

# Mozgásérzékelés a gyakorlatban

WaveEye radarszenzorcsalád a New Japan Radio Corporationtól

**A világítástechnikai, valamint az ajtó- és sorompóvezérlő rendszerek tervezői kompakt, intelligens és energiatakarékos megoldások létrehozására törekcsenek, melyet általában mozgásérzékelős kapcsolás vezérlés integrálásával biztosítanak.**

Manapság erre a feladatra a passzív infra (PIR)-technológia terjedt el a legjobban, ami tökéletesen alkalmas az emberi test nagy amplitúdójú mozgásának érzékelésére, azonban nem képes például irodában ülő és nyugalomban dolgozó vagy otthon tévéző ember érzékelésére. A radarszenzor az egyik olyan eszköz, ami a PIR-technológia említett hiányosságait kiküszöböli, alkalmas kis mozgások, mint a gépelés, a beszéd, vagy akár a légzés érzékelésére is. A kereskedelemben kapható K-sávós radarantennához nagyfrekvenciás analóg elektronika és digitális jelfeldolgozó áramkörök illesztésére volt szükség, azonban ma már elérhetők olyan modulok, melyekkel a fenti feladatok megoldása egyszerű és olcsó, így kiválóan alkalmazhatók jelenlét-érzékelésre, mozgásérzékelésre vagy akár távolságmérésre is.

## Radarszenzorok

A radarszenzorok az emberi test kis mozgásaira is érzékenyek, és intelligens rendszerek érzékelőiként ki tudják küszöbölni a passzív infratechnológia ismert hiányosságait. Azonban ahhoz, hogy érdemes legyen PIR-szenzort kiváltani mikrohullámú eszközzel, annak olcsónak, kompaktnak, kis méretűnek és kis fogyasztásúnak kell lennie. Korábban a radarrendszerek meglehetősen drága és nagy méretű alkotóelemekből, például nehéz hullámvezetőkölkből és drága Gunn-diódákölkből épültek fel, mely nehézkessé – esetenként lehetetlenné – tette a technológia hétköznapi használatát. Ma a planártechnológia elterjedésével robusztus, költség-hatékony és kis méretű szenzorok készíthetők.

## Működési elv

A radarmodulok rádiófrekvenciás elektromágneses hullámokat bocsátanak ki, ezek frekvenciája a 18 ... 27 GHz-es, úgynevezett K-Band sávba esik. A K-Band egy része a 24 ... 24.250 GHz-es tartomány, az ISM (Industrial, Science and Medical / Ipari, Tudományos és Orvosi) sáv, mely majdnem mindenhol a világon szabadon használható, itt működnek az ismert radarszenzorok is. A radarsugárzás a szilárd tárgyakról visszaverődik, és ez a reflexió adja az érzékelés lehetőségét. A radarvevőmodul által detektált visszavert sugárzás nagysága nemcsak a tárgy távolságától, hanem annak anyagától és méretétől is függ. A fémfelületek általában nagyon jó radarcéltárgyak, de az emberi test is tökéletesen detektálható a nagy  $\epsilon_r$ -érték miatt, melyet a jelen lévő nagy mennyiségű víz okoz. Az emberi test a legkisebb kapható modulokkal is már kb. 10 méterről jól érzékelhető. A műanyagok nagy része a radarsugarak számára láthatatlan, ezért kiválóan burkolhatók velük a modulok a környezet káros hatásai ellen való védekezés során, míg például a PIR-modulok esetén Fresnel lencsék és kültéri házak használatára van szükség.

