

Inteligentné plánovanie pohybu robotického manipulátora, generovanie trajektórií a automatizované stavanie steny

Michal Adamík, Andrej Chmurčiak, Ivan Kenický, Bálint Sallay

Tento článok sa zameriava na generáciu trajektórií robotického manipulátora pre následnú automatizovanú stavbu steny. Generácia trajektórií prebieha na základe troch základných parametrov – pôdorysu steny vo forme krivky, offsetu – rozostupu tehliel a výšky steny. Všetky tieto parametre sa využívajú v programe Rhinoceros 3D, kde sa pomocou pluginu Grasshopper generujú potrebné pohybové trajektórie. Takto získané trajektórie sa následne využívajú na automatizovanú stavbu steny.

The article is focused on trajectories generation for robotic manipulator for further automated wall building. Generation of trajectories operates on basis of three main parameters – ground plan of wall in curve format, offset of bricks and wall height. All mentioned parameters are used in Rhinoceros 3D software, where using plugin Grasshopper, we generate all movement trajectories needed. Thus, acquired trajectories are then used for automated wall building.

1. Úvod

V dnešnej dobe sa nielen v odbornej obci uvažuje nad tým ako vylepšiť, zrýchliť či automatizovať stavbu budov. Existuje niekoľko rôznych prístupov k riešeniu tohto problému, ako napríklad 3D tlač budov či stavba pomocou robotických manipulátorov, ktorej sa v tomto článku venujeme.

Jestvuje mnoho prípadových štúdií, ktoré sa zaoberajú otázkou, či je možné využiť robotické manipulátory na stavbu budov. Jednoduchá odpoveď je áno. Za všetkých uvedieme ako príklad riešenie od firmy Fastbrick Robotics: Hadrian X, ktoré si dáva za cieľ zmeniť spôsob akým sme kladli tehly už po šesť tisíc rokov – zrobotizovaním. Jedným z obmedzení Hadrian X je neschopnosť stavať po krivke ako vyplýva z ukážky [1]. Toto riešenie a zároveň jeho obmedzenie nás inšpirovalo k vývinu nášho riešenia, ktoré toto obmedzenie odstráni.

2. TacoABB

Naše riešenie sme vyvíjali na robotickom manipulátore ABB IRB120 (obr. 1), a zároveň Schunk PEH 40, ktorý je všestranný a flexibilný servoelektrický 2-prstový uchopovač, ktorý nám ideálne slúži na uchopovanie a premiestňovanie tehál. [5] (viď obr. 2)

Vzhľadom na použitý manipulátor sme využívali aj plugin TacoABB pre Grasshopper, ktorý nám umožňuje pomocou svojich programových blokov definovať manipulátor, ale i nástroj, ktorý využívame na zdvíhanie a kladenie tehliel (viď obr. 3).



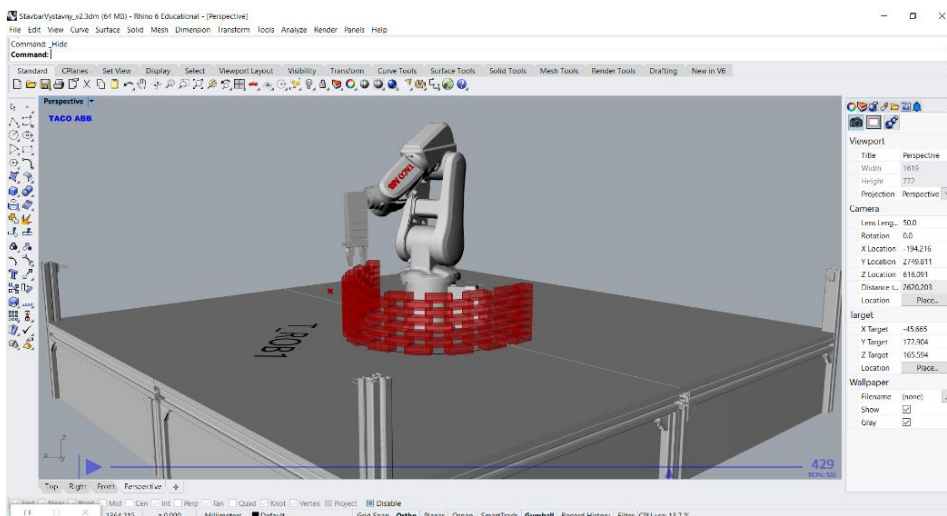
Obr. 1 ABB IRB120

Na obr. 3 je tiež možné si všimnúť nami navrhnutý a vytvorený model štanu (ktorý má aj svoje fyzické dvojča), umiestnený pod robotom, ktorý nám v našich podmienkach slúži ako rovný povrch pre stavbu steny, no zároveň aj ako bezpečnostná zóna.

