

Radarové systémy

Tomáš Kořínek – K13117

Pavel Puričer – K13137

Pavel Kovář – K13137

Osnova Předmětu

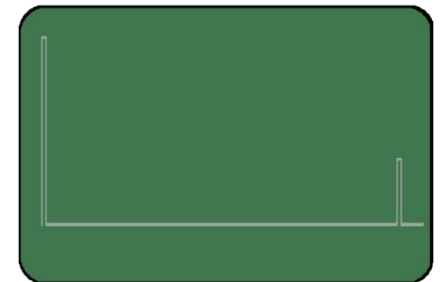
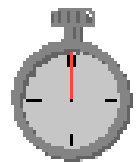
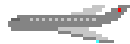
1. Úvod do radarových systémů - vývoj radarové techniky, aplikace radarů (letectví, automotive, doprava, sledování počasí, dálkový průzkum Země, vojenské aplikace), základní pojmy v oblasti radarové techniky.
2. Radarová rovnice, kmitočtová pásma, šíření rádiových vln, útlum v atmosféře, efektivní odrazná plocha (RCS), stealth technologie.
3. Radarové vysílače - Struktura vysílačů - komponenty, zdroje vln signálu, koncové výkonové stupně, základní parametry vysílačů.
4. Radarové přijímače - struktura přijímačů, komponenty, lokální oscilátory, základní parametry přijímačů, šumové parametry.
5. Radarové antény - reflektorové antény a ozařovače, anténní řady, fázované anténní řady, monopolní anténa, parametry antén, antény pro 2D/3D radar, konstrukce antén.
6. Typy radarových signálů (CW, pulsní, DSSS), metody zpracování signálu.
7. Určování vzdálenosti, nejednoznačnost, Dopplerovská filtrace, slepé úhly a rychlosti.
8. Určování pozice radarového cíle. Metody zpracování radarových měření. Algoritmy triangulace, multilaterace (hyperbolická, eliptická metoda).
9. Neletecké radarové systémy - radary pro měření rychlosti, automotive radary, říční radar, radarové detektory pohybu.
10. Letecké radarové systémy - přehledový radar, letištní přehledový radar, přehledový pozemní radar, přistávací radar, sekundární radar, multilaterační systémy.
11. Letecké radarové systémy - sekundární přehledový radar, módy A, C a S, squitter, extended squitter, ADS-B, ADS-C, TCAS.
12. Letecké radarové systémy - primární, sekundární a terciární zpracování radarových signálů a radarových měření.
13. Letecké radarové systémy - pasivní radary, principy, signály, určení polohy cíle a přesnost.
14. Radarové systémy pro sledování počasí a dálkový průzkum - meteorologické radary, georadar (Ground Penetrating Radar - GPR), radar se syntetickou aperturou (Synthetic Aperture Radar - SAR).

Absolvování předmětu

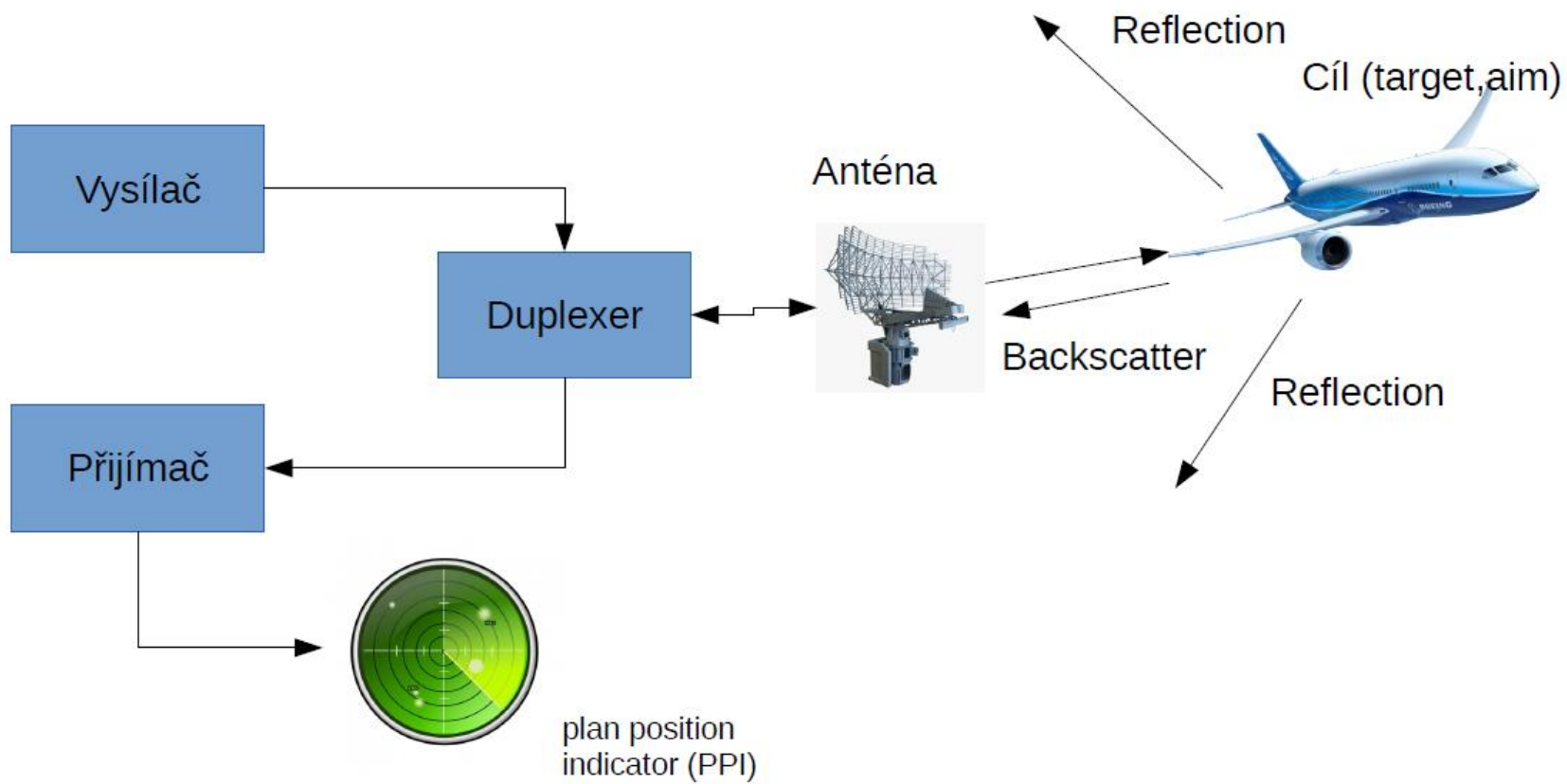
- Požadavky

Radar

RAdio **D**etection **A**nd **R**anging
Rádiová detekce a určování polohy



Radar



Historie



1865 James Clerk Maxwell “Theory of the Electromagnetic Field” (description of the electromagnetic waves and their propagation)

1886 Heinrich Rudolf Hertz discovered electromagnetic waves, thus demonstrating the Maxwell theory.

1897 Guglielmo Marconi achieved the first long distance transmission of electromagnetic waves.

1900 Nicola Tesla suggested that the reflection of electromagnetic waves could be used for detecting of moving metallic objects.