A tárgyalt radarszenzorok működési alapelve a Doppler-effektus, melynek segítségével bizonyos távolságra lévő tárgyak sebessége mérhető. A radar által kibocsátott elektromágneses hullám a mozgó tárgyról visszaverődve eltérő frekvenciával érkezik a vevőre, ennek a különbségnek a detektálásával a tárgy radarhoz képesti radiális sebességkomponensének direkt és nagy pontosságú mérésére van lehetőség. A Doppler-effektus lényege az, hogy a kibocsátott és a visszaverődő (érezelt) frekvencia különbsége a megfigyelő és a kibocsátó egymáshoz képesti sebességével arányos. A radarszenzorok esetén általában a kibocsátó és az érzékelő is áll, viszont a visszaverő objektum az, ami mozog és okozza a Doppler-effektust. A Doppler radar tehát objektumok mozgásának detektálására és azok sebességének mérésére használható. A visszaverő tárgy a szenzor hatókörébe érve annak kimenetén alacsony frekvenciájú szinuszhullámot generál, melynek frekvenciája arányos az objektum sebességével.

A frekvenciatranszformáció az alábbi képlettel írható le:

$$F_{\text{visszavert}} = F_{\text{kibocsátott}} (1+v/c) / (1-v/c)$$

Ahol  $v$  az objektum sebessége,  $c$  a fénysebesség (az elektromágneses sugarak haladási sebessége). A Doppler-frekvencia számítása a következőképpen történik:

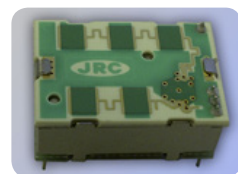
$$F_d = F_{\text{visszavert}} - F_{\text{kibocsátott}} = 2vF_{\text{kibocsátott}}/c,$$

tehát arányos a mozgó objektum sebességével. Az amplitúdó a mozgó tárgy távolságától és annak visszaverő képességétől függ.

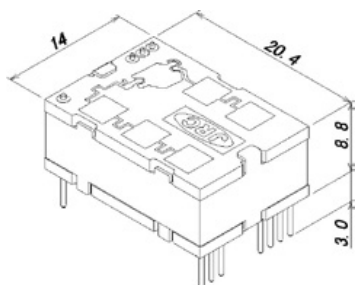
A sebesség pontos mérhetősege sokszor nagyon hasznos, és az általunk kínált RfBeam mikrohullámú radarszenzorok erre alkalmasak még nagyobb sebességek esetén is. Ha azonban az ember jelenlétének érzékelése a feladat, elég a maximum 1 m/s (3,6 km/h) sebességgel mozgó test detektálhatósága, viszont kis, olcsó és egyszerűen használható szenzor szükséges.

## WaveEye K-Band Doppler szenzor az NJRC-től

Míg a hagyományos mikrohullámú szenzorok köré bonyolult áramkörök építése szükséges ahhoz, hogy például intelligens világítástechnikai berendezések vezérlésére lehessen használni őket, addig léteznek egyszerűbb, teljesen integrált, Doppler-technológián alapuló 24 GHz-es mikrohullámú mozgásérzékelő modulok is. Egy ilyen eszköz a cikkben bemutatott NJR4265 modul a New Japan Radio Corporationtól (NJRC), melyben

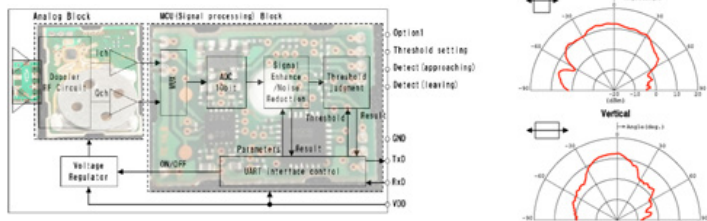


az antenna, az RF áramkör, az erősítők, szűrők, feszültség-szabályozók és a digitális áramkör is egy 14×20,4×8,8 mm méretű tokban együtt kerültek elhelyezésre.



Az NJR4265 J1 kis sebességű közeli tárgy, például egy járókelő detektálására alkalmazható. A mozgó tárgy biztonságos érzékelését a beágyazott szoftver segítségével valósították meg a tervezők, ez a program felel a véletlen mozgások és a szomszédos szenzorok áthallásának kiküszöböléséről, valamint a mozgás irányának (közeledés vagy távolodás) meghatározásáról is. Az eszközre jellemző még az alacsony működési feszültség (3,3–5 V) és a kis fogyasztás is, érzékelés közben az áramfelvétel 60 mA, míg nyugalmi állapotban mindössze 4 mA.

