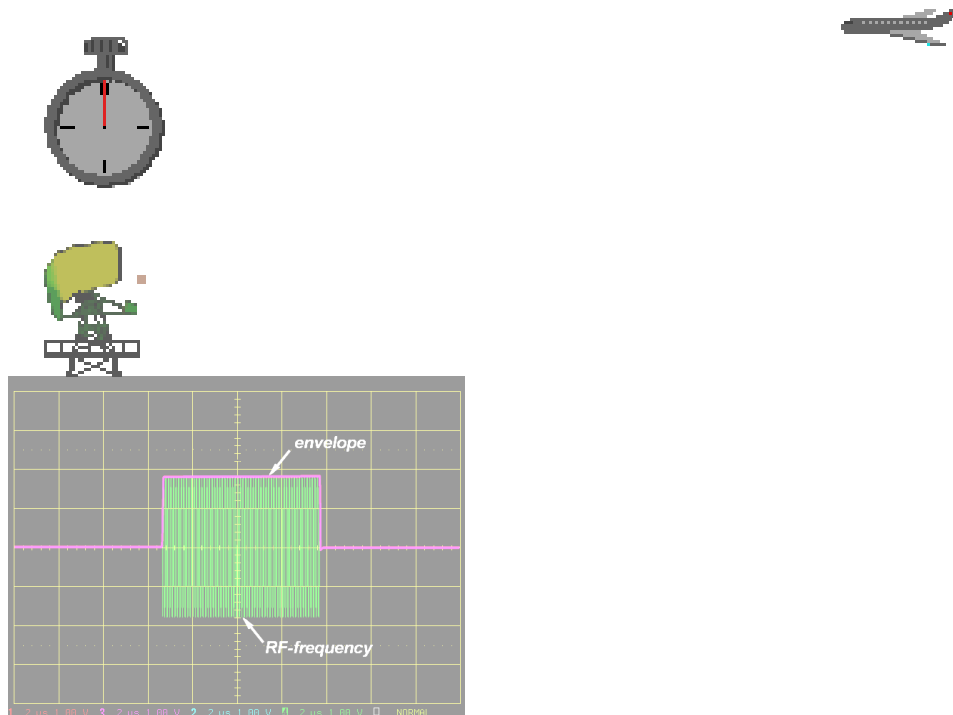
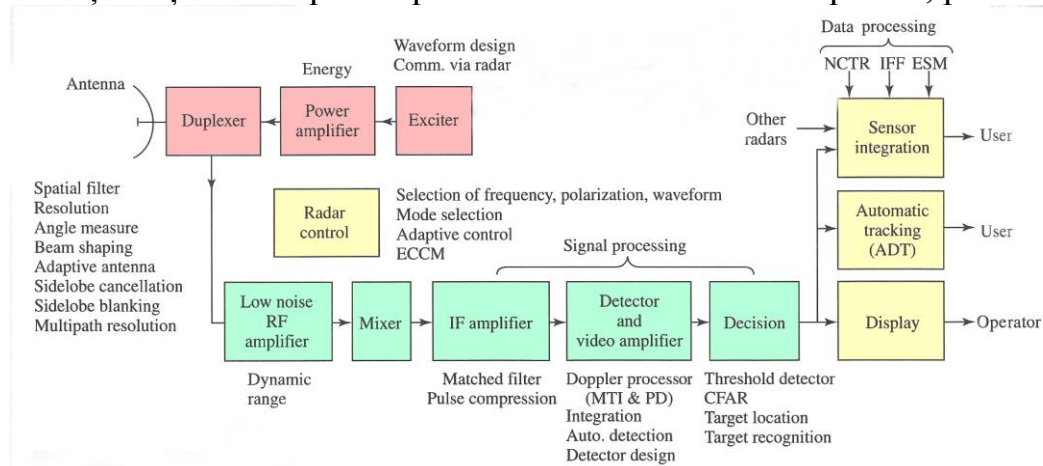


