

Ultrahang-radar

Előzetes megjegyzések

A mérés teljesen új, az eddigiektől technikailag kicsit eltérő, és a szerző által nem megítélhető a nehézsége. A mérés első néhány hetében számítottunk a mérést végző hallgató kreativitására és nyitottságára ami segít a mérés részleteinek későbbi kidolgozásához.

Bevezetés

Hanghullámok terjedése levegőben. (hullámegyenlet és alap megoldása, hangsebesség, ultrahang, hullamcsomag fogalma).

A radar működésének alapelvei

A radart, mint ismeretes, a második világháború alatt fejlesztették ki. A radar alapelve, hogy egy erős, jól definiált, időben lehetőleg rövid impulzust kibocsátunk, majd a visszaverődött jelet mérjük: a radar parabolatükrének irányából az irányt, a visszaverődési időből a távolságot tudjuk meghatározni.

A fenti egyszerű elv technikailag több problémába ütközik. Mivel a jel ugyanonnan jön, amerre kibocsátottuk, az adó- és vevőberendezés pontosan ugyanarra kell nézzen. Legelegánsabb, ha fizikailag ugyanaz a parabolatükr ad és vesz. Ekkor viszont, mivel egy fókuszpontja van, ugyanazon fizikai eszköz kell kibocsásson (hangszóró) mint vegyen (mikrofon). A mikrofon kis jelét érzékeny erősítő fogja mérhető nagyságúra erősíteni: az érzékeny erősítő ekkor meg kell kapja az adás nagy erejű impulzusait is.

A mi esetünkben ez nem jelent gondot, a berendezés egyszerű tranzisztoros erősítője meghibásodás nélkül túlvezérelhető (néhány ezerszeresen). Mikrohullámú professzionális radarokban a kibocsátott jel és a mérni kívánt jel amplitúdó-aránya a több milliót is elérheti (a millivoltos mérendő visszavert jelet erősítő eszköz el kell viseljen több ezer voltos kibocsátott impulzust), ami technikailag komoly kihívás.

A távolságmérés pontosságát elsősorban a kibocsátott impulzus hossza határozza meg. A mi esetünkben (oszilloszkóppal látható) egy kb. 20 periódusból álló hullámcsomagot bocsát ki a rendszer, azaz a hullámcsomag hossza $20 \cdot c / 40\text{kHz}$, kb. 17 cm. Ennek fele lesz a távolságmérés pontossága (hiszen az időt oda-vissza mérjük, azaz az időskálát kétszeresére húzzuk szét).

A szögmérés pontosságát a hullámoptikából ismert Fraunhofer-diffrakcióval becsülhetjük, ami annak felel meg, mintha a hullám egy olyan felületű korongról indulna, mint amekkora a parabolatükr. A számítások eredménye (ld. például Dr. Cserti József jegyzete http://complex.elte.hu/~cserti/okt/O_SpR-3.pdf) az, hogy a szögfelbontás körülbelül $1.22 \lambda / D$, ahol D a tükr átmérője, λ a hullámhossz (8.5 mm). A fent említett számítás abból indul ki, hogy a korong felülete egyenletes erősséggel sugároz: ekkor eredményül azt kapjuk, hogy az 1. Bessel függvényt tartalmazza a megfelelő formula. A mi esetünkben ez nem teljesül pontosan, hiszen a hangszóró nem minden irányban, elsősorban csak előre sugároz. A szög függvényében ezúttal jó közelítés a Gauss-függvény.

Érdekes kérdés a fentiek mellett, hogy egy adott objektum milyen erősséggel ver vissza. Várható például, hogy minél kisebb, annál gyengébben. Vannak viszont esetek, mikor szándékosan növelni vagy csökkenteni szeretnénk a visszaverőképeséget: az elsőre példa a vízi navigációban használt radartükr a bólyákon (amivel jól látható lesz a kis méretű bólya a radarképen, ld. Optika jegyzet), utóbbira a lopakodó repülőgép.

Fontos elv, hogy ha az objektum mérete jóval nagyobb, mint a hullámhossz, akkor minden sík felület „tükörként” viselkedik, azaz közelítőleg a geometriai optika szabályait követi. Eszerint ha egy felület a radarhullámokra nem merőleges, akkor nagyon rosszul ver vissza a radar irányába (egy határozott más irányba ver), ha merőleges, akkor nagyon jól. A saroktükör, azaz két egymásra merőleges tükör két visszaverődés után mindig pontosan a sugárzás irányába ver vissza (macskaszem elve), ezért a radartükröket így készítik. A lopakodó repülő sík felületei azt a célt szolgálják, hogy „rossz” irányba tükrözzék a radarhullámokat (amellett, hogy elnyelő anyagból készítik a burkolatot). Átmenetet képeznek az „érdes” felületek, melyek minden irányban visszaverhetnek (a fény a falról így verődik vissza), feltéve hogy az érdesség durvább mint a hullámhossz.

