



FAKULTA APLIKOVANÝCH VĚD
ZÁPADOČESKÉ UNIVERZITY
V PLZNI

KATEDRA INFORMATIKY
A VÝPOČETNÍ TECHNIKY



Semestrální práce

Vesmírná vozítka NASA na Marsu

Viktor Havlík



Obsah

1	Úvod	3
2	Sojourner (Mars Pathfinder, 1997)	4
2.1	Senzorické vybavení	5
2.2	Palubní výpočetní systém a softwarové řízení	5
2.3	Senzorická báze a percepce terénu	5
2.4	Autonomie, bezpečnostní logika a provozní režimy	5
3	Spirit (MER-A, 2004–2010)	7
3.1	Senzorické vybavení	7
3.2	Výpočetní architektura a real-time provoz	8
3.3	Senzory pro navigaci a odhad stavu	9
3.4	Autonomní navigace a řízení rizik	9
4	Opportunity (MER-B, 2004–2018)	10
4.1	Senzorické vybavení	10
4.2	Stabilita systému v dlouhém horizontu	11
4.3	Percepce, mapování a plánování tras	11
4.4	FDIR a degradované režimy	11
5	Curiosity (Mars Science Laboratory, 2012–současnost)	13
5.1	Senzory	13
5.2	Duální palubní počítače a spolehlivostní architektura	14
5.3	Senzorický ekosystém a fúze dat	15
5.4	AutoNav a autonomie rozhodování	15
6	Perseverance (Mars 2020, 2021–současnost)	16
6.1	Senzory	16
6.2	Zrychlené zpracování obrazu a „thinking while driving“	17
6.3	Mapování rizik a odolnost vůči nejistotě	17
6.4	Kooperace s Ingenuity a systémový dohled	18

7 Závěr	19
Bibliografie	20

Průzkum Marsu pomocí robotických vozítek představuje vysoce komplexní úlohu kybernetiky v extrémním prostředí, kde je nutné skloubit vnímání, rozhodování a řízení a to v podmínkách omezených výpočetními zdroji, radiací a zdrojem energie. Zásadním systémovým parametrem je komunikační zpoždění mezi Zemí a Marsem, které je typicky v řádu minut až desítek minut (v jednom směru). To vylučuje přímé teleoperování v uzavřené smyčce a vynucuje hierarchickou autonomii - tj. plánování vysoké úrovně probíhá na Zemi, zatímco stabilizační smyčky, navigace, detekce rizik a bezpečnostní reakce musí být realizovány v reálném čase, lokálně, uvnitř modulu [26e; 26a].

V této práci jsem se zaměřil na pět klíčových generací roverů NASA z pohledu kybernetické architektury a jejich evoluce:

- Palubního výpočetního systému a softwarového stacku.
- Senzorické báze a metod percepce.
- Autonomie a algoritmů navigace.
- Komunikační infrastruktury a provozních režimů.
- Spolehlivosti včetně fault detection, isolation and recovery (FDIR).

Důraz je kladen na to, jak volby v architektuře ovlivnily pozorovatelný výkon systému a jaké kompromisy byly nutné vzhledem k omezením mise. Kontext vzdálenosti a fyzikálních omezení provozu na Marsu shrnují veřejně dostupné materiály NASA [26c].

Sojourner (Mars Pathfinder, 1997)

2



Obrázek 2.1: Rover Sojourner na Marsu během mise Mars Pathfinder (1997). Zdroj: NASA [24].

Sojourner představoval historický zlom. Šlo o první vozítko, které na povrchu jiné planety nejen přistálo, ale také se opakovaně a cíleně pohybovalo v jeho terénu. V rámci mise Mars Pathfinder, které bylo vozítko součástí, mělo ověřit, že i malý mobilní robot může v podmínkách Marsu bezpečně manévrovat, sbírat data a přitom fungovat v režimu, kdy je většina rozhodnutí oddělena od jeho operátorů na Zemi [24].

Z kybernetického hlediska je Sojourner cenný tím, že ukazuje, jak lze s minimem senzorů a omezeným výpočetním výkonem realizovat stabilní a předvídatelné chování. Úkolem bylo dosáhnout „dostatečné autonomie“ pro bezpečný pohyb v okolí landeru a současně udržet systém v provozuschopném stavu navzdory nepříznivému prostředí.

