Suppression of Friction-Induced Oscillations via Hybrid Dynamic Vibration Absorber

ABDULSATAR MOHAMMED SAAD

Mechanical Engineering Modelling MSc, Major in Solid Mechanics, 2021/2022/II. *Supervisor*: Dr. Habib Giuseppe, assistant professor, habib@mm.bme.hu

1. Introduction

Friction-induced vibrations are typically undesirable in technical applications because they generate noise, reduce precision, and increase wear. Various mechanisms cause frictioninduced instability. The velocity-weakening characteristic of friction is one of the most important sources of friction-induced and self-excited oscillations; It is also called the Stribeck effect. Another important instability mechanism is known as modecoupling, where two or more modes of vibrations are dynamically connected. A host system with 2DOF is considered, represented in Figure 1 by the traditional mass-moving-on-a-belt and coupling spring. A hybrid vibration absorber (HVA) is attached to the host system, consisting of a passive part called a dynamic vibration absorber (DVA) and an active part with acceleration feedback control. A comparison between the active and passive absorbers is performed.



1. Figure The host system with a hybrid vibration absorber (HVA)

2. Applied methods

The system's equations of motion were derived using Lagrange's equation of the second kind. We nondimensionalized them by transitioning to dimensionless time and introducing The optimal absorber parameter values for the three cases were identified through various methods. In particular, a brute force approach and a simplex algorithm were combined with the bisection method. In Figure 2, Ω_3 and ξ_3 indicates the absorber frequency and damping, while λ_{cr} Marks the critical strength of the Stribeck effect, causing instability.



2. Figure Surface plot of the HVA optimization, $\Omega_1 = \Omega_2 = 8$

3. Results

The stability chart shows that the system suffers from Stribeck instability at low relative velocity and mode-coupling instability when frequencies have close values, as shown in Figure 3 (left). The attached DVA shows a good efficiency in controlling the Stribeck and mode-coupling instabilities. Besides, it expands the stable region of the system for larger values of the strength of the Stribeck effect λ (lower relative velocity). The HVA provides a significant improvement in terms of stability, as shown in Figure 3 (right).



3. Figure (left) Stability plot of the system without HVA (right) The Performance of the DVA vs HVA, $\Omega_1 = \Omega_2 = 8$

further dimensionless parameters.

The stability analysis of the system against small perturbations was investigated. Accordingly, we linearize it around its trivial solution and investigate its stability. Three different cases were investigated with respect to the primary system's horizontal and vertical natural frequencies. Namely, the first is smaller than the latter, the first larger than the latter, and the two have the same value.

4. Summary

The DVA works very well as it is able to eliminate the Stribeck and mode-coupling effects even when they appear at the same time, i.e., when $\Omega_1 = \Omega_2 = 8$. However, by adding the active part, the system's stability is improved a lot. In conclusion, the DVA is effective, the HVA does much better than DVA, but it requires extra cost due to the use of actuators and sensors.



Teaching a neural network to balance a pendulum

SOMA CSAPODI

Mechanical Engineering Modelling MSc, Major in Solid Mechanics, 2021/2022/II. Supervisor: Balázs Kovács, engineer, balazs.kovacs@mm.bme.hu

1. Introduction

The inverted pendulum is a classical problem in the field of dynamics and control theory. In my thesis, I trained neural networks to balance the pendulum instead of using conventional controllers and investigated the limits of applicability.

2. Applied methods

Using the equations describing the dynamics of the pendulum, I created a software environment for simulating its motion. I analysed the related literature and chose to implement *feed-forward* and *recurrent* neural networks of different sizes and structures, and applied the Deep Q-learning algorithm, because I found it interesting that this simultaneously models the functioning of the brain and the learning patterns used by humans in childhood.



