

Zintegrowane stanowisko do testów środowiskowych interfejsów do chwytania oraz dokowania, stosowanych w robotyce kosmicznej – TesVAC MGSE

Integrated stand for environmental testing of interfaces for gripping and docking used in space robotics – TesVAC MGSE

FILIP CZUBACZYŃSKI
PHILIPPE PREUMONT
PAWEŁ WITTELS*

DOI: <https://doi.org/10.17814/mechanik.2019.2.18>

Opisano koncepcję oraz projekt mechaniczny aplikacji do testów środowiskowych interfejsów stosowanych w robotyce kosmicznej. Przedstawiono stan techniki, opis mechaniczny i funkcjonalny proponowanego rozwiązania, metodykę projektowania oraz napotkane problemy trybologiczne. Na końcu dokonano podsumowania oraz przedstawiono zakres dalszych prac.

SŁOWA KLUCZOWE: ASSIST, chwytak LAR, testy środowiskowe, interfejsy chwytania, interfejsy dokowania

The paper describes the concept and mechanical design of applications for environmental testing of interfaces used in space robotics. The state of the art, mechanical description of the proposed solution, functional description, design methodology and tribological problems encountered are discussed. At the end, a summary and scope of further work is presented.
KEYWORDS: ASSIST, LAR gripper, environmental testing, gripping interfaces, docking interfaces

Na potrzeby badań kosmicznych mechanizmów do chwytania oraz dokowania docelowe środowisko pracy może być symulowane w laboratoriach na Ziemi.

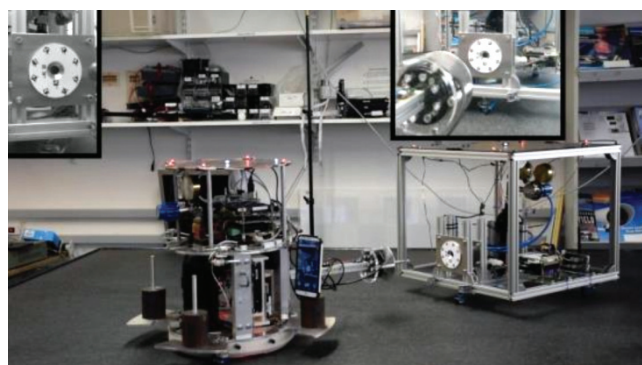
Jest wiele rodzajów symulatorów, wykorzystujących modele komputerowe oraz fizyczne. Wśród symulatorów używających modeli fizycznych można wymienić zrobotyzowane stanowiska do badań dynamicznych i termiczno-próżniowych.

Roboty mobilne stosuje się najczęściej w badaniach dynamicznych w jednej płaszczyźnie. Przykładem takiego systemu jest symulator robota kosmicznego w NTUA Control Systems Laboratory (rys. 1) [1, 2].

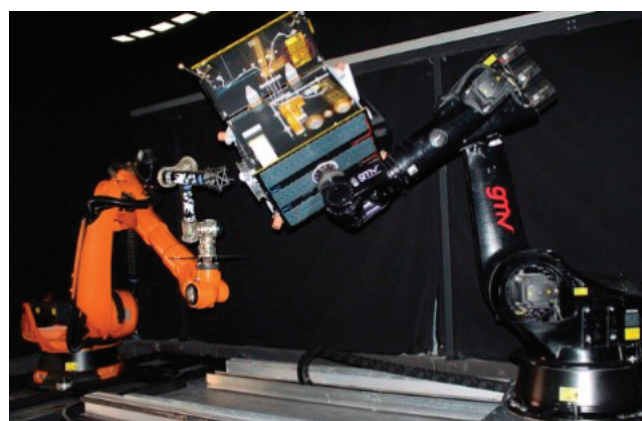
Składa się on z aktywnych oraz pasywnych platform. Platformy poruszają się po granitowym stole zapewniającym płaskość na poziomie 5 μm oraz niską chropowatość powierzchni. Roboty przemieszczają się na poduszkach powietrznych, co pozwala na symulację zjawiska naturalnej pływalności występującego na orbicie. Ograniczeniem tego stanowiska testowego jest możliwość ruchu tylko w jednej płaszczyźnie.

