



اصول و سیستم های رادار (بخش چهارم)

وزارت علوم، تحقیقات و فناوری

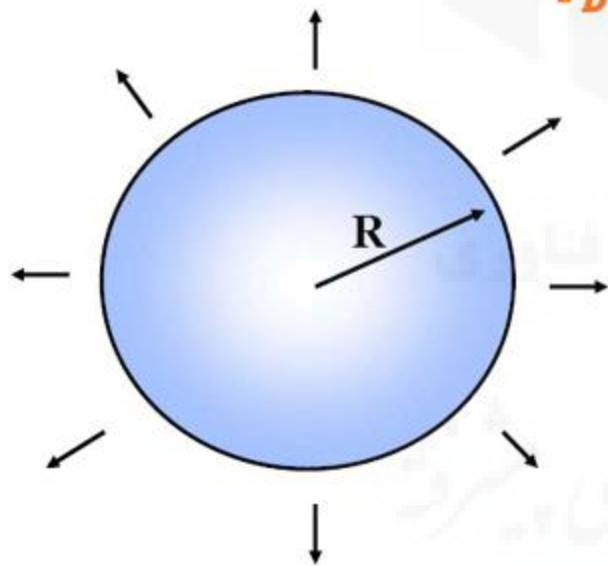
دانشگاه تحصیلات تکمیلی صنعت و فناوری پیشرفته

نیم سال دوم ۹۸-۹۹

□ یک رادار با **آنتن همه جهتی** را در نظر بگیرید.

□ از آنجا که این آنتن‌ها دارای پترن تشعشی کروی هستند، **چگالی توان** در هر نقطه از فضا را می‌توان به صورت زیر تعریف کرد:

$$P_D = \frac{\text{Peak transmitted power}}{\text{Area of a sphere}} \quad \text{W/m}^2$$



□ بنابراین چگالی توان در فاصله R از رادار به صورت زیر است:

$$P_D = \frac{P_t}{4\pi R^2} \quad \text{W/m}^2$$

- سیستم‌های راداری برای افزایش چگالی توان در یک جهت خاص از **آنتن‌های جهتی** استفاده می‌کنند.
- آنتن‌های جهتی توسط پارامتر **بهره (G)** مشخص می‌شوند.
- تعریف بهره یک آنتن به صورت زیر است:

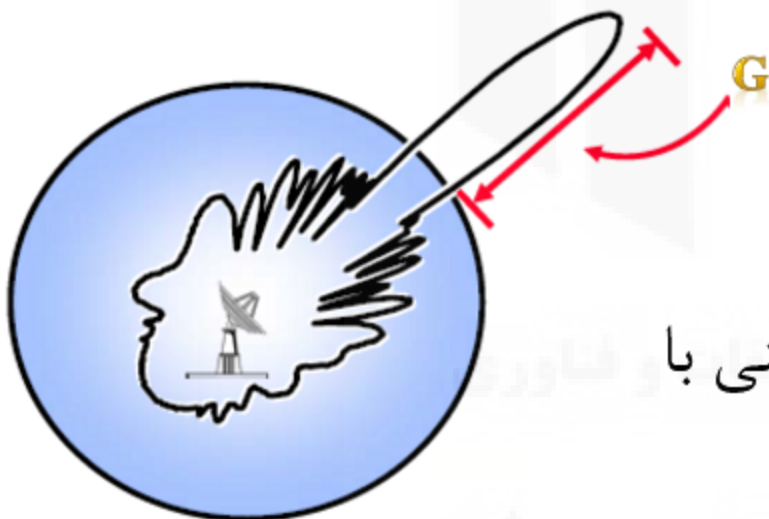
$$G = \frac{\text{Maximum radiation intensity}}{\text{Radiation intensity from isotropic antenna}}$$

- که **شدت تشعشع** در یک راستای خاص عبارتست از توان تشعشعی از آنتن در واحد زاویه فضایی.

