

Gibljivost haptičnega mehanizma v cilindričnem prostoru MR-skenerja

Matej Rajh^{1,*} – Srečko Glodež² – Jože Flašker³ – Karl Gotlih³

¹ Rajh Plus d.o.o., Slovenija

² Univerza v Mariboru, Fakulteta za naravoslovje in matematiko, Slovenija

³ Univerza v Mariboru, Fakulteta za strojništvo, Slovenija

Haptični vmesnik je naprava, ki s povratno silo uporabniku omogoča vključenost v navidezno ali oddaljeno okolje. Med razvojem MR-združljivega haptičnega mehanizma smo zaznali nekatere probleme in pomembne lastnosti, skupne vsem robotskim napravam, ki delujejo v MR-tunelu. Namen prispevka je prikaz razvoja in kinematične optimizacije haptičnega mehanizma s tremi prostostnimi stopnjami ter predstavitev 3D-vizualizacijske metode za analizo gibljivosti mehanizmov v omejenem prostoru. Glavni cilj dela je, na osnovi izsledkov raziskave, konstruiranje in izdelava novega fMRI-združljivega haptičnega mehanizma s tremi prostostnimi stopnjami, gnanega z elektromotorji, ki so kot aktivni mehanski elementi nameščeni zunaj kritičnega območja glede na gostoto magnetnega polja.

Haptična naprava mora imeti odlično gibljivost v vseh smereh za izpolnjevanje operaterjevih zahtev. Ta zahteva je še posebej pomembna v omejenem prostoru, kot je MR-tunel. Zato smo oblikovali kinematični model, ki omogoča reševanje zaznanih problemov in posledično izdelavo mehanizma z enakomerno porazdeljenimi silami in hitrostmi. Rešitev omogoča 3D-grafični prikaz za vsako točko delovnega prostora mehanizma, z vnaprej izbrano ločljivostjo. Presek med omejenim območjem in celotnim delovnim prostorom prikaže možnost izvajanja gibov. S tem modelom je mogoče predstaviti in izboljšati gibljivostne lastnosti mehanizmov v tunelu MR-skenerja.

Za optimalno določanje pozicije robota ni dovolj, če poznamo samo delovni prostor robota, saj obstajajo tudi mehanske omejitve. Te izvirajo iz kinematike mehanizma oz. matematične posebnosti singularnosti Jacobijeve matrike, ki se izraža v zmanjšani gibljivosti mehanizma oziroma kinematični singularnosti, ko mehanizem zaradi mehanskih lastnosti ne more v celoti izpolnjevati naloge. Zato je pomembno, da se singularnostim izognemo že pri načrtovanju mehanizma.

Gibljivost je definirana kot merilo delovanja robotskega mehanizma in opisuje pogoje transformacije vektorja hitrosti iz notranjih v zunanje koordinate. Kinematična obravnava mehanizma je izvedena s pomočjo Denavit-Hartenbergovih parametrov in Jacobijeve matrike, ki je osnova za analizo gibljivosti z razvitim računalniškim modelom. V modelu je delovni prostor mehanizma diskretiziran in ga predstavimo z ekvidistantno mrežo točk, ki definirajo gibljivost mehanizma na osnovi najkrajše osi hitrostnega elipsoida. Za predstavitev rezultatov je uporabljen volumetrični prikaz indeksov gibljivosti. Pri iskanju najboljše pozicije za izvajanje naloge znotraj delovnega prostora algoritem premika prostor naloge skozi skupino diskretnih točk v delovnem prostoru. Izmed vseh možnih položajev izbere v prostoru naloge tistega, ki ima najvišje število točk z ustrezno gibljivostjo.

Haptične naprave za delo v MR-okolju imajo zaradi magnetnega polja in oblike skenerja določene zahteve glede zgradbe in delovanja. Nekateri viri obravnavajo omenjeno problematiko, vendar ne vključujejo gibljivosti MR-mehanizma kot ene izmed ključnih lastnosti za kakovosten prenos sile v haptičnih napravah, kjer je treba upoštevati tudi omejitev prostora. Prav to pa lahko pomembno vpliva na konstruiranje mehanizma, saj bi delovanje v bližini singularne točke povzročalo resne obratovalne probleme.

Vsaka naloga gibanja človeške roke in s tem vrha mehanizma ima svoje karakteristike in zahteva drugačen položaj v tunelu. Razviti program omogoča prikazovanje delovnega prostora mehanizma in pripadajočih indeksov gibljivosti v odprtem prostoru ali v vnaprej definiranem omejenem prostoru. Na osnovi 3D-grafične predstavitve je možno ocenjevati lastnosti gibljivosti v različnih položajih. S tem je uporabniku omogočena prilagoditev položaja baze mehanizma skladno z zahtevami po višjem indeksu gibljivosti. Rezultat tega sta lažje premikanje mehanizma in boljši prenos mehanske energije od vrha mehanizma, ki je v stiku z uporabnikom, do motorjev, kar izboljša haptičnost in vključenost v navidezno okolje. Ta program pa je uporaben tudi kot konstrukcijski pripomoček za off-line načrtovanje robotskih proizvodnih celic in haptičnih robotov, saj omogoča boljši vpogled v uporabni delovni prostor in posledično boljši izkoristek.

Ključne besede: gibljivost, Jacobijeva matrika, delovni prostor, haptični mehanizem, MR-združljivost, omejen prostor