk a CAN hálózaton. A mi dolgunk ezek után a kapott adatok értelmezése és ezek alapján az akadályok detektálása.



7. ábra Fedélzeti kamera

A következő eszköz az ultrahang szenzor. Ezzel is az akadályok detektálását végeznénk. Mivel a szenzor több magasságban érzékel, ezért igen fontos lehet például egy útpadka és egy szalagkorlát megkülönböztetésében.



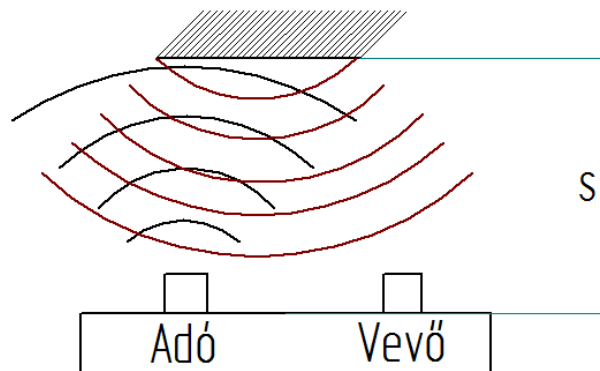
8. ábra Ultrahang szenzor

Radar az ultrahangszensorhoz hasonlóan a távolságok detektálására szolgál. A projekt jelenlegi fázisában nem tudjuk felhasználni, de egy későbbi továbbfejlesztésnél például a jármű parkolásában tud segíteni.

4. A tesztjárművön alkalmazandó szenzorok

4.1 Ultrahang szenzor

4.1.1.Bevezetés:Alapfogalmak



9. ábra Alapok

A hang közismerten longitudinális hullám, azaz a rezgés iránya megegyezik a terjedés irányával. Fizikai közelítésben pedig folyamatos nyomáshullámok, amiből az következik, hogy egy adott felület képes a hang megrezegtetni egy adott frekvenciával ($F=p \cdot A$). Ez a frekvencia nyilván a nyomáshullám gyakoriságától függ.

A hangterjedési sebessége nagyban függ a közegtől is. Levegőben ez nagyjából 340 m/s-nak felel meg ($c=\sqrt{\chi \cdot R \cdot T}$). Szilárd anyagban ez akár 1500m/s is lehet.

Az emberi fül körülbelül 20 és 20 000 Hz között képes érzékelni a hangokat. Az ennél magasabb, emberi fül számára nem érzékelhető hangokat nevezzük ultrahangnak. Az ultrahang igen használhatónak bizonyult az orvosi, a műszaki gyakorlatban, a kémiában. Passzív felhasználásnak nevezzük azt, amikor az ultrahang energiája alacsony, nem okoz változásokat a vizsgált anyagokban. Amikor az ultrahang egyik közegből a másikba lép, energiája csökken, iránya megtörik, esetleg visszaverődik, úgy viselkedik, mint a többi hullám. Szilárd testekben megbúvó üregeket deríthetünk így fel,

távolságokat mérhetünk a tenger alatt, a méhben elhelyezkedő magzatról, a vesében vagy az epében keletkezett kőről készíthetünk képet. Távolságméréshez, ahogy a képen is látható szükség van egy adóra és egy vevőre. Egy s távolságra lévő tárgytól $t=2*s/c$ idő alatt tér vissza a kibocsátott hang. Ez az alapja a távolságmérésnek

Aktív felhasználás esetén nagyobb intenzitású, erősebb rezgéseket használunk arra, hogy kémiai reakciók létrejöttét segítsük, életfolyamatokat serkentsünk, baktériumokat ölve fertőtlenítsünk.

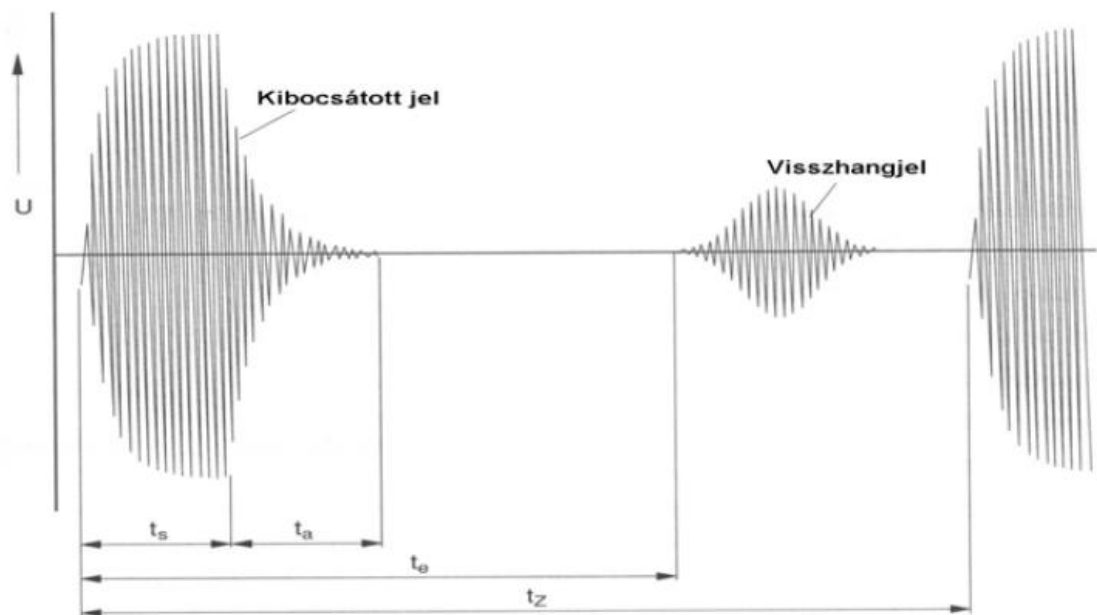
Műszaki gyakorlat szempontjából sok területen felhasználják az ultrahang adta lehetőségeket. Példák:

- Orvoslás
- Felületi érdesség mérés (ekkor szükség van egy közvetítő közegre)
- Repedésvizsgálat
- Távolságmérés kisebb távolságokban
- Autóipari alkalmazás

Ezzel kapcsolatban foglalkozunk a következő fejezetben a fizikai megvalósítással, azaz az ultrahang szenzorral.

4.1.2. Az ultrahang szenzor működési elve, felépítése

Az ultrahang érzékelő a nagyfrekvenciás hanghullámok visszaverődése alapján működik. Egy rövid, impulzusszerű jel kibocsátása után adó üzemmódból átkapcsol vevő üzemmódba (mikrofon) és érzékeli a reflektált jelet. Az ultrahang érzékelőkben alkalmazott hang frekvenciája 30–300 kHz, az impulzusok ismétlési frekvenciája 1–100 Hz. Szűrőkapcsolás segítségével zárhatók ki a visszavert impulzusoktól eltérő, a környezetből származó zavaró jelek. A következő ábra zavarástól mentes esetet mutat be. A kibocsátott jelet rövid ideig nagy intenzitással bocsájtjuk ki a szenzorból, ami körülbelül ugyanannyi idő alatt csillapodik le (ugyanis egy rugalmas rendszerről is beszélhetünk, aminek van rugómerevsége és csillapítása is). Ezután már vevő üzemmódban érzékeljük és feldolgozzuk a beérkező visszhangjelet. Utána ismét kiküldünk egy jelet, ami t_2 periódusidőnként következik be.

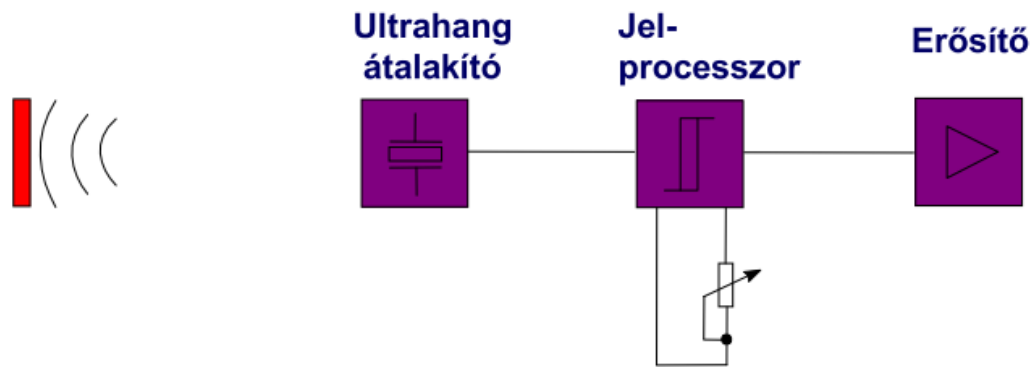


10. ábra Hangimpulzusok visszaverődése

Kis tárgyak esetén a környezet tárgyai jobban zavarhatnak, kísérletezve kell beállítani az érzékelőt. Gond lehet a hangot jól elnyelő anyagokkal is. (habszivacs, szövet, kőgyapot, **rendszámtábla**). Megfelelő méretű lappal a hanghullámok iránya megtörhető (tükörként funkcionál), „sarokban” lévő tárgyak is érzékelhetők. A

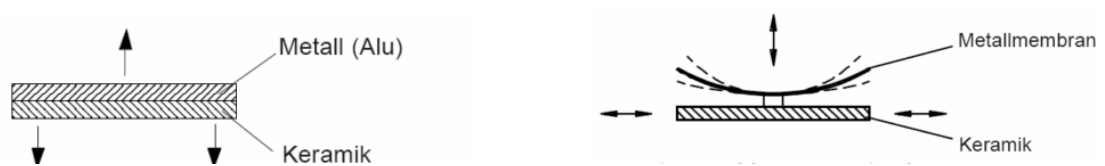
környezeti zajok kevésbé, a felhevült levegő viszont erősebben megzavarhatja működését.

Sematikus kapcsolásban a következőképp néz ki:



11. ábra Ultrahangszenzor egyszerűsített ábra

Az ultrahang szenzorokban általában piezo kerámias átalakítókat használnak. A piezo kristályok tulajdonsága, hogy feszültség rákapcsolásával geometriai méretei megváltoznak. Vagy pedig visszafelé gondolkodva: külső impulzus hatására feszültség mérhető a kristályon. A kristály kialakítása többféle lehet, például sík illetve membrános:

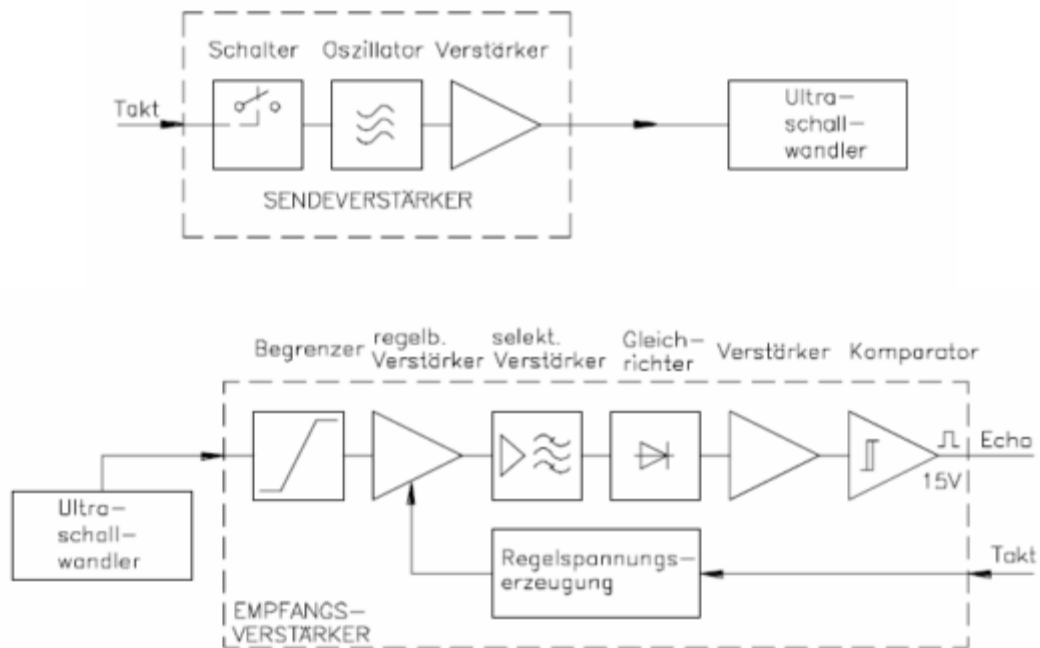


12. ábra Különböző kristály kialakítások

A következő elem az ábrán az a jelprocesszor vagy feldolgozó logika. Itt dől el, hogy éppen kibocsátás vagy fogadás legyen, illetve feldolgozza a jelet. Látható hogy a kibocsátás és érzékelés ugyanott történik, tehát a távolságmérő szenzorok letapogató üzemmódban működnek (ezenkívül van más sokféle is, amit jelen tárgyalásban nem

részletezünk). Az utolsó pedig az erősítő, amivel a kapott jelet felerősítjük és továbbküldjük.

