

Co je nového v technice radiolokátorů

Radiokomunikace 2015

Libor DRAŽAN

**Katedra radiolokace
Fakulta vojenských technologií
Univerzita obrany**

libor.drazan@unob.cz

Obsah přednášky

1. **Technologie STEALTH a její dopady**
2. **Bistatická radiolokace**
3. **Radiolokace v pásmech KV a VKV**
4. **Širokopásmový radiolokátor
(Ultra Wide Band – UWB)**
5. **Radiolokátory se syntetickou aperturou a
inverzní syntetickou aperturou**
6. **Další techniky ke snížení vlivu STEALTH**

Obecný trend v radiolokaci

- 1. Zjistit a sledovat cíl s co nejmenší odraznou plochou s vysokou pravděpodobností**
- 2. Maximálně snížit vlastní projevy**
- 3. Pokrýt celé území ve všech výškách**
- 4. Zamezit vzájemnému rušení (kompatibilita)**
- 5. Spolehlivý a proti rušení odolný radiolokační systém**

1. Technologie STEALTH a její dopady

STEALTH - definice

- **Bojový prostředek využívající technologii STEALTH je konstruován tak, aby byla snížena jeho detekce radiolokátory, detektory v infračerveném i viditelném spektru a v akustickém spektru.**
- **Snížení detekce je dosahováno omezením odrazivosti a vyzařování elektromagnetických nebo akustických vln v odpovídajícím spektru.**

1. Technologie STEALTH a její dopady

STEALTH - způsoby řešení

- Přizpůsobení impedance prostředí volnému prostoru pokrytím útlumovou vrstvou s impedancí 377Ω umístěnou ve vzdálenosti $\lambda/4$ od povrchu bojového prostředí.
- Mezeru mezi útlumovou vrstvou a povrchem bojového prostředí lze zmenšit jejím vyplněním materiálem, ve kterém je vlnová délka menší než ve vnějším prostoru - materiál s nízkou vodivostí a velkým poměrem permeability k dielektrické konstantě.

Vhodné pouze pro pásmo centimetrových vln

1. Technologie STEALTH a její dopady

STEALTH - způsoby řešení

Pro snížení odrazivosti objektů v širším kmitočtovém pásmu se používá několik dalších technik:

- Pokrytí objektu materiálem absorbujícím rádiové vlny (Radio Absorbing Material – RAM).
- Použití kompozitního materiálu transparentního pro rádiové vlny.
- Odstranění rohů, hran, koutů a povrchových nespojitostí z objektu.
- energii odraženou od objektu nasměrovat mimo směr, ze kterého je objekt ozařován.

1. Technologie STEALTH a její dopady

Porovnání účinné odrazné plochy cílů

Objekt	Radiolokační účinná odrazná plocha [m ²]
Malý jednomotorový letoun	1
Strategický bombardér B52	100
Malá otevřená loď	0,02
Fregata (výtlak 1000 t)	5000
Nákladní automobil	200
Osobní automobil	100
Jízdní kolo	2
Osoba	1
Pták	0,01
UAV (Unmanned Aerial Vehicle) - dron	0,01-0,02
Hmyz	10 ⁻⁵

1. Technologie STEALTH a její dopady

Porovnání účinné odrazné plochy cílů

Objekt	Radiolokační účinná odrazná plocha [m²]
Strategický bombardér B1B	0,75
Strategický bombardér B2	0,1
Stíhací letoun F117A	0,025

1. Technologie STEALTH a její dopady

Důsledky snížení účinné odrazné plochy cílů

Vliv použití technologie STEALTH na radiolokační cíle lze nejlépe posoudit s využitím základní radiolokační rovnice.

$$r_{\max} = \left[\frac{P_t G^2 \lambda^2 \sigma L}{(4\pi)^3 k T_0 B F S / N_{\min}} \right]^{1/4}$$

Při snížení radiolokační účinné odrazné plochy σ z hodnoty 100 m² na hodnotu 0,01 m² použitím technologie STEALTH, dojde k **desetinásobnému snížení dosahu** radiolokátoru na tento cíl a tím se výrazně zkrátí doba, během které může obránce reagovat na vzdušný útok.