Jelen mérés szempontjából a fentiek azért érdekesek, mert ha radarképet készítünk a teljes laborszobáról, akkor a sarkok és a merőleges falfelületek lesznek jó visszaverők, minden egyéb gyengén ver vissza. Érdekes „szellemképek” alakulhatnak ki, ha egy nem merőleges falfelületről rossz irányba vert hullám egy sarokból visszaverődik az eredeti falfelületre, majd onnan a radarba; ekkor a megett teljes útnak megfelelő helyen kapunk erős visszhangjelet.

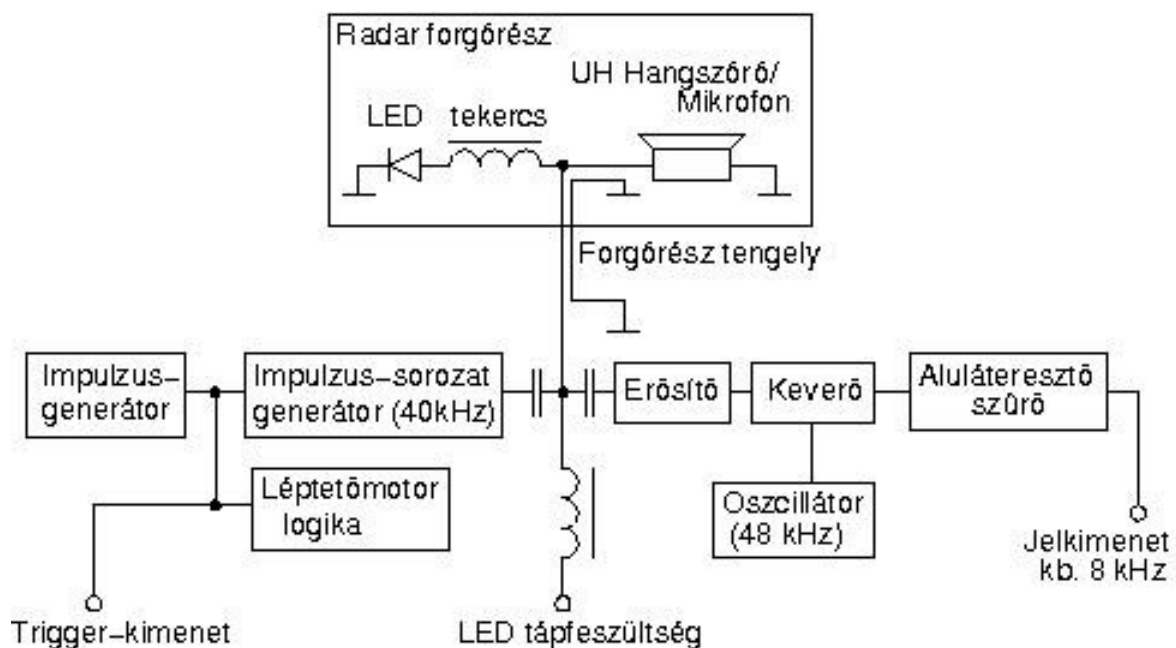
A mérési összeállítás mechanikai része

A radar hangszóró/mikrofon és a tükör egy közös forgó állványra van szerelve. Az állvány elektronikusan csúszó érintkezőkkel érintkezik (csak kettővel). Ezen jön-megy a jel, illetve innen kap az irányzék LED is tápellátást. Ha ez utóbbit bekapcsoljuk, akkor forgás közben zajos lesz a jel!

Az állványt pontosan kell vízszintezni, amit a lábak beállításával oldhatunk meg. El kell érni, hogy az irányfény magassága a falon minden irányban ugyanakkora legyen, mint a radar magassága.

A forgást léptetőmotor biztosítja. Mehet folyamatosan is, illetve lehet egyenként is léptetni (csak egy irányban). Ha szükséges a léptetőmotort kézzel vissza lehet forgatni (ne a radart, hanem a léptetőmotort! A radar jó közelítéssel **400 lépésben ér körbe**).

A mérési összeállítás elektronikai része



Adatfelvétel a mérőberendezéssel

A berendezés közvetlenül köthető (sztereó!) mikrofon, vagy hangkártya Line-In bemenetére. A hangot különböző programokkal vehetjük fel, Windows alatt ajánlott egyszerűbb feladatokra a Cooledit. Linux alatt speciális programot használunk.

(Jelen verzióban nem kiforrott a kérdés, a mérés során nyert tapasztalatok alapján alakul ki a végső adatfelvételi rendszer).

Adatfeldolgozás

Az adatfeldolgozás szintén több módon történhet, elsősorban a Linuxos rendszer működik (majd) elegendően rugalmasan; a Windows rendszerrel viszont egyszerűbb a közvetlen megjelenítés.

A mérés kiértékelése

A nulladik feladat elsősorban azt szolgálja, hogy megértsük a rendszer alapvető működését. Oszcilloszkóppal könnyen leolvashatjuk a trigger és a visszahangjel időkülönbségét.