1. Figure: Deep Q-learning methodology

3. Results

I have found that by increasing the size of the networks, significant improvements were achieved in terms of learning capacity, while computational need increased rapidly. I trained the controllers to balance a 1 m long pendulum and tested whether the balance is preserved when the length of the pendulum is reduced. The length-sensitivity test results can be seen in Figure 2/b, clearly showing that the trained controller is resistant to length variations. The controllers Finally, I determined the maximum initial angle at which the controller was still able to swing the pendulum back to its vertical position and hold it there. The results are shown in Figure 2/c, where a strong correlation can be detected between the possible maximum initial angle and the complexity of the neural networks. Increasing the number of neurons in the networks by ten almost doubled the maximum initial angle range for the feed-forward and quintupled it for the recurrent neural networks.



2. Figure: Sensitivity to delay, length and initial angle. (FFW: feed-forward network, RNN: recurrent network, where n x m denotes n hidden layers with m neurons)

4. Summary

My work demonstrates the ability of neural networks and the Deep Q-learning algorithm to find controller parameters for a specific mechanical system, The robustness of the resulting controller parameters was also studied and compared to controllers based on conventional system design.

trained by any of the networks for the 1m long pendulum, were able to balance a pendulum shorter than 0.03m.

I also tested the effect of a time delay in the feedback loop. As shown in Figure 2/a, none of the tested neural networks was able to find controller parameters resistant to time delay. The controllers lost their balancing capacity above 0.05s delay, while a conventional *Proportional-Derivative* controller is resistant to a delay as high as 0.451s.



Kettős inga virtuális egyensúlyozása változó gravitációs feltételekkel

CSUTORÁS BARNA

Gépészmérnöki BSc, Gépészeti Fejlesztő Specializáció, 2021/2022/II. *Témavezető*: Dr. Insperger Tamás, egyetemi tanár, insperger@mm.bme.hu

1. Bevezetés

Szakdolgozatom fő célja a kettős inverz inga egyensúlyozása virtuális környezetben. A kettős inga stabilizálása nehéz feladat, hiszen egy többszörösen instabil rendszer, aminek mozgását csak az alján lévő kiskocsi mozgatásával tudjuk befolyásolni. Nem tudunk közvetlenül az ingára hatni. Az egyensúlyozásnál nem csak az inga állását kell figyelni, hanem a rudak sebességét és gyorsulását is. Ahhoz, hogy egyensúlyozni tudjuk a rendszert, nagyon sok gyakorlásra van szükség.



1. ábra. A kettős inverz inga mechanikai modellje

2. Alkalmazott módszerek

Ahhoz, hogy az ingát egyensúlyozni tudjuk, először le kell vezetni a mozgásegyenletét, megnézni a stabilizálhatóságát, hogy ezáltal nagyobb rálátásunk legyen a feladatra. Ezt követően a program helyes beállításait kell megtalálni, amivel a legkönnyebb az egyensúlyozás. A kettős inverz ingánál megadhatjuk a rudak hosszát, ezáltal több rúdhossz-aránnyal is próbálkozhatunk. Ez azért fontos, mert minél rövidebb a felső rúd az alsóhoz képest, annál könnyebb egyensúlyozni ezt a rendszert, így könnyebben ráérezhetünk az inga mozgására, amíg eljutunk az 1:1 rúdarányig. Amikor már sikerült az 1:1 arányú kettős inverz inga egyensúlyozása, megnéztem, hogyan befolyásolja az időkésés hozzáadása az egyensúlyozás folyamatát, és a kritikus rúdhosszt, amivel az ingát még egyensúlyozni lehet. Ezt követően megnéztem a gravitációs gyorsulás nagyságának hatását is az egyensúlyozásra.

