Katapult hajítási folyamatának vizsgálata

LAKATOS ANDOR

Gépészmérnöki MSc Alkalmazott Mechanika Specializáció, 2018/2019/I. *Témavezető:* Pölöskei Tamás, doktorandusz, poloskei@mm.bme.hu

1. Bevezetés

Dinamikai problémák megoldása során többnyire merevtest dinamikai, vagy végeselemes megközelítést alkalmazunk. Előbbi merevtest rendszerek mozgásának, míg utóbbi testek rezgő mozgásának leírására alkalmas különösen. Előfordulhatnak azonban olyan műszaki kihívások is, amelyekben a rendszer bizonyos elemei nem tekinthetőek merevnek. Az ilyen problémák megoldására két lehetőség közül választhatunk. Vagy alkotunk egy egyszerűsített modellt, amely kellő pontossággal írja le a valódi rendszer viselkedését, vagy ötvözzük a merevtest dinamikai és a végeselemes megközelítést. Munkám célja a két módszer összevetése volt egy egyszerű szerkezetre való alkalmazáson keresztül. A vizsgált gép egy kis méretű katapult, ami két meghajlított karban tárolt potenciális energiából állítja elő a lövedék mozgási energiáját.



1. ábra. A vizsgált szerkezet oldalnézeti képe

2. Alkalmazott módszerek

Első lépésként leírtam a katapult geometriáját. Ezután alkottam egy merevtest dinamikai modellt, amely tömegeket, rugókat és csillapításokat tartalmazott. A rendszer szabadságfokainak a dob elfordulását, valamint a kötelek szögelfordulásait választottam. Meghatároztam a tömegek, rugók és csillapítások értékét úgy, hogy a lehető legjobban modellezzék a valóságot. Felírtam a rendszer mozgásegyenletét, majd numerikus szimulációval vizsgáltam a kilövés időbeli lefutását. A rendszer mozgásegyenllete: létre, amely egyaránt tartalmaz rugalmas, végeselemesen diszkretizált, valamint merevtest-szerűen mozgó tagokat. Az előző megközelítés szabadságfokait itt is megtartottam, ehhez jöttek hozzá a végeselemesen diszkretizált rudak szabadságfokai. A rugalmas tagoknak származtattam tömegés merevségi mátrixait, majd kísérletből kiindulva, modális analízis alkalmazásával hoztam létre a csillapítási mátrixot. Létrehoztam a rendszer kényszerekkel kiegészített mozgásegyenletét, végül itt is numerikus módszerrel szimuláltam a kilövést. Ebben az esetben a rendszer mozgásegyenlete:

$$\begin{bmatrix} \mathbf{M} & \boldsymbol{\varphi}_q^T \\ \boldsymbol{\varphi}_q & \mathbf{0} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \ddot{\mathbf{q}} \\ \boldsymbol{\lambda} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mathbf{C} - \mathbf{Q} \\ -\dot{\boldsymbol{\varphi}}_q \, \dot{\mathbf{q}} - \alpha \, \boldsymbol{\varphi}_q \dot{\mathbf{q}} - \beta \, \boldsymbol{\varphi} \end{bmatrix}$$

Mindezek után kísérletet végeztem el az eredmények igazolására. Ennek során a szerkezetre különböző színű köröket ragasztottam, majd gyorskamerával rögzítettem a kilövés folyamatát. Az elkészült felvételt képelemzési módszerekkel vizsgáltam, aminek eredményeként megkaptam a keresett pontok koordinátáit.

3. Eredmények és összefoglalás

A módszerek összehasonlítása során a videoelemzéssel kapott eredményt kell valósnak tekintenünk, hiszen ez kísérleten alapul. A végeselemesen diszkretizált modell ehhez nagyon közeli viselkedést mutatott, tehát kijelenthető, hogy a két módszer közül ez modellezi jobban a valóságot. Ugyanakkor a merevtest dinamikai modellel is kis eltéréseket kaptam. Összességében kijelenthető, hogy mindkét megközelítés alkalmazható a rendszer modellezésére.



$$\frac{d}{dt}\frac{\partial T}{\partial \dot{q}_i} - \frac{\partial T}{\partial q_i} + \frac{\partial D}{\partial \dot{q}_i} + \frac{\partial U}{\partial q_i} = 0, \quad i = 1, 2, 3$$

A végeselemes megközelítésben olyan modellt hoztam

2. ábra. A három merevtestszerű szabadságfok időbeli lefutása a kilövés során a három különböző módszerrel



Térbeli gördülés vizsgálata rugalmas kerék-talaj kapcsolat esetén

Bártfai András

Gépészmérnöki BSc, Gépészeti Fejlesztő Specializáció, 2018/2019/I. *Témavezető:* Beregi Sándor, Tanszéki mérnök, beregi@mm.bme.hu

1. Bevezetés

A közúti járművek széles körű elterjedése óta a kerekek mozgásának leírására szolgáló modellek igen fontos szerepet kaptak. A kerék mozgásának vizsgálata során a rugalmas keréktalaj kapcsolatának modellezése meghatározó, mivel a kerék mozgását elsősorban a kerék deformációja során létrejövő kontaktzónában fellépő erők, illetve nyomatékok határozzák meg. Ezen erők, illetve nyomatékok meghatározására a szakirodalomban többféle módszer létezik. A dolgozat során ki kellett választanom egy modellt, ami megfelelően írja le a kontaktzónában fellépő erőket, illetve nyomatékokat. Az általam választott, a kefe modell. Ez a kerékhez kapcsolt rugóelemek segítségével írja le a deformációt.

Az autóipari gyakorlatban alkalmazott kerékmodellek többsége a kerék térbeli gördülésének hatását elhanyagolja, hiszen ez négykerekű járművek esetén kevésbé jelentős. Az egy nyomon haladó járműveknél (pl.: kerékpár, motorkerékpár) ez a hatás azonban már alapvetően befolyásolja a mozgás stabilitását.



1. ábra. Kerék térbeli gördülése.

2. Alkalmazott módszerek

A kerék térbeli gördülésének vizsgálatához szükség van a kontakttartományban fellépő erők és nyomatékok számítá-

tam.

3. Eredmények

Megadott adatok alapján tudtam számolni a kritikus sebességet. Megvizsgáltam a stabilitást paraméteresen is, és felrajzoltam a stabilitási térképeket. Ezeket összehasonlítottam először a merev kerékmodellel, majd különböző tehetetlenségi nyomatékokkal is.



2. ábra. Stabilitási térkép a sugárra.

A stabilitási vizsgálat eredményeit numerikus szimulációval ellenőriztem.



3. ábra. Numerikus szimuláció eredménye ω_{ψ} szögsebességre, stabil sebességtartományban.

sára. Ehhez én a kefe modell használtam, amely a kerékhez kapcsolt rugóelemek deformációjának segítségével származtatja az erőket és nyomatékokat. A differenciálegyenletrendszert a Lagrange-egyenlettel vezettem le. A lineáris stabilitás és numerikus vizsgálat elvégzéséhez, a rendszert először vissza kellett vezetni elsőrendűrem majd linearizálni kellett. Ezek után a lineáris stabilitást, a Hurwitzdeterminánsok felhasználásával számoltam, a numerikus szimulációt pedig negyedrendű Runge-Kutta módszerrel futat-

4. Összefoglalás

A dolgozat célja egy olyan kerékmodell volt, ami figyelembe veszi a rugalmas kerék-talaj kapcsolatot, illetve a térbeli gördülés hatását is. A felállított kerékmodellnek vizsgáltam a lineáris stabilitását és numerikus számítást is végeztem. Az ipari felhasználás előtt érdemes a későbbiekben a modellt méréssel is validálni.



Squash labdák becsapódási és visszapattanási jellemzőinek vizsgálata nagysebességű videófelvételek segítségével

BERENCSI BENCE FERENC

Gépészmérnöki BSc, Gépészeti Fejlesztő Specializáció, 2018/2019/I. *Témavezető*: Dr. Kossa Attila, egyetemi docens, kossa@mm.bme.hu

1. Bevezetés

A squash igen nagy népszerűségnek örvend manapság a sportot övező technikai fejlődésnek köszönhetően. Főként a televíziós közvetítések tették lehetővé széleskörű elterjedését a világban. Ehhez kapcsolódó egyik technológia megoldás a finomfelbontású kamerákkal készített lassított videófelvételek megjelenése volt. Más megközelítésből, de a dolgozat során is gyorskamerával készült felvételeket használtam. Felhasználásukkal vizsgáltam a labdák becsapódását és visszapattanását, ezzel egy mélyebb és alaposabb betekintést nyerve a squash dinamikájába.



1. ábra. Squash mérkőzés

2. Alkalmazott módszerek

A labda megfelelő sebességű kilövéseihez építettem egy sűrített levegős kísérleti kilövő berendezést. Ennek segítségével egy mérkőzésen előforduló valós sebességtartományban lőhettem ki a labdákat.





3. ábra. Photron FASTCAM SA5



4. ábra. Képfeldolgozó algortimus

3. Eredmények

A kiértékelés eredményeként többek között meghatároztam egy sebességfüggő ütközési tényezőt, illetve kapcsolatot kerestem az energiaveszteségek és a deformációk között.





2. ábra. Kísérleti kilövő berendezés

A felvételeket a tanszék nagysebességű kamerájával készítettem el, majd egy MATLAB-ban írt képfeldolgozó algoritmussal elemeztem ki. A kód a "background substraction" módszerén alapult, segítségével a squash labda sebessége mérhetővé vált. 5. ábra. Defromációk különböző kezdősebességeknél

4. Összefoglalás

Az eredményeink némi magyarázattal szolgáltak a squash dinamikáját érintő kérdésekre, melyek a későbbiekben hasznosak lehetnek mérnöki, de akár sportolói szempontból is.



Kvadkopter Paraméterfüggő Irányítástervezése

BEZSILLA JÁNOS

Mechatronikai mérnöki BSc, Gépészeti Modellezés Specializáció, 2018/2019/I. Témavezető: Dr. Antali Máté, posztdoktori kutató, antali@mm.bme.hu

1. Bevezetés

Az MTA SZTAKI Rendszer és Irányításelméleti Kutatólaboratóriumában a félév során kvadrotorok modellezésével, és szabályozótervezési eljárásokkal foglalkoztam. A dinamika nemlinearitása ugyanis nem teszi lehetővé, hogy az LTI rendszereknél megszokott egyszerű PID kontrollert alkalmazzunk. A probléma megoldására a szakirodalomban több javaslat is fellelhető, a dolgozat ezek közül két technikát ismertet. Ezek a gain scheduling, illetve az LPV szabályozás.