2.1 Senzorické vybavení

Z veřejného popisu mise Mars Pathfinder lze pro rover Sojourner shrnout následující klíčové senzory/instrumenty [24]:

- Alpha Proton X-Ray Spectrometer (APXS) – určení elementárního složení hornin a půdy.
- Kamerový systém pro snímkování terénu a dokumentaci operací (snímky z landeru i roveru).

2.2 Palubní výpočetní systém a softwarové řízení

Palubní výpočetní systém Sojourneru byl navržen s důrazem na determinističnost, radiační odolnost a předvídatelné chování. Tomu odpovídaly převážně reaktivní, pravidlové strategie a hierarchické řízení: lokální regulační smyčky pro pohon a dohled doplněné sekvenční logikou pro krátké akční kroky. Cíle a pořadí úloh byly z velké části určovány pozemním týmem podle snímků a telemetrie.

2.3 Senzorická báze a percepce terénu

Základní percepční schopnost Sojourneru byla navržena tak, aby spolehlivě pokryla krátký dosah v bezprostřední blízkosti roveru. V praxi to znamenalo senzorickou sadu zaměřenou primárně na detekci překážek a odhad lokální geometrie terénu. Důležitá byla i schopnost získávat inženýrská data o prostředí a chování systému, protože mise současně ověřovala nové technologie.

Vzhledem k omezenému rozlišení prostoru i času byla percepce vhodná pro rozhodování „zastav / pokračuj / vyhni se“ v lokálním okolí, nikoli pro konstrukci dlouhých trajektorií nebo pro mapování ve smyslu moderních SLAM metod.

Zajímavým aspektem je převaha *geometrické bezpečnosti* nad *semantickou interpretací*. Sojourner neklasifikoval povrch do kategorií typu „písek, skála, štěrk“ a nevytvářel mapu s dlouhodobou konzistencí; jeho percepční řetězec byl záměrně jednoduchý, aby se snížila citlivost na proměnlivé osvětlení a prašnou atmosféru. Tím se omezilo riziko, že systém bude jednat na základě chybné interpretace.

2.4 Autonomie, bezpečnostní logika a provozní režimy

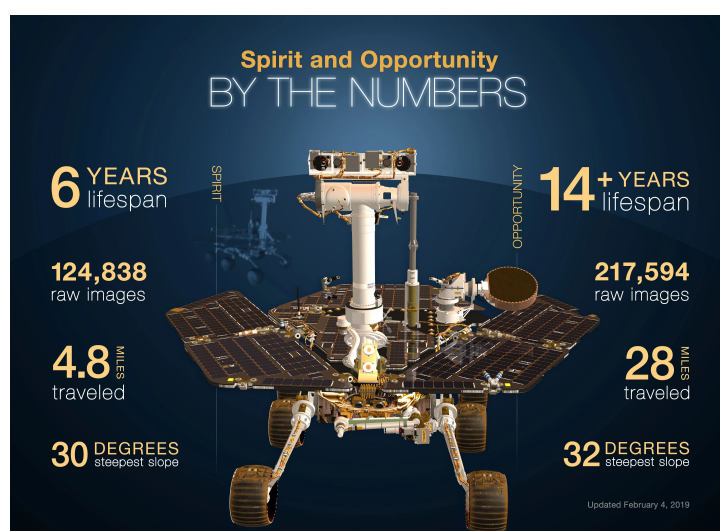
Autonomie Sojourneru se prakticky redukovala na schopnost provést krátký úsek jízdy a vyhnout se bezprostředním překážkám bez přímé lidské intervence. Bezpeč-

nost byla zajištěna kombinací konzervativních limitů pohybu (rychlost, akcelerace) a bezpečnostních pravidel, která při nejednoznačném měření preferovala zastavení a vyžádání dalšího upřesnění.

Provozní režimy byly úzce svázány s tím, že komunikace probíhala přes lander Mars Pathfinder a že energetický rozpočet byl přísně omezen. To vynucovalo krátké, dobře ohraničené aktivity a opatrný přístup k jakémukoli chování, které by mohlo zvýšit pravděpodobnost uvíznutí nebo ztráty orientace [24].

Spirit (MER-A, 2004–2010)

3



Obrázek 3.1: Rover Spirit na Marsu během mise Mars Exploration Rover (2004–2010). Zdroj: NASA [25b].

