



# اصول و سیستم های رادار

وزارت علوم، تحقیقات و فناوری

پژوهشگاه ملی مهندسی برق، الکترونیک و کامپیوتر

نیم سال دوم ۹۸-۹۹

- برد
- ابهام در برد
- قدرت تفکیک برد
- کمینه برد
- فرکانس داپلر
- نمودار بلوکی رادار

وزارت علوم، تحقیقات و فناوری

دانشگاه تحصیلات تکمیلی صنعتی و فناوری پیشرفته



ت علوم، تحقیقات و فناوری

دانشگاه خوارزمی  
مرکز تحقیقات و فناوری

□ اگر راداری بخواهد تعیین فاصله کند، یک **پالس رادیویی** ارسال می کند.

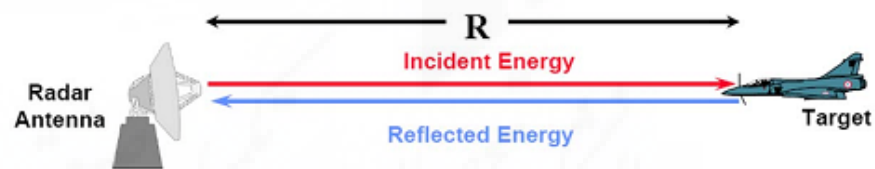
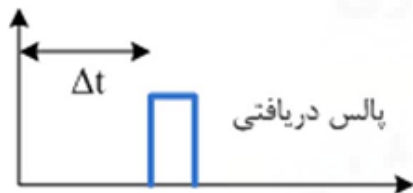
□ برد هدف ( $R$ ) با اندازه گیری مدت زمانی که طول می کشد تا پالس **مسیر دو طرفه** بین رادار و هدف را طی کند ( $\Delta t$ ) بدست می آید.

□ با توجه به اینکه امواج رادیویی با سرعت نور ( $c=3 \times 10^8$  m/s) حرکت می کنند، داریم:



$$2R = \Delta t \cdot c$$

$$R = \frac{c\Delta t}{2}$$



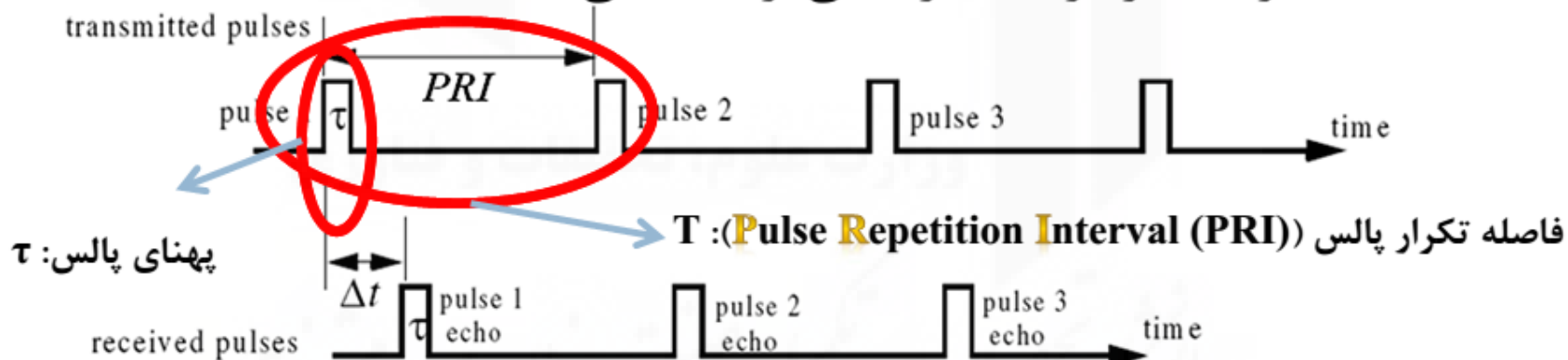
# فرکانس تکرار پالس (PRF)