1. Technologie STEALTH a její dopady

STEALTH - příklady aplikací



F-117 Nighthawk

1. Technologie STEALTH a její dopady

STEALTH - příklady aplikací



B-2 Spirit

1. Technologie STEALTH a její dopady

STEALTH - příklady aplikací



Suchoj T-50

1. Technologie STEALTH a její dopady

STEALTH - příklady aplikací



Chengdu J-20

1. Technologie STEALTH a její dopady

STEALTH - příklady aplikací



Fregata La Fayette

1. Technologie STEALTH a její dopady

STEALTH - příklady aplikací



Rychlé plavidlo Sea Shadow

1. Technologie STEALTH a její dopady

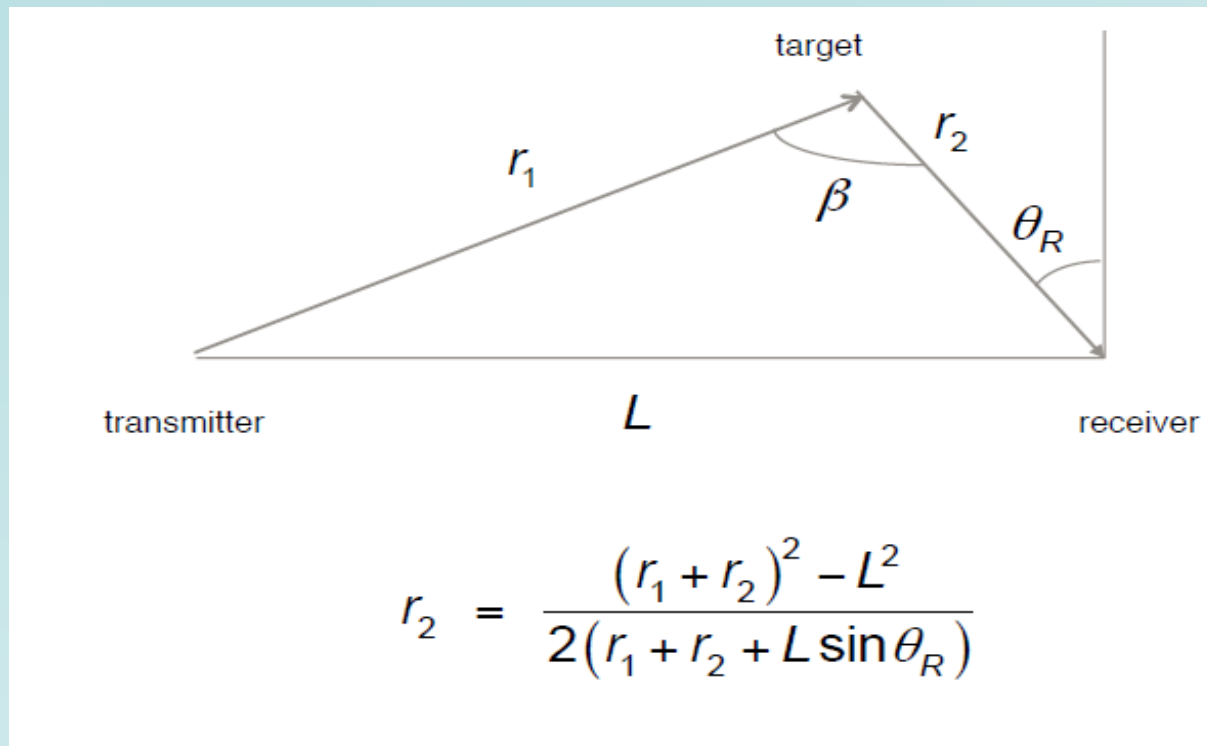
Radiolokační techniky použitelné pro snížení účinnosti technologie STEALTH

- **Bistatické radiolokátory**
- **KV nebo VKV radiolokátory**
- **Širokopásmový radiolokátor (Ultra Wide Band – UWB)**
- **Radiolokační sítě**
- **Zlepšení technických parametrů běžně používaných radiolokátorů**