Roboty przemysłowe pozwalają na przeprowadzanie testów w przestrzeni 3D. Jako przykłady takich aplikacji można wymienić platform-art[®] rozwijaną przez GMV (rys. 2) [3]. Składa się ona z dwóch robotów przemysłowych. Jeden jest zamocowany nieruchomo, a drugi – na prowadnicy.

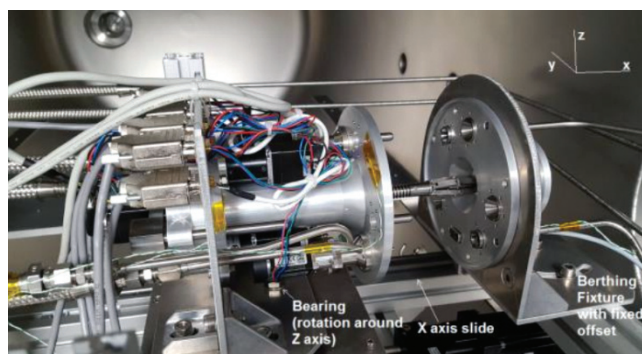
Przykładem aplikacji do testów uwzględniających temperaturę i ciśnienie może być Linear Slide Assembly.



Rys. 1. NTUA Space Robot Simulator (fot. NTUA) [2]



Rys. 2. GMV platform-art[®] (fot. GMV) [3]



Rys. 3. Aplikacja do przeprowadzania testów środowiskowych (fot. Moog Space & Defense Group) [2]

Podczas badań urządzenie jest umieszczane w komorze termiczno-próżniowej (rys. 3) [2]. Możliwe jest zadanie odchyłki kątowej (oś Z) oraz liniowej (oś Y), a następnie zasympulowanie zbliżenia dwóch części badanego interfejsu.

* Mgr inż. Filip Czubaczyński (filip.czubaczynski@piap-space.com), mgr inż. Philippe Preumont (philippe.preumont@piap-space.com), mgr inż. Paweł Wittels (pawel.wittels@piap-space.com) – PIAP Space

Wyróżnia się interfejsy mechaniczne, elektryczne i hydrauliczne. Wymienione aplikacje nie pozwalają na przeprowadzanie testów dynamicznych z odchyleniem kątowym w trzech osiach w danych warunkach termiczno-próżniowych.

Obiekt badań

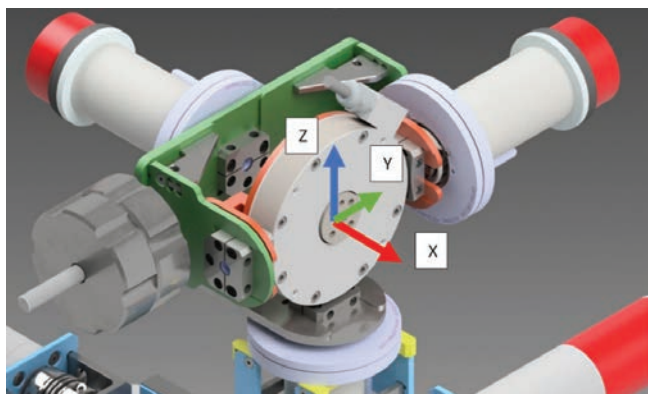
■ **Wymagania systemowe.** Celem badań jest opracowanie zintegrowanego stanowiska umożliwiającego przeprowadzanie testów termiczno-próżniowych interfejsów do chwytności oraz dokowania wykorzystywanych w robotyce kosmicznej. Podczas łączenia dwóch części badanego interfejsu będzie przeprowadzany aktywny pomiar sił oraz momentów we wszystkich osiach.