5

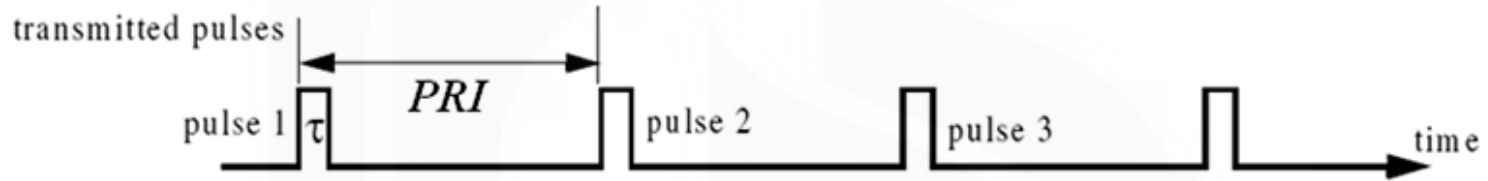
□ از آنجا که انرژی یک پالس محدود است، از این رو رادار قطاری از پالس ها را ارسال می کند.

□ PRI گاهی با عنوان **Inter Pulse Period (IPP)** نیز شناخته می شود.

□ رادار در هر PRI فقط به اندازه  $\tau$  ثانیه انرژی ساطع کرده و باقی زمان PRI را منتظر دریافت بازگشتی از هدف می ماند.



# فرکانس تکرار پالس (PRF)



□ فرکانس تکرار پالس (Pulse Repetition Frequency (PRF))

$$f_r = PRF = \frac{1}{PRI} = \frac{1}{T}$$

$$d_t = \frac{\tau}{T} = \tau f_r$$

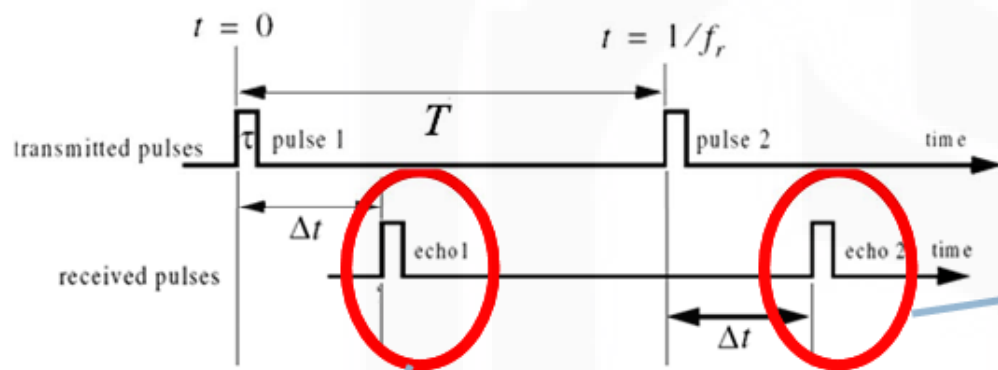
$$P_{av} = P_t \times d_t \rightarrow \text{توان پیک ارسالی}$$

$$E_p = P_t \tau = P_{av} T = P_{av} / f_r$$

□ دوره وظیفه (Duty cycle) رادار

□ توان متوسط ارسالی رادار

□ انرژی هر پالس



$R_1 = \frac{c\Delta t}{2}$  مربوط به هدفی در فاصله ناشی از پالس دوم

یا

$R_2 = \frac{c(T+\Delta t)}{2}$  مربوط به هدفی در فاصله ناشی از پالس اول

$R_1 = \frac{c\Delta t}{2}$  مربوط به هدفی در فاصله

□ بنابراین PRI رادار باید به حدی بزرگ باشد تا بازگشتی از حداکثر برد، پیش از ارسال پالس بعدی دریافت شود

$$R_u = c \frac{T}{2} = \frac{c}{2f_r}$$

□ حداکثر برد بدون ابهام رادار برابر است با:

□ یک رادار پالسی هوابرد دارای توان پیک  $P_t = 10 \text{ kW}$  و از دو PRF با مقادیر  $f_{r1} = 10 \text{ kHz}$  و  $f_{r2} = 30 \text{ kHz}$  استفاده می کند. پهنای پالس ها برای هر کدام از PRF ها چقدر باید باشد تا توان متوسط ارسالی ثابت و برابر با  $1500 \text{ W}$  شود؟ انرژی پالس را در هر حالت حساب کنید.

$$P_{av} = P_t \times d_t \quad \longrightarrow \quad d_t = \frac{1500}{10 \times 10^3} = 0.15$$

$$d_t = \tau f_r \quad \longrightarrow \quad \tau_1 = \frac{d_t}{f_{r1}} = \frac{0.15}{10000} = 15 \mu\text{s}$$

$$\tau_2 = \frac{d_t}{f_{r2}} = \frac{0.15}{30000} = 5 \mu\text{s}$$

$$E_p = P_t \tau \quad \longrightarrow \quad E_{p1} = P_t \tau_1 = 10 \times 10^3 \times 15 \times 10^{-6} = 0.15 \text{ J}$$

$$E_{p2} = P_t \tau_2 = 10 \times 10^3 \times 5 \times 10^{-6} = 0.05 \text{ J}$$



# قدرت تفکیک در برد (Resolution)

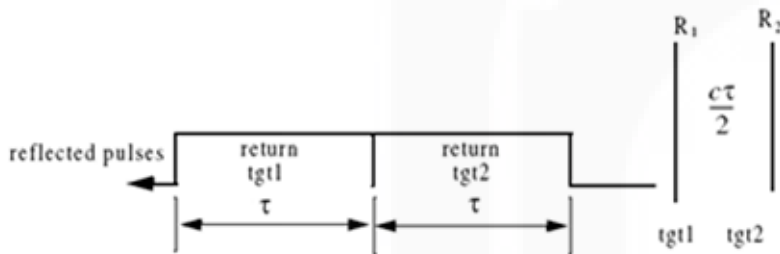
□ قدرت تفکیک فاصله ( $\Delta R$ )، توانایی رادار برای آشکارسازی اهداف نزدیک به هم به عنوان اشیا مجزا است.

□ دو هدف را که در بردهای  $R_1$  و  $R_2$  قرار گرفته اند و متناظر با تاخیرهای زمانی  $t_1$  و  $t_2$  هستند، در نظر می گیریم. اختلاف بین این بردها برابر است با:

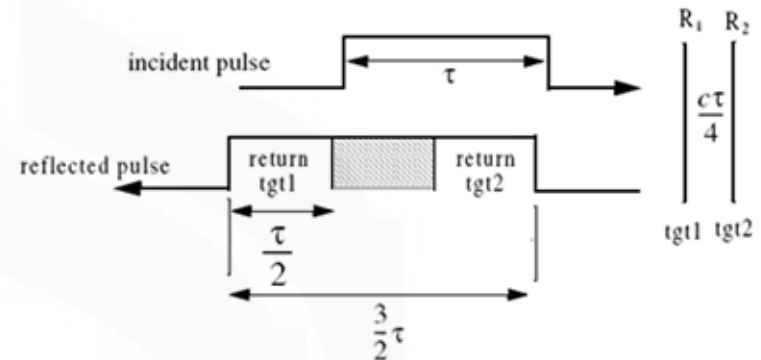
$$\Delta R = R_2 - R_1 = c \frac{(t_2 - t_1)}{2} = c \frac{\delta t}{2}$$

□ حداقل  $\delta t$  چقدر باشد تا اهداف ۱ و ۲ از هم تفکیک شوند؟ به عبارت دیگر حداقل  $\Delta R$  چقدر است؟

# قدرت تفکیک در برد (Resolution)



حالت دوم: اختلاف برد دو هدف  $\frac{c\tau}{2}$   
متناظر با اختلاف زمانی  $\tau$



حالت اول: اختلاف برد دو هدف  $\frac{c\tau}{4}$   
متناظر با اختلاف زمانی  $\tau/2$

