

**Fakulta vojenských
technologií**

**Katedra zbraní
a munice**

Multispektrální a hyperspektrální zobrazovací systémy

František Racek

Univerzita Obrany v Brně, Kounicova 65, Brno, 662 10;

frantisek.racek@unob.cz; phone +420 973 443 361; fax +420 973 443 772; www.unob.cz

Milestones

2. su.v.

Noktovizory

Umožňuje pozorovat cíle a rozlišovat jejich detaily v noci. Umožňuje uživateli připravit se a vést bojovou činnost v podmínkách kdy protivník je "slepý".

Lasery

Laserové dálkoměry a značkovací systémy umožňují výrazně zjednodušit měření vzdálenosti a zásahu cíle.

Termovize

Umožňuje pozorovat a rozlišovat jejich detaily v jakýchkoli světelných podmínkách. Umožňuje uživateli připravit se a vést bojovou činnost na delší vzdálenosti v podmínkách kdy protivník je maskován v noktovizorů.

Lidar

Zobrazovací a měřicí systémy umožňují získat 3D mapu terénu a jeho objektů.

20/21. st.

Multispektrální př.

Umožňují extrahovat z optického signálu mnohem více informací tím, že zájmovou spektrální oblast rozdělí do úzkých pásem.

17. st.

Dalekohled

Umožňuje pozorovat cíle a rozlišovat jejich detaily na velkou vzdálenost. Umožňuje uživateli připravit se a vést bojovou činnost dříve než protivník.

20/21. st.

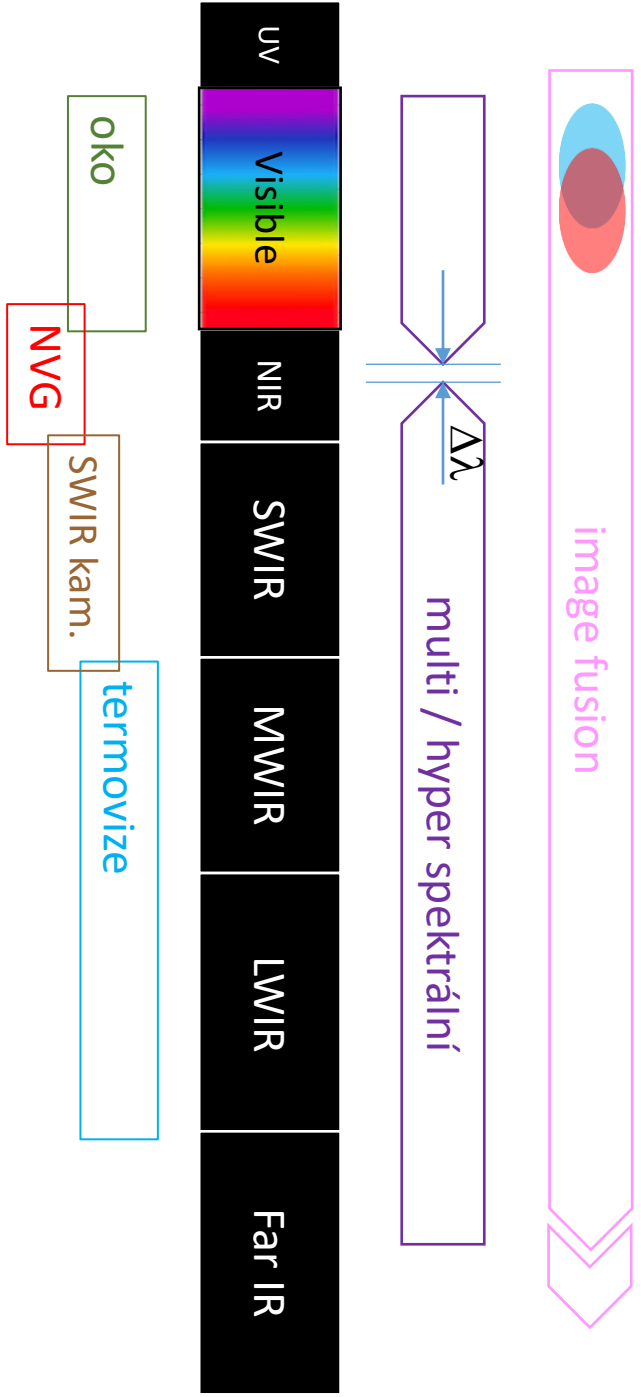
21. st.

SWIR kamery

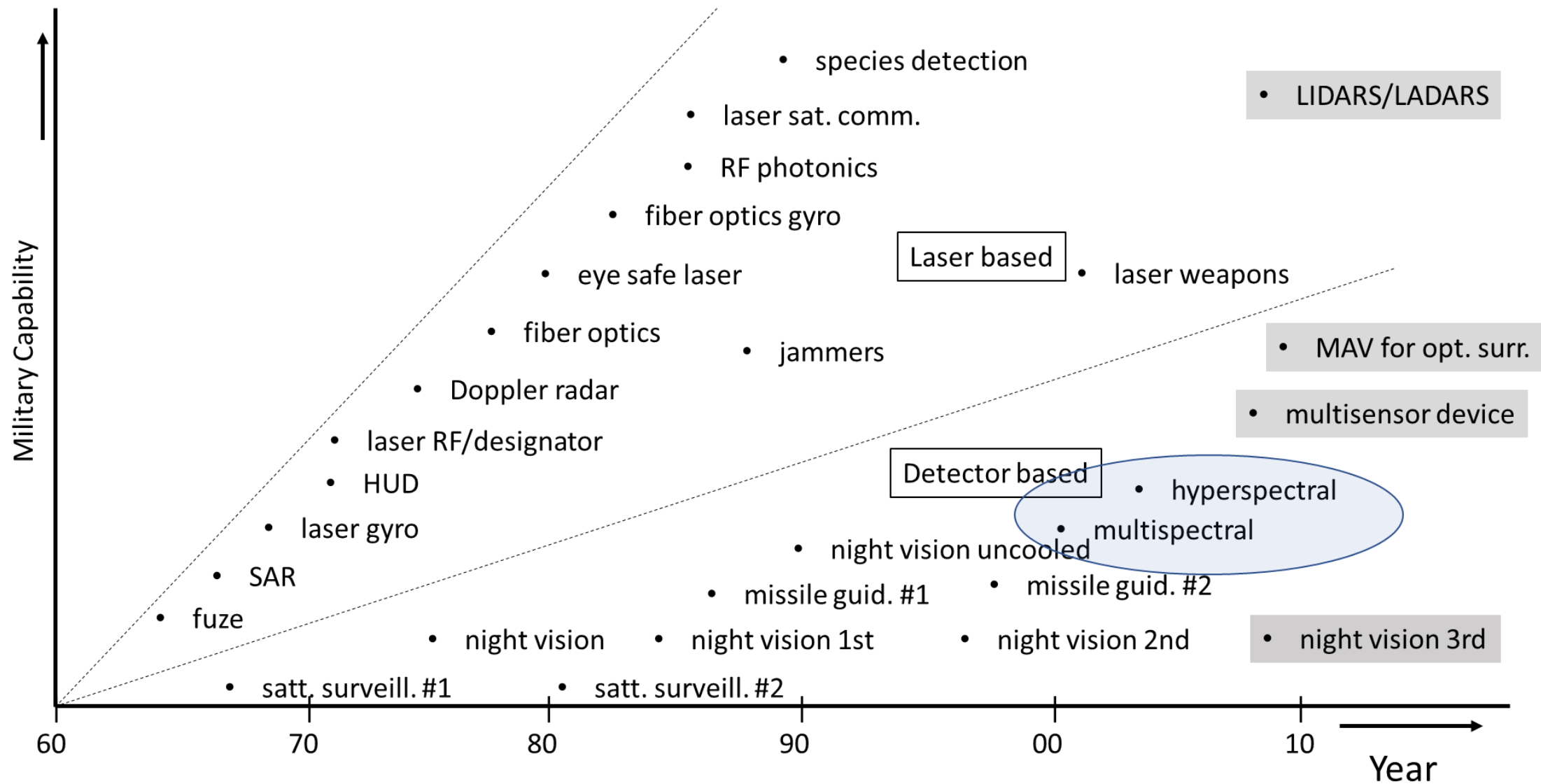
Využívají bohatost obrazové informace z jednoho obrazu z různých spektrálních pásem nebo forem zobrazení.

Multisenzorické př.

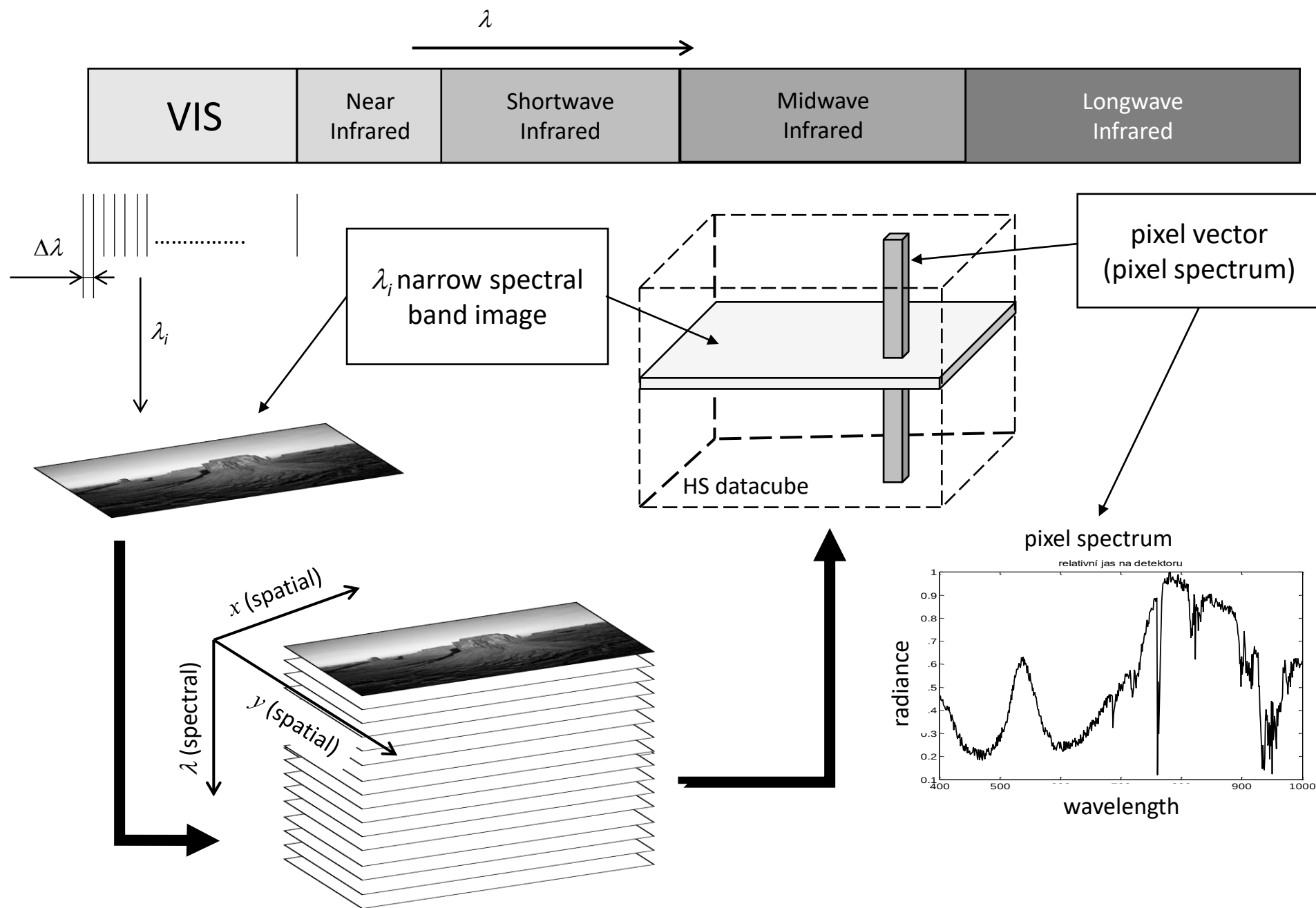
IMAGE FUSION přístroje spojují do jednoho obrazu obrazy z různých spektrálních pásem nebo forem zobrazení.