A következőkben bemutatjuk az ultrahang szenzort kicsit részletesebben egy bővebb blokkdiagramon, mégpedig külön a kibocsátás és külön a fogadásnak:



13. ábra Jel kibocsátás és fogadás

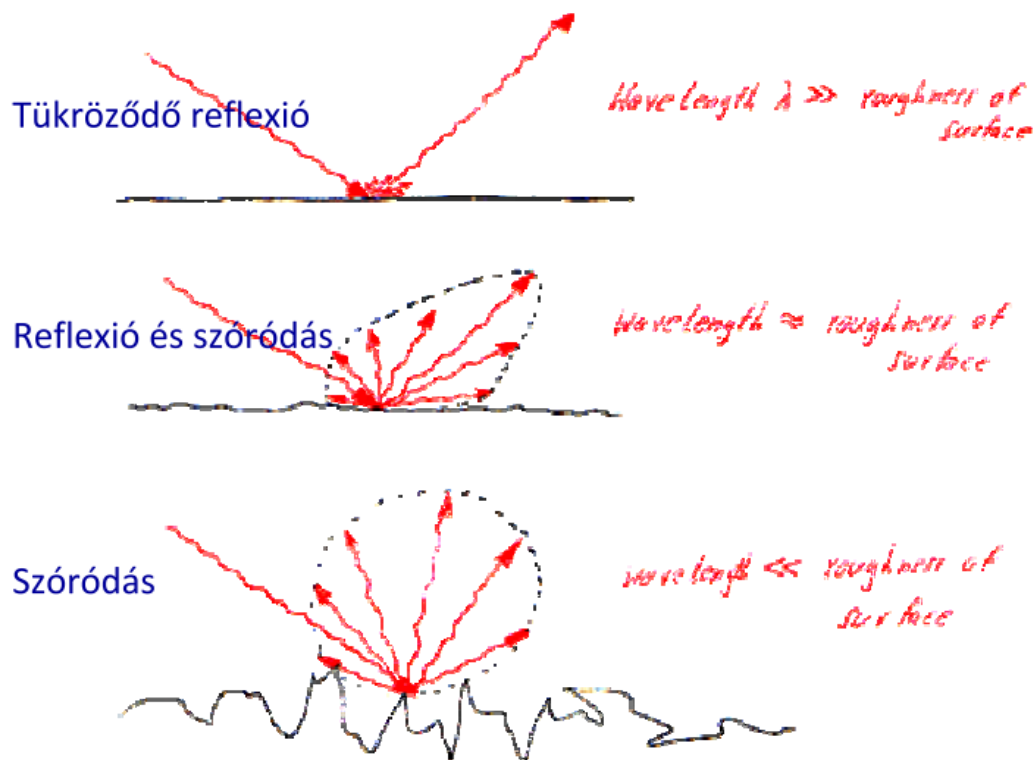
Kibocsátáskor egy órajelet viszünk be a rendszerbe, amit egy oszcillátoron és egy erősítőn át juttatunk el az ultrahang átalakítóhoz (megrezegtetjük a piezo kerámiát). A bevitt órajele nyilvánvalóan periódikusan változó feszültségjel, amiből következik, hogy a piezo kristály alak-/méretváltozást szenved, megmozgatva ezzel a kívánt frekvencián a membránt. A gyártók a szenzorok leírásában általában szerepeltetik, hogy milyen órajele hatására mekkora frekvencia érhető el.

Jelfogadáskor fordított a helyzet. Nekünk kell a membránon és a piezon keresztül fogadni a feszültségjelet, és azt feldolgozni, továbbküldeni. Lényegében egy analóg/digitális átalakításról beszélhetünk, 1. korlátozó, 2. feszvezérelt AGC erősítő, 3. szűrő, 4. egyenirányító, 5. erősítő, 6. komparátor, 7. kimenet.

4.1.3. Alkalmazási Példa. Járműipari felhasználás.

Alkalmazási példákról már volt szó, ezeket fogjuk most egy kicsit kirészletezni. Egészségügyi vizsgálatoknál például felesleges feltárni a beteget ahhoz, hogy megtudják, mi okozza a panaszokat.

A felületi érdesség ultrahangos spektroszkópiával végzett mérésének elve viszonylag egyszerű. Amikor a hanghullám érdes felületen halad át, mind a fázisa, mind az amplitúdója megváltozik. Első közelítésben az amplitúdó változását figyelmen kívül lehet hagyni, miután a fázisváltozás az uralkodó hatás. Itt érdemes is megemlíteni a felületi érdesség hatását a visszavert jelre, mert ez mint a szenzorfüziós, mint a felületi érdesség mérésekor súlyozott szereppel bír.



14. ábra Különböző felületek

Az ábrán látható hogy a geometriailag sima felület sokkal egyenletesebben, kiszámíthatóbban veri vissza a hanghullámokat, így nagy valószínűséggel nagyobb

feszültségcsúcsot mérhetünk, mint az érdes felület által szétszórt visszavert hanghullám esetén.

Ultrahangos anyagvizsgálat, repedésvizsgálat esetén viszont az a kívánatos hogy ne verődjön vissza a hanghullám, mivel ha visszaverődést érzékelünk, az nagyvalószínűséggel repedést jelent az anyagban (jelen esetben fémekről beszélünk, amikben a hang továbbterjed.).Ez a visszaverődés mértéke nagy részben az anyag tulajdonságaitól függ.

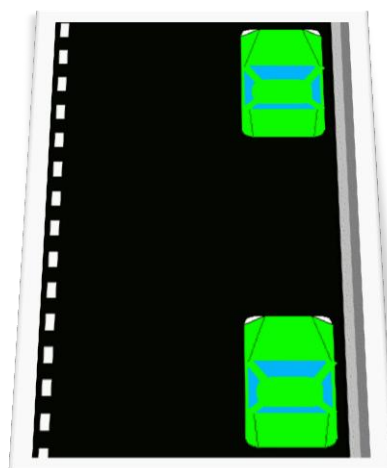
Következő lépésben az ultrahangos távolságmérés járműipari felhasználásáról lesz szó. Adott egy probléma: nem minden ember olyan ügyes vezető, mint ahogy azt sokan tapasztalták is. Parkoláskor nehezíti a megfelelő pozicionálást a vezető gyakorlottsága, az autó hossz- és keresztirányú mérete, az elfoglalni kívánt hely mérete, illetve a forgalom is. Zsúfolt városban megkönnyítené egy olyan segéd beépítése a járműirányítási-, szabályozási rendszerébe, ami automatikusan felméri a terepet, korrigál, esetleg önállóan be is parkol. Ezt egy jól beállított ultrahangos parkolási segédrendszerrel lehet megvalósítani.



15. ábra Parkolás két autó közé

Ahogy a képen is látható, ez egy szenzorral nem valósítható meg. Egyrészt a kis térlátási szög (~60 fok), másrészt az egyes tárgyak térbeli elhelyezkedése miatt sem.

A parkolási segéd újkeletű dolog. Az első ipari szempontból megvalósítható rendszer



jelfeldolgozási algoritmusok kidolgozásának idejére tehető (1995). Viszont már az 1930-as években is létezett párhuzamos parkolást megvalósító rendszer, ami teljesen különbözött a mai megoldásoktól. Egyszerűen 4 db munkahengerrel megemelték a járművet, ami általában valami nyerges vontató volt, és „berakták” a kívánt helyre. Ez személygépkocsiknál nem túl praktikus.

1992-ben a Volkswagen Futura volt az első autó, ami már önállóan beparkolt, viszont olyan nagy számítógépet tartalmazott, hogy ez csak prototípus maradt.



16. ábra Tipikus városi parkolási probléma: a párhuzamos parkolás

Az első autó 2003-ban a Toyota Prius volt, amiben már volt intelligens parkolást segítő rendszer (párhuzamos parkolás). Ezt azért lehetett már megvalósítani, mert már rendelkezésre állt a szükséges jelfeldolgozási módszer és az adatküldési rendszer (CAN-bus), illetve a szabályozási lehetőségek is olcsón megvalósíthatók lettek. A parkolási rendszer fejlődése az alábbi állomásokra bontható fel:

- Parkolási hely mérése (Parking space measurement)

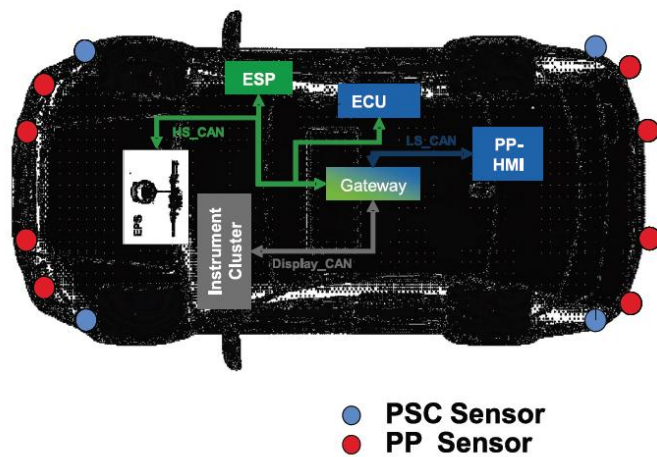
- Parkolási segéd (Parking assistant): hely felmérése, hátsó kamera, távolságjelző (inkább párhuzamos parkolás)
- Önálló parkolás (Automatic parking): párhuzamos és merőleges parkolás is

Konkrét időpontok nehezen határozhatók meg ezek fejlődésében, mivel ezek üzleti titkok, illetve egymásba fűződve fejlődtek és lettek beépítve. (Például nem érünk vele semmit, ha ismerjük a parkolási hely méretét, ha nincs segéd, ami ezt közli a járművezetővel vagy a vezérlő controllerrel). Jelenleg szériában a legfejlettebb rendszerek lemérik a helyet (Park Space Measurement), jeleznek. A parkolás indítása után kezelik a kormányt, a vezetőnek csak a gáz- és fékpedálokat kell kezelnie az instrukcióknak megfelelően (Park Steering Control). Ez változni fog 2013 novembertől, mert az 5-ös BMW-ben megjelenik szériában egy olyan rendszer, ami már a gáz és a féket is kezeli (autopult.hu). Ennél fejlettebb rendszert a Volvo és a Ford tervez, amik jelenleg még nem valósultak meg vagy csak prototípus szintjén léteznek. (Forrás: autopult.hu; origo.hu).

Jelen megvalósításban elől X, hátul Y db szenzort helyezünk el a következőképpen:

Ultrasonic - System architecture

- 4Ch Rear PP
- 8Ch Front/Rear PP
- 10Ch Front/Rear PP
- Park Space Measurement
- Park Steering Information
- Park Steering Control
- Pull Out Control
- Cross Park Steering Control
- Side View Assist
- Object Localization



17. ábra Szenzorok elhelyezése, illetve rendszer architektúrája

Alapvetően két üzemmódban működhet a rendszer:

- PAS mode (conventional parking pilot function)
- PSM mode (parking space measurement)

A késsel jelöltek a Park Steering Control szenzorok, azaz PAS módba van szerepük. Ezen kívül a pirossal jelölteknek a PAS módban a távolságmérésben van szerepük, tárgylökizációban nincs. (Ezek az első és hátsó szenzorokra is igazak). PSM módban csak az elülső két PSC szenzort használjuk. Illetve: jelen helyzetben még nincs eldöntve, hogy elöl és hátul hány db szenzor lesz (ha hátul is 6, akkor PSM módban is lesz használva a két kék).

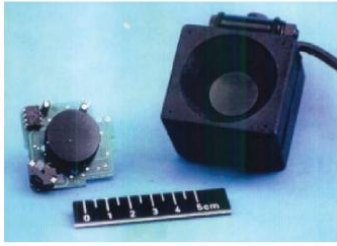
4.1.4. Az érzékelő, adatainak kezelése, kommunikáció megvalósítása.