1. ábra. Az alkalmazott koordinátarendszer



2. ábra. A kvadrotorra ható erők és nyomatékok

Alkalmazott módszerek $\mathbf{2}.$

A hat szabadságfokú dinamikai modell tizenkét nemlineáris, elsőrendű differenciálegyenlettel írható le. Simulink környezetben S-Function blokk használatával szimulálható a rendszer. Ez analitikusan négy részdinamikára bontható (Emelés, Billentés, Bólintás, Legyezés), a szabályozó ezekre tervezendő. Két állapotváltozót kell megválasztani (ϕ és θ szögek) a nemlineáris hatások kezelésére.

eredményként 16 egyenlet képezhető, a kontrollerparaméterek és részdinamikák mindegyikére.

Ezzel ellentétben, a szétcsatolt LPV módszer a nemlinearitásból származó problémákat egy olyan szűrő segítségével oldja meg, ami a rendszert szétbontja négy darab kettős integrátorra. A szétcsatoló szűrő együtthatói a korábban választott állapotváltozóktól függnek. A technika fő előnye a szétcsatolás utáni szabályozótervezés egyszerűsége, illetve a gyors számítási idő.

3. Eredmények

Mindkét megközelítés Simulink implementációjának elkészítése után, három trajektóriára vizsgálható négy állapotváltozó (p_z, ϕ, θ, ψ) válasza. Megfigyelhető az átcsatolás az állapotok között, illetve a gain scheduled (piros) és LPV (sárga) szabályozók közötti különbségek.



3. ábra. θ szög válasza bólintásra



4. ábra. ψ szög válasza bólintásra

4. Összefoglalás

A gain scheduling esetében a rendszerről egy széles munkatartományban, több trim pontban is linearizált modell készül, a PID szabályozó paramétereit pedig polinomiális, a korábban megjelölt változóktól függő felületek írják le. Vég-

Amíg a gain scheduling jobban teljesít z pozíciótartás szempontjából, addig a szétcsatolt LPV szabályozó sokkal jobb választás a szöghelyzetek kitérése alapján. A túllövés gain scheduling esetében többszöröse az LPV szabályozás esetén tapasztalhatónak.



Rétegelt polimer habon való emberi ülés végeselemes analízise

DORNYI TAMÁS DÁVID

Gépészmérnöki BSc, Gépészeti Fejlesztő Specializáció, 2017/2018/I. *Témavezető*: Berezvai Szabolcs, doktorandusz, berezvai@mm.bme.hu

1. Bevezetés

Napjainkban rengeteg különböző kialakítású és funkciójú termékkel találkozunk, mely tartalmaz valamilyen polimer habot, és számuk egyre csak nő. Anyagi viselkedésükben nagyon széles skálát fednek le, mely lehetővé, és népszerűvé teszi alkalmazásukat. Funkcionális tulajdonságaik (pl: kis sűrűség és rugalmassági modulus, nagy deformáció- és energiaelnyelő képesség, elektromos és hőszigetelő képesség) különleges cellás szerkezetükből adódik. A szabályozások, a minőség iránti elvárások és a vásárlói igények változatossága egyre inkább megköveteli, hogy a tervezés során megértsük az anyag szerkezeti tulajdonságai és a termék működési minősége közötti összefüggéseket.



1. ábra. Különleges felhasználású polimer habok

Dolgozatom során bemutatom a polimer habok sajátosságait, alkalmazási területeit, különös tekintettel a matracokra.

2. Alkalmazott módszerek

A habok ismertetőjét követően bemutattam a polimer habok leírására szolgáló, legelterjedtebb hiperelasztikus anyagmodellt, mely elsősorban Ogden és Hill nevéhez köthető. A modell szerint az alakváltozási energia (melyből a feszültség könnyen számítható) az alábbi formulával számítható:

$$\sum_{i=1}^{N} \frac{2\mu_i}{\alpha_i^2} \left(\lambda_1^{\alpha_i} + \lambda_2^{\alpha_i} + \lambda_3^{\alpha_i} - 3 + \frac{1}{\beta_i} \left(J^{-\beta_i \alpha_i} - 1 \right) \right)$$

A hab anyagaként a valós próbatesteknek megfelelő anyagtulajdonságokat használtam, az ülést elmozdulás kényszerként definiáltam, és az egész modellre forgásszimmetriát alkalmaztam, mellyel jelentős számítási kapacitást spórolhattam meg. A matrac kétrétegű, mely manapság egyre kevésbé elterjedt, de a tényezők hatása egyszerűbben nyomon követhető.

3. Eredmények

A szimulációkat ABAQUS szoftverben készítettem. A matrac merevsége két részből tevődik össze: egyrészt, a matrac anyag Kiértékelés során kimutatható, hogy a habanyag merevítésével növekszik a feszültség, mely a felhasználó kényelmét rontja. Ugyanakkor növekszik az alakváltozási energia, mely azt jelenti, hogy nagyobb energiát képes elnyelni a habanyag, mely egyes esetekben szintén fontos mennyiség. Továbbá megállapítható, hogy mindkét jellemző esetében merevítve a matracok anyagát a vastagságok hatása egyre kevésbé jelentkezik. A 2. ábra 19-es alapréteg vastagsághoz tartozó feszültségeket foglal össze. Jól látszi, hogy az érintkezés határán feszültségi szingularitás van.



2. ábra. Y irányú feszültség eloszlása a tengely mentén, a kezdeti merevségek szerint rendezve

4. Összefoglalás

Dolgozatomban a mára nagy felhasználásnak örvendő polimer habok összetett vizsgálatát végeztem, felhasználói kényelem, valamint energiaelnyelés szempontjából. Munkám végső célja nem más, minthogy a levont következtetésekkel elősegítsem a matracok gyártását, fejlesztését, ezáltal a tervezési folyamatok optimalizáltabbá válhassanak. Az általánosan alkalmazott iteratív eljárások helyett, a dolgozatomban bemutatott direkt módon való tervezési módszereket szeretném elősegíteni.

ahol α_i , β_i , μ_i kapcsolt paraméterek a hab anyagjellemzői, λ_1 , λ_2 , λ_3 értékek a főnyúlások, *N* pedig a modell rendjét határozza meg. Ezt követően 3*N* paramétert határoztam meg valós próbatesteken végzett, egytengelyű nyomóvizsgálatok kiértékelése során, optimalizált paraméterillesztés segítségével A mérési eredményeket felhasználva alkottam meg a végeselem modellt: egy ember matracra való ülését vizsgáltam.



Több pótkocsival rendelkező járműszerelvény szabályozása

Erdei Ákos

Mechatronikai mérnöki BSc, Gépészeti Modellezés Specializáció, 2018/2019/I. *Témavezető:* Várszegi Balázs, tanársegéd, varszegi@mm.bme.hu

1. Bevezetés

Utánfutóval felszerelt járművek mozgása sokszor korántsem egyértelmű. Egy, esetleg több pótkocsival történő tolatás még a sok tapasztalattal rendelkező vezetőknek is komoly nehézséget okoz. A dolgozatom célja ezért egy olyan szabályozó megalkotása volt, mely segítségével egy több pótkocsival rendelkező járműszerelvény egyenes vonalban képes haladni adott sebességgel, akár hátramenetben is. A stabilitásvizsgálatot egy, két és három pótkocsi esetén végeztem el, a tolatást helyezve a dolgozatom fokuszába.

2. Alkalmazott módszerek

A mozgásegyenletek felírásához síkbeli nemlineáris egynyomvonalú mechanikai modellt használtam, ahol a vontatást hátsókerék meghajtású jármű végzi. Az elrendezést általánosan az 1. ábra mutatja.



1. ábra. Mechanikai modell több pótkocsi esetén

A szabályozáshoz állapot-visszacsatolást alkalmaztam, ahol a zárt visszacsatolás a δ kormányszögön keresztül történt. E modell használatához linearizáltam $\psi_0 \equiv 0$ egyensúlyi helyzet körül a mozgásegyenleteket, a cél az X tengely menti haladás volt. A stabilitásvizsgálat során a visszacsatolási mátrix P paramétereinek stabil tartományát vizsgáltam. A számítások során felhasznált adatokat általánosan az 1. táblázat tartalmazza.

3. Eredmények

Különböző számú pótkocsi esetekre kirajzoltattam a stabilitási térképeket, olykor rögzített paraméterek segítségével, egy ilyen esetet mutat három pótkocsi esetén a 2. ábra.



2. ábra. Stabilitási térkép tolatás esetén

A stabil tartományból választott értékekkel szimuláltam a stabilizálódási folyamatot az egyes esetekre. A vontató jármű beállását három pótkocsival történő tolatás esetén 3. ábra mutatja.



3. ábra. Vezető jármű beállása a kívánt útvonalra

l_0 [m]	3,2	a_0 [m]	1	
$l_{\rm i}$ [m]	3,8	$a_{\rm i} [{\rm m}]$	1	

1. táblázat. Felhasznált adatok
$$(i = 1, 2, ..., n)$$

4. Összefoglalás

A dolgozatomban kétféle visszacsatolási módszerrel is sikerült, akár három pótkocsival rendelkező járműszerelvény szabályozását megvalósítani. Különböző geometriai kialakítások esetén vizsgáltam a stabil tartomány méretét, így a pótkocsik hossz szerinti elrendezésére is tettem javaslatot.



Szintező szelep karakterisztika vizsgálata

FERENCZI CSONGOR

Gépészmérnöki BSc, Gépészeti Fejlesztő Specializáció, 2018/2019/I. Témavezető: Dr. Magyar Bálint, egyetemi adjunktus, magyar@mm.bme.hu

1. Bevezetés

Vasúti járműveknél a légrugózás célja a vonatkocsik terheléstől függetlenül állandó magasságon tartása, biztosítva ezzel a jármű padlószintjének az állomási peron magasságához igazítását. A szakdolgozatomban különböző típusú vasúti légrugó szelepek átfolyási teljesítményeit vizsgáltam. Ezt egy tartály feltöltésének és leeresztési idejei által határoztam meg méréssel és numerikus modellekkel is. A kapott eredményeket összehasonlítottam egymással és a szelepek dokumentációiban előírt értékekkel.

2. Alkalmazott módszerek

A számítások során a szelepet egy adott keresztmetszetű átömlőnyílásként modelleztem, ezen keresztül történik meg a tartály töltése illetve leeresztése.



1. ábra – A számítás vázlata tartály leeresztésére

A tartályban lévő gáz egy nyitott termodinamikai rendszer, mely állapotváltozásának leírásához a termodinamika első főtételét használtam, hozzáadva a rendszerbe érkező és eltávozó anyag által szállított energiát.