Súčasťou TacoABB je aj blok pre generovanie RAPID kódu. Tento blok nám zo svojich vstupov dokáže vygenerovať kód, podľa ktorého sa manipulátor bude hýbať.



Obr. 2 Gripper Schunk PEH40



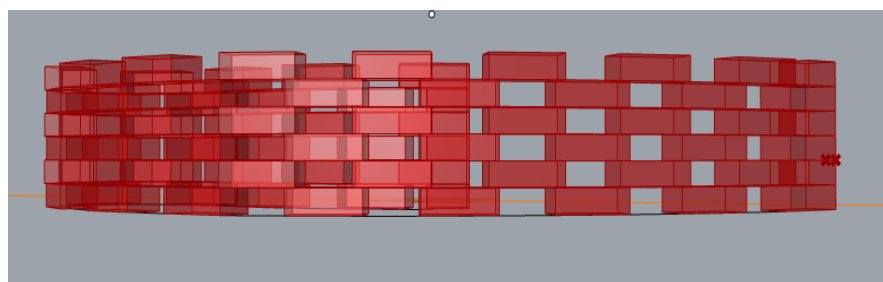
Obr. 3 Prostredie Rhinoceros 3D – TacoABB a v ňom model manipulátora, model štanu, vygenerovaná stena

3. Generovanie trajektórii

Náš program je tvorený a programovaný v softvéri Rhinoceros 3D Grasshopper. Máme v ňom k dispozícii tri základné parametre – **krivka**, ktorou je popísaný pôdorys steny, **offset** – rozostup jednotlivých tehál a **výška** steny. Využitím týchto

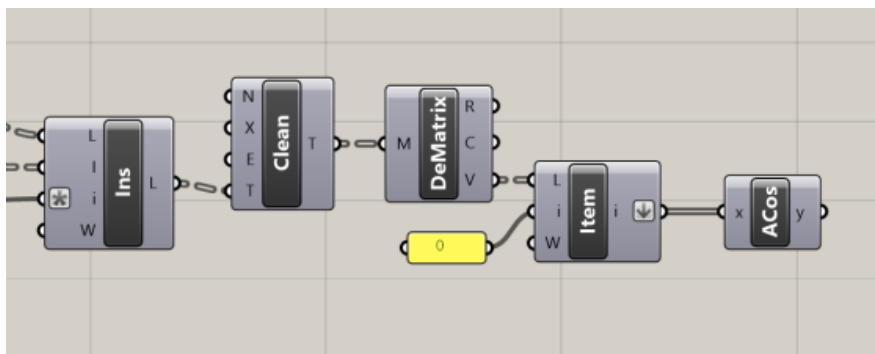
parametrov sa generuje postupnosť bodov, medzi ktoré je nutné vložiť aj body pre zdvihnutie a polozenie tehly. Súčasťou týchto bodov je aj informácia o vhodnom natočení gripperu manipulátora. Pre plynulosť pohybu pri presune medzi bodmi *pick and place* využívame kľbový pohyb (*moveJ*) [2].

Na obr. 4 je možné vidieť stenu vygenerovanú Rhinoceros-om, kde každá tehla ako stavebná jednotka nesie už spomínanú informáciu o súradniciach ťažiska a vhodnom natočení gripperu robotického manipulátora.