RADAR în impuls

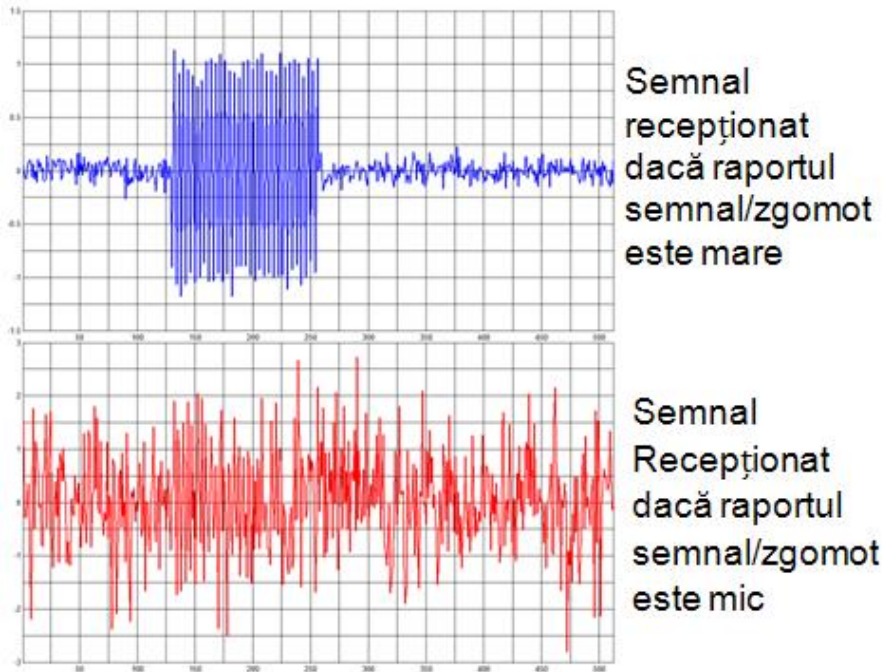
Așa cum am arătat, distanța de la RADAR la țintă se determină măsurând timpul necesar unei unde electromagnetice de înaltă frecvență să parcurgă drumul RADAR-țintă-RADAR. Măsurarea are loc după detecția anvelopei impulsului de radiofrecvență, numit și impuls de sondare.



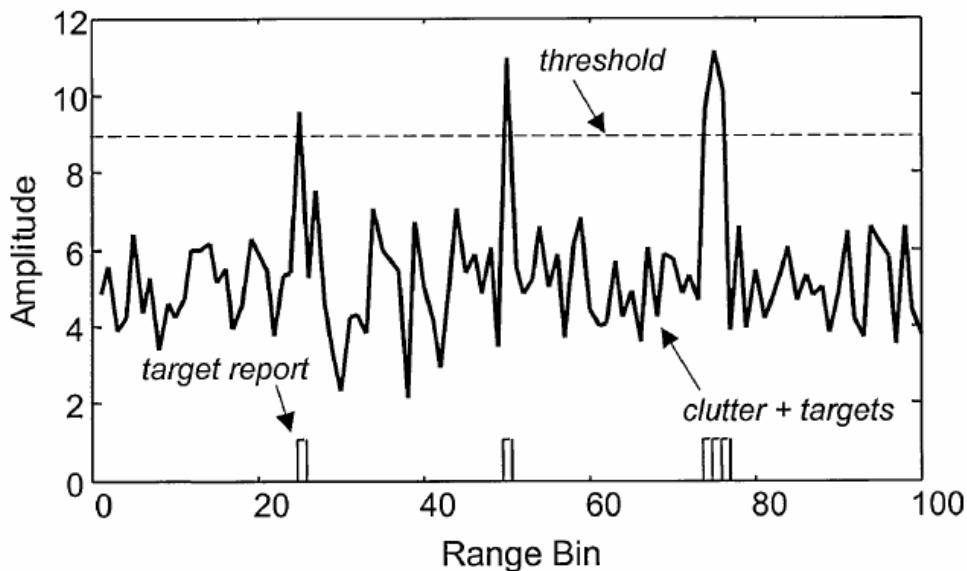
Structura unui astfel de RADAR este cea din figură și are în componere un emițător și un receptor superheterodină. Antena se cuplează, pe rând,



la emițător și apoi la receptor prin intermediul unui duplexor. Probleme ce apar sunt cele de detecție a semnalului eco recepționat la rapoart semnal/zgomot redus, așa cum se arată și în figură.



Pentru prelucrarea numerică, semnalul recepționat și detectat este eșantionat cu pasul T_e așa că apar așa numitele “range-bins” poziția țintei nefiind diferentiabilă în cadrul unei astfel de unități. Ca măsură, la o eșantionare cu pasul de 1 microsecundă întinderea unui range-bin este de $cT_e = 3 \cdot 10^8 \cdot 10^{-6} = 300m$. Detecția are loc conform strategiei Neumann-Pearson.



Determinarea azimutului țintei se face prin orientarea mecanică a antenei. Pentru a evita acest inconvenient a fost introdus RADAR-ul de tip manopuls. Se emit două fascicule de unde, cu un ușor decalaj unghiular. La recepție se efectuează suma și diferența semnalelor recepționate. Din semnalul sumă se decide prezența sau absența țintei iar din semnalul diferență se decide plasarea țintei în raport cu axa optică de vizare.