- به زبان ساده بهره یک آنتن مقدار افزایش توان تشعشی در یک راستای خاص به توان تشعشی توسط یک آنتن همه جهتی است.
- دو روش متداول برای افزایش بهره آنتن‌ها عبارتند از:

- استفاده از **منعکس کننده‌ها**

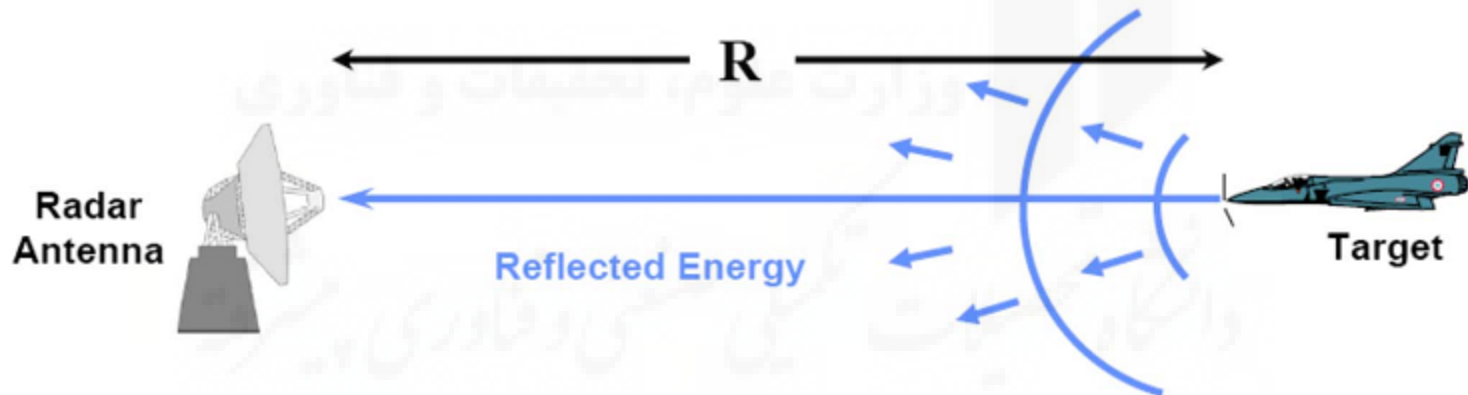
- استفاده از **آرایه‌ای از آنتن‌ها**



- چگالی توان در فاصله R از یک رادار با آنتنی با بهره G به صورت زیر است:

$$P_{Dt} = \frac{P_t G}{4\pi R^2} \quad W/m^2$$

- هنگامیکه توان تشعشعی به هدف برخورد می‌کند، توسط آن به جهات مختلف پراکنده می‌شود.
- مقدار توان پراکنده شده به **ابعاد هدف**، **جهت‌گیری آن**، **شکل فیزیکی** و **جنس آن** بستگی دارد.
- مقدار توان پراکنده شده را می‌توان توسط پارامتر **سطح مقطع راداری (Radar Cross Section)** مدل کرد.



□ سطح مقطع راداری به صورت زیر تعریف می شود:

$$\sigma = \frac{\text{Power reflected back from target to the radar}}{\text{Power density incident on the target}}$$

$$\sigma = \frac{P_r}{P_D} \quad m^2$$

□ بنابراین توان منعکس شده در محل هدف برابر است با:

$$P_r = \frac{P_t G \sigma}{4\pi R^2} \quad W$$

□ و چگالی توان در محل رادار برابر خواهد شد با:

$$P_r = \frac{P_t G}{4\pi R^2} \frac{\sigma}{4\pi R^2} \quad W/m^2$$

- آنتن رادار فقط بخشی از توان بازگشتی را دریافت می کند.
- توان دریافتی توسط رادار برابر است با چگالی توان در محل رادار ضربدر مساحت مؤثر آنتن گیرنده. در واقع سطح مؤثر آنتن به صورت زیر تعریف می شود:

$$A_e = \frac{\text{Power received by the antenna}}{\text{Power density incident on the receiving antenna}}$$

- رابطه بین مساحت مؤثر آنتن و مساحت فیزیکی آن به صورت زیر است:

$$A_e = \rho A$$

$$0 \leq \rho \leq 1 : \text{Aperture efficiency}$$

$$A_e = \frac{G\lambda^2}{4\pi} \quad m^2$$

- رابطه مساحت مؤثر آنتن و بهره آن به صورت زیر است:

بیشینه برد قابل آشکارسازی

8

□ به این ترتیب توان دریافتی توسط رادار برابر است با:

$$P_r = \frac{P_t G \sigma A_e}{(4\pi R^2)^2} \quad W$$

□ و با فرض اینکه آنتن فرستنده و گیرنده مشابه باشند:

$$A_e = \frac{G\lambda^2}{4\pi} \quad m^2 \quad \longrightarrow \quad P_r = \frac{P_t G^2 \lambda^2 \sigma}{(4\pi)^3 R^4} \quad W$$

□ حال اگر S_{min} حداقل سیگنال قابل آشکارسازی توسط رادار باشد، حداکثر برد رادار برابر خواهد شد با:

$$R = \left(\frac{P_t G^2 \lambda^2 \sigma}{(4\pi)^3 S_{min}} \right)^{1/4}$$

$$R = \left(\frac{P_t G A_e \sigma}{(4\pi)^2 S_{min}} \right)^{1/4}$$

$$R = \left(\frac{P_t A_e^2 \sigma}{4\pi \lambda^2 S_{min}} \right)^{1/4}$$

□ این معادله بیان می‌کند که با افزایش توان ارسالی، بهره آنتن‌ها و سطح مؤثر آن‌ها می‌توان حداکثر برد رادار را افزایش داد.