1904 Christian Hülsmeyer invents the "[telemobiloscope](#)" for a traffic monitoring on the water in poor visibility. This is the first practical radar test. Hülsmeyer apply his invention for a patent in Germany, France and the United Kingdom.

1921 The [invention of the Magnetron](#) as an efficient transmitting tube by the US-american physicist [Albert Wallace Hull](#).

1922 The American electrical engineers [Albert H. Taylor](#) and [Leo C. Young](#) of the Naval Research Laboratory (USA) locate a wooden ship for the first time.

1930 Lawrence A. Hyland (also of the Naval Research Laboratory), locates an aircraft for the first time.

1931 In Britain the first known proposal for radar system came from [William A. S. Butement](#) and P. E. Pollard in January 1931. They equipped a ship with radar.

1933 On the basis of the in 1931 from himself invented sonar, Rudolph Kühnhold presented a so-called “Funkmessgerät”. It worked on a wavelength of 48 cm and the transmitter had a power of about 40 Watts. From these tests, the [Freya](#)-radar was developed, which was produced in series beginning in 1938.

1935 Robert Watson-Watt (later: Sir Robert) suggested that radio waves might be used to detect aircraft at a distance and outlined a means of doing so. Intensive research began and by 1939 Britain possessed a defensive chain of highly secret Radio Direction Finding (RDF) stations.

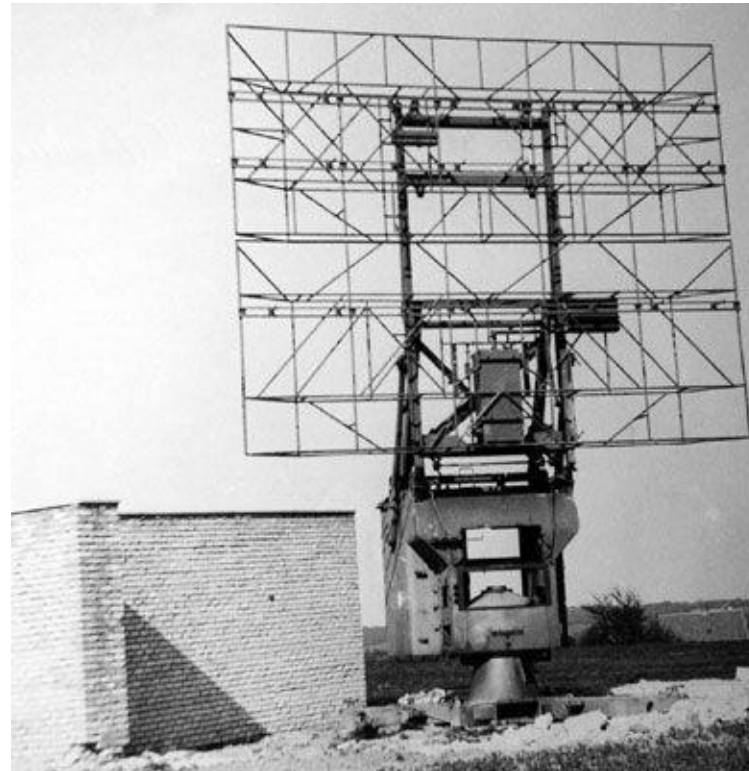
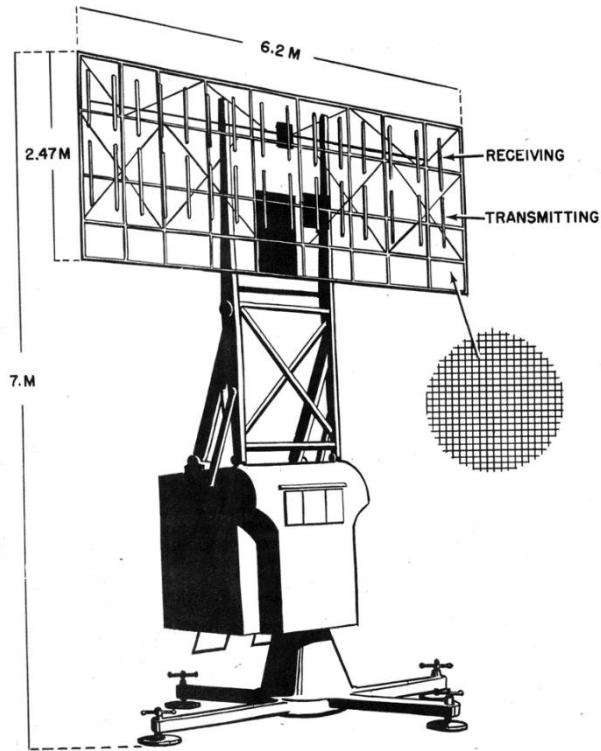
1936 The development of the Klystron by the technicians George F. Metcalf and William C. Hahn, both General Electric. This will be an important component in radar units as an amplifier or an oscillator tube.

1939 Two engineers from the university in Birmingham, John Turton Randall und Henry Albert Howard Boot built a small but powerful radar using a Multicavity-Magnetron. The B–17 airplanes were fitted with this radar.