Ultrasonic - basics

- 48 kHz Ultrasonic
- Induction with Piezoelektronik
- $C=340\text{m/s}$ – depends on the temperature and relative humidity
- Distance measurement: $d = (c*t)/2$
- Comfort system during parking and low speed manoeuvring

18. ábra A szenzor alapinformációi

A Bosch Autonóm Jármű hallgatói projektben felhasznált eszköz adatai fent láthatók. Az ultrahang frekvenciája 48kHz, piezzo kerámiás, illetve jelölve vannak a kiinduláshoz az alapképletek. Szabályozás szempontjából is meg van határozva, hogy cél a komfortos rendszer és az alacsony sebesség parkolás közben. (Senki nem vállalna be olyan autót amely 200-al befárolna a parkolóhelyre, pedig ez is megvalósítható feladatok körébe tartozik). A szenzor kinézete pedig a következő:



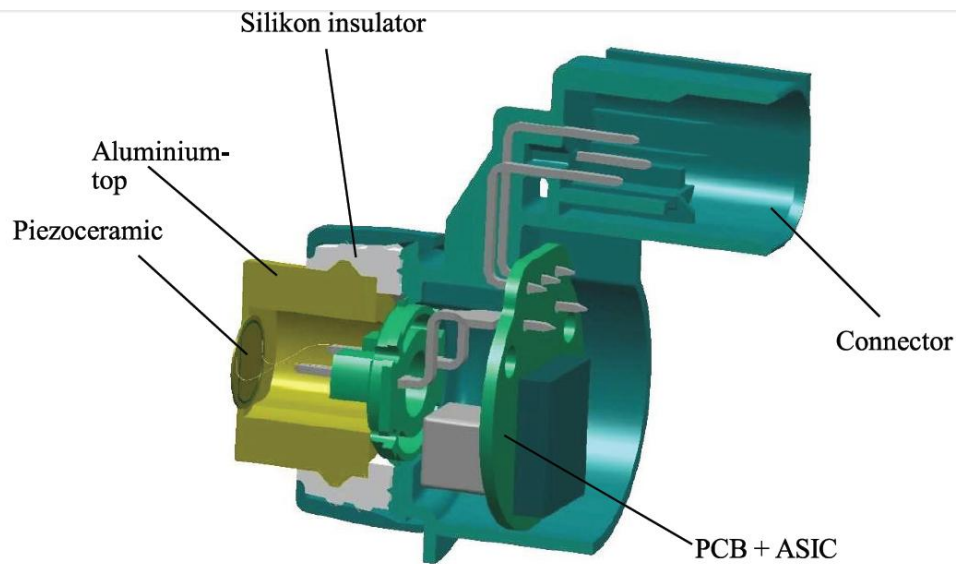
Gen1

Gen4

Gen5

19. ábra A Bosch által kifejlesztett ultrahang szenzor

Alapfelépítése pedig így néz ki:



20. ábra Szenzor felépítése

12. ábra: A szenzor felépítése

Elöl a piezokerámiát alumínium tetővel borították körbe, illetve a szenzorháztól egy szilikon betéttel van elválasztva, illetve ábrázolva van még a jelfeldolgozó egység és a csatlakozópont is. A szenzorok megfelelő elhelyezése jelentős szereppel bír, mivel ez határozza meg a bejövő jelek minőségét.

Első ízben az első és hátsó elemek egymáshoz való helyzetét kell végiggondolni:

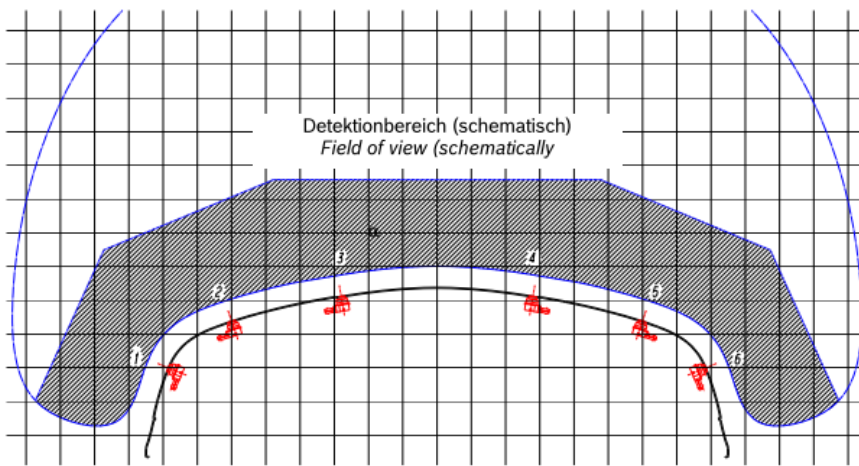


Bild 2: Sensoranordnung im Frontbereich
Fig. 2: Positioning front sensors

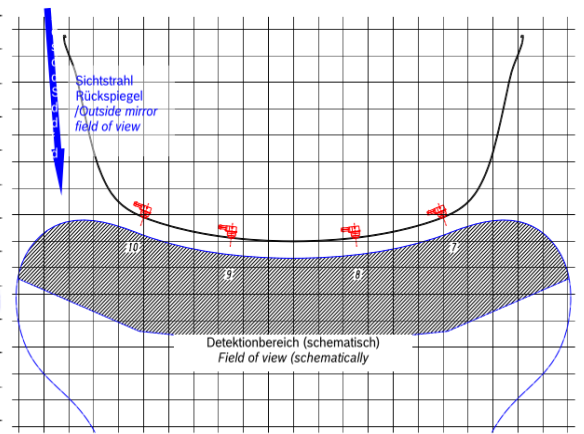
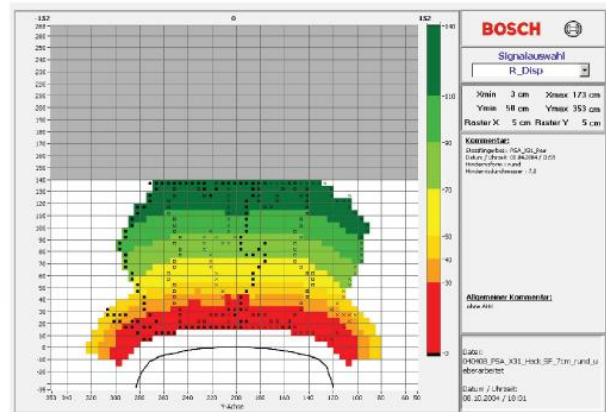
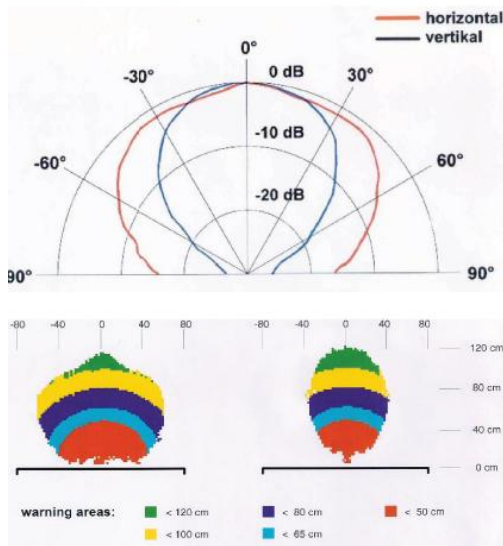


Bild 3: Sensoranordnung im Heckbereich
Fig. 3: Positioning rear sensors

21. ábra Pozicionálás

Az elhelyezés úgy történik, hogy lefedjék a kimenő jelek a kívánt tartományt, illetve egymást ne zavarják, amit nagyban meghatároz a szenzorok látószöge:

Ultrasonic - Detection field of one sensor and complete system

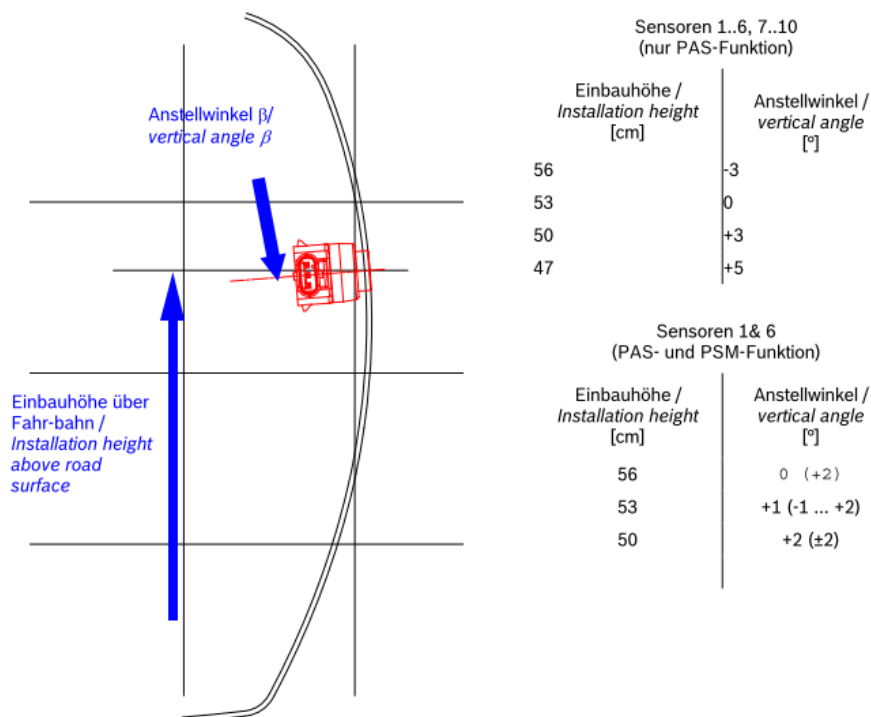


22. ábra A szenzor horizontális és vertikális látószöge

A képen egy szenzor látószögei láthatók, illetve egy rendszerként mért jeleknek a letapogatási tartománya, melyek méréseit a Bosch végezte el. Még látható az is, hogy a

középső a szenzorok távolsági tartománya nagyobbra van beállítva, tehát ez a mérés PAS módban történt. Gondolni kell még a felhelyezés során a közúti járművek esetén azokra az objektumokra, amelyek befolyással lehetnek a mérési eredményekre. Ilyenek például maga a lökhárító amire felszereljük, a rendszám tábla, és a kipufogó cső. Mindezek nem kívánt árnyékolást, visszaverődést egyéb zavart okozhatnak, amik nem kívánt zavaróként kell figyelembe venni a számítások során. A projekt autójánál egyedül csak a lökhárító hatásait vesszük majd figyelembe, a többi magára a tesztautóra nem kerül fel, mivel az autó elektromos és nem akarjuk közúti forgalomba helyezni se.

Következő dolog, amit elemezni kell az a felhelyezési magasság és a vertikális elhelyezési szög:



23. ábra Magasság és elhelyezési szög.

A Bosch által kibocsátott leírásban szerepelnek a fent ábrázolt javasolt értékek. A földtől kb. fél méterre már maga a talaj nem nagyon zavar be, illetve a megfelelő vertikális szög is befolyással van erre, amit a lenti görbesereg ír le:

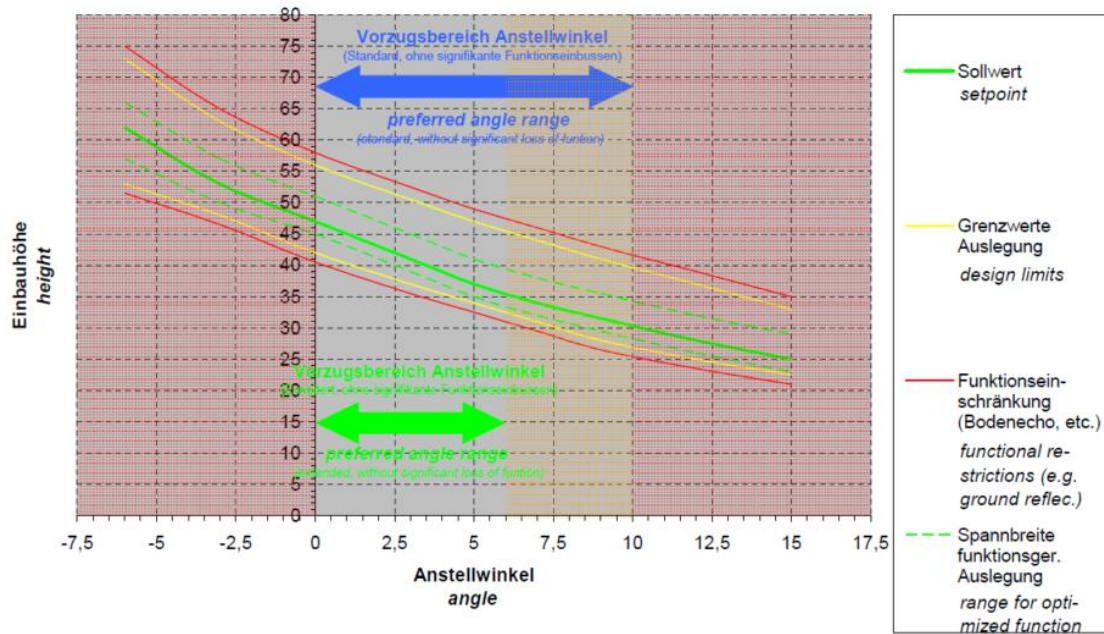


Bild 6: Einbauhöhen und Einbauwinkel der Sensoren (Standard-, erweiterter Messbereich)
 Fig. 6: Sensor elevation and elevation angle (standard, extended range)

24. ábra Az elhelyezési magasság vertikális szög szerinti függvénye.

A Bosch által javasolt értékek zöld-el jelölve 0 és 5 fok közötti tartományba esnek. Természetesen ezen görbék elülső és hátsó szenzorokra különböző, amit a Bosch szintén részletesebben tárgyal. A leírás még kitér a csatlakozási pontra, a lökhárítóra való esetleges felhelyezési problémákra, illetve rossz példákat is felsorol.