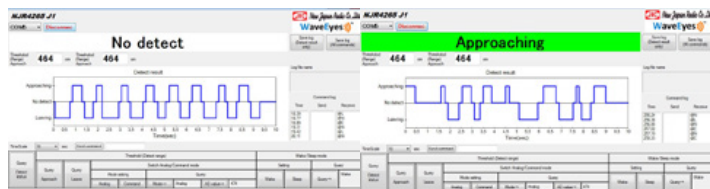
A blokkdiagramon látszik, hogy a patch antenna és az RF áramkörök az analóg szűrőkkel és a jelfeldolgozó áramkörrel egybeépülnek.



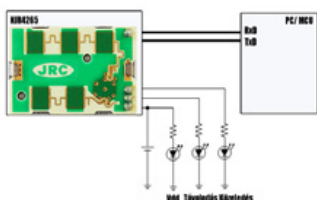
A sugárzási ábrán látszik, hogy mind tangenciális, mind vertikális irányban képes mozgást érzékelni a modul, ezzel lényegesen előnyösebb a használata a PIR-technológiával szemben.

Az érzékelés maximális távolsága 10 m, ±35°-os szögben, és a mozgó tárgy sebessége 0,25–1 m/s között lehet. Ezeket az adatokat az ábrán látható elrendezésben mérték.

A modul kipróbálásához az NJR kifejlesztett egy próbapanelt, ami szintén rendelhető, ez a kit felel az UART-USB interfész átalakításért, és teszi lehetővé az eszköz PC-hez való egyszerű csatlakoztatását. A mellékelt szoftver a bemutatott képernyőfotók szerint alkalmas a mozgás irányának kijelzésére is.

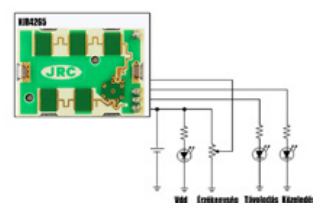


A modul alkalmazható MCU/PC-vel való együttműködésre, ez esetben az érzékenység beállítása a processzor feladata.



Amennyiben a modult önállóan kívánjuk használni, az ábrán bemutatott elrendezésben az érzékenység egy potenciométerrel lehetséges.

Mindkét esetben használhatunk a kijelző LED-ek helyett egy-egy vezérlő áramkört, ami a kívánt beavatkozást a rendszer számára biztosítja (pl. lámpa bekapcsolása közeledéskor, illetve kikapcsolása távolodáskor)



### Felhasználási terület

Mivel az NJR4265 kicsi, nincs szükség külső elemekre (pl. Fresnel lencse), és működése mikrohullámú radartechnológián alapul, könnyedén beépíthető a vezérelni kívánt rendszer, például utcalámpa házába. Az elfogadható árszint és a könnyű használhatóság ideális kiváltójává teszi a problémás PIR-alapú mozgásérzékelő rendszereknek, vagy azok kiegészíthetők vele. Az alkalmazhatósága nagyon sokrétű, kiváló automatikusan nyíló ajtók, vagy energiatakarékosági megfontolásból használt automatikus világításkapcsolók, automatikusan kikapcsolódó klímák, tv-képernyők, vagy számítástechnikai berendezések mozgásérzékelőjeként. Készíthető vele légzés- vagy szívverésdetektor is. A mikrohullámú Doppler-technológia biztosította sebességmérés révén speciális sportalkalmazásokban is hasznos lehet, egy megvalósított felhasználás például a golfütők lendítési sebességének mérése.