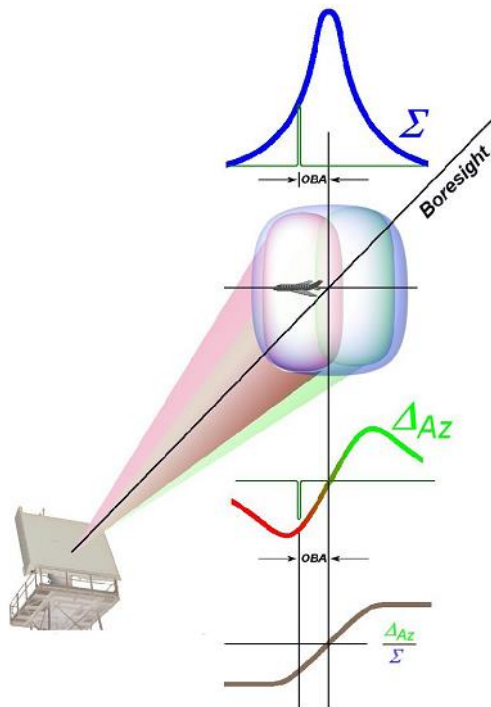
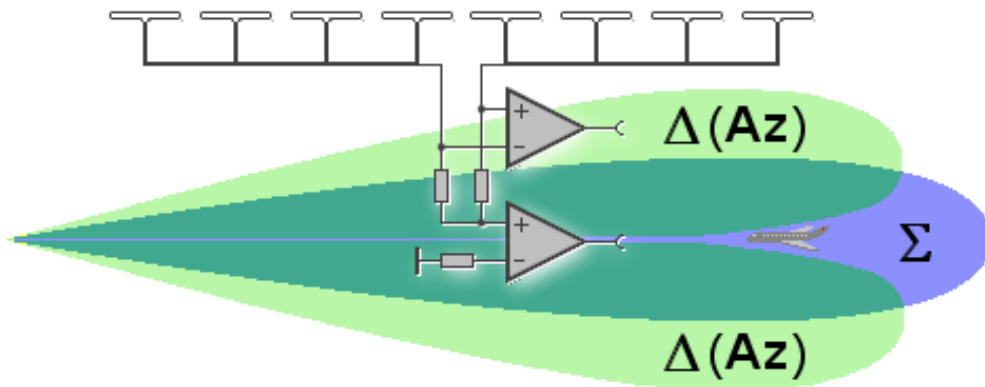
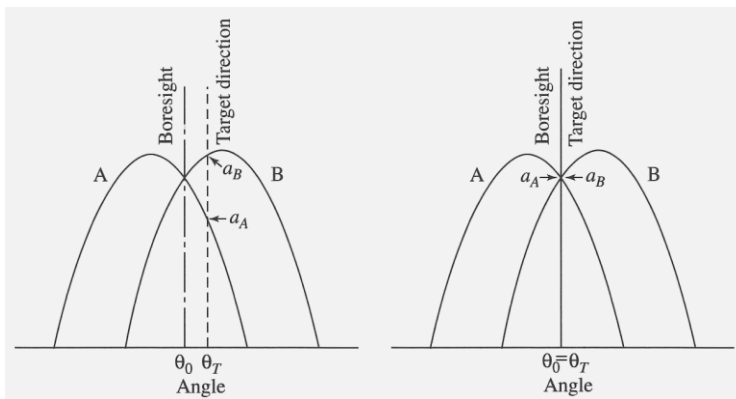
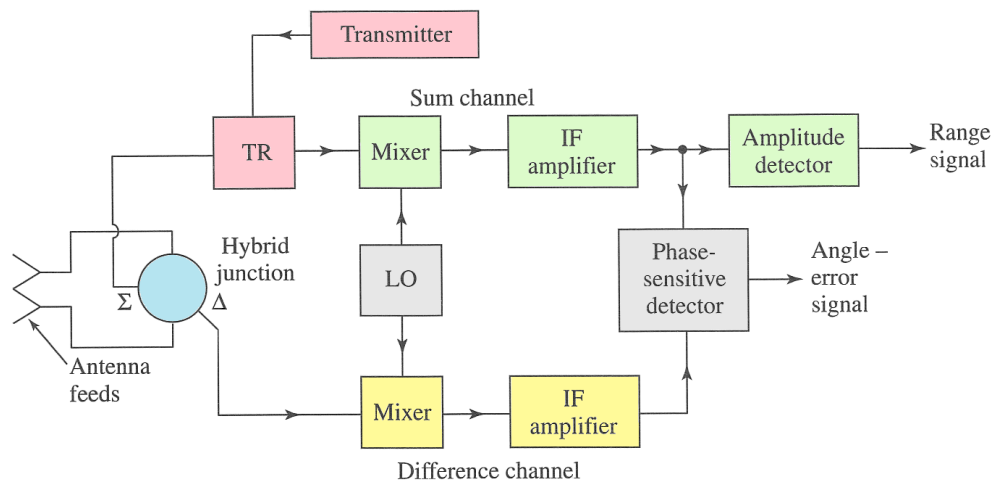


Figura următoare este sugestivă in acest sens.



