

Hibrid menetoptimalizálási módszer alkalmazása energiahatékony versenyautónál

Hybrid Driving Strategy Optimization Method for Energy Efficient Experimental Vehicle

Pusztai Zoltán

Széchenyi István Egyetem, Járműipari Kutatóközpont
pusztai.zoltan@ga.sze.hu

Absztrakt: Az energiahatékonyság kérdése manapság kiemelt figyelem irányul. Az energiafelhasználással járó költségek és károsanyagok kibocsátásának csökkentése fontos feladat a közlekedésben is. A járművek energiafelhasználása alapvetően függ az alkalmazott vezetési stílustól, illetve a felhasználás helyétől. Ezek a tényezők határozzák meg a jármű menetciklusát, amit az energiafelhasználás minimalizálása érdekében optimalizálni is lehet. A következő cikkben egy hibrid menetoptimalizálási stratégia kerül bemutatásra, melyet járműmodell alapon implementáltunk. A hibrid stratégia ötvözi az emberi pilóta nyújtotta előnyöket és a robosztus gépi számítási kapacitással rendelkező optimalizációs algoritmusok erejét. A pilóta kognitív képességeit felhasználva az optimalizáció ideje csökkenthető, azonban ehhez mérésekre van szükség. A módszer kifejezetten a Shell Eco-marathon (SEM) energiahatékonysági világversenyre való menetciklus meghatározására alkalmas, de olyan ismert útvonalakra is alkalmazható, amik a közösségi közlekedésben, vagy áruszállításban előfordulnak.

Kulcsszavak: energiahatékonyság, vezetési stratégia, elektromos jármű

Abstract: Reducing energy costs and emissions is a significant objective nowadays, and energy efficiency is a major area of focus, particularly in transportation. Energy consumption of vehicles is largely influenced by its location and driving style, which determine its driving cycle that can be optimized to minimize energy consumption. This paper introduces a hybrid optimization solution to driving strategy, based on a vehicle model, that combines the advantages of both a human driver and powerful computing capabilities of optimization algorithms. By leveraging the driver's cognitive skills, the optimization process can be expedited, although measurements are required. This method is specifically designed for determining the driving cycle for the Shell Eco-marathon (SEM) World Energy Efficiency

Race, but it can also be applied to well-defined routes used in public transport or freight transport.

Keywords: energy efficiency, driving strategy, electric vehicle

Bevezetés

Az elektromos járművek népszerűsége megkérdőjelezhetetlen napjainkban, melyet főleg a kibocsátás csökkentés és a fosszilis tüzelőanyagok elhagyása motivál. Az energiahatékonyság itt is kulcskérdés, melyet a jármű felhasználása nagyban meghatároz. A magasabb hatékonysággal üzemelő jármű hatótávja növekszik, így a kibocsátás csökkenés mellett további előnyöket hordoz. A járműüzemeltetés alapvetően meghatározza a választott menetciklus, mivel ez definiálja a bejárt hajtásrendszer által bejárt munkapontokat. A menetciklus megválasztása a bejárt pálya függvénye, melynek ismerete elengedhetetlen az optimalizált menetciklus meghatározásához. Az optimalizált menetciklus célja a jármű sebesség profiljának meghatározása, mely a legkisebb energiafelhasználást jelenti, az adott pályán a meghatározott peremfeltételek mellett [1,2]. A Shell Eco-marathon (SEM) célja, hogy az egyetemi hallgatói csapatok olyan járműveket építsenek, mely az adott versenytávon a lehető legkevesebb energiát fogyasztja. Megkülönböztethetünk elektromos, belsőégésű és hidrogén hajtásnemet, két járműkategóriában (prototípus, városi koncepció). A Széchenyi István Egyetem hallgatói versenycsapata, a SZEenergy Team már 2008 óta vesz részt a megmérettetésen, melyet többször megnyert a napelemes kategóriában és legutóbb 2022 júniusában az akkumulátoros városi koncepció kategóriában is győzni tudott. A versenyen energiahatékony járművek építése mellett a járműüzemeltetés is fontos szempont, ahol a bemutatott hibrid menetoptimalizálási módszert lehet alkalmazni.