 $\Delta H = \dot{m}_{in} \cdot h_{in} - \dot{m}_{out} \cdot h_{out} + Q + W_t$

A számítások során először elhanyagoltam a tartály és a környezete közötti hőcserét. Később pontosítottam a modellt, mely során jobban figyelembe vettem a mérési elrendezést és a hőcserét. A számításokhoz ideális gázmodellt használtam. A termodinamika első főtétele és az ideális gáztörvény felhasználásával kaptam egy 2 egyenletből álló rendszert, melyben a nyomás, hőmérséklet és a tömeg deriváltjai voltak az ismeretlenek. Az átömlőnyíláson áthaladó tömegáramra az alábbi formát használtam, amely szemlélteti a szelepbe belépő oldali állapotjellemzők szerepét (p_u és T_u a belépő oldali nyomás és hőmérséklet). Az egyenletben A jelöli a keresztmetszetet, C_m és C_q értékek áramlási paraméterek.

3. Eredmények

A számításokat Microsoft Excel programban végeztem el, melyben a szeleptípus és az üzemmód kiválasztásával bármelyik szelepre gyorsan megjeleníthetőek és összehasonlíthatóak az eredmények, így könnyen felhasználhatóak további célkora.

A töltési és leeresztési idők a tartály nyomásszintjéhez vannak kötve, mely 6 bar és 2 bar érték. A pontosított modellel a valóshoz közelebbi eredményeket kaptam. A relatív hibákat vizsgálva változó volt a számolt értékek egyezése a mért adatokkal. Nagy térfogatáramú leeresztésekre nagyon jól visszakaptam a számításokkal a mért eredményeket, töltésre azonban 20% körüli volt a relatív hiba értéke. Az eltérések okai lehetnek például a nem megfelelő kiindulási térfogatáramok használata (amelyeket mérésből kaptam), a hőátadási tényező pontatlansága (a számításokban $\alpha = 20 \frac{W}{m^2 \kappa}$ értéket használtam), vagy a mérési körülmények nem elég pontos figyelembe vétele.





Ezt követően azt vizsgáltam meg, hogyan változnak a töltési és leeresztési idők, ha a szelep tűrt méretei a tűrésmezőkön belül változnak, ezáltal módosítva az áramlási keresztmetszetet. Az eredmények alapján azt láttam, hogy a szelep szűk keresztmetszetei miatt a tűrt méretek szóródása nagyban módosíthatja a kapott görbéket és időket.

$$\dot{m} = A \cdot C_q \cdot C_m \cdot \frac{p_u}{\sqrt{T_u}}$$

A kiindulási tömegáramhoz a mért szelep karakterisztikákból kapott eredményeket tudtam felhasználni.

4. Összefoglalás

Az általam használt modell viszonylag jól leírta a tartályban lezajlódó folyamatot, azonban a töltési és leeresztési idők nagyban függhetnek mind az adott szelep pontos geometriájától, mind a konkrét mérési elrendezéstől, körülményektől is. A jelenlegi numerikus modell pontosítását a C_q áramlási együttható, és hőátadási tényezők pontosabb meghatározásával érthetnénk el.



Reproduction of complex nonlinear mechanical simulations applying diverse FE solvers

GERGELY CSABA FORGÁCS

Mechanical Engineering Modelling MSc, Major in Solid Mechanics, 2017/2018/II. Supervisor: Dr. Ákos Miklós, research associate, miklosa@mm.bme.hu

1. Introduction

The subject of my thesis is the finite element analysis of a railway tread brake unit. I received the topic of my thesis from Knorr-Bremse Rail Systems Hungary Kft. The main aim was to find ways to decrease runtime of OptiStruct solver while the accuracy remains reliable with respect to Ansys.

A short revision of railway brake systems and the operation of the analysed brake unit was presented. The software and hardware environments were introduced briefly with the solution technique.

2. Preliminary models

The frictional contacts make a model strongly non-linear, so preliminary models were examined to gain experience about different elements and contact options. These are a Hertz contact example and a press-fit bushing.

The results of both Ansys and OptiStruct simulations meet theory and each other.



Figure 1: Contact pressure distribution of a Hertz contact

	Theoretical	Ansys	OptiStruct
Contact pressure [MPa]	1.90	1.93	1.92
von Mises stress (inner part) [MPa]	10.50	10.35	10.29
von Mises stress (outer part) [MPa]	7.00	7.01	7.00
Runtime [sec]	-	7	29

3. Results

The runtime was optimized with respect to several modelling parameters. To begin with, the initial time steps and contact stabilization parameters were changed. The simulation with the lowest runtime was developed further in various ways.

In case of using artificial weak springs, the runtime increased, but after further investigation, it might help decreasing the runtime, too. Runtime drop was obtained by setting softer contact stiffness at the press-fit bushings of the model.

The greatest advancement was the result of the convergence criteria modification. Using the default convergence criteria of OptiStruct, the runtime was more than fifteen hours. Using the default convergence criteria of Ansys in an OptiStruct model, the runtime was reduced to six hours with still accurate results.

Ansys solver is still more effective than OptiStruct, because the lowest runtime of it is two and a half hours.

According to Figure 2 the results of Ansys and OptiStruct simulations agree well.



Figure 2: Displacements (left: Ansys, right: OptiStruct)

4. Summary

Comparing the runtime results, one can see that significant progress was made, but further investigations are possible. The modification of convergence criteria reduced runtime efficiently.

Table 1: Press-fit bushing calculation summary

The value of contact stabilization parameters, the artificial weak springs and dampers and other contact properties can vary widely, so further research should be made to obtain a general proposal for using OptiStruct.

The correlation between the convergence criteria and the result accuracy would be particularly interesting.

Budapest University of Technology and Economics Faculty of Mechanical Engineering Department of Applied Mechanics H-1111 Budapest, Műegyetem rkp. 5. www.mm.bme.hu



TERMOPLASZTIKUS POLIMER HAB MECHANIKAI MODELLEZÉSE ÉS SZIMULÁCIÓJA

Gáspár Dávid

Gépészmérnöki MSc Alkalmazott Mechanika Specializáció, 2018/2019/I. *Témavezető:* Berezvai Szabolcs, doktorandusz, berezvai@mm.bme.hu

1. Bevezetés

Napjainkban egyre nagyobb arányban fordulnak elő polimerből készülő alkatrészek, így egyre nő az igény a hőformázási folyamatok pontos modellezésére, az elkészülő termékek gyártás utáni méreteinek pontos ismertére, hogy csökkentsük a tervezési időt és minimális számú prototípust kelljen elkészíteni. Dolgozatomban viszkózus-rugalmas-képlékeny viselkedést is mutató mikrocellás polietilén-tereftalát (MC-PET) polimer hab példáján vizsgáltam az inverz paraméterillesztési eljárás lehetőségeit. A több hőmérsékleten elvégzett egytengelyű húzómérés adatai alapján az ABAQUS kereskedelmi végeselemes szoftverben található úgynevezett "two-layer viscoplastic" modellt illesztettem, amely egyike azon kevés anyagmodellnek, amely megfelelően leírja ezt a komplex anyagi viselkedést.



1. ábra. Egytengelyű mérés idő-feszültség görbéi

2. Alkalmazott módszerek



2. ábra. Illesztett eredmény T=60°C esetben

3. Eredmények

Dolgozatom eredményeképpen elkészült egy ajánlás, hogy hasonló probléma esetén mely módszerrel, milyen súlyozás mellett, körülbelül milyen pontosságú eredményt várhatunk, és mennyi idő alatt. Továbbá az egytengelyű illesztésre kapott eredmények felhasználásával a többtengelyű terhelési esetre elkészített szimulációkból kiderült, hogy további kísérletek és szimulációk szükségesek a pontosság növeléséhez.



3. ábra. Falvastagság változása és az elmozdulás a szimuláció során T=60°C mellett, többtengelyű terhelés esetén

4. Összefoglalás

Annak ellenére, hogy az egytengelyű esetben szinte tökéletes illesztést sikerült elérni szinte minden hőmérsékleten, azonban többtengelyű esetben csak jellegre helyes eredményeket sikerült elérni, melyek a komplex anyagi viselkedésből származó hatásokat jól visszaadják, azonban számszerűen pontatlanok, emiatt további kísérletek és szimulációk lennének szükségesek.

A dolgozatban három különböző elven működő matematikai módszer segítségével végeztem el az illesztést, melyek a "downhill-simplex", "Hooke-Jeeves" illetve az "Adaptive Scale Annealing". Az illesztésből kapott eredményeket statisztikai mérőszámok segítségével hasonlítottam össze.



Szabadvezetékek lengése szél hatására

HAUCK BENCE

Gépészmérnöki BSc, Gépészeti Fejlesztő Specializáció, 2018/2019/I. *Témavezető:* Dr. Miklós Ákos, tudományos munkatárs, miklosa@mm.bme.hu

1. Bevezetés

A villamos energiaszállításban használt szabadvezetékek tervezésénél a statikus szilárdsági és az elektromos hatások mellett a szél tranziens hatását is érdemes figyelembe venni, ugyanis biztosra vehető, hogy a telepített vezetékszakaszon nincs állandó szélcsend. A szélnek két alapvető hatása figyelhető meg: az áramlásba helyezett testre ható ellenállás erő, illetve a vezeték keresztmetszete mögötti periodikus örvényleválás, az úgynevezett Kármán-féle örvénysor, amit az 1. ábra szemléltet. Emiatt hol a vezeték alatt, hol felette lesz nagyobb a nyomás. A kábel önsúlyából fakadóan belóg, így a mozgása leírható a felfüggesztés körüli inga szerű mozgással és a hossztengely menti nagyfrekvenciás hajlító rezgéssel.



1. ábra. Kármán-féle örvénysor

2. Alkalmazott módszerek

A gerjesztést számszerűsíteni kell, ami a szélsebesség nagyságától függ. Az f frekvenciát az Str Strouhal-szám, az Fellenállás erőt a c ellenállás tényező által adhatjuk meg:

$$f = Str\frac{v_{\infty}}{d} \tag{1}$$

$$F = c\rho \frac{v_{\infty}^2}{2}ad, \qquad (2)$$

ahol ρ a levegő sűrűsége, aa vezetékszakasz hossza ésda jellemző geometriai méret. Két modellezési módszert alkal-



2. ábra. Koncentrált paraméterű modell lengésfojtóval

3. Eredmények

Alacsony 2-8 m/s nagyságú szélsebesség esetén a kábel kilengése nagyon kicsi, ekkor a függőleges, örvényleválásból származó rezgés a domináns. Nagy szélsebességeken pedig nem alakul ki a Kármán-féle örvénysor, így akkor az inga jellegű kitérés dominál. A két modellezési módszerrel számított első sajtfrekvenciák jó egyezést mutatnak:

modell	f_1, Hz
koncentrált paraméterű	0.7143
VEM	0.8010

1. táblázat. Első sajátfrekvenciák

Továbbá a Stockbridge lengésfojtó vizsgálatánál azt tapasztaltuk, hogy a rendszer sajátfrekvenciáit elhangolja a lengésfojtó szerkezet.