3. Eredmények

A próbálkozások során sikerült elsajátítanom a kettős inverz inga egyensúlyozását. A kísérletezések során megállapítottam a kritikus rúdhosszt az egyes rúdarányoknál, amivel egyensúlyozni lehet az ingát. Ezen kívül az 1:1 rúdarányú ingánál megtaláltam az egyensúlyozáshoz ideális helyzeteket, illetve azokat a mozgásokat, amivel a rudak a kívánt pozícióba kerülnek. Megállapítottam, hogy a hozzáadott időkésés növeli a kritikus rúdhosszt, hiszen ezzel kevesebb időnk lesz a beavatkozásra. Megtaláltam az összefüggést a gravitáció nagyságával is, ami egyenes arányosságban van a rudak hosszával.



2. ábra A kritikus rúdhossz nagysága a rudak arányának függvényében

4. Összefoglalás

A kettős inverz inga egyensúlyozása nagyon sok gyakorlást igényel, hiszen nehéz feladat. Ha megismerjük a szerkezet mozgását, és azt, hogy milyen kocsimozgással merre tudjuk dönteni a rudakat, akkor megoldhatóvá válik. Ezt követően további nehezítéssel is tudtam próbálkozni, amivel a hozzáadott időkésés hatásáról is információkat kaptam.



Kerekítésből adódó hiba becslése digitálisan szabályozott mechanikai rendszerek esetében

DEMETER CSABA

Gépészmérnöki BSc, Gépészeti Fejlesztő Specializáció, 2021/2022/II. *Témavezető:* Dr. Csernák Gábor, egyetemi docens, csernak@mm.bme.hu

1. Bevezetés

A számítógépek gyors fejlődésének, és emelett a mindennapi életben való elterjedésének köszönhetően a mechanikai és analóg elektronikai rendszereket elkezdték felváltani a digitális rendszerek. Nem történt ez másképp a szabályozástechnikában sem. Azonban a számos pozitív hatása mellett, néhány új kihívással is szembeállította a mérnököket, ugyanis a digitális szabályozás során megjelennek az úgynevezett digitális hatások. Három fő digitális hatást különböztetünk meg, melyek a kvantálás, a mintavételezés és a számítások elvégzéséhez szükséges idő.

A kvantálás hatása alatt azt értjük, hogy a szabályozás során véges pontossággal tudunk mérni és véges nagyságú számokkal tudunk számításokat végezni. Ennek következtében a rendszer kvantálást tartalmazó és kvantálást nem tartalmazó leképezése között valamekkora különbség lesz, amit kvantálásból származó hibának nevezünk. A kvantálás sajnos nem közelíthető lineáris modellel, ezért a hiba meghatározásához valamilyen becslési módszert kell alkalmazunk.



1. ábra. A kvantálás modellezése során használt kerekítési eljárások

2. Alkalmazott módszerek

A hiba meghatározásához három módszert alkalmaztam, melyek a Bertram-módszer, a Slaughter-módszer és a Diagonalizáción alapuló módszer. Ezen metódusok különlegessége, hogy különböző korból származnak és ezáltal eltérő szemlélettel közelítik meg a megoldandó problémát. A Bertram- és Slaughter-módszer a szabályozási rendszer alapján próbál becslést adni, ezzel szemben a Diagonalizáción alapuló módszer a szabályozott mechanikai rendszer dinamikáját veszi az eljárás alapjául.

3. Eredmények

Ezeket a módszereket felhasználva megvizsgáltam különböző rendszereket, melyekben a mikro-káosz jelensége tapasztalható. Az 1D mikro-káosz leképezés esetében a módszerek azonos becslést adnak, és a szimulációval kapott eredményeket is jól megközelítik.



2. ábra. A különböző módszerekkel kapott eredmények összehasonlítása a szimulációval az egydimenziós esetben

Ezzel szemben a kétdimenziós esetben a három módszer három különböző eredményt szolgáltat. A Bertram-módszer adja a legmagasabb, miközben a Slaughter-módszer becsüli a legalacsonyabb értékeket. Ezzel szemben a szimuláció alapján a Diagonalizáción alapuló módszer szolgál a legpontosabb becsléssel a három módszer közül.



