

Načrtovanje in vodenje majhnega mobilnega robota

Viktorija Kostova

Mentorji: Blaž Pongrac, Dušan Gleich

Univerza v Mariboru, Fakulteta za elektrotehniko, računalništvo in informatiko

Slomškov trg 15, Maribor, Slovenija

viktorija.kostova@student.um.si

dusan.gleich@um.si

blaz.pongrac1@um.si

Design and remote control of a small mobile robot

In this paper, we designed and developed a remotely controlled robot. We designed a printed circuit board with ARM microcontroller as the base microcontroller of small mobile robot. The movement of the robot is performed with the help of two mini vibration motors, one on each side of the robot. Remote control is achieved through the communication utilizing NRF24 modules. The small robot was tested and control model was experimentally evaluated.

Kratek pregled prispevka

V tem prispevku je predstavljeno načrtovanje in razvoj majhnega daljinsko vodenega robota. Zasnovano je bilo tiskano vezje, katerega jedro je ARM mikrokontroler. Premikanje robota se izvaja s pomočjo dveh mini vibracijskih motorjev, ki sta nameščena na nasprotnih straneh izdelanega tiskanega vezja. Daljinsko vodenje majhnega mobilnega robota je izvedeno s pomočjo komunikacijskih modulov NRF24. Izdelani robot smo testirali in eksperimentalno evalvirali sistem vodenja.

1 Uvod

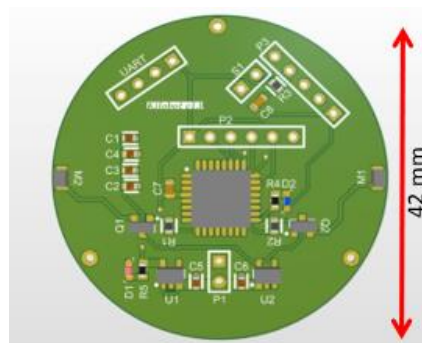
Nedavni razvoj na področju mikroelektronike ni privedel le do majhnih mikroračunalnikov z visoko zmogljivostjo, temveč tudi do visoko integriranih senzorjev in aktuatorjev. Oblikovanje zelo majhnih inteligentnih naprav, kot so miniatrizirani inteligentni avtonomni sistemi, tako postaja mogoče [1]. V tem prispevku je predstavljeno načrtovanje in daljinsko vodenje majhnega mobilnega robota. Mobilni robot je avtomatski stroj, ki se lahko giblje v svojem okolju in ni pritrjen na eno fizično lokacijo [2]. Mobilni roboti so lahko "avtonomni", kar pomeni, da so sposobni krmariti v nenadzorovanem okolju brez potrebe po fizičnih ali elektromehanskih napravah za vodenje. Druga možnost je, da se mobilni roboti lahko zanesejo na naprave za vodenje, ki jim omogočajo potovanje po vnaprej določeni navigacijski poti v razmeroma nadzorovanem prostoru. Vodenje je proces odločanja, izvrševanja odločitev in spremljanja obnašanja sistema ter okolice, ki omogoča, da nek sistem deluje skladno s postavljenimi kriteriji in v okviru omejitev ter dosega cilje, ki smo mu jih zastavili. Želeli smo oblikovati in implementirati mobilni robot, primeren za delovanje v robotskem roju. Rojeva (Swarm) robotika [3] je pristop k koordinaciji več robotov kot sistema, ki je sestavljen iz velikega števila večinoma preprostih fizičnih robotov. Predvideva se, da želeno kolektivno vedenje izhaja iz interakcij med roboti in interakcij robotov z okoljem. Naš cilj je bil načrtati cenovno učinkovit sistem vodenja majhnih mobilnih robotov s pomočjo komercialno dostopnih komponent.

2 Majhen mobilni robot

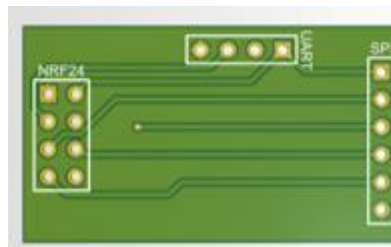
Idejna zasnova snovanega robota je iz projekta Open-Kilo [4] oz. t.i. *kilobot*. Kilobot je majhen mobilni robot, ki ga lahko uporabimo v roju [5], [6], [7], [8].