Végeredményképp pedig robbantott ábrában valahogy majd így kell kinéznie a szenzornak és környezetének:

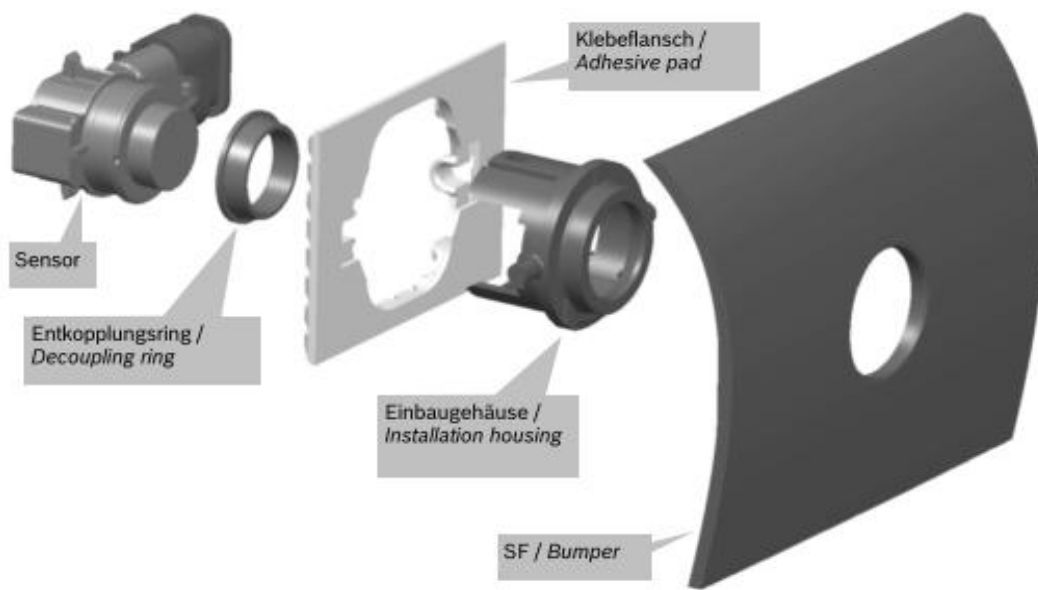


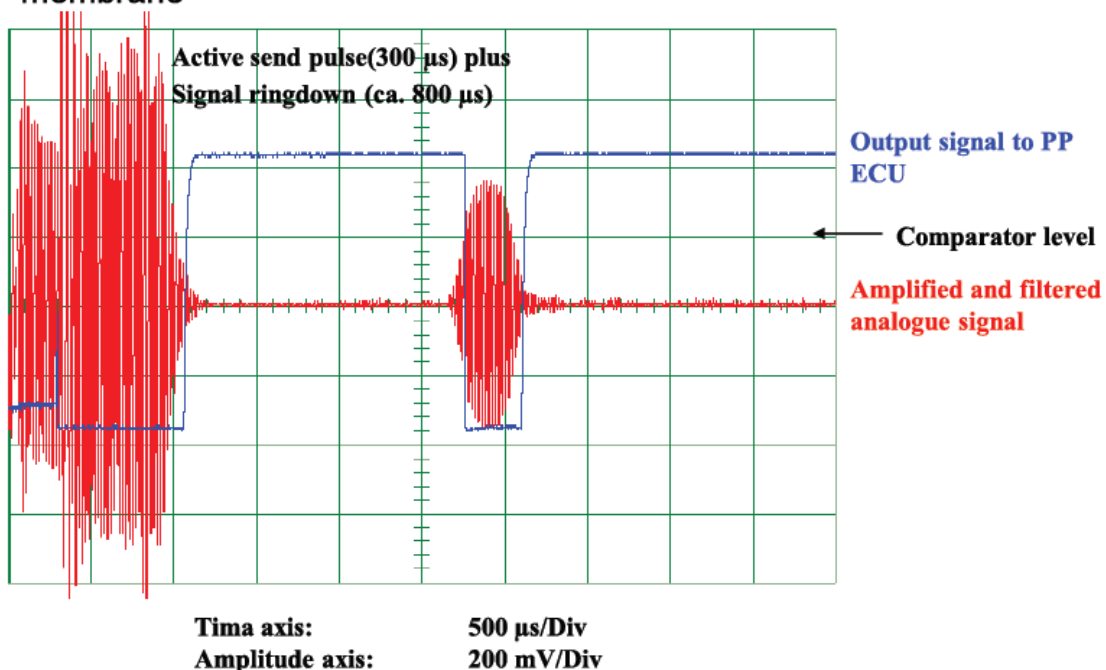
Bild 22: EBGH zweiteilig mit Klebeband
Fig. 22: Two-piece SB with adhesive pad

25. ábra Összeszerelés robbantott ábrája

A szenzorra kötelezően rá kell kerülnie egy szigetelő gyűrűnek, egy bepattanó kötéssel rendelkező háznak, amibe bepattintjuk a szenzort illetve egy rugalmasan deformálható hátsó fallal, amit ragasztó kötéssel a lökhárítóhoz rögzítünk.

A gépészeti oldalról való megközelítés utána jöhet az elektronikai rész. A szenzorról beékező adatok valahogy így fognak kinézni:

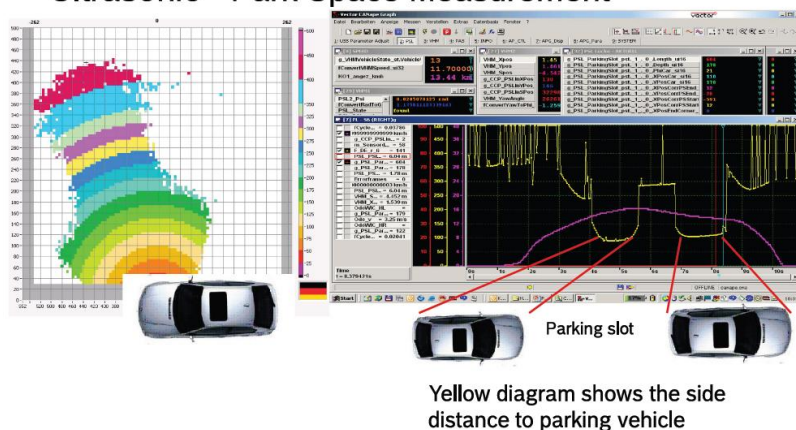
Ultrasonic - Sampling Approach – analog signal from the sensor membrane



26. ábra A szenzor jelei

A pirossal jelölt az erősítés utáni, szűrt analóg jelünk, amelynek kimenete az ECU-hoz kékkel van jelölve. Feldolgozás után pedig a mért jeleket fel tudjuk használni a kívánt célhoz.

Ultrasonic - Park Space Measurement



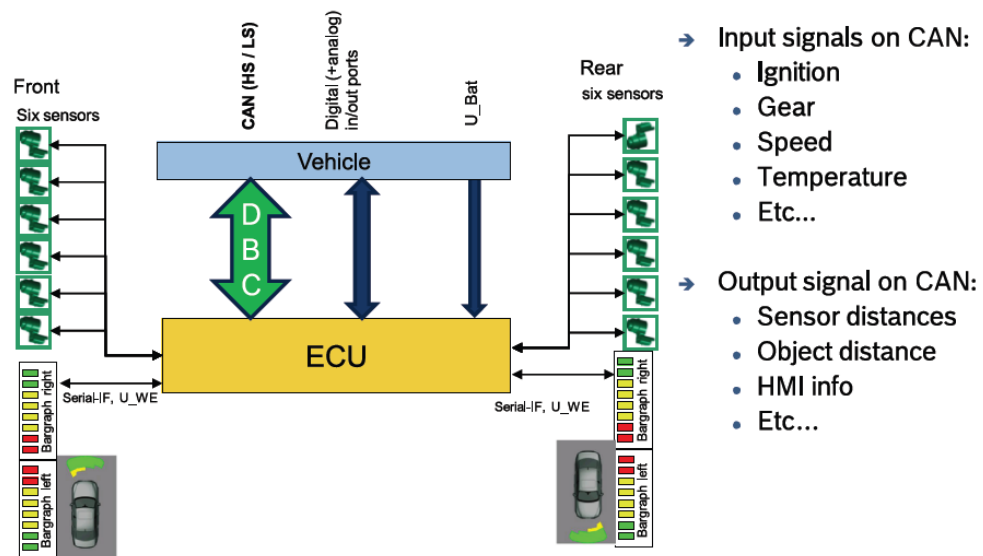
27. ábra PSM mód a gyakorlatban

A különböző helyekről visszaverődő hang alapján képet a tudunk kapni a jármű környezetében fellelhető objektumokról. A közelebbi tárgyról hamarabb visszaér a

hang így egy kiugró, nem tuskés, rövid hosszúságú szakaszt észlelhetünk, s ennek a hossza határozza meg a parkolóhoz rendelkezésre álló helyet.

Ezeket az információkat egy központi feldolgozó egységbe kell küldeni, mely további műveletekkel befolyásolja az autót a parkolás során. A kommunikációt CAN hálózat segítségével valósítjuk meg, amit egy sematikus ábrával szemléltetünk:

Ultrasonic - Communication



28. ábra Kommunikáció megvalósítása

Látható, hogy az adatok egy központi ECU-ba kerülnek, ami majd CAN hálózatra továbbküldi az adatokat a DBC fájlnek megfelelően.

Végezetül ez egy olyan szabályozási feladat, ahol a kormányzást, sebességet, maximális megengedhető távolságot kell figyelembe venni.

4.2 Radar

A járművek biztonsági rendszereinek információra van szükségük a jármű környezetéből. Radar alkalmazásakor a környezetről információt rádió illetve mikrohullámú elektromágneses sugárzás segítségével nyerünk. A módszer aktív letapogatás, vagyis a megvilágított objektumról visszavert sugárzást értékeljük ki. A

radar előnye más alternatívákhoz (pl. hangradar, lidar) képest az időjárási körülményektől független működés és a kisebb költség.

4.2.1. A radar működése

A radar egy mozaikszó: Radio Detection And Ranging, magyarul rádióérzékelés és távmérés vagy rádiólokátor.

A felhasznált sugárzás jellege szerint létezik folytonos hullámmal (continuous wave, CW) működő (29. ábra) és impulzusüzemű radar (30. ábra).

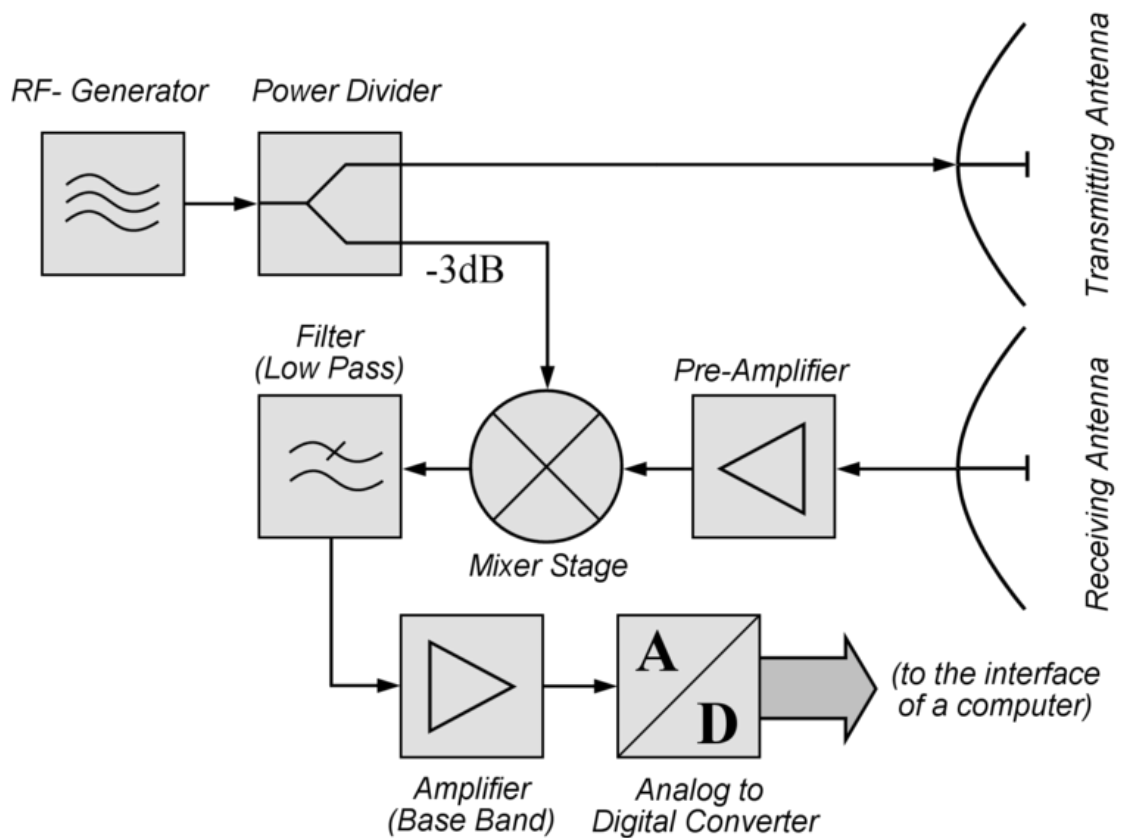
A radar rendszer fő komponensei:

- Adó (transmitter): egy meghatározott hullámformájú, nagy energiájú elektromágneses sugárzást állít elő
- Vevő (receiver): az objektumról visszaverődött sugárzás jelét erősíti, illetve demodulálja
- Antenna: kisugározza, illetve fogadja a térben terjedő elektromágneses hullámokat.
- Duplexer: monostatikus radaroknál szükséges, ahol egy antenna végzi az adó jelének kiküldését és a vevő számára a sugárzás érzékelését. A duplexer felváltva kapcsolja az antennát az adóhoz és a vevőhöz. Bistatikus illetve multistatikus radaroknál több antennát alkalmaznak, esetleg térben nagy távolságokra egymástól.