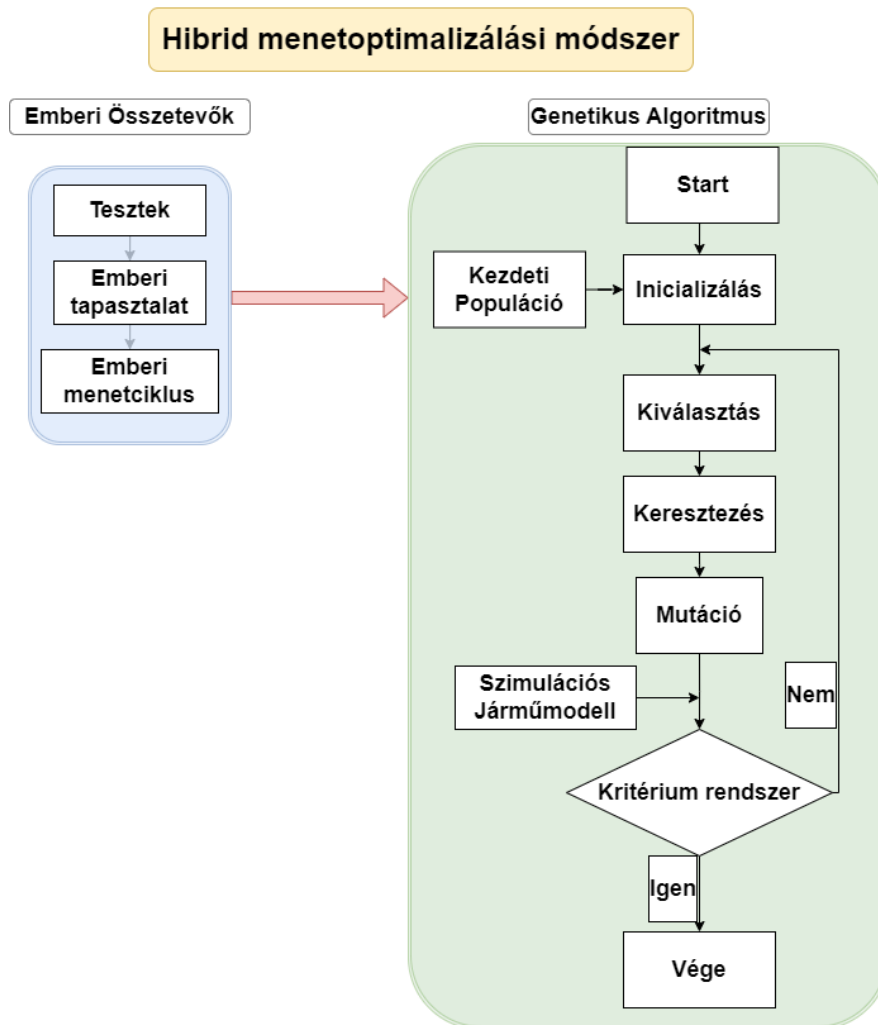


1. ábra: SZEnergy Team - a 2022-es Shell Eco-marathon győztese

Hibrid menetoptimalizálási módszer leírása

A vezetési stratégia és ezzel az energiafogyasztás javítása elérhető a tesztek során, a pályán megtett idővel szerzett tapasztalatok alapján. Ez egy költséges és nem túl hatékony módszer, melyet inkább a nehezebben tesztelhető hardware komponensek vizsgálatára érdemes fordítani. A jármű üzemeltetését vizsgálhatjuk szimulációs környezetben is egy megfelelő járműmodell alkalmazásával. A bemutatott esetben egy mérésalapú járműmodell alapján történt a vizsgálatok. A mérésalapú járműmodell lényege, hogy a fontos alkomponenseket mérések alapján definiáltuk, ilyen alkomponensek a hajtáslánc, ellenállás és pályamodell. A járműmodell validálása után alkalmasnak tekinthető vezetési stratégiát meghatározó tesztek lebonyolítására. A modell bemenete a vezető által kiadott nyomaték referencia, amelyet gázpedál állásként is lehet értelmezni, bár a jármű fizika megvalósításában ez nem helytálló. A jármű dinamikus modellje a nyomatékreferencia alapján a hajtásláncban kialakuló vonóerő és az ellenállás modellben az aktuális járműsebességhez és kanyarrádiuszhoz tartozó ellenállási erő különbségével dolgozik. A hajtáslánc teljesítménye és hatásfoka ismert, ezáltal a fogyasztott energiafelhasználás számítható, melynek minimalizálása a vezetési stratégia optimalizálásának célja. A felépítésből adódóan egy nemlineáris „grey-box” típusú problémáról van szó, melynek optimalizálására robosztus globális optimalizáló algoritmusra van szükség. A választásunk a genetikus algoritmusra esett, mely kiváló megoldást nyújt az ilyen problémák esetén [3]. A klasszikus genetikus algoritmus egyik fontos bemeneti paramétere a kezdeti populáció mintája. Előzetes ismeretek nélkül itt egy véletlenszerűen (vagy egyéb