Zasnovo robota v projektu Open-Kilo smo prilagodili našim zahtevam, saj ne potrebujemo vseh funkcij, istočasno pa želimo kasneje dodati lastno funkcionalnost. Ohranili smo glavno lastnost projekta Open-Kilo, in sicer gibanje

robota s pomočjo vibracijskih motorjev. Zasnovani mobilni robot omogoča gibanje naprej in rotacijo., Izbrali smo mikrokrmilnik STM32G050K8Tx [9]. Strojna oprema našega kilobota vsebuje naslednje dele: tiskano vezje (Slika 2.1), vmesnik med PCB in modulom NRF24 (Slika 2.2), modul NRF (Slika 2.3) in tri noge. Višina robota oziroma dolžina nog je približno 3,5 cm (Slika 2.4).



Slika 2.1: Tiskano vezje -3D pogled



Slika 2.2: Vmesnik NRF24 - Kilobot



Slika 2.3: nRF24L01+ brezžični modul



Slika 2.5: Majhen mobilni robot

Noge robota so prispajkane na tiskano vezje, postavljene pa so pod kotom 120 stopinj. S tem zagotovimo ravnotežje mobilnemu robotu. Plošča je okrogle oblike, s premerom 42 mm. Vsaka komponenta na plošči je na spodnji strani, tako da ostane prostor za 3,7 V- polnilno baterijo na zgornji strani. Dva majhna vibracijska motorja sta nameščena na nasprotnih straneh robota, kar zagotavlja robotu sposobnost premikanja. V našem primeru je bil najučinkovitejši način za povezavo brezžičnega modula NRF24 [10] in hkrati vzdrževanje ravnotežja robota preko drugega preprostega tiskanega vezja. V zaključku, v izjemno majhnih dimenzijah, nam je uspelo, da je mobilni robot imel lastnosti, ki smo jih pričakovali .

3 Dinamični model mobilnega robota

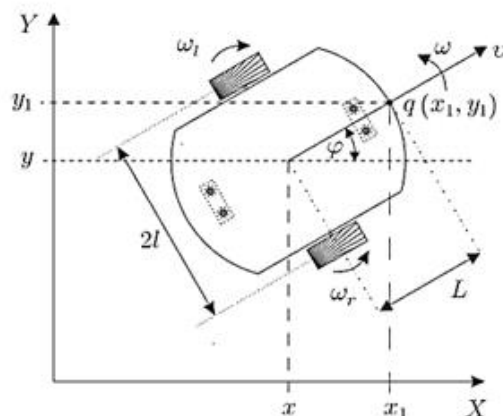
V tem poglavju je predstavljena dinamika gibanja mobilnega robota v zveznem modelu. Kot smo že omenili, je mobilni robot, ki ga preučujemo, vozilo, sestavljeno iz dveh vibracijskih motorjev. Ta dva motorja sta enaka, vzporedna drug z drugim, nedeformabilna in povezana s ploščo. Predpostavimo, da je gibanje omejeno na ravnini XY in da ni zdrsa koles, tedaj obstoječa literatura [12] opisuje kinematiko robota kot:

$$\begin{aligned} \dot{x} &= \frac{(\omega_r + \omega_l) r}{2} \cos \varphi, \\ \dot{y} &= \frac{(\omega_r + \omega_l) r}{2} \sin \varphi, \\ \dot{\varphi} &= \frac{(\omega_r - \omega_l) r}{2l}, \end{aligned} \quad (1)$$

kjer (x, y) označuje položaj sredine plošče, ki povezuje motorje, φ je kot, ki ga tvorita os simetrije robota in pozitivna os x . Parametri in spremenljivke, povezane s robotom, so prikazani na sliki 3.1.

Zaradi poenostavitve izberemo še eno referenčno točko, ki jo lahko obravnavamo kot sprednji del s koordinate $\mathbf{q} = (x_1, y_1)$.

$$\begin{aligned} x_1 &= x + L \cos \varphi, \\ y_1 &= y + L \sin \varphi, \end{aligned} \quad (2)$$