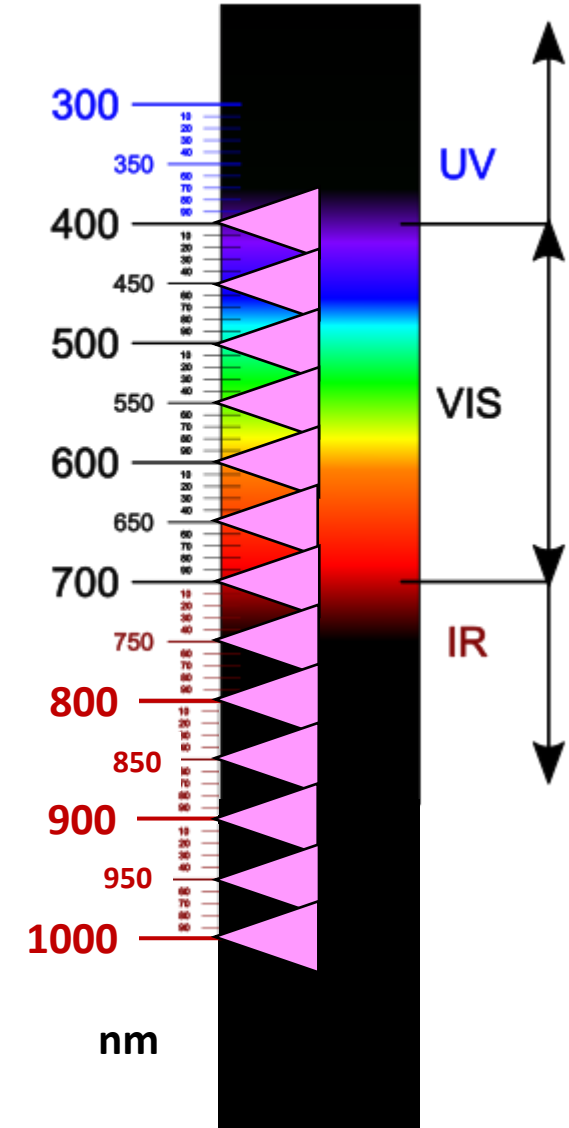


Vojenský potenciál optických přístrojů



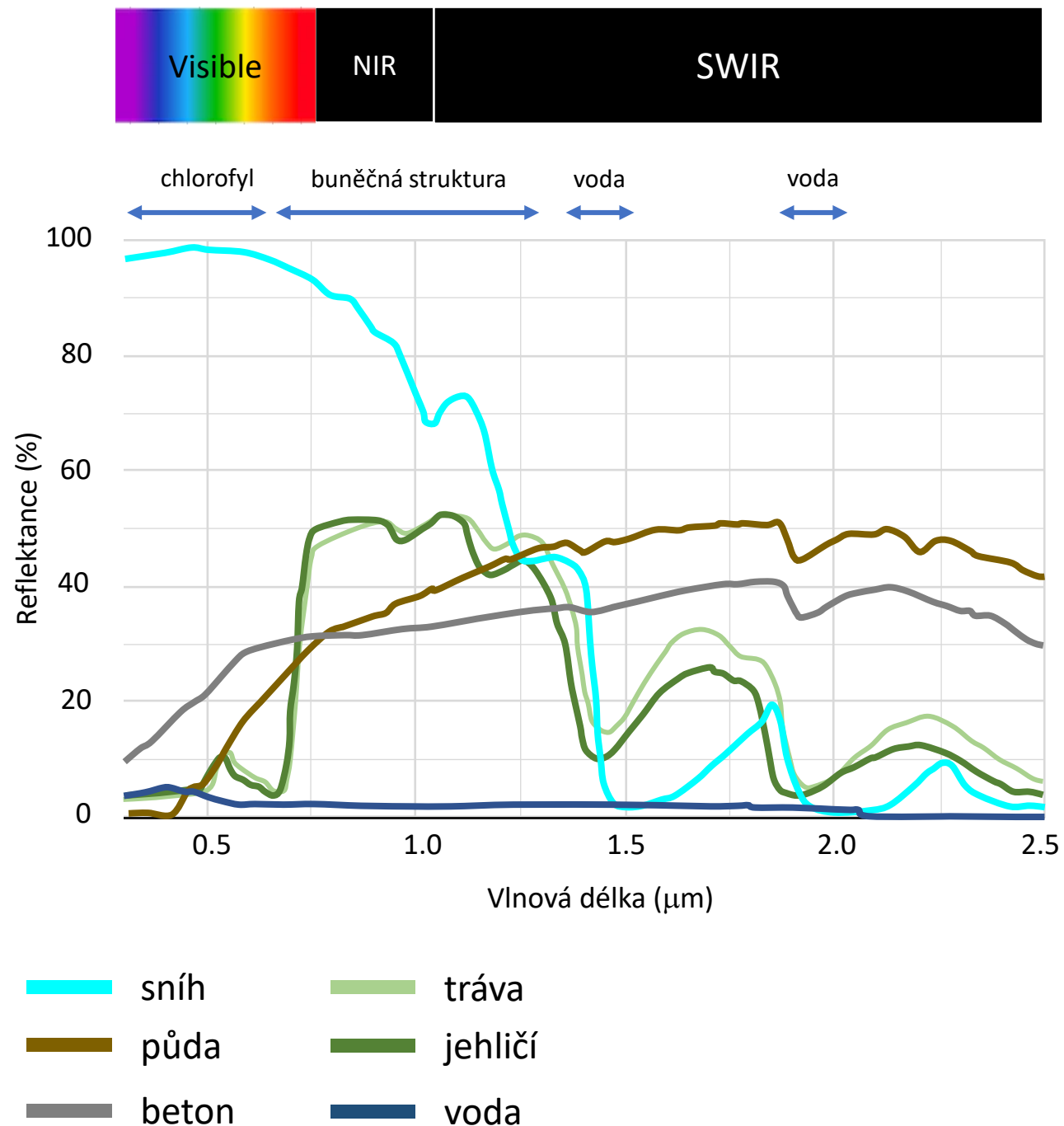
Hyper / multi spektrální kamery





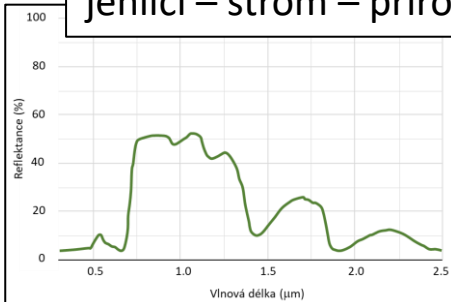
Spektrální reflektance

- Měřítko toho, kolik energie povrch odráží na konkrétní vlnové délce .
- Materiály s různými vlastnostmi odráží optické záření různými způsoby.
- Rozdíly ve spektrální odrazivosti umožňují identifikovat různé povrchové prvky nebo materiály.