Spirit reprezentuje první generaci roveru navrženého pro systematický geologický průzkum s dlouhodobým provozem [25b]. V porovnání se Sojournerem jde o kvalitativní skok v rozsahu senzorů, v robustnosti softwaru a v míře autonomie během jízdy. Z kybernetického hlediska je zásadní přechod od čistě reaktivních strategií k metodám, které kombinují vnímání, odhad stavu a plánování trajektorie v lokálním měřítku.

3.1 Senzorické vybavení

NASA uvádí pro rovery Spirit a Opportunity následující hlavní senzory a vědecké instrumenty [25d]:

- Pancam (Panoramic Camera) – stereo panoramatické snímkování ve více spektrálních pásmech.
- Navcams (navigační kamery; zmiňované v kontextu kamerové mast assembly).
- Microscopic Imager – detailní makro snímkování povrchu hornin a půdy.
- Mini-TES (Miniature Thermal Emission Spectrometer) – infračervená spektroskopie/mineralogie na dálku.
- Mössbauer Spectrometer (MB) – analýza železitých minerálů.
- APXS (Alpha Particle X-Ray Spectrometer) – elementární složení hornin a regolitu.
- RAT (Rock Abrasion Tool) – obrušování povrchu hornin pro odkrytí čerstvého materiálu.
- Magnet Array – sběr prachu pro následnou analýzu.
- Kalibrační cíle (včetně slunečních hodin) – referenční prvky pro kalibraci měření.

3.2 Výpočetní architektura a real-time provoz

Rover využíval radiačně tvrzený procesor a real-time operační systém, což umožnilo deterministické plánování úloh včetně řízení aktuátorů, zpracování obrazových dat a komunikačních relací. RTOS poskytoval časové záruky, které jsou pro stabilitu uzavřených regulačních smyček a pro predikovatelné reakce na události (např. detekce hazardu) klíčové.

Architektura byla typicky organizována do subsystémů:

- Mobilita a řízení podvozku.
- Manipulace (robotická paže).
- Percepce.
- Plánování a sekvencování.
- Energetický management a termální kontrola.

Takové rozdělení podporuje verifikovatelnost chování a umožňuje implementovat FDIR na úrovni subsystémů.

3.3 Senzory pro navigaci a odhad stavu

Spirit byl vybaven stereo kamerami (navigační a hazard kamery), inerciálními a proprioceptivními měřeními (např. enkodéry kol, proudové odběry pohonů) a dalšími senzory nutnými pro bezpečný provoz. Z kybernetického hlediska je podstatné, že odhad pohybu nemohl spoléhat pouze na odometrické měření: regolit způsobuje prokluz a tím systematickou chybu integrace.

Implementace vizuální odometrie představovala praktickou realizaci fúze měření pro odhad stavu. Principem je detekce stabilních obrazových příznaků v následných snímcích a odhad relativního posunu. Tato metoda vytváří zpětnovazební korekci k odometrii, čímž omezuje drift a zvyšuje přesnost dosažení cílových bodů.

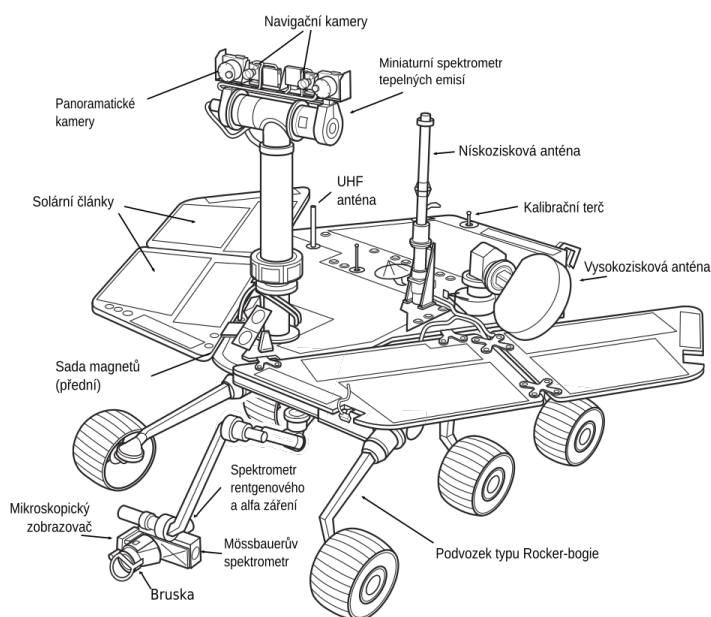
3.4 Autonomní navigace a řízení rizik

Autonomie Spiritu se projevila zejména v lokální navigaci: rover byl schopen vyhodnotit rizika na krátkou vzdálenost, zvolit bezpečný průjezd a zastavit při zhoršení podmínek. Klíčovým kybernetickým prvkem je zde řízení rizika ve smyslu minimalizace pravděpodobnosti uvíznutí či převrácení, nikoli maximalizace rychlosti.