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

پهنای باند

□ بنابراین قدرت تفکیک رادار برابر است با

□ برای افزایش قدرت تفکیک رادار ← کاهش عرض پالس ← کاهش توان متوسط ارسالی و افزایش پهنای باند

□ امکان دستیابی به قدرت تفکیک بالا و در عین حال حفظ شدن توان

متوسط ارسالی با استفاده از **تکنیک های فشرده سازی پالس**

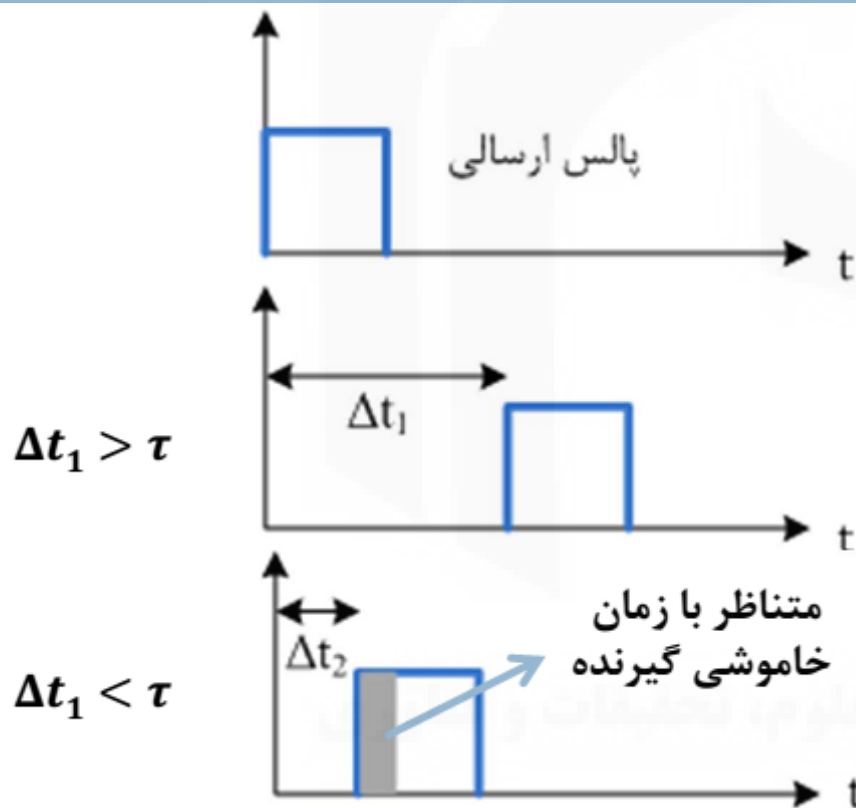
□ یک سیستم راداری را با برد بدون ابهام  $100 \text{ km}$  و پهنای باند  $0.5 \text{ MHz}$  در نظر بگیرید. فرکانس تکرار پالس، فاصله تکرار پالس، قدرت تفکیک و پهنای پالس را بدست آورید.

$$R_u = c \frac{T}{2} = \frac{c}{2f_r} \longrightarrow PRF = \frac{c}{2R_u} = \frac{3 \times 10^8}{2 \times 10^5} = 1500 \text{ Hz}$$

$$PRI = \frac{1}{PRF} = \frac{1}{1500} = 0.6667 \text{ ms}$$

$$\Delta R = \frac{c}{2B} = \frac{3 \times 10^8}{2 \times 0.5 \times 10^6} = 300 \text{ m}$$

$$\tau = \frac{2\Delta R}{c} = \frac{2 \times 300}{3 \times 10^8} = 2 \text{ } \mu\text{s}$$



پالس دریافتی از هدفی در فاصله

$$R_1 = \frac{c\Delta t_1}{2}$$

پالس دریافتی از هدفی در فاصله

$$R_1 = \frac{c\Delta t_2}{2}$$

عدم دریافت کامل پالس های بازگشتی از اهدافی در فواصل کمتر از  $R = \frac{c\tau}{2}$  به علت خاموشی گیرنده. □