### Alkalmazási példa

Egy demonstrációs célú alkalmazást mutatott be az Endrich GmbH a budapesti Industry Days kiállításon az NJR4265 modul felhasználásával. Célunk az volt, hogy az érdeklődők közeledését és távolodását különböző színű LED-fénnyel jelezzük. Ha valaki a standunkon a radarszenzor felé haladt, akkor a falon lévő táblán felszerelt RGB LED szalagon zöld színű fény, míg távolodáskor piros színű fény gyulladt ki. Ehhez egyszerű kapcsolást használtunk, nem volt szükség a modul digitális jeleinek feldolgozására, mindössze a távolodás és közeledés detektálására szolgáló analóg kimeneteket használtuk fel, azokat két változtatható fényerejű Lumotech LED meghajtó 1–10 V-os dimmelő bemenetéhez kötve.



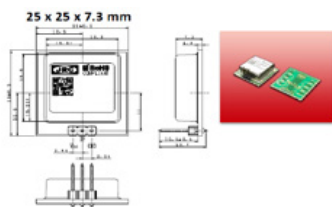
### ovábbi fejlesztések az NJRC-nél

Az NJRC kétportos NJ4262 és az egyportos NJR4269 integrált radar antennás moduljai kifejezetten világítás-kapcsoláshoz lettek kifejlesztve. Előtérben az alacsony fogyasztás (impulzus ciklusos táplálás), alacsony feszültség és olcsó kivitel.

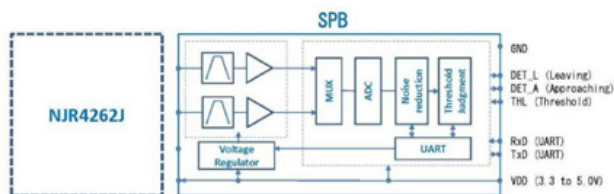
Áramfogyasztása 50% kitöltési tényező mellett (impulzusos táplálás – duty: 5 µs impulzusszélesség, 1 ms ciklusidő):

$$3\text{ V} \times 30\text{ mA} \times 0,5\% = 0,45\text{ mW (450 }\mu\text{W)}$$

Létezik 5 V és 3,3 V-os tápfeszültségű változatokban, és az EU-ban használatos 24,05 GHz ... 24,25 GHz frekvenciatartományban működik.



Az NJ4262 modul blokkdiagramja az alábbi ábrán látható:

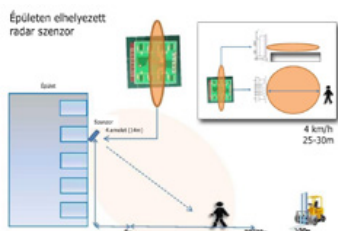


A szenzor horizontálisan felszerelve alkalmas egy 4 km/h sebességgel közeledő gyalogos detektálására kb. 30 m távolságból. Az ábra szerinti elhelyezésben egy épület negyedik emeletére, kb. 14 méter magasra szerelt szenzor esetén az épulettől számított 8 méteren belül az érzékelés bizonytalan. Ha nem gyalogos, hanem például egy jármű (pl. villás targonca) közeledését szeretnénk érzékelni, az NJR4262 0–30 m-ig képes erre, mert ekkor a felületi reflexió sokkal nagyobb mértékű.

A fent említett Doppler modulok tematikus alkalmazási területei a következők lehetnek:

**NJR4269 (1 portos):**

- Mozgó tárgyak észlelése, mozgáskapcsoló



**NJR4262 (2 portos):**

- Mozgó tárgyak észlelése, szétválasztva a közeledés és távolodás esetét
- Szívdobogás- és légzésfrekvencia mérés
- Világításkapcsolás ember, jármű érkezése esetén

**NJR4265 (és a fejlesztés alatt álló továbbfejlesztett NJ4266):**

- Elsősorban emberi mozgás érzékelése
- Automatak, légkondicionáló berendezés, LCD tv-készülék és LED-világítás kapcsolása emberi jelenlét esetén