2. Bistatická radiolokace

Definice bistatického radiolokátoru

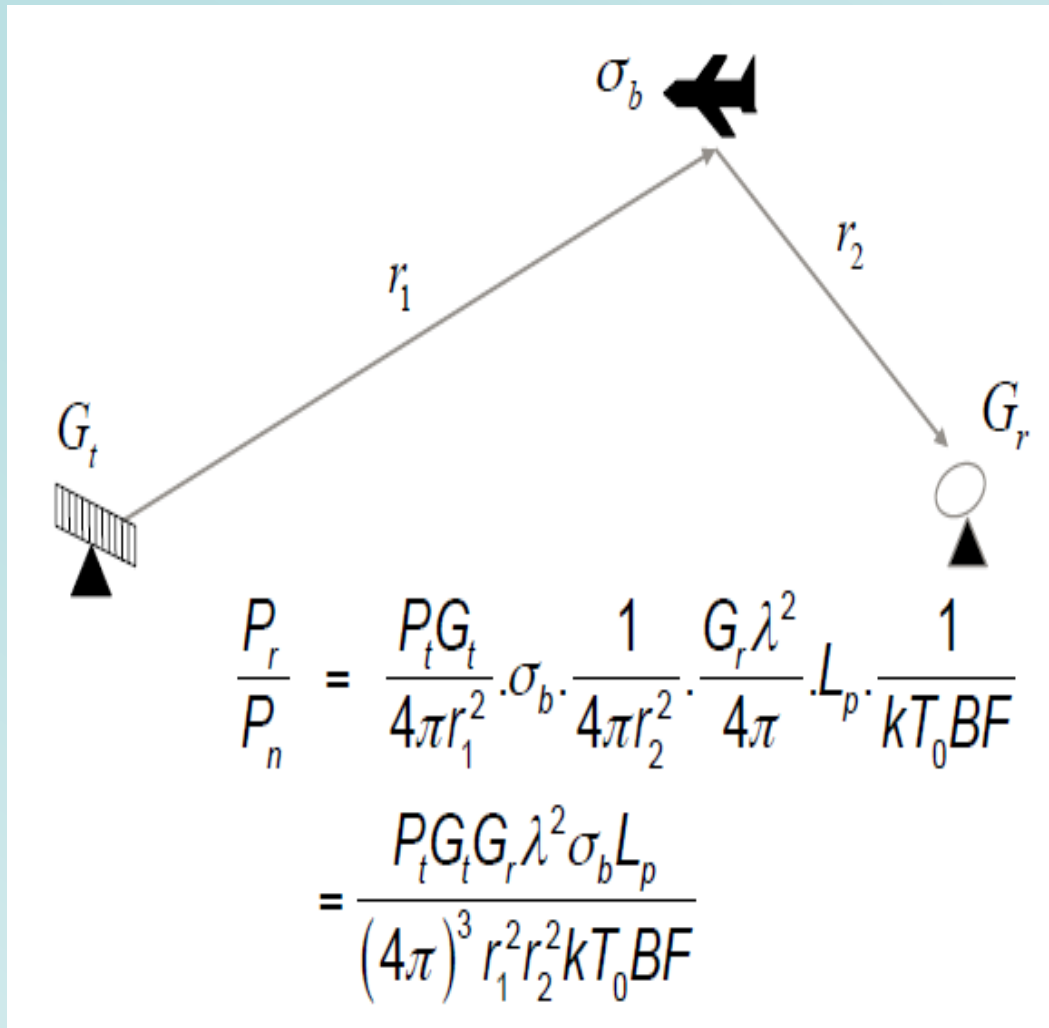
Bistatický radiolokátor je definován jako radiolokační systém, který má vysílač a přijímač umístěný na jiném místě.



Základní geometrické uspořádání bistatického radiolokátoru.