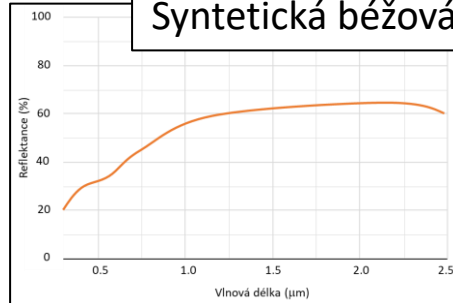


Výhody hyper / multi spektrálního snímání

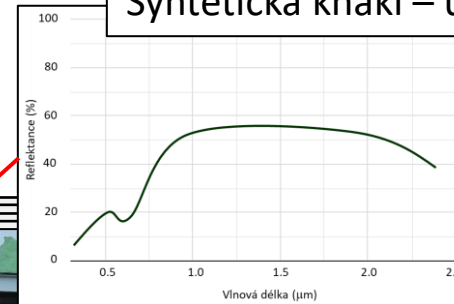
jehličí – strom – přírodní objekt



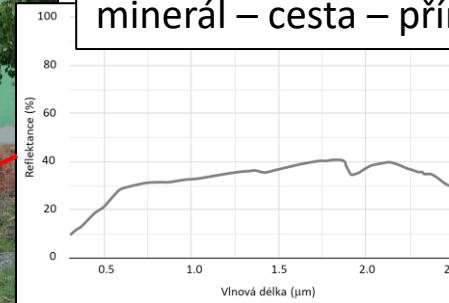
Syntetická běžová – umělý objekt - BV



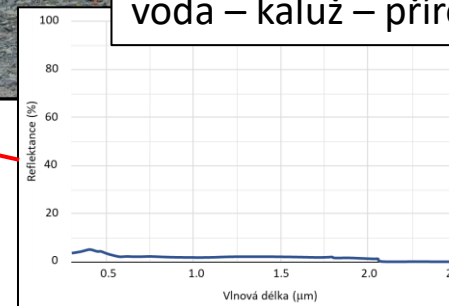
Syntetická khaki – umělý objekt - BV



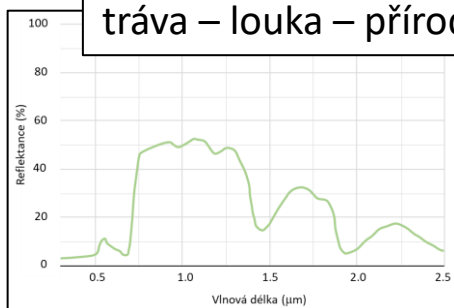
minerál – cesta – přírodní objekt



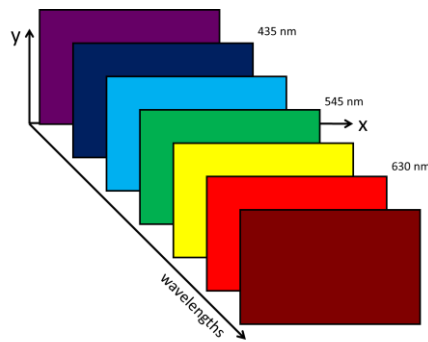
voda – kaluž – přírodní objekt



tráva – louka – přírodní objekt

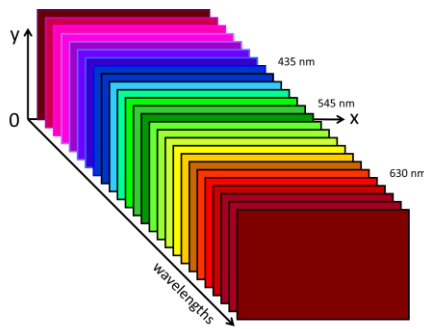


Porovnání hyper / multi spektrálního snímání



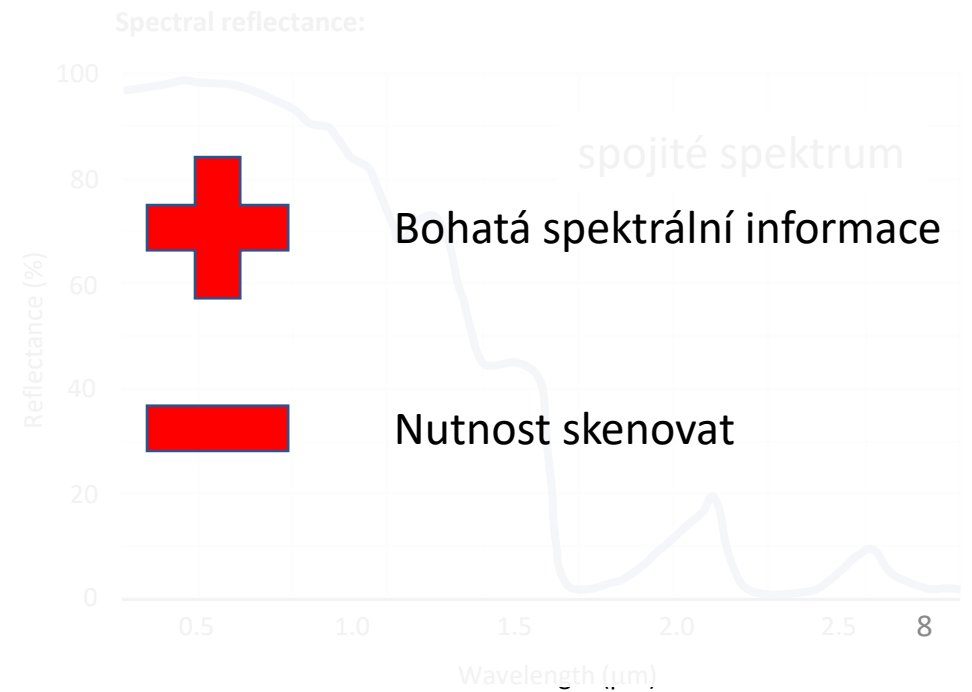
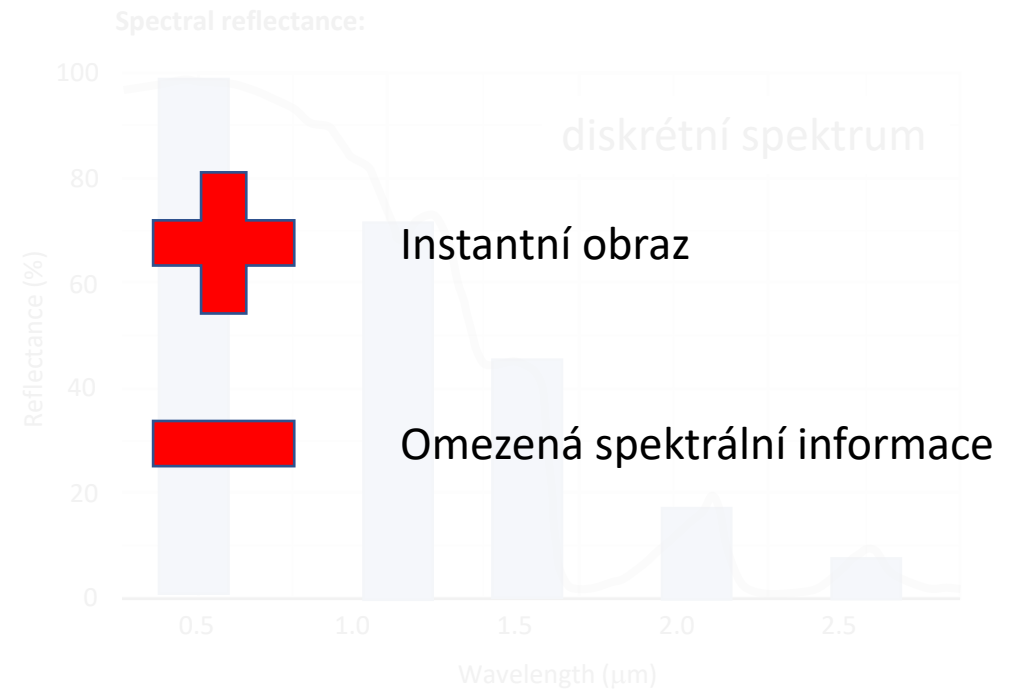
MULTISPECTRAL

Multispektrální zobrazování se skládá ze spektrálních pásem, které jsou umístěny odděleně od sebe navzájem



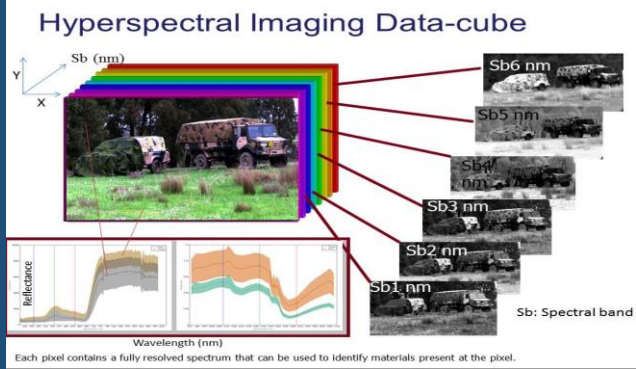
HYPERSPECTRAL

Techniky hyperspektrálního zobrazování využívají spojité a souvislé rozsahy vlnových délek (např. 400-1100 nm v krocích po 1 nm)

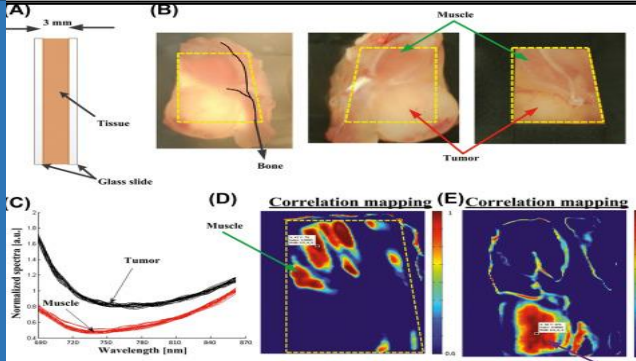


Možnosti použití hyper/multi spektrálního zobrazování

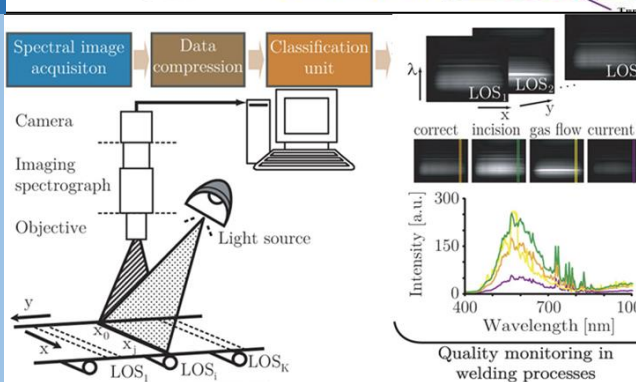
Vojenství



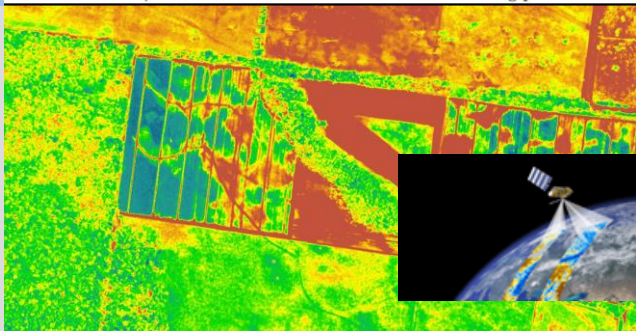
Lékařství



Průmysl



Vzdálený průzkum Země



- Automatické vyhledávání cílů
- Detekce minových polí
- ...

- diagnostika onemocnění, nádorů apod
- nekontaktní a neinvazivní diagnostika
- mikroskopie
- v kombinaci s nanotechnologiemi – diagnostika na buněčné úrovni
- forenzní analýzy

- Kontrola kvality výroby
- Kvality povrchových úprav
- Diagnostika procesů ve výrobě
- Třídění materiálů

- studium povrchu Země, vegetace,
- kvalita vody, půdy a prostředí,
- geologie,
- kartografie,
- smart agriculture

Zbraňový systém je definován jako kombinace jedné nebo více zbraní s veškerým souvisejícím vybavením, materiálem, službami, personálem a prostředky pro dodání a rozmístění (jsou-li použitelné) vyžadovanými pro soběstačnost splnění palebného úkolu.

¹US Department of Defence, "DOD dictionary of Military and Associated Terms," November 2018. [Online]. Available: <https://www.jcs.mil/Portals/36/Documents/Doctrine/pubs/dictionary.pdf>. [Accessed January 2019]

Pro prostředky hyperspektrálního průzkumu, z hlediska použití ve vojenství platí, že na čím vyšší úrovni je definován zbraňový systém, tím je vyšší míra jejich uplatnění.

Taktická a strategická úroveň



- vzdálený průzkum Země
- nevadí složitost a komplexnost HSI
- dostatečný čas na zpracování dat,
- není nutné řešit úlohy bezprostředně v reálném čase
- vhodný mimo jiné pro výzkum a vývoj

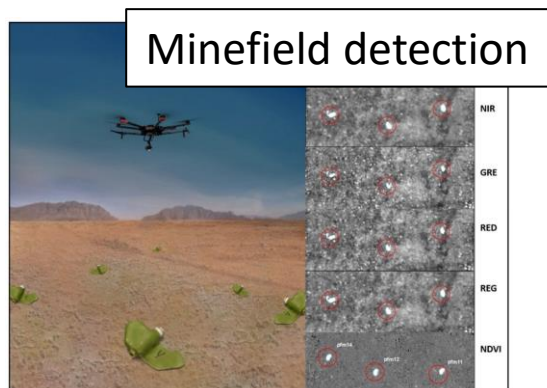
Operační úroveň



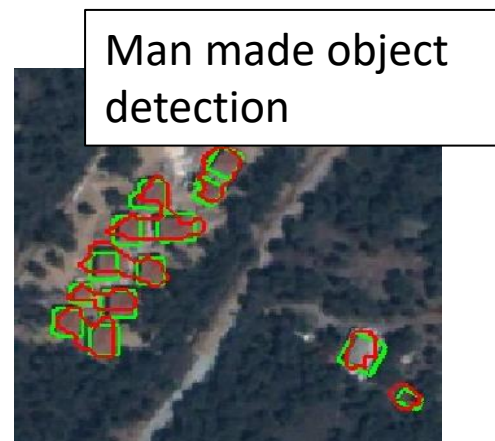
- pro bezprostřední boj, (ZS – tank, OT, BVP apod)
- Problém – doba skenování, technická složitost, doba zpracování dat
- Výhodné použití multispektrálních prostředků