Slika 3.1: Graf - prehod od ene do druge točke

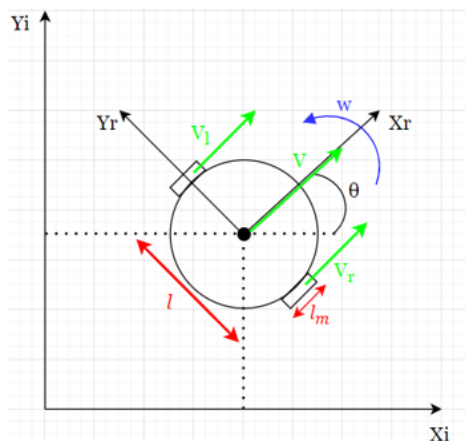
Vhodno-izhodni linearizacijski nadzor, ki omogoča robotu, da doseže cilj, lahko zapišemo na naslednji način:

$$\begin{pmatrix} \dot{\omega}_r \\ \dot{\omega}_l \end{pmatrix} = \frac{v_d}{\sqrt{f_x^2 + f_y^2 + \varepsilon}} \frac{1}{Lr} \begin{pmatrix} L \cos \varphi - l \sin \varphi & l \cos \varphi + L \sin \varphi \\ L \cos \varphi + l \sin \varphi & -(l \cos \varphi - L \sin \varphi) \end{pmatrix} \begin{pmatrix} f_x \\ f_y \end{pmatrix} \quad (3)$$

kjer je v_d želena konstantna hitrost, ε pa je konstantna vrednost blizu ničle, f_x in f_y pa sta komponenti F_{total} v smereh X oziroma Y .

4 Kinematični model mobilnega robota

Robot z diferencialnim pogonom je robot na kolesih z dvema krmiljenima kolesoma, kot je prikazano na sliki 4.1. Za manevriranje katerega koli robota z diferencialnim pogonom v ravnini potrebuje robot linearno hitrost V in smer θ . Z nadzorom hitrosti in orientacije je mogoče načrtovati pot robota kot je navedeno v literaturi [11]. Tri spremenljivke, x , y in θ , določajo položaj robota. Na osnovi linearne V in kotne hitrosti w , lahko določimo njihove spremembe.



Slika 4.1: Parametri mobilnega robota diferencialnega pogona

Razlika med hitrostmi vsakega kolesa določa, kako bomo usmerjali robota ob predpostavki, da kolesa robotov ne drsijo in je površina za gibanje robota ravna:

$$w = \frac{-V_r + V_l}{l} \quad (4)$$

1. $V_r > V_l \rightarrow w > 0$ - Robot se vrti v nasprotni smeri urinega kazalca;
2. $V_r < V_l \rightarrow w < 0$ - Robot se vrti v smeri urinega kazalca;
3. $V_r = V_l \rightarrow w = 0$ - Robot se ne vrti.

Če povežemo linearno in kotno hitrost s hitrostmi sklepov in hkrati s hitrostmi delovnega prostora, po kratki izpeljavi dobimo neposredno povezavo preko matrike, poznane tudi kot Jacobijeva matrika ali kot *Diferencialno Kinematično modeliranje*:

$$\begin{bmatrix} \dot{x} \\ \dot{y} \\ \dot{\theta} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{lm}{4} \cdot \cos \theta & \frac{lm}{4} \cdot \cos \theta \\ \frac{lm}{4} \cdot \sin \theta & \frac{lm}{4} \cdot \sin \theta \\ \frac{lm}{2 \cdot l} & -\frac{lm}{2 \cdot l} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \dot{\varphi}_r \\ \dot{\varphi}_l \end{bmatrix} \quad (5)$$

5 Implementacija sistema vodenja

5.1 Programska oprema mobilnega robota

Izvedli smo štiri različne teste s STM32CubeIDE platformo, da bi preverili vedenje robota. Za ta namen smo izbrali STLINK-V3MODS programator in razhroščevalnik iz serije STM32. Najprej smo preizkusili delovanje obeh motorjev posamično, nato pa smo določili najmanjšo in največjo hitrost, s katero se robot premika naprej. Rezultate lahko vidimo v tabeli 1.

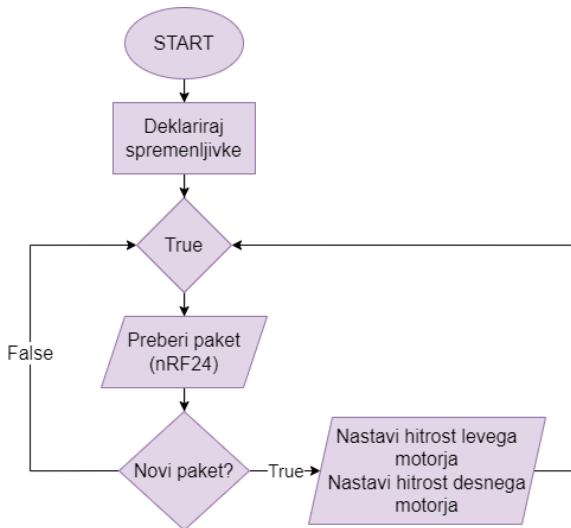
Tabela 1: Eksperimenti o obnašanju robota

