



Měření šíření elektromagnetických vln v automobilech pro účely komunikace a lokalizace

Aleš Prokeš

Vysoké učení technické v Brně, Ústav radioelektroniky

Perspektivní oblast řešená v rámci projektu **GAČR: Výzkum bezdrátových kanálů pro komunikaci a určování polohy ve vozidlech** za podpory **Centra SIX**.

Cíle projektu:

1. *Měření a modelování komunikačních kanálů uvnitř vozidel pro aplikace WPAN, senzorových sítí a lokalizace objektů v 3.1 - 10.6 GHz UWB (Ultra-Wide Band) a 56 - 64 GHz MMW (MilliMeter Wave) pásmech.*
2. *Měření a modelování komunikačních kanálů uvnitř vozidel pro aplikace WPAN v 1550 nm IR (infra-red) pásmu.*
3. *Ověření a rozšíření existujících modelů MMW a UWB kanálů a vytvoření modelů IR kanálů, specifikace dosažitelných parametrů.*



Proč WPAN?

- *Přenos multimediálních dat v autech, autobusech, letadlech, atd.*
- *Připojení multimediálních systémů v sedadlech.*

Proč senzorové sítě

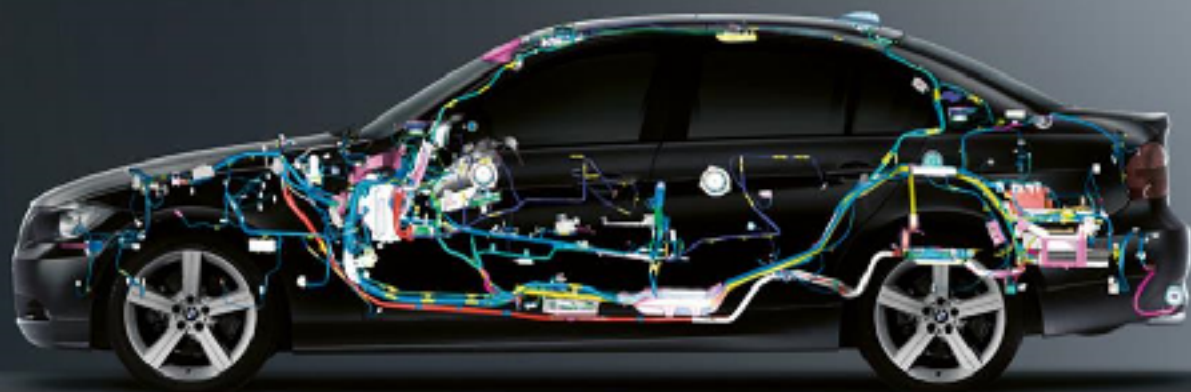
- *Bezdrátové propojení senzorů, akčních členů a řídicích jednotek ECUs (Electronic Control Units) z důvodu vysoké hmotnosti a ceny vodičů a nemožnosti připojení některých senzorů (měření tlaku v pneumatikách).*

Proč lokalizace ve vozidlech?

- *Optimalizace vyzařovacího diagramu (redukce vyzařovaného výkonu) přístupového bodu podle polohy mobilních zařízení.*
- *Zabezpečení startu vozidla na základě lokalizace klíče.*

Elektrické rozvody jsou jednou z nejtěžších částí vozidla.

Měří až 3 km a váží až 60 kg



- WP1:** *Vytvoření měřicích pracovišť pro šíření MMW, UWB, a IR signálů ve vozidle.*
- WP2:** *Měření šíření EM vln ve vozidlech v časové a kmitočtové oblasti pro WLAN, sensorové sítě a lokalizaci.*
- WP3:** *Analýza a modelování MMW, UWB a IR kanálů pro účely komunikace ověření a zlepšení existujících modelů.*
- WP4:** *Analýza a modelování kanálů pro MMW, UWB pásma pro účely lokalizace, vytvoření nových modelů.*
- WP5:** *Ověření použitelnosti MMW, UWB, a IR pásem pro dílčí aplikace a stanovení dosažitelných parametrů.*

WP1: Vytvoření pracovišť pro měření šíření MMW, UWB, a IR signálů

Pracoviště pro měření v kmitočtové oblasti v UWB a MMW pásmech

Aplikace: WPAN, senzorové sítě



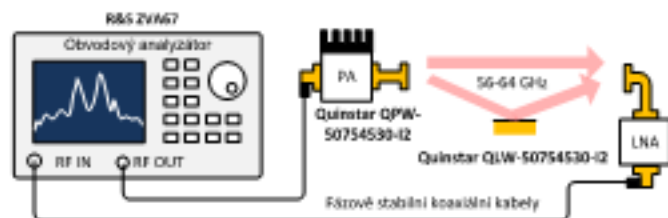
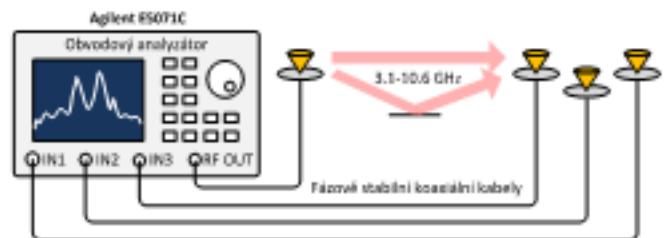
Agilent
E5071C