Použití hyper/multi spektrální prostředků ve zbraňových systémech

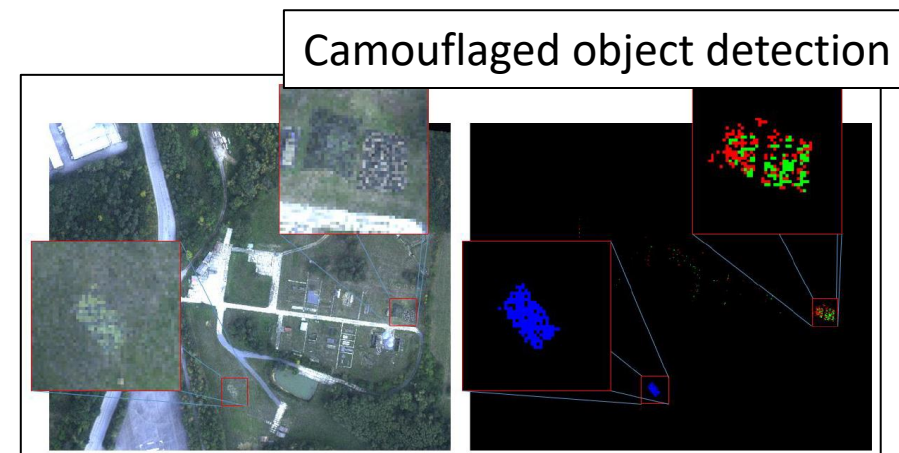
úloha	operátor	Strojové vidění
Zvýraznění kontrastu zájmových objektů vůči pozadí	✓	✓
Detekce / selekce přírodních / uměle vytvořených objektů	✓	✓
Detekce maskovaných objektů	✓	✓
Identifikace přátelských/nepřátelských (friendly/foe) objektů	✓	✓



<https://doi.org/10.3390/rs12050859>



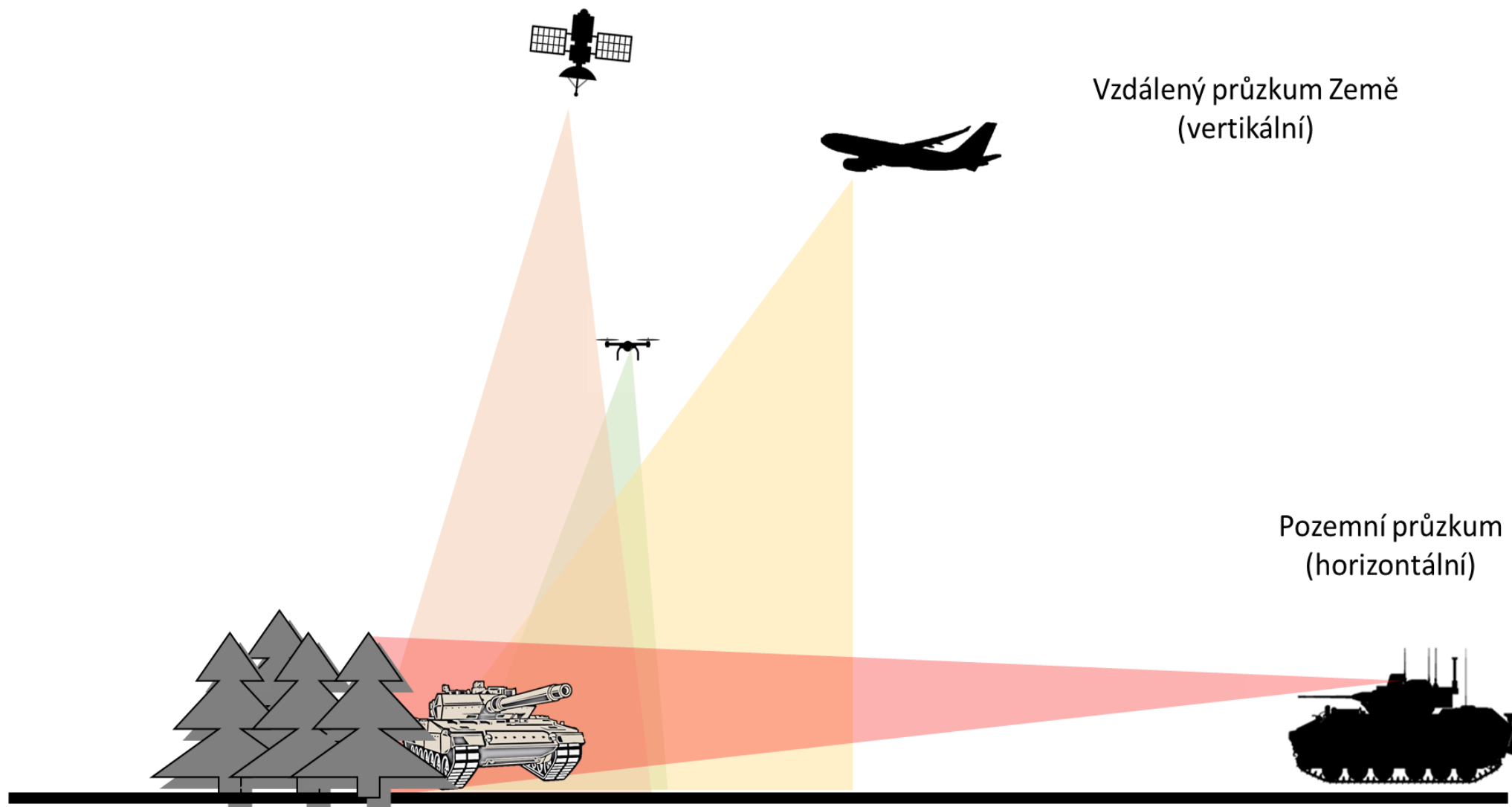
<https://doi.org/10.1109/IGARSS.2015.7326158>



Vojtěch Bárta, Využití hyperspektrálních metod ve vojenských technologiích, Univerzita obrany, Brno 2019, p. 89.

Použití hyper/multi spektrální prostředků ve zbraňových systémech

Výraznější projev vlastností atmosféry | Jiné osvětlení objektů | Jiný kontrast objektů vůči pozadí



Využití hyperspektrálního zobrazování pro návrh vlastností průzkumného/pozorovacího multispektrálního prostředku

- Výběr spektrálních pásem
 - Vlnové délky
 - Počtu
 - Šířky
- Testování metod zpracování obrazu
 - Pro potřeby operátora
 - Zvýšení kontrastu objektů zájmu
 - Selektce objektů zájmu pro potřeby Image Fusion
 - Pro potřeby strojového vidění



Michal Čapka, Návrh základních parametrů multispektrálního průzkumného prostředku, Univerzita obrany, Brno, 2017, p. 56.

(12) **United States Patent**
Choiniere

(10) **Patent No.:** **US 11,244,184 B2**
(45) **Date of Patent:** **Feb. 8, 2022**

(54) **HYPERSPECTRAL TARGET IDENTIFICATION**

(56) **References Cited**

U.S. PATENT DOCUMENTS

(71) Applicant: **BAE SYSTEMS Information and Electronic Systems Integration Inc., Nashua, NH (US)**

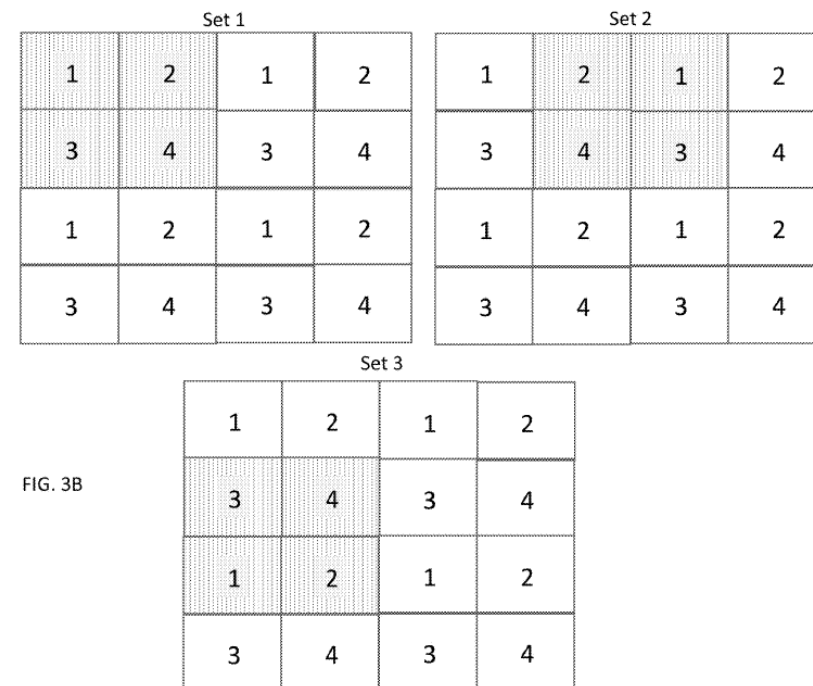
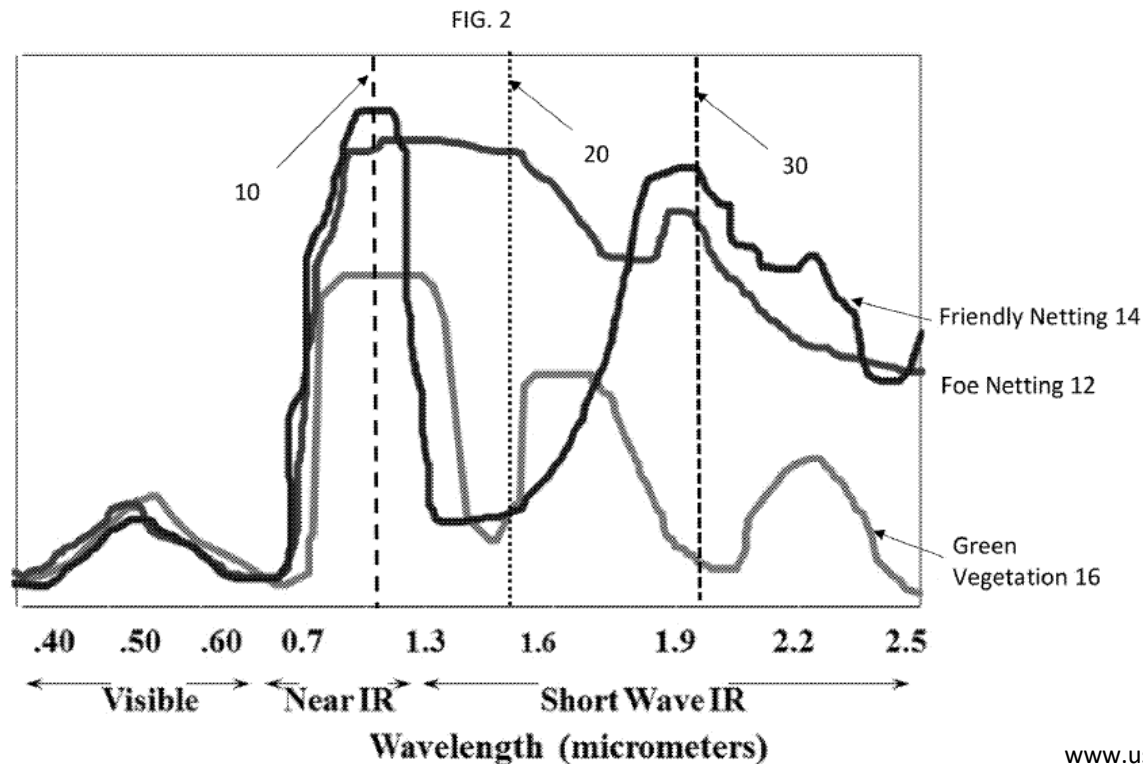
(72) Inventor: **Michael J. Choiniere, Merrimack, NH (US)**

(73) Assignee: **BAE Systems Information and Electronic Systems Integration Inc., Nashua, NH (US)**

6,282,301 B1 * 8/2001 Haskett G06K 9/0063 382/103
2008/0063237 A1 * 3/2008 Rubenstein G06K 9/0063 382/103
2010/0322471 A1 * 12/2010 Treado G01N 21/359 382/103
2013/0044963 A1 * 2/2013 Robinson G06T 7/194 382/260
2015/0235102 A1 * 8/2015 Blagg G06K 9/52 382/191
2016/0065915 A1 * 3/2016 Potter H04N 9/09

Claims:

1. ... removal of vegetation from image
2. ... automatic target recognition (ATR)
3. ... eliminating clutter from image
4. ... ATR and target type discrimination
5. ... friend and foe determinations
6. ... removal of ground and vegetation



Tréninkové soubory pro strojové vidění (deep learning)

Hluboké učení (Deep Learning) je disciplína v rámci strojového učení, která se zabývá způsobem učení neuronových sítí s velkým počtem vrstev.

