

JÁRMŰRENDSZERDINAMIKAI SZIMULÁCIÓRA ÉPÜLŐ "KÖZLEKEDÉSI PÁLYA - JÁRMŰ" RENDSZERDIAGNOSZTIKAI ELJÁRÁS

Dr. ZOBORY ISTVÁN
a műszaki tudomány doktora
tanszékvezető egyetemi tanár
BME Vasúti Járművek Tanszék

A tanulmány a „közlekedési pálya - jármű rendszer” biztonságos üzemét célzó diagnosztikai döntéshozatali módszert ismerteti. A módszer korszerű, sztochasztikus rendszermodellen alapuló dinamikai szimulációval meghatározható adatbázisra és korszerű ellenőrző mérésekre támaszkodik. Tárgyalásra kerül a jármű műszaki állapotát jellemző paramétervektor és az üzemi megfelelőséget jellemző kritériumvektor közötti sztochasztikus kapcsolat. A jármű továbbüzemeltethetőségével kapcsolatos döntés az üzemben tartó által vállalt kockázati szintet jellemző valószínűség figyelembevételével történik. A tanulmány a diagnosztikai módszer alkalmazásához szükséges mérőállomás vázlatos ismertetésével zárul.

1. Bevezetés

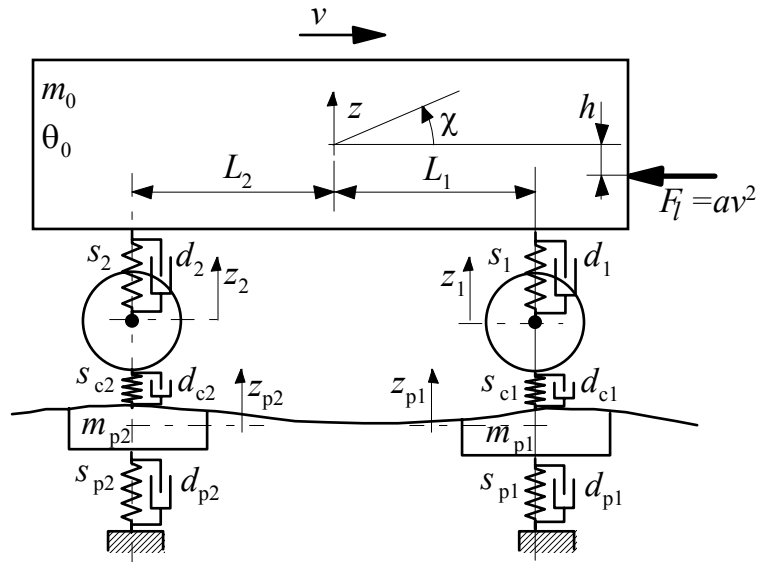
A járművek hatékony üzemeltetése szükségessé tette számítógépi szimulációs eljárással létrehozott adatbankra és korszerű mérési és számítógépes módszerekkel automatizált méréskiértékelési módszerekre támaszkodó diagnosztikai eljárások kimunkálását, és ez a törekvés számos iparilag fejlett ország kutatóhelyein súlyponti témakörként jelent meg az elmúlt években. A BME Vasúti Járművek Tanszéke is bekapcsolódott a fenti témakör kutatásába és nemzetközi konferenciákon is szerepelt az elért eredményeivel [1], [2], [3], [6]. Ebben a tanulmányban a „közlekedési pálya - jármű rendszer” dinamikai szimulációjával meghatározható adatbázisra és korszerű ellenőrző mérésekre támaszkodó diagnosztikai döntéshozatali módszert ismertetünk. A módszert fontossága miatt a BME Közlekedésmérnöki Karának gépészmérnöki szakán a jelenlegi tantervben szereplő "Járműdinamika" c. tárgy tematikájába is beépítettük. Így a mérnökhallgatók a járműdinamikában tanult modellképzéssel, egyenletgenerálással és számítógépi szimulációval kapcsolatos anyagot egy fontos és igen időszerű gyakorlati kérdés megoldására történő alkalmazás keretében ismerhetik meg. Lényegi szempontként emelhető ki annak bemutatása, hogy a járműdinamika említett korszerű módszerei *nem csupán az új járművek tervezésekor*, a kutatási és fejlesztési tevékenységben játszanak kulcsszerepet, *hanem a járművek üzemeltetési folyamatának a tudomány legújabb eredményeit felhasználó "high technology" alapú rendszereinek kimunkálásában is elengedhetetlen fontosságúak.*