3. ábra. Az eltérő módszerekkel kapott becslések összehasonlítása a szimulációval kapott eredményekkel a 2D esetben

4. Összefoglalás

Az eltérő megközelítés ellenére a Bertram-módszer és a Diagonalizáción alapuló módszer szinte azonos becslésekkel szolgált. Ezzel szemben a Slaughter-módszer sajnos nem bizonyult megfelelő eljárásnak.



Teleszkópos autódaru talpalási problémái rézsűk esetén

FRIEDSAM BENCE

Gépészmérnöki BSc, Gépészeti Fejlesztő Specializáció, 2021/2022/II. *Témavezető*: Dr. Magyar Bálint Balázs, adjunktus, magyar@mm.bme.hu

1. Bevezetés

Ebben a szakdolgozatban a Liebherr LTM 1030-2.1-es, 30 tonna teherbírású teleszkópos autódaru talpalását vizsgálom. Az elején cég ismertetővel kezdem a munkámat, ahol bemutatom a dolgozat témájának az eredetét és a gép hátterét. Ezután felvázolom, hogy a daru talpaiban milyen erők léphetnek fel a legszélsőségesebb esetekben, és ezeknek hatásait vizsgálom a talajban. Bemutatom a rézsűket és a terhelhetőségüket. Kiszámolom, hogy mekkora erők lépnek fel és a végén javaslatot teszek a gépre és a rézsű kialakítására vonatkozóan, hogy a munkavégzés biztonságos legyen.



1. ábra. Liebherr LTM 1030-2.1

2. Alkalmazott módszerek

Először különböző talajok terhelhetőségét mutatom be, amik a daru kitalpalásánál elengedhetetlen vizsgálat. Ezután a természetes rézsűket definiálom és megmutatom, hogy egy adott talajszerkezetben milyen módon oszlik el egy test nehézségi ereje. Ezt követően a statikus részét vizsgálom a talpalásnak, vagyis csak a gravitációs térből származó erőt, a legveszélyesebb talpban. Ennek az eloszlásnak a keresztmetszete az alábbi módon néz ki: Ez után a dinamikus terheléssel foglalkozok, hogy itt milyen oldal irányú, vízszintes erő léphet fel, ami veszélyezteti a rézsűt, ami a daru borulásához vezethet. A daru forgásából fog átadódni oldal irányú erő, aminek a működését ismertetem és bemutatom ennek a forgó mechanizmusnak a működését is. Mérésekkel és a dinamika alaptételének segítségével megadom a talpban fellépő erő nagyságát. Végül elmondom ennek lehetséges hatását.

3. Eredmények

Az eredményeket külön részletezem, amiket össze lehet aztán vonni, amennyiben mind a két eset fenn áll. A statikus terhelésből származó erőt 1 méter mélységig, egy 45°-os szög mentén kell figyelembe venni. A dinamikus erőt pedig kiszámolni ki tudjuk, de ennek a pontos hatásának meghatározásához geomechanikai vizsgálatot kéne végeznünk, ami rendkívül bonyolult folyamat. A legveszélyesebb talpban, a legszélsőségesebb esetben egy $F = 6\,952$ N nagyságú erő lép fel a forgómozgás szöggyorsulás vektorával megegyező irányban.

4. Összefoglalás

A végén javaslatokat teszek a gép kezelésére, hogy mindenképpen kerülni kell a dinamikus mozgásokat a daruval, valamint a rézsű kialakítására is, hogy érdemes meghorgonyozni a rézsűt, vagy rézsű helyett beton támfalat alkalmazni, ami nem engedi a talaj megfolyását. Ezen kívül bemutatom a Liebherr által nyújtott megoldást, a talptányérba helyezett talpcsapágyat, ami csillapítja a fellépő vízszintes erőket.