GOODFELLOW, Ian; BENGIO, Yoshua; COURVILLE, Aaron. Deep Learning. [s.l.]: MIT Press, 2016. 767 s. Dostupné online. (anglicky)

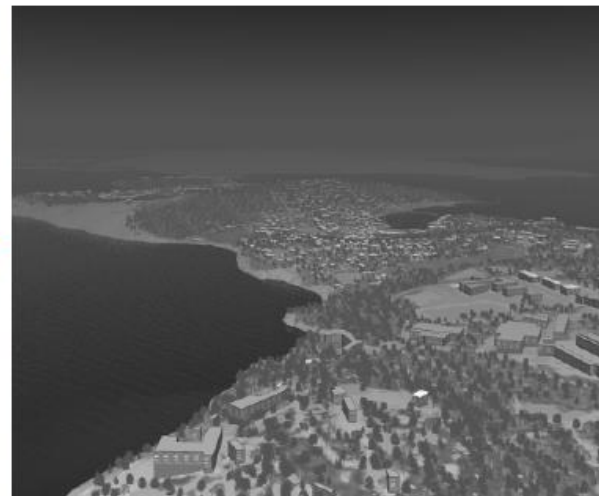


Obrovské množství
testovacích obrazů

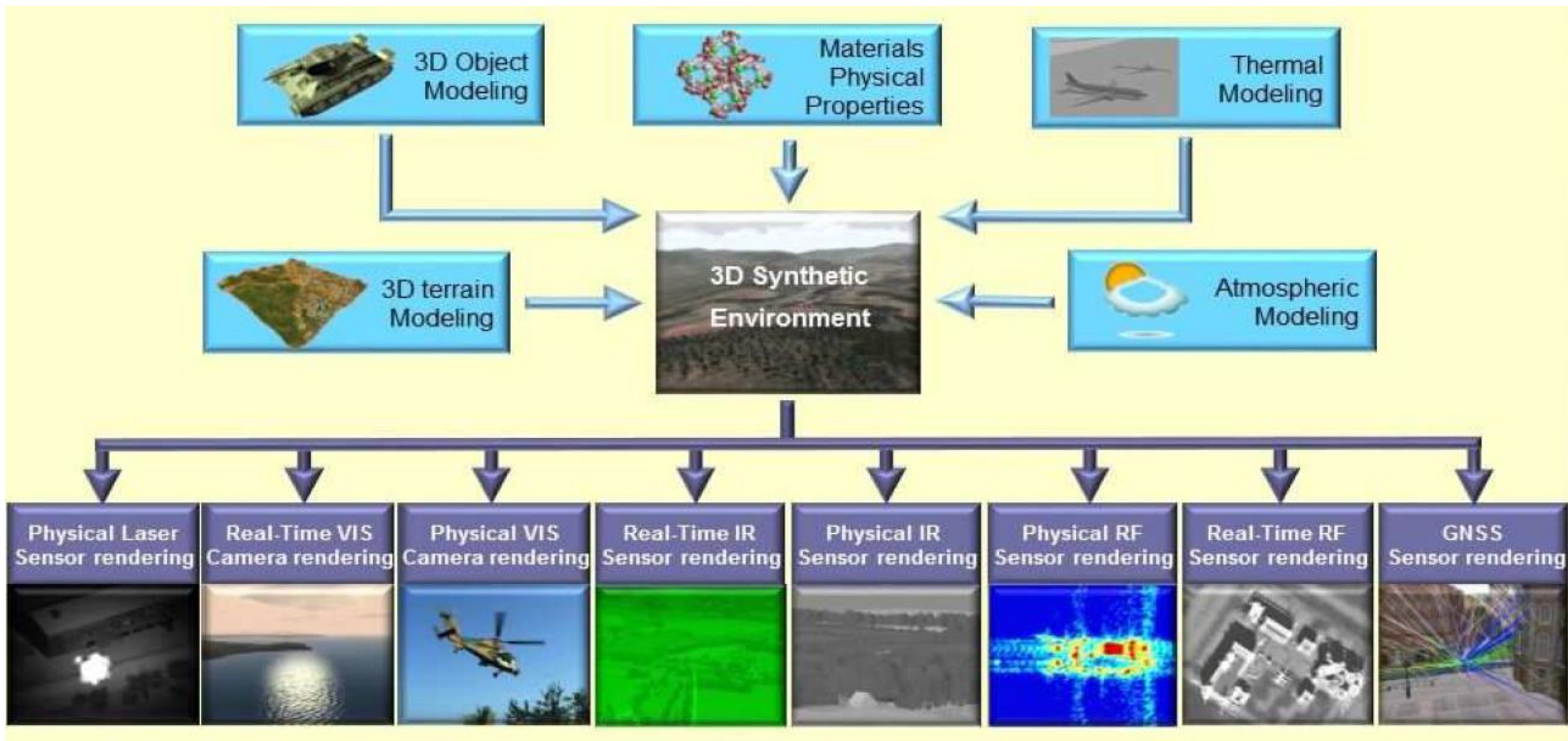


Pokročilé modelování pro potřeby deep learning

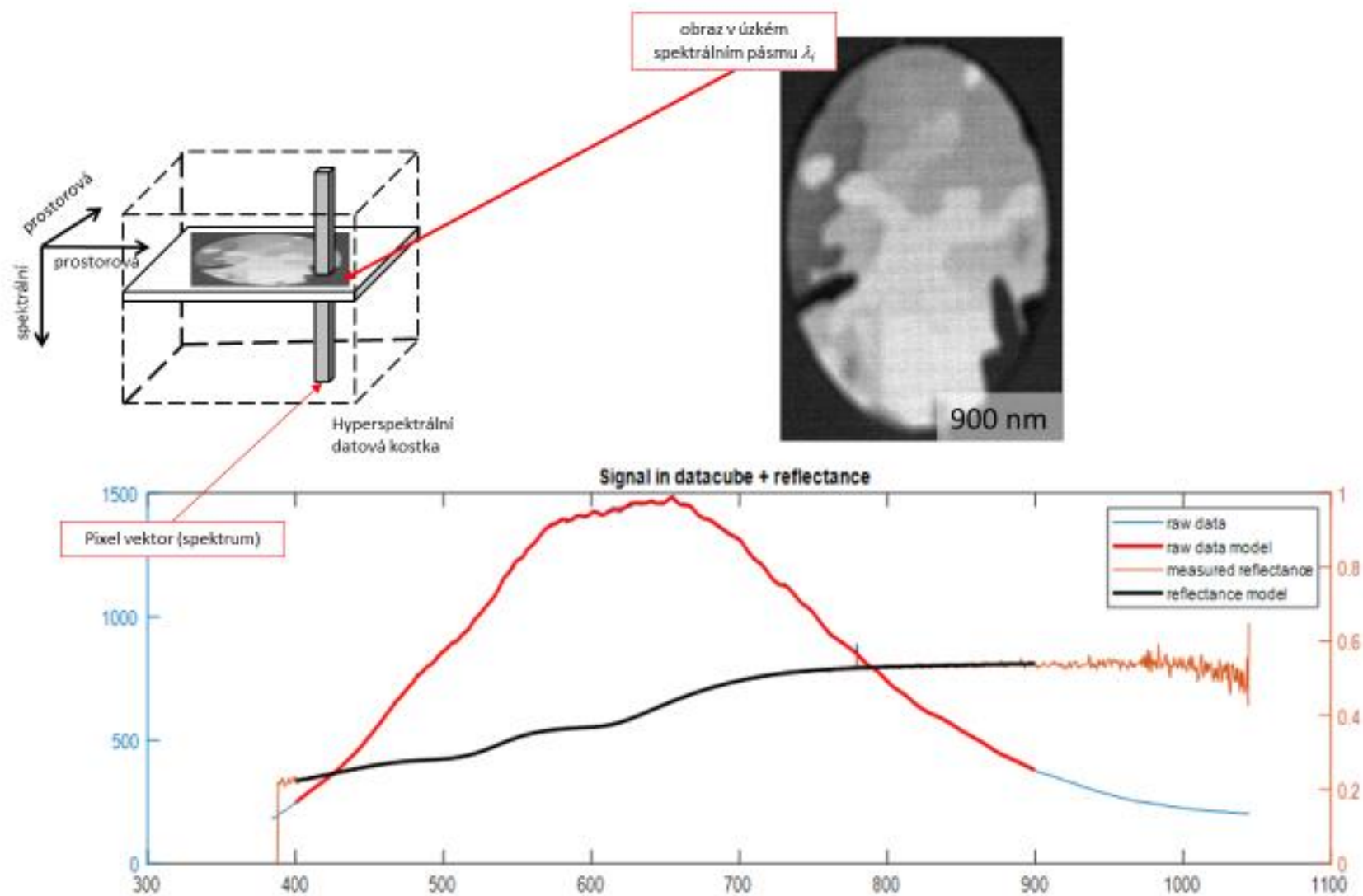
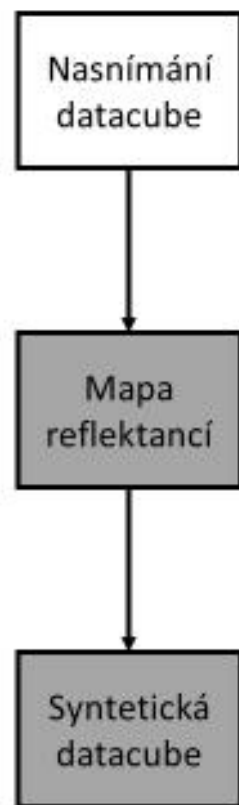
- zlepšit metody strojového vidění / zpracování obrazu využitím Neuronových sítí (deep learning)
- přípravě tréninkových sad pro trénování neuronových sítí.
- V současnosti pocházejí hlavní datové soubory ze skutečných obrázků
 - Nutné nasnímat
 - Nutné „označit“ objekty.
- Náhrada reálných snímků syntetickými obrazy
 - Vytvoření „umělého 3D světa“
 - Možnost renderování syntetických obrazů pro potřeby AI
 - Potřeba vysoké úrovně realističnosti (fyzikálních vlastností objektů)