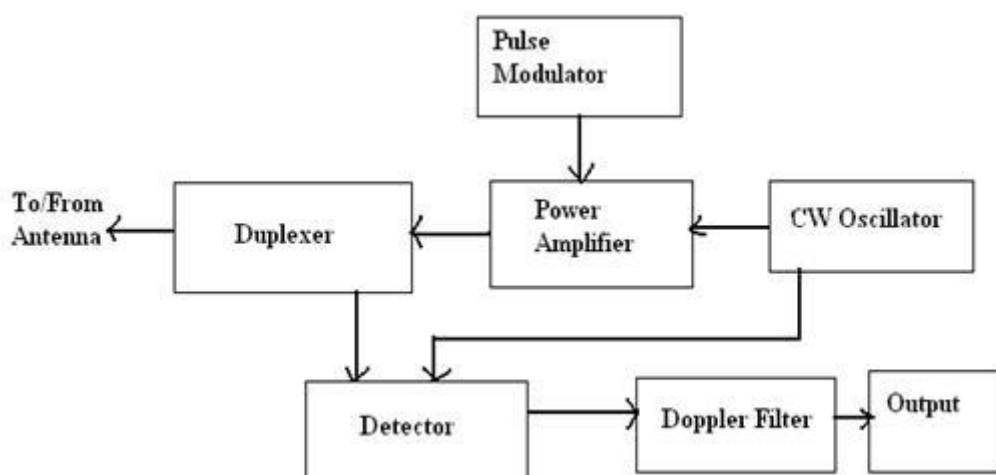
A visszavert jel a kisugárzott energiájának csupán töredékét tartalmazza, így azt erősíteni kell. Ugyanezen ok miatt szükséges, hogy a duplexer vesztesége nagyon kicsi legyen. A célpont távolsága a sugárzás oda-vissza terjedésének idejéből állapítható meg. Megadható az a minimális távolság, aminél közelebbi objektumot nem lehet bemérni:

$$R_{min} = \frac{c \cdot t + \tau}{2}.$$

A meghatározó tényezők a kisugárzott impulzus hossza (τ) és a duplexer kapcsolási ideje (t). A fénysebesség nagy értéke miatt ($c \cong 3 \times 10^8$ m/s) 1 μ s késleltetésnek 150 m távolság felel meg.



29. ábra Bistatikus CW-radar blokkdiagramja (forrás: Wikipedia)



30. ábra Monostatikus impulzusüzemű Doppler-radar blokkdiagramja [1]

4.2.2. Alapfogalmak

Antenna nyereség (Gain): irányított antenna által a főirányba kibocsájtott sugárzás és egy ugyanilyen teljesítményű izotrop antenna sugárzás teljesítménysűrűségének a hányadosa dB-ben mérve:

$$G = 10 \log \frac{S}{S_{iz}} .$$

Radarkeresztmetszet (Radar Cross Section, RCS): egy objektum sugárzás visszaverő képességét méri. Számszerű értéke megegyezik egy ugyanilyen visszaverő képességű vezető gömb keresztmetszetének területével. Értéke függ az objektum anyagától, alakjától, a megvilágítás szögétől és az alkalmazott hullámhossz és az objektum méretének arányától.

Néhány jellemző radarkeresztmetszet m²-ben:

Fregatt (1000 t)	5000
Kamion	200
Boeing 747	100
Autó	100
Kerékpár	2
Ember	1
Madár	0,01
Rovar	10 ⁻⁵

Antenna nyílásszög: az a szög, amin belül az antenna által felfogható vagy kisugárzott teljesítmény-sűrűség a maximálisnak legalább fele, vagy másképpen ahol a nyereség

legfeljebb 3dB-lel kisebb a maximálisnál. Vízszintes és függőleges irányban általában eltérő.

Radar egyenlet: a kiküldött és visszaverődött jelek energiaviszonyait jellemzi. P_t az adó teljesítménye, G az adó nyeresége, σ a célobjektum radarkeresztmetszete. Az objektum és az adó illetve a vevő távolsága R_t illetve R_r . P_r a felfogott teljesítmény. A_e a vevő effektív felülete. Ezekkel:

$$P_r = \frac{P_t G}{4\pi R_t^2} \times \frac{\sigma}{4\pi R_r^2} A_e.$$

Ez az egyenlet bistatikus radarra érvényes, ahol az adót és a vevőt külön antennával kapcsolják össze, melyek akár több km távolságra is lehetnek egymástól. Monostatikus radar esetén az adó és a vevő egy antennát használ, így $R_t = R_r$, és ha kihasználjuk az effektív felület és az antenna nyereség közötti $G = 4\pi A_e / \lambda^2$ összefüggést, akkor az egyenlet a

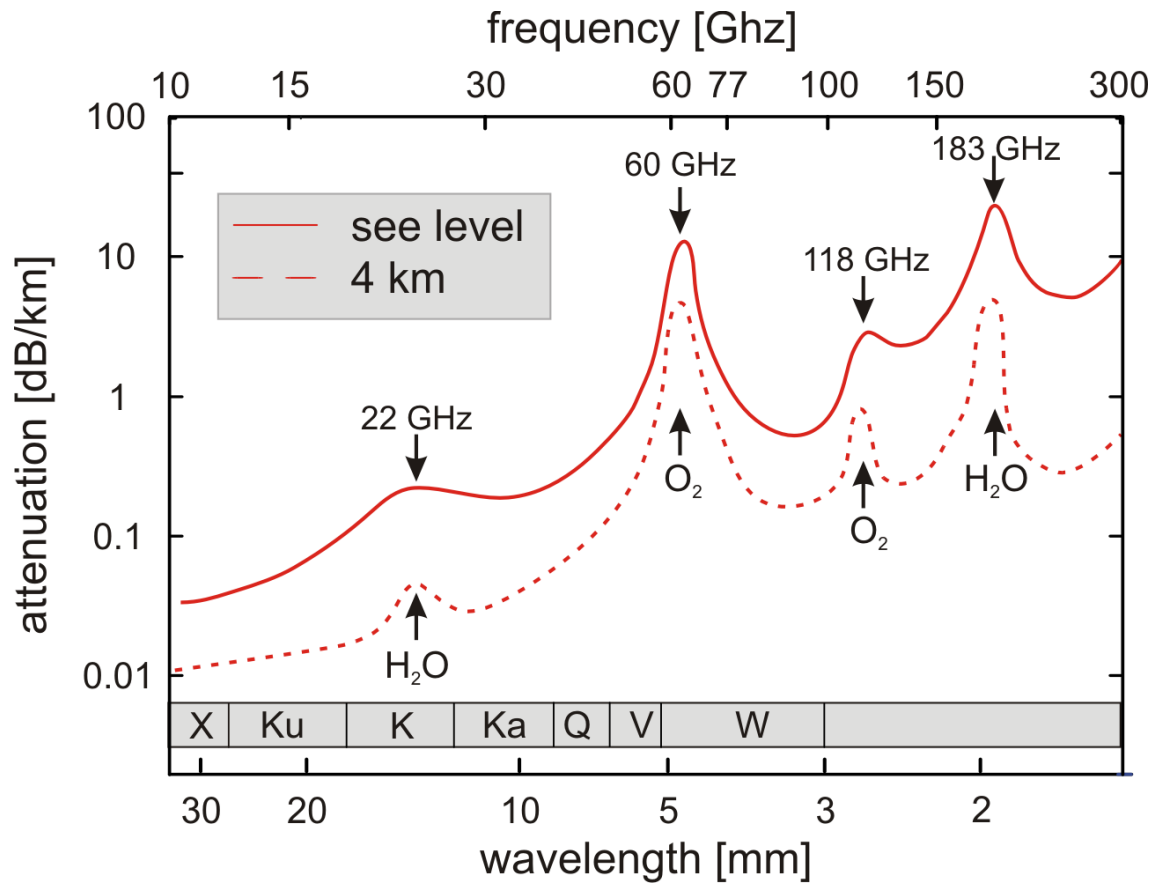
$$P_r = \frac{P_t G^2 \lambda^2 \sigma}{(4\pi)^3 R^4}$$

alakra egyszerűsödik, ahol λ a sugárzás hullámhossza.

Adott legkisebb P_{min} detektálható teljesítmény segítségével kifejezhető a radar hatótávolsága:

$$R = \frac{P_t G^2 \lambda^2 \sigma}{(4\pi)^3 P_{min} L}^{1/4},$$

ahol az L tényezővel a különböző veszteségeket vesszük figyelembe, mint pl. atmoszférikus veszteség, radar elektronikája okozta csillapítás, AD konverzió pontatlansága. Közúti járműveknél legfeljebb néhány 100 m a hatótávolság, így a néhány 10 GHz-en működő radarok 1 dB/km nagyságrendű atmoszférikus csillapítása általában elhanyagolható (**Hiba! A hivatkozási forrás nem található.**).



31. ábra Atmoszférikus csillapítás. A járművekben használatos Autonomous Cruise Control (ACC) a W sávban található 77 GHz-es frekvenciát használja. [2]

P_{min} -re megkötés szokott lenni a zajhoz viszonyított értéke, amit egy minimálisan megkívánt jel-zaj arányban (SNR) fejezünk ki:

$$SNR = \frac{P_{min}}{P_N},$$

ahol P_N a környezet és a vevő antenna hőmérsékleti sugárzásából származó zaj teljesítménye. P_N arányos a sugárzás sávszélességével.

4.2.3. Radar mérések alapelvei

4.2.3.1. Doppler radar

A Doppler radar egy adott frekvencián üzemelő CW eszköz, amivel egy mozgó objektum sebességének radiális vetületét mérhetjük meg. A kibocsájtott sugárzás f_t

frekvenciája és a relatív sebesség radiális komponense, v_r segítségével a visszavert jel frekvenciája:

$$f_r = f_t \frac{1 - \frac{v_r}{c}}{1 + \frac{v_r}{c}},$$

ami a legtöbbször érvényes $v_r \ll c$ feltétellel a frekvencia eltolódást kifejező

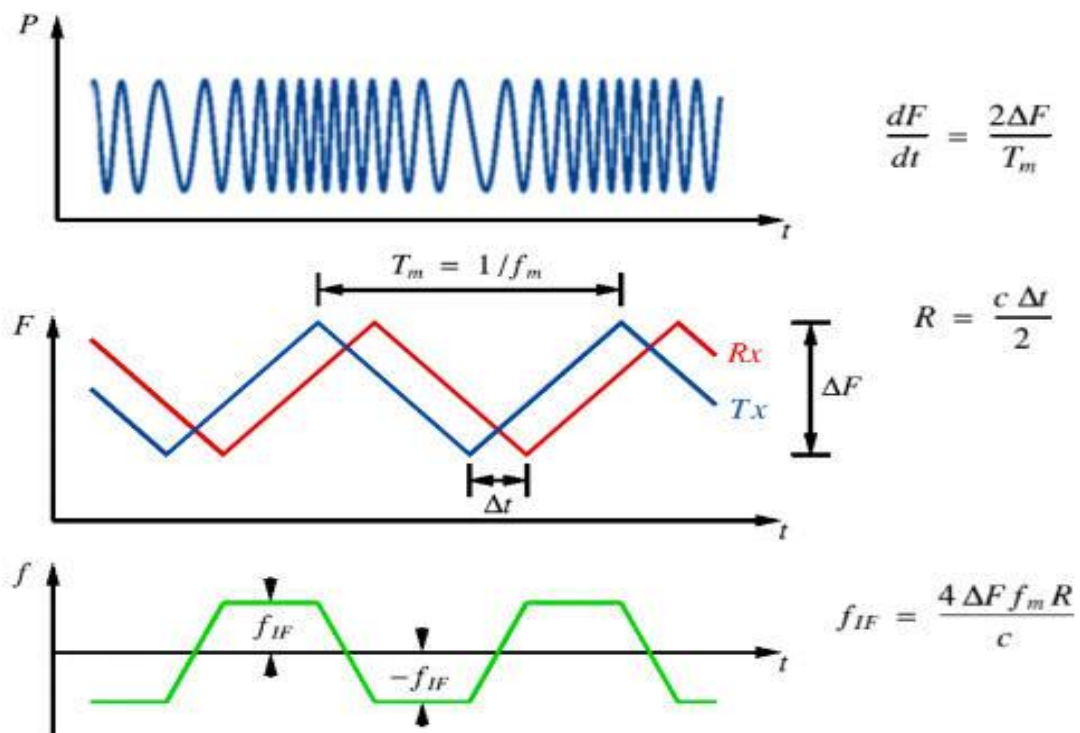
$$f_d = f_r - f_t = -f_t \frac{2v_r}{c} = -\frac{2v_r}{\lambda}$$

alakra írható át, amiben c a fénysebesség. Ha a célpont nem visszaverné a radar sugárzását, hanem saját forrása lenne, akkor fele ekkora frekvencia eltolódást kapnánk.

A mozgó objektum tényleges sebessége és radiális sebessége közötti kapcsolat:

$$v_r = v \cos \Phi$$

ahol Φ a sebességvektor és radartól a célpontig mutató irányvektor által bezárt szög. Ha ez 90° , akkor a radiális sebesség nulla, így a Doppler radar nem mér frekvencia eltolódást.