Z praktického provozu vyplývá, že nejkritičtějšími nejistotami jsou odhad únosnosti povrchu a predikce prokluzu. Tyto jevy jsou obtížně pozorovatelné přímo a vyžadují nepřímé indikátory (např. nesoulad odometrie a vizuální odometrie, anomální proudy motorů). Spirit tak představuje přechod k *monitorování modelové konzistence* jako součásti bezpečnostní logiky.

Opportunity (MER-B, 2004–2018)

4



Obrázek 4.1: Rover Opportunity na Marsu během mise Mars Exploration Rover (2004–2018). Zdroj: Wikipedia/Opportunity

Opportunity sdílel základní platformu se Spiritem, liší se však délkou mise, která proměnila rover v experiment dlouhodobé kybernetické adaptace v operačním smyslu [25b]. Ačkoliv se fyzická architektura výrazně nelišila, klíčové byly kumulativní změny v softwarových postupech, provozních strategiích a ve využití senzorů pro robustnější rozhodování.

4.1 Senzorické vybavení

Opportunity sdílel se Spiritem platformu i instrumentaci. NASA pro tuto generaci roverů uvádí zejména [25d]:

- Pancam (Panoramic Camera).
- Navcams (navigační kamery; součást kamerové mast assembly).
- Microscopic Imager.
- Mini-TES (Miniature Thermal Emission Spectrometer).
- Mössbauer Spectrometer (MB).
- APXS (Alpha Particle X-Ray Spectrometer).
- RAT (Rock Abrasion Tool).
- Magnet Array.
- Kalibrační cíle (včetně slunečních hodin).

4.2 Stabilita systému v dlouhém horizontu

Z kybernetického pohledu je dlouhá životnost relevantní z hlediska driftu kalibrací, degradace akčních členů a senzorů, a proměny prostředí (prachové depozity, sezónní změny osvitů). Úloha řízení se tak posouvá od „řízení v čase“ k „řízení přes životní cyklus“, kde je nezbytné průběžně vyhodnocovat výkonové rezervy a upravovat operační režimy.

Opportunity demonstroval význam robustní telemetrie a diagnostiky. Detekce anomálií se opírá o dlouhodobé trendy (např. rostoucí energetická náročnost pohonu, změny termální bilance), což vyžaduje konzistentní datové produkty a stabilní softwarové rozhraní pro pozemní analýzu.

4.3 Percepce, mapování a plánování tras

Pro dlouhé přejezdy se ukázala jako zásadní kombinace lokální autonomie a globálního plánování. Globální plán je typicky konstruován na Zemi ze snímků a digitálních modelů terénu, avšak jeho realizace vyžaduje lokální adaptaci. Opportunity využíval percepční kanály pro detekci hazardů a pro korekci odhadu pohybu, čímž snižoval kumulaci chyb při dlouhých traversách.

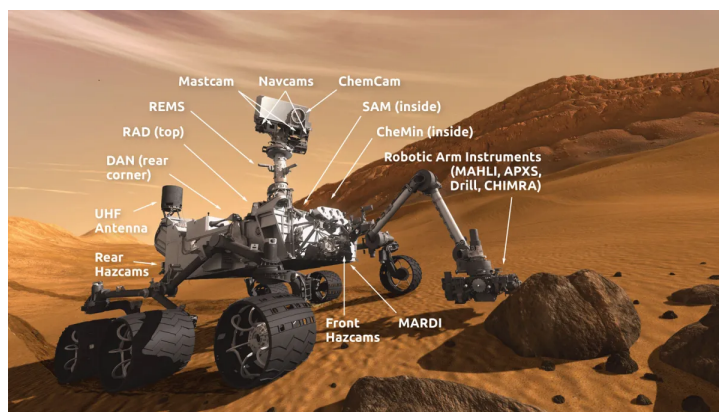
4.4 FDIR a degradované režimy

Extrémní životnost zvýraznila význam degradovaných režimů. Schopnost pokračovat v misi i při částečné degradaci subsystémů je systémově klíčová: rover musí umět

omezit výkon, zpomalit operace, změnit strategie komunikace či jízdy a přitom zachovat bezpečnost. Opportunity je proto vhodným příkladem, že úspěch není dán pouze nominálním výkonem, ale také kvalitou návrhu bezpečnostních přechodů a diagnostických rozhraní.