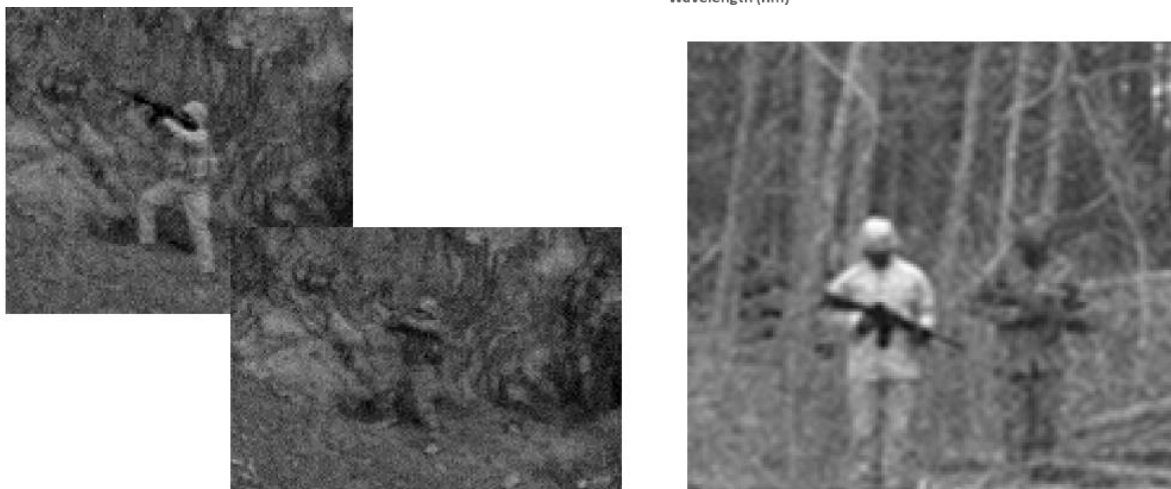
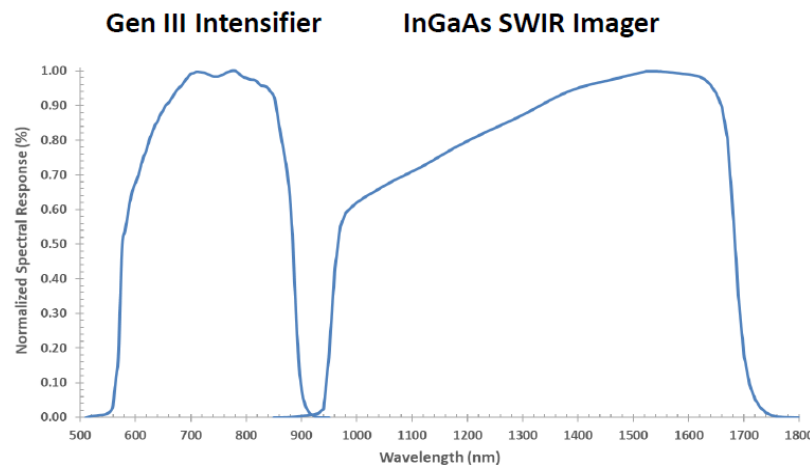
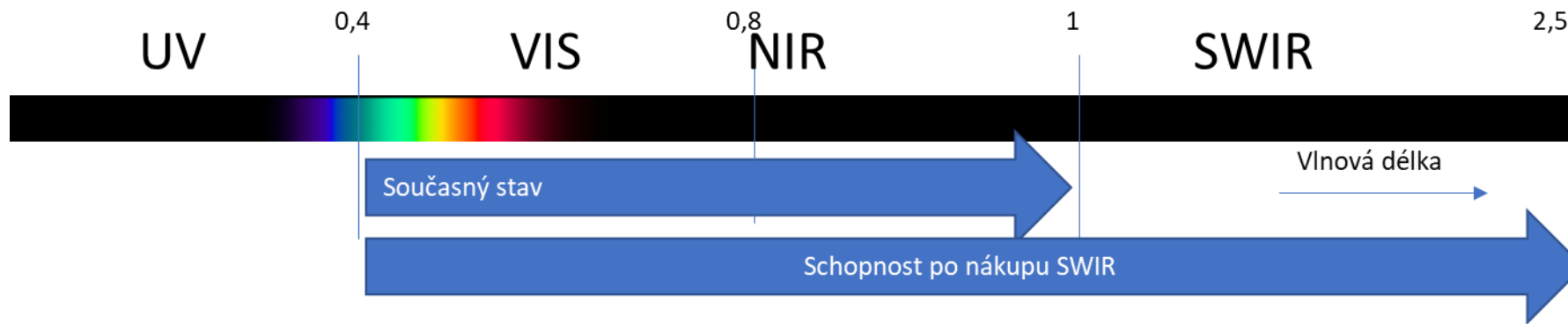
SE-WORKBANCH



Testování fyzikálních vlastností maskovacích povrchů



Testování fyzikálních vlastností maskovacích povrchů



Baseline MARPAT vs. Proof Of Concept SWIR Developmental Materials.

DEVCOM: Changes to Camouflage Spectral Reflectance Requirements, 2019



Čím disponujeme

1. Prostředky

1. Hyperspektrální kamera VIS+NIR
2. Hyperspektrální kamera SWIR (plánovaný nákup 2022)
3. Multispektrální kamera + polarizovaný obraz (plánovaný nákup 2023)
4. Termovizní kamery
5. Přenosné a laboratorní spektrofotometry

2. Schopnosti

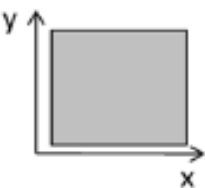
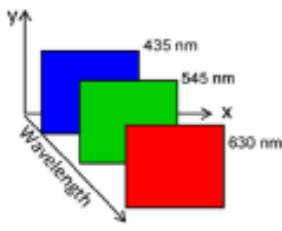
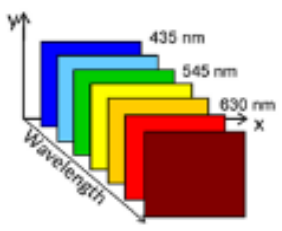
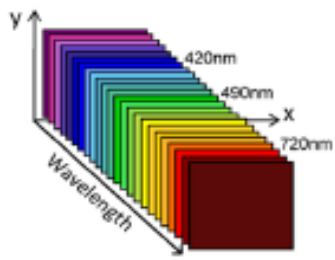
1. Zkušenosti s experimentálním měřením v laboratorních a exteriérových podmínkách
2. Základní analýzy zpracování a modelování HS/MS dat
3. Schopnost testování prostředků a metod z pohledu vojenské praxe

Možné oblasti spolupráce

1. Vývoj multispektrálních prostředků speciálního využití v oblastech VIS+NIR, SWIR, LWIR, MWIR
2. Tvorba tréninkových souborů obrazů pro deep learning
3. Tvorba syntetického 3D prostředí pro potřeby testování AI

Porovnání hyper / multi spektrálního snímání

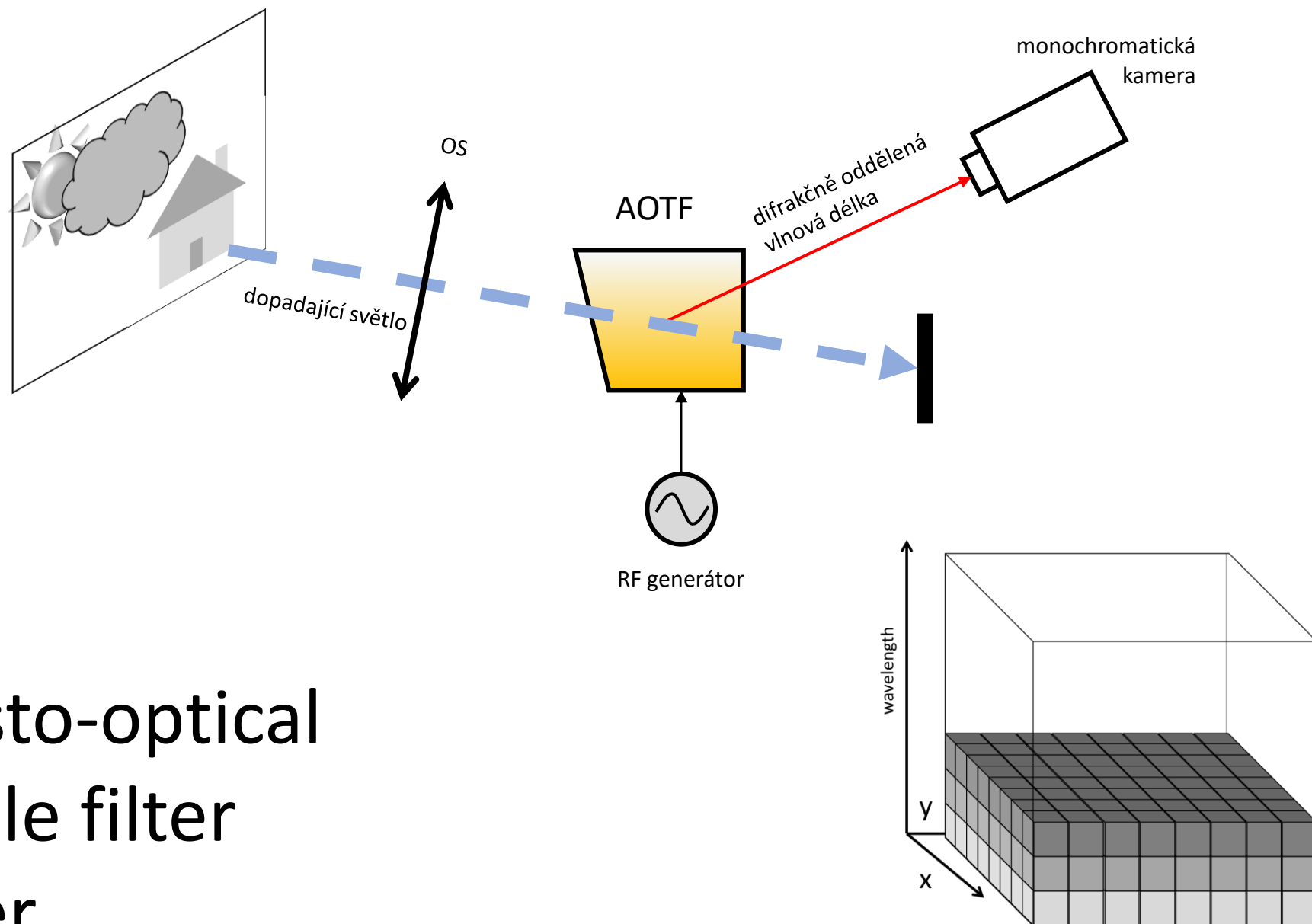
Table 1 Comparison of monochrome, RGB, spectroscopy, multispectral, and hyperspectral features.

