

# Plánování solárních panelů na Mezinárodní vesmírné stanici

Jan Jelínek

# Obsah

- Úvod
- Zadání problému v ICKEPS 2012
- Umělá inteligence ve vesmírných letech
- Přístup NASA k problému
- Závěr

# ISS

- 1984: První plán (USA)
- 1995: Přípravy na výstavbu
- 1998: První modul
- 2000: Lidská posádka



# ISS II.

- Objem 1000m<sup>3</sup>
- 450tun
- Rozpětí 108,4m
- Délka 74m
- Oběžná dráha ve výšce 350km
- Sklon vůči rovníku 51,6°
- Oběžná doba 92'50"
- 35 modulů

# Solární panely

- Dvě čtveřice solárních panelů
- Oboustranné
- 32,8kW
- Automatické sledování slunce
- Zarovnání panelů se Zemí
- Plocha 375m<sup>2</sup>
- Délka 58m

# Solární panely II.

- Dva stupně volnosti
  - SARJ – sdílený čtveřicí panelů
  - BGA
- Tři módy
  - Autotrack
  - Park
  - Lock/ Latch

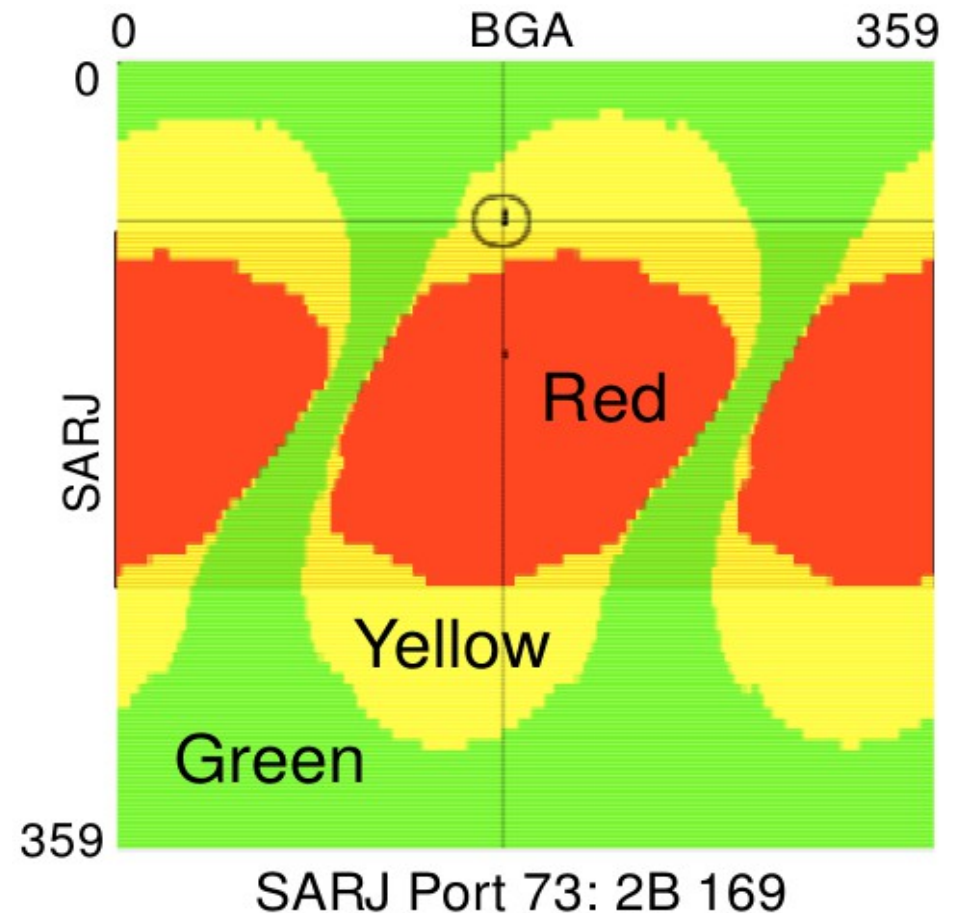
# Vstup

- Rozvrh orientací ISS
  - Čas
  - Událost
  - Rychlost otáčení SARJ
  - Krizový mód
- Rozvrh motorů
  - Čas
  - Osa



# Vstup II

- Omezení
  - Stínění konstrukce (S)
  - Strukturální zatížení (L)
  - Znečištění prostředí (E)
  - Napájení (P)