2. A járművek műszaki állapotának jellemzése a paraméterterben

A bemutatásra kerülő rendszerdiagnosztikai eljárás alapját a vizsgált járművek és az általuk igénybevett közlekedési pályák alkotta alrendszerek véges szabadságfokú dinamikai modelljeinek ismerete képezi. Valamely dinamikai modell ismerete azt jelenti, hogy ismert az adott geometriai elrendezés mellett véges sok tömegeből (tehetlenségi nyomatékból), rugóból, csillapítóból és bizonyos további konstansokból felépülő konfigurációja. A most említett dinamikai modellt meghatározó jellemzők egy

része konstans és a jármű üzemeltetése során, azonban számos olyan jellemző is van, amely az üzemelés során akár üzemszerűen, akár a jármű természetes elhasználódása, vagy hirtelen meghibásodása következtében időbeli változást mutat.

A járműrendszerdinamikai vizsgálatok alapját képező dinamikai modellek konkretizálása a rendszer paramétereinek vektorba foglalásával történhet. Az így bevezetett többdimenziós \mathbf{p} paramétervektor egyrészt a dinamikai vizsgálatok fontos - sőt alapvető "adatrendszerét" jelenti, másrészt pedig a paramétervektor koordinátáinak előre meg nem adható időbeli változásait figyelembe véve a paramétervektorok $\mathbf{p}=\mathbf{p}(t,w)$ sztochasztikus folyamata alkalmas a vizsgált jármű műszaki állapotában beállott, a t időtől és a w véletlentől függő változások kvantitatív jellemzésére. A tárgyalás ezen pontján célszerű egy egyszerű modell alapján szemléltetni a dinamikai modellhez rendelt paramétervektort ill. bemutatni a jármű műszaki állapotának időtől és véletlentől függő változásait. Az 1. ábra egy egyszerű 6 szabadságfokú járműdinamikai síkmodellt mutat be. Pontosabb pályamodellek tekintetében [4] -re utalunk.



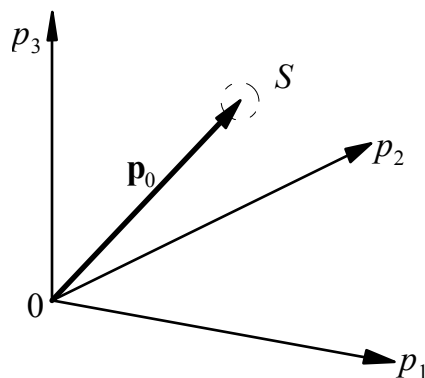
1. ábra Egyszerű járműdinamikai síkmodell a paramétervektort alkotó koordináták szemléltetésére

A jármű paramétervektora most a következő alakot nyeri:

$$\mathbf{p} = [m_0, \Theta_0, m_1, m_2, m_{p1}, m_{p2}, s_1, s_2, s_{c1}, s_{c2}, s_{p1}, s_{p2}, d_1, d_2, d_{c1}, d_{c2}, d_{p1}, d_{p2}, L_1, L_2, h, a] \in \mathbf{R}^{22}$$

Mint látható, a paramétervektor elemeit bizonyos sorrendi elv szerint rendeztük el, elől szerepelnek az inerciális jellemzők, ezeket követik a merevségi jellemzők, ezeket a csillapítási jellemzők, ezeket pedig a geometriai jellemzők és az egyéb konstansok. A paramétervektor ezek szerint még viszonylag kis (6) szabadságfokú dinamikai rendszer esetén is tekintélyes számú (22) összetevőt tartalmaz. A paramétervektort 3 dimenziós esetre a 2. ábrán szemléltetjük.

Az ábrába a jármű és a pálya új állapotában érvényes paramétervektort rajzoltuk be, a vektor nyilának kis környezetében felrajzolt zárt tartomány a paramétervektornak az egyébként kismértékű gyártási szórás miatti bizonytalanságát jellemzi. Az a helyzet ugyanis, hogy a sorozatgyártás és az alapos közbenső ellenőrzések ellenére nem zárható ki, hogy a gyártó mű kapuján kigördülő új járművek valamint az újonnan létesített pályák paramétervektorai ha kis mértékben is de eltérnek.