Feature					
	Monochrome	RGB	Spectroscopy	Multispectral	Hyperspectral
Spatial information	Yes	Yes	No	Yes	Yes
Band numbers	1	3	From several dozens to hundreds	3 to 10	From several dozens to hundreds
Spectral information	No	No	Yes	Limited	Yes
Multiconstituent information	No	Limited	Yes	Limited	Yes
Sensitivity to minor components	No	No	No	Limited	Yes

Q. Li, X. He, Y. Wang, H. Liu, D. Xu and F. Guo, "Review of spectral imaging technology in biomedical engineering: achievements and challenges," *Journal of biomedical optics*, vol. 18, no. 10, October 2013

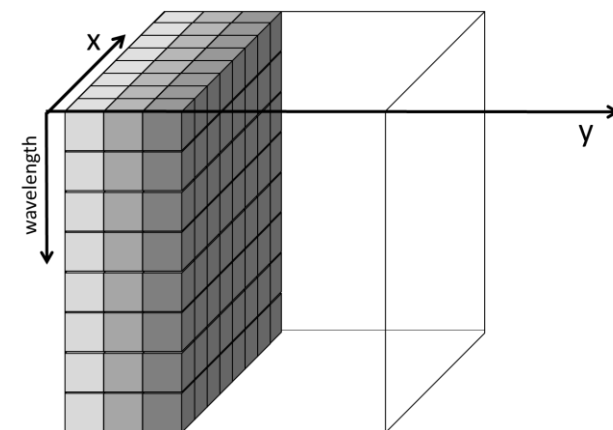
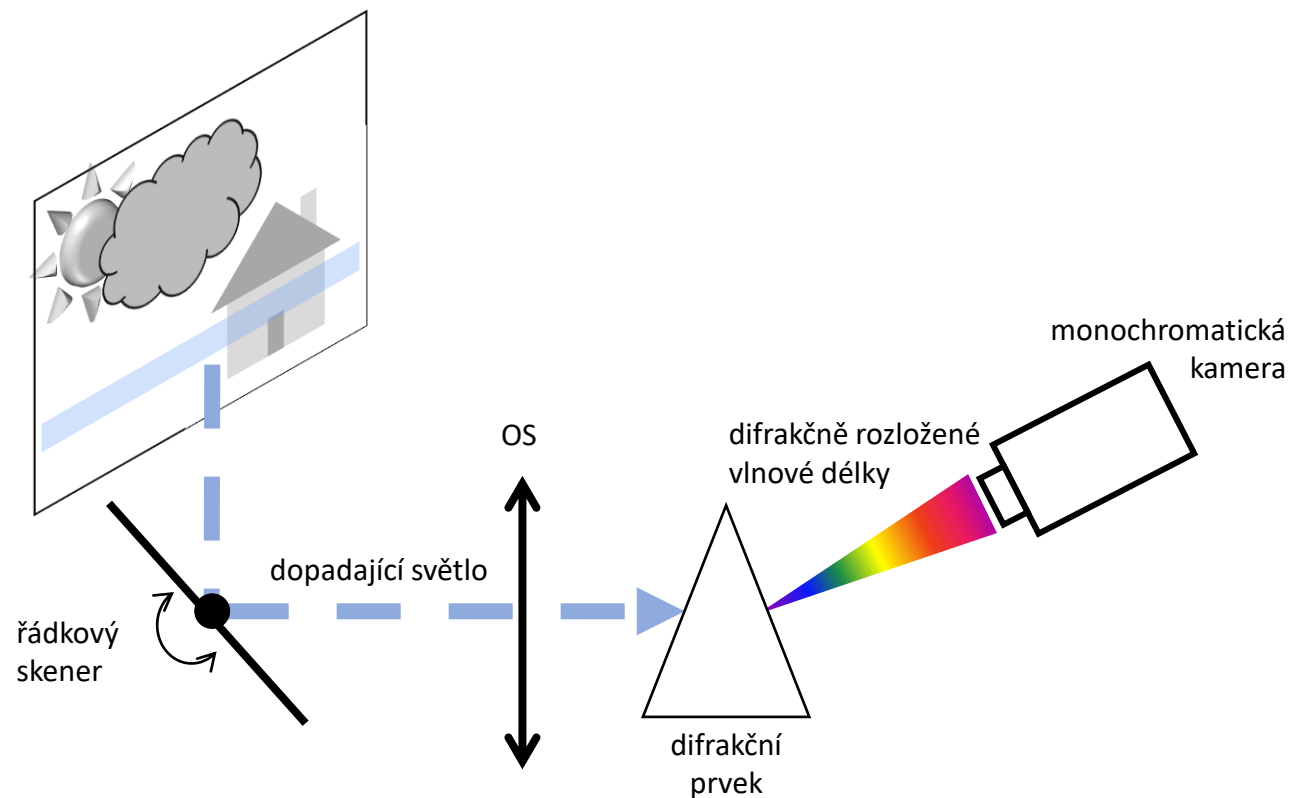
Hyperspektrální kamery (zobrazující spektrometr)

Acousto-optical tunable filter imager



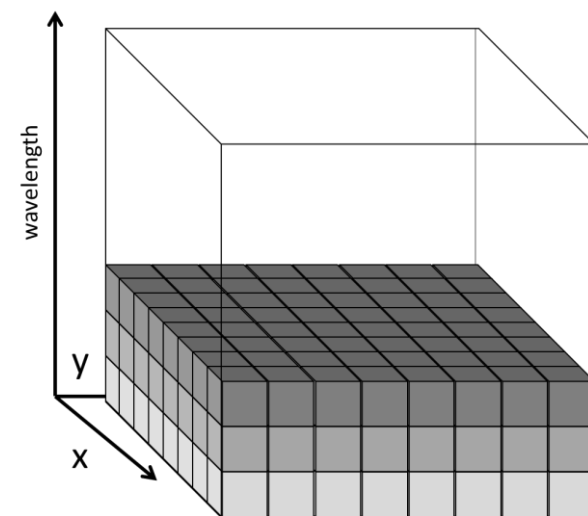
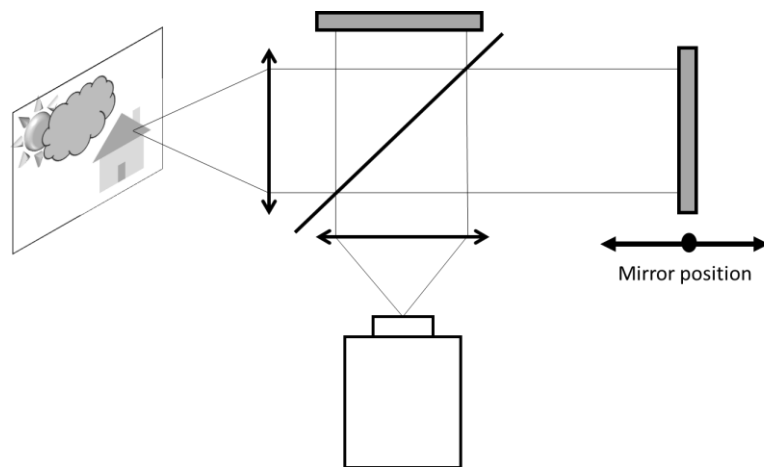
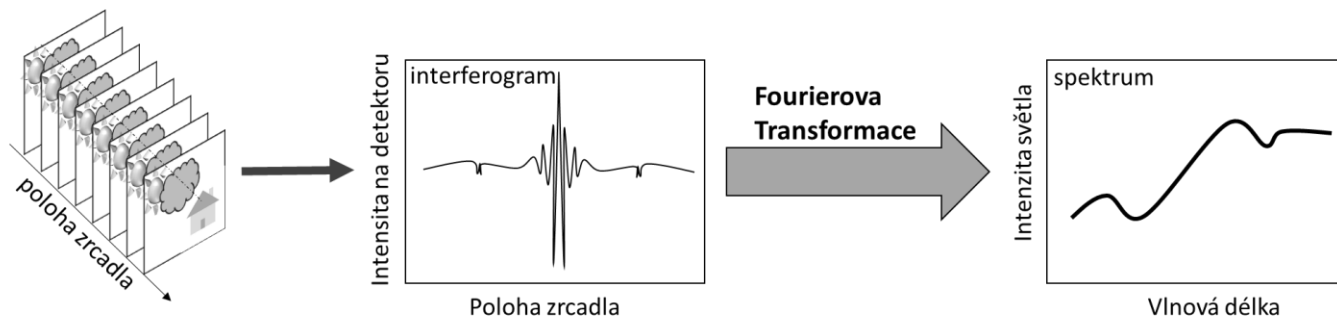
Hyperspektrální kamery (zobrazující spektrometr)

Line imaging spectrometer (pushbroom)



Hyperspektrální kamery (zobrazující spektrometr)

Fourie transform imager



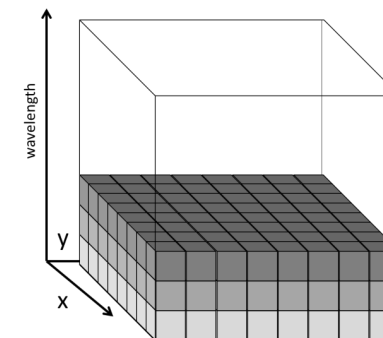
Multispektrální kamery

(zobrazující spektrometr)



<https://salvocoatings.com>

- zachycuje vícekanálové spektrální snímky otáčením filtrů ve filtrovém kole
- Výhody
 - plné prostorové rozlišení na pásmo vlnových délek,
 - filtry lze přizpůsobit na základě požadavků aplikace.
- Omezení
 - pomalé a časově náročné zobrazování (skenování),
 - složitá registrace obrazu,
 - geometrické zkreslení,
 - pohyblivý mechanický prvek.



Filter-wheel camera

Multispektrální kamery (zobrazující spektrometr)



<https://hse-uav.com>

- Původní, metoda získání multispektrální obrazové informace
- Výhody:
 - jednoduchá a
 - levná,
 - instantní (snapshot) kamera,
 - typické MS kamery dronů.
- Omezení
 - optická paralaxa mezi kamerami
 - náročné ztotožnění obrazů
 - náchylné k chybám.

Multiple cameras

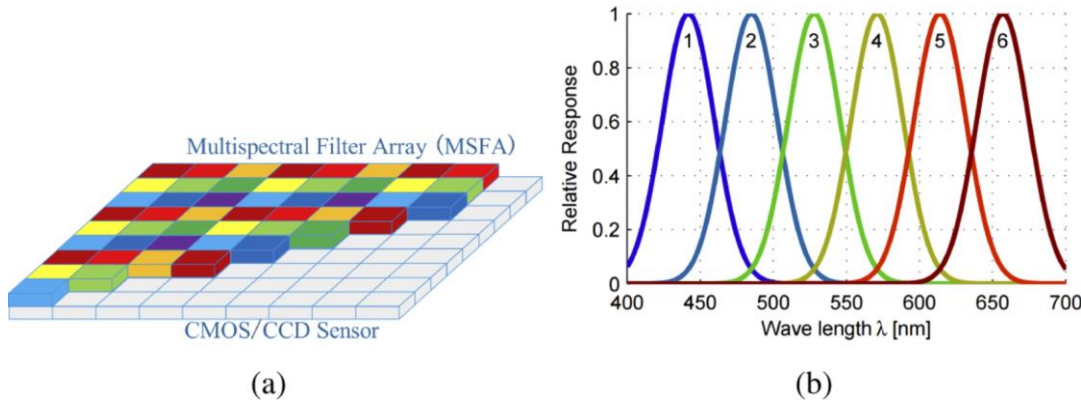


Fig. 1. A multispectral filter array and the constituent narrowband filters with the peak wavelength evenly shifted.