2. Bistatická radiolokace

Odvození radiolokační rovnice pro bistatický radiolokátor

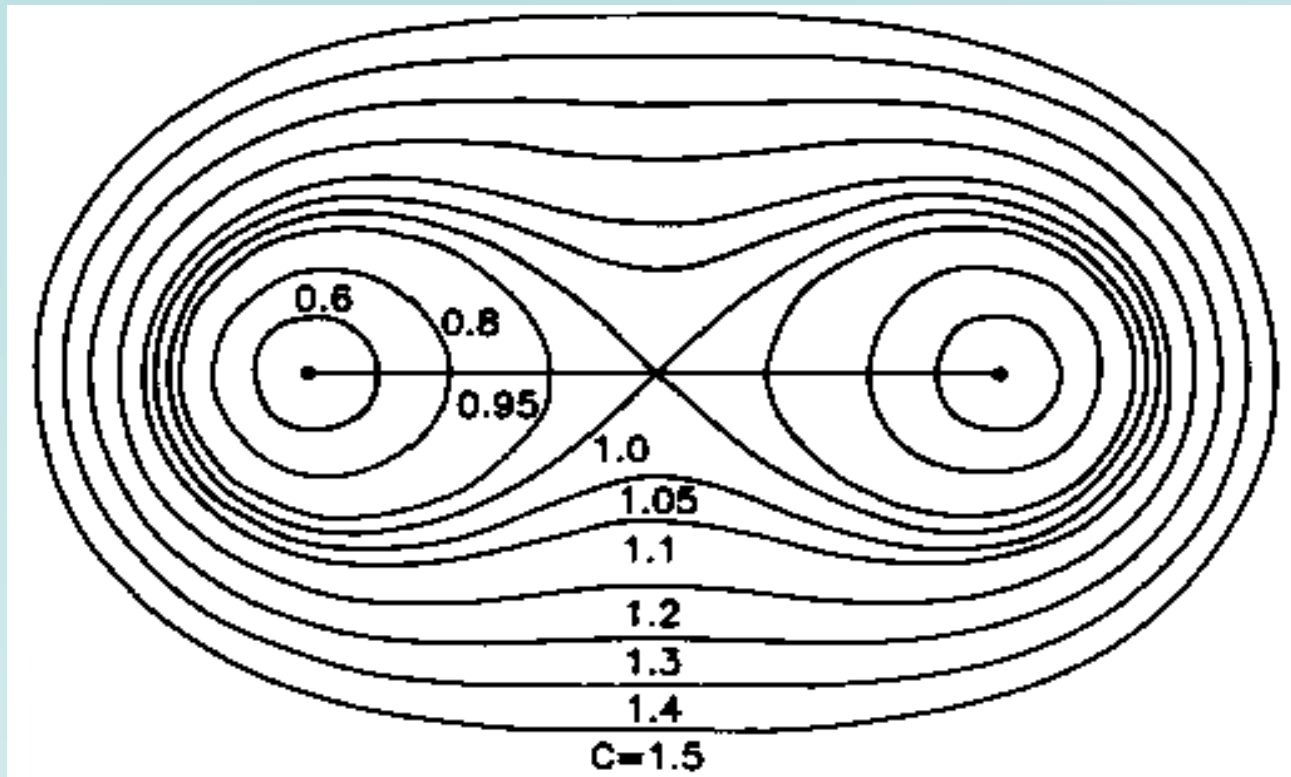


2. Bistatická radiolokace

Cassiniho elipsy

Z bistatické radiolokační rovnice lze znázornit tzv. Cassiniho elipsy znázorňující konstantní detekční vzdálenosti

$$r_1 r_2 = \text{konstanta} = c.$$



1. Technologie STEALTH a její dopady

Přehled testovaných bistatických systémů

Pro bistatickou radiolokaci jsou využívány nebo testovány následující druhy vysílačů:

- Značné množství radiolokátorů pro řízení letového provozu, radiolokátory včasné výstrahy atd. – obvykle provádějí skenování v azimutu, což vyžaduje synchronizaci přijímače s vysílačem.
- Amplitudově modulované rádiové vysílače v pásmu KV – použité kmitočty 3 až 30 MHz.
- Kmitočtově modulované rádiové vysílače v pásmu VKV – použité kmitočty okolo 100 MHz, všesměrové vyzařování v azimutu, vertikální vyzařovací diagram optimalizovaný na pokrytí přízemních výšek.

1. Technologie STEALTH a její dopady

Přehled testovaných bistatických systémů

- Pozemní digitální televizní vysílání – použité kmitočty okolo 750 MHz (VKV), všesměrové vyzařování v azimutu, vertikální vyzařovací diagram optimalizovaný na pokrytí přízemních výšek, lepší vlastnosti z hlediska jednoznačnosti než analogové vysílání.
- Pozemní digitální rádiové vysílání – použité kmitočty okolo 220 MHz, všesměrové vyzařování v azimutu, vertikální vyzařovací diagram optimalizovaný na pokrytí přízemních výšek, lepší vlastnosti z hlediska jednoznačnosti než analogové rádiové vysílání, jednokmitočtová síť.

1. Technologie STEALTH a její dopady

Přehled testovaných bistatických systémů

- Základnové stanice mobilních telefonů - použité kmitočty okolo 900 MHz, 1,8 GHz případně 2 GHz, všesměrové vyzařování v azimutu, vertikální vyzařovací diagram optimalizovaný na pokrytí přízemních výšek, masivně multistatický systém, tendence použití velkého množství základnových stanic, snížení vysílacího výkonu a použití „chytrých“ antén.
- Krátkovlnné zahorizontální radiolokátory (Over The Horizon – OTH) - pracují na kmitočtech 5 až 28 MHz s použitím stálé nosné vlny (CW) nebo s kmitovou modulací (FM).
- Satelitní vysílače DSB TV – kmitočtové pásmo 11 až 12 GHz, geostacionární dráha.
- Vysílač satelitního radiolokátoru se syntetickou aperturou (Synthetic Aperture Radar – SAR) – pracuje na kmitočtu 5,3 GHz.

3. Radiolokace v pásmech KV a VKV

Detekce cílů využívajících technologii STEALTH

- **Bojovým prostředkům, u kterých je pro snížení účinné radiolokační odrazné plochy použita technologie STEALTH narůstají rozlišovací znaky cíle na kmitočtech, na kterých se chová cíl jako rezonátor (vlnová délka je srovnatelná s rozměry cíle).**
- **Materiál absorbující rádiové vlny (Radio Absorbing Material – RAM) má na nižších kmitočtech nižší účinnost.**