függvénykapcsolat alapján) generált egyedek helyezkednek el. A kezdeti egyedek jósága fontos az optimalizáció szempontjából, hiszen a későbbi generációk alapját ez adja meg. A kezdeti jó egyedek meghatározását a hibrid módszer alapján az emberi vezető által végrehajtott kísérletekből származtatjuk. Egyik nagy előnye, hogy rögtön érvényes és viszonylag jó egyedek kapunk, hiszen a vezető kognitív képességeire és tapasztalatára építünk. Az emberi pilóta könnyen betudja határolni a fizikai korlátait az adott pályának és a szükséges nyomatékigényeket. Ezeket a kezdeti jó egyedeket finomítja a genetikusan algoritmus, ezáltal kezelhető időn belül optimalizált vezetési stratégiát kaphatunk. Ez a módszer a SEM verseny felépítésével tökéletes konzisztens, hiszen lehetőség van teszt köröket futni a mért futamok előtt, így a tesztkörök mérését azonnal felhasználhatjuk az optimalizálás során. Azonban fontos, hogy viszonylag rövid időn belül eredményre vezessen az optimalizálás, ezért fontos a genetikusan algoritmus futási idejét csökkenteni. A hibrid menetoptimalizálás folyamatábráját a 2. ábrán szemléltetjük.



2. ábra: Hibrid menetoptimalizálás folyamatábrája

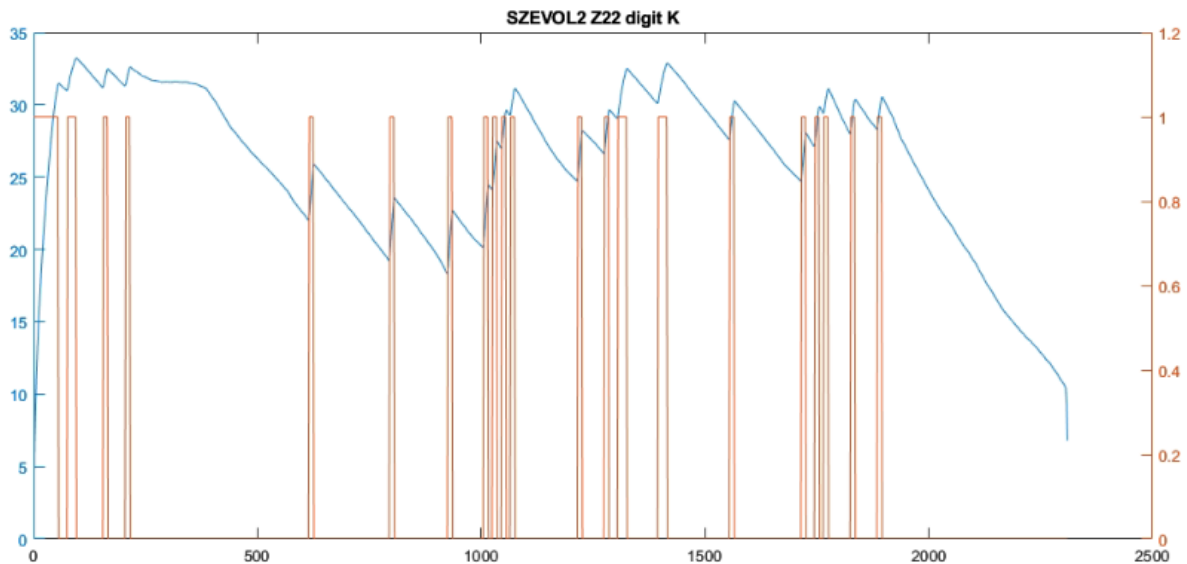
Módszer gyakorlati alkalmazása

Az optimalizálási folyamat módszertanát Matlab Simulink környezetben valósítottuk meg. A járműmodell Simulink környezetben fut, a genetikus algoritmus minden egyedét a modell nyomatókreferencia bemeneteként értelmezzük, mellyel a modell lefut és az egy kör alatt megtett fogyasztás lesz az egyedhez tartozó függvényérték. Ezt minimalizálja az genetikus algoritmus, melyet emberi mintákból származó egyedekkel indítunk el, ezzel gyorsítva a folyamatot. A probléma felírását megtehetjük több módon is, az egyik amikor csak gázadási helyeket keresünk, a másik módon pedig konkrét nyomatók értékeket is. A hibrid módszer a gázadási helyek esetén nem hoz érdemben jobb eredményt, mivel a keresési tér jóval kisebb ennél a felírásnál, azonban futási időben még is így tudunk javulást elérni. A gyakorlati alkalmazás során az Asseni versenypályát és a 2022-es SZEmission járműmodellt vettük alapul, melyet korábban már ismertettünk [4]. Referenciaként egy klasszikus genetikus algoritmust használtunk, melyben a kezdeti populációt teljes egészében mesterségesen generált egyedek alkotják, míg a hibrid esetben a rögzített emberi vezetési mintát is implementáltuk. Az optimalizálás eredményeit a 3. ábrán foglaltuk össze.