<https://opg.optica.org>

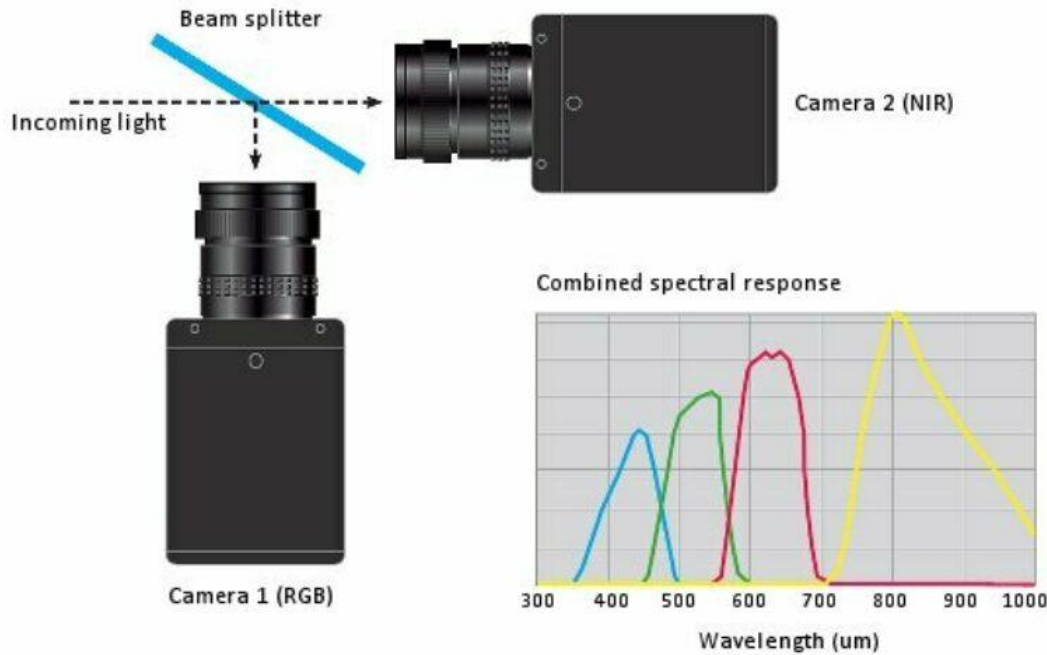
Pixelated multispectral filter array cameras

- Rozšířením konceptu Baeyerovi masky (Bayer CFA) na multispektrální filtrové pole (MSFA) – mosaic imaging
- Výhody:
 - Levné
 - Jednoduché
 - instantní (snapshot) kamera,
 - Možnost zákaznické volby počtu a spektrálních čar kanálů
- Omezení
 - Inverzní závislost mezi počtem kanálů a rozlišovací schopností
 - Vliv crosstalk (přeslech) na citlivost
 - Problémy s MSFA interpolací (demosaicing) – řídká data



<https://salvoimaging.com>

Multispektrální kamery (zobrazující spektrometr)



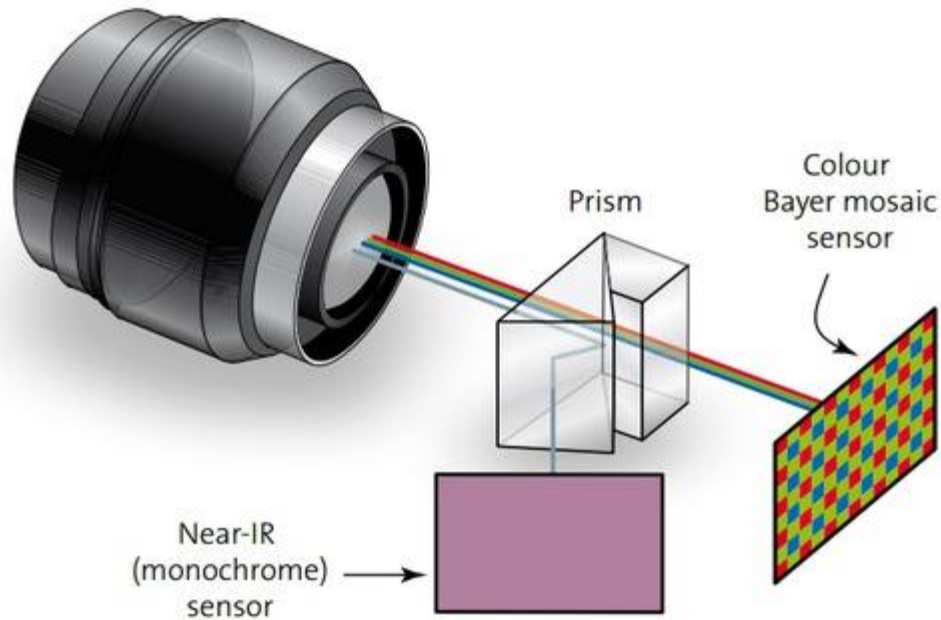
<https://www.stemmer-imaging.com>

Cameras with a beam splitter

- Způsob, řešení problémů spojených s metodou více nezávislých kamer
 - dokáže současně zachytit obrazy na více kamerách ze společné optické soustavy.
- Výhody
 - Odstraňuje optickou paralaxu.
- Nevýhodou
 - dochází ke ztrátě intenzity světla použitím děliče svazků
 - fyzicky poměrně velké a
 - drahé.



<https://www.opto-e.com/>



<https://www.stemmer-imaging.com>

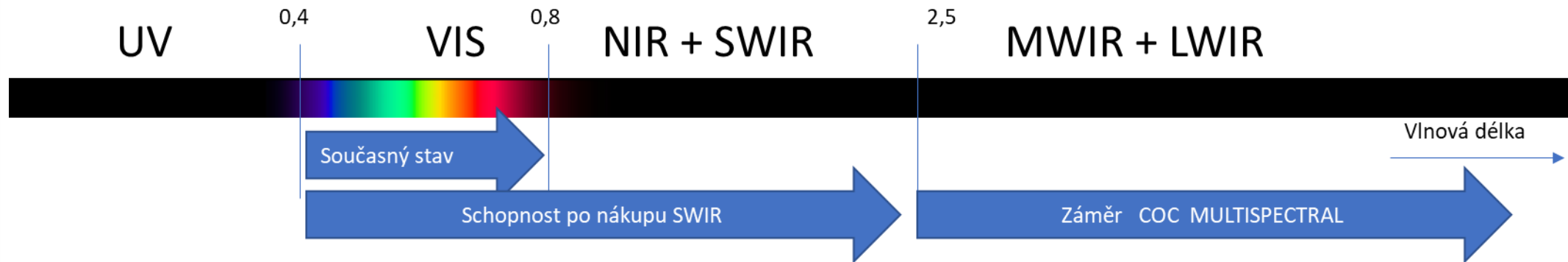
Multi-sensor dichroic prism camera

- Obdoba metody s děličem svazků
- výhody,
 - významné zmenšení velikosti (z vnějšku jediná kamera)
 - hranolové soustavy používají tvrdé dichroické povlaky, které fungují jako interferenční filtry
 - směrování příslušných spektrálních rozsahů na každý ze senzorů.
 - každý kanál přijímá plné množství světla pro rozsah, který potřebuje zachytit.
 - plné prostorového rozlišení FPA na vlnové pásmo.
- Omezení
 - velikost hranolu – a tím i kamery,
 - cena.



<https://www.jai.com>

Návrh multispektrálního průzkumného prostředku

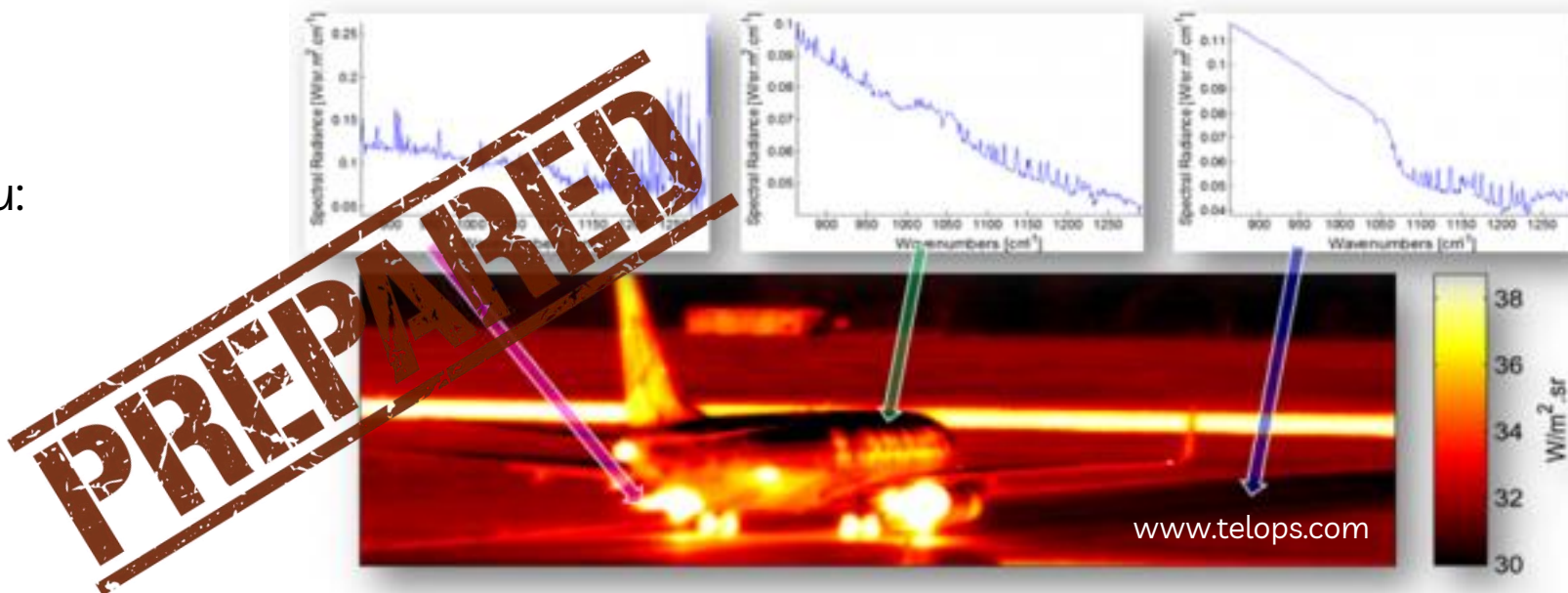


Cíle

1. **Vývoj nových MS termovizních prostředků** (demonstrátor / funkční vzor)
2. **Návrh principů a metod optimálního využití prostředků IR pozemního průzkumu**
3. **Návrh účinné ochrany vojenské techniky a prostředků**

Možní řešitelé projektu:

1. UO Brno
2. VVÚ Brno
3. VTÚ Slavičín
4. FIT VUT Brno
5. TOPTEC
6. APPLIC



Testování fyzikálních vlastností maskovacích povrchů

HYPERSPÉKTRÁLNÍ ZOBRAZOVÁNÍ

SNÍMÁNÍ

charakteristik přenášených optickým signálem

Prostorových

Spektrálních

Výkonových

MASKOVÁNÍ

OVLIVŇOVÁNÍ

charakteristik přenášených optickým signálem

Prostorových

Spektrálních

Výkonových

Polarizace

