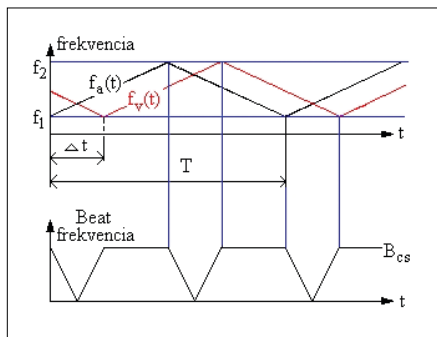


Az autók radar/ladar és videó alapú biztonsági rendszerei

2. rész

2. Frekvenciamodulált folytonos hullámú lézer

A lézeres akadályfelismerők másik típusa a frekvenciamodulált folytonos hullámú (FMCW) lézeres rendszer. Ekkor folyamatosan változó frekvenciájú jelet sugároznak ki. Ennek és a visszavert jelnek beméréséből adódik egy ún. lebegési frekvencia, amelynek pontos mérésével megadható a távolság. Ezt chirpnek nevezzük és egy állandó frekvenciájú szinuszból és egy fűrész- vagy háromszögjelből állítjuk elő, vagyis a frekvenciamodulált jel frekvenciája a háromszög- vagy fűrészjel meredeksé-



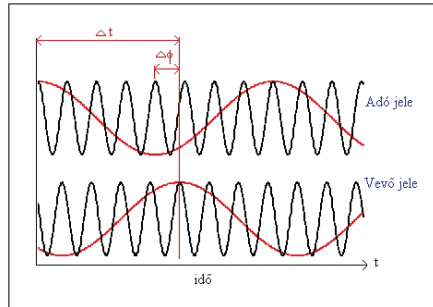
11. ábra

gének függvényében változik. A lebegési (üttetési vagy beat) frekvencia pedig a kisugárzott és visszavert jel közötti frekvenciakülönbségeként jön létre (Doppler-elv). A leírtakat a 11. ábra mutatja. Az ábrán a $f_a(t)$ az adási frekvencia, az $f_v(t)$ a vételi frekvencia a B_{cs} a beat frekvencia csúcstértékét, T a fűrészjel periódusidejét és Δt a kisugárzás és a visszaverődés közti időkülönbséget jelenti. A célpont távolsága a következő módon számítható:

$$d = c \cdot \frac{\Delta t}{2} = c \cdot B_{cs} \frac{T}{4\Delta f}$$

Van néhány tényező, amit figyelembe kell venni, amikor az FMCW lézerradar rendszerparamétereit meghatározzuk. Az elméletileg mérhető maximális távolság:

$$d_M = c \frac{T}{4}$$



12. ábra

Ekkor a B csak egyetlen időpillanatban mérhető. Figyelembe kell azt is venni, hogy a lézerradar maximális távolságát a vevő érzékenysége és a zaj szintje erősen befolyásolja, ezért az elméletileg mérhető maximális távolságtól. A rendszerrel mérhető legrövidebb távolság:

$$d_m = \frac{c}{4\Delta f}$$

3. Amplitúdómodulált folytonos hullámú (AMCW) radar

Az AMCW ladarok úgy működnek, hogy a kisugárzott lézereznek amplitúdóját adott frekvenciájú szinuszzel modulálják (12. ábra). A visszavert jel Δt idővel később érkezik a vevőre, ezért arányos fáziseltolódás mérhető. A mért távolság arányos a fázissal és az eltérés pontatlansága 2π teljes periódus esetén:

$$d = \Phi \frac{\Delta R}{2\pi}$$

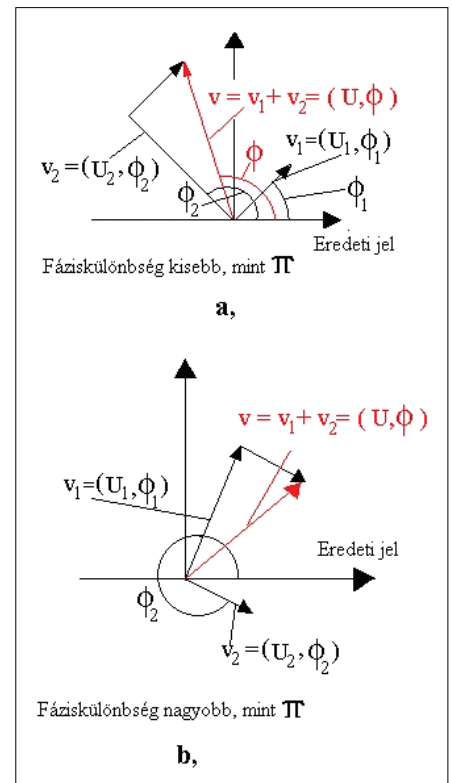
ahol: Φ a fáziseltérés és ΔR a kétértékű távolságkülönbség. Ez utóbbinak matematikai magyarázata kissé bonyolult, ezért itt nem tárgyaljuk.

4. Ladar (lidar) letapogatási problémái

4.1. Kevert pixelek

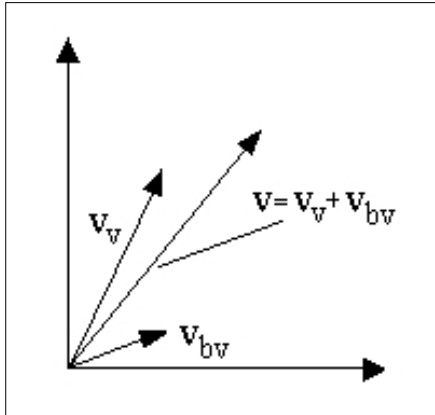
Ekkor a visszavert jel kettő vagy több felületről verődik vissza. Ha a felületek között (pl. autó felületének pontjai) szignifikáns (azt mutatja meg, hogy a mért távolság milyen mértékben véletlenszerű) távolság

van, akkor a kevert pixelek jelentősebb távolságból (néhányszor 10 vagy 100 m) azt eredményezhetik, hogy rögzített távolságoknál egyik felületen sem, vagy valahol valamely két szakasz között, vagy ami még ennél is rosszabb az egyik mögött, illetve előtt jelentkeznek. Az AMCW ladarok ez a sajátos problémája nem küszöbölhető ki teljesen. A kevert pixelek magyarázatára szolgál a 13. ábra. A 13. ábrán látható, amikor a lézerradar pont felületet tartalmaz, ami azt jelenti, hogy a



13. ábra

fáziskülönbség kisebb π -nél, ami azonos azzal az esettel, amikor a távolságkülönbség kisebb, mint $\Delta R/2$. A két felületet szimbolizáló vektort összegezve egy jeltartományt, illetve annak megfelelő amplitúdót és fázist kapunk, valahol a két egyedi komponens által definiált fázistartomány között. (Ez elmosódott pixelt jelent.) A 13. b ábra azt az esetet mutatja,

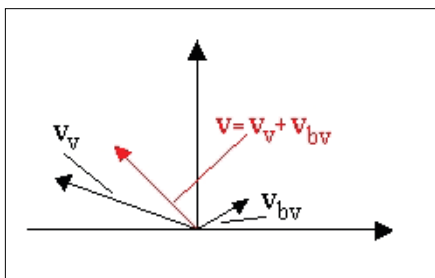


14. ábra

amikor a lézer pont két felületet ölel fel, de nagyobb a fáziskülönbség π -nél. Ekkor a távolságkülönbség nagyobb, mint $\Delta R/2$. Az eredő érték fázisa nagyobb és kisebb is lehet, mint az egyedülálló jelek fázisstartománya. Amikor a kevert pixelek megismétlődnek, akkor ezek általában külön pixelekként jelentkeznek, így a kép átlagszűrésével eltávolíthatók, anélkül, hogy nagyobb információvesztést kapnánk.

