Workshop on Space Microelectronics, WoSM
(conjunction with 4th Conference on Aerospace Robotics, CARO4)
Zielona Góra, July 8th, 2022

Distributed system for testing of space robot control systems

Marek Węgrzyn, Fatina Liliana Basmadji, Michał Rąpała, Mirosław Galicki, Marek Banaszkiewicz

CBK PAN

EUROPÄISCHE UNION
Europäischer Fonds für regionale Entwicklung

UNIA EUROPEJSKA
Europejski Fundusz Rozwoju Regionalnego

BB-PL
INTERREG V A
2014-2020

"Barrieren reduzieren - gemeinsame Stärken nutzen" / „Redukować bariery – wspólnie wykorzystywać silne strony"

AGENDA

1. Control algorithm
2. Mobile Space Robot
3. Controller architecture for tests
4. Distributed calculation
5. Conclusions

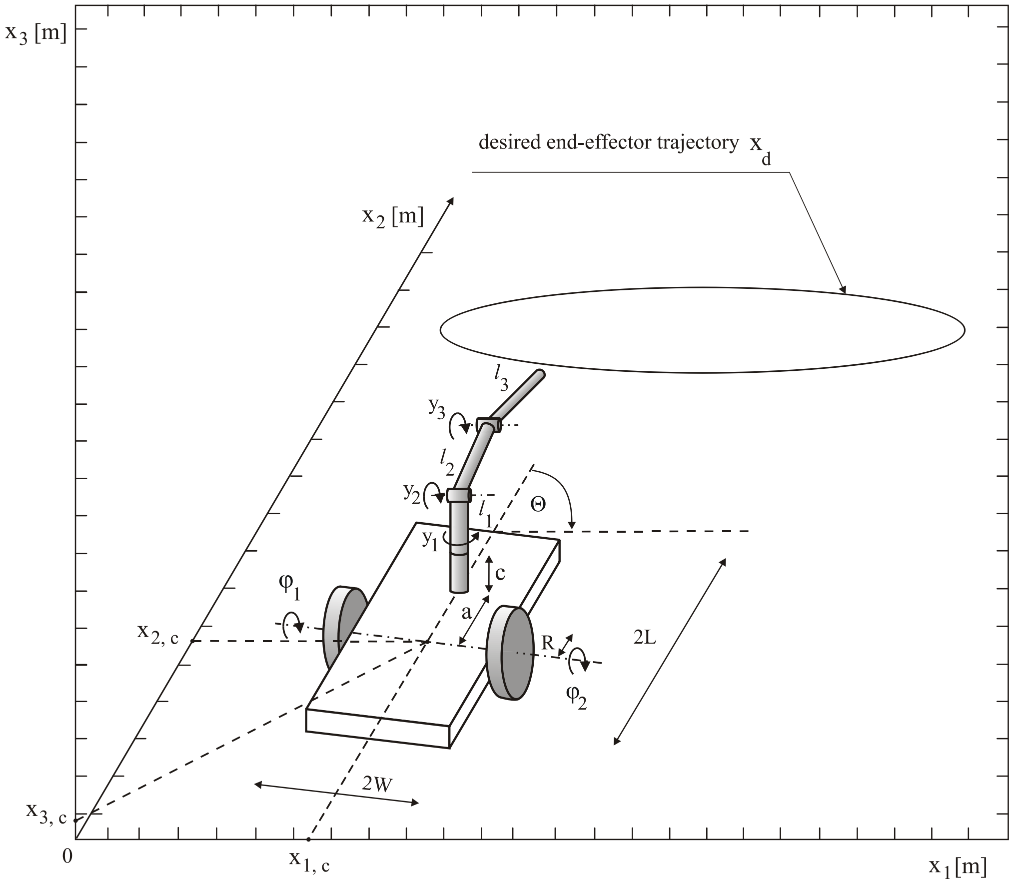
EUROPÄISCHE UNION
Europäischer Fonds für regionale Entwicklung
UNIA EUROPEJSKA
Europejski Fundusz Rozwoju Regionalnego
BB-PL
INTERREG V A
2014-2020

"Barrieren reduzieren - gemeinsame Stärken nutzen" / „Redukować bariery – wspólnie wykorzystywać silne strony"