Eksperiment	Desni motor	Levi motor	Komentar
Samo desni motor	2000	0	Robot se zavrti v levo
Samo levi motor	0	2000	Robot se zavrti v desno
Maksimalna hitrost	1200/2000	950/2000	Motor se premika naprej z maksimalno hitrostjo
Minimalna hitrost	550/2000	500/2000	Robot še miruje

Najvišja vrednost PŠM, ki jo lahko nastavimo, znaša 2000 delcev (3-V napajanje motorja). Pri najvišji vrednosti je hitrost vrtenja motorjev prevelika, da bi lahko vodili robota – amplituda vibracije je prevelika. Da zagotovimo stabilno gibanje in prepoznavo robota s pomočjo kamere, smo določili maksimalno vrednost PŠM 1200 delcev za en motor in 950 delcev za drug motor. Prav tako smo določili minimalne vrednosti prevajalnega razmerja PŠM, ki so potrebne, da se robot giblje naravnost. Po številnih poskusih smo ugotovili, da je PŠM za točko, preden se robot prične premikati, najmanj 550 za desni motor in 500 (malo manj kot 1V) za levi motor. S pomočjo zadnjih dveh preizkusov smo normirali hitrost

med maksimalno in minimalno vrednostjo prevajalnega razmerja PŠM.

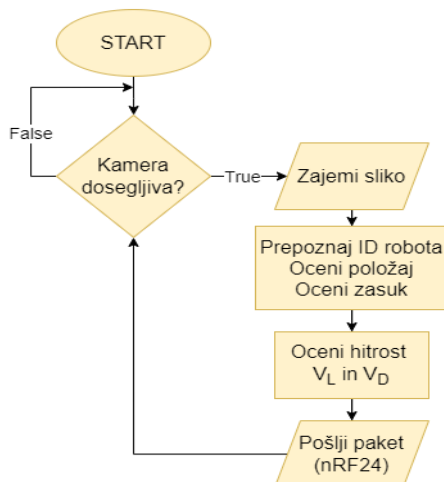
V platformi Visual Studio smo z uporabo programskega jezika Python načrtali in implementirali program za vodenje mobilnega robota. Diagram poteka je prikazan na sliki 5.1.



Slika 5.1: Diagram poteka - branje podatkov

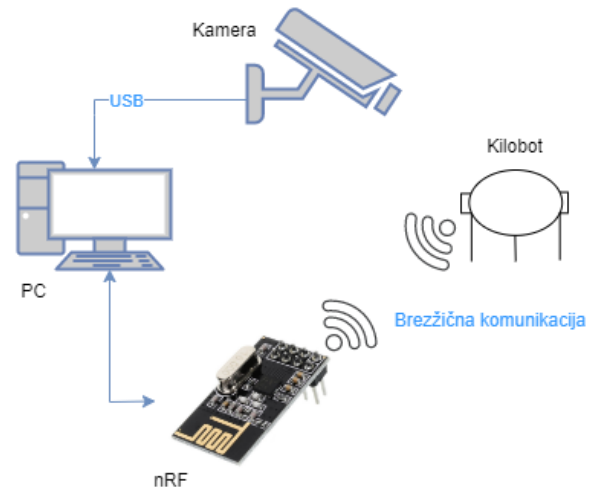
5.2 Programska oprema sistema vodenja

Razvili smo program za daljinsko vodenje mobilnega robota. Za zaznavanje robota uporabljamo informacije, ki jih pridobimo iz kamere. Algoritem je prikazan na Sliki 5.2.



Slika 5.2: Diagram poteka - Zaznava robota

Zasnovan mobilni robot smo nadgradili s QR kodo, ki jo lahko zaznamo na zajeti sliki. Določimo lahko lokacijo robota, zasuk robota okrog njegove osi, prav tako pa lahko določimo identifikacijsko številko robota. Celotni komunikacijski sistem vodenja je prikazan na Sliki 5.3.



Slika 5.3: Komunikacijski sistem

6 Eksperimentalni rezultati

Izvedli smo testiranje robota, in sicer vrtenja okrog lastne osi. S pomočjo zajetih podatkov smo izdelali model v Matlab platformi. Na Sliki 6.1 je prikazana smer vrtenja robota.