4. Összefoglalás

A VEM és a koncentrált paraméterű modellből kapott eredmények a vezeték elmozdulására elég jelentős eltéréseket mutattak. Ennek oka, hogy a koncentrált paraméterek helyes megadása nehézkes. Viszont a VEM modell segítségével ezt optimalizálni tudjuk. Ezután ha a vezetékszakasz környezetében a leggyakoribb szélsebesség nagysága rezonanciát okoz, akkor lengésfojtó szerkezetekkel elhangolható a rendszer. A következő feladat a lengések leírása után az általuk okozott kifáradás vizsgálata.

maztunk, az egyik egy koncentrált paraméterű több szabadsági fokú mechanikai modell, a másik egy több szakaszból álló rész végeselem modellje. A koncentrált paraméterű modellnél vizsgáltuk a Stockbridge lengésfojtó hatását is, ahogy azt a 2. ábrán látjuk. A koncentrált paraméterű modell mozgástörvényét numerikusan, a negyedrangú Runge-Kutta módszerrel állítjuk elő.



Egyenes fogazású fogaskerék fogainak feszültséganalízise végeselemes módszerrel

HORVÁTH BENCE

Gépészmérnöki MSc, Alkalmazott mechanika Specializáció, 2018/2019/I. Témavezető: Dr. Kovács Ádám, egyetemi docens, adamo@mm.bme.hu

1. Bevezetés

A fogaskerekek nagyfokú jelenléte miatt kiemelten fontos statikus és dinamikus viselkedésük ismerete, hiszen a tervezés szempontjából kulcsfontosságú a halk járás, a rezgésmentesség biztosítása és a várható éllettartam becslése. A minden körbefordulásnál fellépő tranziens terhelés idővel meghaladja az anyag teherbírását, és a fárasztó igénybevétel eredményeként fogtörés következik be.

2. Alkalmazott módszerek

A vizsgálat első lépéseként az *1. ábrán* is látott befogott, egyszerű prizmatikus tartóként közelítettem a fogat.



1. ábra. A befogott tartó modell

Később lépcsős tartóval finomítottam a modellt, és frekvenciavizsgálatokat végeztem Rayleigh-hányados, Euler-Bernoulli egyenlet és frekvenciaegyenlet módszerekkel.

A sajátfrekvenciákat ANSYS 18.2 programmal is vizsgáltam a tartó modell, továbbá az Inventorban létrehozott fog és a 2. *ábrán* látható szegmens geometriák esetében is.



3. Eredmények

Statikus vizsgálatnál a középső fogat terheltem a jobb oldal tetején, és figyeltem az ellenkező oldali fogtőben az ébredő feszültségeket. A kialakult feszültségeloszlás a *3. ábrán* látható.



3. ábra. Y irányú feszültségek tranziens terhelésnél

"Mode superposition" módszerrel csak az első néhány módus hatását vettem figyelembe, ezáltal a függvények tisztábbá, kevésbé tüskéssé váltak, mint a teljes tranziens analízisnél.





2. ábra. Fogaskerék szegmens ANSYS programban

A feszültségek meghatározására először statikus szimulációt végeztem, majd tranziens futtatásokat is teljes és "mode superposition technikával. Az eredményekből a vízfolyam módszert felhasználva a halmozódó károsodás elméletével határoztam meg a fogaskerék tönkremeneteli idejét.

1200	 TIME	11100	

4. ábra. Csillapítatlan és csillapított tranziens feszültség a fogtőben

A *4. ábrán* mutatott függvény jobban közelíti a valóságot csillapítások alkalmazásával, így az (1) képletben bemutatott Rayleigh-elméletnek megfelelően módosításokat eszközöltem.

$$[C] = \alpha[M] + \beta[K] \tag{1}$$

A végső számításokból kiderült, hogy a vizsgált konstrukciónál nem számíthatunk tönkremenetelére.



Rugalmas rostok rugalmas rétegekhez való tapadásának numerikus szimulációja

LUKÁCS-BORBÉLY PÉTER

Mechatronikai mérnöki BSc, Gépészeti Modellezés Specializáció, 2018/2019/I. *Témavezető*: Dr. Kossa Attila, egyetemi docens, kossa@mm.bme.hu

1. Bevezetés

Az adhéziós tapadás mechanikáját széles körűen alkalmazzák az ipar világában és a természetben is rengeteg helyen fellelhető. Sok állat végtagjain nagyon apró szőrök találhatók, amik segítségével minden felületen jól tudnak tapadni. Az állatvilágban a tapadás "mesterei" a gekkók. Az ő találhatók leghatékonyabban működő talpukon a tapadószervek. Ahhoz, hogy a gekkók tapadási technikája által inspirált eszközök legyárthatóak legyenek és minimalizálni tudjuk a tönkremeneteli esélyüket, kutatásokra van szükség, amelyekben annak járunk utána, hogy milyen kialakítású rostok alkalmazása esetén lépnek fel a legkisebb feszültségek a rost és réteg között az elválás pillanatában.

2. Alkalmazott módszerek

A feszültségeket numerikus szimuláció útján kaptam meg, ehhez az ABAQUS nevű végeselemes szoftvert használtam. A Python szkriptekkel vezérelt megoldás során először a rost és a réteg modelljét hoztam létre, melynek koncepciója az *1. ábrán* látható.



1. ábra. A modell vázlata

A feszültségek alakulásának vizsgálatánál a rugalmas réteg magassága (h), a rost sugara (a) és rugalmassági moduluszok (E₁, E₂) befolyását tanulmányoztam.

Python szkriptek segítségével megírtam minden szükséges



2. ábra. Az elkészült modell

3. Eredmények

Az elkészült modellen ezután lefuttattam a szimulációkat, majd a kapott eredményekből a MATLAB nevű program segítségével grafikonokat készítettem az eredmények szemléltetésére. Egy ilyen grafikon látható a *3. ábrán*. Összesen 33 különböző h/a és 21 különböző E_2/E_1 esetet vizsgáltam, és minden lehetséges kombináció esetében kiszámíttattam a feszültségeket a rost sugara mentén.





részletet, melyek lefuttatása után összeállt az elkészült modell. Ilyen részletek voltak a geometria kialakítása, a rugalmassági moduluszok hozzárendelése az egyes részekhez, a peremfeltételek megadása és végül a modell hálózása. Az elkészült, hálózott modell ABAQUS-ban a *2. ábrán* látható.

4. Összefoglalás

A kapott eredmények széles körű információt szolgáltatnak azt illetően, hogy különböző rétegvastagságok és rugalmassági moduluszok esetében mekkora feszültségek ébrednek a rost sugarának egyes pontjaiban, így könnyen megtalálhatók a legkisebb feszültségekkel járó esetek és jó kiindulási alapot szolgáltatnak egy későbbi tervezési feladathoz.



Teniszütő és teniszlabda ütközésének végeselemes analízise

MIKE DÁNIEL JÁNOS

Gépészmérnöki BSc, Gépészeti Fejlesztő Specializáció, 2018/2019/I. *Témavezető*: Berezvai Szabolcs, doktorandusz, berezvai@mm.bme.hu

1. Bevezetés

A tenisz a világon az egyik legelterjedtebb sport, világszerte közel 60 millióan űzik. A szakdolgozatom során a teniszezés egy kritikus pontját, az ütközést vizsgáltam. Ehhez készítettem egy végeselemes modellt, amely segítségével mechanikaliag vizsgálhattam az ütközéseket, eltérő paraméterek változtatása mellett. A strukturális ütközési tényezők meghatározása is feladatom volt.



1. ábra. Tenisz ütő és labda

2. Alkalmazott módszerek

- A modell pontosításához végeztem méréseket egy ütőn, eltérő labdákon (nyomásmentes, túlnyomásos) valamint húrokon is
- A vizsgálatok a következőkből álltak: a húrokon szakító, a labdákon kompressziós, majd a labdák esetében egy 2D-s VEM modellt alkottam ennek szimulálására (lásd 2. ábra)
- A Mooney-Rivlin-féle hiperelasztikus anyagi modellt használva paraméterillesztést végeztem
- Az ütközési szimulációk (lásd 3. ábra) során a fókuszban: az irány szerint eltérő előfeszítés, valamint a gázzal ellátott labda állt



- A vizsgált paraméterek a húr előfeszítéseinek aránya, annak nagysága, a labdák kezdeti sebességeinek, valamint a labdák belső nyomásainak változtatása volt, melyhez a fluid cavity modellt használtam, belső nyomással (anyagi paraméterek a mérésekből jöttek)
- Ezek összehasonlítására a nyomásarányok, térfogatarányok, sebességek és húr elmozdulások idő szerinti diagramjait használtam

3. Eredmények

A szimulációk alapján megállapíthatjuk, hogy a valóságnak megfelelően a nyomásmentes labdák több mozgási energiát veszítenek az ütközés során, így kisebb az ütközés utáni sebességük. Az strukturális ütközési tényezői a túlnyomásos labdának azonos kezdeti sebességek mellett tehát jóval nagyobb (lásd 4.a ábra). Az ütközés során megfigyelhető az ugrásszerű nyomásnövekedés is (lásd 4.b ábra).







a, Ütközési tényezők a kezdeti sebességek arányában b, Nyomások az idő függvényében

2. ábra. Kompressziós vizsgálat szimulációja és mérése

4. Összefoglalás

Összességében a futtatások alapján meghatározhatunk néhány tényt, ami nem csak a tovább mérnöki munkát segítheti, hanem a sportolóknak is segítséget nyújthat. Például a szimulációk eredményeként megállapíthatunk egy előfeszítési arányt, amelynél a legnagyobb a kimenő sebessége a labdának.