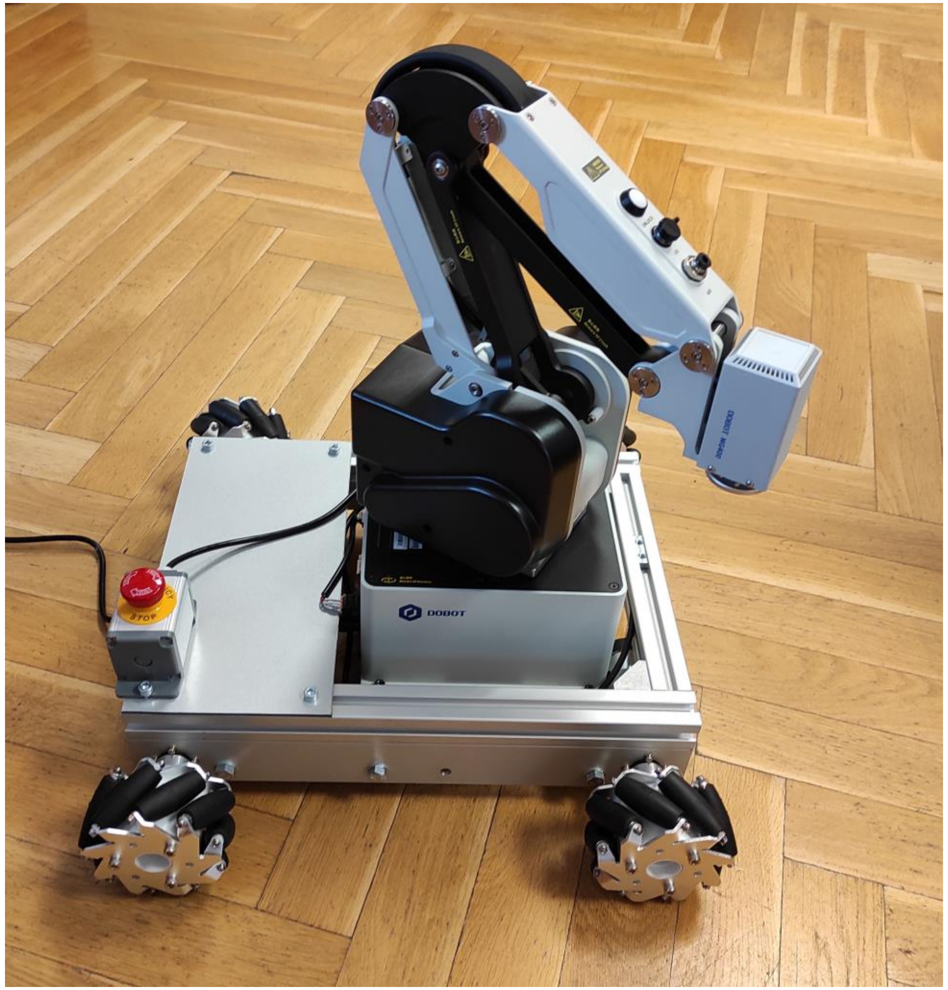
ROBUST CONTROL ALGORITHM

The problem to be solved:

$$q = \left(x_{1,c}\,,\, x_{2,c}\,,\, x_{3,c}\,, \varphi_1, \varphi_2, y_1, y_2, y_3\right)^T$$



MOBILE *SPACE* ROBOT



EUROPÄISCHE UNION
Europäischer Fonds für regionale Entwicklung

UNIA EUROPEJSKA
Europejski Fundusz Rozwoju Regionalnego

BB-PL
INTERREG V A
2014-2020

"Barrieren reduzieren - gemeinsame Stärken nutzen" / „Redukować bariery – wspólnie wykorzystywać silne strony”

ROBUST CONTROL OF SPACE MANIPULATORS

- Modeling
  - differential equations
  - Matlab and C languages

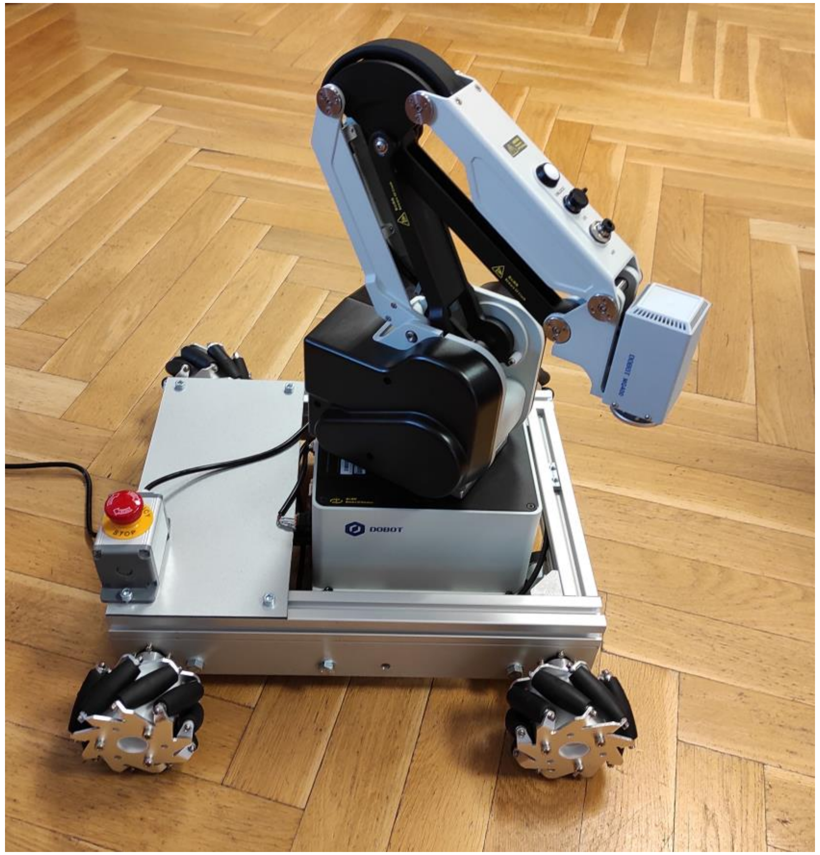
- Simulation
  - Matlab
  - C-based program