32. ábra Frekvencia modulált hullámforma (forrás: <http://www.st-andrews.ac.uk/~mmwave>)

4.2.3.2. FMCW radar

Az egyszerű Doppler CW radarral a célpont sebességét meg lehet mérni, de a távolságát nem. Távolság méréshez frekvencia modulált folytonos hullám szükséges (frequency-modulated continuous-wave, FMCW). Ennek leggyakoribb formája a lineáris frekvencia moduláció (LFM), ami a frekvenciát egy B magasságú háromszög (esetleg fűrészfog vagy négyszög) hullámformával modulálja (**Hiba! A hivatkozási forrás nem található.**).

A kisugárzott frekvencia f_0+B tartományban változik lineárisan, T periódusidővel. B a moduláció sávszélessége.

A t_1 időpontban kisugárzott jel frekvenciája f_1 a visszavert jel $t_2=t_1+\Delta t$ időpontban érkezik be, frekvenciája f_2 . A t_2 időpontban kisugárzott és beérkezett jel frekvenciájának különbsége f_b , ami álló célpont esetén

$$f_{b0} = \frac{4BR}{Tc},$$

ahol R az objektum távolsága a radartól.

Ha a relatív sebesség nem nulla, akkor f_{b0} eltolódik:

$$f_{b1} = f_{b0} - f_d$$

illetve

$$f_{b2} = f_{b0} + f_d,$$

attól függően, hogy a moduláció felszálló vagy leszálló ágában tartózkodunk.

f_{b1} és f_{b2} megmérése után a távolság és relatív sebesség meghatározható:

$$R = \frac{c(f_{b1} + f_{b2})T}{8B}$$

és

$$v_r = \frac{c(f_{b2} - f_{b1})}{4f_1}.$$

A legkisebb mérhető frekvencia eltérés: $\Delta f = 2/T$, így a mérhető relatív sebesség alsó korlátja:

$$\Delta v_r = \frac{c}{f_1 T}.$$

Ebből látható, hogy a moduláció periódusidejének növelése, vagyis a modulálás frekvenciájának csökkentése nagyobb felbontást eredményez.

A távolságbeli felbontást a moduláció sávszélessége határozza meg:

$$\Delta R = \frac{c}{2B},$$

tehát nagyobb sávszélesség nagyobb pontosságot tesz lehetővé.

4.2.3.3. Impulzus Doppler-radar

Az impulzusokkal működő doppler radar szintén képes a sebesség mellett a távolság meghatározására. A CW radarhoz képest kisebb az energiafogyasztása, illetve

hatékonyabban működik zavaró visszaverődésekkel teli térben. Azonos teljesítményen viszont a CW radarral jobb felbontás érhető el.

Az impulzusok ismétlődésének frekvenciája (PRF) 3...30 kHz nagyságrendbe esik. A távolságbeli felbontás fordítottan, míg a sebességfelbontás egyenesen arányos a PRF értékkel.

4.2.3.4. Beesési szög detektálása

A sugárzás beesési szögének detektálásához két antenna vagy két nyaláb szükséges. A mérés elve a következő. Az antennák egymástól d távolságra helyezkednek el, a főirányaik egymással szöget zárnak be, így a rájuk nem szimmetrikusan beeső sugárzás fázisát és amplitúdóját is eltérőnek fogják érzékelni.

Általános esetben mind a fázis, mind az amplitúdó adatok rendelkezésre állnak, így a beeső sugárzások összegének és különbségének aránya alapján a vizsgált objektum irányszöge megállapítható.

Speciálisan, ha egy antennát használunk, akkor a fáziskülönbséget nem mérjük, csak a két, egymással részben fedésben levő nyalábolással mért amplitúdók aránya segítségével határozzuk meg az irányszöget. Ez a módszer kis látószögű, nagy hatótávú radaroknál használatos.

Abban az esetben, ha két egyformán beállított antennával mérünk, akkor csak a beérkező sugárzások fáziskülönbsége áll rendelkezésünkre. A sugárzás beesési szögét α -val jelölve, a két antenna által felfogott sugárzás fáziskülönbsége:

$$\Delta\varphi = d \sin \alpha \frac{2\pi}{\lambda},$$

ezzel a célpont irányszöge:

$$\alpha = \sin^{-1} \frac{\Delta\varphi\lambda}{2\pi d} .$$

Ezen eljárás neve fázis interferometria, aminek látószöge:

$$\Delta\alpha = 2 \sin^{-1} \frac{\lambda}{2d} .$$

Rövid hatótávú radaroknál szükséges a $\pm 90^\circ$ -hoz közeli érték, így képlet értelmében az antennák távolsága az alkalmazott hullámhossz felénél nem lehet nagyobb.

Közepes és nagy hatótávú radarok antennáinak távolságát növelve nagyobb antennaméret is megengedhetővé válik, amivel a nyereség növelhető, egyben nagyobb eszközmérettel kell számolnunk.

4.2.4. Járműiparban használt radar frekvenciák

A járműipari radarok két fő frekvenciatartományban, 24 GHz és 77 GHz körül működnek. Az egyes tartományokban megengedett teljesítménysűrűségek megkötik a felhasznált hullámformát és az elérhető hatótávolságot. A megengedett teljesítménysűrűséget ekvivalens izotróp sugárzóra átszámítva adják meg, dBm egységben, vagyis 1 mW teljesítményű sugárzóra vonatkoztatva.

A 24 GHz-es tartomány két egymással fedésben levő sávból tevődik össze. Az keskeny sáv 24,15 GHz-en 200 MHz szélességű, a széles sáv 24 GHz körül 5 GHz-et foglal magába. Az előbbiben 20 dBm a megengedett sugárzás, az utóbbiban -41,3 dBm/MHz. A széles sáv a kis teljesítmény miatt impulzus radarokkal használható.

A keskeny sávban közepes és hosszú hatótávú CW radarokat alkalmaznak. Ezek jó jel-zaj aránnyal rendelkeznek, aminek szükséges feltétele a kis sáv szélesség felhasználása, így a keskeny, 200 MHz-es sávhoz illeszkednek.

A 77 GHz-es sáv is két részre osztható, 76-77 GHz és 78-81 GHz, tehát ezek nem fedik át egymást. Ezen a kisebb hullámhosszon kisebb antennák használhatóak, ezzel együtt az elérhető szögfelbontás növelhető. Továbbá a magasabb frekvencia miatt a Doppler eltolódás is nagyobb, így a sebességfelbontás javul.

Az alsó, 76-77 GHz-es sávot a nagy hatótávú felhasználás jellemzi, ahol kisebb felbontás szükséges. A szélesebb 78-81 GHz-es sávot a rövid hatótávú (30-50 m), nagyobb felbontású sáv szélesség igényes radarok alkalmazzák.

4.2.5. Lidar

A lidar szó a light és radar szavak összetételéből jött létre, de a radarhoz hasonlóan értelmezhető mozaikszóként is (Light Detection And Ranging, távérzékelés és mérés

fénnyel). Felhasználási területei távolság, sebesség, mérés, esetleg anyagok kémiai összetételének és koncentrációjának meghatározása. Lidar segítségével a környezet letapogatható és három dimenziós modell készíthető róla.

A lidar működési elve megegyezik a radaréval: fényjeleket bocsájt ki, majd egy tárgyról visszavert sugárzást elemezve megállapítja annak helyét, sebességét. A vevőantenna szerepét fotodióda vagy fotoelektron-sokszorozó tölti be. A fő különbség a radarhoz képest a felhasznált sugárzás kisebb hullámhossza miatt az elérhető pontosság, ami a lidar esetében sokkal nagyobb, így akár a levegő szennyezettségének vizsgálatára is használható. Hátránya, hogy időjárési körülményekre érzékeny.

A kibocsájtott sugárzás folytonos hullámból vagy lézer impulzusokból áll. Ez utóbbit nagyságrendileg 100000 impulzus másodpercenkénti gyakoriság jellemez. A sugárzás lehet koherens vagy inkoherens. Doppler- és fáziseltolódáson alapuló mérésekhez koherens sugárzás szükséges. Inkoherens sugárzás esetén amplitúdó mérést végeznek.

A lézer sugárzás hullámhossza általában 600-1000 nm tartományba esik. Katonai alkalmazásoknál előfordul 1550 nm-es hullámhossz, aminek előnye, hogy nem látható éjjellátó készülékkel. Járműiparban a tipikus értékek 1000 nm körüliek. A felhasznált sugárzással kapcsolatos követelmény, hogy a választott hullámhossz és teljesítménysűrűség ne legyen káros az emberi szemre.

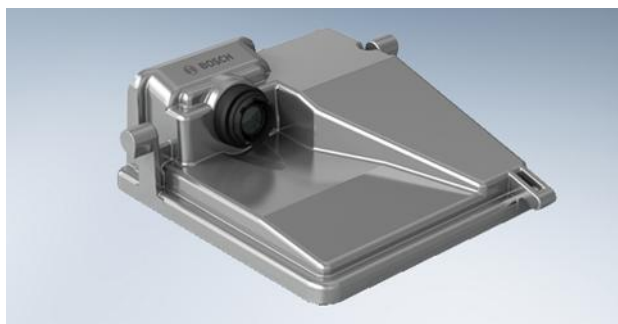
4.3. Kamera

A projekt kapcsán használt, a Bosch által biztosított szenzor a kamera. A jelenlegi részben általános működési elvek, koordináta rendszerek és az adott szenzorról, lényeges információk lesznek leírva.

A legtöbb kamera fekete-fehér képek detektálásával és feldolgozásával dolgozik. A beolvasott képekből többféle eljárás szerint szerzi meg a különböző információkat.

Közúti jelzőablák detektálására többféle módszert találunk a szakirodalomban. Ezek különféle algoritmusok segítségével végzik el az út menti objektumok felismerését. Egyik módszer a színszegmentálás. Ez a módszer a fények különböző hullámhosszú visszaverődésén alapszik. A kapott érték nem változik a fény beesési szögétől és a fény

erősségétől. Gyakorlati esetben teljesen ez nincs mindig így, mert a színértékek bizonyos esetekben változhatnak. Ez a módszer a táblák egy jellemző színére keres rá.



33. ábra Bosch Multi Purpose Camera

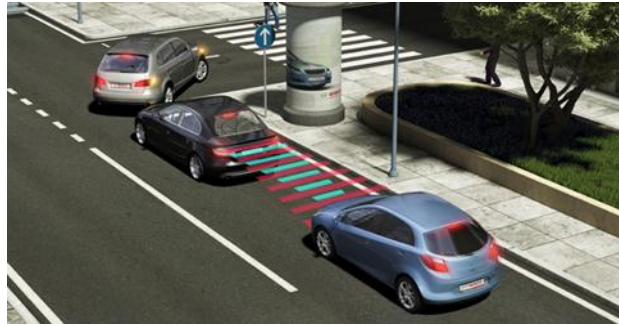
A módszer egy bizonyos színre keres rá és ezt a színt kiemeli a többit elszűríti. Egy másik módszer az élek detektálása. Ez a módszer éleket keres, majd ha végez ezzel, a szabványos alakzatokat ismeri fel. Az élek szűrésére robusztus jól alkalmazható módszert biztosít a Canny éldetektáló szűrő. Ez a különböző kontrasztú területeket keresi, majd oda élt húzva kiemeli a környezetből. Megbízhatóbb megoldás, mint a színek szegmentálása, mert nem függ az időjárástól. Ez a két módszer és ezek kombinációi már elég jól beazonosítható táblaképeket hoznak létre. Egy következő módszer a kamerákkal a táblák detektálására az eltérő pixelek alapján történik. A kamera minden 4. pixele a piros szín detektálására szolgál. Piros színnel a KRESZ-ben a figyelmeztető és korlátozó táblák rendelkeznek. Ezek a táblák kijelzése a műszerfalra biztonsági okokból is fontos. Egy esetleges tábláról való lemaradás esetén is a sofőr könnyedén informálódhat az esetleges tilalmakról. A kamerák a sáv detektálását a különböző kontrasztú felületek határának meghatározásával működik. Nem történik minden egyes pixelsorban sáv meghatározás, mert ebben az esetben túl sok információ feldolgozása lenne szükséges. Az életbeli tapasztalatok alapján elegendő minden 6. sor pixel értelmezése és ezek alapján a pálya meghatározása.



34. ábra Sáv detektálás

Az utolsó módszert amit megemlítünk az a vonalak detektálása. A módszer legegyszerűbb módszere az egyenes vonalak detektálása. Ez a módszer Hough transzformációt alkalmazza. Természetesen ezzel a módszerrel nem csak egyenesek, hanem bonyolultabb alakzatok érzékelése is megoldható. A fenti módszerek segítségével (esetleg kombinációjával) a közlekedési táblák észlelhetők, vagy akár fel is ismerhetők.