2. ábra. A paramétervektor szemléltetése

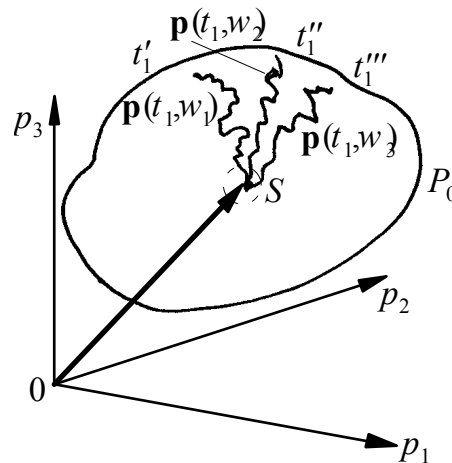
Ha \mathbf{p}_0 jelöli a gyártási állapotbeli paramétervektort, akkor az egy jól meghatározott kis S zárt tartományból veszi fel értékét, matematikai írásmóddal:

$$\mathbf{p}_0 = \mathbf{p}(0, w) = \mathbf{p}_0(w) \in S.$$

A fenti felírás tükrözi a már a korábbiakban említett egyszerű tényt, hogy valójában a vizsgált rendszermodell paramétervektora a t időtől és a w véletlentől függő változást mutat az üzem során, és így a kezdeti \mathbf{p}_0 vektor a paraméterváltozást (lényegileg a műszaki állapot aláhanyatlását) leíró sztochasztikus vektorfolyamat $t=0$ időpontbeli helyettesítési értékével, azaz a (kismértékű) gyártási szórást tükröző $\mathbf{p}_0(w)$ valószínűségi változóval azonosítható. A 2. ábrában feltüntettük azt a P_0 zárt tartományt is amely a jármű biztonságos üzemét szavatoló **megengedett paramétervektorok** halmaza, más-képp kifejezve, mindazon t időpontokra és w realizációkra, amelyekre a $\mathbf{p}(t, w) \in P_0$ esemény teljesül a jármű üzemé megengedett. A tárgyalás ezen pontján célszerű megjegyezni, hogy a w elemi esemény jelentését most úgy rögzíthetjük, hogy az azonos típusú, tömeggyártásban készült járműegyedeket azonosító paraméter. Az elmondottakból következik, hogy az azonos típusú új gyártású járművek S -be eső kezdeti paramétervektorai az egyes járműegyedeket azonosító w paramétertől függően más és más $\mathbf{p}(t, w) \in P_0$ trajektóriákon emelkednek el a kezdeti $\mathbf{p}_0 = \mathbf{p}(0, w) = \mathbf{p}_0(w)$ állapotukból, és érik el az egyes járműveken realizálódó más és más üzemi terhelési viszonyoknak megfelelő $t_1(w)$ valószínűségi változóként kiadódó időtartam alatt a P_0 megengedett

paramétertartomány felületét. A 3. ábrán a műszaki állapot változást (romlást) leíró $\mathbf{p}(t, w) \in P_0$ sztochasztikus vektorfolyamat néhány realizációját rajzoltuk fel.

Nyilvánvaló, hogy ezek az egyes w elemi eseményekkel azonosított realizációs függvények az egyes járműegyedek paraméterváltozását leíró n -dimenziós térgörbe darabok lesznek. Azt, hogy az adott járműtípus egyedei mennyi üzemidő után jutnak ki a megengedett paraméter tartomány határára, a fentebb bevezetett $t_1(w)$ valószínűségi változó jellemzi, melynek valószínűségi sűrűségfüggvényét az ábrán szintén feltüntettük.



3. ábra. A paramétervektorok sztochasztikus folyamatának realizációi t_1 idő alatt elérik a megengedett paramétervektorok P_0 tartományának határfelületét

A P_0 tartomány határára történő kitérés időtartamát megadó valószínűségi változó esetlegesen jelentős terjedelmi jellemzőjét (range) az azonos típuson belüli egyedek igen nagymértékben eltérő üzemi terhelési viszonyai magyarázzák. Az említett terjedelem (a $t_1(w)$ valószínűségi változó terjedelme) kiváltképp személygépkocsik esetén lehet igen nagy. Az eddigi tárgyalásunkban a P_0 megengedett paramétertartományt ismertnek tételeztük fel. Valójában azonban a P_0 tartomány meghatározása jelenti a diagnosztikai feladat egyik legkeményebb problémáját. A következő fejezetben ezt a problémát a jármű üzemére előírt kritériumrendszer figyelembevételével oldjuk meg.