1940 Different radar equipments are developed in the USA, Russia, Germany, France and Japan.

Historie

Radar Freya



Würzburg radar



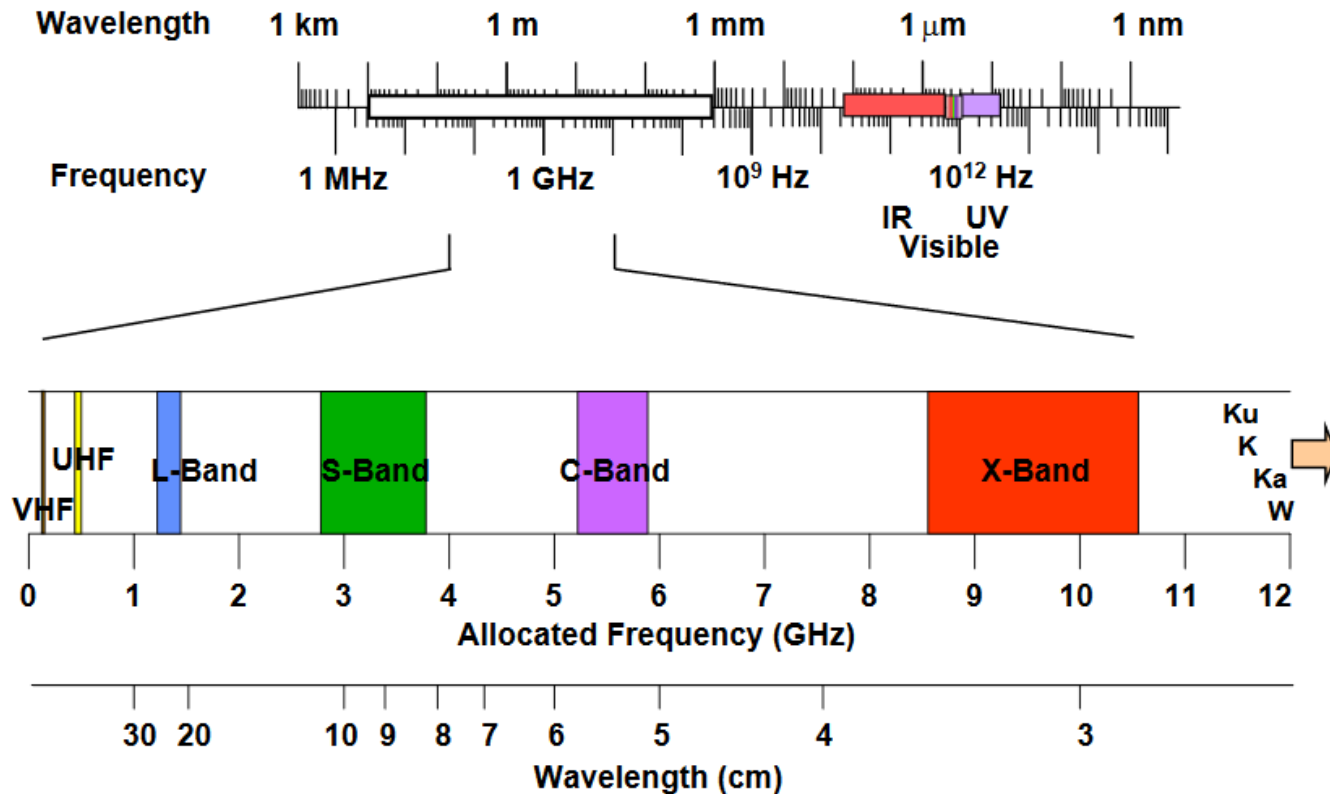
Historie

Chain Home



- **Frequency**
 - 20-30 MHz
- **Wavelength**
 - 10-15 m
- **Antenna**
 - Dipole Array on Transmit
 - Crossed Dipoles on Receive
- **Azimuth Beamwidth**
 - About 100°
- **Peak Power**
 - 350 kW
- **Detection Range**
 - ~160 nmi on German Bomber

Frequency bands



HF	3 – 30 MHz		
VHF	30 MHz–300 MHz	↕	Search Radars
UHF	300 MHz–1 GHz		
L-Band	1 GHz–2 GHz	↕	Search & Track Radars
S-Band	2 GHz–4 GHz		
C-Band	4 GHz–8 GHz	↕	Fire Control & Imaging Radars
X-Band	8 GHz–12 GHz		
Ku-Band	12 GHz–18 GHz	↕	Missile Seekers
K-Band	18 GHz–27 GHz		
Ka-Band	27 GHz–40 GHz		
W-Band	40 GHz – 100+ GHz	↕	

Druhy radiolokace

**Aktivní radiolokace
s pasivní odezvou**

(Primární radar - PSR)



RL-4

**Aktivní radiolokace
s aktivní odezvou**

(Sekundární radar - SSR)



MSSR-1

Pasivní radiolokace

(Pasivní radar)



Vera-NG

Poloaktivní radiolokace

(„Střelecký“ radar)



2K12 - KUB

Další klasifikace

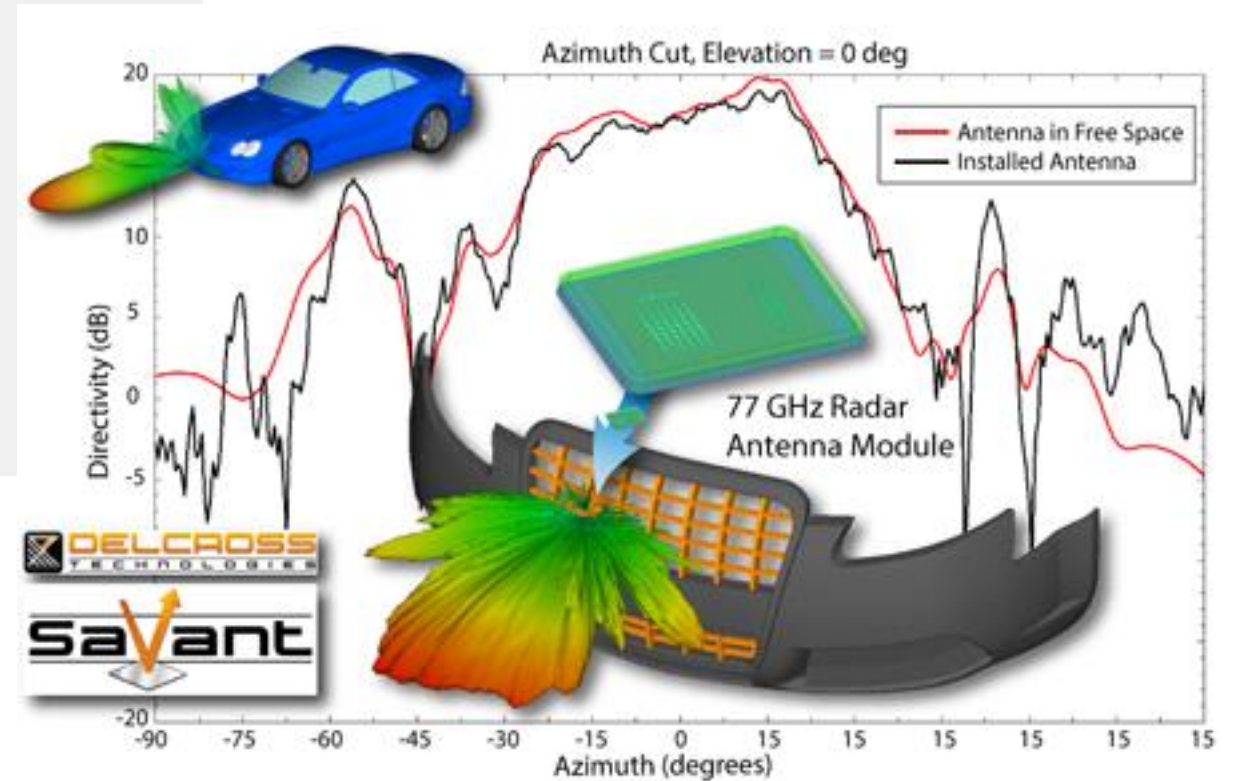
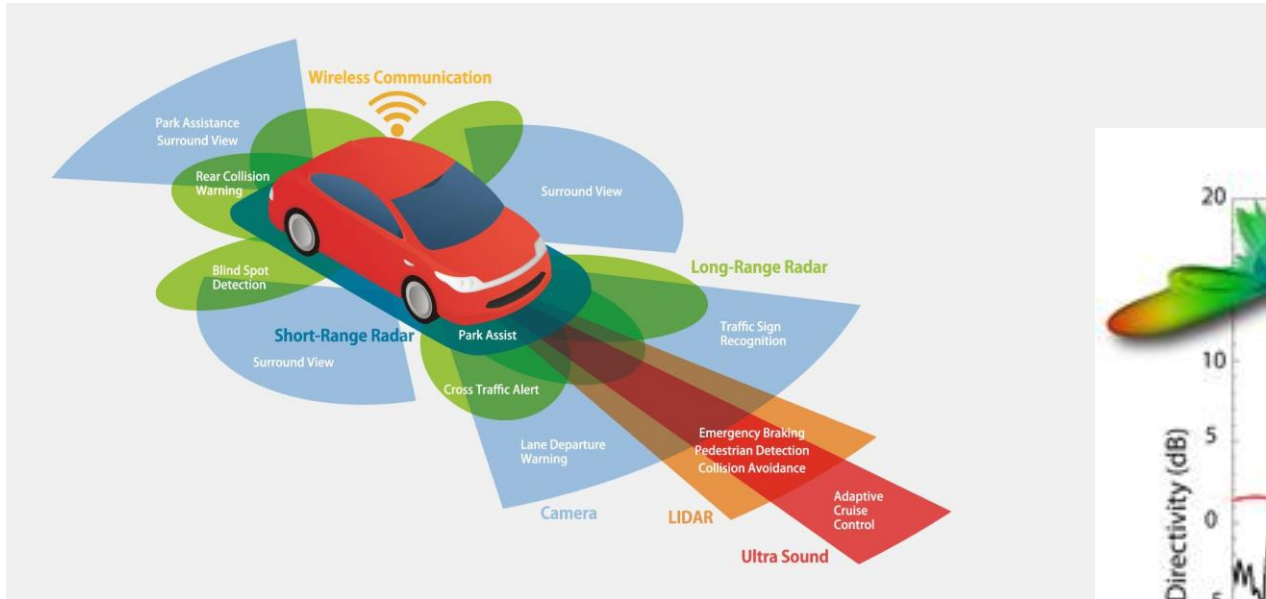
- CW (FMCW, FMiCW) / Pulse radar
- 2D / 3D radar
- Civilian / Military
- Non-coherent / Coherent
- Monostatic / Bistatic / Multistatic