R&S
ZVA67

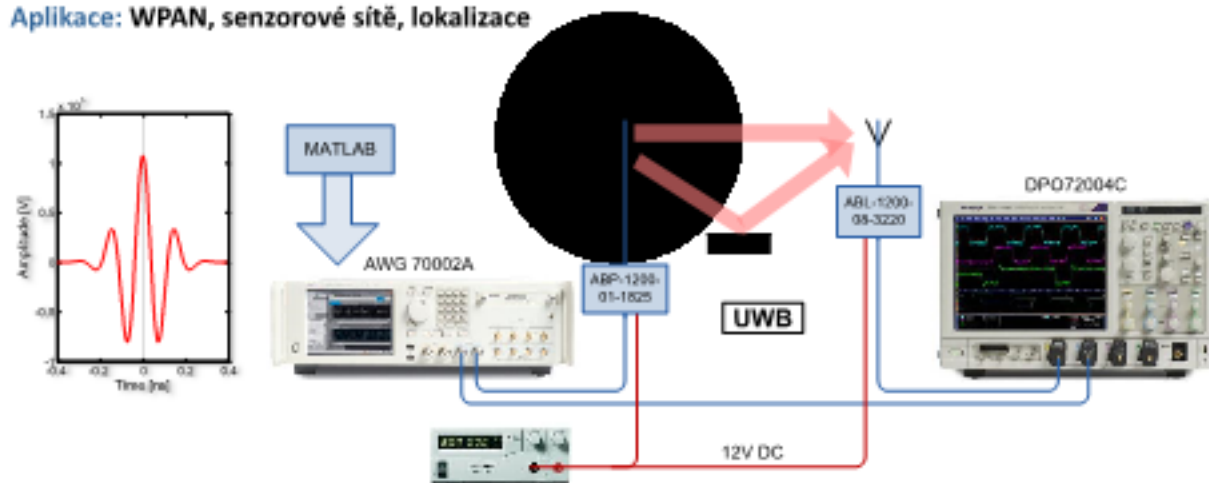
Vlastnosti metody:

- Velký dynamický rozsah > 100 dB (RBW = 100Hz)
- Dlouhá doba měření cca desítky vteřin ($\Delta f = 1\text{MHz}$)



Měření UWB kanálů v časové oblasti I

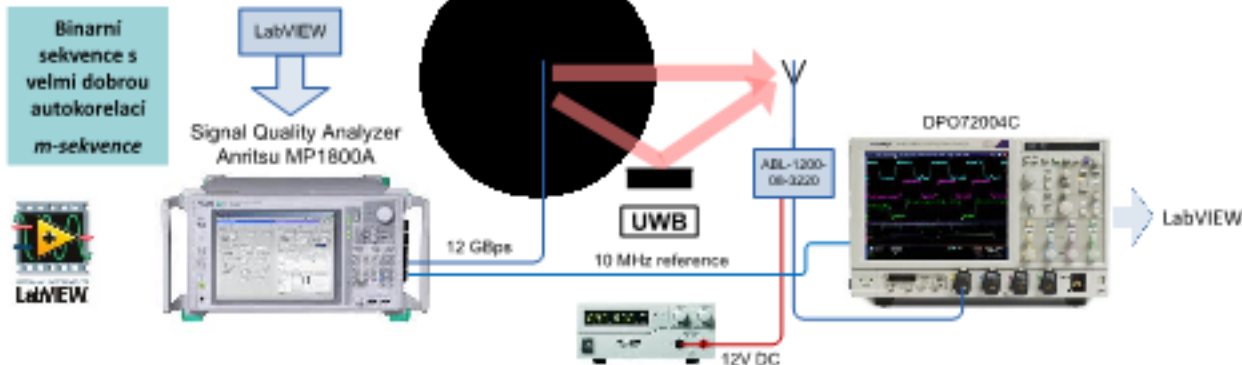
Aplikace: WPAN, senzorové sítě, lokalizace



Problémy:

- Malý dynamický rozsah (ENOB osciloskopu MSO72004C: $N_E = 5.5$ bitů \Rightarrow dynamický rozsah: $D_R = 6.02N_E + 1.76 = 34.9$ dB)
- Nutnost použití dekonvoluční techniky (CLEAN).

Měření UWB kanálů v časové oblasti II



Výhody *m*-sekvencí (sekvencí z rodiny PRBS):

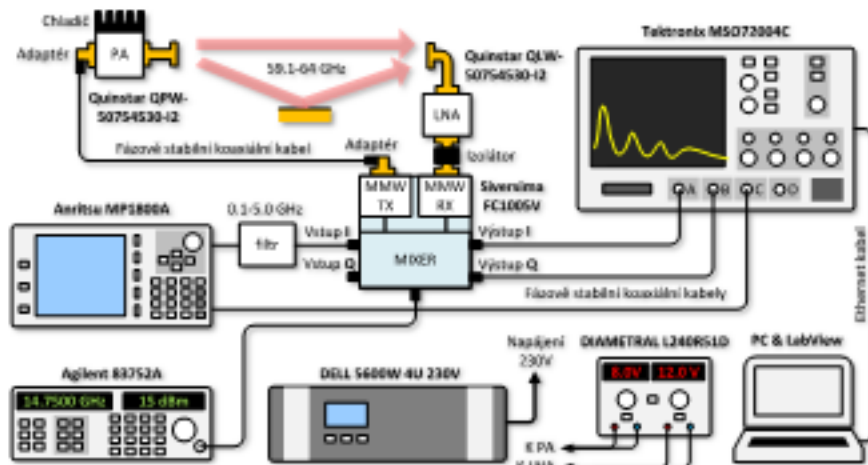
- Rovnoměrně rozložený výkon s nízkou špičkovou hodnotou (lze použít velký výstupní výkon bez rizika limitace)
- Vysoký *korelační zisk* zvyšující dynamický rozsah (2047 bitů \Rightarrow 66.2 dB zlepšení $\Rightarrow D_R = 101.1$ dB).