□ عامل مهم در تعیین PRI

□ حداکثر برد مورد نیاز برای اندازه گیری یا حداکثر برد بدون ابهام

$$R_u = c \frac{T}{2} = \frac{c}{2f_r}$$

□ عوامل مهم در تعیین پهنای پالس

□ قدرت تفکیک برد مورد نیاز

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

□ حداقل برد مورد نیاز برای اندازه گیری

$$R_{min} = \frac{c\tau}{2}$$

□ رادارها از فرکانس داپلر برای استخراج **سرعت شعاعی هدف** و همچنین **تمایز اهداف متحرک از اهداف یا اشیا ثابت** استفاده می کنند.

□ پدیده داپلر، شیفت در فرکانس مرکزی موج برخوردی را به علت حرکت هدف نسبت به منبع تشعشع توضیح می دهد.

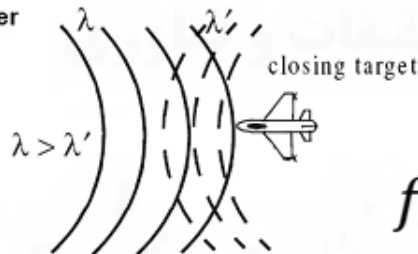
□ بسته به جهت حرکت هدف، این شیفت فرکانسی می توان مثبت یا منفی باشد.



Christian Andreas Doppler  
(1803 - 1853)