4.2. Visszaverődési áthallás

Ideális esetben a lidarnak ugyanolyan távolságot kellene mérni két egyenlő távolságban lévő gépjárműnél. A valóságban azonban az ún. áthallási jelenség miatt nem így van. Az áthallás olyan jelenség, amely a jelek visszaverődése által a jelek intenzitására hatva befolyásolja a mért távolságot. Hasonló jelenséget okozhatnak az érzékelőoptikák a belső visszaverődésük által. Ez a jelenség az optikai áthallás. Pl.: az optikánál a védelem céljából alkalmazott plexi vagy üveg okozhat ilyen problémát. A 14. ábra szemlélteti a belső visszaverődés hatását. A v_{bv} ábrázolja a belső visszaverődésből származó jel amplitúdóját és fázisát a v_v pedig a visszavert jelre vonatkozó ugyanezen paramétereket. Az eredő v jel nagyobb amplitúdóval ren-

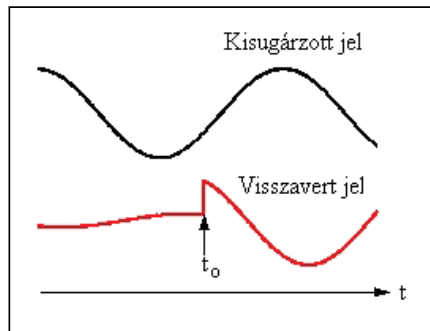


15. ábra

delkezik, mint a tényleges visszavert jel. A 15. ábrán ennek éppen az ellenkezője látható. Itt ugyanis az eredő kisebb, mint a vett jel.

4.3. Időbeli keverés

Ez az állapot akkor következik be, ha a lézersugár a mintavételezésen belül egyik felületről egy másik felületre mozdul el. Ez az eset különösen a világosabb és sötétebb felületek élei mentén lehet lényeg. Amikor a lézer elmozdul a sötétebb felületről egy világosabb felületre, a vett jel amplitúdójában egy ugrás



16. ábra

áll elő a 16. ábra szerint, ami komoly fázishibákhoz vezethet, így sávhibákhoz. Az ábra szerint, amikor az AMCW lézer sötét felületről egy világos felülethez ér (t_0 pillanat), akkor a lézersugár átugrik egy kisebb visszaverő tényezővel rendelkező felületről egy teljes visszaverő tényezővel (100%) rendelkező felületre. Ez a jelenség az amplitúdóban ugrást eredményez, ami viszont hamis fáziskülönbség-méréshez vezet, így rossz sávértéket szolgáltatathat.

4.4. Foton zaj

Két fő zajtípus létezik, ami különböző mértékben - véletlenszerűen - adódik hozzá a vevőkre jutó jelhez, így az nehezen értelmezhetővé válik. Egyik a foton zaj, ami napfényben jelentős lehet, ami elnyomja a nagyobb távolságokból (30...50 m) visszavert jeleket, így a képminőség is romlik.

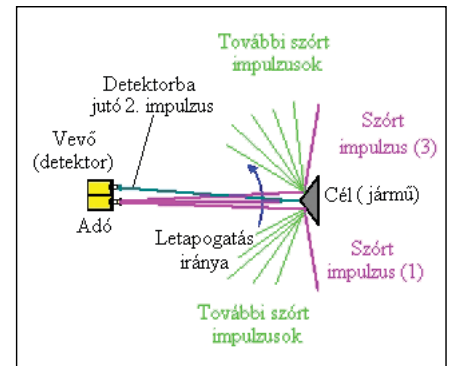
4.5. A hőmérséklet hatása

A hőmérséklet sokféle módon befolyásolja a lézer működését. Legfontosabb hatása a lézerrezonátor méretváltozásában mutatkozik meg, ami viszont frekvenciaváltozást okoz, ez pedig intenzitáscsökkenést. A frekvenciaváltozás sávcsúszást okoz. Az intenzitásváltozás eredménye, hogy előfordulhat, amikor