Structura unui astfel de RADAR este arătată în figura următoare. Se remarcă prezența joncțiunii hibride ce permite calcularea semnalelor sumă și diferență.



Implementare fizică pentru cele două frecvențe admise, 24GHz și 77GHz



RADAR 24 GHz

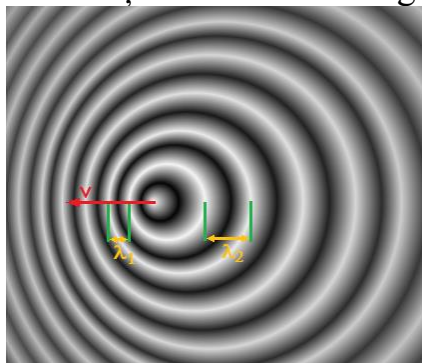


RADAR 77 GHz

este arătată în figură.

2.EFECTUL DOPPLER

Apare atunci când o sursă în mișcare modifică lungimea de undă și deci și



frecvența undei emise.

Efectul este sesizabil atunci când se ascultă semnalul sonor emis de o locomotivă în mișcare sau semnalul emis de o mașină de salvare.

Din figură se poate vedea că undele ce se emit în sensul direcției de mișcare a sursei dau naștere unor sunete cu frecvențe mai mari decât cele emise în sens invers direcției de mișcare. Avem:

$$\lambda_1 = T(c-v) = \frac{\lambda_0}{c}(c-v) = \lambda_0(1-\frac{v}{c}) \quad f_1 = f_0(1-\frac{v}{c})^{-1}$$

$$\lambda_2 = T(c+v) = \frac{\lambda_0}{c}(c+v) = \lambda_0(1+\frac{v}{c}) \quad f_2 = f_0(1+\frac{v}{c})^{-1}$$

Deoarece viteza v a sursei emitente este mult mai mică decât viteza luminii c , putem scrie că:

$$v \ll c \rightarrow f_1 \cong f_0 + f_0 \frac{v}{c} \quad f_2 \cong f_0 - f_0 \frac{v}{c}$$

Pentru un semnal emis de un RADAR semnal ce întâlnește o țintă ce se mișcă cu viteza v și se reflectă de pe țintă apare de două ori modificarea frecvenței semnalului astfel că efectul Doppler are valoarea:

$$f_D = \frac{2v}{c} f_0 = \frac{2v}{c} f_t$$

Semnalul recepționat de RADAR va fi:

$$f_r = f_t \pm \frac{2v}{c} f_t$$

cu semnul plus dacă ținta se apropie cu viteza relativă v de RADAR sau cu semnul minus dacă ținta se îndepărtează cu viteza relativă v de RADAR.

Pentru a da un ordin de mărime, fie un RADAR pe 77GHz care se apropie de RADAR cu aprox. 56 m/sec (cam 200km/oră).frecvența Doppler este de:

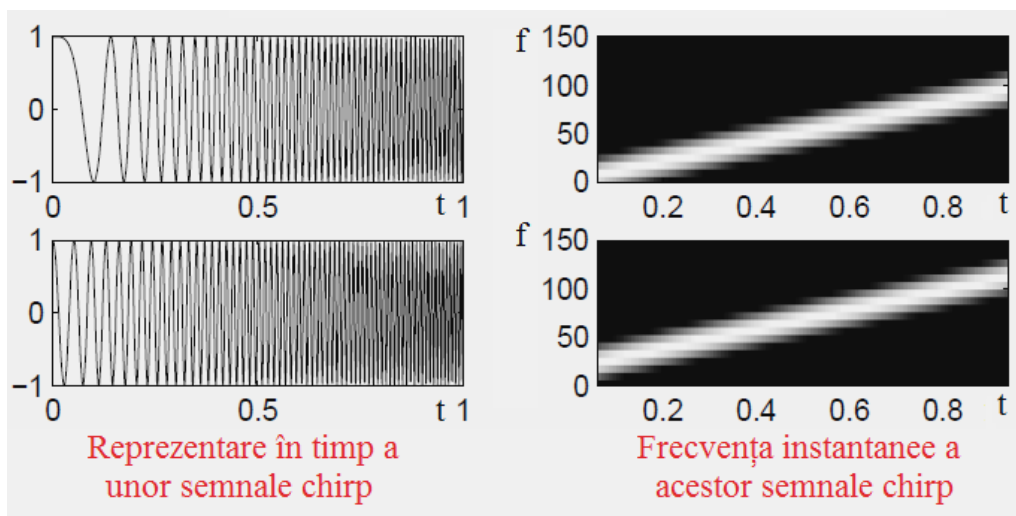
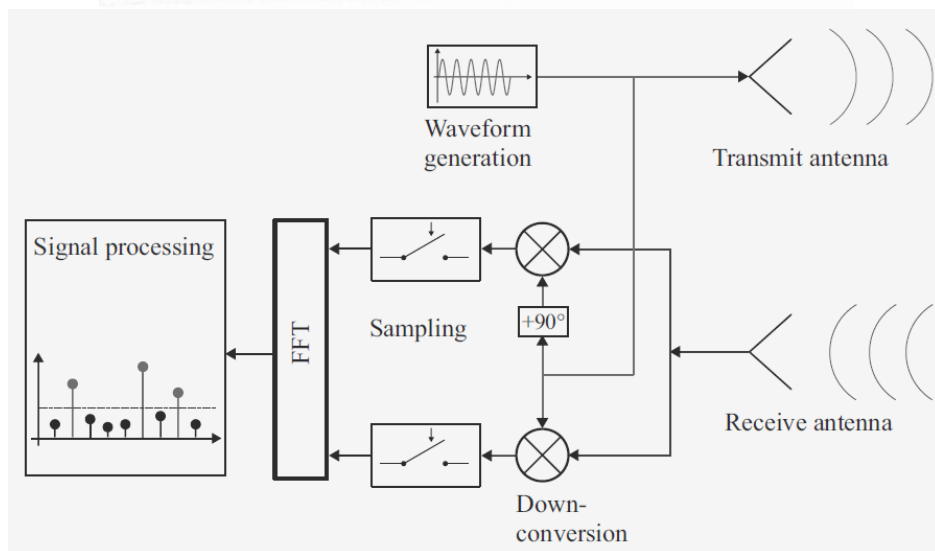
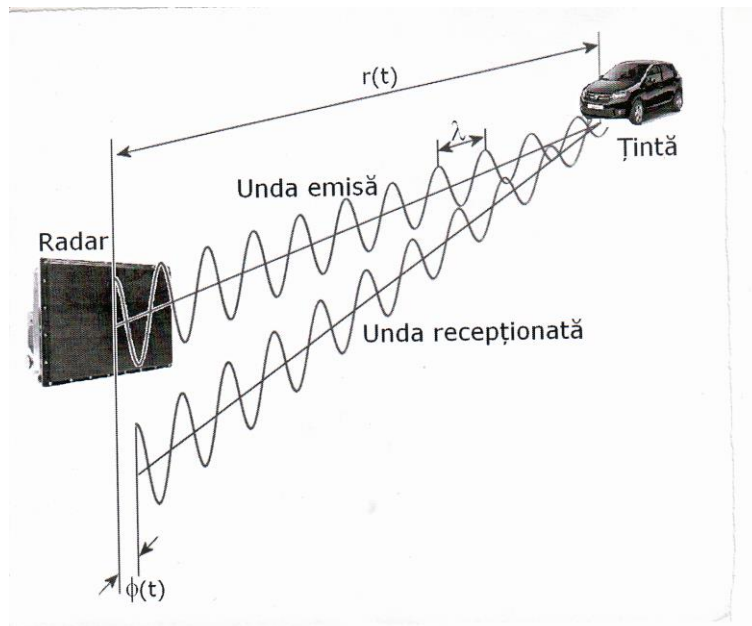
$$f_D = \frac{2v}{c} f_t = \frac{2 \cdot 56}{3 \cdot 10^8} \cdot 77 \cdot 10^9 \cong 28.75 \text{ KHz}$$

Pentru o viteză $v=0.5$ m/sec, ce corespunde mișcării segmentelor umane, va rezulta o frecvență Doppler de numai 257 Hz.

RADAR PENTRU AUTOMOBILE

În figură se arată o mașină țintă pentru un RADAR aflat pe altă mașină sau în afara șoselei. Unda emisă se reflectă de pe țintă și revine la locul de emisie cu un defazaj $\phi(t)$, cauzat de viteza țintei și de distanța $R(t)$ la care se află. Deoarece nu se pune problema de a avea antene mobile, care să scaneze periodic spațiul e necesar să adoptăm RADAR-ul monopuls, a cărui structură este cea din figură. Semnalul recepționat este heterodinată cu semnalul emis, obținându-se semnale cu frecvențe de bătaie date de efectul Doppler corespunzător fiecărei ținte. După eşantionare și CAN se face analiza în frecvență, utilizând algoritmul FFT.

Din rațiuni ce se vor lămuri ulterior, vom lucra cu unde modulate în frecvență așa cum se pot vedea în figură frecvența lor instantanee crește sau scade liniar.