# Další omezení

- Klouby nesmí být v pozici, kdy hodnoty v příslušných PSL tabulkách jsou červené
- Rychlost otáčení BGA je  $18^{\circ}/\text{min}$
- Rychlost otáčení SARJ je  $9-30^{\circ}/\text{min}$
- Lock/ Latch podmínky
- Autotrack musí trvat alespoň 90 minut
- Autotrack rotuje pouze v kladném směru
- Otáčení nesmí probíhat při přistávání, odletu, vytahování a manévrech

# Preference

- Preference na orientaci
  - Optimalizace jednotlivých SARJ – BGA dvojic
  - Optimalizace SARJ – BGA<sub>i</sub> pětic
- Preference na mód
- Minimalizace počtu změn směru otáčení
- Minimalizace doby otáčení
- Není vyžadována optimalizace celého plánu

# Akce

- Změna módu
  - Přejít z Lock/ Latch zabere 20 minut
  - Přejít do Lock/ Latch zabere 20 minut
- Otáčení

# Výstup

- Plán, kde:
  - Každý kloub je v jednom z módů, nebo se otáčí
  - Během každé konfigurace je kloub nejvýše v jednom módu
  - Otáčení musí být dokončeno před začátkem nové konfigurace
  - Nejdřív se otáčí SARJ, poté BGA
  - Klouby musí být v Lock/ Latch než je to po nich vyžadováno
- Plán který je konzistentní a optimální

# Historie UI ve vesmírných operacích

- 1989: Plánování pozorování Hubbleova teleskopu
- 1998: Deep Space 1 - 29 hodin automatická kontrola lodi
- 2003: MAPGEN – plánování rozvrhu vědeckých pozorování pro Mars Exploration Rover
- 2007: MEXAR2 – plánování stahování dat z Mars Express

- PHALCON
  - Plán na 4 týdny se ručně tvoří 4 týdny
- Solar Array Constraint Engine
  - Analýza konfigurací, tvorba dlouhodobých plánů
  - Hledání bezpečného nastavení kloubů a módů
  - Hlídaní a optimalizace jedné konfigurace
  - Dodržení již schválených procedur
  - Hladový přístup

- SACE: dvouvrstvá aplikace nad EUROPA<sub>2</sub>
  - Uživatelské rozhraní
  - Několik módů:
    - Telemetry view
    - Sandbox view
    - Plan view
- Nefunkční panely; Nehýbat, není-li nutné



- $EUROPA_2$ :  
Deklarativní popis tříd
  - Klouby jsou v pozici před změnou stavu
  - Jsou splněny časové požadavky akcí
  - Reprezentace podmínek

- SACE reprezentuje stavy a akce
  - Orientace kloubů neporušují omezení
  - Módy kloubů jsou přípustné
  - Omezení domén pro jednotlivé úhly

- Optimalizace  $L_i(\alpha, \beta_i)$ 
  - Barvy, mód, vzdálenost, změna směru, energie
- Optimalizace  $L_i(\alpha, \beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4)$ 
  - Energie stačí počítat zde
  - Nutno prohledat  $360^5 = 6 * 10^{12}$  konfigurací
- Zjednodušení globální optimalizace do posloupnosti lokálních optimalizací

- Informace z rozvrhu jsou reprezentovány jako tokeny na časových osách
- Sloučení do jedné časové osy
- SACE optimalizuje jednotlivé orientace a módy
  - Každé SARJ a BGA reprezentováno časovou osou
- EUROPA<sub>2</sub> zontroluje řešení kvůli konfliktům
  - V případě konfliktu sloučení s předchozí akcí
- Postprocessing kvůli stínění a napájení

# Certifikace

- Vytvořit prototyp a demonstrovat schopnosti nabízené technologií
- Vytvoření požadavků a dokumentace a schválení odpovědnými osobami
- Vytvoření aplikace
- Testování kritických případů pro zajištění korektnosti

# Reference

- [http://www.nasa.gov/mission\\_pages/station/main/index.html](http://www.nasa.gov/mission_pages/station/main/index.html)
- Frank, Jeremy D. 2012. *ICKEPS 2012 Challenge Domain: Planning Solar Array Operations on the International Space Station*
- Reddy, Y. Sudhakar et al.; *Planning and Monitoring Solar Array Operations on the ISS*
- Reddy, Y. Sudhakar et al. 2011; *Planning Solar Array Operations on the International Space Station*
- [http://en.wikipedia.org/wiki/International\\_Space\\_Station](http://en.wikipedia.org/wiki/International_Space_Station)