Problém: existence nelinearit snižující dynamický rozsah na cca 30-50 dB

Měření MMW kanálů v časové oblasti

Aplikace: WPAN, senzorové sítě, lokalizace

SIYERS

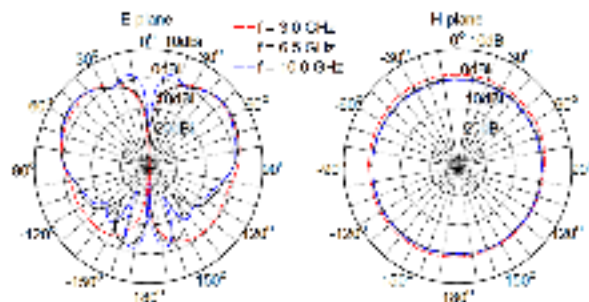


- Parametry:**
- Délka *m-sekvence*: 2047 bitů
 - Rychlost posloupnosti: 12.5 Gbit/s
 - Počet uložených CIR (8300 Sa): 3800

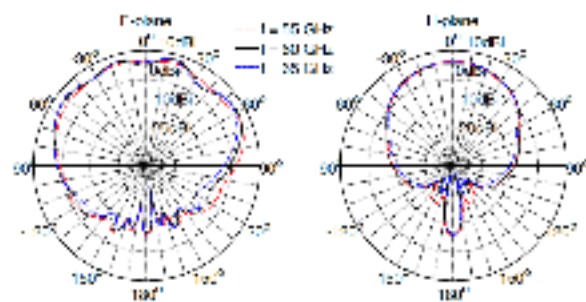
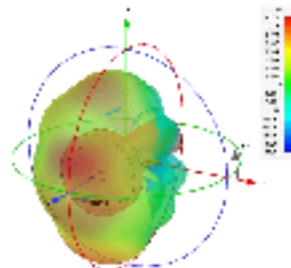
- Doba měření: 3.8 s
- Korelační zisk 66 dB
- Šířka pásma 5 GHz

- Problémy:**
- Nestabilita přijímací části
 - Kolísání skupinového zpoždění 1 ns/GHz (řešeno externím generátorem)

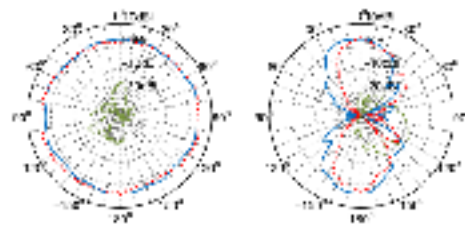
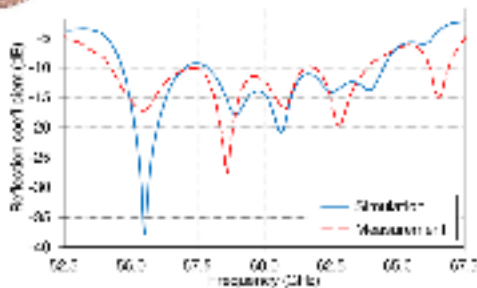
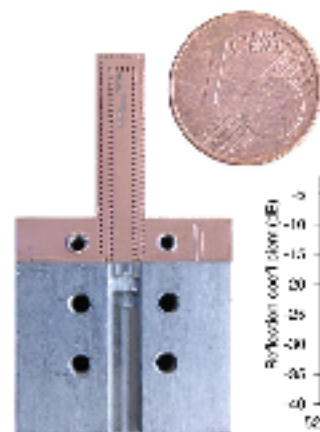
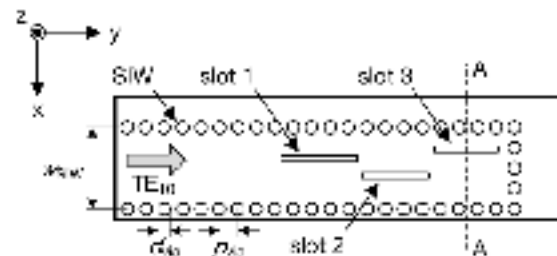
Monokónická UWB anténa



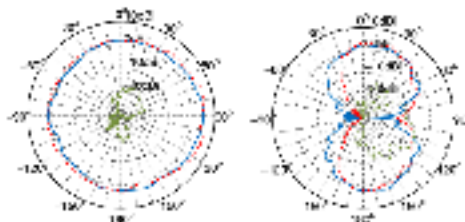
Příruba otevřeného vlnovodu



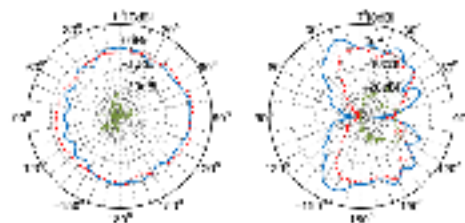
Pole štěrbinových antén



55 GHz



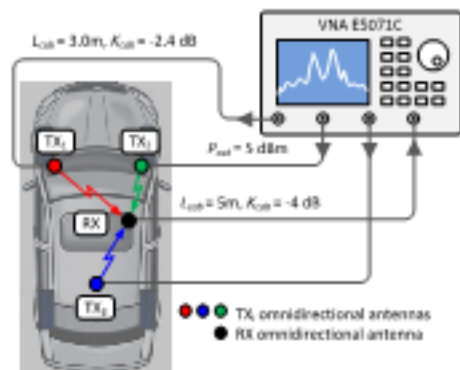
60 GHz



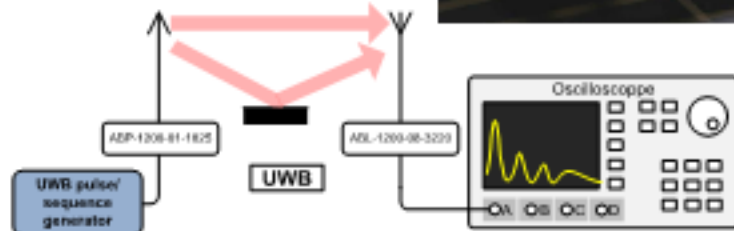
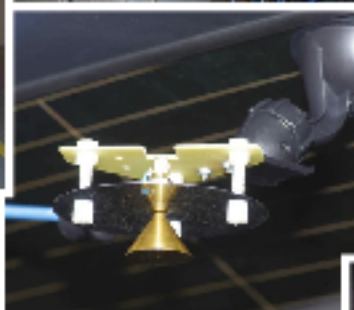
65 GHz