3. ábra Talpcsapágy

2. ábra Statikus erőeloszlás



Navigation on see based on the wave pattern

PÉTER HORNUNG

Mechatronics Engineer BSc, Specialisation in Mechanical Engineering Modelling, 2021/2022/II. Supervisor: Dr. Gábor Csernák, associate professor, csernak@mm.bme.hu

1. Introduction

Maritime navigation has always played an important role in the life of mankind. Whether it is for the transport of goods by sea, for long-distance travel, or even for exploration and war, it has always been important to define the position accurately. My thesis dealt with the description of water surface waves, which are described by linear wave theory. The wave propagation at sea was investigated, with particular emphasis on wave transformations. The effects of waves on a ship passing a certain obstacle (island, reef, etc.) at sea were discussed. The different accelerations of the ship were determined.

2. Applied methods

Waveforms under different conditions were studied using the finite element method. In particular, the phenomenon of wave transformation around an island was of interest. As input parameters, the diameter and height of the island were varied. For simulations of multiple islands, the direction of the incoming waves was changed. As a result of the transient simulation, the wave amplitude could be determined for all time steps at all points in the domain under investigation.



Figure 1: Waveforms around a circular island

After the simulation, the motions of a boat were examined as it passed the island. It was assumed that the boat is small compared to the wavelength and moves together with the waves. Using MATLAB, the accelerations along the three degrees of freedom (heave, roll, pitch) of the boat could be calculated. The investigation was divided into three groups: when the boat runs parallel to the waves, when it runs perpendicular to the waves and when it runs at an angle. Within each group, several paths were examined, at different distances from the island. Further analysis of the excitations acting on the ship via Fourier transform was used to reveal the changes of the excitation in the frequency domain. The change in amplitude of the dominant peak as a function of distance from the island was observed.



Figure 2: Pitch acceleration of the ship as it moves parallel to the waves on a path close to the island

3. Results

The accelerations along each route showed a different picture. What they had in common, however, was that a sudden change (spike, drop) occurs near the island. This gives an indication of where the boat is in relation to the island. The calculated accelerations and their corresponding standard deviations were very small due to various limitations. However, these accelerations could already be measured in real life with sufficiently sensitive accelerometers.



To determine the variation in acceleration, each path was divided into smaller sections and the average acceleration and standard deviation for each section was taken. Figure 3: Standard deviation of the ship's roll acceleration as the ship moves along several paths perpendicular to the waves

4. Summary

In this thesis an overview was given of how the change in acceleration due to wave transitions can be used to infer where a ship is at sea. The methods presented provide an opportunity for further investigations in the future.



Investigating human driver dynamics in traffic utilising physics-informed machine learning

Ákos Tamás Köpeczi-Bócz

Mechanical Engineering Modelling MSc, Major in Solid Mechanics, 2021/2022/II.

Supervisor: Dr. Dénes Takács, associate professor, takacs@mm.bme.hu

Advisor: Dr. Henrik Sykora, Research Associate (HWU), sykora@mm.bme.hu

1 Introduction

Understanding phenomena that occur in traffic is an important area in order to be able to improve the flow of traffic and solve problems. Human driving behaviour has many undesirable and many useful qualities. In order to better understand these processes, it is necessary to describe human behaviour. Physics-informed machine learning, as a newly emerging field, can help us learn about these processes based on measurement data.



Figure 1: Propagation of a traffic wave in real life

2 Applied methods

The main methods we experimented with were universal differential equations based on universal approximators and parameter fitting methods related to them for small and large parameter spaces. In addition, we also examined the possibilities based on Sparse Identification of Nonlinear Dynamics (SINDy). To model the traffic flow, we started with the models used in the literature. The primary model we used to describe the participants in the traffic was the optimal velocity model (OVM) with time delay. We tried to eliminate the challenges caused by the time delay by iterating through different delay values and we tried to extract the time delay with a first-order dynamic system.

order dynamic system is sufficiently suitable for modelling the delay. Based on these results, we created a new model which gives the ideal acceleration depending on the speed difference between the two vehicles. The relationship between speed difference and acceleration was unknown, for which we applied a universal approximator. After fitting on the measurement data we obtained a function that was consistent in nature. The fitted functions are shown in Figure 2.