Radar – základní (provozní) pojmy

- Echo – odezva/odraz
- Target - cíl
- Range / Slant Range – vzdálenost přímé spojnice
- **Maximum Unambiguous Range** - maximální dosah radaru
- Minimum Range (blind range) – minimální dosah radaru
- Down Range – vzdálenost k cíli na povrchu (průmět přímé spojnice)
- Target Resolution
 - Range resolution – rozlišení ve vzdálenosti (rozlišení cílů)
 - Angle resolution – rozlišení v úhlu

Aplikace

- Automotive



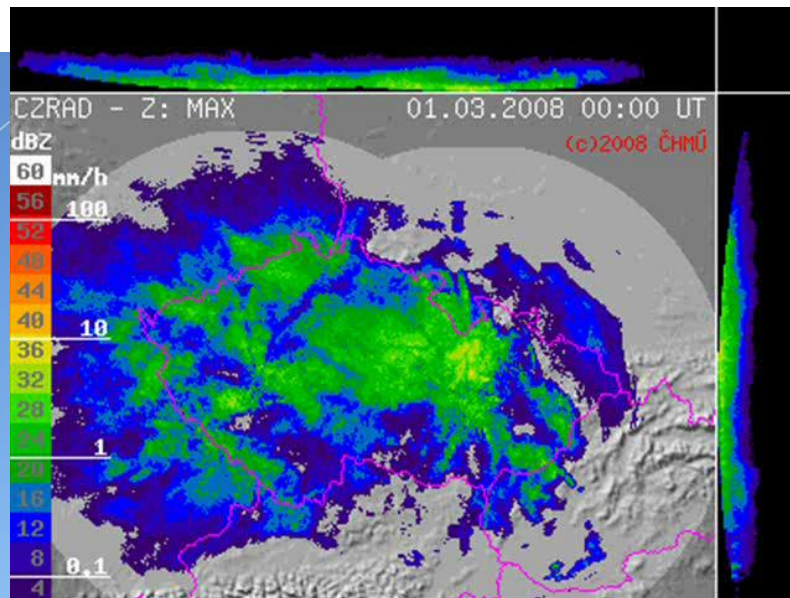
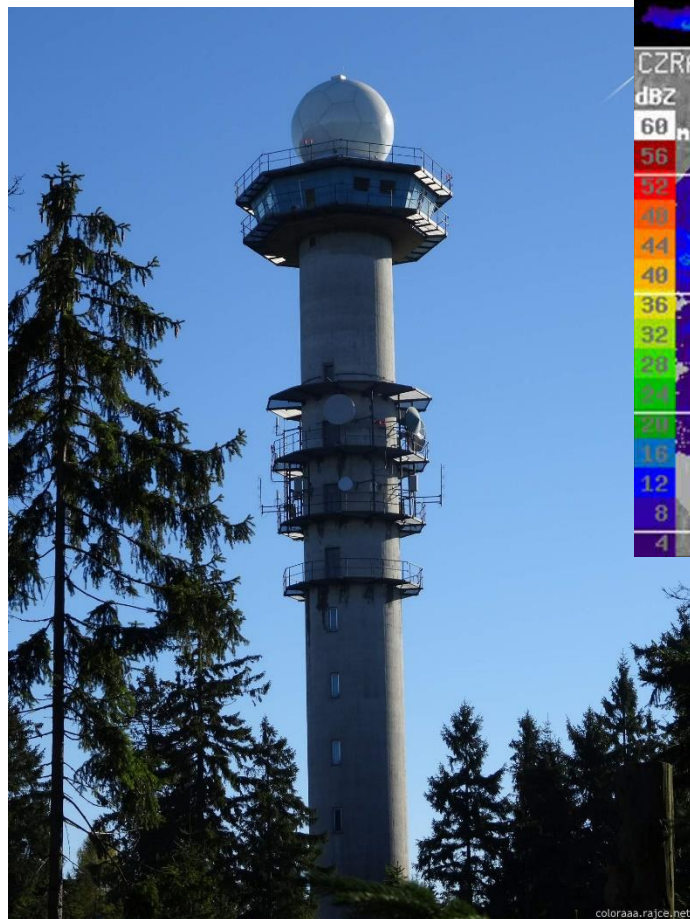
Aplikace