Efectul Doppler pentru unda reflectată de către o țintă, aflată la distanța $R(t)$ de radar, se poate determina apreciind modificarea de fază a ecoului recepționat de radar. Drumul dus-întors parcurs de undă este $2R(t)$, așa că:

$$\Phi(t) = 2\pi \frac{2R(t)}{\lambda_0}$$

$$\omega_D = \frac{d\Phi(t)}{dt} = 2\pi \frac{2}{\lambda_0} \frac{dR(t)}{dt} = 2\pi \frac{2v}{\lambda_0}$$

$$f_D = \frac{2v}{\lambda_0} = \frac{2v}{c} f_0 = \frac{2v}{c} f_t$$

Considerăm, mai întâi că ținta nu se mișcă, adică $v=0$. Apare o întârziere de propagare a undei, de valoare:

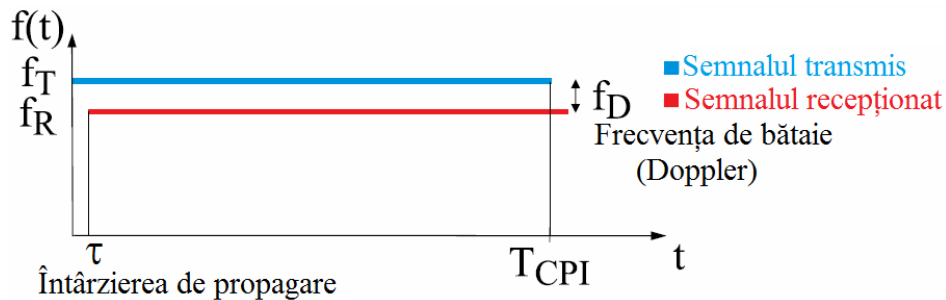
$$\tau = \frac{2R(t)}{c} = \frac{2R_0}{c}$$

Dacă ținta se mișcă și, spre exemplu, se îndepărtează de țintă cu viteza v atunci întârzierea devine:

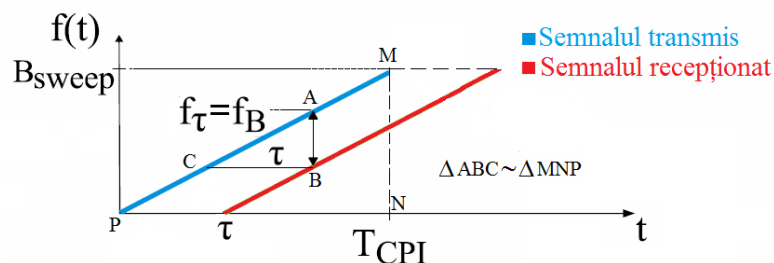
$$\tau = \frac{2R(t)}{c} = \frac{2(R_0 + vt)}{c} = \frac{2R_0}{c} + \frac{2vt}{c} \hat{a}$$

iar semnalul reflectat, recepționat, are forma:

$$\begin{aligned} \cos[2\pi f_T(t - \tau)] &= \cos\left[2\pi f_T t - 2\pi f_T \frac{2R_0}{c} - 2\pi f_T \frac{2vt}{c}\right] \\ &= \cos\left[2\pi \left(f_T - \frac{2v}{\lambda}\right)t - 2\pi f_T \frac{2R_0}{c}\right] \end{aligned}$$



Suntem capabili să măsurăm, după heterodinare, frecvența Doppler și deci viteza. Așa ceva face și poliția rutieră. Problema care ne-a rămas este determinarea întârzierii și deci a distanței până la țintă. Pentru a rezolva și această problemă vom recurge la semnale modulate liniar în frecvență așa



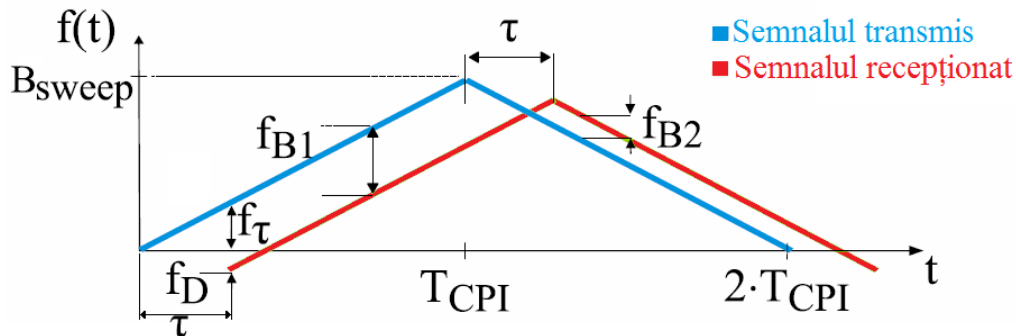
cum se arată în figură. Semnalul emis de radar are frecvența liniar variabilă într-o bandă B_{SWEEP} , pe care o acoperă în timpul T_{CPI} . Dacă $v=0$, nu apare efectul Doppler ci numai o întârziere a semnalului recepționat, determinată de distanța de propagare $2R$:

$$\tau = \frac{2R(t)}{c} = \frac{2R_0}{c}$$

După heterodinare apare o frecvență de bătaie care este măsurabilă. Din asemănarea triunghiurilor ABC și MNP:

$$\frac{f_B}{\tau} = \frac{B_{sw}}{T_{CPI}} \rightarrow f_B = \frac{B_{sw}}{T_{CPI}} \frac{2R}{c}$$