Figure 2: Velocity policy function based on measurement data for different vehicles

We constructed a simpler function to describe this shape with 4 tunable parameters and fitted it to the measurements. This way we were able to obtain a consistent and physically meaningful distribution of parameters meaning that this model is suitable for describing the behaviour of humans in these heavy traffic cases.

4 Summary

During the final project, we investigated the applicability of existing models and based on the conclusions we created a new model, which is suitable for describing traffic par-

3 Results

Based on the fitted results, it can be said that the optimal velocity model is not suitable for describing the behaviour of traffic participants. Based on the work carried out, however, it can be concluded that drivers prefer to drive with a speed matching behaviour in heavy traffic. Furthermore, based on the performed fittings, it seemed that the firstticipants in heavy traffic. Overall, it can be said that the application of this found model is not universal, because although it works well in the observed situations, it does not take into account the distance between the vehicles. However, with the help of the applied methods, in the future, we can also look for models that use the distance difference in addition to the speed difference to correct the speed. Overall, the investigated methods proved to be useful for discovering underlying dynamics based on real life measurements.



Machine learning prediction of wave generation in a numerical wave tank

MÁTÉ STANCSICS

Mechatronics Engineer BSc, Specialisation in Mechanical Engineering Modelling, 2021/2022/II. *Supervisor*: Dr. Giuseppe Habib, Associate professor, habib@mm.bme.hu

1. Introduction

The research about ocean power presents several challenges. The simulation of wave phenomena can be performed using numerical wave tanks (NWTs). However, calibrating them properly is complicated and time-consuming. The goal of this thesis was to provide more efficient, alternative ways for numerical wavemaker calibration using machine learning. The topic was introduced with two simpler mass-spring-damper systems. After that the algorithms were utilized to determine the wavemaker input in order to obtain a predefined surface elevation series in a NWT.



Figure 1: Layout of a general CFD-based NWT

2. Applied methods

First, some statistical metrics were introduced which were representative for the obtained data, thus making it possible to compare the different models.

The used machine learning models were the ARX and NARMAX. Both are autoregressive models with exogenous input, but the first one is linear and the second one is nonlinear. The problem was divided into two parts: direct and inverse. In the case of the NWT, the direct problem was to predict the surface elevation depending on a given input, and the inverse problem was to determine the required wavemaker input in order to obtain a predefined wave series at a given location of the NWT.

The machine learning algorithms were implemented in *Py*thon using the *GEKKO* and *SysIdentPy* libraries. During the process, the generation and analysis of the data and the downsampling procedure were presented. The stationarity and long-range dependence properties of the data were investigated. To find the optimal settings for the models and obtain the best results possible, the algorithms were tested in a wide range of different parameters and the results were compared. In Figure 2 the calibration process of the NARMAX model can be seen.



Figure 2: Calibration procedure of the NARMAX model

3. Results

The used machine learning algorithms were able to solve the problem of predicting the required wavemaker input in an NWT. Regarding the inverse problem, both the ARX and NARMAX produced accurate results. In Figure 3 a small section of the predicted wavemaker input can be seen with the desired wave series on the top.



Figure 3: Predicted input of the numerical wavemaker with the NARMAX model

4. Summary

Using machine learning algorithms, the required input of a numerical wavemaker was successfully predicted; however, the approach had certain limitations in terms of the frequency range and complexity of the desired wave series. This suggests that future research should focus on the creation of a general model.