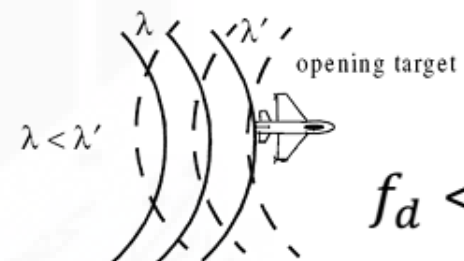
radar



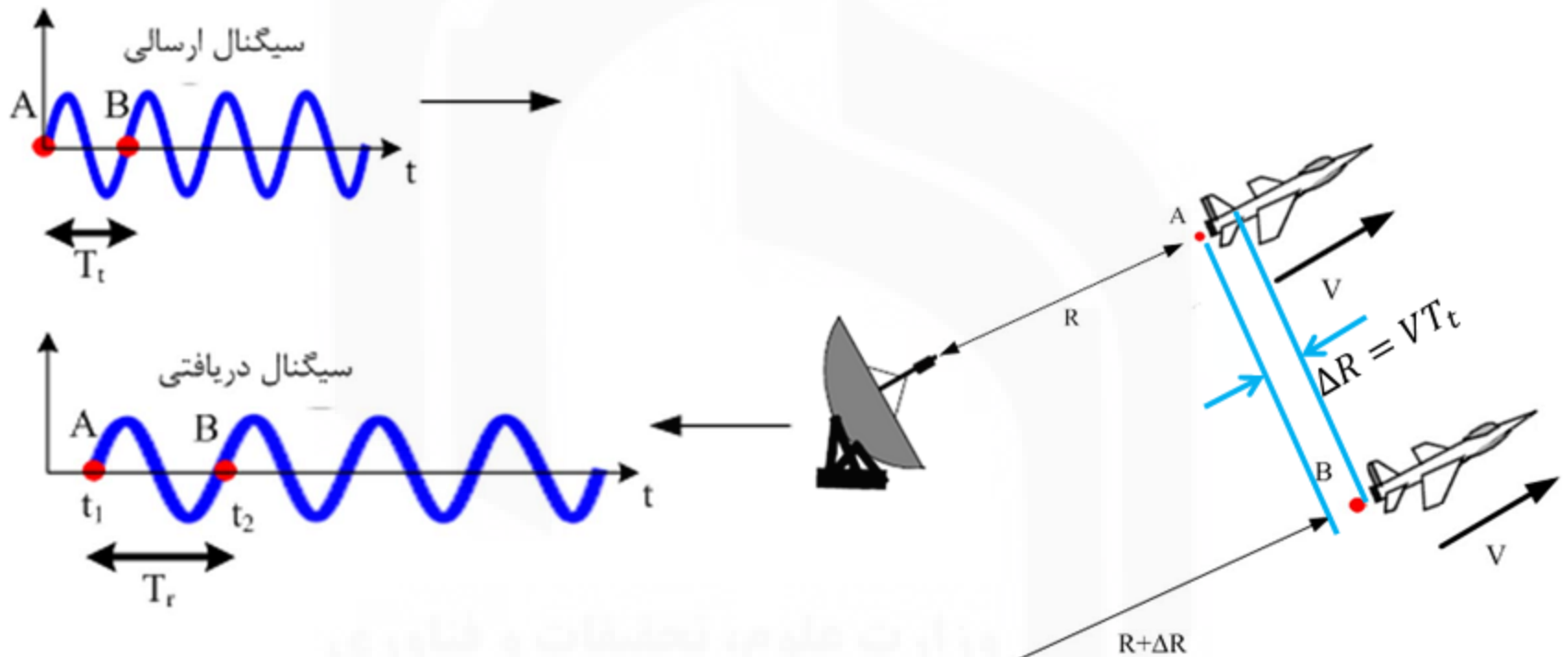
$$f_d > 0$$



radar



$$f_d < 0$$



$$T_r = t_2 - t_1 = ?$$

$$t_1 = \frac{2R}{c} \quad t_2 = T_t + \frac{2(R + \Delta R)}{c}$$

$$t_1 = \frac{2R}{c} \quad t_2 = T_t + \frac{2(R + \Delta R)}{c}$$

$$\begin{aligned} T_r &= t_2 - t_1 = T_t + \frac{2\Delta R}{c} \\ &= T_t + \frac{2VTt}{c} = T_t \left( 1 + \frac{2V}{c} \right) \end{aligned}$$

$$f_r = \frac{1}{T_r} = ft \left( \frac{1}{1 + \frac{2V}{c}} \right) \cong ft \left( 1 - \frac{2V}{c} \right)$$

فرکانس سیگنال دریافتی کوچکتر  
از فرکانس سیگنال ارسالی است

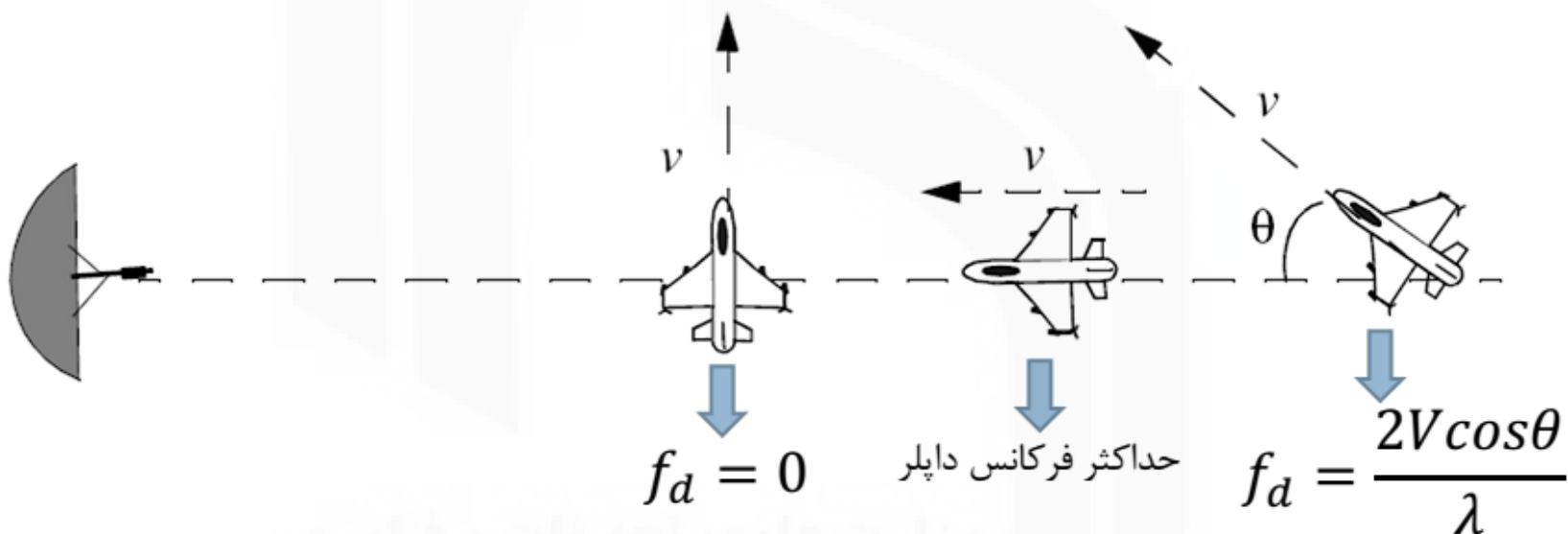
$$f_{d\_receding} = fr - ft \cong -ft \frac{2V}{c} = -\frac{2V}{\lambda}$$