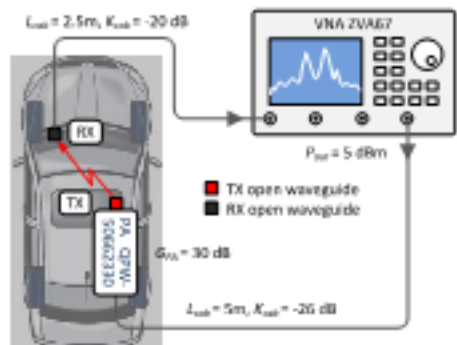
WP2: Měření šíření EM vln ve vozidlech v časové a kmitočtové oblasti pro WLAN, senzorové sítě a lokalizaci.

Měření v kmitočtové oblasti (FDM)

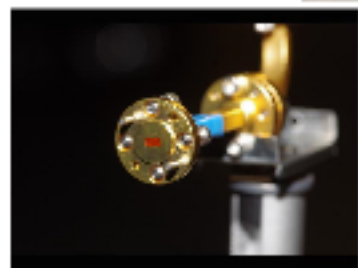


Měření v časové oblasti
(TDM)





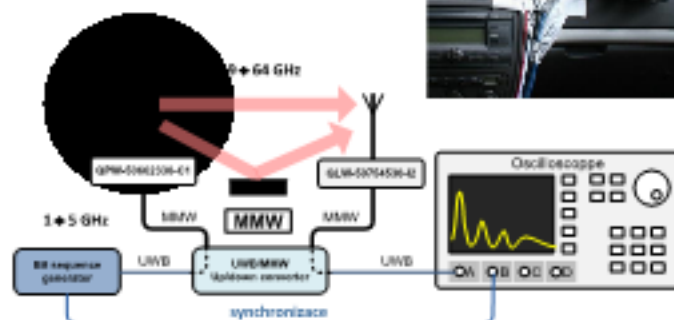
Měření v kmitočtové oblasti (FDM)



Měření v časové oblasti (TDM)



1. Měření vlivu vibrací způsobených **běžícím motorem** a **hlasitě hrajícím audiosystémem**, měření vlivu **pohybu cestujících** v zaparkovaném vozidle.
2. Měření vlivu vibrací a kroucení karoserie **jedoucího automobilu** na různých vozovkách při různých rychlostech.



Nečastější typy modelů:

- Energetický (útlumový) model – rozložení energie v prostoru nebo rovině formou map.
- Deterministický model v časové oblasti - analogie FIR filtru.
- Stochastický model v časové oblasti - stochastické vyjádření impulsní odezvy kanálu (CIR).
- Stochastický model v kmitočtové oblasti - stochastické vyjádření přenosové funkce (CTF) a následný převod do časové oblasti pomocí FFT.

Stochastické modely vždy směřují k vyjádření CIR nebo výkonového profilu zpoždění (PDP), kde jednotlivé parametry (přenos ρ_n , fáze přenosu Φ_n , doba šíření τ_n) mají náhodný charakter s určitým typem rozdělení hustoty pravděpodobnosti.

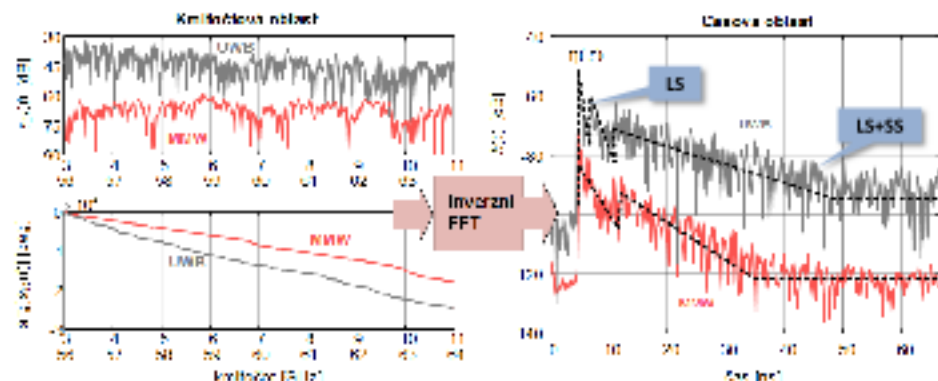
Známe-li CIR, můžeme vypočítat pomocí konvoluce odezvu na libovolný signál.

$$h(\tau) = \sum_{n=0}^{N-1} \rho_n e^{j\Phi_n} \delta(\tau - \tau_n),$$

CIR

WP3: Analýza a modelování MMW, UWB a IR kanálů pro účely komunikace ověření a zlepšení existujících modelů.

- Konverze **CTF** na **CIR** za použití IFFT a okna (Hamming, Blackman,...) a rozdělení odezvy na
 - **Large-scale (LS) charakteristika kanálu:** ztráty šířením, stínění, trend **CIR** nebo trend **PDP**.
 - **Small-scale (SS) charakteristika kanálu:** rychlé úniky PDP a CIR, RMS delay spread, maximum excess delay, inter-path arrival times, atd.