3. Radiolokace v pásmech KV a VKV

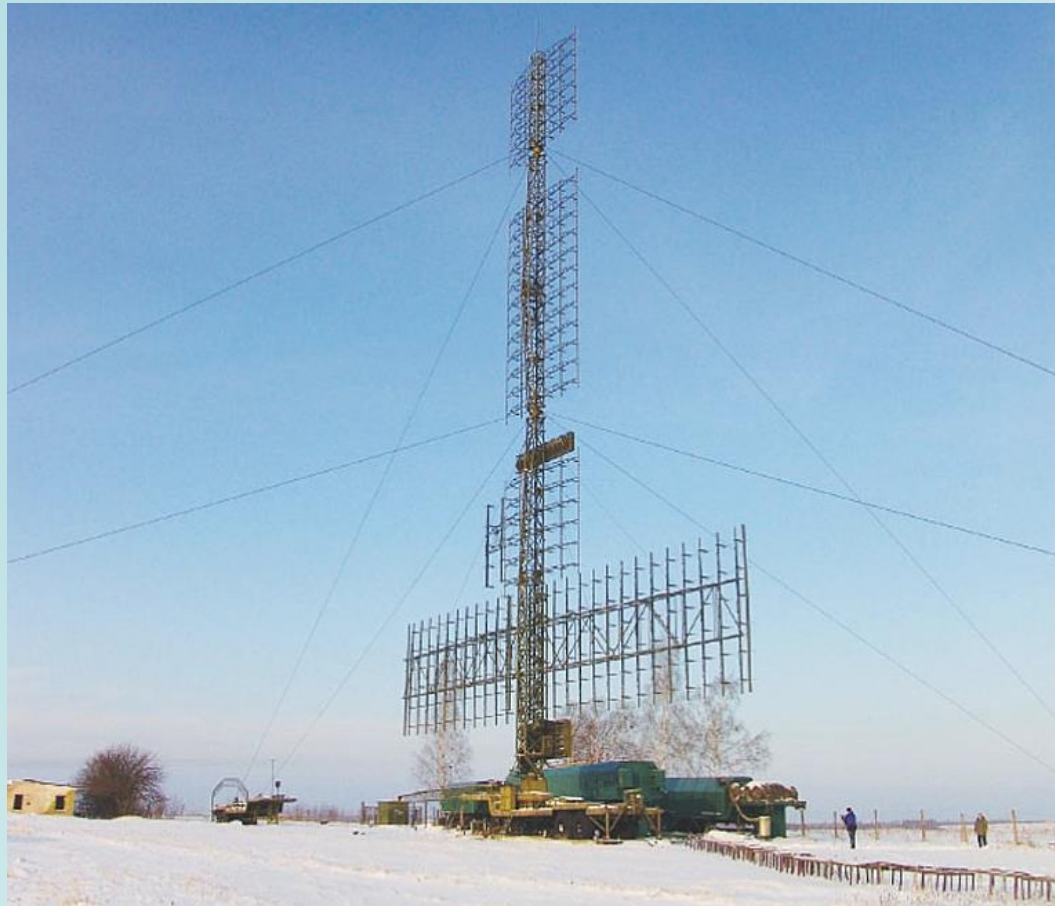
Příklady radiolokátorů v pásmu KV a VKV



Over-the-horizon radar

3. Radiolokace v pásmech KV a VKV

Příklady radiolokátorů v pásmu KV a VKV



Tall Rack 3-D přehledový radiolokátor

3. Radiolokace v pásmech KV a VKV

Příklady radiolokátorů v pásmu KV a VKV



Rezonans N/NE přehledový radiolokátor

3. Radiolokace v pásmech KV a VKV

Příklady radiolokátorů v pásmu KV a VKV



Box Spring 2-D přehledový radiolokátor

3. Radiolokace v pásmech KV a VKV

Příklady radiolokátorů v pásmu KV a VKV



Vostok D/E Mobile 2-D metrový přehledový radiolokátor

4. Širokopásmový radiolokátor (Ultra Wide Band – UWB)

Základní principy

- Za širokopásmový radiolokační systém (UWB) lze považovat takový systém, jehož relativní šířka pásma je větší než 20% na úrovni -10 dB

$$B = 2 \frac{F_{max} - F_{min}}{F_{max} + F_{min}} \geq 0,2$$

- V praxi jsou také za širokopásmový radiolokační systém považovány systémy s šířkou pásma větší než 500 MHz na úrovni -10 dB.