Obr. 4 Stena vygenerovaná v programe Rhinoceros

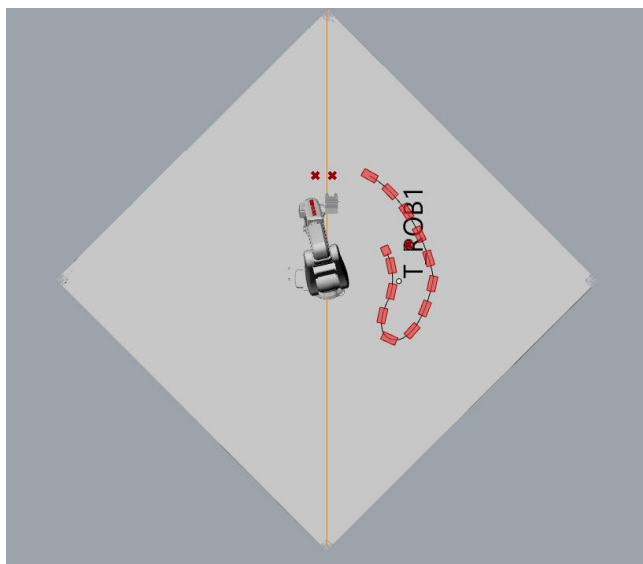
Do tejto aplikácie je ešte nutné na každú druhú pozíciu do postupnosti tehál vložiť bod pre funkciu *pick*, v rámci ktorej si manipulátor vezme ďalšiu tehlu. Takýto bod je definovaný karteziánskymi súradnicami a natočením, ktoré je nutné, aby manipulátor dodržiaval.



Obr. 5 Ukážka programovacieho prostredia Grasshopper - transformačné matice a získavanie uhlu natočenia

Pre dosiahnutie požadovanej trajektórie efektora je tiež nutné pripočítať k z súradnici vhodne zvolenú konštantu. Táto konštantu musí zabezpečiť nekolíznosť s už postavenou stenou a zároveň to, že vzniknutá hodnota (súčet konštanty a z súradnice) bude v pracovnom priestore robota. Následne je potrebné určiť natáčanie grippera

z rotačných transformačných matíc priradených každému bodu (naznačené na obr. 5) [3]. Nakoniec využijeme blok na generovanie RAPID kódu a potom vložíme príkaz na kĺbový pohyb pre každý bod z druhého kvadrantu manipulátora.



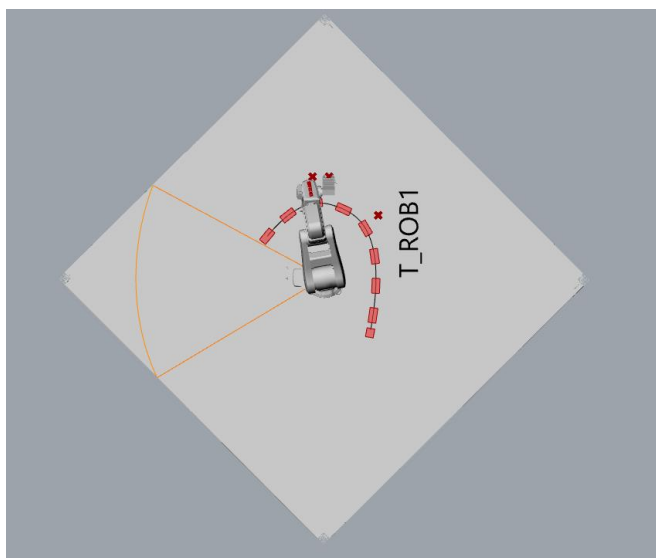
Obr. 6 Pracovný priestor pre spoľahlivú generáciu trajektórií – v „pravej“ polrovine voči oranžovej osi

Takto vytvorený program má však obmedzený pracovný priestor pre spoľahlivú generáciu trajektórií (viď obr. 6)[3] a zároveň má istý nedosiahnuteľný pracovný priestor (viď obr. 7)[3].

Pre odstránenie vyššie uvedených obmedzení použijeme namiesto lineárneho či kĺbového pohybu, pohyb po kružnici a to len za cenu jedného pridaného bodu.