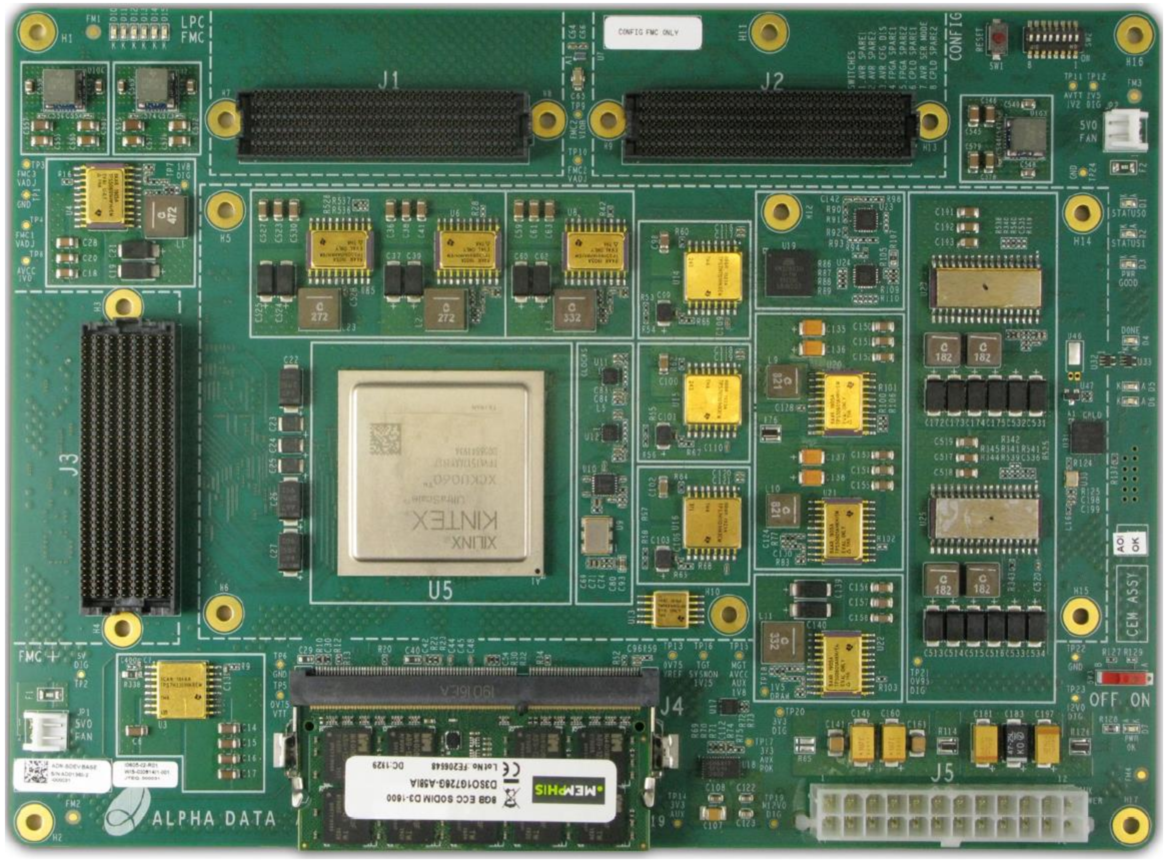
- Implementation
  - Microprocessor system
  - C-based program

EUROPÄISCHE UNION
Europäischer Fonds für regionale Entwicklung
UNIA EUROPEJSKA
Europejski Fundusz Rozwoju Regionalnego
BB-PL
INTERREG V A
2014-2020
"Barrieren reduzieren - gemeinsame Stärken nutzen" / „Redukować bariery – wspólnie wykorzystywać silne strony"

MOBILE *SPACE* ROBOT – FPGA-based Controller

(Xilinx Kintex Ultrascale XQRKU060 Space-Grade FPGA, e.g., ADA-SDEV-KIT2)