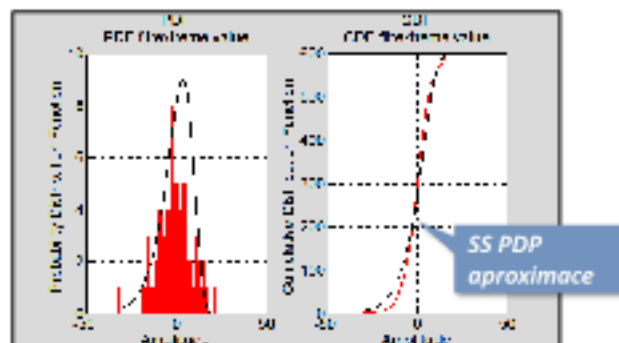
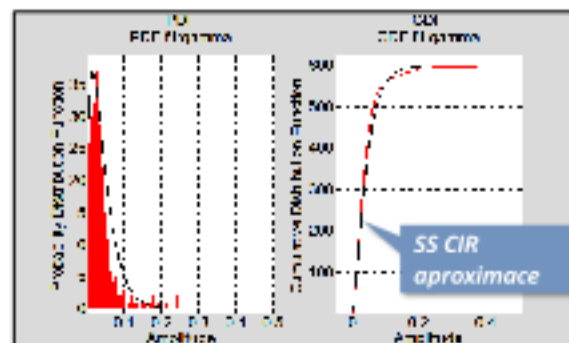
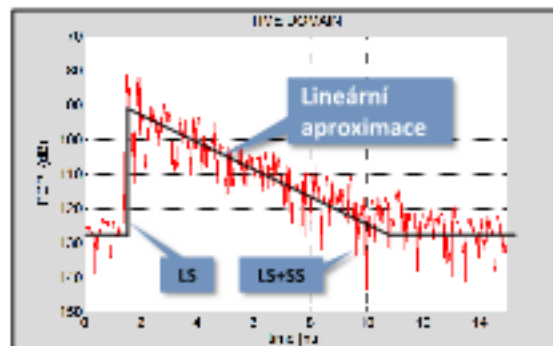


Útlum volného
prostoru FSPL (Free-
Space Path Loss)

$$FSPL = \left(\frac{4\pi df}{c} \right)^2$$

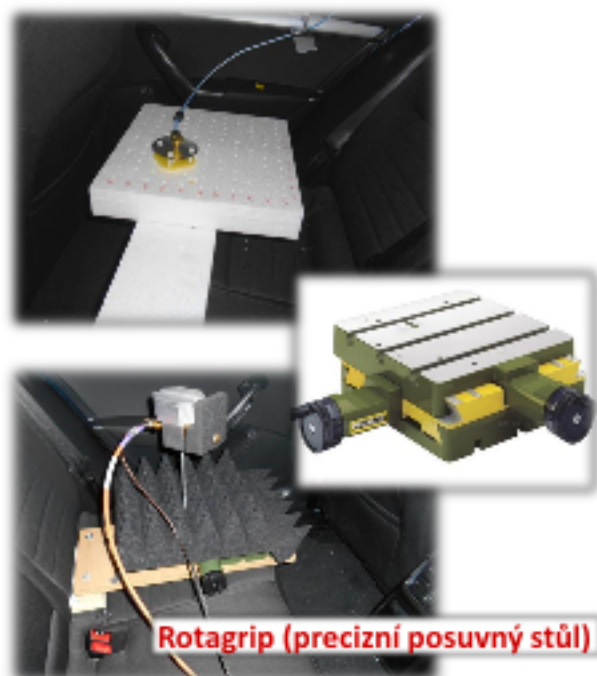
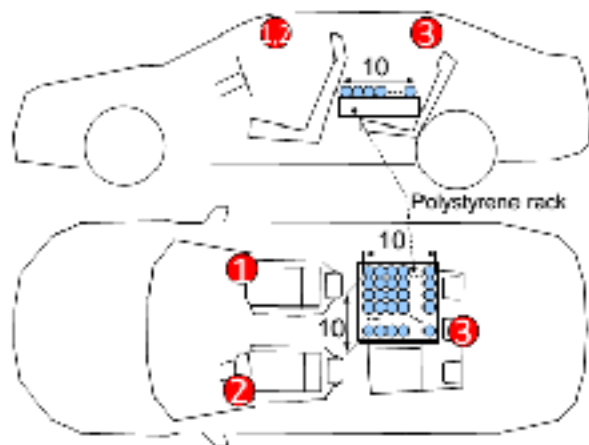
Aproximace CIR/PDP vhodným rozdělením

- Aproximace SS rychlých fluktuací vhodným rozdělením hustoty pravděpodobnosti (GEV, lognormální, Weibullovo, gama-gama, atd.)

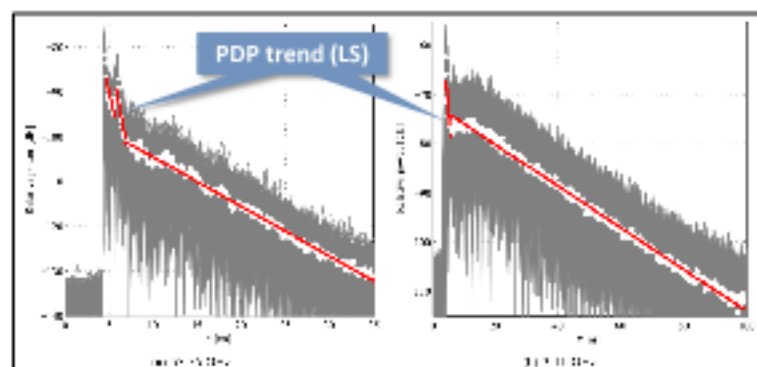


Porovnání prostorové stacionarity UWB a MMW pásem

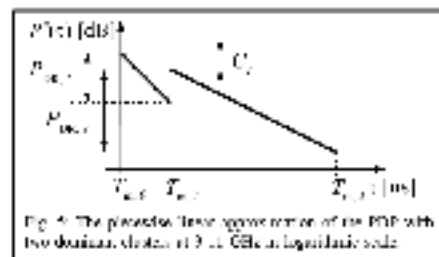
Cíl: ověření vlivu malého posuvu antény na CIR a další parametry kanálů (použití držáků antén s rastrem 3/0.4 cm)