Improving wave generation in CFD-based numerical wave tank using machine learning

IRFAN UL HASSAN

Mechanical Engineering Modelling MSc, Major in Solid Mechanics, 2021/2022/II. Supervisor: Dr. Habib Giuseppe, assistant professor, habib@mm.bme.hu

1 Introduction

Numerical wave tanks (NWTs) are playing a significant role in ocean engineering and energy wave industries. NWTs are used to generate water waves in a controlled manner for modelling of other marine and coastal related phenomena. One of the ways of producing waves in NWT, implemented in OpenFOAM, is using the impulse source wavemaker method. The iterative approach of running many CFD simulations for achieving the desired surface waveelevation using different wavemaker inputs is computationally intensive. Such type of problems where the effect (free surface waves) is known and cause (wavemaker input) is to be determined are termed as inverse problems. Such a problem is unsolvable in OpenFOAM with its current setup.

2 Applied methods

Data-driven system identification techniques are used to identify models mapping the nonlinear relationship between the desired surface wave-elevation and the required force amplitude. Data generated for different inputs from CFD simulations is used to train and validate the black-box models e.g. Autoregressive with Exogenous Inputs (ARX).



where y(t) and $\hat{y}(t)$ are the target and predicted output variables, respectively; u(t) is the network's input variable; n_u and n_y are the input and output lags; n_d is the time delay.

3 Results

ARX was trained for an input of medium sized amplitude, and validated over three datasets with different amplitude ranges. Nonlinear models such as Hammerstein-Wiener model, Output Error model and Neural Networks were also investigated. The obtained results showed that the ARX method is the most convenient in virtue of its lower complexity, higher accuracy and shorter model training duration.



Figure 2: The figure shows the comparison of ARX response and actual impulse during training (first plot) and validation (last three plots).

4 Summary

The unknown relationship between the free surface waves

Figure 1: The first dataset is used for training the model and the rest for validation. The delay in all signals is because waves take some time to reach to the probe in NWT

ARX time series model is a linear representation of a dynamic system in discrete time and is described by:

$$\hat{y}(t) = \sum_{i=1}^{n_y} a_i y(t-i) + \sum_{i=0}^{n_u} b_i u \left(t - n_d - i\right)$$
(1)

and wavemaker input was mapped using data-driven system identification methods. It was demonstrated that ARX, if trained for an input of medium sized amplitude, can validate satisfactorily over the data having amplitude variation of almost 10 times the amplitude of the training dataset both in forward and inverse NWT problems. Another advantage of the ARX model over classical Neural Networks is the lesser amount of training data required and the shorter model training duration.



Examination of radar micro-Doppler effect with the simulation of the scattered electromagnetic wave TIHAMÉR VÁNCZA

Mechatronic Engineer BSc, Specialization in Mechanical Engineering Modelling, 2021/2022/II. *Advisor*: Dr. József Pávó, professor, <u>pavo@evt.bme.hu</u> *Supervisor*: Dr. Attila Kossa, associate professor, <u>kossa@mm.bme.hu</u>

1. Introduction

Modern radar systems rely more and more on the use of the micro-Doppler effect for the classification of objects. This effect is caused by the relative motion of the different parts of the detected object (e.g. the rotating blades of a helicopter). By conventional transient electromagnetic field calculation methods, the simulation of micro-Doppler effect is impractical. Research papers on the matter are based on real measurements or on very approximate simulation method. The goal of my thesis is to develop a method based on electromagnetic field calculation with which one can obtain the micro-Doppler signature of a 2D target. In addition, it is aimed to determine which factors have to be considered when one wishes to utilize the micro-Doppler signature of a real target.

2. Applied methods

In my thesis I derive an original method to simulate the received radar signal from a 2D metallic object. The method is based on FEM and on the assumption that at any point in time the EM-field around the observed object can be approximated with the field around a stationary object with the same geometric parameters. I calculate the sinusoidal steady state value of the received signal at regular intervals and use linear interpolation between observations.

I compare the above method with the "Point scatterers method" used in research papers on the topic. This method represents the observed object with a set of point scatterers and calculates the received signal as the sum of the received signals from the point scatterers as if they were the only ones. In most cases these assumptions are quite approximate.