EUROPÄISCHE UNION
Europäischer Fonds für regionale Entwicklung

UNIA EUROPEJSKA
Europejski Fundusz Rozwoju Regionalnego

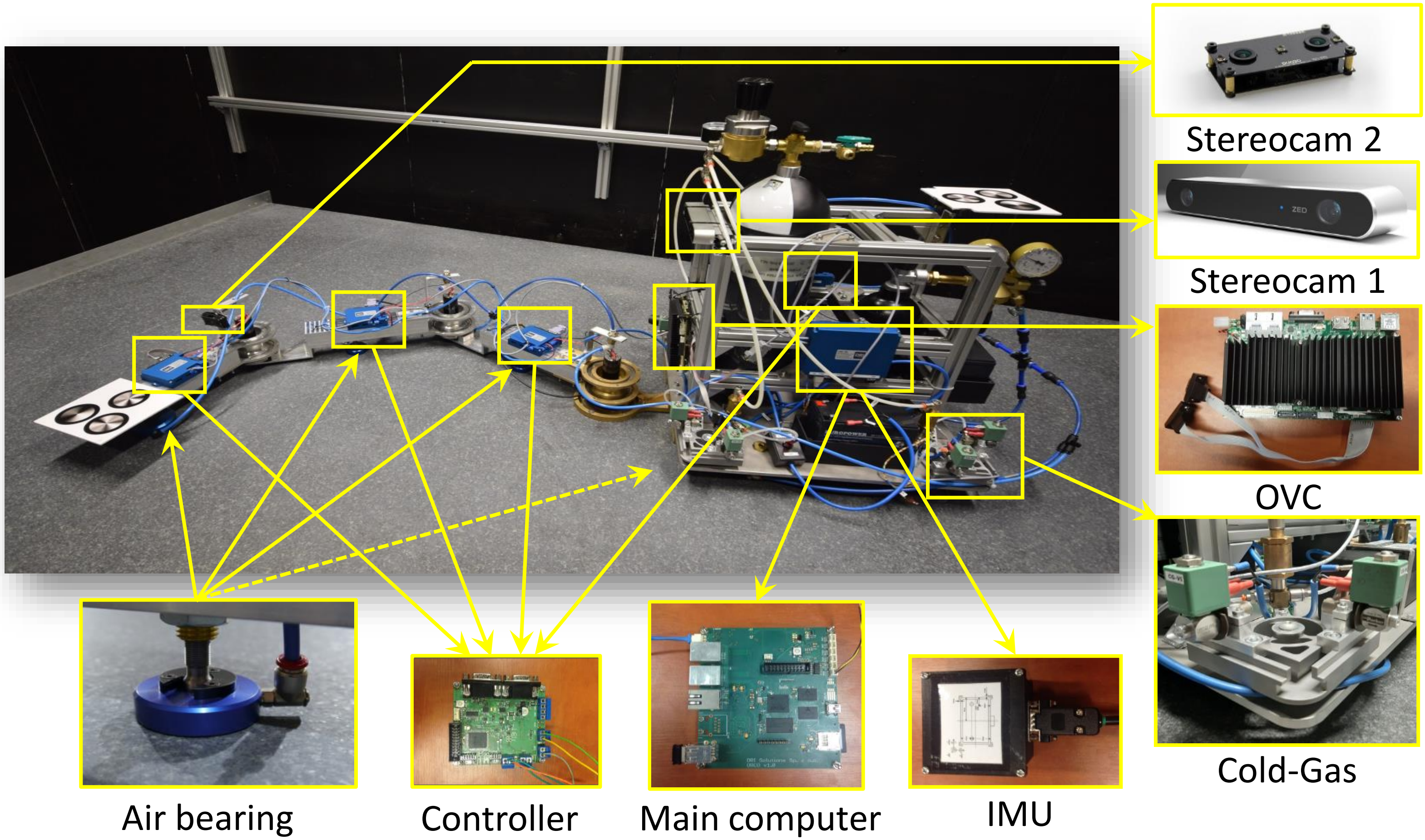
BB-PL
INTERREG V A
2014-2020

"Barrieren reduzieren - gemeinsame Stärken nutzen" / „Redukować bariery – wspólnie wykorzystywać silne strony"

CBK SPACE ROBOT TEST ENV.