egy sötét akadály megjelenhet, mint egy út és egy világos út foltja pedig akadálnak tűnhet. Ez az oka annak, hogy problémát jelent olyan akadályok kimutatása, amelyek nem verik vissza a lézersugarat. Ilyen pl. az aszfalt, amelyeknél a pixelintenzitások értéke közel van a nullához. Ez hosszú sávban jelentkezik, ami megkülönböztethetetlenül teszi az egyéb sötét tárgyakat. Ez nem érvényes rövid sávnál vagy megnövelt lézerenergia esetén. Ekkor az út és sötét akadályok pixeljei elkülöníthetők.

4.6. Egyéb jelenségek

A lézer visszaverődése olyan tényezők függvénye, mint a jármű (cél) távolsága, a beesési szöge, a visszaverő képessége, a felület fényessége és érdessége stb. Vannak akadályok, amelyek fényvisszaverő képessége lényegesen alacsonyabb, mint a háttér, ami különböző látószögekből is hasonlóan néz ki. Az ilyen jellegű felületeket különböző akadályészlelő módszerekkel kell detektálni. Vizsgáljuk meg a pont és vonalszerű tárgyak



17. ábra

érzékelését a 17. ábra alapján. Látható, hogy a detektorba csak a 2. sz. impulzus érkezik vissza, az 1. és 3. nem, aminek az a következménye, hogy a jármű látószög mérete a valóságosnál kisebb, esetleg sokkal kisebb lesz.

5. Biztonsági követelmények számítása

A szükséges előrelátási távolság egy akadályérzékelő rendszer esetében az a távolság, amit a jármű az érzékeléshez szükséges idő alatt tesz meg, feldolgoz, akadályt észlel, fékez plusz még a féktávolság, vagyis:

$$d_0 = v_0 (t_e + t_a + t_m) + \frac{v_0^2}{2} \cdot a$$

ahol: d_0 = előre látni kívánt távolság
 v_0 = jármű sebessége a fékezés megkezdésének pillanatában (m/s)

t_e = érzékelési idő (s)
 t_a = adatfeldolgozási idő (s)
 t_m = a megállásig eltelt idő (s)
 a = fékezési lassulás (m/s²)

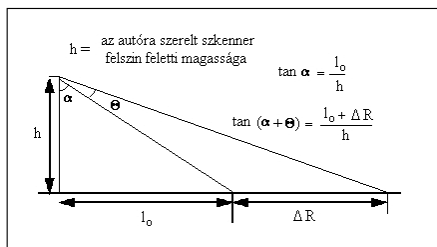
Ahhoz, hogy az akadályfelismerő rendszer képes legyen garantálni a biztonságot, képesnek kell lenni a terep megvizsgálására legalább olyan gyorsan, mint ahogyan az a mozgás során változik. Ennek biztosítása csak akkor lehetséges, ha $a_k < 1$ feltétel teljesül. Az a_k számítása a következő:

$$a_k = v \frac{t_c}{\Delta R}$$

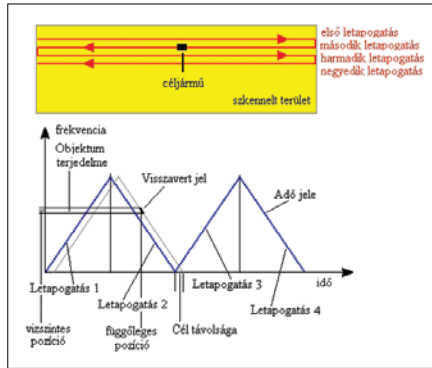
ahol: v = jármű sebessége (m/sec)

t_c = ciklusidő (sec)

ΔR = a vizsgált pixelek összetevője, ami a vízszintes síkban vizsgált ciklus algoritmus. A különböző paraméterek számítása a 18. ábrán követhető végig. Tárgyalni kell még a terep-mintavételezési tényezőről. Ez definíciószerűen az a_k reciproka: $1/a_k$. Ennek értéke a korábbi feltételek szerint nagyobb 1-nél, így ez jelentősen növelheti a biztonságot. Az a_k az útviszonyokból számítható, ahol a szkennel fel-le pásztazza a jármű előtti pályát. A pásztázás egy gyakran alkalmazott módszere, hogy változtatják a frekvenciát két szélső érték között minden letapogatási sorban a 19.