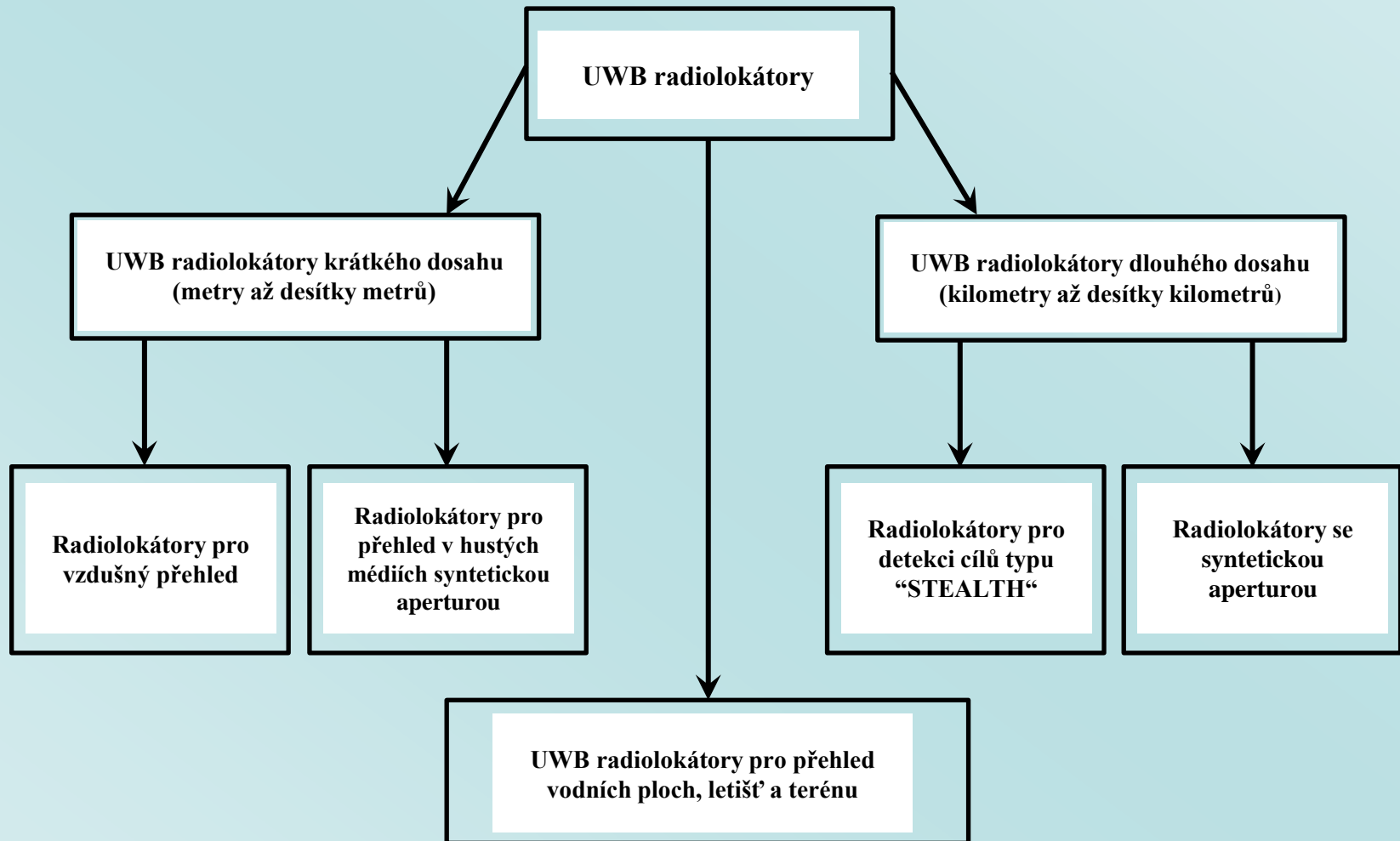
4. Širokopásmový radiolokátor (Ultra Wide Band – UWB)

Druhy signálů

- Bipolární nebo unipolární videoimpulzy s dobou trvání impulsu jednotky nanosekund až stovky pikosekund.
- Radioimpulzy s kódovou nebo kmitočtovou vnitroimpulsní modulací s odpovídající šířkou pásma.
- Radioimpulzy s dobou trvání impulsu jednotky nanosekund s extrémním vysílaným impulsním výkonem (stovky MW až jednotky GW).

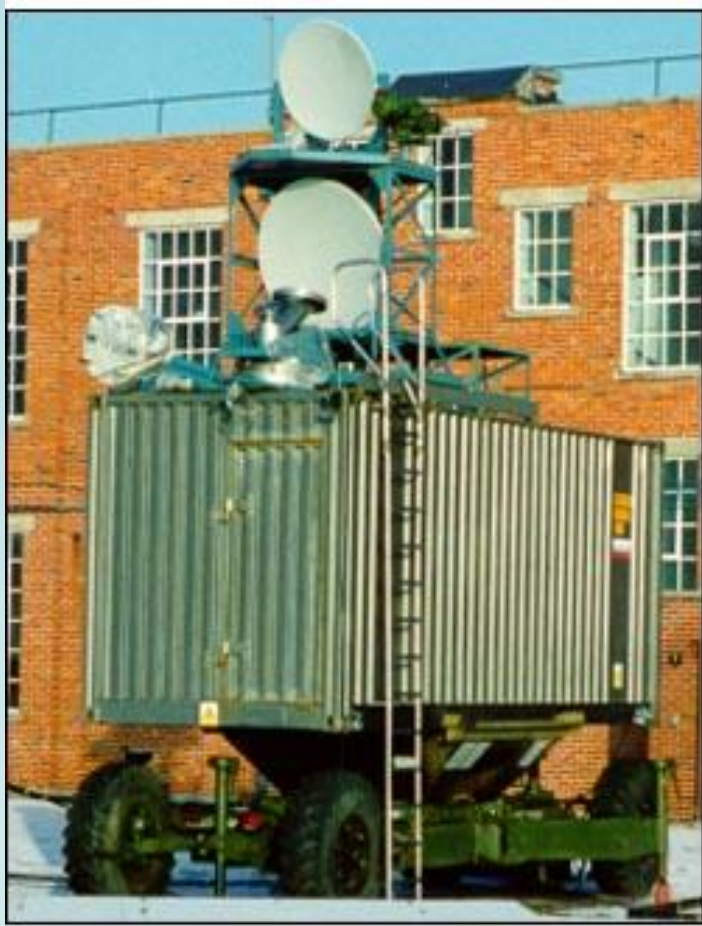
4. Širokopásmový radiolokátor (Ultra Wide Band – UWB)