Slika 6.1: Smer vrtenja v nasprotni smeri urinega kazalca

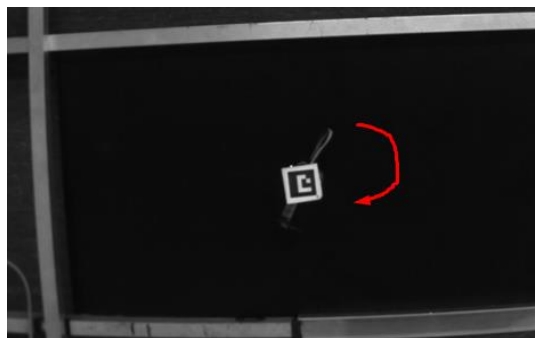
Slika 6.2 prikazuje spremembo položaja glede na osi X in Y ter kot zasuka okrog svoje osi θ .

Vidimo lahko, da so spremembe glede na X- in Y- os sinusni signal, ki se vedno malo zamika

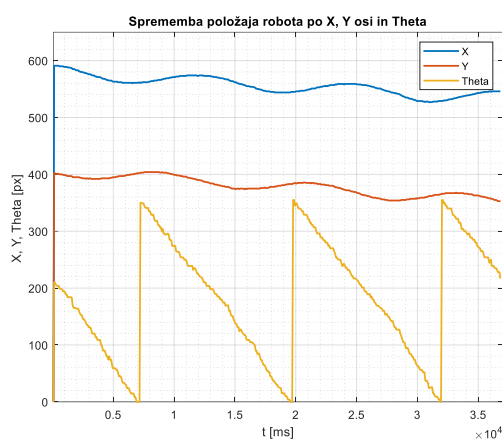
v eno smer, kar pomeni, da robot vedno kroži, ampak ne okoli svoji osi.

Slika 6.3. prikazuje spremembo hitrosti posameznega motorja in spremembo kotne hitrost vrtenja okrog svoje osi. Opazimo lahko periodične skokovite prehode kotne hitrosti w , ki so posledica ovitega kota zasuka. Kotna hitrost je vedno negativna, saj se robot počasi vrti v nasprotni smeri urinega kazalca.

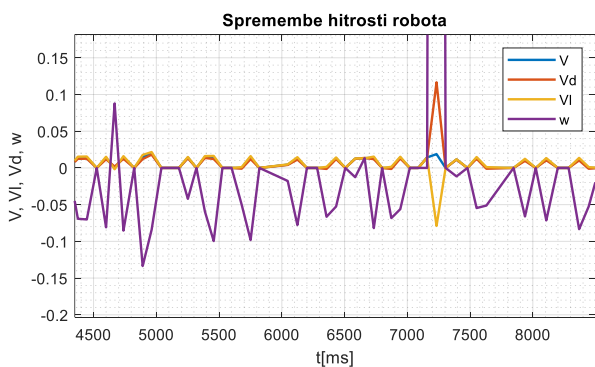
Slika 6.4 prikazuje video-posnetek vrtenja robota v smeri urinega kazalca.



Slika 6.4: Smer vrtenja v smeri urinega kazalca, prikazana na video-posnetku

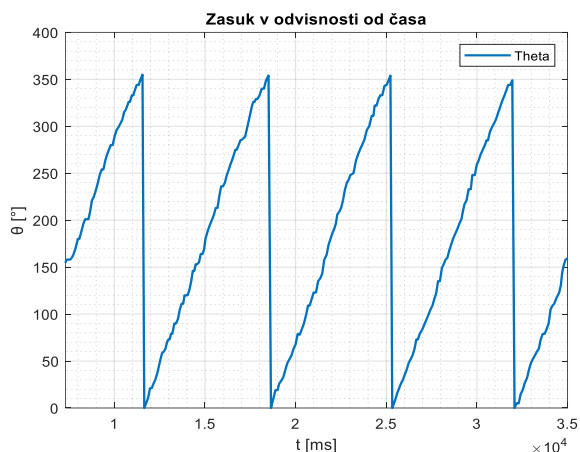


Slika 6.2: Graf - sprememba položaja robota pri vrtenju v nasprotni smeri urinega kazalca