Pótkocsivezérlő szelep vezérelhetőségének ellenőrzése elektronikus rögzítőfék egységben

NAGY KRISZTINA

Gépészmérnöki BSc, Gépészeti Fejlesztő Specializáció, 2018/2019/I. *Konzulensek*: Udvardy Olivér és Széll Péter, Knorr-Bremse Fékrendszerek Kft. *Témavezető*: Dr. Magyar Bálint, adjunktus, Műszaki Mechanikai Tanszék

1. Bevezetés

Haszongépjárművek használata elengedhetetlen a mai világban. Ahhoz, hogy ezek a járművek biztonsággal közlekedjenek feltétlenül szükséges, hogy a fékrendszerük hiba nélkül működjön, illetve hiba esetén legyen egy alternatív, biztonsági fékük, ami aktiválódni tud. A cél megállapítani, hogy az EPB-ben lévő két szolenoid, amelynek működése a közlekedés és jármű stabilitás szempontjából fontos, működik-e.



1. ábra: Az EPB szolenoidjainak bemutatása

2. Alkalmazott módszerek

A mérések során három fajta mérést végeztem el, ahhoz, hogy ellenőrizni tudjuk a szelepaktivitásokat és, hogy detektálni tudjuk a nyomás változásokat. A három különböző mérésből csak egy bizonyult megbízhatónak , evvel a méréssel mértem három tápnyomáson és öt szolenoid aktivitási idővel eltérő tréler cső térfogatoknál.

A legjobb összehasonlításnak az bizonyult, hogy a mérés során keletkezett görbék alatti abszolút területet számolom, így össze tudtam hasonlítani az aktív és a nem aktív területek nagyságát. Számunkra az lenne a jó, ha meg tudnánk határozni egy szolenoid aktivitási időt, ahol az aktív rész területéről biztonsággal meg lehetne állapítani, hogy jóval nagyobb, mint a nem aktívé. Mert ekkor látszódna, hogy a szolenoid aktivitással jelenetős nyomásváltozás figyelhető meg, tehát működik a szolenoid, így a biztonsági-fékrendszer is.

A trélercső két szélső értékét vizsgálom, vagyis a legnagyobb térfogatút és a legkisebb térfogatút. A legnagyobb és legkisebb térfogatú tápcsövekhez tartozó 8 bar-os méréseket szimulációval is leellenőriztem.

Knorr-Bremse Fékrendszerek Kft. 1119 Budapest, Major u. 69., www.knorr-bremse.com Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Gépészmérnöki Kar, Műszaki Mechanikai Tanszék 1111 Budapest, Műegyetem rkp. 5., www.mm.bme.hu

3. Eredmények



2. ábra: Területek összehasonlítása 8 bar-on (bal oldalon: Vmax, jobb oldalon: Vmin)



3. ábra: Területek összehasonlítása 6 bar-on (bal oldalon: Vmax, jobb oldalon: Vmin)

Az 500 ms-os pulzushosszt választottam ki, tehát a szolenoid 500 ms-ig aktív, itt már biztonsággal meg lehet figyelni legmagasabb és a legalacsonyabb tápnyomás esetén és a legnagyobb és a legkisebb trélercső térfogatnál is, hogy az aktív rész abszolút területe jóval nagyobb, mint a nem aktív rész abszolút területe és sok levegőt sem használunk el még ebben az esetben.

4. Összefoglalás

A mérés során több paramétert is változtattam, mint a trélercső hosszát és átmérőjét, a tápnyomás értékét és a szolenoid aktivitási idők hosszát. Kerestem azokat a paramétereket és tartományokat, melyeknél az EPB nyomásmérőszenzorán detektálható a nyomásváltozás.

Legideálisabb esetnek az 500 ms-os szolenoid nyitvatartási idő bizonyult a vizsgált esetek közül.

A szimulációval kapott EPB-ben lévő nyomásváltozás közel megegyezik a mérésével.



Model predictive control of a balance board

CSALA HUNOR

Mechanical Engineering BSc, Development in Mechanical Engineering, 2018/2019/I. Supervisor: Dr. Bencsik László, research associate, bencsik@mm.bme.hu

1 Introduction

In the present thesis a model predictive control (MPC) of balancing on a balance board was investigated in the sagittal plane. Human balancing on a balance board is a coordinated process of the visual, vestibular and muscular systems. Two cases were investigated, balancing around an equilibrium point (Fig.1 left) and balancing around a non-equilibrium point (Fig.1 right). In both cases the goal was to maintain a vertical position of the rod.



Figure 1: Mechanical model of balancing on a balance board

2 Applied methods

The equations of motion are derived for the rod and board using Lagrange's equation of second kind and written in first order form. The control input is a torque acting at the joint A. First a simple partial-derivative (PD) controller is applied to study the non-linear system's behaviour. Then the model predictive control is formulated on the linearized model and a quadratic cost function is proposed. First the linear quadratic regulator (LQR) is examined for the continuous-time model. Then the system is discretized using the zero-order hold method and an unconstrained model predictive control is formulated. This model is expanded with constraints on the input and output as well. In the second part the mechanical model of the balance board is expanded with a point mass hung out in the lateral direction (Fig. 1) right). The aim of this setting is to investigate the action of balancing around a non-equilibrium point. The model predictive control is reformed with respect to the change in control input. In the final part a sensitivity analysis is carried out, different state penalty matrix values and prediction horizon values are examined. Results can be seen on Fig.3.

3 Results

Numerical simulations were carried out using *MATLAB*, for the equilibrium case a PD controller, LQR, unconstrained MPC and input-output constrained MPC, while for the nonequilibrium case unconstrained MPC and input-constrained MPC were tested. The results of the latter two are presented in Figure 2, where the angular positions of the board and the rod can be seen on the left, and the control torque on the right.



Figure 2: Constrained and unconstrained MPC results



Figure 3: Parameter sensitivity analysis results

Summary

4

The application of MPC to balance a board problem was investigated on two different models. Possible future work includes softening the constraints, the use of time-dependent weighting matrices and the introduction of time-delay in the model.

Budapest University of Technology and Economics Faculty of Mechanical Engineering Department of Applied Mechanics 1111 Budapest, Műegyetem rkp. 5. - www.mm.bme.hu



Adaptive Traversability Estimator for Off-road Autonomy

DÁVID BAKONYVÁRI

Mechanical Engineering Modelling MSc, Major in Solid Mechanics, 2018/2019/I. Supervisor: Sándor Beregi, engineer, beregi@mm.bme.hu

1. Introduction

The foundation of reliable off-road autonomy is complete scene understanding. This work focuses on two key points towards this goal: terrain classification and traversability estimation on the observed elements, relying on past experience of tyre force measurements and video frames from monocular colour camera vision. These two information sources were fused together harnessing the capabilities of modern machine learning and image processing.

2. Applied methods

The applied solution framework combines predictions from two separate models using images and tyre force, on both labelled and unlabelled data. This allows an improvement of classification accuracy on already known classes by extending the training set with confident samples, also learning new categories through clustering examples of contradicting or uncertain predictions.



Images are classified in a pixel-wise manner, performing semantic segmentation, using a 16-convolutional layer deep VGG16 SegNet on both RBG and HSV colour space, fusing the resulting predictions through nonlinear weighting and using gaussian filtering. The initial training set consisted of the Deep-Scene Freiburg Forest, CityScape and KITTI, distinguishing 5 categories of *road*, grass, tree, obstacle and sky, then transfer learning was performed on the extended dataset. As tyre force data was not available alongside the video, it was approximated through feature matching based visual odometry and an existing lateral type force characteristic of Pacejka's magic formula. A random forest classifier was trained on the resulting data points. The traversed path was tracked, associating multiple images of the same terrain patch to each. The clustering of uncertain or contradicting samples uses K-means and mean shift algorithm on multiple views of the data, such as RGB and HSV colour space, texture features of grid-based SURF descriptors and tyre force data. Samples in cluster intersections are examples of new classes.

3. Results

Processing the unlabelled data, 63.2% of *grass* samples were recognized by the initial model, re-training on the dataset extended with these provided a notable performance increase: 6.3% and 6.7%, reaching 96.1% and 95.5% for RBG and HSV-based image classifiers respectively. Two new categories were learned from the created clusters, showing *dirt* and *tall grass*. Their training set was not large and diverse enough to support acceptable performance resulting in 64.4% and 59.3% for *dirt*, 43.1% and 37.8% for *tall grass*, RGB and HSV-based SegNets respectively. Nevertheless, the results showed the possibility of training a terrain classifier in a fast and cost-efficient way, without the need for manual labelling, directly annotating samples of similar features. Adapting a general model to the local representation of classes provided a performance increase.



1. Extended co-training framework

2. Semantic segmentation of a forest scene.

Budapest University of Technology and Economics Faculty of Mechanical Engineering Department of Applied Mechanics H-1111 Budapest, Műegyetem rkp. 5. www.mm.bme.hu



Finite Element Analysis of Drawing of Superconductor Wires

MÁRTON MARTON

Mechanical Engineering Modelling MSc, Major in Solid Mechanics, 2018/2019/I. Supervisor: Dr. Attila Kossa, associate professor, kossa@mm.bme.hu

1. Introduction

High-power superconducting magnets are created by winding and reacting fine, multifilamentary RRP wires. These are manufactured using the traditional technology of wire drawing using copper, niobium and tin. For homogeneous wires, the effects of manufacturing parameters are generally known [1].

For composite wires, the effects of three manufacturing parameters were investigated using finite element method using published geometry [2].



Figure 1. – Image of processed cross-sectional geometry [2] and the geometry used in the simulation

2. Applied methods

The behaviour of stress and strain response was evaluated after one pass by manipulating three manufacturing parameters: reduction, semi die-angle and friction. The combination of these were studied at the following discrete values:

> R = 5, 10, 15, 20, 25, 30 [%] $\alpha = 4, 8, 10, 12, 16 [°]$ $\mu = 0.1, 0.2, 0.4 [-]$



Altogether 42 simulations were created in *Abaqus*. Elastic plastic material behaviour was assumed for all components. Only the 1/12 of the geometry was modelled utilizing symmetry to cut back on computation time. Because of the complex geometry, full 3D elements were used. The tool assumed to be perfectly rigid.

3. Results

Evaluation and analysis were enhanced using *Python* scripts. The residual fields were captured by von Mises equivalent stress and equivalent plastic strain values. The results were compared by fixing some of the parameters and studying tendencies to get an overall view on relations. To provide the possibility of validation, the resulting axial forces acting on the tool were also extracted.

The effect of applied manufacturing parameters cannot be analysed one-by-one. The influence was interdependent, and the change of residual fields was determined by the configuration of applied technological parameters



Figure 3. – von Mises stress field mapped onto the workpiece

4. Summary

Finite element method was used to simulate single passes. The simulation of the complete process of composite wire drawing is yet to be done.

Based on the investigated technological parameters it was shown, that applying extreme values have positive effect on some aspects while having bad influence on other. For example, applying large reduction would increase productivity, while increasing uneven deformation in the cross-section and rising the risk of manufacturing defects like surface cracks and bursts.