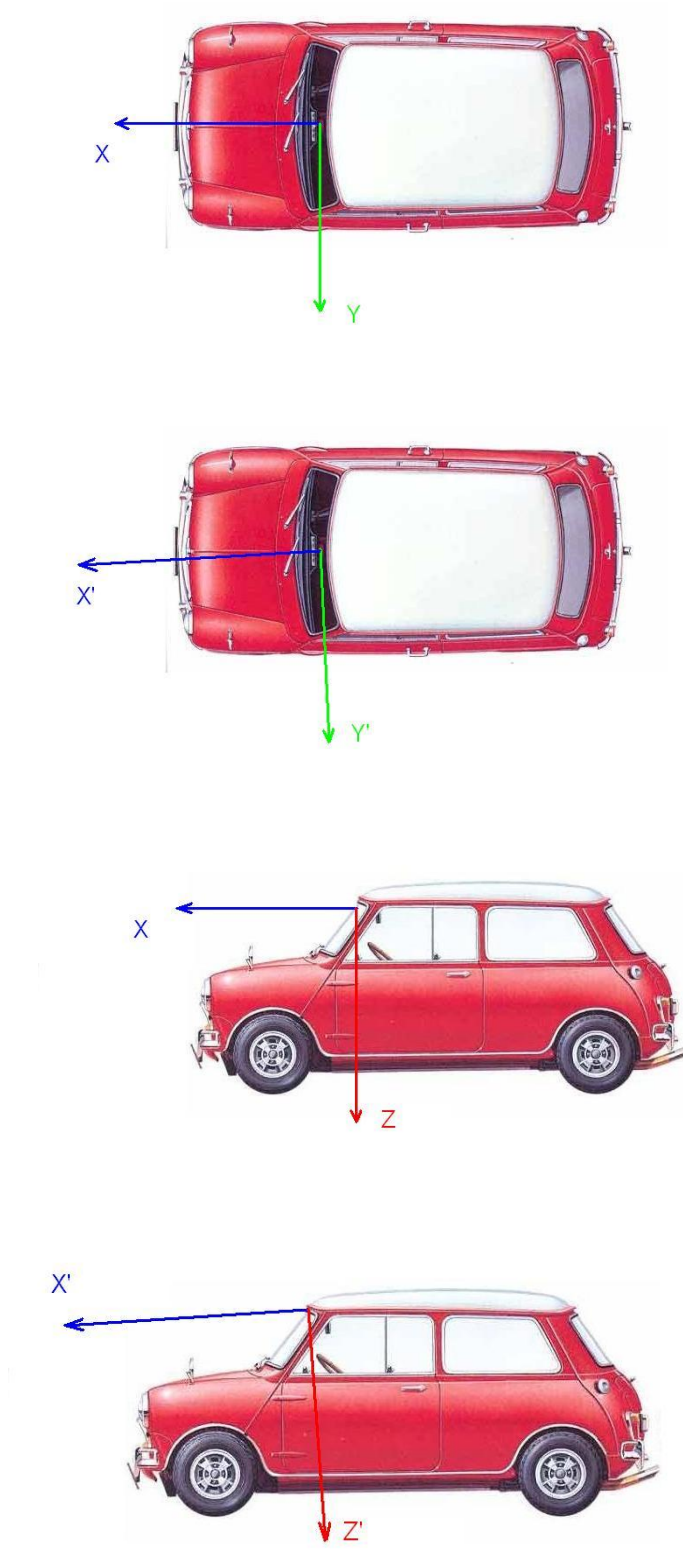
A projekt során a Bosch Multi Purpose Camera-t használjuk. A Multi Purpose kamera (MPC) egy skálázható, videó alapú vezetést segítő alkalmazásokat nyújtó eszköz. A modern optikai rendszer középpontjában a magas dinamikus tartományú CMOS érzékelő található. Az analóg-digitális átalakító alakítja át a kép fényének intenzitását és a színét elektromos jellé. Ezt a jelet a további feldolgozásra egy FPGA, majd egy nagy teljesítményű mikroprocesszor kapja meg, ami integrálódott a kameraházba. Ez az integrált megközelítés nem igényel külön vezérlőegységet. Ez a kamera olyan kényelmi és biztonsági alkalmazásokat működtet, mint a sávelhagyás figyelmeztető és a sávtartó automatika, intelligens fényszóró vezérlés, objektum felismerés és ellenőrzés támogatása és javítása.



35. ábra Adaptive Cruise Control

A radar-alapú funkciói, mint Adaptive Cruise Control (ACC) és a prediktív vészfékező rendszer, ami előzetes ütközés-figyelmeztetés..

A kamera alapú jelfeldolgozás során nagyon fontos még megemlíteni a kamerához köthető koordináta rendszert, amiben a kamera megadja a megfigyelt objektumok, sávok elhelyezkedését. Az érzékelő jobbsodrású koordinátarendszert használ. A kamera a szélvédő mögött helyezkedik el, ami nem csak azt jelenti, hogy a gépjármű közúton való haladása során a jármű mozgásából adódóan a szenzor nincs mindig ideális szögben az útviszonyokhoz viszonyítva. Természetesen ezekre az útviszonyok által generált sztochasztikus hibákra nem lehet felkészülni, viszont a kamera megfelelő elhelyezésével hatásuk kiküszöbölhető. Még egy jellemző hiba, ami a koordináta rendszertől való eltérést, és ezzel időnként téves mérési eredmények érkezéséhez vezető ok a szerelési pontatlanság. Ha a kamera nem a megfelelő pozícióban kerül beépítésre a saját környezetében, akkor a koordináta rendszerek térben elfordulnak ez által megtévesztő információk jutnak a rendszerbe. Ennek kiküszöbölésére szolgál a beépítés után elvégzett kalibráció.



36. ábra Koordináta rendszerek és hibái

4.4. Egyéb szenzorok

4.4.1. Változó mágneses ellenállás érzékelő

Általában valamilyen forgó egység szögsebességének mérésére szolgál. A mérés a levegő és fém mágneses reluktanciájának különbségén alapul. A forgó alkatrész kerületére szerelt fém lamellák a mozgás során periódikusan áthaladnak egy állandó mágnesből és vasmagból álló mágneses kör légrésén, így váltakozó mágneses teret hoznak létre a körben. A vasmagra tekercselt vezetékben a tekercselésen áthaladó mágnes fluxus változásával arányos feszültség indukálódik, amit mérünk. Jelet tehát a lamella légrésbe való be- és kimozgásakor kapunk, alakja szinusz jellegű.

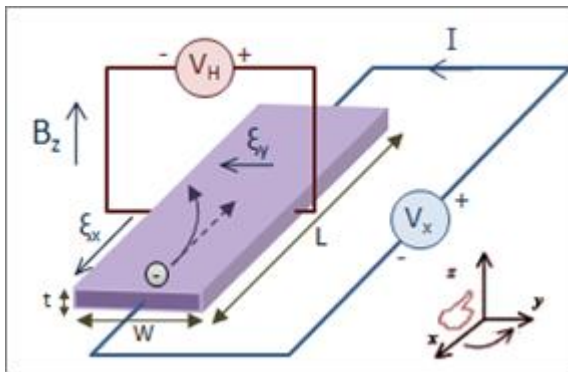
Egyik felhasználási területe forgattyús tengely szöghelyzetének mérése. A felső holtpont beazonosíthatóságát úgy érik el, hogy egy lamellát kihagynak mintázatból, és a hozzá tartozó hiányzó elektromos jelet detektálják.

Kerék szögsebességének mérésére szintén használatos ez az érzékelő. ABS szabályozásnak részét képezi a kerék szögsebességének mérése, és annak egy minimális érték fölött tartása.

Ennek az érzékelőnek a jel generálásához nincs szüksége dedikált energiaforrásra, az energiát a forgómozgásból veszi.

4.4.2. Hall-effektuson alapuló érzékelő

Az érzékelő a Hall-effektust használja ki, amely a következő. Egy áramjárta vezetőt az



37. ábra Hall-effektus (forrás: Wikipedia)

áramiránnyal nem párhuzamos mágneses térbe helyezzük. A töltésekre ható Lorentz-erő az elmozdulni képes elektronok felgyülemlését okozza az egyik oldalon, míg a másik oldalon pozitív többlettöltés lesz, így elektromos térerősséget, Hall-feszültséget hoznak létre az áramirányra merőlegesen (38.

ábra).

A Hall-effektuson alapuló érzékelő a mágneses tér megváltozását a Hall-feszültség mérésre vezeti vissza.

A mérés menete hasonlít az előzőekben tárgyalthoz. Egy mozgó alkatrész periódikusan leárnyékolja a Hall-effektusban szerepet játszó mágneses teret, így feszültség-ingadozást okoz. A kimeneti feszültség jellegét tekintve lehet

- lineáris: a mágneses térrel egyenes arányban változik,
- unipoláris: elegendően nagy mágneses tér jelenlétében logikai 1 kimenetet ad,
- bipoláris: a mágneses tér polarizációját figyelembe véve ad logikai 0 vagy 1 jelet.

4.4.3 Optikai szenzor

Egy fototranzisztorból és fényforrásból álló érzékelő. Az érzékelés a fotoelektromos hatáson alapul: fény hatására elektronok lépnek ki a vezetőlévekből. A fényforrásból érkező sugárzás eléri a fototranzisztor bázisát, ennek hatására az nyit. A fény útjának megszakításával elektromos jelet lehet létrehozni. Az érzékelő feszültségforrást igényel. Felhasználhatósága hasonló az előző két szenzortípushoz.

4.4.4. Piezoelektromos szenzor

A piezoelektromos hatáson alapuló eszközök azt a jelenséget használják fel, hogy bizonyos anyagokban nyomás hatására feszültség keletkezik, és fordítva is: feszültség hatására alakot változtatnak. A legismertebb ilyen tulajdonságú anyag a kvarc, amelynek segítségével pontos órajelet adó oszcillátort állítanak elő.

Tipikus felhasználási területe a motor gyújtásvezérléshez kapcsolódik. Ha az előgyújtás túl korai, a dugattyú és az égésfront találkozása nagy igénybevételnek teszi ki a dugattyút, és nemkívánatos rezgések, hangok keletkeznek. Hasonló a helyzet, ha az üzemanyag keverék égése valamilyen oknál fogva több pontban indul meg. Az égésfrontok találkozása szintén nem kívánatos rezgéseket és igénybevételt okoz.

Ennek megfelelően a piezoelektromos szenzort a motorblokkba szerelik, és pontosan beállítják, hogy a megfelelő rezgéstartományban legyen érzékeny. A piezokristályban feszültséggé alakult mechanikus rezgéseket vezetékeken továbbítják a feldolgozó egységhez, ami az előgyűjtást ennek megfelelően szabályozza.

Piezoelektromos szenzor felhasználható (saját) gyorsulásmérésre is, mivel a gyorsulás a kristályra kifejtett erőhatással jár együtt.

4.4.5. Termisztor

A termisztor hőmérsékletmérésre használjuk. A mérés azon a félvezető anyagtulajdonságon alapul, hogy az ellenállás a hőmérséklet növekedésével csökken. Az összefüggés jól definiált, így a termisztoron átfolyó áram mérésével megkaphatjuk a hőmérsékletét.

4.4.6. Szöghelyzet jeladó

Megkülönböztetünk relatív és abszolút szöghelyzet jeladót, attól függően, hogy a szögváltozást vagy az állásszöget mérjük a detektorral.

Az abszolút jeladó áramtalanítás után is megtartja a helyzetét és újra áram alá helyezve képes a szöghelyzet jel továbbítására, nem szükséges egy kalibrációs ponton áthaladnia.

A relatív jeladó a szögváltozásokat integrálja. Áramtalanításkor újratekinti a számlálást, vagy egy referencia ponthoz tér vissza.

Abszolút szöghelyzet jeladó típusok

- Mechanikus: minden szöghelyzetben érintkezőknek egy egyedi kombinációja kerül kapcsolatba egymással, így minden helyzetnek egyedi bináris kód felel meg.
- Optikai: az elforduló lemezen koncentrikus gyűrűk mentén bevágások találhatóak, amiken keresztül fény jut a detektorokba. Minden szöghelyzetnek egyedi réskombináció felel meg. Létezik analóg megvalósítás is, ez esetben az elforduló tárcsa kapacitása tartalmazza a szöghelyzet információt.

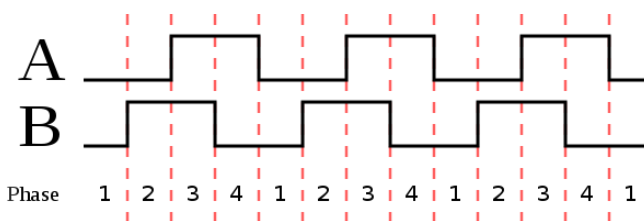
- Mágneses: az optikaihoz hasonló résmintázattal rendelkezik az elforduló tárcsa. A mintázattal kódolt szöghelyzetet mágneses ellenállás vagy Hall-feszültség mérésen alapuló érzékelő továbbítja a kiértékelő egység felé.
- Kapacitív: kondenzátor fegyverzetei között egy aszimmetrikus tárcsa fordul el, ami egyre nagyobb mértékben hatol be közéjük, így változtatva a kapacitást. A szöghelyzet meghatározása így kapacitás mérésre vezethető vissza.
- Induktív vagy transzformátor elven működő: egy bemenő oldali tekercsből és két, egymással ellentétes fázisban összekötött kimenő oldali tekercsből áll. A két oldal között a csatolást egy tengely forgatása változtatja meg. Ha a kimenő oldali tekercseken egyforma nagyságú fluxus halad át, akkor nem kapunk feszültséget. A tengely elforgatásával a szimmetria megszűnik, és a szögelfordulással arányos váltakozó feszültséget mérhetünk. Az átfogott szögtartomány korlátozott, kb. 90°.