System ten znajdzie zastosowanie w testach interfejsów rozwijanych przez European Space Agency (ESA), przeznaczonych np. do przechwytywania satelitów (misja e.Deorbit) lub do serwisowania satelitów na orbicie (projekt ASSIST).

Główne wymagania, jakie powinno spełniać urządzenie:

- zakres temperaturowy pracy: od -40 do $+80^{\circ}\text{C}$,
- automatyczna praca (min. 8 h) w próżni, do 10^{-6} mbar,
- możliwość rejestrowania wyników testów,
- możliwość zadania odchyłki części B badanego interfejsu, montowanej na gimbalu: kątowej $\pm 15^{\circ}$ w trzech osiach oraz liniowej ± 24 mm w osi Y,
- możliwość wytworzenia siły do 80 N oraz momentu do 20 Nm podczas połączenia interfejsów,
- aktywny pomiar wytwarzanych sił w dwóch zakresach: $0\div 200$ N i $0\div 25$ N, w trzech osiach oraz dokładność pomiaru 10%,
- kompatybilność z dostępną infrastrukturą testową,
- modułowa budowa pozwalająca na testowanie wielu rodzajów interfejsów,
- masa poszczególnych modułów pozwalająca na przenoszenie ich przez jednego człowieka.

■ **Definicje.** Dla uproszczenia badane interfejsy podzielono na część A oraz część B. Mogą one być statyczne lub zmotoryzowane. Część A jest montowana na nieruchomym module stojaka. Część B jest montowana na zmotoryzowanym module gimbalu.



Rys. 4. Interfejs montażowy przegubu dla części B z naniesionym układem odniesienia (fot. PIAP Space)

Przyjęto następujący układ odniesienia (rys. 4):

- płaszczyzna XZ jest prostopadła do stołu testowego,
- płaszczyzna XZ zawiera oś X śruby napędowej w stole liniowym X,
- płaszczyzna XY jest równoległa do powierzchni stołu badawczego,

- punkt mocowania znajduje się w środku czujnika siły i momentu obrotowego.

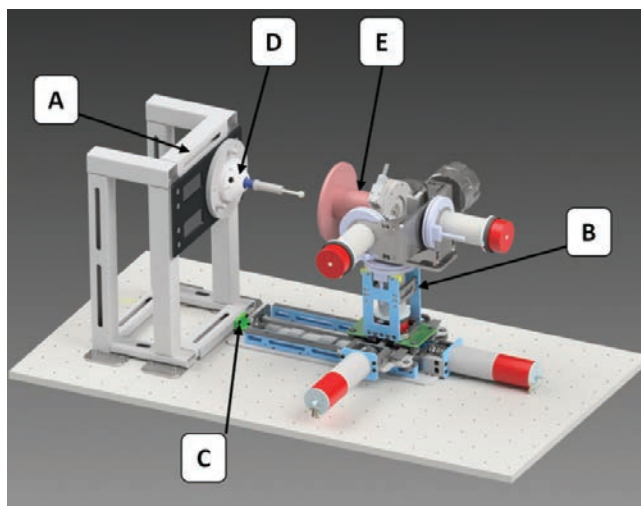
■ **Konstrukcja mechaniczna urządzenia.** Urządzenie podzielono na (rys. 5):

- moduł stojaka (A) zaprojektowany do przechowywania części A (D) testowanego interfejsu,
- moduł gimbalu (B) zaprojektowany do manipulowania częścią B (E) badanego interfejsu,
- interfejs mechaniczny względnej pozycjonowania (C),
- jednostkę sterującą i wiązkę przewodów (nie pokazano).

