

Dr. Szirbik Sándor egyetemi docens bírálatára adott válasz

Először is szeretném megköszönni Bíráló pozitív és segítő értékelését, amely megállapításaival, illetve észrevételeivel hozzájárul a disszertációm további pontosításához. A bírálatban található megjegyzésekre az alábbiakban időrendi sorrendben válaszolok:

- A jelölések jegyzéke című fejezetben valóban vannak kihagyott mennyiségek, úgy, mint a h_c kezdeti hézag. A jegyzékben összeállított listánál a dolgozatban többször használt mennyiségeket tüntettem fel elsősorban.
- Az elvégzett irodalomkutatás során arra törekedtem, hogy a kutatásom témáját érintő fontosabb szakirodalmakat áttekintsem. Az irodalomkutatás című fejezet végén főként a robottal elvégezhető szerelések, illetve a robotmegfogók vonatkozásában adtam leírást, hogy azokat milyen feladatoknál használják. A fejezet utolsó részében a gyakorlatban alkalmazott megfogók, illetve szerelési feladatok ismertetésére törekedtem, hogy szakmai alapokat biztosítsak a disszertációban kifejlesztendő, újdonságtartalommal bíró intelligens robotmegfogóhoz.
- Az L pillanatnyi hosszt, a rúdelemet meghatározó i, j csomópontok aktuális koordinátáinak különbségéből számolom: $L = \sqrt{(x_j - x_i)^2 + (y_j - y_i)^2}$.
- A rúd u_L axiális hosszabbodása az irodalomban szokásos (3.3) összefüggéssel numerikusan pontosabban vehető figyelembe L és L_0 hosszak közötti kis eltérésnél is.
- A keresztmetszeti jellemzőket a téglalap, U szelvényre vonatkozó képletekkel, illetve CAD programmal határoztam meg. Az anyagjellemzőket interneten, több helyen is elérhető táblázatokból vettem.
- A 3.1. ábrán az x_{lok} alsó indexét a későbbiekben az egyszerűbb jelölés kedvéért hagytam el.
- Az I_z másodrendű tehetetlenségi nyomaték természetesen megegyezik a korábban használt I mennyiséggel.
- Az érintkezési feszültség fogalmát az [59] irodalom alapján idéztem, amelyet az érintkezési nyomás hoz létre az érintkező testben. Az érintkezési erő diszkrétizált feladatoknál csomópontba redukált étékként számolható az érintkezési nyomásból. Feladatinkban többnyire egy-egy csomópont érintkezését vizsgáltam.
- A 3.2. ábráról valóban lemaradt a koordinátatengelyek szimbolikus feltüntetése.
- A 3.2. ábra alatti félreérthető mondatot az alábbiak szerint pontosítom: „*Létezik még a kombinált technika is, amely az előbb bemutatott elvet bővíti azzal, hogy a számolt érintkezési erőt mindkét testre megfelelő irányban működteti.*”