- در عمل سیگنال‌های دریافتی توسط رادار با نویز همراه هستند.
- نویز یک پدیده تصادفی بوده و توسط تابع چگالی طیف توان (PSD) آن مشخص می‌شود.
- توان نویز برابر است با:

$$N = \text{noise PSD} \times \text{Bandwidth}$$

$$N = kT_s B_n$$

k : Boltzmann constant
 $= 1.38 \times 10^{-23} \text{ J/}^\circ\text{K}$

T_s : System noise temperature

B_n : Noise bandwidth of receiver

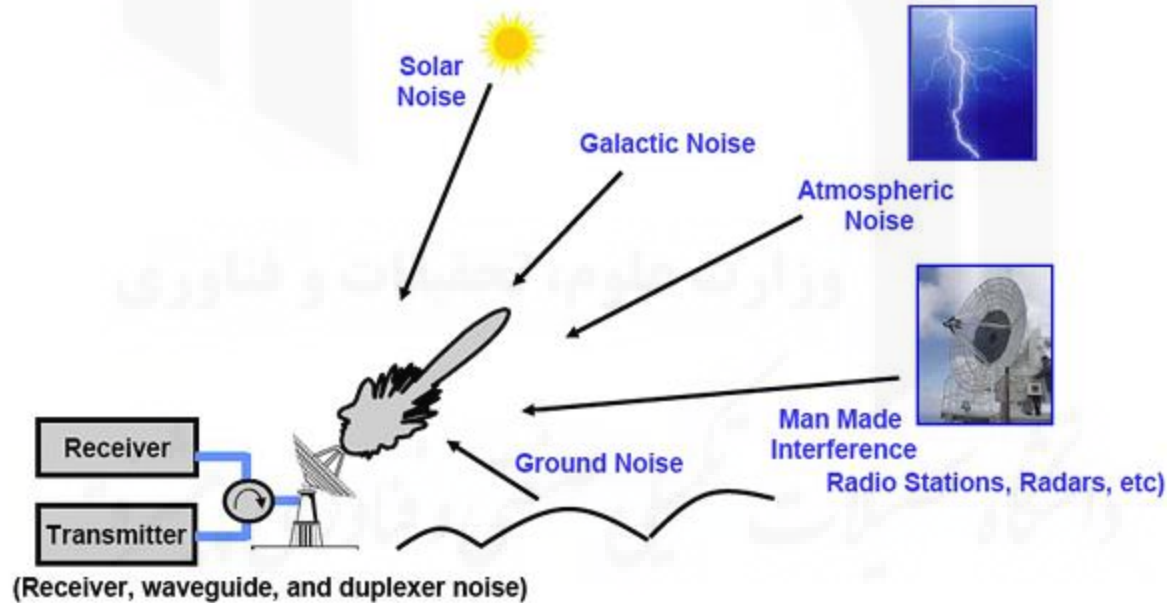
$T_s = T_e + T_A$

T_e : equivalent noise temperature of receiver
 $= T_0(NF - 1)$

T_0 : Reference temperature of 290°K

NF : Noise figure of receiver

T_A : Antenna noise temperature



□ بنابراین اگر نسبت سیگنال به نویز را به صورت زیر تعریف کنیم:

$$SNR = \frac{P_r}{N}$$

□ معادله رادار با در نظر گرفتن تلفات به صورت زیر خواهد شد:

$$SNR = \frac{P_t G^2 \lambda^2 \sigma}{(4\pi)^3 R^4 k T_s B_n L}$$

وزارت علوم، تحقیقات و فناوری

دانشگاه تحصیلات تکمیلی صنعتی و فناوری پیشرفته

□ نمایش معادله رادار بر حسب dB

$$SNR = 10 \log(P_t) + G_t[dB] + G_r[dB] + 20 \log(\lambda) + 10 \log(\sigma) - 33 - 40 \log(R) - 10 \log(kT_s) - 10 \log(B) - L[dB]$$