Figure 2. – von Mises stress field mapped onto the workpiece

[1] B. Avitzur, Handbook of Metal-forming Processes, New York: John Wiley & Sons, 1983.

[2] E. Barzi, "Studies of Nb3Sn Strands based on the Restacked-Rod Process for High-field Accelerator Magnets," Vols. 11-454-TD, 2011.

Budapest University of Technology and Economics Faculty of Mechanical Engineering Department of Applied Mechanics H-1111 Budapest, Műegyetem rkp. 5. www.mm.bme.hu



Different methods for the analysis of human balancing

DALMA NAGY

Mechanical Engineering Modelling MSc, Major in Solid Mechanics, 2018/2019/I. Supervisor: László Bencsik, research associate, Tamás Insperger, full professor and head of department, bencsik@mm.bme.hu, insperger@mm.bme.hu

1 Introduction

The neurological mechanism during human balancing tasks is often modelled as a computer controlled feedback process. Using the sensory organs humans are able to detect changes in the position of the balanced object. These information are then transmitted to the brain, which orders the muscles to act all in a synchronized process that maintains balance. However, while in the case of a computer controlled system the controller is designed by engineers, the complex control mechanism of the human brain during balancing is yet unknown. In this project, the control mechanism of the human brain during stick balancing was analysed through simulation and experiments.

2 Applied methods

Stick balancing was modelled in the anterior-posterior plane as a two-degree-of-freedom mechanical model, shown in Fig. 1. It is assumed, that humans can detect the position, velocity and the acceleration of the stick. Thus, a PDA type controller (position, velocity and acceleration feedback) was used for modelling the control force. The controller operates with a delay due to the properties of the neural system. The effect of sensory threshold was also taken into account during the modelling process, thus, a switching-type controller is applied. Measurements were carried out to obtain estimates for sensory thresholds, which consisted of two separate experiments for the determination of position and velocity threshold. The role of the visual sensory system was also analysed in this study by taking measurements with different coloured sticks. The aim of the experiments was to determine a colour, for which the effect of visual feedback does not overpower the effect of other sensory inputs.



out on the developed mechanical model and the cepstrum of the solution was analysed. Measurements were carried out, the aim of these was to trigger the subjects to apply different acceleration feedback gain values by balancing sticks of different weights. Cepstral analysis of the measured data was carried out and compared to the results of the simulation.

3 Results

The threshold measurements results are summarised in Table 1. The results of measurements with different coloured sticks showed that the visual feedback for **red** paint is not significantly stronger than other sensory feedbacks.

$$\frac{\overline{\Pi}_{\varphi} [^{\circ}]}{2.7} \quad \overline{\Pi}_{\omega} [^{\circ}/\mathrm{s}]}$$

Table 1: The results of threshold measurements.

Cepstral analysis of the simulations showed peaks appearing in the cepstrum at equal intervals, which interval is equal to the time delay of the system. Furthermore, the effect of changing the value of the acceleration feedback gain on the cepstrum was also analysed and it was shown that by increasing the acceleration gain, the peaks of the cepstrum also increase in absolute value. Cepstral analysis of the measured data was carried out and compared to the simulation.



Figure 2: Example for cepstral analysis on measured data.



Figure 1: Mechanical model of stick balancing.

The aim of the project was to analyse whether the applied time delayed PDA controller describes human balance control appropriately. Numerical simulations were carried

4 Summary

The hypothesis for human balance control could not be verified with certainty through cepstral analysis. For some cases, the assumed tendency appeared in the peaks of the cepstra, however for most cases the tendency was totally different. The model and measurements should be improved in the future.

Budapest University of Technology and Economics Faculty of Mechanical Engineering Department of Applied Mechanics H-1111 Budapest, Műegyetem rkp. 5. – www.mm.bme.hu



Emberi egyensúlyozás mozgó járműveken

BALOGH TAMÁS

Mechatronikai mérnöki MSc, Járműmechatronika specializáció, 2018/2019/I. *Témavezető*: Dr. Insperger Tamás, egyetemi tanár, insperger@mm.bme.hu

1. Bevezetés

Egy kétkerekű önegyensúlyozó jármű szabályozásának tervezése során a szakirodalomban jellemezően merev kapcsolatot feltételeznek a jármű platformja és a rajta utazó ember között, illetve elhanyagolják az emberi reakcióidő és a mintavételezés hatását. Az így megtervezett szabályozó használata a jármű platformjának kisfrekvenciás rezgését eredményezheti.

A diplomamunka célja a szakirodalomban meglévő modellek összekapcsolása, illetve pontosítása különös tekintettel az önegyensúlyozó jármű és az ember közötti kapcsolatra, az ember által az egyensúlyozás közben kifejtett passzív és aktív nyomatékra, illetve a reakcióidő és a mintavételezés okozta időkésésre. Ezután az összeállított modellek stabilitásvizsgálatára kerül sor.



1. ábra. A kétkerekű önegyensúlyozó jármű és a rajta utazó ember együttes modellje

2. Alkalmazott módszerek

3. Eredmények

Kirajzoltam az M_a emberi aktív szabályozó nyomaték C_1 , C_2 és C_3 együtthatóinak megfelelő stabilitási térképeket az időkésés nélküli, az emberi reakcióidő által késleltetett, illetve a reakcióidő és a mintavételezési idő által is késleltetett esetekben. Az időkésés nélküli esetben a stabilitási térképeket összehasonlítottam szakirodalomban található mérési eredményekkel.



2. ábra. Az α spektrális abszcissza minimuma C_1 függvényében, ha $\tau = 0$ és $\Delta t = 0$



3. ábra. A rendszer stabilitási téképe a különböző spektrális abszcisszájú tartományok, illetve a szakirodalmi mérési eredmények feltüntetésével, ha $\tau = 0$ és $\Delta t = 0$

A használt modellben az emberi aktív szabályozó nyomaték feltételezett alakja: $M_a = C_1 \dot{\vartheta}(t-\tau) + C_2(\psi(t-\tau) - \varphi(t-\tau)) + C_3(\dot{\psi}(t-\tau) - \dot{\varphi}(t-\tau))$. A motor szabályozó nyomaték alakja: $M_m = P_{\varphi}^m \varphi(t_j - \Delta t) + D_{\varphi}^m \dot{\varphi}(t_j - \Delta t) + D_{\vartheta}^m \dot{\vartheta}(t_j - \Delta t)$. Az ennek megfelelő, általános esetben folytonos és diszkrét időkésést is tartalmazó hibrid rendszer stabilitásvizsgálata elvégezhető a szemidiszkretizációs módszeren alapuló módszerek segítségével.

4. Összefoglalás

A stabilitási térképek és a szakirodalmi mérési eredmények összehasonlítása alapján megállítható, hogy az ember által használt szabályozó együtthatók kissé eltérnek az optimális (leggyorsabb csillapodást eredményező) együtthatóktól. Ugyanakkor ezáltal az emberi szabályozás robusztusabbá válik: a C_1 , C_2 és C_3 együtthatók kis változása kisebb spektrális abszcissza növekedést eredményez, mint az optimális pont esetén.



Önvezető versenyautó pályakövető szabályozása

Erősdi Zakariás

Mechatronikai mérnöki BSc, Gépészeti Modellezés Specializáció, 2018/2019/I. *Témavezető:* Dr. Bencsik László, tudományos munkatárs, zacherosdi@gmail.com

1. Bevezetés

Munkám során az övezető autók irányítási módszereit vizsgáltam. Erre a célra felépítettem az autó modelljét egy bonyolultabb, kereskedelmi szoftver segítségével, a carmakerrel, illetve elkészítettem ennek egy leegyszerűsített változatát is, egy biciklimodellt amely segítségével már szabályozási feladatokat is meg lehet oldani. A két modell működését hasonlítottam össze. Az egyszerű modell fő határa a lineáris gumimodell, viszont még így is 40 km/h-ig megegyezik a két modell.



1. ábra. Modellek összehasonlítása 40 km/h mellett

Ezután átírtam a biciklimodellt hibaváltozókra, amikre alapozva már szabályozó algoritmusokat lehet készíteni. Ezáltal az irányítási feladat az autónak a pálya középvonalához viszonyított orientáció és távolság hibájának minimalizálásárol szól.



2. Alkalmazott módszerek

Többféle irányítási módszert kipróbáltam, Lineáris négyzetes szabályozót (LQR), Modell alapú prediktív szabályozót (MPC) korlátozások nélkül és korlátozásokkal, illetve egy, a 2005-ös DARPA kihíváson használt, "híressé vált" szabályozót, a Stanley-szabályozót.

3. Eredmények

Ezek közül bár a Lineáris négyzetes szabályozó produkálta a legjobb eredményeket, viszont a korlátozásokkal ellátott modell alapú predictív szabályozóban rejlik a legtöbb lehetőség, hiszen ezzel a módszerrel egyszerre több feltétel betartása mellett találjuk meg az optimális beavatkozó jelet, illetve a továbbfejlesztési lehetőségei is kimagaslóak. Jelen szimulációban például olyan kényszer volt megfogalmazva, hogy a kerékelfordulás nem lehet 30°-nál nagyobb, és ezt a feltételt csak ez a szabályozó tudta teljesíteni.



^{3.} ábra. Különböző szabályzozók működése

4. Összefoglalás



2. ábra. Hibaváltozók értelmezése

Ezt az elkészített szabályozót összehasonlítottam a carmaker-es sofőrmodellel is, és 30 km/h-ig megfelelően ki tudta váltani. A különbség a két "sofőr" között a mindössze a referencia trajektória volt, hiszen az általam készített algoritmus végig a pálya közepén akart haladni, a Carmaker-es pilóta viszont egy előre eltervezett "ideális" trajektórián.



Excenter tengely szilárdsági analízise numerikus szimuláció segítségével

Fülöp Sándor

Gépészmérnöki BSc, Gépészeti Fejlesztő Specializáció, 2018/2019/I. *Témavezető*: Berezvai Szabolcs, doktorandusz, berezvai@mm.bme.hu

1. Bevezetés

Napjainkban egyre nagyobb a jelentősége a különböző numerikus módszereket alkalmazó szimulációs szoftverek használatának az ipar és a kutatás-fejlesztés területén. Ezek segítségével biztonságosan és hatékonyan oldhatunk meg összetett problémákat miközben részletesebb képet kapunk a vizsgált szerkezetről. A valós konstrukció digitális másán párhuzamosan több vizsgálatot végezhetünk, miközben pénzt és időt takarítunk meg. Ez különösen érvényes a fárasztóvizsgálatok végeselemes szimulációval történő helyettesítésére.