Náš štand je rovnako ako karteziánsky priestor rozdelený na štyri kvadranty, no nám bude postačovať rozdelenie na dve časti podľa osi x , ktorá ho pri pohľade zhora rozdeľuje na dve polovice. Bod *pick* je umiestnený v „hornej“ časti štandu a teda jeho y súradnica je vždy kladná. Vďaka tomuto je pre manipulátor možné sa v „kladnej“ časti dostať z počiatočného bodu do ľubovoľného iného bodu v „kladnej“ časti. Pre ošetrenie „zápornej“ časti je nutné vložiť medzibod, ktorého x súradnica bude kladná a y súradnica v okolí nuly. Takýto medzibod následne aplikujeme v pohybe po kružnici (*moveC*)[2], ktorým nahradzujeme kĺbový pohyb v miestach kedy by sa po vykonaní príkazu nachádzal efektor ramena v záporných súradniciach y .

Samotné pokladanie tehál po vygenerovanej trase prebieha spôsobom znázornením na vývojovom diagrame na obrázku 8 [4].



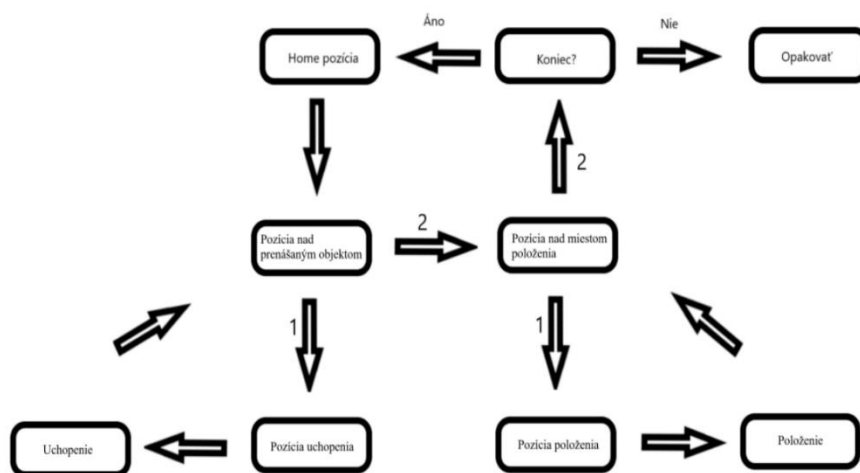
Obr. 7 Nedosiahnuteľný pracovný priestor – vyznačený oranžovým výsekom kružnice

4. Záver

Aj vzhľadom na dnešnú rýchlo narastajúcu populáciu je vhodné uvažovať a rozvíjať aj také riešenia stavby budov aké je popísané v tomto článku, a o ktoré začína byť v dnešnej dobe záujem.

My sme našim riešením dosiahli spoľahlivé stavenie po krivke, v celom pracovnom priestore robota, čím sme vytvorili dobrý základ pre automatizovanú stavbu.

Zároveň, je vhodné vylepšovať a rozširovať už existujúce prístupy. Potenciálnym vylepšením nášho riešenia, by bolo umiestnenie použitého manipulátora na lineárny pojazd („hlavou dole“), nakoľko manipulátory zväčša umožňujú pripojiť iba 1 os navyše a teda by napríklad portálový žeriav nemusel byť vhodný riešenie. Takýmto spôsobom by sa zväčšil počet stupňov voľnosti, rovnako ako aj jeho dosah.



Obrázok 8 Diagram operácie pick and place

Literatúra:

- [1] Fastbrick Robotics: *Fastbrick Robotics: Hadrian X Digital Construction System*. [online]. [cit. 2020-5-11]. Dostupné na internete: <https://www.youtube.com/watch?v=5bW1vuCgEaA>
- [2] ABB Robotics: *Technical reference manual, RAPID Instructions, Functions and Data types*. [online]. [cit. 2020-5-11]. Dostupné na internete: https://library.e.abb.com/public/688894b98123f87bc1257cc50044e809/Technical%20reference%20manual_RAPID_3HAC16581-1_revJ_en.pdf
- [3] CHMURČIAK, Andrej – ADAMÍK, Michal: *Robotizovaná stavba steny v prostredí Grasshopper*. Bakalárska práca. 2019. 45 s
- [4] SALLAY, Bálint – ADAMÍK, Michal: *Robotizované prekladanie objektov prostredí Grasshopper*. Bakalárska práca. 2019. 42 s
- [5] Schunk: *Systémy uchopenia*. [online]. [cit. 2020-5-11]. Dostupné na internete: https://schunk.com/sk_sk/uchopovacie-systemy/series/peh/