- Speed



Aplikace

- Meteorological radar



Bouře Emma



Aplikace

- Over The Horizon Radar

Duga-1

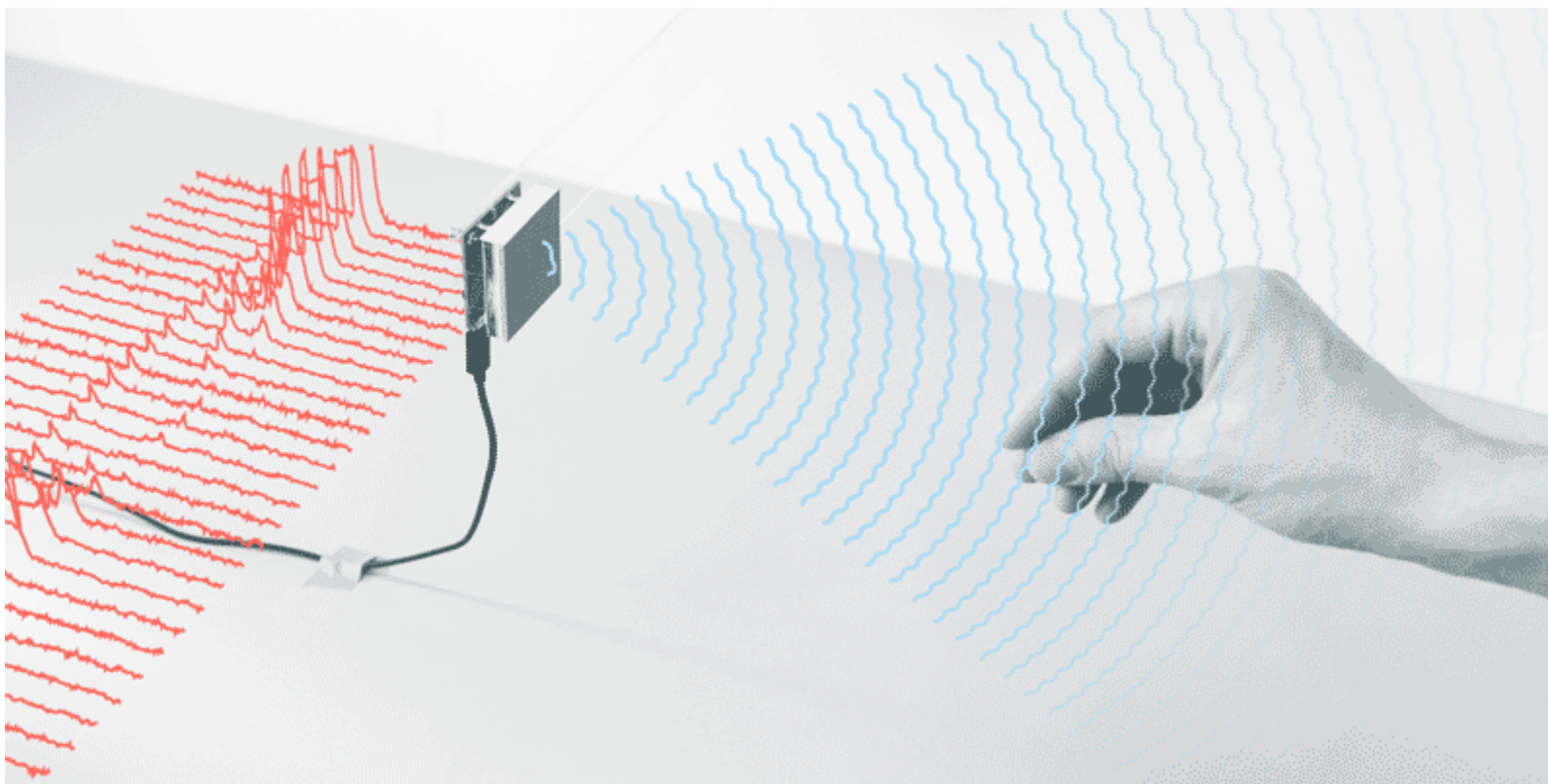
- Raketový štít
- Oblast Černobilu
- 1976
- 10MW
- NATO Code: STEEL YARD
- 3.26 – 17.54 MHz / 4 – 30 MHz
- Opakovací kmitočet 10 Hz
- <https://www.youtube.com/watch?v=Ux9ZhotNtrg>
- <https://youtu.be/aOMVdOc9UbE>