1. ábra. A törött excenter tengely 843.000 terhelési ciklus után

2. Alkalmazott módszerek

A fékegység és az ebbe található excenter tengely terhelés alatti viselkedésének vizsgálatára végeselem modellt hoztunk létre. A szimuláció eredményeiből képet kaptunk az alkatrészek eddig rejtve maradt pontos deformációjáról.



A program háttérben működő numerikus módszer megismerése után meghatároztuk azokat a beállításokat, amelyek a számítási időt 3x gyorsabbá tették a hasonló esetekhez képest.

3. Eredmények

Különböző paramétereknek az excenter tengely feszültségállapotára gyakorolt hatását vizsgáltuk és a kifáradás szempontjából három veszélyes zónát azonosítottunk.



3. ábra Az excenter tengely feszültségállapota

Az eredmények alapján elvégeztük a veszélyes pontok kifáradásra történő ellenőrzését és ezek alapján kijelenthettük, hogy az excenter tengely megfelel kifáradás szempontjából.

4. Összefoglalás

Összegezve, létrehoztunk egy validált és verifikált végeselem modellt, amelynek eredményei alapján elvégeztük az excenter tengely kifáradásra történő ellenőrzését. Ez azt mutatta,

hogy csupán a kifáradás jelenségével nem magyarázható a tönkremenetel és valamilyen más jelenség közrejátszik a fáradásos mechanizmus felgyorsításában. Érdemes lenne a problémát törésmechanikai szempontból is megközelíteni és megvizsgálni a fretting hatását a mikrorepedések keletkezésének szakaszában. Ez képezi a jövőbeni kutatások célját, továbbá az elkészített végeselem modellt a probléma megoldására tett geometriai javaslatok vizsgálatára fogjuk felhasználni.

2. ábra A fékkarok deformációja terhelés előtt (bal) és terhelés után (jobb)



Több "patch"-ből álló komplex geometria izogeometrikus analízise

RIGÓ TAMÁS SEBESTYÉN

Gépészmérnöki MSc Alkalmazott Mechanika Specializáció, 2018/2019/I. *Témavezető:* Dr. Hénap Gábor, adjunktus, henapg@mm.bme.hu

1. Bevezetés

Diplomatervemben komplex geometriák izogeometrikus analízisével foglalkoztam. Az izogeometrikus analízis (IGA) a végeselemes módszerhez (VEM) nagyon hasonló, modern numerikus módszer. Fő előnye a VEM-mel szemben az, hogy a geometriai leíráshoz használt függvényeket használjuk fel közvetlenül az analízis elvégzéséhez. Emiatt a geometria megalkotásával az analízis elvégzéséhez szükséges háló is azonnal elkészül. Ezáltal az ipari tervezési, illetve optimalizálási feladatok jelentősen felgyorsíthatóak.

2. Alkalmazott módszerek

Komplex geometriákat több "patch" segítségével lehet leírni. Ezeket egymástól független geometriáknak lehet tekinteni, amelyek egy közös él mentén érintkeznek. Az analízis elvégzéséhez gondoskodnunk kell arról, hogy a "patch" határok között a megoldás folytonos maradjon. Ezt többféleképpen meg lehet tenni. Az általam implementált eljárás ennek kezelésére a VUKIMS mozaikszóval ellátott módszer. A módszert Mathematica környezetben implementáltam, majd validáltam azt különböző teszt példákon. Ezután komplexebb geometriákon is bemutattam annak hatékonyságát, majd az eredményeket VEM-mel hasonlítottam össze.

3. Eredmények

Elsőként egy több patch-ből álló egytengelyű húzásnak kitett geometria megoldását vizsgáltam. A szabadsági fokok számát növeltem, amellyel az egzakt megoldástól való relatív eltérés csökkent. Az IGA megoldás jól konvergált az egzakt megoldáshoz. Ennek eredményét a 1. ábrán láthatjuk.



Az algoritmus validálása után egy komplex geometrián végeztem analízist. Ezen a geometrián elvégeztem egy izogeometrikus analízist, és egy végeselemes analízist ANSYS szoftver segítségével. A két analízis közel azonos szabadsági fokú volt. Az eredményeket egy jóval sűrűbb VEM eredménnyel vetettem össze. Az eredményeket a 2. ábrán láthatjuk. Az ábrán az egyenértékű feszültség referencia megoldástól való relatív eltérését láthatjuk. Az ábrán látszik, hogy az IGA sokkal jobban teljesített mint a VEM.



2. ábra. Az analízis eredménye. Balra az IGA megoldás és a referencia megoldás egyenértékű feszültsége közti relatív eltérés, jobbra pedig a VEM és a referencia közti relatív eltérés látható.

4. Összefoglalás

A diplomatervemben lineárisan rugalmas sík feladatok megoldására képes izogeometrikus analízist implementáltam Mathematica környezetben. Az algoritmus tetszőlegesen bonyolult, sok "patch"-ből álló geometria analízisét is el tudja végezni. Több példán keresztül is bemutattam, hogy az IGA megoldás pontosabb, mint a VEM. Emellett az analízis elvégzése is gyorsabbá válik, ugyanis a geometria elkészítése után azt hálózni nem kell, mert a geometria magában hordozza a hálót. Ezáltal gyorsabb termékfejlesztés, illetve termék optimalizáció válik lehetővé. A módszer kiterjeszthető térbeli feladatok megoldására is.

1. ábra. Konvergencia vizsgálat. A feszültség relatív hibája a szabadsági fokok növelésével csökken.



PÓTKOCSIS JÁRMŰSZERELVÉNY SZABÁLYOZÁSA VÉSZFÉKEZÉS KÖZBEN

RÓNAI LÁSZLÓ

Gépészmérnöki MSc, Alkalmazott Mechanika Specializáció, 2018/2019/I. *Témavezető*: Várszegi Balázs, tudományos segédmunkatárs, varszegi@mm.bme.hu

1. Bevezetés

Napjainkban a közutakon nagyszámú jármű közlekedik, és ezeknek egy nem elhanyagolható részét pótkocsis szerelvények teszik ki. A járművek dinamikájának tanulmányozásával a közúti biztonság fokozható, mivel egy baleset elkerülésére, ill. megakadályozására nagyobb esély van akkor, ha a jármű nem veszti el az irányíthatóságát, stabilitását.

A járművek dinamikájának meghatározása lehetővé teszi még testreszabott beavatkozó-, ill. autonóm irányítórendszerek létrehozását, továbbá a járművek emberi irányításának vizsgálatát.

A cél egy pótkocsi nélküli vontató, és egy pótkocsis járműszerelvény modelljének létrehozása, illetve ez alapján annak dinamikai vizsgálata, különös tekintettel a kormányzás szabályozására és a vészfékezésre, valamint ezek stabilitására.

2. Alkalmazott módszerek

A vontatót és a vontató-pótkocsi szerelvényt is síkbeli, merev, egynyomú modellel írjuk le, és ezeket koncentrált paraméterekkel jellemezzük. A geometriai méretek valós nyergesvontató és pótkocsi adatai alapján lettek meghatározva. A kerekek talajjal való kölcsönhatását kerékmodellekkel adjuk meg, ehhez szükség van a függőleges irányú kerékterhelésekre is, melyek a hosszirányú gyorsulás függvényei.



1. ábra. Pótkocsis szerelvény modellje

A járműszerelvény irányítását annak sofőrje végzi

3. Eredmények

A stabilitás vizsgálatához több különböző időkésésre, sebességre, gyorsulásra, és paraméterkombinációra készítettünk stabilitási térképeket. A stabilitási határokat D – szeparációval, ill. szemi – diszkretizációval határoztuk meg. Numerikus szimulációkat is végeztünk, melyek megerősítették a stabilitásvizsgálat eredményeit.



2. *ábra*. Pótkocsis szerelvény laterális szabályozásának stabilitási térképe (stabil ha s < 0)

A vizsgálatok alapján a jármű stabilitása jelentősen romlik az időkésés, a sebesség, és a lassulás nagyságának növelésével, ill. lassításkor a stabilitásra nézve kedvezőbb, ha a pótkocsi is fékezve van, nem csak a vontató. A szerelvény csak akkor lehet stabilis, ha a pótkocsi súlypontja annak tengelye és a nyereg között van. Nagy sebességnél túlkormányzás hatására dinamikus stabilitásvesztés következhet be.



3. ábra. Pótkocsis szerelvény numerikus szimulációjának eredménye különböző lassulásokra

4. Összefoglalás

kormányzás, és fékezés, ill. gázadás segítségével, ezt egy lineáris időkéséses szabályozással modellezzük. Esetünkben a cél az egyenes irányban való haladás elérése.

A stabilitásvizsgálathoz szükséges mozgásegyenleteket a Gibbs – Appell – egyenletekkel vezettük le, ezzel a mozgásegyenleteket elsőrendű nemlineáris időkéséses differenciálegyenlet – rendszer formában kaptuk meg. A pótkocsis szerelvények stabilitására jelentős hatással vannak a szabályozás paraméterei, az időkésés nagysága, a sebesség, a lassulás mértéke, a fékerőeloszlás, és a pótkocsi-, ill. a rakomány paraméterei is. Az eredményekből fontos ökölszabályokat fogalmazhatunk meg, mint pl. a pótkocsi súlypontja legyen mindig a nyereg és a tengelye között, nagy lassulás esetén ne csak a vontató legyen fékezve, ill. nagy sebességnél finoman kormányozzunk.



Chatter avoidance in machining thin-walled structures

ANDRÁS SZABÓ

Mechanical Engineering Modelling MSc, Major in Solid Mechanics, 2018/2019/I. Supervisor: Dr. Giuseppe Habib, researcher, habib@mm.bme.hu

1. Introduction

In this thesis the chatter occurring during the milling of thin-walled structures is investigated. A theoretical model is created, and its stability is investigated for the original system, with a mechanical and with a piezoelectric absorber. The working principle of the absorbers, the modal damping, is presented, and the improvement in the stability is compared. The absorbers are realized and tested.



1. Figure The milling of a thin walled structure and its model

2. Applied methods

The workpiece is modelled as 1 DoF system, while the absorbers add another DoF as displacement or electrical charge to it. High-speed, low-immersion operation is assumed for the milling, which allows the use of a simplified discrete mathematical model. The tool is assumed rigid compared to the thin walled structure. The method to identify the stability diagrams in each case is the following:

- •The governing equations are defined
- •The free-flight motion is analytically solved
- •Milling is considered as an impact, which is modifying discontinuously the linear solution
- •A discrete map describing the system dynamics is obtained
- •The map is linearized around the fix point

3. Results

The stability diagrams of the system with the different absorbers were determined. Theoretical results suggest an increase in stability for both, with a more significant effect in case of the mechanical absorber.