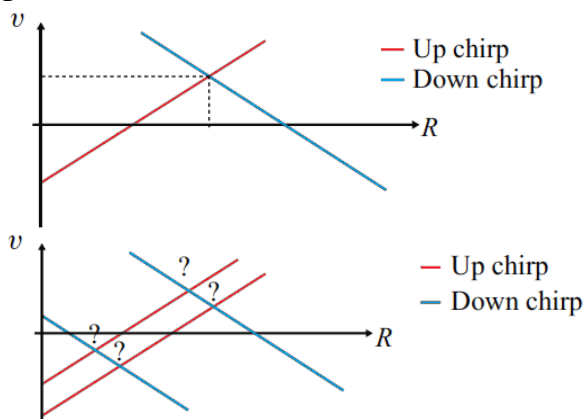
Dacă ținta se mișcă apar două efecte de deplasare a frecvenței, dar ambele de valori foarte reduse în comparație cu frecvențele emise. Putem deci considera că frecvența de bătaie care apare este suma celor două componente, cauzate de mișcarea țintei și de distanța RADAR-țintă.



Vom adăuga semnalului emis și o componentă de frecvență descrescătoare, ca în figură. În virtutea discuției anterioare, frecvențele de bătaie ce apar sunt aproximabile cu expresiile:

$$f_{B1} = -\frac{2v}{\lambda} + \frac{2B_{sw}R}{cT_{CPI}} = f_D + f_\tau; \quad f_{B2} = -\frac{2v}{\lambda} - \frac{2B_{sw}R}{cT_{CPI}} = f_D - f_\tau$$

Necunoscutele sistemului liniar sunt v , viteza radială și distanța R , soluția fiind unică, așa cum rezultă din figură. Dacă sunt două sau mai multe ținte, apar ținte fantomă, motiv pentru care această soluție simplă nu se poate utiliza.

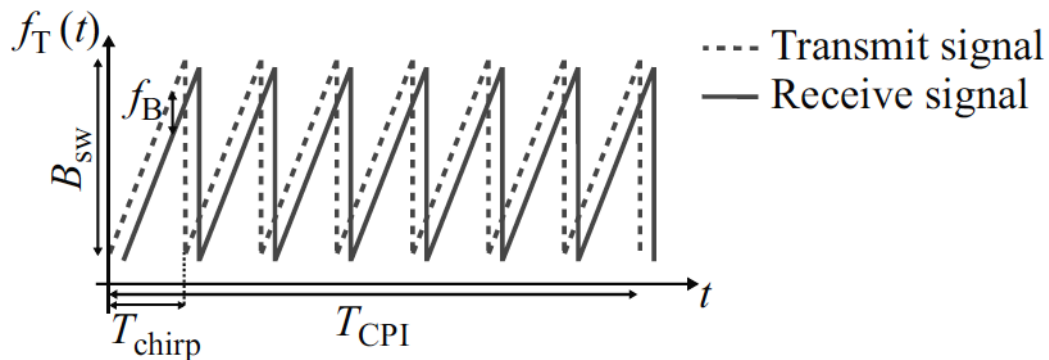


Având în vedere rezoluția de măsurare a frecvenței se poate determina rezoluția de măsurare a vitezei țintei:

$$\Delta f_D = \frac{2}{\lambda} \Delta v = \frac{1}{T_{CPI}}; \quad \Delta v = \frac{2\lambda}{T_{CPI}}$$