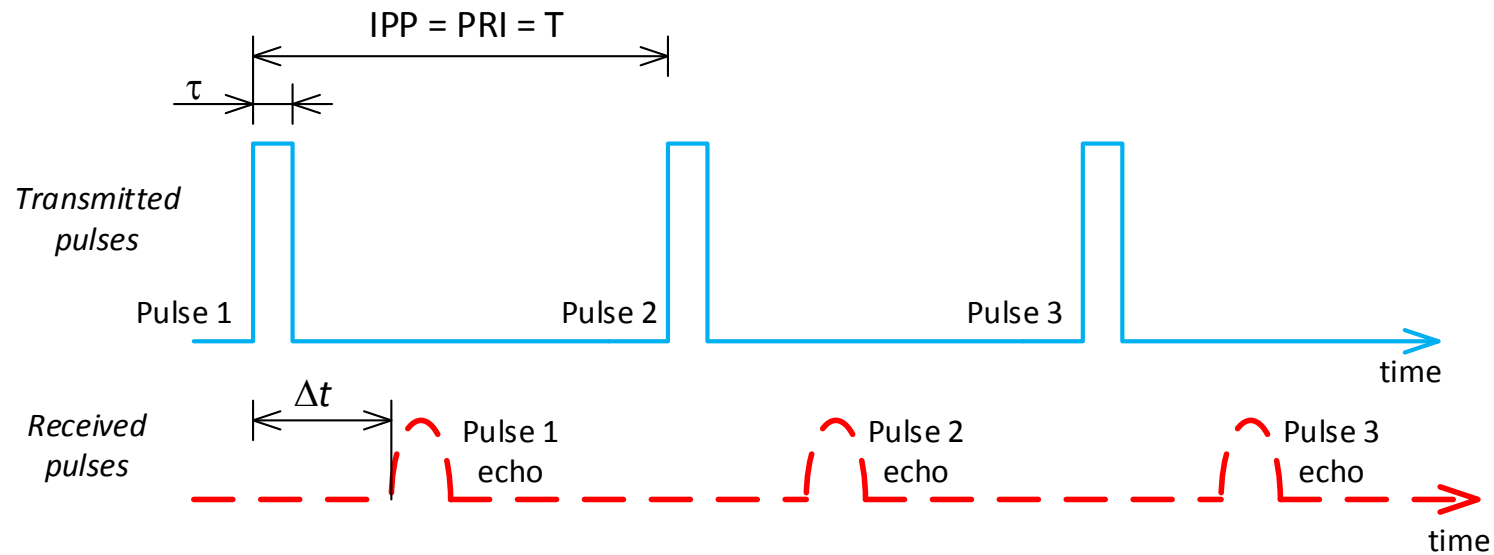
Aplikace

- Radar „gest“

Project Soli

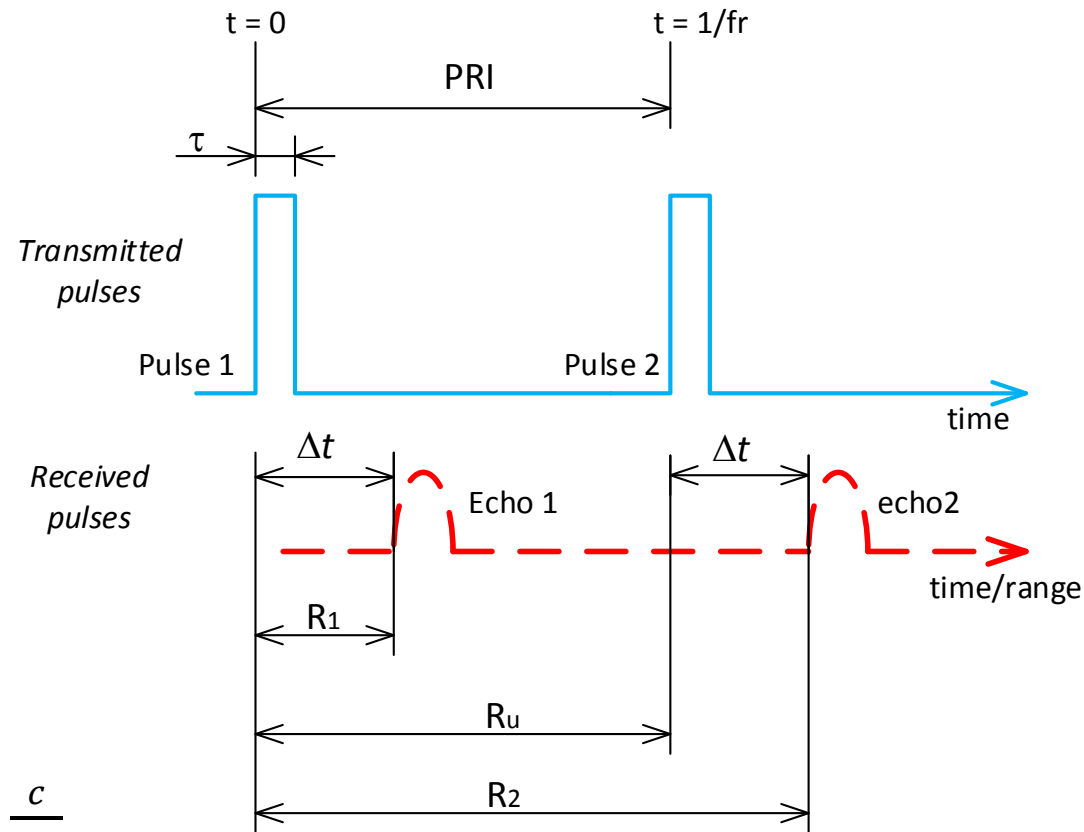


Radar Range – Pulse Radar



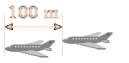
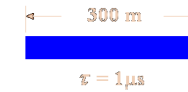
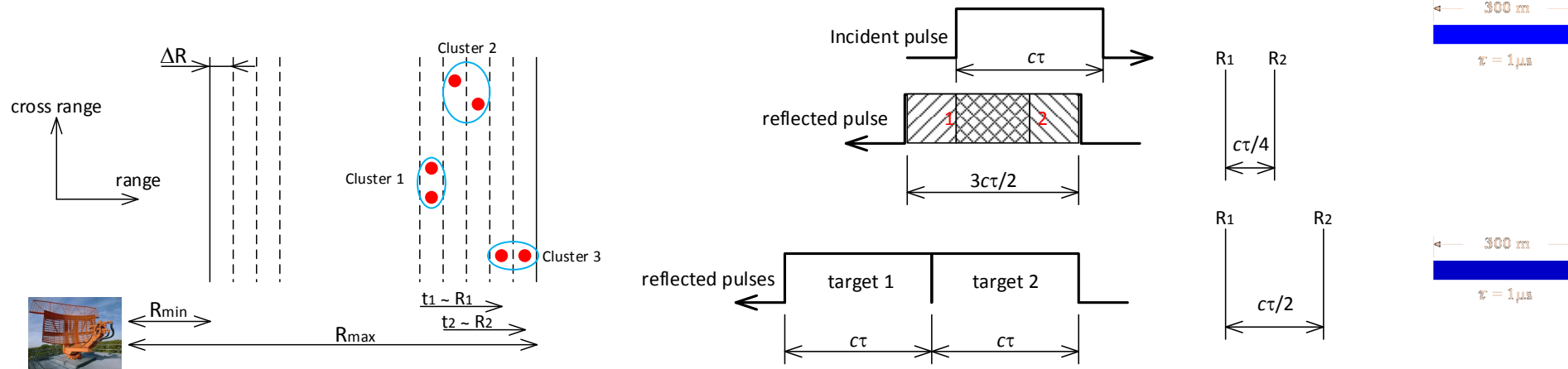
- IPP...Inter Pulse Period
- PRI...Pulse Repetition Interval
- PRF...Pulse Repetition Frequency: $f_r = PRF = \frac{1}{PRI} = \frac{1}{T}$
- τ ... pulse width
- d_t ... radar transmitting duty cycle (factor): $d_t = \frac{\tau}{T}$
- Δt ... time delay
- R ... slant range: $R = \frac{c\Delta t}{2}$
- P_{av} ...radar average transmitted power: $P_{av} = P_t d_t$
- P_t ...radar peak transmitted power
- E_p ...pulse energy: $E_p = P_t \tau = P_{av} T = \frac{P_{av}}{f_r}$

Radar Range – Pulse Radar

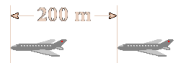
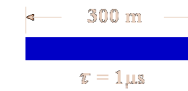


- $R_1 = \frac{c\Delta t}{2}$
- $R_2 = \frac{c\Delta t}{2}$ or $R_2 = \frac{c(T+\Delta t)}{2}$
- **Maximum Unambiguous Range:** $R_u = \frac{cT}{2} = \frac{c}{2f_r}$