Výpočet PDP pro MMW a UWB pásma a určení LS charakteristiky



Určení klastrů v příchozím signálu



$$FSPL = \left(\frac{4\pi df}{c} \right)^2$$

Pearsonův korelační koeficient

$$\rho^\alpha = \frac{E[(h^\alpha(n) - \mu^\alpha)(h^{4G}(n) - \mu^{4G})]}{\sigma^\alpha \sigma^{4G}}$$

Prostorové mapy a histogramy korelačního koeficientu

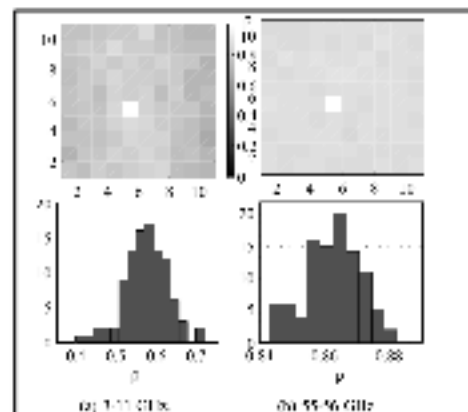
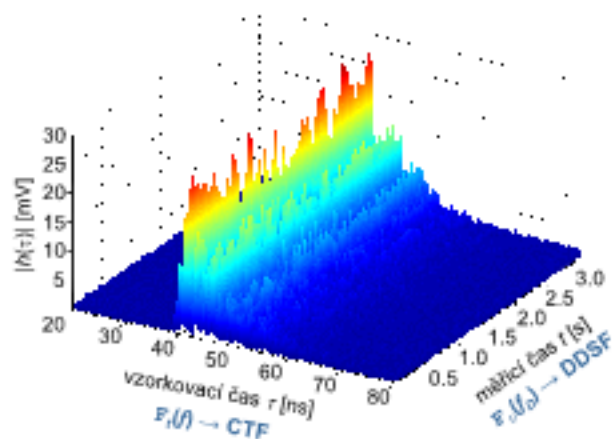
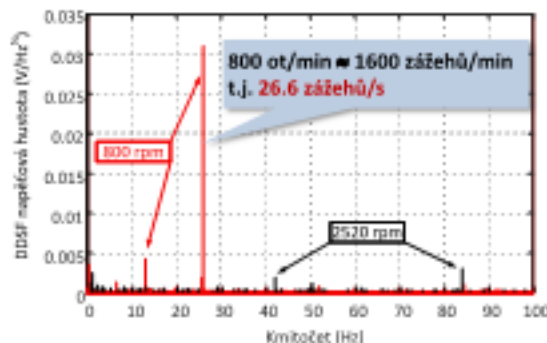


Fig. 7: Spatial maps and histograms of the calculated Pearson correlation coefficient ρ .

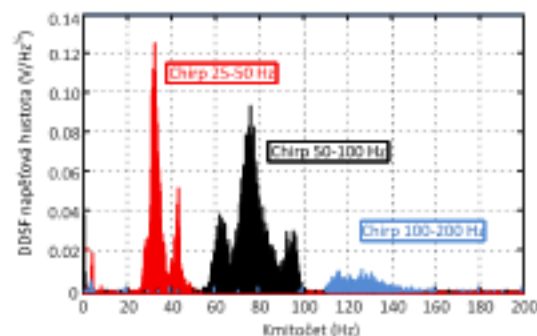
Příklad amplitud CIR pro jízdu auta po dálnici D1



Efekt běžícího motoru při různých otáčkách



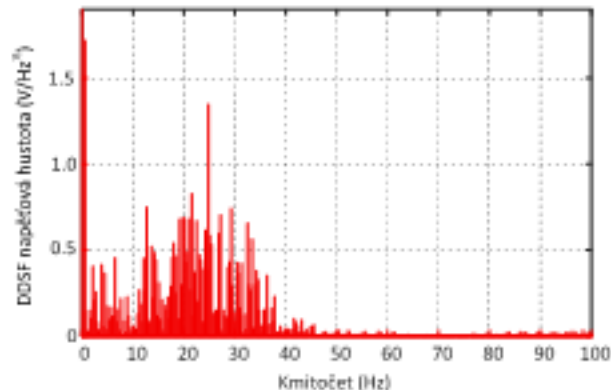
Amplitudy DDSF pro 3 rozmitané signály



Delay-Doppler spreading function (DDSF)

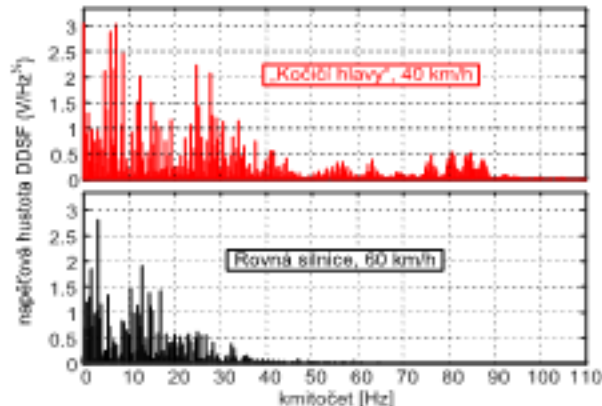
$$S(t, f_D) = \int_{-\infty}^{\infty} h(t, \vartheta) e^{-i2\pi f_D \vartheta} d\vartheta$$

Vliv pohybu rukou a těla jednoho z pasažérů na DDSF



- Významné spektrální komponenty do kmitočtu cca 45 Hz.
- Jev nutno brát v úvahu při měřeních v jedoucím vozidle.

