



Řídící systémy Hubbleova vesmírného dalekohledu

Západočeská Univerzita V Plzni
Katedra Kybernetiky
Semestrální práce - HKUI

Jakub Zvěřina
1. semestr
23. ledna 2025

1 Úvod

Hubbleův vesmírný dalekohled (Hubble Space Telescope, HST) je umělá družice obíhající na nízké oběžné dráze Země ve výšce mezi 500 a 600 km od zemského povrchu. Je určená k pořizování fotografií vesmírných těles, jejich seskupení a vesmírných fenoménů a k následnému výzkumu. Na oběžnou dráhu byl dopraven 24. dubna 1990 raketoplánem Discovery a dodnes bylo s jeho použitím provedeno více než 1,5 milionu sledování. Jeho přínosy jsou z nezanedbatelné části umožněny přesnými řídícími systémy, které bych rád v tomto textu přiblížil.

2 Řízení Hubbleu

Řízení HST je složeno ze dvou hlavních systémů, komunikačního a stabilizačního. Konkrétně to jsou: satelitní systém pro přenos dat (Tracking and Data Relay Satellite System) a řídící zaměřovací systém (Pointing Control System) Tyto systémy zajišťují správné fungování a autonomii HST.

3 Tracking and Data Relay Satellite System (TDRSS)

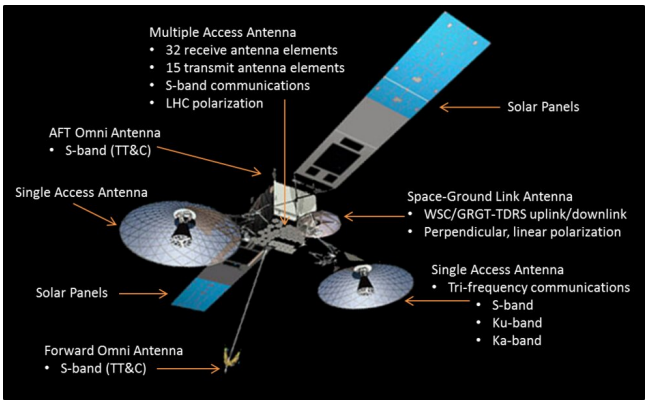
TDRSS je série satelitů na vysoké orbitě Země ve výšce cca 35 000 kilometrů. V rámci tohoto projektu byla od roku 1983 na oběžnou dráhu postupně vyslána řada družic, které zajišťují komunikaci mezi vesmírnými plavidly a Zemí v obou směrech.

Dva hlavní kanály zajišťují komunikaci HST-TDRSS. 1. kanál pro přenos dat z pozorování je zajišťován high-gain anténami (HST) a single-access anténami (TDRSS), neboť jsou uzpůsobeny k odesílání, respektive přijímání velkých objemů dat. 2. kanál pro komunikaci příkazů pro zaměření vede mezi jedním ze dvou druhů antén satelitu (TDRSS) a low-gain anténami (HST). Informační kanál Země-HST postupuje: HST > TDRSS > White Sands (Nové Mexiko) > GSFC (Maryland) > STScI a to v obou směrech.

3.1 Goddard Space Flight Center (GSFC)

Goddardovo středisko pro vesmírné lety je největší institut v USA, který se zabývá výzkumem vesmíru a vytvářením prostředků pro tento úkol. Zprvu byl zaměřen výhradně na bezpilotní kosmická tělesa, nyní také například zprostředkovává i komunikaci mezi ISS a Zemí.

Centrum řízení operací Space Telescope Operation Control Center (STOCC) pod GSFC transportuje data z HST do Vědeckého institutu vesmírného dalekohledu (STScI). Obdrží nazpátek pozorovací plán a podle něj posílá instrukce HST.

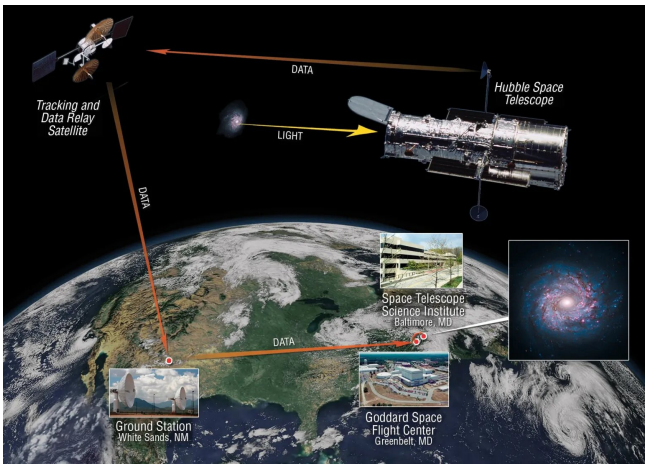


Obrázek 1: Satelit TDRS 3. generace

3.2 Space Telescope Science Institute (STScI)

STScI vzniklo na žádost NASA pro připravovaný projekt HST již v roce 1981 a hrál velkou roli ve snaze o zlepšení snímků HST. Dnes spolupracuje s NASA na projektu dalekohledu Jamese Webba a plánovaném projektu teleskopu Nancy Grace Roman.