$10 \log[(4\pi)^3]$

□ با فرض اینکه $T_A = 290^{\circ}K$

$$SNR = 10 \log(P_t) + G_t[dB] + G_r[dB] + 20 \log(\lambda) + 10 \log(\sigma) - 33 - 40 \log(R) - (-204) - 10 \log(NF) - 10 \log(B) - L[dB]$$

$10 \log[kT_0]$

- یک رادار در باند C دارای پارامترهای زیر است:
 - توان پیک ارسالی: $P_t = 1.5 \text{ MW}$
 - فرکانس کار: $f_0 = 5.6 \text{ GHz}$
 - بهره آنتن: $G = 45 \text{ dB}$
 - عدد نویز گیرنده: 3 dB
 - پهنای پالس: $\tau = 0.2 \mu\text{s}$
 - حداقل SNR قابل قبول: 20 dB
 - سطح مقطع راداری: $\sigma = 0.1 \text{ m}^2$
 - دمای نویز آنتن: 290°K
- حداکثر برد رادار را محاسبه کنید.

$$B = \frac{1}{\tau} = \frac{1}{0.2 \times 10^{-6}} = 5 \text{ MHz}$$

$$\lambda = \frac{c}{f_0} = \frac{3 \times 10^8}{5.6 \times 10^9} = 0.054 \text{ m}$$

$$T_s = T_e + T_A = T_0(NF - 1) + T_0 = T_0 NF = 580^\circ \text{K}$$

$$(R^4)_{dB} = (P_t + G^2 + \lambda^2 + \sigma - (4\pi)^3 - kT_s B - (SNR)_{min})_{dB}$$

P_t	λ^2	G^2	$kT_s B$	$(4\pi)^3$	$(SNR)_{min}$	σ
61.761	-25.421	90dB	-133.987	32.976	20dB	-10

$$R^4 = 61.761 + 90 - 25.352 - 10 - 32.976 + 136.987 - 3 - 20 = 197.420 \text{ dB}$$

$$R^4 = 10^{\frac{197.420}{10}} = 55.208 \times 10^{18} \text{ m}^4 \quad R = \sqrt[4]{55.208 \times 10^{18}} = 86.199 \text{ Km}$$

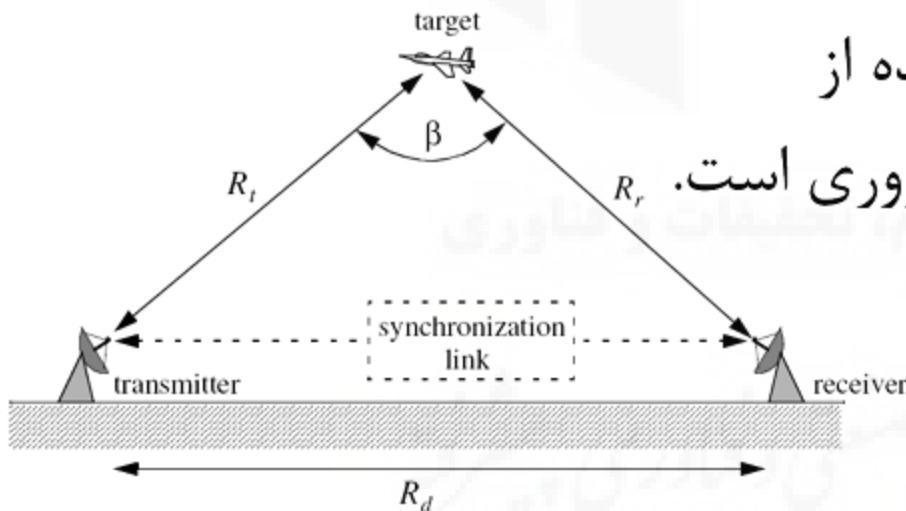
□ سیستم‌های راداری که فرستنده و گیرنده آن‌ها در یک محل قرار دارد را رادارهای **monostatic** گویند.

□ در رادارهای **bistatic** فرستنده و گیرنده در دو محل متفاوت می‌باشند. □ را زاویه bistatic گویند.

□ یک لینک سنکرون کننده بین فرستنده

و گیرنده برای افزایش اطلاعات گیرنده از

سیگنال ارسالی در این سیستم‌ها ضروری است.