Az első feladatban pontos kalibrációt igyekszünk végezni. Ehhez több jól visszaverő irányban megmérjük a visszavert jel idejét. Mivel a kibocsátott radarjelek gyakran jönnek, elég a másodperc töredékének megfelelő ideig mérni (kb. 0.2 másodperc elég, tehát a felvétel megnyomása után rögtön leállítjuk a felvételt). Jól látható, hogy az egyik csatornán a trigger, másikon a mikrofon jele érkezik. A kettő időkülönbségét leolvashatjuk Sample number egységekben (ekkor egy pont 1/44.1 milliszekundum). A mérést négy-öt pontban végezzük, ezek között legyen egészen közeli is: tartsunk jól definált távolságban egy sík visszaverő felületet. A távolságokat a laborvezetőktől kért mérőszalag segítségével mérjük.

A szögfelbontást úgy mérhetjük, hogy egy szórócentrumot a radar elforgatásával „letapogatva” a visszavert amplitúdót mérjük a szög függvényében. Az amplitudómérés nehézkes, de nem is kell pontosan mérni (20-30%-os hiba bőven megengedhető). A mérést úgy elegáns elvégezni, hogy a radart a szórócentrumtól elfordítjuk, majd a motor léptetési lehetőségével a radart szépen „végigszkenneljük”. Az kapott pontokra illeszthetünk a legegyszerűbb esetben Gauss-függvényt (de meg lehet próbálkozni az 1. Bessel függvény eredeti képletben szereplő kombinációjával is, mely gnuplot-ban $\text{besj1}(x)$ –ként kérhető le.)

A harmadik feladat a jelet mint hullámcsomagot vizsgálja. A hullámcsomag spektruma jól definiált maximummal rendelkezik, és a maximumtól távolodva a spektrum csökken. A Fourier-transzformáció után leolvashatjuk a maximum helyét, illetve a sávszélességet: ez annak a két pontnak a távolsága, ahol a jel 3 decibellel alacsonyabb, mint a maximumban.

A negyedik feladathoz szükséges az adatfeldolgozó program működtetése; amíg ez nem indul be tökéletesen, a helyben kiadott (remélhetőleg helyben mért) körkép értelmezése lesz a feladat. Nyilván a szoba sarkait, beugróit (mint saroktükröket) illetve a merőleges visszaverő falakat azonosíthatjuk. Feladat az adott képre rárajzolni minél pontosabban a szoba alaprajzát.

Az ötödik feladatban speciális szórócentrumokat vizsgálunk: szerencsés, ha a labormérést végző hallgató is megpróbál készíteni ilyet, és megmérni a visszaverőképességet.

Mérési feladatok

0. Kalibráció oszcilloszkóppal: hangsebesség közelítő meghatározása. Vizsgálja a visszavert jeleket

oszilloszkópon! Mérje meg, hogy mennyi idő telik el a triggerjel és a visszavert jel között. Feltéve, hogy a rendszer késleltetése elhanyagolható, határozza meg a mért idő és a visszaverő felület távolságából a hangsebességet!

1. Kalibráció pontosan: hangfelvétel segítségével. A radart állítsa egy-egy adott, jól visszaverő irányba! Hangkártyával vegyen fel kb. fél másodpercnyi jelet (Cooledit program Windows alatt, 44.1 kHz). A jelen keresse meg a visszhang helyét! Mérje meg, a hogy visszhang mennyi idővel később jön, mint a triggerjel eleje (Sample number értékben érdemes, az időt mutató mezőben jobb egérgomb).

2. Szögfelbontás (szkóppal vagy hangfelvétellel) Egy jól visszaverő irányban mérje meg a szögfelbontást: a léptetőmotor egyes lépéseinél (egyenként léptetve) mérje a visszavert jel amplitúdóját, nyilván a maximumot elegendően átfogó tartományban. A mérés nem kell, hogy nagyon pontos legyen, elegendő 20-30% hibával leolvasni az amplitúdót (a leolvasás nehézkes is, mert a jel állandóan változik a keverőjel fázisától függően; érdemes megnézni, hogy az aktuális pontban sok visszaverődés közül mekkora a jel legnagyobb értéke). A mért értékekre illesszen Gauss-függvényt.

3. A jel vizsgálata. A Cooledit programban jelölje ki a visszavert jel tartományát (elejétől végéig), és végezze el a Fourier transzformációját. A jellegzetes „hullámcsomag” Fourier-spektruma maximummal rendelkezik, a maximum körül lecsökken. Mekkora frekvenciánál van a maximum, és mekkora a jel sávszélessége?

4. Körben felvett adatsor, a kapott kép értelmezése, visszaverő pontok magyarázata (ha kell kiadott ábrán).

5. Speciális szórócentrumok visszaverőképességének vizsgálata, relatív visszaverőképesség adott távolságból: gömb, sík (0 és 45 fok), saroktükr, lopakodó, érdes felület. Mérje meg három kiválasztott visszaverő objektum relatív visszaverőképességét közelítőleg (20-30% hibával). Egynek tekintse a 90 fokban álló síkfelületet (maximális visszaverőképesség). Az esetleges (nem túl nagy) távolságkülönbségre a távolságarány négyzetével korrigálhat.