Rolí STScI v řízení HST je dekódování dat a jejich následná analýza. Analyzovaná data pomáhají při výběru a odsouhlasení plánu následného pozorování pro HST. Poté, co je návrh sledování odsouhlasen, je poslán zpět do GSFC.



Obrázek 2: Informační kanál HST-Země

4 Pointing Control System (PCS)

PCS rozhoduje o pozici a natočení HST, zodpovídá za potřebné otočení a vysokou stabilizaci při pozorování vesmírných objektů. Tohoto dosahuje pomocí dvou druhů přístrojů, senzorů a aktérů, které mezi sebou komunikují s pomocí palubního počítače DF-224.

4.1 DF-224

Počítač DF-224 byl používán ve vesmírných misích od 80. let 20. století. Jeho paměť se skládá ze šesti 8K, 24 bitových jednotek, tří procesorů a tří I/O kanálů. Data jsou přijímána a odesílána pomocí digitálního rozhraní (Digital interface unit) v 16 bitovém formátu. DIU se starají o práci se všemi daty kromě těch z gyroskopů a FHST, které používají dedikované rozhraní pro své datové typy.

4.2 Senzory

Pět různých senzorů se stará o sběr dat ohledně prostorové orientace HST v závislosti k Zemi, Slunci a ostatním hvězdám. Těmito senzory jsou: senzory slunečního svitu (CSS), systém magnetických senzorů (MSS), gyroskopy, senzory hvězdné oblohy (FHST), systém jemného navádění (FGS).

4.2.1 Coarse Sun Sensors (CSS)

CSS určují zda je v zorném poli dalekohledu přítomno sluneční záření a měří náklon HST. Této infomace je dosaženo pomocí diod a je nezbytná pro ochranu citlivých přístrojů. Kvůli citlivosti palubních přístrojů musí HST vždy se sluncem svírat úhel vyšší než 50°.

4.2.2 Magnetic Sensing System (MSS)

MSS měří polohu HST vzhledem k Zemi. Pomocí magnetometrů rozhoduje o orientaci v magnetickém poli Země.

4.2.3 Gyroskopy

Gyroskopy slouží k měření směru a rychlosti otáček. HST disponuje jedněmi z nejpřesnějších gyroskopů, u kterých jsou data navíc softwarově upravovaná, aby se předešlo zkreslení.

4.2.4 Fixed Head Star Trackers (FHST)

FHST určují polohu dle směru a intenzity záření hvězd v zorném poli HST. Tyto informace jsou porovnávány s hvězdnými mapami, což umožňuje přesné zaměření polohy HST.

4.2.5 Fine Guidance System (FGS)

FGS je složen ze tří senzorů Fine Guidence Sensors, které jsou zaměřeny na vodící hvězdy (Guide Stars). FGS je nejpřesnější ze senzorů, schopný měřit s odchylkou menší než 0,007" po dobu více než 24 hodin. Přes 15 milionů vodících hvězd je zaznamenáno v katalogu STScI, vydaného roku 1989.

4.3 Aktéry

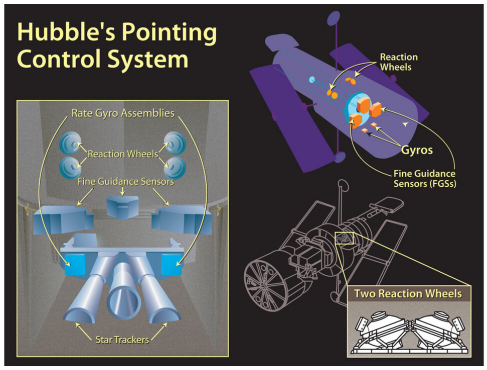
Samotnou rotaci HST zajišťují aktéry, které podle informací ze senzorů otáčí dalekohled o požadovaný úhel bez použití trysek, které by mohly ovlivnit sledování HST. Tuto rotaci zajišťují reakční kola a torzní tyče.

4.3.1 Reakční kola (Reaction Wheels)

Reakční kola využívají 3. Newtonův pohybový zákon k rotaci HST. Čtyři kola spolupracují na rotaci s rychlostí cca 6° za minutu ve všech směrech.