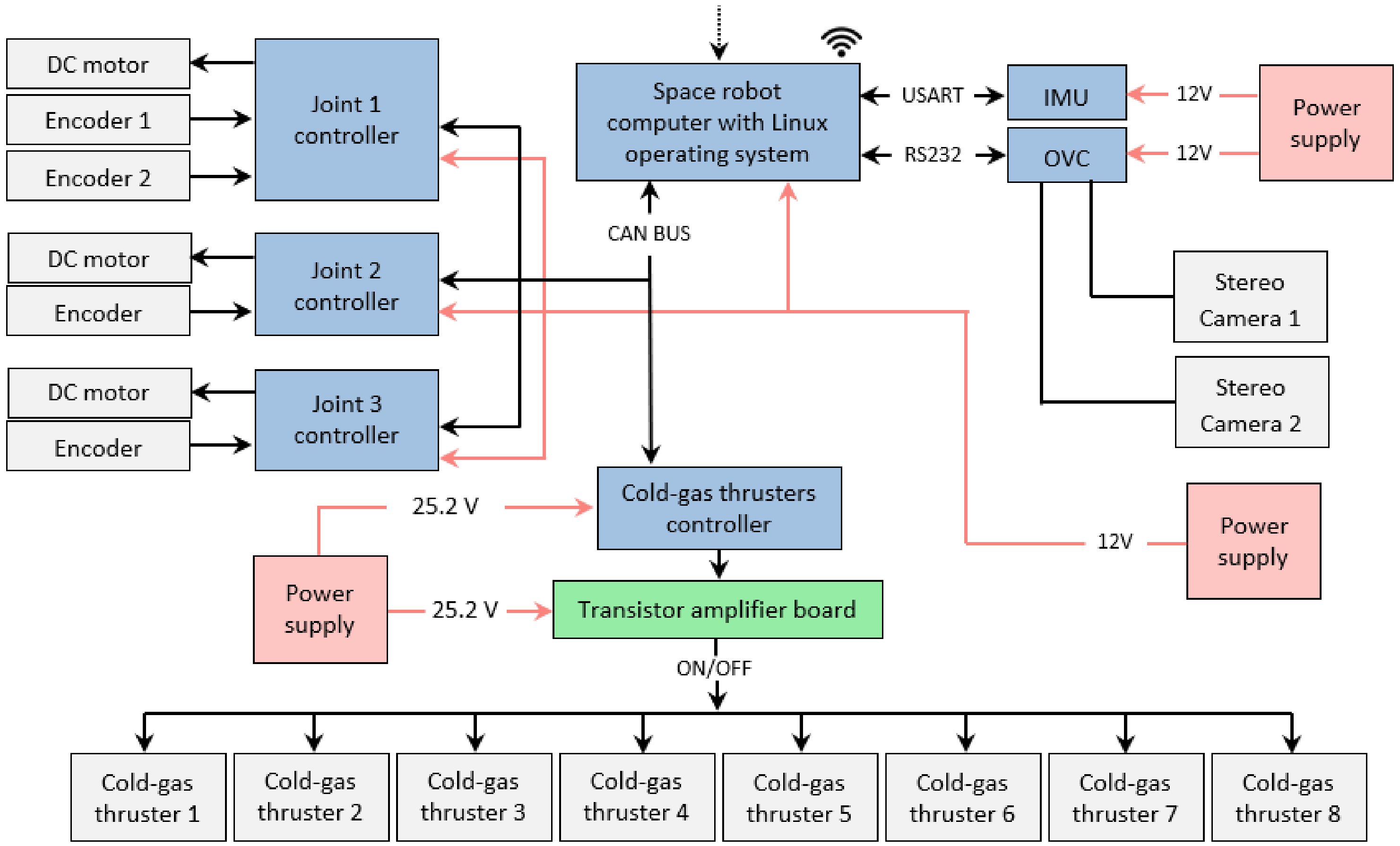
EUROPÄISCHE UNION
Europäischer Fonds für regionale Entwicklung
UNIA EUROPEJSKA
Europejski Fundusz Rozwoju Regionalnego
BB-PL INTERREG V A 2014-2020
"Barrieren reduzieren - gemeinsame Stärken nutzen" / „Redukować bariery – wspólnie wykorzystywać silne strony"

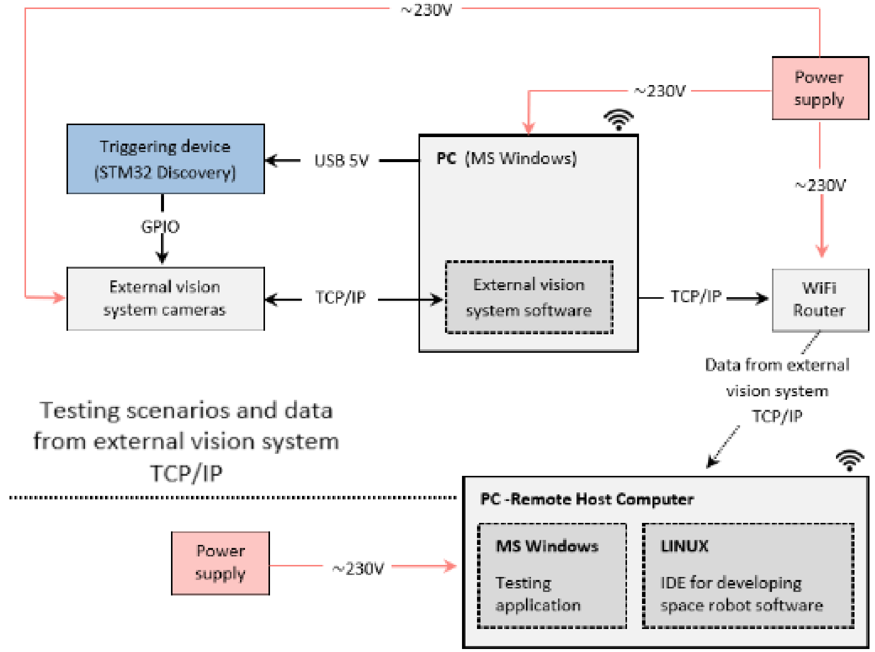
CBK SPACE ROBOT TEST ENV. (2)