Curiosity (Mars Science Laboratory, 2012–současnost)

5



Obrázek 5.1: Rover Curiosity na Marsu během mise Mars Science Laboratory (2012–současnost). Zdroj: NASA [26d].

Curiosity představuje přechod k roveru kategorie „pojízdná laboratoř“, kde se kybernetické požadavky rozšiřují o koordinaci komplexních vědeckých instrumentů, přesné polohování manipulátoru a vyšší míru autonomie při výběru vědeckých cílů. Tím roste nejen výpočetní náročnost, ale i nároky na bezpečnostní architekturu [26d].

5.1 Senzory

NASA uvádí pro Curiosity přehled hlavních instrumentů, který pokrývá kamerové systémy, spektrometry, radiační a environmentální senzory [25c]:

- Mastcam – panoramatické barevné snímkování a video.

- MAHLI (Mars Hand Lens Imager) – makro/mikro snímkování na robotickém rameni.
- MARDI (Mars Descent Imager) – kamera pro záznam sestupu (EDL).
- APXS (Alpha Particle X-Ray Spectrometer) – elementární chemie hornin a regolitu.
- ChemCam (Chemistry & Camera) – laserová analýza + kamera + spektrometry.
- CheMin (Chemistry & Mineralogy X-Ray Diffraction) – XRD/XRF analýza mineralogie.
- SAM (Sample Analysis at Mars) – suite pro analýzu plynů a organických sloučenin.
- RAD (Radiation Assessment Detector) – měření ionizujícího záření.
- DAN (Dynamic Albedo of Neutrons) – detekce vodíku (indikace vody) pod povrchem.
- REMS (Rover Environmental Monitoring Station) – meteorologické senzory (tlak, teplota, vlhkost, vítr, UV).
- MEDLI (Mars Science Laboratory Entry Descent and Landing Instrument) – měření během vstupu/sestupu/přistání.

5.2 Duální palubní počítače a spolehlivostní architektura

Curiosity je vybaven redundantní dvojicí palubních počítačů (Rover Compute Element), což umožňuje přepnutí role při poruše či degradaci. Redundance v kosmických systémech není pouhou duplikací; vyžaduje jasně definované stavy, synchronizaci kritických dat a konzervativní procedury pro přechod mezi jednotkami, aby se předešlo nekonzistentním rozhodnutím.

FDIR zde zahrnuje více vrstev: detekci anomálií na úrovni hardware (paměťové chyby, radiační jevy), na úrovni software (watchdog, kontrola časování úloh), i na úrovni systému (neobvyklé chování pohonu, odchylky v energetické bilanci). Z kybernetického hlediska jde o návrh bezpečné *meta-regulace*: systém reguluje vlastní schopnost regulovat.

5.3 Senzorický ekosystém a fúze dat

Curiosity disponuje rozsáhlou senzorickou výbavou pro navigaci, vědu a monitoring stavu. Pro mobilitu jsou klíčové stereo kamery pro odhad terénu a měření rizik (např. sklon, výška překážek) spolu s proprioceptivními měřeními. Pro vědecké operace je významná schopnost přesné lokalizace instrumentů vůči cíli a stabilní geometrie snímání.

Z hlediska kybernetiky je důležitá fúze heterogenních datových toků s různými vzorkovacími frekvencemi, latencemi a spolehlivostí. Návrh musí zohlednit, že některé kanály jsou kritické pro bezpečnost (hazard detekce), jiné pro výkon (rychlejší mapování) a další pro vědu. Správná prioritizace a plánování výpočetních zdrojů je zde stejně důležitá jako samotný algoritmus.