<i>Jellemző</i>	<i>Referencia</i>	<i>Hibrid 1.</i>
Kezdeti populáció	1000	1000
Generációk	92	75
Legjobb egyed	35581	35342
Futási idő	22 h	18 h

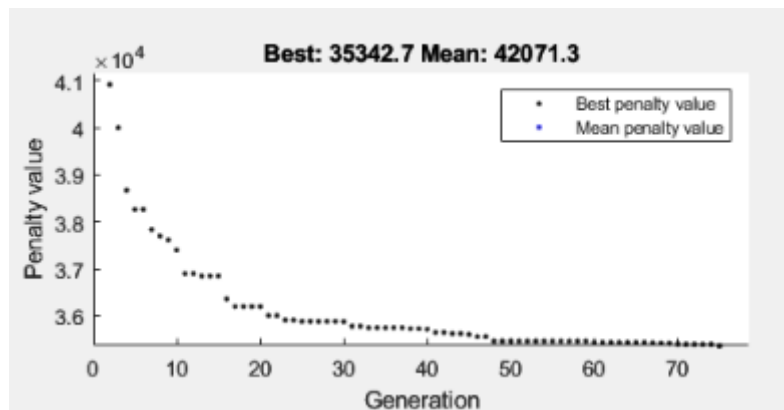
3. ábra: Optimalizáció eredményei

Jól látható, hogy eredményben kevesebb mint 1% a javulás, de futási időben jelentős az előrelépés. Ez a probléma felírásból fakad, mivel a vizsgált esetben gázadási helyeket kerestünk. Ezekon a helyeken fix nyomatókkal terheltük a rendszert és az így kialakult sebességprofil a 4. ábrán szemléltetjük.



4. ábra: Az eredményként kapott sebességprofil

A genetikus algoritmus használata esetén az iterációk az egyes generációkkal megfeleltethető fogalmak, ezáltal minél kevesebb generációból jutunk el a kritérium rendszerben definiált megállítási kritériumig, annál kevesebb ideig tart az optimalizáció. Az 5. ábrán látható a generációk lefutása alatt elért legjobb egyedhez tartozó függvényérték. Az 50. generáció körül után már nem tapasztalható lényeges javulás, azonban a megállási kritérium nem teljesül, így az optimalizáció nem áll meg.



5. ábra: A generációk eredményeinek szemléltetése.

Összefoglalásként elmondható, hogy a bemutatott hibrid menetoptimalizálás fogalmát egy olyan emberi vezetési mintákkal támogatott genetikus algoritmussal végzett optimalizáláshoz vezettük be, ami járműmodell alapon energiaminimumra törekedve keresi az adott járműhöz tartozó sebességprofil. A módszer előnye, hogy az emberi vezetési minták kezdetben gyorsítják az optimalizálást, hiszen megfelelő egyedeket képeznek a kezdeti populációban. A

legtöbb esetben megfigyelhető volt, hogy kevesebb idő alatt konvergált az ilyen módon beállított optimalizáció, mint a referencia, ami csupán véletlenszerűen generált adatokkal kezdett. Fontos kiemelni, hogy a probléma felírása, a változók száma és értékkészlete, illetve egyéb peremfeltételek, nagyban befolyásolják a végeredményt, de elmondható, hogy a bemutatott módszer megfelelt az elvárásoknak és sikerrel alkalmaztuk a járműves teszteken is.

Köszönetnyilvánítás

A TKP2021-NKTA-48 számú projekt az Innovációs és Technológiai Minisztérium Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Alapból nyújtott támogatásával, a TKP2021-NKTA pályázati program finanszírozásában valósult meg.

Irodalomjegyzék

- [1] Sciarretta, A.; De Nunzio, G.; Ojeda, L.L. Optimal Ecodriving Control: Energy-Efficient Driving of Road Vehicles as an Optimal Control Problem, *IEEE Control. Syst.* (2015), 35, 71–90.

- [2] Targosz, M.; Skarka, W.; Przystałka, P. Model-Based Optimization of Velocity Strategy for Lightweight Electric Racing Cars, *J. Adv. Transp.* (2018)

- [3] Albadr, M.A.; Tiun, S.; Ayob, M.; AL-Dhief, F. Genetic Algorithm Based on Natural Selection Theory for Optimization Problems, *Symmetry* (2020), 12, 1758.

- [4] Pusztai, Z.; Kőrös, P.; Szauter, F.; Friedler, F. Vehicle Model-Based Driving Strategy Optimization for Lightweight Vehicle, *Energies* (2022), 15, 3631,