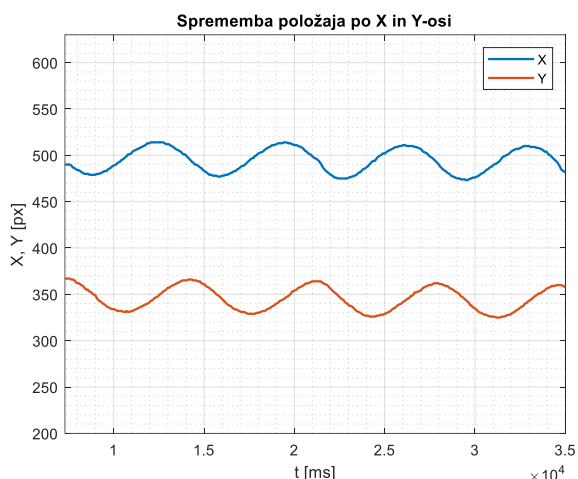
Slika 6.3: Graf - spremembe hitrosti

Na sliki 6.5 lahko vidimo rezultate spremembe rotacije θ . Zaradi vrtenja v smeri urinega kazalca, zasuk narašča.



Slika 6.5: Graf - sprememba zasuka v odvisnosti od časa

Slika 6.6 prikazuje spremembo položaja glede na osi X in Y. Vidimo lahko, da so spremembe glede na X in Y osi takrat kosinusni signal ki se vedno zamika v eno smer. Vidimo lahko, da robot ne kroži okrog svoje osi, temveč okrog svojih nogic. Spremembe v položaju X so zamaknjene za natančno vrednost $\pi/2$ glede na položaj v Y smeri – ko pride čez prehod, položaj na X osi prične kot kosinusni signal – maksimalna vrednost, položaj glede Y osi, pa kot sinusni signal.



Slika 6.6: Graf - sprememba položaja robota po X in Y smeri

Iz podatkov o položaju smo uspeli narisati spremembe kotne hitrosti, hitrosti desnega in levega motorja ter povprečne hitrosti obeh, kot je prikazano na Sliki 6.7. Skoke kotne hitrosti lahko vidimo sedaj v negativnih vrednostih, vrednost kotne hitrosti pa je pozitivna.



Slika 6.7: Graf - Hitrosti robota

7 Povzetek

Celoten proces temelji na več fazah: Izdelava mobilnega mini robota – visok je okoli 3,5 cm in 4,2 cm širok. Opredelili smo funkcije, ki jih mora izpolnjevati naš model in tako smo se odločili za mikrokontroler STM32G050K8Tx. Ideja izvedbe premikanja robota je bila uporaba dveh vibracijskih enosmernih motorjev, krmiljenih s PŠM. S pomočjo merjenih podatkov smo izvedli evalvacijo kinematičnega in dinamičnega modela sistema ter določili karakteristike robota.

Pridobljeni podatki so in nam bodo služili v nadaljnjem razvoju sistema vodenja robota. Raziskave, kako realizirati realno-časovni, stabilen in natančen sistem daljinskega vodenja, so pomemben dejavnik izboljšanja učinkovitosti dela robota, imajo pa tudi pomemben praktični pomen. Rezultati testa kažejo, da zasnovani sistem vrne video v živo in nam omogoča natančno vodenje gibanje robota. Zasnovani sistem nam prav tako omogoča zajem videa vodenja robota in zajem podatkov o lokaciji in orientaciji robota, kar nam omogoča hitro vizualizacijo in karakterizacijo sistema vodenja.

8 Literatura

- [1] *A remote controlled mobile mini robot*, <https://www.researchgate.net>, 20.03.2023
- [2] *Mobile robot*, <https://en.wikipedia.org>, 20.03.2023
- [3] H. Hamann, *Swarm Robotics: A Formal Approach*, Springer, New York, 2018.
- [4] OpenKilo, <https://github.com>, 20.03.2023
- [5] "The Kilobot Project", Harvard Self-organizing Systems Research Group, Massachusetts 2016.
- [6] *Anik Tahabilde: Building kilobots and revising kilobot design for improving the optical response*, faculty of Western Carolina University 2020.
- [7] *Kilobot*, <https://www.k-team.com>, 20.03.2023
- [8] *Documentation*, <https://kilobotics.com/documentation>, 20.03.2023
- [9] *STM32G050K8*, <https://www.st.com/>, 20.03.2023
- [10] nRF24L01+ Wireless modul, <https://lastminuteengineers.com/>, 20.03.2023
- [11] *Differential Drive Robots*, <https://www.cs.columbia.edu>, 20.03.2023
- [12] *Obstacle Avoidance Task for a Wheeled Mobile Robot – A Matlab-Simulink-Based Didactic Application*, R. Silva-Ortigoza, C. Márquez-Sánchez, F. Carrizosa-Corral, V. M. Hernández-Guzmán, Mexico 2014.