**FMCW radarmodulok**

Jelenleg a radarok többféle modulációs technológiával készülnek, a CW (continuous wave – folyamatos hullám), a frekvenciamodulált (FM) radarok és ezek kombinációi (FMCW) terjedtek el a gyakorlatban. A CW Doppler radar csak sebességadat szolgáltatására képes a folyamatosan kibocsátott és a visszaverődő frekvencia különbségének mérésével. A korai megoldások szinte mind CW-technológiával készültek, ezeket követte hamarosan a frekvenciamodulált CW radarok (FMCW) megjelenése, mely a kibocsátott frekvencia fűrészzel történő modulálásának segítségével mozgó és álló objektumok távolságának meghatározására is alkalmas. Az FMCW frekvenciamodulált hordozója lineárisan változik fűrészzel történő moduláció okán (l. ábra). A transceiver kimenetén

jelentkező alacsony frekvencia a kibocsátott és a visszavert modulált frekvencia különbségeként keletkezik. A legtöbb szenzor analóg FM-bemenettel is rendelkezik, és néhány esetben a moduláció digitális vezérléssel is biztosítható. A K-Band (24 GHz) eszközök megengedhető legmagasabb modulációs frekvenciája 250 MHz, de a hőmérséklet-változás hatásait és a tolerancia kérdését is figyelembe véve ez az érték általában 150 MHz-re korlátozódik, így a felbontás (és a minimális távolság) kb. 1 méter.

Az FMCW alkalmazható jelenlét-detektálásra is úgy, hogy betanítjuk a rendszert az üres háttér környezetben, majd az új céltárgy megjelenésével a kimenet eltér a betanított és rögzített értéktől, azaz a változás (jelenlét) érzékelése megtörténik. Az NJRC FMCW radar kínálatában szereplő modulok közül az első generációt az NJR4231D képviseli, ami 100 m hatótávolságú FMCW radar. A továbbfejlesztett változat a már többszörös módú NJR4233D1/D2, ahol választhatunk FMCW, FSK és Doppler üzemmódok között. Ezek a radarok 30–50 m hatótávolsággal rendelkeznek, kis méretűek és könnyűek:

- (D1) 39 g / 63 × 45 × 16 mm
- (D2) 200 g / 120 × 100 × 20 mm

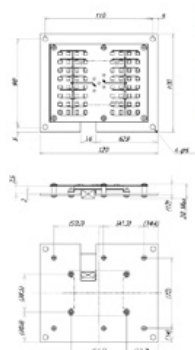
Az NJR4233 alkalmazható kültéri ipari applikációkban is, és FMCW módban mérhető vele álló objektum távolsága is. FSK Doppler üzemmódban mozgó tárgy sebessége és távolsága is mérhető vele, míg Doppler radar üzemmódban mozgó tárgy sebessége érzékelhető.

**A 30 m hatótávolságú változat:**

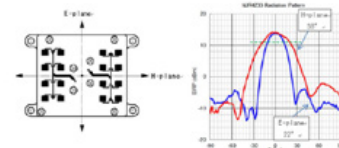


**Az 50 m hatótávolságú változat:**

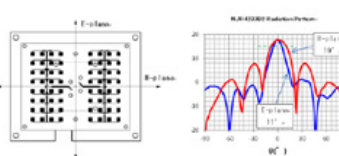
**■ 50m NJR4233D2  
120 x 100 x 20 mm**



**■ Antenna elrendezés  
NJR4233D1 (szélessávú antenna model)**



**NJR4233D2 (keskenysávú antenna model)**



Ezekkel a modulokkal lehet a különböző infrastruktúra-monitorozási feladatokat ellátni, mint például autópálya-fizetőkapuk működtetése, parkolófoglaltság-jelző rendszerek kivitelezése vagy ipari targoncák és gépek biztonságos távolságtartása. Léteznek speciális felhasználási területek is, mint például quad-drón fel- és leszálló rendszereinek támogatása vagy ütközéselkerülési funkciók integrálása.