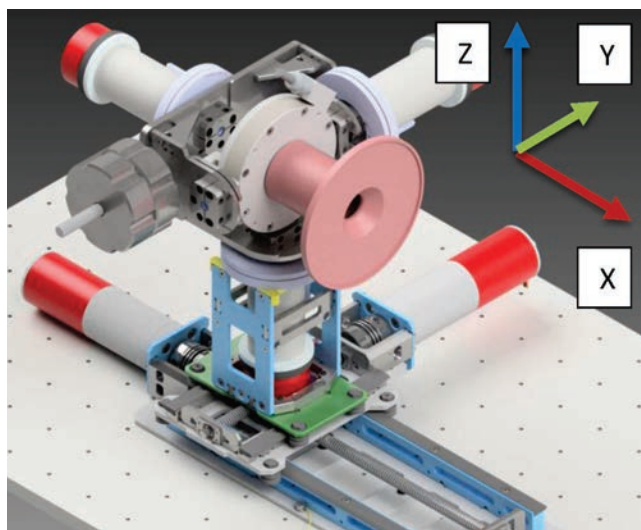
Moduł stojaka składa się z:

- ramy z interfejsami do mocowania do stołu komory próżniowej, pozycjonowania modułu gimbalu oraz punktami uziemiającymi,
- wymiennej płyty montażowej z interfejsem montażowym dla części A.

Można do niego zamocować dodatkowe płyty rozszerzające jego funkcjonalność.



Rys. 5. Widok ogólny urządzenia (fot. PIAP Space)



Rys. 6. Moduł gimbalu (fot. PIAP Space)

Moduł gimbalu składa się (rys. 6):

- ze stolika XY, odpowiadającego za niewspółosiowość liniową części B (oś Y); umożliwia on ruch liniowy części B w osi X (skok 200 mm + dodatkowe 10 mm) i w osi Y (skok 48 mm + dodatkowe 10 mm) oraz ma interfejs do mocowania do stołu komory termiczno-próżniowej,

- z trójosiowego gimbała, który odpowiada za manipulowanie i ustawienie początkowej niewspółosiowości kątownej części B we wszystkich kontrolowanych osiach do $\pm 15^\circ$, ma interfejs do mocowania do wcześniej wymienionego stolika XY.

Metodyka projektowania i zakres badań

■ **Metodyka projektowania.** Specyfikacja urządzenia została określona na podstawie opisów rozwijanych przez ESA interfejsów. Dokonano przeglądu infrastruktury badawczej. Przedstawiono projekt mechaniczny obejmujący model 3D CAD proponowanego stanowiska. Na jego podstawie opracowano wstępny projekt mechaniczny urządzenia.

Na tym etapie kilka zaproponowanych rozwiązań nie zostało uszczegółowionych. Zgodność ze specyfikacją została potwierdzona na przeglądzie wstępnym projektu (PDR). Przystąpiono do uszczegółowienia modelu wstępnego. Powstał końcowy projekt mechaniczny. Po zatwierdzeniu jego zgodności ze specyfikacją na krytycznym przeglądzie projektu (CDR) przygotowano dokumentację wykonawczą. Jej zgodność została potwierdzona na przeglądzie gotowości produkcyjnej (MRR).

Zlecono produkcję części oraz zakup komponentów handlowych. Po zebraniu wszystkich elementów zostanie przeprowadzony montaż stanowiska. Prototyp zostanie poddany przeglądowi gotowości do testów (TRR). Wyniki testów zostaną zaakceptowane na przeglądzie przed kolegium (TRB). Urządzenie zostanie ostatecznie odebrane na przeglądzie potwierdzającym gotowość do przekazania do klienta (DRB).

■ **Problemy trybologiczne.** Wyzwaniem był dobór materiałów i powłok detali normalnych, komponentów handlowych, smarów, klejów, izolacji oraz lutowni do użycia we wcześniej zdefiniowanych warunkach. Głównym parametrem doboru była jak najniższa wartość współczynnika odgazowania wykorzystanych materiałów. Przy doborze powłok starano się uniknąć zacierania się adhezyjnego oraz spajania na zimno między współpracującymi elementami.