EUROPÄISCHE UNION
Europäischer Fonds für regionale Entwicklung
UNIA EUROPEJSKA
Europejski Fundusz Rozwoju Regionalnego
BB-PL
INTERREG V A
2014-2020
"Barrieren reduzieren - gemeinsame Stärken nutzen" / „Redukować bariery – wspólnie wykorzystywać silne strony”

CBK SPACE ROBOT TEST ENV. (3)

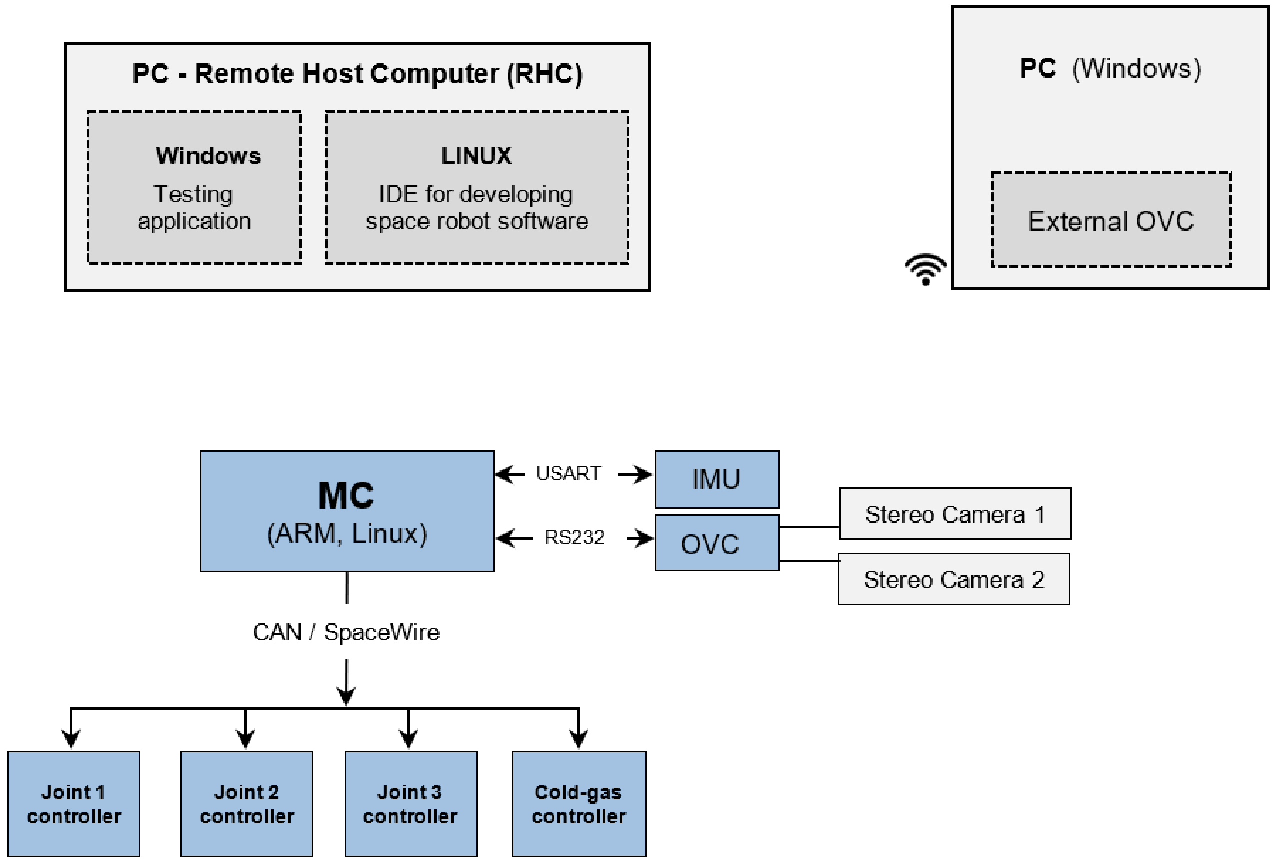




EUROPÄISCHE UNION
Europäischer Fonds für regionale Entwicklung
UNIA EUROPEJSKA
Europejski Fundusz Rozwoju Regionalnego
BB-PL INTERREG V A 2014-2020
"Barrieren reduzieren - gemeinsame Stärken nutzen" / „Redukować bariery – wspólnie wykorzystywać silne strony"