4.3.2 Torzní tyče (Magnetic Torquer Bars)

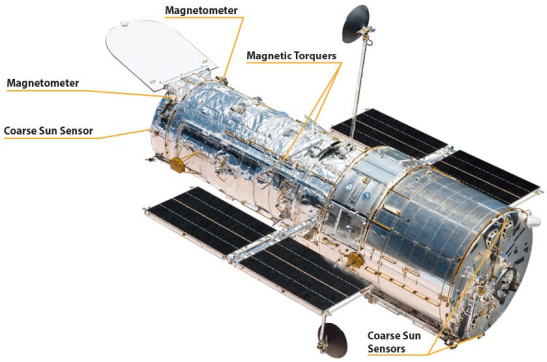
Čtyři magnetické torzní tyče vyrovnávají rotaci způsobenou reakčními koly. Konkrétně kompenzují přílišnou rychlost kol způsobenou převážně vlivem zemské atmosféry. Torzní tyče pomocí generovaného magnetického pole působí na magnetické pole Země a naopak, což způsobuje rotaci.



Obrázek 3: Prvky PCS (FHST, FGS, gyroskopy, reakční kola)

5 Servisní mise HST

Vzhledem k plánované dlouhé životnosti teleskopu a potřebě správného autonomního fungování byly provedeny celkem čtyři servisní mise. Z pohledu řízení, respektive z pohledu efektivity PCS je nejvýznamnější ta první.



Obrázek 4: Prvky PCS (CSS, MSS, momentové tyče)

5.1 1. Servisní mise

První servisní mise proběhala v prosinci 1993. Hlavním cílem mise byla instalace zařízení COSTAR, které pomohlo opravit aberaci hlavního zrcadla HST. Dále posloužila první servisní mise k nahrazení solárních článků, které svými oscilacemi způsobovaly přílišný šum a snižovaly tím efektivitu PCS. Dále byly také nahrazeny dva ze tří porouchaných gyroskopů a instalovány přídatné magnetometry.

6 Závěr

Během více než 30 let své existence se HST stal nezbytným pro výzkumné mise nad rámec pouhého pořizování fotografií kosmu. Za příklad stojí přesnější určení Hubbleovy konstany, nebo sledování vlivu gravitace na rozpínání vesmíru. HST není prvním a rozhodně ani posledním vesmírným dalekohledem a dnes již fungují novější observatoře využívající pokročilejších technologií. Avšak financování a samotná existence těchto teleskopů je z nemalé části zásluhou HST a jeho ohromných úspěchů, které by nebyly možné bez revolučního stabilizačního systému PCS.

Reference

[1] DOUGHERTY, H.; RODONI, C.; TOMPETRINI, K. a NAKASHIMA, A. Space Telescope Pointing Control. Online. Červen 1983. Dostupné z: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1474667017621840. [cit. 2024-12-21].

[2] BELY, Pierre; BLAIR, Mark; DECKER, John; PAN, James a BRADLEY, Art. The Pointing of the Hubble Space Telescope. Online. Únor 1995. Dostupné z: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1474667017621840. [cit. 2024-12-21].

[3] Operating Hubble. Online. Dostupné z: https://esahubble.org/about/general/operations/. [cit. 2024-12-21].

[4] Hubble Space Telescope. Online. Dostupné z: https://science.nasa.gov/mission/hubble. [cit. 2024-12-21].

[5] Hubble Design: Communications. Online. Dostupné z: https://science.nasa.gov/mission/hubble/observatory/design/design-communications/. [cit. 2024-12-21].

[6] TDRS Activities. Online. Dostupné z: https://www.nasa.gov/centers-and-facilities/johnson/tdrs-activities/#tdrs-facts. [cit. 2024-12-21].

[7] About Goddard. Online. Dostupné z: https://www.nasa.gov/goddard/about/. [cit. 2024-12-21].

[8] Goddard History. Online. Dostupné z: https://www.nasa.gov/goddard/history/. [cit. 2024-12-21].

[9] STScI: Our History. Online. Dostupné z: https://www.stsci.edu/who-we-are/our-history. [cit. 2024-12-21].

[10] Missions to Hubble. Online. Dostupné z: https://science.nasa.gov/mission/hubble/observatory/missions-to-hubble/. [cit. 2024-12-21].

[11] Servicing Mission 1 (SM1). Online. Dostupné z: https://science.nasa.gov/mission/hubble/observatory/missions-to-hubble/servicing-mission-1/. [cit. 2024-12-21].

[12] Obrázek 1:TDRS 3rd Generation. Online. Dostupné z: https://https://www.nasa.gov/wp-content/uploads/2023/07/tdrs-3rd-generation-0.png. [cit. 2024-12-21].

[13] Obrázek 2:HST Data Pipeline. Online. Dostupné z: https://science.nasa.gov/wp-content/uploads/2023/04/hstdatapipeline_0-jpg.webp?w=1536&format=webp. [cit. 2024-12-21].

[14] Obrázek 3:Hubble's PCS. Online. Dostupné z: https://stsci-opo.org/STScI-01EVVMDH6G3GS3D57SWFMMVV9N.jpg. [cit. 2024-12-21].

[15] Obrázek 4:Hubble Pointing Control Diagram. Online. Dostupné z: ttps://science.nasa.gov/wp-content/uploads/2024/03/hubble-design-pointing-control-1.gif?w=1536&h=858. [cit. 2024-12-21].