In all cases I visualise the micro-Doppler signatures using a time-frequency-amplitude diagram which I obtain from the received signal using short-time Fourier transformation.

3. Results

If there are multiple objects with cylindrical cross sections,



1. Figure: Example for the micro-Doppler signature of objects with circular cross sections far from each other



2. Figure: Example for the micro-Doppler signature of objects with circular cross sections close to each other

A continuous object like one with a line-like cross section can be represented effectively with a set of point scatterers, if the distance between neighbouring points is smaller than half of the wavelength of the used radar.



3. Figure: Example for the micro-Doppler signature of a single object with line like cross section

In case of more complicated objects, where regions of the object can be shadowed by other regions representation with point scatterers is no longer adequate. For example, in case of a rotating triangle.



and the distance between these objects is far greater than their diameter, then the only important factor in the formation of the micro-Doppler signature is the speed of the objects parallel to the radar`s line of sight. If the objects are closer to each other, additional artifacts can occur, and so the relative motion of the bodies also has to be taken into account.

4. Figure Example for the micro-Doppler signature of an object with more complicated cross sectional geometry



Függőhíd feszültséganalízise láncgörbe és rugalmaskötél modellel

VARSÁNYI ANDRÁS

Gépészmérnöki BSc, Gépészeti Fejlesztő Specializáció, 2021/2022/I. *Témavezető*: Dr. Kovács Ádám, egyetemi docens, adamo@mm.bme.hu

1. Bevezetés

A dolgozat első fele a szakirodalmi áttekintés, ahol többek között a függőhidak tervezésének szempontjait, és hátrányainak kiküszöbölését mutatom be.



1. ábra: Függőhíd elemei

Ezután kidolgozom a láncgörbe és rugalmas kötél modelleket. A két analitikus modell, illetve egy végeselem program segítségével meghatározom a tartókábelben ébredő axiális feszültségeket. A célom az volt, hogy meghatározzam, hogy a különböző módszerekkel kapott feszültségeloszlások mennyire térnek el.

2. Alkalmazott módszerek

A tartókábelben ébredő feszültségek meghatározására az első módszer a láncgörbe modell. Ez az egyszerű modell merev testént kezeli a kábelt, és az összes terhelést megoszló erőkkel veszi figyelembe.

A következő a rugalmas kötél modell, ami már alakváltozásokat is figyelembe vesz. A használt jelölések a 2. ábrán láthatóak.



A modell megoldásához két egyenletet kell megoldani. (1) a kábel megnyúlásaira vonatkozik, (2) pedig a kábel és a gerenda alakváltozásai között teremt kapcsolatot.

$$h_B - h_A = \epsilon t L_t + \frac{H_L}{AE} L_e - \int_0^L \left(\frac{dv}{dx}\frac{dy}{dx}\right) dx \tag{1}$$

$$EI\frac{d^{2}v}{dx^{2}} - Hv = Hy - M_{A} - (M_{B} - M_{A})\frac{x}{L}$$
(2)
$$-x\int_{0}^{L}\frac{(p+w)(L-a)}{L}da$$
$$+\int_{0}^{x}(p+w)(x-a)da$$

A két egyenletből meghatározható H axiális erő, amiből adódik az axiális feszültség is.

Végül a numerikus megoldás SkyCiv programban készült. A numerikus megoldás előnye, hogy nem kell pontosan ismerni a tartókábel alakját, hanem elég a hosszát becsülni.

3. Eredmények

4.

A két analitikus megoldás közel ugyanazt az eredményt adta, ami azt jelenti, hogy nincs akkora alakváltozás, ami a feszültségeket jelentősen befolyásolná. Az analitikus és a végeselemes megoldásokkal kapott feszültségeloszlások összehasonlítása a 3. ábrán látható. A feszültségek 1,72-2,58 %-ban térnek el.





2. ábra: A kábel és a gerenda a rugalmas modellben hasz-

nált jelölésekkel