Aby obniżyć koszty wytworzenia urządzenia, użyto przemysłowych silników BLDC, poddanych pewnym modyfikacjom. Polegały one na:

- wymianie przewodów elektrycznych,
- wymianie smaru w łożyskach silnika oraz dołączonej do niego przekładni planetarnej.

Ciekawym komponentem jest sworzeń elastyczny (*flexure pivot*) (rys. 7). Może on zastąpić konwencjonalne łożyska w przegubach obrotowych o ograniczonym zakresie ruchu. Beztarciowe działanie jest ogromną zaletą przy braku powietrza podczas testów.



Rys. 7. Sworzeń elastyczny; po lewej – cały, po prawej – przecięty (fot. NASA)

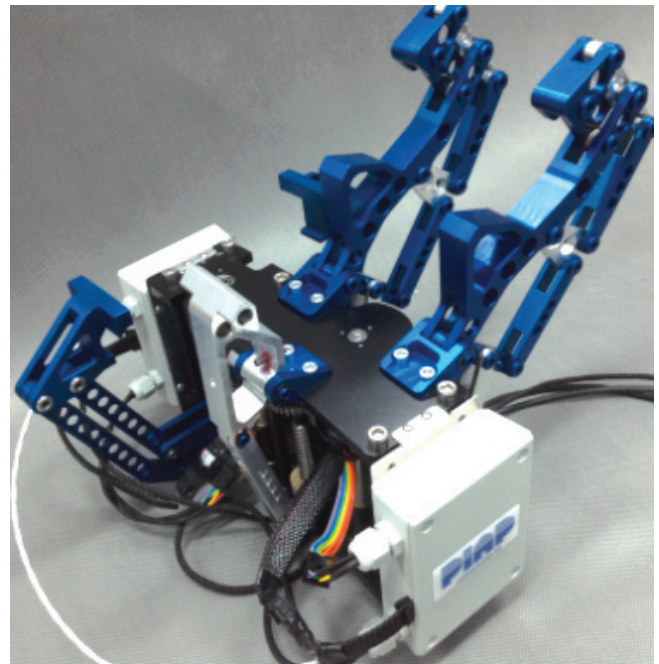
Podsumowanie i kierunki dalszych prac

Urządzenie będzie mogło zostać użyte do przeprowadzenia testów interfejsów:

- LAR (Launch Adapter Ring) i chwytaka dla LAR lub podobnego interfejsu (rys. 8),
- sondy dokującej i jej gniazda (ASSIST),
- androgynicznych interfejsów do modułowej konstrukcji statku kosmicznego (SIROM).

Dalsze prace będą obejmowały:

- wykonanie prototypu, weryfikację działania mechanizmów,
- testy wewnętrzne w atmosferze, a następnie w komorze termiczno-próżniowej,
- testy różnych interfejsów w ich docelowym środowisku pracy.



Rys. 8. Chwytnik LAR (fot. PIAP)

Podziękowania

Urządzenie zostało zaprojektowane w ramach projektu TesVAC, który jest realizowany w ramach programu Polish Industry Incentive Scheme.

LITERATURA

1. Papadopoulos E., Paraskevas I., Flessa T., Nanos K., Rekleitis G., Kontolatis I. „The NTUA space robot simulator: design & results”. *10th ESA Workshop on Advanced Space Technologies for Robotics and Automation (ASTRA'08)*, ESA, ESTEC, Noordwijk, Holandia, 2008.
2. Tomassini A., Solway N., Rekleitis G., Papadopoulos E., Krenn R., Rohrbeck M., Vidal Ch., Delage R., Hobbs L., Aziz S., Visentin G. “Testing and cross-validation of on-orbit servicing system for geo spacecraft refuelling”. *19th ESA Workshop on Advanced Space Technologies for Robotics and Automation (ASTRA'17)*, ESA, ESTEC, Noordwijk, Holandia, 2017.
3. <https://www.gmv.com/en/Products/platform/> (dostęp: 07.12.2018 r.).
4. ECSS-M-ST-10C Rev.1 – Project planning and implementation (06.03.2009 r.).