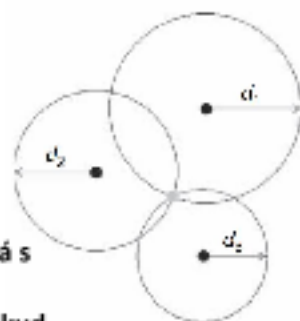
DDSF počítaná pro jízdu po dvou různě kvalitních vozovkách



- **Nejednoznačné výsledky.** Stejný scénář (stejný povrch a rychlost) dává rozdílné výsledky – zřejmě vliv pohybu pasažérů.
- Efekt jedoucího vozu je mnohem výraznější než efekt pouze běžícího motoru.

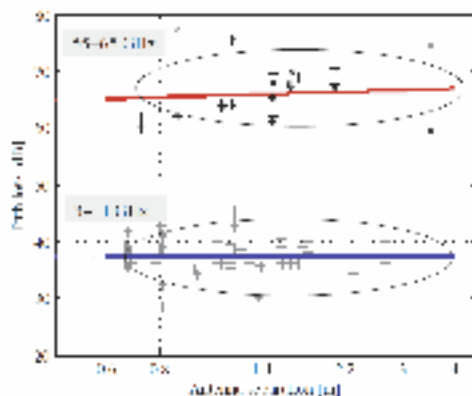
Metody určování polohy:

- Triangulace (vychází ze znalostí úhlů a pozic referenčních bodů)
- **Trilaterace** (vychází ze znalosti vzdáleností a pozic referenčních bodů)

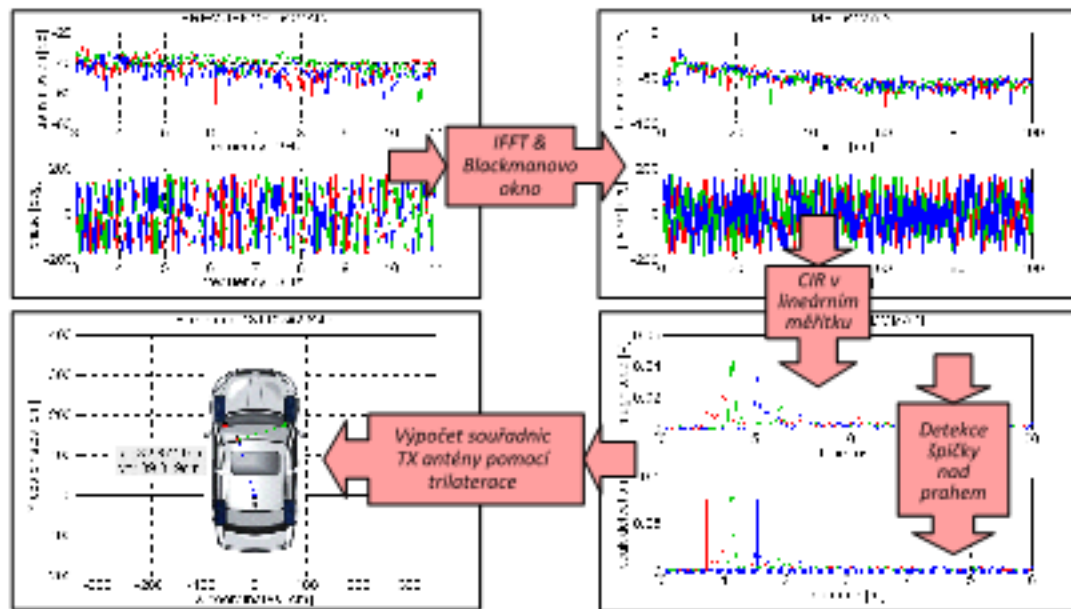


Metody určování vzdálenosti:

- Vyhodnocení úrovně signálu RSS (*Received Signal Strength*) – použitelná s omezením jen při přímé viditelnosti
- **Vyhodnocení doby příchodu svazku TOA (*Time Of Arrival*)** – funkční i pokud není přímá viditelnost.



WP4: *Analýza a modelování kanálů pro MMW, UWB pásma pro účely lokalizace, vytvoření nových modelů*



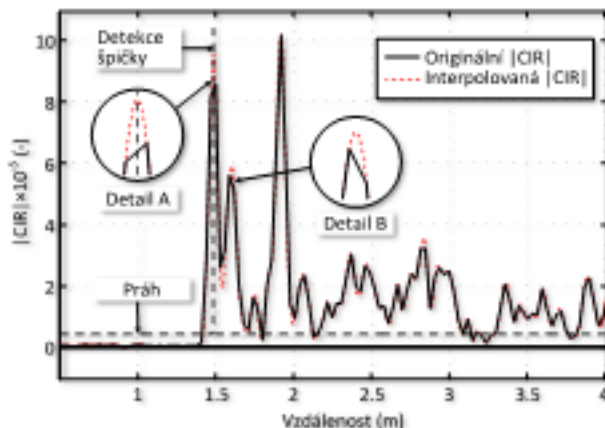
Porovnání přesnosti určování polohy v pásmech UWB a MMW

Pásmo UWB

	Scénář	Interpolované UWB
Střední chyba (cm)	Bez pasažérů	1,64
	S pasažéry	2,26
Standardní odchylka (cm)	Bez pasažérů	3,55
	S pasažéry	6,21