Relatív szöghelyzet jeladó típusok

Relatív szöghelyzet jeladó lehet mechanikai vagy optikai működésű. Mindkettőre jellemző, hogy jelet csak forgómozgás hatására adnak ki.

- Mechanikus: elterjedten használják digitális potenciométerekben, pl. hangerő szabályozás céljára. Korlátozott fordulatszámokon használhatók.
- Optikai: magasabb fordulatszámokon és nagyobb pontossággal működnek.

A relatív szöghelyzet jeladók két, egymáshoz képest 90 fokkal eltolt érzékelővel figyelik a forgó tárcsa mintázatát. A mintázat alapján két jelsorozat adódik, 90 fokos fáziseltéréssel (39. ábra). A két sorozat logikai jelszintjeiben



38. ábra Relatív szöghelyzet detektor jelsorozata.
Negatív forgásirány (forrás: Wikipedia)

bekövetkező átmenetektől elvileg egyértelműen meghatározható a forgás iránya (1. táblázat). Határozatlanság akkor léphet fel, ha a tárcsa túl gyorsan forog, így két mintavételezés között egy állapot kimarad. Három állapot kimaradása pedig látszólag fordított forgásirányt eredményez.

1. táblázat Relatív szöghelyzet jeladó forgásirány kódtáblája

Pozitív forgásirány			Negatív forgásirány		
Fázis	A	B	Fázis	A	B
1	1	0	1	0	0
2	1	1	2	0	1
3	0	1	3	1	1
4	0	0	4	1	0

4.4.7. Gyorsulásmérő

Gyorsulásmérő szenzorokkal sajátgyorsulást lehet mérni. A koordinátagyorsulástól való megkülönböztetés azért fontos, mert szabadeséskor egy testnek nulla a sajátgyorsulása, gravitációs térben, nyugvó helyzetben viszont nem. Általában a földfelszínhez viszonyított koordinátagyorsulásra vagyunk kíváncsiak, így a nyugvó detektor által érzékelt, gravitáció okozta felfelé mutató gyorsulást ki kell transzformálni a mérés során.

A gyorsulásmérés történhet piezoelektromos, piezorezisztív és kapacitív eszközökkel. Ezek közül a piezoelektromos szenzorok az olcsóbbak, kisebbek és a legszélesebb hőmérséklettartományban használhatóak. A piezorezisztív szenzorok nagyobb lökésekkel is képesek elviselni. A kapacitív gyorsulásmérők kis frekvenciatartományban pontosabbak.

Nem csak lineáris, hanem forgómozgásból származó centrifugális gyorsulás is mérhető ezekkel az eszközökkel.

Léteznek mikro elektro-mechanikus gyorsulásmérők (micro electro-mechanical systems, MEMS), amelyekben egy kis tömeggel terhelt, befogott tartó mozdul el gyorsulás hatására. Az elmozdulás érzékelésének módjai:

- rugalmas alakváltozás hatására az anyag piezoellenállásának mérése

- az elmozdulás miatt kondenzátor fegyverzetei között létrejött kapacitásváltozás mérése.

Egy MEMS eszközzel egy dimenzióban tudunk gyorsulást mérni. Három, egymásra merőlegesen elhelyezett szenzorral a tér mindhárom irányában érzékelhetünk.

4.4.8. Giroszkóp

Giroszkóppal térbeli orientációt lehet érzékelni. A működési elv azon a Foucault-ingánál is megfigyelhető jelenségen alapul, hogy lengő test mozgása során megőrzi a lengési síkját. A forgó rendszerben fellépő Coriolis-erő okozta tehetetlenségi hullámokat használják fel az elfordulás mérésére.

Giroszkóp típusok

- Hemiszférikus rezonátor giroszkóp [6]: egy félgömb alakú, vékony falú, fémbevonatos kvarcrezonátorból áll. A félgömb pereme mellett meghajtó és érzékelő elektródák helyezkednek el. A meghajtó elektródák olyan elektrosztatikus gerjesztést adnak, hogy a rezonátor a sajátfrekvenciáján rezegjen. Ez a rezgés olyan, mint egy harang, vagy borospohár szájának alaphfrekvenciás rezgése. A szerkezet elfordulásának hatására a rezonáló félgömb peremének rezgési mintázata megváltozik, a Coriolis-hatás értelmében a külső forgással ellenkező irányba fordul el.
- Hangvilla giroszkóp: rezgő tömegek forgás hatására kitérnek a rezgési síkból. Ennek a kitérésnek a méréséből határozható meg az elfordulás sebessége.

5. Szenzorfüziós módszerek

A környezetről való részletesebb és pontosabb kép érdekében szükséges több mérés vagy több érzékelő adatainak együttes felhasználása. Adatok fúziója esetleg nagy számítási kapacitást igényelhet, cserében több előnyös tulajdonság felsorolható:

- **Megbízhatóság:** több érzékelő adataira támaszkodva, a megvalósított redundancia fokától függően egy vagy több szenzor meghibásodása mellett még működőképes maradhat a rendszer.

- **Pontosság:** a beérkezett adatokat valamilyen algoritmus szerint összegezve (Kálmán-szűrés, súlyozás szórásnégyzet szerint) nagyobb pontosságot érhetünk el.
- **Lefedettségi:** az eseménytér térben és időben lefedettebbé, az információ áramlása folytonosabbá válik.
- **Feldolgozhatóság:** az adatok értelmezésének és döntések meghozatalának könnyítését eredményezi, ha a beérkező információt kezelhető alakra hozzuk.
- **Költséghatékonyság:** a teljes szenzorozottságnál olcsóbb megoldás szenzorfüzió alkalmazása, továbbá több, kevés paramétert vizsgáló érzékelő kevesebbe kerül, mint a teljes lefedést biztosító mérőeszközök.

Szenzorok együttműködés az alábbi felosztás szerint csoportosítható:

- **Kiegészítő:** a különböző szenzorok ugyanazon jelenséget egymást nem lefedő méréstartományban vagy más jellemzők alapján vizsgálják. A szenzorok egymás feladatát nem képesek kiváltani.
- **Kompetitív:** a szenzorok legalább részben ugyanabban a méréstartományban mérnek. A mérési hibákból eredő bizonytalanság csökkenthető így.
- **Kooperatív:** a szükséges információt egyetlen szenzor sem képes magában szolgáltatni, a szenzorok mérési eredményeiből valamilyen algoritmussal állítjuk elő a kívánt adatokat.

Az alábbiakban felsorolunk néhány példát szenzorfüzióval megvalósítható érzékelésekre.

1. Járműérzékelés és követés optikai és hang szenzorokkal [3]: fényviszonyokhoz alkalmazkodó robusztus megvalósítás. Közelre, 10 m-en belül a hangdetektor, ennél távolabbra az optikai érzékelőt használja. Ez egy egymást segítő, kiegészítő szenzorkonfigurációt alkalmazó megoldás.
2. Jármű és szalagkorlát érzékelés radarral és optikai szenzorral [4]: radar adatok alapján meghatározzák a látómező releváns részeit. Járművek képekről történő azonosítása főleg vertikális szimmetria vizsgálatával történik.
3. Jármű detektálás és követés hang és videó szenzorral [5]: különböző nyalábképzési módszerekkel nyert akusztikus adatok alapján egy becslést

állítanak fel az érzékelt objektum mozgásának irányáról. Ennek az előzetes becslésnek a segítségével az optikai képen kijelölhető a mozgó objektum hozzávetőleges helye, ami mozgó célpont kereső algoritmussal pontosítható.

4. Három dimenziós jármű érzékelés lézer szkennel és kamera felhasználásával [6]: a lézer szkennel megbecsüli a jármű távolságát és kontúrját. A célpont oldalai kontúradatok alapján lesznek felismerhetők és koordináta-rendszerben elhelyezhetők. A koordinátáknak a kamera érzékelő rendszerébe történő áttanszformálása után megalkotható lesz a detektált jármű három dimenziós képe. Mivel a lézeres érzékelés erősen leszűkíti a kamera által vizsgálandó objektumokat, az eljárás valós időben kivitelezhető. Ez a módszer szenzorok kooperatív működésére példa.

6. Összefoglalás

Dolgozatunk elkészítése során a projektben használandó szenzorok működési elvét és a hozzájuk kapcsolódó szükséges információk begyűjtése volt a feladatunk. A rendelkezésre álló idő mellett a jelenlegi állapotot tükrözik a leírtak. Természetesen rengeteg továbbfejlesztési lehetőség rejlik még a dolgozatunkban. A használt szenzorok további tanulmányozása és élesben való tesztelése, amit a következő lépésként tűztünk ki magunknak.

A leírtakban megtalálható az eszközök felépítése, működésük technológiai dokumentációja és az esetleges együtt működésük található. A jövőben a tesztelés mellett a szenzorok együttes működésének megoldása és összehangolása is a célunk.

Reméljük a jövőben továbbfejlesztési céljaink megvalósulnak, amelyről ismét beszámolhatunk.

7. Irodalomjegyzék

- 1, S. Pullambhatla, „RADAR- Basics, Types & Applications,” <http://www.elprocus.com/radar-basics-types-and-applications/>.
- 2, Simone Montanari, „Fabrication and characterization of planar Gunn diodes for Monolithic Microwave Integrated Circuits,” PhD disszertáció, ISG1 of Forschungszentrum Jülich, Németország, 2005.
- 3, SamYong Kim, „Front and rear vehicle detection and tracking in the day and night times using vision and sonar sensor fusion,” in *Intelligent Robots and Systems*, 2005 IEEE/RSJ International Conference, 2173-2178, 2005.
- 4, G. Alessandretti, „Vehicle and Guard Rail Detection Using Radar and Vision Data Fusion,” *Intelligent Transportation Systems*, 8,1:95-105, 2007.
- 5, R.Chellappa, „Vehicle detection and tracking using acoustic and video sensors,” *Acoustics, Speech, and Signal Processing*, 2004 Proceedings, 3:793-6, 2004.
- 6, S. Wender, „3D vehicle detection using a laser scanner and a video camera,” *Intelligent Transport Systems*, 2,2:105-112, 2008.
- 7, P. Pai, „MEMS-based hemispherical resonator gyroscopes,” *Sensors*, 1-4, 2012.
- 8, David K. Barton-Sergey A. Leonov, „Radar technology Encyclopedia”, Artech House, 1998
- 9, Merrill Skolnik, „Radar Handbook”, McGraw Hill, 1990
- 10, Vadim Issakov, „Microwave Circuits for 24 GHz Automotive Radar in Silicon-based Technologies”, Springer, 2010
- 11, Allan W. M. Bonnick, „Automotive Computer Controlled Systems”, Routledge, 2001
- 12, Péter T. , Bécsi T. , Aradi Sz. „Útmenti objektumok GPS és videó alapú felmérése”
- 13, BOSCH Szenzor leírások

1. ábra Járműoszlopban haladó tehergépjárművek	4
2. ábra Platoon control elméleti vázolata	5
3. ábra Google autonóm járműve	6
4. ábra Lidar látképe	7
5. ábra Éjjellátó kamera képe	8
6. ábra Magától parkoló autó	9
7. ábra Fedélzeti kamera	10
8. ábra Ultrahang szenzor	10
9. ábra Alapok	11
10. ábra Hangimpulzusok visszaverődése	13
11. ábra Ultrahangszenzor egyszerűsített ábra	14
12. ábra Különböző kristály kialakítások	14
13. ábra Jel kibocsátás és fogadás	15
14. ábra Különböző felületek	16
15. ábra Parkolás két autó közé	18
16. ábra Tipikus városi parkolási probléma: a párhuzamos parkolás	19
18. ábra Szenzorok elhelyezése, illetve rendszer architektúrája	20
19. ábra A szenzor alapinformációi	21
20. ábra A Bosch által kifejlesztett ultrahang szenzor	22
21. ábra Szenzor felépítése	22
22. ábra Pozicionálás	23
23. ábra A szenzor horizontális és vertikális látószöge	23
24. ábra Magasság és elhelyezési szög	24
25. ábra Az elhelyezési magasság vertikális szög szerinti függvénye	25
26. ábra Összeszerelés robbantott ábrája	26
27. ábra A szenzor jelei	27
28. ábra PSM mód a gyakorlatban	27
29. ábra Kommunikáció megvalósítása	28
30. ábra Bistatikus CW-radar blokkdiagramja (forrás: Wikipedia)	30
31. ábra Monostatikus impulzusüzemű Doppler-radar blokkdiagramja [1]	30
32. ábra Atmoszférikus csillapítás. A járművekben használatos Autonomous Cruise Control (ACC) a W sávban található 77 GHz-es frekvenciát használja. [2]	33
33. ábra Frekvencia modulált hullámforma (forrás: http://www.st-andrews.ac.uk/~mmwave)	35
34. ábra Bosch Multi Purpose Camera	40
35. ábra Sáv detektálás	41
36. ábra Adaptive Cruise Control	42
37. ábra Koordináta rendszerek és hibái	43
38. ábra Hall-effektus (forrás: Wikipedia)	44
39. ábra Relatív szöghelyzet detektor jelsorozata. Negatív forgásirány (forrás: Wikipedia)	47