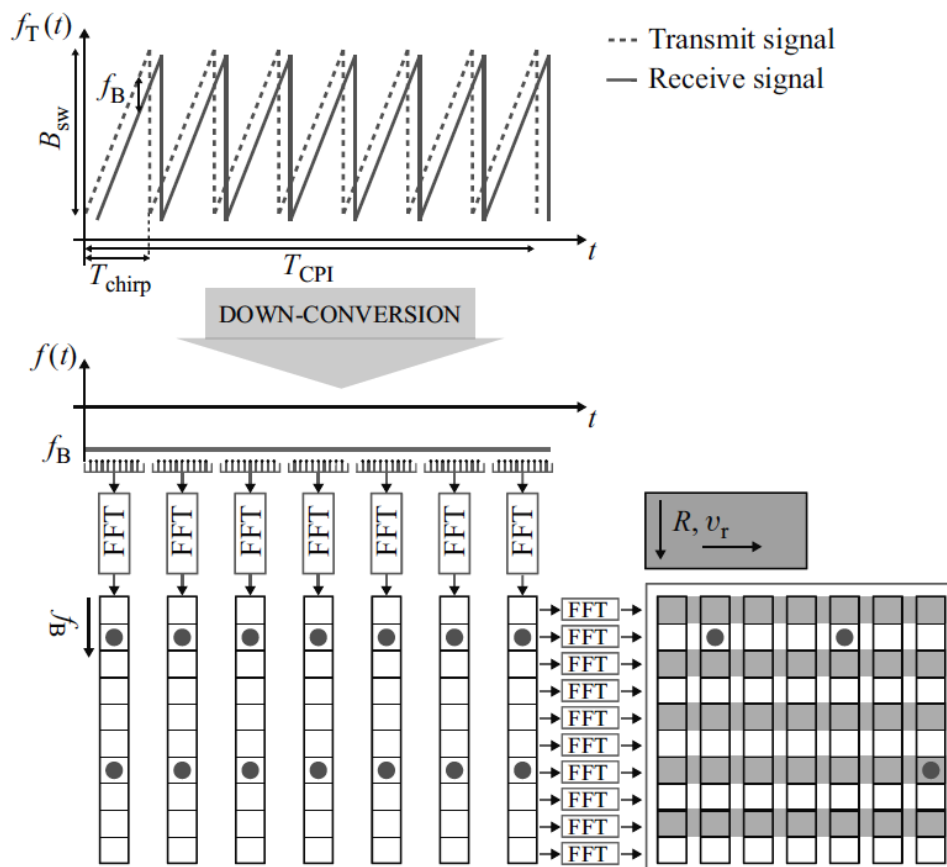
RADAR de tip RAPID-CHIRPS

O soluție aplicată cu succes este constituită din utilizarea unei secvențe de chirp-uri rapide cu frecvența instantanee variind într-o bandă B_{sw} . Durata unui chirp, T_{ch} , este mică de ordinul a 100 microsecunde. Pentru sondare se emit M chirp-uri rapide.



Pentru o țintă care se îndepărtează cu viteza v de RADAR, după heterodinare apare o frecvență de bătaie cu expresia:

$$f_B = -\frac{2v}{\lambda} - \frac{2B_{sw}R}{cT_{CH}}$$



Pentru $v=56$ m/sec, o viteză relativ mare, și frecvența de 24GHz, adică $\lambda = 30/24 = 1.25\text{cm}$, $T_{CH} = 100\text{microsec}$ și $B_{SW} = 150\text{MHz}$ și $R=200\text{m}$ cei doi termeni ai frecvenței de bătaie sunt:

$$\frac{2v}{\lambda} = \frac{2 \cdot 56}{0.0125} = 8960\text{Hz}$$

$$\frac{2B_{SW}R}{cT_{CH}} = \frac{2 \cdot 150 \cdot 10^6}{3 \cdot 10^8 \cdot 100 \cdot 10^{-6}} 200 = 2\text{MHz}$$

Se vede că primul termen este neglijabil, ca urmare a duratei reduse a chirp-ului. Se poate deci afirma că:

$$f_B \cong -\frac{2B_{SW}R}{cT_{CH}}$$

relație din care se deduce că:

$$R \cong \frac{cT_{CH}}{2B_{SW}} f_B$$

Semnalul emis se consideră de forma:

$$x(t) = a(t) \exp\{j2\pi f_T t\}$$

și se recepționează:

$$y(t) = x\left(t - \frac{2R(t)}{c}\right)$$

În anumite condiții nerestrictive, în chirp-ul rapid numărul $m=0, 1, \dots, M-1$ semnalul recepționat, abstracție făcând de factorul determinat de de distanță avem:

$$y(t) = a\left(\frac{2vmT_{CH}}{c}\right) \exp\left\{j2\pi \frac{2vmT_{CH}}{\lambda}\right\}$$

Dacă realizăm o analiză FFT a semnalului recepționat în fiecare chirp rapid se determină distanța la care se află ținta iar dacă din toate cele M determinări se completează matricea din figură, vom obține un tablou ce va cuprinde distanțele și vitezele țintelor. Un astfel de tablou cu 9 ținte este arătat mai jos. Cele M chirp-uri determină o durată de măsurare $T_{CPI} \cong MT_{CH}$ asigurând o rezoluție de măsurare a frecvenței Doppler de:

$$\Delta f_D = \frac{1}{T_{CPI}} = \frac{2}{\lambda} \Delta v$$

Pentru $\Delta v=2.25\text{m/sec}$ și $\lambda = 0.0125\text{m}$ rezultă $\Delta f_D = 360\text{Hz}$. Rezultă că trebuie să lucrăm cu $T_{CPI} \geq 1/360 = 2.8\text{msec}$. La o durată de 90 microsec a unui chirp rezultă $M \square 311$.

Cu f_D și f_B determinate prin aplicarea FFT, se poate recalcula distanța R cu:

$$R = \frac{cT_{CH}}{2B_{SW}} (f_B - f_D)$$