2. Figure The stability diagram of the original system



3. Figure Stability diagram with an ideal mechanical absorber



4. Figure Stability diagram with the piezoelectric absorber

The measurements showed that the mechanical absorber is working properly, however the piezoelectric absorber acted only as a transducer, but did not have an effect on the vibration.

•Stability analysis using the Routh-Hurwitz criteria A workpiece was designed, and its frequency response was measured for the different absorbers. A modal hammer test was conducted, and the response of the piezo was investigated using an oscilloscope and accelerometers.

4. Summary

The results of the theoretical model indicates that the piezoelectric absorber could be used in the milling of thin walled structures, but the realized version only acted as a transducer, and did not reduce the vibration of the workpiece. Further investigation may reveal the reason behind this unexpected behaviour.

Budapest University of Technology and Economics Faculty of Mechanical Engineering Department of Applied Mechanics H-1111 Budapest, Műegyetem rkp. 5. www.mm.bme.hu



Autonóm járművek követési tulajdonságainak vizsgálata

SZALAI KRISTÓF

Gépészmérnöki BSc, Gépészeti Fejlesztő Specializáció, 2018/2019/I. *Témavezető*: Hajdu Dávid, tanszéki mérnök, hajdu@mm.bme.hu

1. Bevezetés

A szakdolgozat témája jármű-jármű (V2V) kommunikációjú autonóm járművek követési tulajdonságait, azok stabilitását vizsgálja. Véleményem szerint ezen járművek hasznosak, mivel megoldásul szolgálhatnak az ún. fantom dugók elkerülésére és balesetek csökkentésére, ezért meglétük egyre inkább szükséges.

A kétautós modell felépítéséhez szükségünk van a rendszer τ időkésésére, és egy előírt κ sebességfüggvény meredekségre, ahol a sebesség a követési távolságtól függ és lineáris (V(h)). Ezen rendszerparaméterek meghatározása után a két autós modellünk az (1. ábra) alapján felállítható.



1. ábra Kétautós modell felépítése.

Az ábra alapján a megoldáshoz szükséges alábbi egyenletek felírhatók:

$$\dot{h}_{1}(t) = v_{0}(t) - v_{1}(t)$$
$$\dot{v}_{1}(t) = \alpha \left(V \big(h_{1}(t-\tau) \big) - v_{1}(t-\tau) \big) + \beta \big(v_{0}(t-\tau) - v_{1}(t-\tau) \big) \right)$$

ahol α, β a rendszer szabályozóparaméterei. Továbbá a rendszer frekvenciaátviteli függvénye is előállítható:

$$T_{10}(i\omega) = \frac{\tilde{V}_1(i\omega)}{\tilde{V}_0(i\omega)} = \frac{(\alpha\kappa + \beta \cdot i\omega) \cdot e^{-i\omega\tau}}{(i\omega)^2 + ((\alpha + \beta) \cdot i\omega + \alpha\kappa) \cdot e^{-i\omega\tau}}$$

Ezen ismeretek alapján a kétautós modell rendszerének szimulációját meghatároztam.

2. Alkalmazott módszerek

A rendszer stabilitási diagramját D-görbe módszerrel határoztam meg, amely két féle stabilitással rendelkezik: plant stabilitással, ha a követett jármű v^* egyensúlyi sebességgel halad, és a követő jármű ezen sebességhez konvergál, és string stabilitással, ha csoport tagjainak sebességingadozása csökken a tagok számának növekedésének következtében (2. ábra). hogy hozzájuk rendeltem (α , β) szabályozóparaméter sík 100 × 100-as felbontását. Ezután a szimulációmat kiértékelve, összehasonlítottam a szimulációból- és mérésből kapott eredményeket (2. ábra)-(3. ábra).

3. Eredmények és összefoglalás



2. ábra $\tau = 1$ s, $\kappa = 0.4$ rendszerparaméterekhez tartozó iteráció eredménye. A legvilágosabb terület a legkisebb hiba értékét, míg a legsötétebb terület a legnagyobb hiba értékét tartalmazza. A piros görbe a plant-, a kék görbe a string stabilitási határokat szemléltetik.



3. ábra Szimuláció összehasonlítása a mért eredménnyel, ahol piros a követett jármű, zöld a követő jármű sebességének mért értéke, a kék a szimuláció eredménye adott paraméter-szettnél: $\tau = 1 [s], \kappa = 0,8, \alpha = 0.304 \left[\frac{1}{s}\right], \beta = 0,6111 \left[\frac{1}{s}\right].$

Az emberi paraméterek meghatározása nem egyszerű feladat, hiszen egyféle paraméter-szettel nem reprodukálható megfelelően a mérési eredmény a teljes időintervallumra, inkább csak bizonyos tartományokban fog fennállni a hasonlóság(lásd 3. ábra (a)-(b)). Ennek oka, hogy a rendszer τ és κ paraméterei szintén változnak az időben.

4. Hivatkozások

T. Insperger, G. Stépán, Semi-Discretization for Time-Delay Systems, Springer, 1-25, 2011

Fő feladatom célja, hogy a kapott mérési eredmények alapján találjak olyan paraméter-szettet, amellyel reprodukálható a mérési eredmény. Ehhez a rendszerparaméterek általam választott 4-4 értékének különböző variációját vizsgáltam úgy, Linjun Zhang, Gábor Orosz: Designing Network Motifs in Connected Vehicle Systems: Delay Effect And Stability, Proceedings of the ASME 2013 Dynamic Systems and Control Conference, DSCC2013, October 21-23, 2013

Jin I. Ge, Sergei S. Avedisov, Chaozhe R. He, Wubing B. Qin, Mehdi Sadeghpour, Gábor Orosz: Experimental validation of connected automated vehicle design among humandriven vehicles, Transportation Research Part C 91 (2018) 335-352, 2018



Forgó tengelyek dinamikai vizsgálata

SZELINGER KORNÉL FERENC

Gépészmérnöki MSc, Alkalmazott Mechanika Specializáció, 2017/2018/I. *Témavezető*: Dr. Takács Dénes, egyetemi docens, takacs@mm.bme.hu

1. Bevezetés

A diplomamunka tárgya egy adott tengely-tárcsacsapágy rendszer mechanikai modellezése, tervezése. Cél továbbá a mechanikai rendszer megépítése, amely segítségével az egyetemi mechanika oktatásában a sajátkörfrekvenciák fordulatszámfüggése bemutatható, és akár különfajta hallgatói mérésekre is lehetőséget nyújt a szakirányos hallgatóknak.



1. ábra. A tengely-tárcsa-csapágy rendszer

2. Alkalmazott módszerek

- tengely-tárcsa-csapágy rendszer mech.-i modellezése;
- konstrukciós kialakítások figyelembe vétele;
- ideális eset: a tárcsa merevtestként, a tengely pedig tömeg nélküli rugalmas testként viselkedik;
- az excentricitás számba vételével a mechanikai rendszer mozgásegyenleteinek levezetése, másodfajú Lagrange-egyenlettel;
- sajátkörfrekvenciák, lengésképek meghatározása;
- numerikus szimuláció matlab környezetben.



3. Eredmények



3. ábra. Az elkészült kísérleti berendezés



4. ábra. Gyorskamerás felvételek





2. ábra. Térbeli forgótárcsás modell e excentricitással

5. ábra. Campbell-diagram, méréssel

4. Összefoglalás

A Campbell-diagramnak a méréssel történő előállítása is megvalósult. Összességében megállapíthatjuk, hogy a különböző módszerekkel kapott eredmények nem térnek el jelentékenyen.



Cantilever típusú AFM mikroaktuátor érzékenység vizsgálata nagy elmozdulás és követőerő esetén

SZIKLAI KRISZTIÁN

Mechatronikai mérnöki BSc, Gépészeti Modellezés Specializáció, 2018/2019/I. *Témavezető*: Dr. Kovács Ádám, egyetemi docens, adamo@mm.bme.hu

1. Bevezetés

Az AFM (Atomic Force Microscopy) egy nagy felbontású mechanikai képalkotási módszer, mellyel szinte bármilyen felület lokális tulajdonságait lehet mérni, nanométer pontossággal. Az AFM legfőbb része egy konzol, melynek a végén egy tű helyezkedik el. Az konzol elhajlását lézer segítségével érzékeljük. A lézerdióda a konzol hátsó fényvisszaverő felületére fókuszál, és a lézer egy négyszegmensű diódára tükröződik (1. ábra). Az elmozdulás értékét a diódán mért feszültségkülönbség határozza meg.





A dolgozat célja a konzol elmozdulás mezőjének és feszültségi állapotának meghatározása és az érzékenység vizsgálata volt, nagy elmozdulás és követőerő esetén.

2. Alkalmazott módszerek

Először a nagy lehajlású, követőerővel terhelt tartó analitikus modellje került megalkotásra. A terhelés és a szögelfordulás kapcsolatának meghatározásához a tiszta hajlítás egyenletére volt szükség:

$$\frac{M(s)}{IE} = \frac{1}{\rho(s)} = \frac{d4}{ds}$$

Ezután meghatározásra került az ívhossz és a szögelfordulás közötti összefüggés. A lehajlásfüggvény felírása paraméteres alakban történt, amely a 2. ábrán látható.



A megoldás hitelesítéséhez végeselemes modellezésre volt szükség. Az eredmények egy mintafeladaton lettek összehasonlítva.

A konzol érzékenységét az elmozdulás hatására létrejövő, a fotodiódán mért feszültségkülönbség változása határozza meg, amely a visszavert fény hajlásszögének változásával van arányban. Nagy elmozdulások esetén az összefüggés nem lineáris. Az érzékenység meghatározása végeselemes módszerrel történt, különböző terhelések és méretek esetén.

3. Eredmények

A lehajlás és elfordulás görbék jó egyezést mutattak. A legnagyobb relatív eltérés az y irányú elmozdulásra adódott. A rúd mentén a feszültségek jó közelítéssel megegyeztek.



3. ábra – Lehajlásfüggvények analitikus és végeselemes modell esetén

Kisebb hosszak esetén nagyobb érzékenység adódott, azonban az erő növelésével a nagyobb hosszak esetén nőtt jobban az érzékenység. Különböző keresztmetszetek esetén, terheletlen állapotban azonos érzékenységek adódtak, az erő növelésével a vékonyabb keresztmetszetek esetén adódott nagyobb érzékenység. A méretek csökkentésével minden esetben érzékenyebb eszközt kapunk.