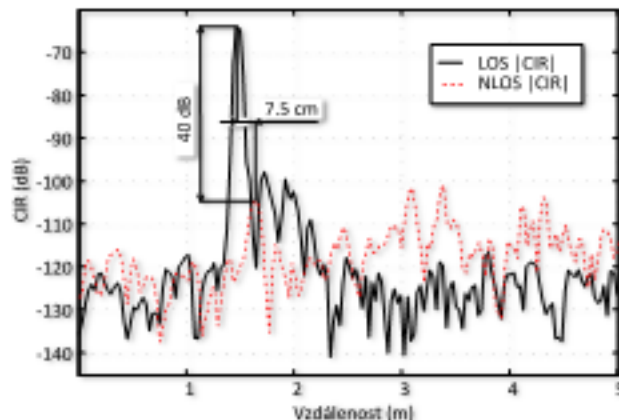
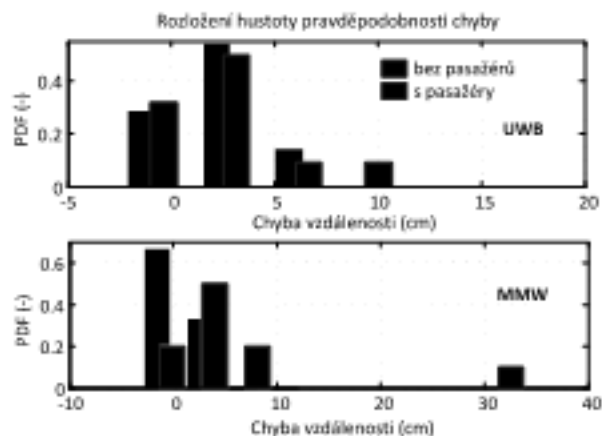
Pásmo MMW

	Scénář	Interpolované MMW
Střední chyba (cm)	Bez pasažérů	0,73
	S pasažéry	6,57
Standardní odchylka (cm)	Bez pasažérů	2,04
	S pasažéry	9,77



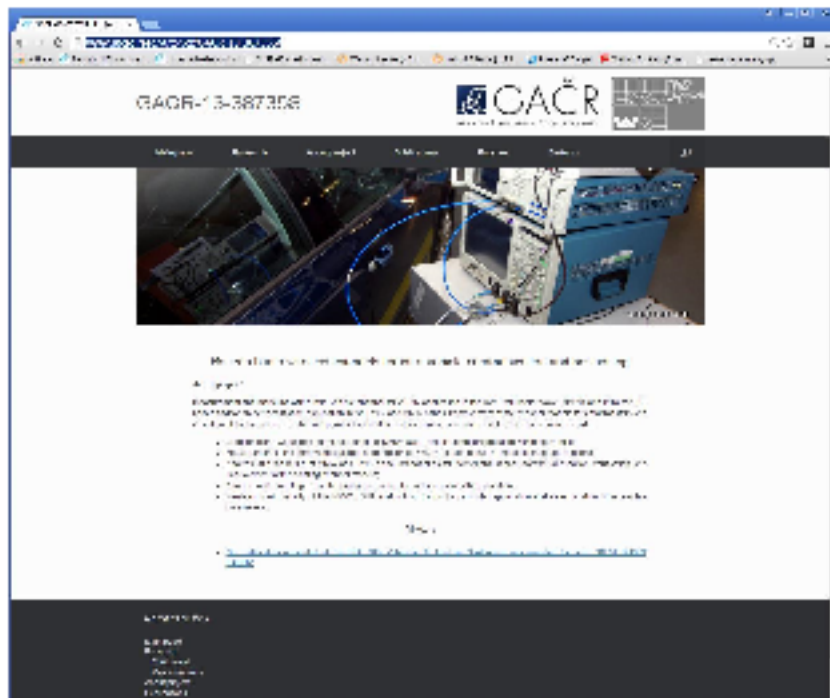
- UWB pásmo je mnohem citlivější na přítomnost osob ve vozidle

Vysvětlení odchylek pomocí referenčních měření ve stíněné bezdrázové komoře.




Scenář	UWB		MMW	
	σ^2 (dB)	ΔL (cm)	σ^2 (dB)	ΔL (cm)
Postava uprostřed	19	3.2	40	7.5
Sedadlo uprostřed	11.8	3.8	4.8	3.6
Síla okna automobilu	7	3.3	7	3.6

<http://www.radio.feec.vutbr.cz/GACR-13-387355/>



GACR-13-387355

GACR
www.gacr.cz



Mnoholeté zkušenosti v oblasti radioamateurského zájmu

„Projekt“

Experimentální studie v oblasti radioamateurského zájmu v rámci projektu GACR-13-387355. Studie se zaměřuje na výzkum v oblasti radioamateurského zájmu a jeho vlivu na společnost. Studie je zaměřena na výzkum v oblasti radioamateurského zájmu a jeho vlivu na společnost. Studie je zaměřena na výzkum v oblasti radioamateurského zájmu a jeho vlivu na společnost.

- Využití radioamateurského zájmu v oblasti radioamateurského zájmu
- Využití radioamateurského zájmu v oblasti radioamateurského zájmu
- Využití radioamateurského zájmu v oblasti radioamateurského zájmu
- Využití radioamateurského zájmu v oblasti radioamateurského zájmu

„Projekt“

- [GACR-13-387355 - Mnoholeté zkušenosti v oblasti radioamateurského zájmu](#)

„Projekt“

- [GACR-13-387355 - Mnoholeté zkušenosti v oblasti radioamateurského zájmu](#)

Děkuji za pozornost

prokes@feec.vutbr.cz