Oblasti současných a budoucích aplikací UWB radiolokátorů



4. Širokopásmový radiolokátor (Ultra Wide Band – UWB)

UWB radiolokátor s MW impulsním výkonem



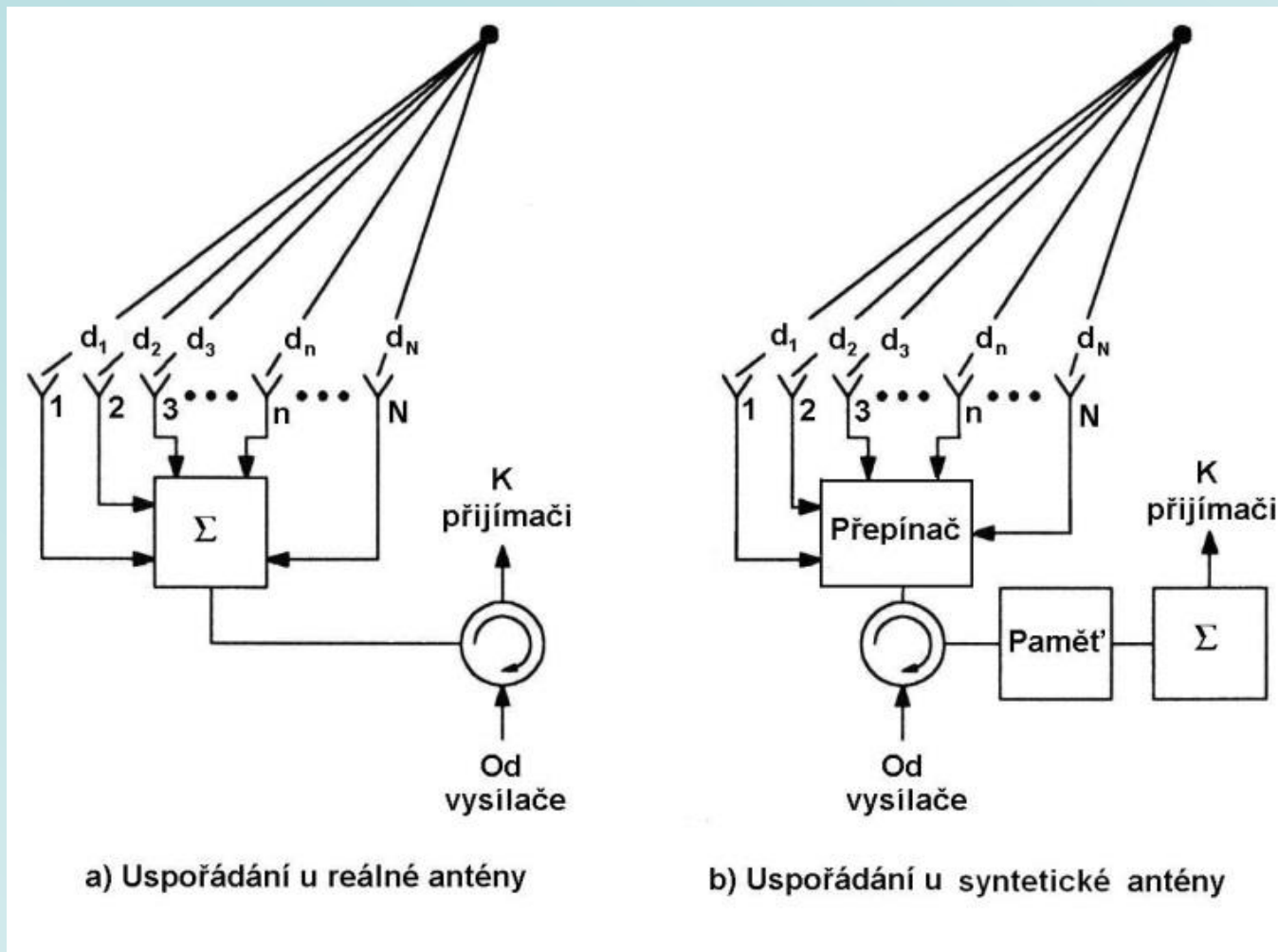
5. Radiolokátory se syntetickou aperturou a inverzní syntetickou aperturou