□ معادله رادار برای سیستم‌های bistatic مشابه سیستم‌های monostatic قابل تعیین بوده و عبارتست از:

$$SNR = \frac{P_t G_t G_r \lambda^2 \sigma_B}{(4\pi)^3 R_t^2 R_r^2 k T_s B_n L_t L_r L_p}$$

- که در آن σ_B عبارت از سطح مقطع راداری bistatic بوده و مقدار انرژی منعکس شده در راستای گیرنده را مشخص می‌کند.
- برای زوایای bistatic کوچک این سطح مقطع راداری تقریباً برابر با سطح مقطع راداری monostatic بوده ولی برای زوایای bistatic بزرگ مقدار آن نیز بزرگ است.
- L_t ، L_r و L_p نیز به ترتیب عبارتند از: تلفات فرستنده، تلفات گیرنده و تلفات مسیر انتشار موج.

□ معادله رادار برای سیستم‌های bistatic مشابه سیستم‌های monostatic قابل تعیین بوده و عبارتست از:

$$SNR = \frac{P_t G_t G_r \lambda^2 \sigma_B}{(4\pi)^3 R_t^2 R_r^2 k T_s B_n L_t L_r L_p}$$

- که در آن σ_B عبارت از سطح مقطع راداری bistatic بوده و مقدار انرژی منعکس شده در راستای گیرنده را مشخص می‌کند.
- برای زوایای bistatic کوچک این سطح مقطع راداری تقریباً برابر با سطح مقطع راداری monostatic بوده ولی برای زوایای bistatic بزرگ مقدار آن نیز بزرگ است.
- L_t ، L_r و L_p نیز به ترتیب عبارتند از: تلفات فرستنده، تلفات گیرنده و تلفات مسیر انتشار موج.

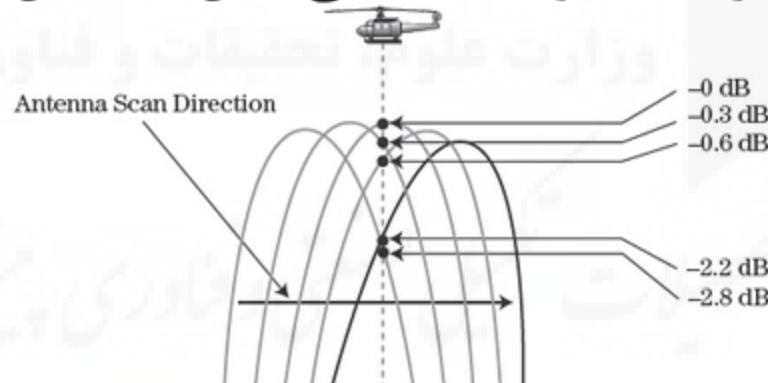
- مقدار SNR به طور معکوس با تلفات متناسب است.
- افزایش تلفات ← کاهش SNR و کاهش احتمال آشکارسازی
- برخی از تلفات مهم رادار
 - تلفات فرستنده و گیرنده
 - تلفات الگوی آنتن
 - تلفات مرور
 - تلفات جوی
 - تلفات collapsing
 - تلفات پردازش

□ تلفات فرستنده و گیرنده

- این تلفات بین فرستنده رادار و ترمینال ورودی آنتن فرستنده و همچنین ترمینال خروجی آنتن گیرنده و گیرنده رادار رخ می دهد.
- معمولاً در حدود 1 dB تا 2 dB

□ تلفات الگوی آنتن

- با اسکن رادار و یا جابجایی هدف، بهره آنتن در راستای هدف همواره ماکزیمم نبوده و توسط الگوی تشعشعی آنتن مشخص می شود.



□ تلفات مرور

□ هنگامیکه آنتن رادار فضا را نسبت به زمان رفت و برگشت سیگنال سریعتر مرور می کند، بهره آنتن در راستای هدف در هنگام ارسال ممکن است با بهره در هنگام دریافت برابر نباشد. این باعث تلفاتی به نام تلفات مرور می شود.

□ این تلفات برای رادارهای مرور کننده برد بلند می تواند مهم باشد.

□ تلفات جوی

□ تلفات جوی تابعی از فرکانس کار، برد هدف، زاویه ارتفاع است.

تلفات collapsing □

- هنگامیکه رادار نمونه های فقط شامل نویز را با نمونه های شامل سیگنال و نویز جمع می زند، SNR از مقدار پیش بینی شده کمتر شده که این مقدار کاهش را تلفات collapsing گویند.
- ضریب تلفات collapsing به صورت زیر تعریف می شود:

$$\rho_c = \frac{\text{number of integrated pulses}}{\text{number of pulses containing both signal and noise}}$$

تلفات پردازش □

- غیر ایده آل بودن فیلتر منطبق

□ گیرنده CFAR (constant false alarm rate)

□ سطح آستانه

□ تلفات straddling برد

□ تلفات straddling فیلتر داپلر