5.4 AutoNav a autonomie rozhodování

Autonomní navigace Curiosity (AutoNav) rozšiřuje schopnost roveru nejen reagovat na překážky, ale také vytvářet lokální plán trasy s ohledem na bezpečnostní kritéria. Zásadní je, že rover musí rozhodovat pod nejistotou: mapování terénu je zatíženo chybou rekonstrukce, prach ovlivňuje kontrast, a fyzikální vlastnosti regolitu nelze přímo měřit.

Praktickým kompromisem je volba konzervativních bezpečnostních marginů. Ty snižují rychlost postupu, ale stabilizují rizikový profil mise. Curiosity také demonstruje posun k autonomii ve vědě: systém může předběžně vyhodnotit zajímavost cílů (např. na základě obrazových a spektroskopických znaků) a optimalizovat využití času v období bez spojení.

Perseverance (Mars 2020, 2021–současnost)

6



Obrázek 6.1: Rover Perseverance na Marsu během mise Mars 2020(2021–současnost). Zdroj: NASA [26b].

Perseverance navazuje na platformu Curiosity, přináší ale výrazný posun v rychlosti autonomní jízdy a v kvalitě percepce [26b]. Kybernetické jádro změny spočívá ve zkrácení doby „vnímám–plánuji–jedu“ a v rozšíření množství informací, které lze zpracovat v reálném čase v rámci energetických limitů.

6.1 Senzory

NASA uvádí pro Perseverance následující hlavní instrumenty a senzory [25e]:

- Mastcam-Z – panoramatické barevné a stereo snímkování/HD video se zoomem.

- Navcams (navigační kamery; umístěné vedle Mastcam-Z).
- SuperCam – kamera + laser + spektrometry pro dálkovou analýzu hornin a půdy.
- PIXL (Planetary Instrument for X-ray Lithochemistry) – jemnoškálová chemická analýza (X-ray).
- SHERLOC (Scanning Habitable Environments with Raman & Luminescence for Organics & Chemicals) + WATSON kamera – detekce organických látek/-minerálů a detailní snímkování.
- RIMFAX (Radar Imager for Mars' Subsurface Experiment) – podpovrchový radar.
- MEDA (Mars Environmental Dynamics Analyzer) – meteorologické a prachové senzory.
- MOXIE (Mars Oxygen ISRU Experiment) – experiment pro výrobu kyslíku z atmosféry.

6.2 Zrychlené zpracování obrazu a „thinking while driving“

Zatímco starší generace často realizovaly autonomii ve formě cyklu „popojed–zastav–zpracuj–popojed“, Perseverance je navržen k plynulejšímu režimu jízdy s průběžnou aktualizací modelu terénu. To vyžaduje vyšší výpočetní výkon i efektivnější zpracování obrazových dat, včetně optimalizovaných pipeline pro stereo rekonstrukci a hodnocení traversability.

Z kybernetického hlediska jde o zvýšení šířky pásma percepční smyčky: rychlejší aktualizace stavu prostředí umožňuje bezpečnější a rychlejší řízení, protože rozhodnutí jsou založena na aktuálnější informaci. Současně však roste riziko chyb způsobených přetížením výpočetního systému či nestabilitou algoritmů. Stabilita je proto zajištěna striktními prioritami úloh a bezpečnostními limity, které mají přednost před výkonem [26e].

6.3 Mapování rizik a odolnost vůči nejistotě

Perseverance používá sadu kamerových systémů a dalších senzorů, které podporují navigaci, vědu i dokumentaci operací. Pro mobilitu je podstatná schopnost odhadnout traversability nejen na základě geometrie, ale i na základě textury a pravděpo-

dobnostních indikátorů prokluzu. To představuje posun od čistě deterministického „je překážka / není překážka“ k pravděpodobnostnímu „jaké je riziko průjezdu“.

Takový přístup lze interpretovat jako implementaci rozhodování pod nejistotou, kde je cílem minimalizace očekávané ztráty (např. uvíznutí, poškození kol) při omezení času. Praktická realizace typicky kombinuje konzervativní pravidla s metrikami odvozenými z percepce.

6.4 Kooperace s Ingenuity a systémový dohled



Obrázek 6.2: Vrtulník Ingenuity spolupracující s roverem Perseverance na Marsu během mise Mars 2020 (2021–současnost). Zdroj: NASA [25a].