Range resolution– Pulse Radar



© 2009 Christian Wolff

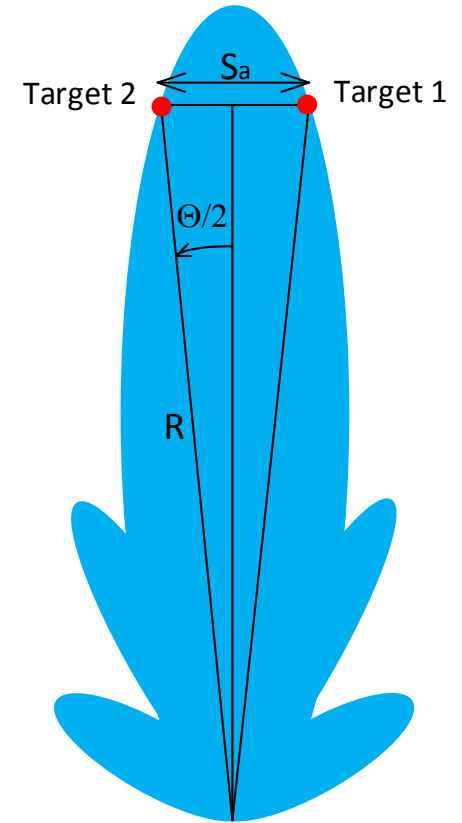


© 2009 Christian Wolff

- M ... range bins (gates): $M = \frac{R_{max} - R_{min}}{\Delta R}$
- ΔRrange resolution: $\Delta R = R_2 - R_1 = c \frac{t_2 - t_1}{2} = c \frac{\delta t}{2} \rightarrow \Delta R = \frac{c\tau}{2} = \frac{c}{2B}$
- B....radar bandwidth: $B = \frac{1}{\tau}$
- R_{min} Minimum range: $R_{min} = \frac{c(\tau + t_{recovery})}{2}$

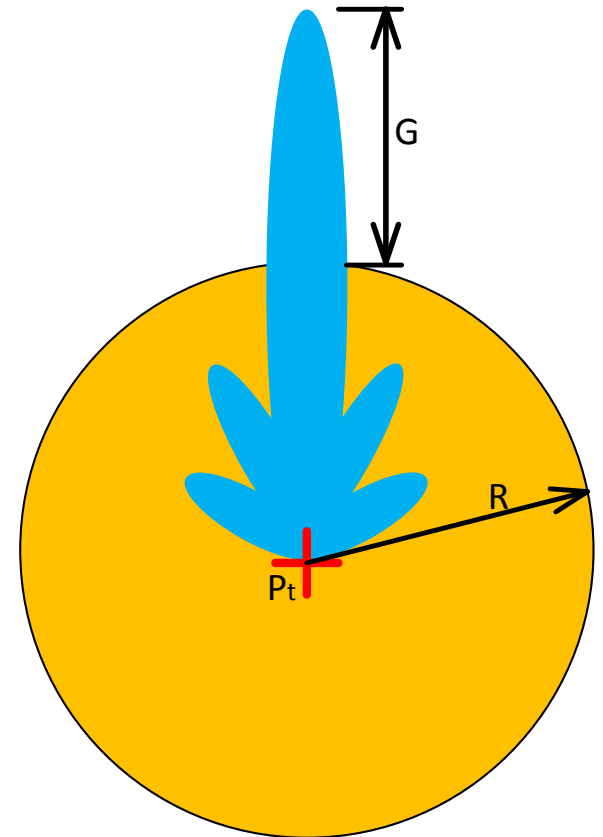
Angular resolution

- Θ ... Antenna beamwidth (-3dB)
- Angular resolution: $S_a \geq 2R \sin \frac{\Theta}{2}$
- S_a ... Angular resolution as a distance between two targets
- R ... Slant range

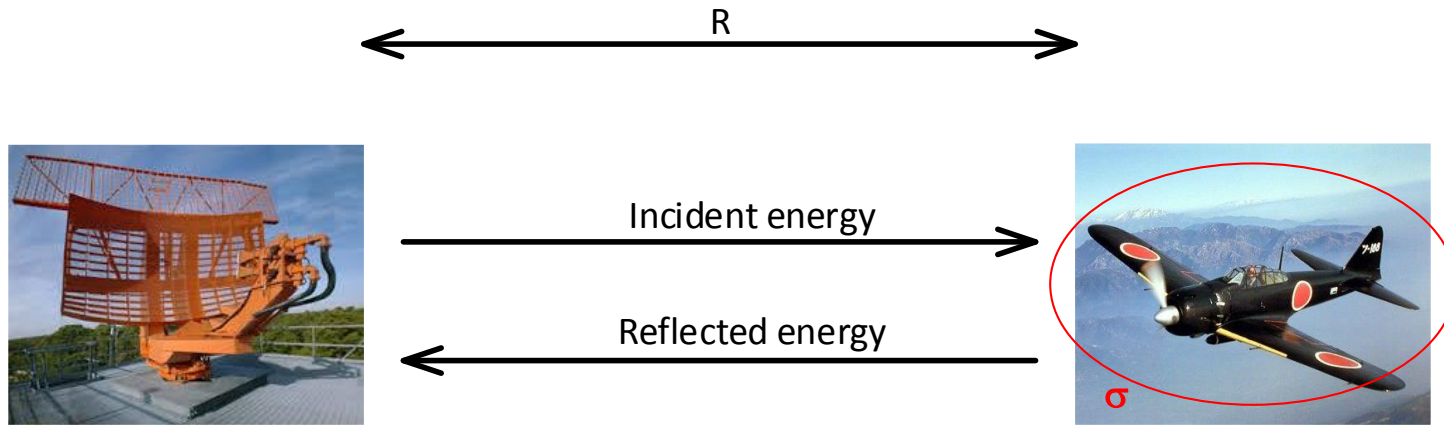


Radar range equation

- $P_D = S$ Power density (isotropic antenna): $P_D = S = \frac{P_t}{4\pi R^2}$ $\left[\frac{W}{m^2}\right]$
- P_t Peak transmitted power $[W]$
- $4\pi R^2$ Surface area of the sphere (radius R) $[m^2]$
- G Antenna gain: $G = D = \eta \frac{4\pi}{\lambda^2} A_{em} = \frac{4\pi}{\lambda^2} (\eta A_{em}) = \frac{4\pi A_e}{\lambda^2}$
- $P_D = S$ Power density (directional antenna): $P_D = S = \frac{P_t G}{4\pi R^2}$ $\left[\frac{W}{m^2}\right]$
- A_e ... Effective area of the receiving antenna $[m^2]$