- Az \mathbf{e}_n , \mathbf{e}_t egységvektorok és a γ szög értelmezését a 3.2. általános ábra valóban nem, de az akkumulátor bepattanásánál a 6.3b. ábra jelöli a γ szöget és a normális \mathbf{e}_n irányú u_n elmozdulás koordinátáját.
- A Bíráló észrevétele alapján a következő módosítást teszem az első tézis első mondatára:
Szereléseknél fellépő bepattanás elméleti vizsgálatára több irodalomból vett, numerikusan hatékony összefüggések pl. nagy forgás, nyúlás, a választható co-rotációs/konzisztens módszerek beépítésével végeselemes algoritmust dolgoztam ki, amely a hajlékony, rugalmas szerkezeti elemeket nagy elmozdulással, kis alakváltozással modellezi.
- Két érintkező testen a tangenciális súrlódó erő egymással ellentétes irányú, így mind pozitív, mind negatív előjellel is helyesen értelmezhetjük, ahogy például azt a 6.6. ábra is mutatja, így fizikai tartalom vonatkozásában természetesen nincs különbség. A (4.3) összefüggés egy példa az akkumulátor cella beszerelésekor fellépő erő függőleges irányú vetületére.
- Racionális megfontolás, illetve azt megerősítő tapasztalat alapján is vettem fel az 5.1. ábrán látható bélyeg igénybevételeket.
- Kvadratikus tetraéder elemet alkalmaztam automatikus hálósűrítéssel, a program a szimulációt követően jelezte a h sűrítés határának elérését. A mérőbélyegek közelében lévő kikönnnyítések íve mentén helyi sűrítést írtam elő. Ezen felül külön hibabecslést nem végeztem. A körülbelül 1,5 millió szabadságfok egy ilyen egyszerű geometriájú feladatnál a mérnöki pontossági igényeket kielégíti. A számítás célja a bélyeg alakváltozásának feltérképezése, illetve a bélyegek maximális nyúlásának becslése volt.
- A terhelési esetek vizsgálatokor 3-3 mérést végeztem, ezt elegendőnek ítéltem, mivel a terhelés kvázi-statikusként tekinthető a kezdeti tranziensektől eltekintve.
- A 6.3. ábrán célszerűségi okokból a szerelési irányt tűztem ki az y koordinátatengely pozitív irányának megtartva a jobsodrású rendszert. A 3.1. alfejezetben a szerelési feladatok modellezésére vonatkozó általános összefüggéseket adom meg, amelyek érvényesek a 6. fejezetben bemutatott feladatra is.
- A 3. fejezetben részletezett algoritmus tartalmazza a szükséges merevségi mátrixokat és a tehervektorokat, illetve a nem lineáris feladat megoldására szolgáló Newton-Raphson iterációt. Ezek alapján megismételhetően elkészíthető a szükséges programkód, amelyet terjedelmi okok miatt nem közöltem.
- A 6.6. és a 6.7. szabadtest ábrákon látható jelöléseknek megfelelően a negatív sebesség az akkumulátor kiemelésénél lép fel, míg a pozitív sebesség a beszerelésre jellemző.
- A $d_y = 100 \text{ Ns/m}$ csillapítási paraméter értékét a szerkezetek belső csillapítására gyakorlatban jellemző kb. 1 %-os Lehr-féle csillapítás és a $\sqrt{k_y/m}$ alapján választottam meg. Erre vonatkozólag méréseket nem végeztem.

- A robot T1 betanítási üzemmódjánál a legnagyobb sebesség 250 mm/s, automata üzemmódban ennek racionálisan, akár tízszerese is lehet.
- A 6.1. alfejezetben ismertetett feladat megoldása a 3.1. alfejezet összefüggéseinek beprogramozásával történt.
- A 7. fejezetben bemutatott tesztrendszer is teljes mértékben használható ipari környezetben, hiszen az alkalmazott erőmérő cella, illetve a mikrokontroller, mérőprogram megegyezik az intelligens robotmegfogóba kompakt módon beépítettekkel. A tesztrendszer elemei közül az erőmérő cella kicserélhető lényegesen drágább többtengelyes erőmérő szenzorra, valamint más típusú mikrokontrollerre, amely szélsőségesebb környezeti feltételek mellett is üzembiztosan használható.
- A kísérleteim során törekedtem a polarítások függvényében történő behelyezési sorrendre, azaz először a három, egyező orientációjú cella-, majd utána a többi két cella behelyezése történt meg. A cellák behelyezési sorrendjén természetesen lehet változtatni, ezt a robotprogram, illetve a mikrovezérlő programjának módosításával lehet elérni. Előzetes gyakorlati kísérletek szükségesek a fellépő erők meghatározására a rendszer betanításához. Az összes elem egymás utáni beszerelésének szimulációja is elvégezhető a programkód némi továbbfejlesztésével a szerkezet teljes geometriájának leírásával, a szimmetria feltételek kiiktatásával, illetve egyszerre több test érintkezési feladatának kezelésével.

A tézisekről tett összefoglaló pozitív, elfogadó nyilatkozatát köszönettel veszem, az első tézisre vonatkozó pontosítási kérésének próbáltam eleget tenni. A disszertációval kapcsolatos építő jellegű kritikáiból sokat tanultam, és hálával vettem.

Miskolc, 2020. július 14.



Rónai László