□ به طور مشابه اگر هدف به رادار نزدیک شود، فرکانس سیگنال دریافتی بیشتر از فرکانس سیگنال ارسالی خواهد شد.

$$f_{d\_closing} = fr - ft \cong ft \frac{2V}{c} = \frac{2V}{\lambda}$$



□ فرکانس داپلر به مولفه سرعت در راستای شعاعی وابسته است



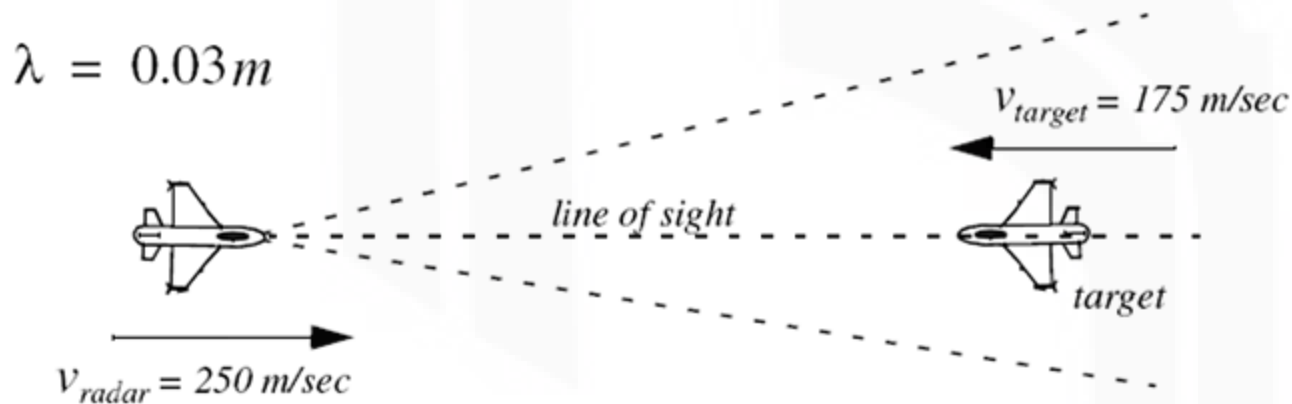
$$f_{d\_closing} = + \frac{2V \cos \theta}{\lambda}$$

$$f_{d\_receding} = - \frac{2V \cos \theta}{\lambda}$$

□ برای اهداف نزدیک شونده

□ برای اهداف دور شونده

□ فرکانس داپلر اندازه گیری شده توسط رادار برای سناریوی زیر را بدست آورید.



$$f_{d\_closing} = \frac{2V}{\lambda} \quad \longrightarrow \quad f_{d\_closing} = \frac{2(250 + 175)}{0.03} = 28.3 \text{ kHz}$$

$$f_{d\_receding} = \frac{2(250 - 175)}{0.03} = 5 \text{ kHz} \quad \square \text{ به طور مشابه اگر هدف دور شود}$$