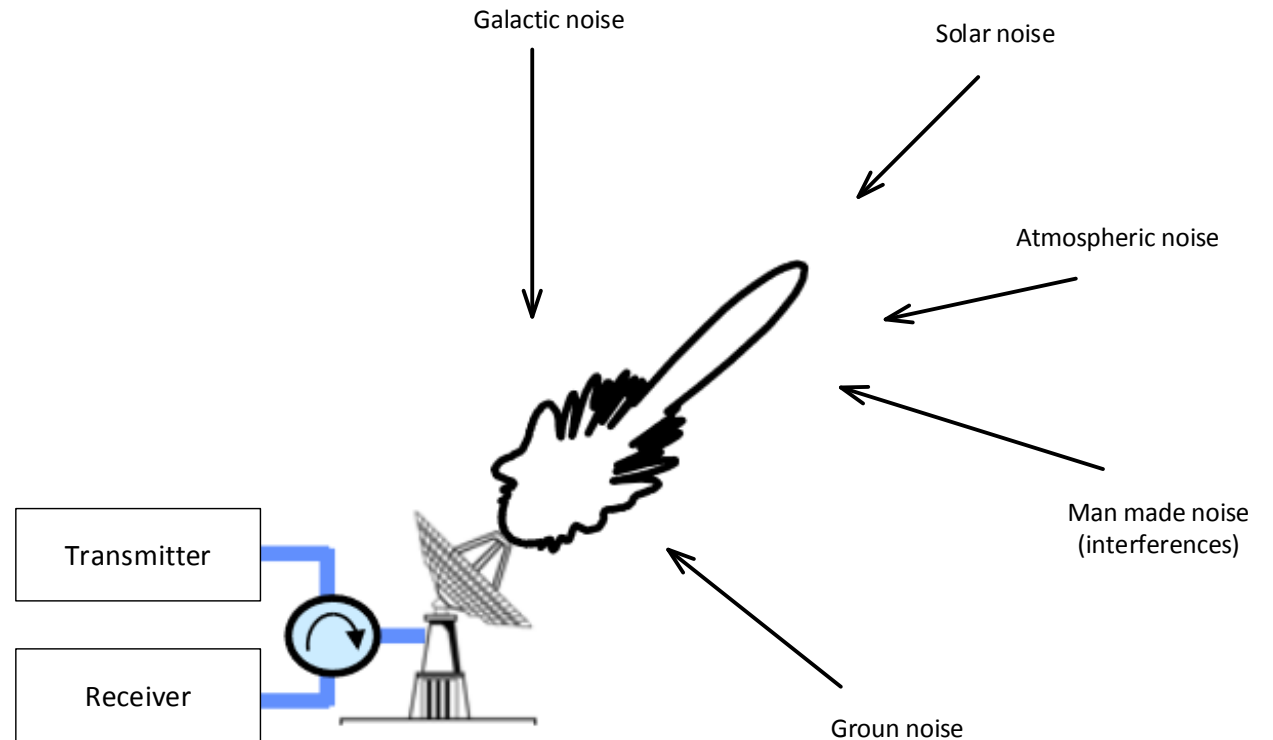
Radar range equation



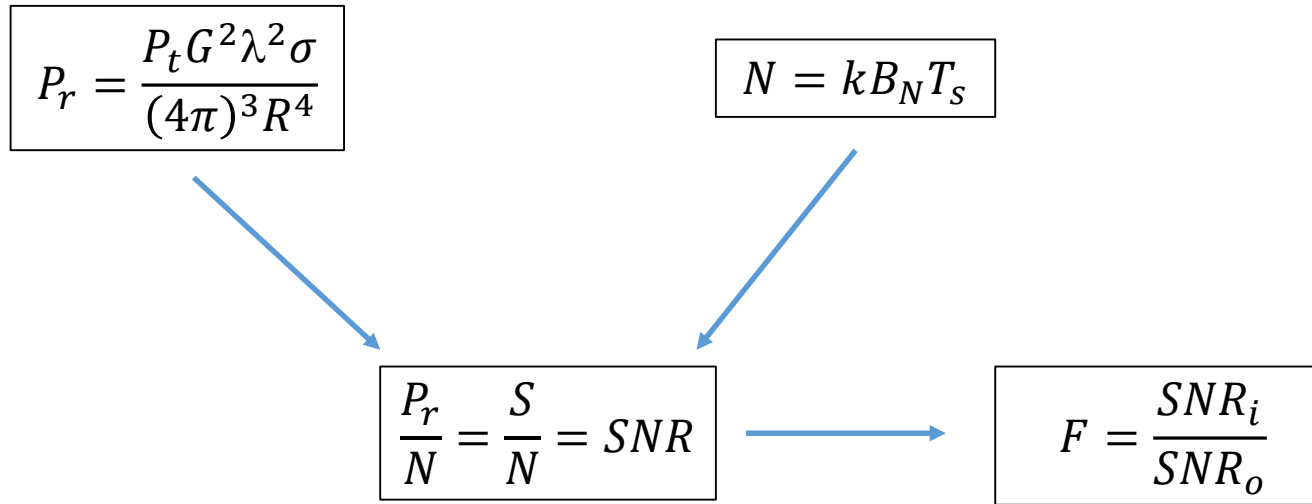
- σ = RCSRadar Cross Section [m^2]
- Power of reflected signal at the target $\frac{P_t G}{4\pi R^2} \sigma$
- Power density of reflected signal at the radar $\frac{P_t G}{4\pi R^2} \frac{\sigma}{4\pi R^2}$
- **Received power** (power density at the radar times the area of the receiving antenna): $P_r = \frac{P_t G}{4\pi R^2} \frac{\sigma A_e}{4\pi R^2} = \frac{P_t G^2 \lambda^2 \sigma}{(4\pi)^3 R^4}$
- A_e ... Effective area of the receiving antenna [m^2]
- $P_{r \min}$ Minimum detectable signal power (sensitivity) → **Maximum radar range:** $R_{\max} = \sqrt[4]{\frac{P_t G^2 \lambda^2 \sigma}{(4\pi)^3 P_{r \min}}}$

Radar range equation - noise

- The total effect of the noise sources is represented by a single noise source at the antenna output terminal.
- Noise power at the receiver: $N = kB_N T_S$
- k Boltzmann's constant
- T_S System noise temperature
- B_N Noise bandwidth of receiver



Radar range equation - noise



- SNR at the receiver output: $SNR = \frac{P_t G^2 \lambda^2 \sigma}{(4\pi)^3 R^4 k B_N T_s L}$
- L ... Total system losses

- For $T_s = T_0 F$ $SNR = \frac{P_t G^2 \lambda^2 \sigma}{(4\pi)^3 R^4 k B_N F T_0 L} \rightarrow R_{max} = \sqrt[4]{\frac{P_t G^2 \lambda^2 \sigma}{(4\pi)^3 k T_0 B_N F SNR L}}$

System noise temperature

- The system noise temperature (T_s) is divided into 3 components:

- $$T_s = T_a + T_e$$

- T_a ... antenna noise temperature, loss within antenna

- T_e ... noise temperature of the receiver

- $$T_s = T_a + T_e = T_0(F - 1) + T_a = T_0F - T_0 + T_a$$