CBK SPACE ROBOT

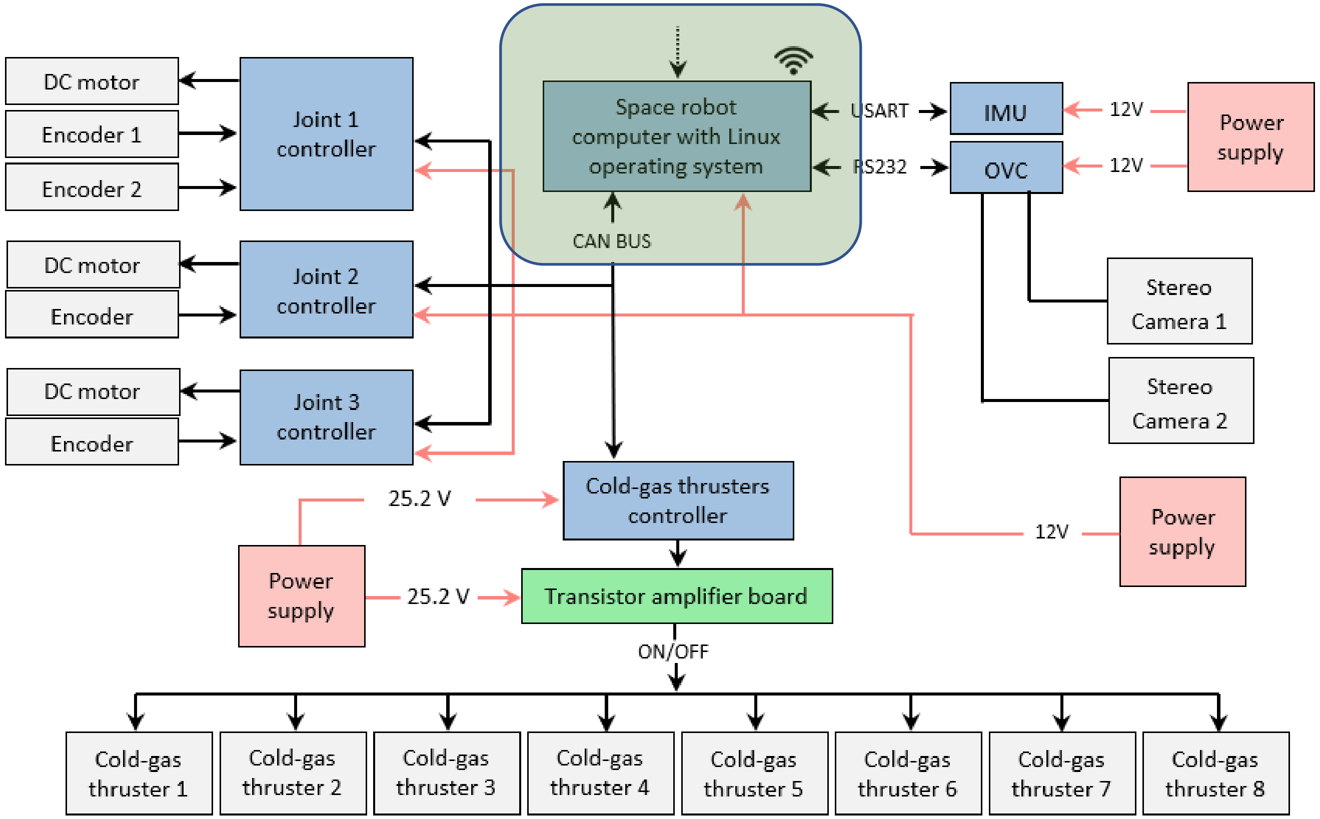
FPGA-BASED CONTROLLER



EUROPÄISCHE UNION
Europäischer Fonds für regionale Entwicklung
UNIA EUROPEJSKA
Europejski Fundusz Rozwoju Regionalnego
BB-PL
INTERREG V A
2014-2020
"Barrieren reduzieren - gemeinsame Stärken nutzen" / „Redukować bariery – wspólnie wykorzystywać silne strony"

CBK SPACE ROBOT

ACCELERATION OF CALCULATION (BY USING RASPBERRY PI)



EUROPÄISCHE UNION
Europäischer Fonds für regionale Entwicklung
UNIA EUROPEJSKA
Europejski Fundusz Rozwoju Regionalnego
BB-PL
INTERREG V A
2014-2020
"Barrieren reduzieren - gemeinsame Stärken nutzen" / „Redukować bariery – wspólnie wykorzystywać silne strony"