Integrace s vrtulníkem Ingenuity představuje první praktickou demonstraci heterogenní kooperace na jiné planetě [25a]. I když Ingenuity funguje jako samostatný agent, rover zde plní roli komunikačního uzlu a logistického partnera [26b]. Kybernetickým problémem je koordinace plánů: rover musí alokovat čas, energii a komunikační kapacitu tak, aby nenarušil vlastní vědecké cíle a současně umožnil přenos telemetrie a příkazů pro let.

Z pohledu systémového inženýrství jde o rozšíření supervizní smyčky: pozemní tým plánuje operace dvou agentů, přičemž lokální bezpečnostní smyčky obou platform musí zůstat autonomní. Tato architektura je prototypem budoucích misí, kde bude více robotických prvků sdílet prostředky a informace.

Závěr

7

Evoluce roverů od Sojourneru po Perseverance ukazuje posun od minimalistické reaktivní autonomie k vícevrstvým kybernetickým strukturám kombinujícím fúzi senzorů, lokální plánování, robustní FDIR a supervizní pozemní řízení. Klíčovým trendem je růst informační kapacity percepční smyčky (více senzorů, vyšší rozlišení, rychlejší zpracování) a současně růst důrazu na bezpečnostní meta-řízení, tedy schopnost systému spolehlivě poznat vlastní limity a přejít do bezpečného stavu.

Bibliografie

- [26a] *Deep Space Network* [online]. National Aeronautics and Space Administration (NASA), 2026-01-29. [cit. 2026-01-30]. Dostupné z: <https://www.nasa.gov/communicating-with-missions/dsn/>.
- [25a] *Ingenuity Mars Helicopter* [online]. National Aeronautics and Space Administration (NASA), 2025-02-14. [cit. 2026-01-30]. Dostupné z: <https://science.nasa.gov/mission/mars-2020-perseverance/ingenuity-mars-helicopter/>.
- [26b] *Mars 2020: Perseverance Rover* [online]. National Aeronautics and Space Administration (NASA), 2026-01-13. [cit. 2026-01-30]. Dostupné z: <https://science.nasa.gov/mission/mars-2020-perseverance/>.
- [25b] *Mars Exploration Rovers: Spirit and Opportunity* [online]. National Aeronautics and Space Administration (NASA), 2025-04-07. [cit. 2026-01-30]. Dostupné z: <https://science.nasa.gov/mission/mars-exploration-rovers-spirit-and-opportunity/>.
- [26c] *Mars Facts* [online]. National Aeronautics and Space Administration (NASA), 2026-01-19. [cit. 2026-01-30]. Dostupné z: <https://science.nasa.gov/mars/facts/>.
- [24] *Mars Pathfinder* [online]. National Aeronautics and Space Administration (NASA), 2024-11-06. [cit. 2026-01-30]. Dostupné z: <https://science.nasa.gov/mission/mars-pathfinder/>.
- [26d] *Mars Science Laboratory: Curiosity Rover* [online]. National Aeronautics and Space Administration (NASA), 2026-01-26. [cit. 2026-01-30]. Dostupné z: <https://science.nasa.gov/mission/msl-curiosity/>.
- [26e] *NASA's Perseverance Rover Completes First AI-Planned Drive on Mars* [online]. National Aeronautics and Space Administration (NASA), 2026-01-30. [cit. 2026-01-30]. Dostupné z: <https://www.nasa.gov/missions/mars-2020-perseverance/perseverance-rover/nasas-perseverance-rover-completes-first-ai-planned-drive-on-mars/>.

- [25c] *Science Instruments (Curiosity Rover)* [online]. National Aeronautics and Space Administration (NASA), 2025-04-07. [cit. 2026-01-30]. Dostupné z: <https://science.nasa.gov/mission/msl-curiosity/science-instruments/>.
- [25d] *Science Instruments (Mars Exploration Rovers: Spirit and Opportunity)* [online]. National Aeronautics and Space Administration (NASA), 2025-04-07. [cit. 2026-01-30]. Dostupné z: <https://science.nasa.gov/mission/mars-exploration-rovers-spirit-and-opportunity/science-instruments/>.
- [25e] *Science Instruments (Perseverance Rover)* [online]. National Aeronautics and Space Administration (NASA), 2025-11-20. [cit. 2026-01-30]. Dostupné z: <https://science.nasa.gov/mission/mars-2020-perseverance/science-instruments/>.