Definice

Podstatné zvýšení rozlišovací schopnosti a tím i nalezení rozlišovacích znaků cíle (target signature) vytvořením syntetické antény pohybem radiolokátoru, při kterém dochází k záznamu signálů odražených od cílů a k následnému zpracování všech zaznamenaných signálů

5. Radiolokátory se syntetickou aperturou a inverzní syntetickou aperturou

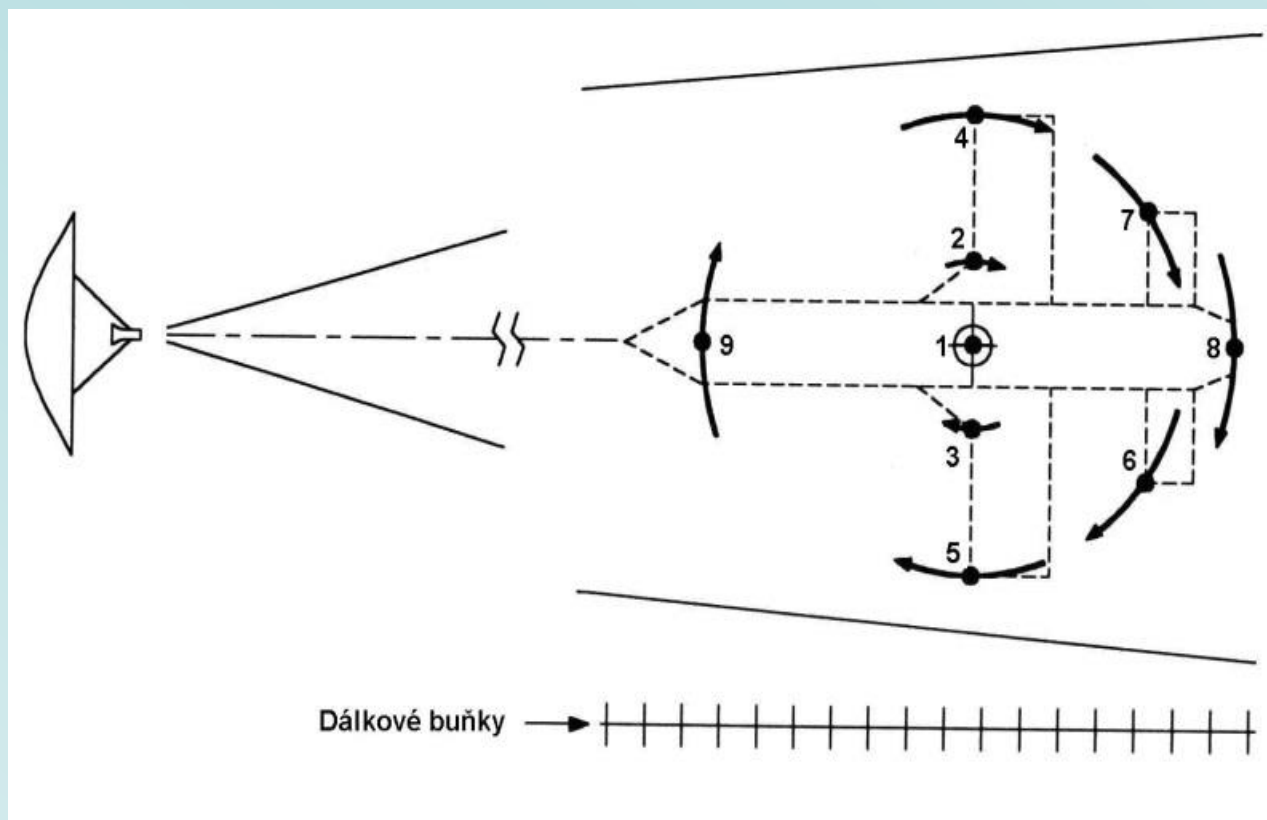
Základní princip fungování radiolokátoru se syntetickou aperturou



5. Radiolokátory se syntetickou aperturou a inverzní syntetickou aperturou

Technika inverzní syntetické apertury

K vyhodnocení rozlišovacích znaků cíle je využita změna dopplerova kmitočtu odraženého signálu z dílčích odražečů na cíli vlivem fluktuace cíle při pohybu.



6. Další techniky ke snížení vlivu STEALTH

Zlepšení technických parametrů běžně používaných radiolokátorů

- Zlepšení modelů clutteru
- Redukce fázového šumu
- Zlepšení sledovacích algoritmů
- Využití flexibility radiolokátorů s fázovanou anténní soustavou

Děkuji za pozornost