CBK SPACE ROBOT (2)

ACCELERATION OF CALCULATION (BY USING RASPBERRY PI)

Testing procedure:

- Simulation data generation
  (program/model with full kinematics and dynamics)

- Testing with distributed calculation
  (main computer (client) + computing server)

EUROPÄISCHE UNION
Europäischer Fonds für regionale Entwicklung
UNIA EUROPEJSKA
Europejski Fundusz Rozwoju Regionalnego
BB-PL
INTERREG V A
2014-2020

"Barrieren reduzieren - gemeinsame Stärken nutzen" / „Redukować bariery – wspólnie wykorzystywać silne strony"

CBK SPACE ROBOT (3)

ACCELERATION OF CALCULATION (BY USING RASPBERRY PI)

```
#define N_ELEMENTS 19                    // State vector size
#define N_DATA     13                    // Data vector (XA) size
#define N_VSTU     11                    // 8 thrusters + 3 joints

// xn - current time [sec]
// % XA  - is the state vector
// %            x[0]  -  x-position of the satellite's center of mass [m]
// %            x[1]  -  y-position of the satellite's center of mass [m]
// %            x[2]  -  satellite orientation [rad]
// %            x[3]  -  angular position of the first  joint [rad]
// %            x[4]  -  angular position of the second joint [rad]
// %            x[5]  -  angular position of the third  joint [rad]
// %            x[6]  -  the first derivative of x[0] [m/sec]
// %            x[7]  -  the first derivative of x[1] [m/sec]
// %            x[8]  -  the first derivative of x[2] [rad/sec]
// %            x[9]  -  the first derivative of x[3] [rad/sec]
// %            x[10] -  the first derivative of x[4] [rad/sec]
// %            x[11] -  the first derivative of x[5] [rad/sec]
// %            x[12] -  mass of the system [kg]
```

main_client.c:

```
        ... yn[0..12];    // XA as above
        ... yn[13..18];  // fq[3] - velocity of end-effector, Jpq[3] - velocity of platform
        connect_set_computing(xn, yn, vstu);
```

EUROPÄISCHE UNION
Europäischer Fonds für regionale Entwicklung
UNIA EUROPEJSKA
Europejski Fundusz Rozwoju Regionalnego
BB-PL
INTERREG V A
2014-2020

"Barrieren reduzieren - gemeinsame Stärken nutzen" / „Redukować bariery – wspólnie wykorzystywać silne strony"

CBK SPACE ROBOT (4)

ACCELERATION OF CALCULATION (BY USING RASPBERRY PI)

```
#define N_ELEMENTS 6                        // State vector size
```

computing_server.c:

```
        str2tab (buf1, 20, xyn);
        xn = (double) xyn[0];
        xk = xn+0.01;                    //for f=100Hz T=0.01s
        ...  xa[0..19]=xyn[i+1];

        //call of function 'rk4': for t=<xn, xk> with integration 'step' = 5*1.0e-5
        rk4(xn, yn, xk, yk, N_ELEMENTS, step);

        //Finally, sending results to the MAIN computer
        tab2str (vstu, N_VSTU, buf);
```

EUROPÄISCHE UNION
Europäischer Fonds für regionale Entwicklung
UNIA EUROPEJSKA
Europejski Fundusz Rozwoju Regionalnego
BB-PL
INTERREG V A
2014-2020
"Barrieren reduzieren - gemeinsame Stärken nutzen" / „Redukować bariery – wspólnie wykorzystywać silne strony"

CBK SPACE ROBOT (5)

ACCELERATION OF CALCULATION (BY USING RASPBERRY PI)

Testing procedure for distributed system:

- Wi-Fi 2.4GHz (AP)
- Wi-Fi 5GHz (AP)
- Cable Eth 1Gb (switch/direct)

EUROPÄISCHE UNION
Europäischer Fonds für regionale Entwicklung
UNIA EUROPEJSKA
Europejski Fundusz Rozwoju Regionalnego
BB-PL
INTERREG V A
2014-2020

"Barrieren reduzieren - gemeinsame Stärken nutzen" / „Redukować bariery – wspólnie wykorzystywać silne strony"

Conclusions

1. Robust algorithm for mobile space robot
2. Software implementation of the algorithm
3. Requirements for complex calculations
4. Present testing environment to slow
5. Solution – distributed calculations
6. Building dedicated system based on FPGA

EUROPÄISCHE UNION
Europäischer Fonds für regionale Entwicklung
UNIA EUROPEJSKA
Europejski Fundusz Rozwoju Regionalnego
BB-PL
INTERREG V A
2014-2020
"Barrieren reduzieren - gemeinsame Stärken nutzen" / „Redukować bariery – wspólnie wykorzystywać silne strony”