18. ábra



19. ábra

ábra szerint. Az ábrán a visszavert jel az időtengely mentén a tárgy függőleges méretét mutatja, a frekvencia tengelye pedig a vízszintes méretét. A kisugárzott és visszavert jel közötti időkülönbség a jármű távolságát mutatja, de a jel amplitúdójából is lehet következtetni, hogy a céltárgy messze van-e vagy közel. Végül a képek összehasonlításával megállapítható az akadály mozgási sebessége.

Felhasznált irodalom:

1. Skolnik, M: Introduction to Radar Systems - McGraw Hill Text. 2000.
2. Detlefsen J: Radartechnik - Springer-Verlag, 1989.
3. R, Mende: Radarsysteme zur automatischen Abstandsregelung in Automobilen - Dissertation. 1999.
4. Stove, A. G: Linear FMCW Radar Techniques - IEE Proceedinds-F. 1992 No. 5.
5. H. Rohling: Some Radar Topics. Waveform Design Range CFAR and Target Recognition 2005.
6. Levanon, N.: Detection loss due to interfering targets in ordered statistic CFAR - IEEE Transactions on AES. 11/1988

7. Di Vito, A. - Galati, G. - Mura, R.: Analysis and comparison of two order statistic CFAR system - IEE Proceedings 4/1994
8. Levanon, N. - Shor, M.: Order statistic CFAR for Weibull background - IEE Proceedings. 6/1990.
9. Blake, S. OS - CFAR theory for multiple targets and nonuniform clutter - IEEE Transactions on AES. 11/1988.
10. D. Oprisan and H. Rohling: Tracking system for Automotive Radar Networks - IEE Radar 2002.
11. <http://it7.elte.hu/html/jelfel/node32.htm> [1]
12. <http://it7.elte.hu/html/jelfel/node32.htm> [1]
13. Florian Fölster: Erfassung ausgedehnter Objekte durch ein Automobil - Radar - Dissertation. 2006.
14. F. X. Hofele, CELL Averaging Statistic Hofele (CASH) CFAR Impulshöhenanalyse (IHA) und Pulskompressions- - Nebenzipfel - Maske (PNM, Report of Daimler Benz Aerospace AG, Ulm February 11, 1997.
15. Richard, V. G. - Dillard, G. M.: Adaptive Detection Algorithms for Multiple Target Situations, IEEE Transactions on AES, 1977.
16. Barkat, M. - Himonas, S. D. - Varshney, P. K.: CFAR detection for multiple target situations - IEE Proceedings, 136, 5(10/1989)
17. www.smartmicro.de
18. www.volkswagen.de
19. Some Theory behind Obstacle Detection. 2007.
20. Thomas Kluge: Laser scanner for Automotive Applications 2006.

DR. OLÁH FERENC

OKL. VILLAMOSMÉRNÖK, OKL. LOKÁTOR SZAKMÉRNÖK

Az Eszkimó Hűtéstechnikai Szakiskola
JÁRMŰKLÍMA-SZERELŐ
 tanfolyamot szervez, az AOE szakmai védnökségével
 nyilvántartási szám: CSMMK 06-0135-06

A következő tanfolyam október 6-án indul.
 A tanfolyam helyszíne: Budapest
 A jelentkezéseket érkezési sorrendbe tudjuk elfogadni!
 Bővebb felvilágosítást a
www.eszkimo.hu honlapon,
 vagy Marton Károlytól kérhetnek a
06-20/510-6000-es telefonszámon
 illetve az **info@eszkimo.hu** címen.

ESZKIMÓ MAGYARORSZÁG KFT.