3. A megengedett paramétervektorok tartományának behatárolása

A megengedett paramétervektorok fentiekben bevezetett P_0 tartományának meghatározása érdekében először is rögzíteni kell azokat a kritériumokat, amelyeket egy továbbüzemeltethető járműnek feltétlenül teljesítenie kell. A teljesítendő kritériumok számát tekintve törekszünk ezt a számot lehetőség szerint alacsony értéken tartani. A tekintetbe veendő kritériumoknak alapvetően közlekedésbiztonsági, utaskényelmi, és elhasználódás/károsodás-sebességi viszonyokat kell megkívánt kicsi kockázati szinten biztosítani a jármű aktuális üzemi viszonyai között.

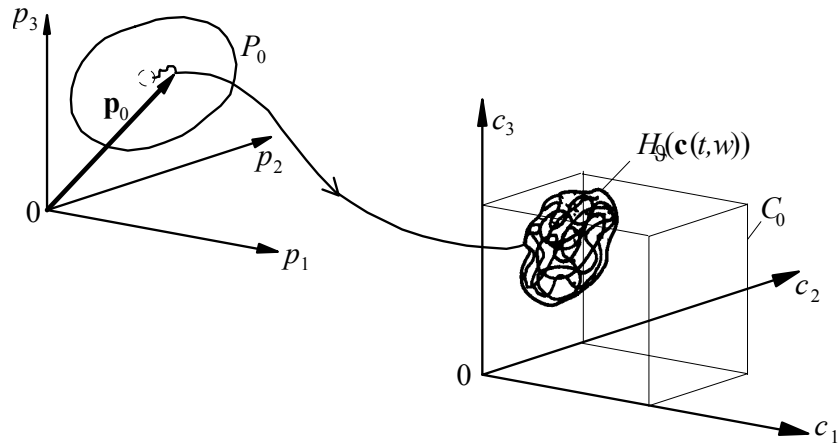
A kritériumok kvantitatív kezeléséhez célszerű bevezetni a jármű üzemi folyamata során kialakuló aktuális kritérium értékek alkotta \mathbf{c} kritérium vektort, amely egy jármű- egyed üzemi folyamatát tekintve egy $\mathbf{c}(t, w)$ időtől és véletlentől függő vektorértékű sztochasztikus folyamatként azonosítható. A \mathbf{c} vektor koordinátái kifeszítik a "kritériumteret", amely egy véges dimenziós *euklideszi tér*. A kérdéskör kezeléséhez ezen a ponton nyilvánvalóan merül fel a megengedett kritériumvektorok C_0 tartományának behatárolása. A C_0 tartomány behatárolását kézzelfoghatóan egy konkrét vasútechnikai példán mutatjuk be. Az egyszerűség kedvéért csupán 3 dimenziós kritériumteret tekintünk. A \mathbf{c} kritériumvektor ekkor $\mathbf{c} = [c_1, c_2, c_3]^T \in C_0$ alakban írható fel. A \mathbf{c} kritériumvektor koordinátáinak jelentését példánkban a következőképp konkretizáljuk:

1. c_1 a jármű kisiklási hajlama,
2. c_2 a jármű futásjósága,
3. c_3 a jármű kerekének kopássebessége.

A fenti 3 koordinátára vonatkozóan előírható azon megengedett intervallum rendszer, amelybe a megfelelő műszaki állapotú jármű üzemében realizálódó kritériumvektor koordinátáknak adott valószínűségi szinten bele kell esnie. A c_1 kisiklási hajlam koordinátának bele kell esnie a $C_{01} = [0, 0.8]$ intervallumba, a c_2 futásjóság koordinátának bele kell esnie a $C_{02} = [0, 3.5]$ intervallumba és a c_3 kopássebesség koordinátának bele kell esnie a $C_{03} = [0, 0.002]$ intervallumba. Mármost az így előírt intervallumok Descartes-féle direkt szorzataként kapjuk a C_0 megengedett kritériumvektor tartományt:

$$C_0 = C_{01} \times C_{02} \times C_{03} .$$

A fentiek alapján - első benyomásra úgy tűnik, hogy - valamely t időpillanatban a w elemi eseménnyel azonosított járműegyedre vonatkozóan akkor lehetne a továbbüzemeltethetőséggel kapcsolatosan pozitív kijelentést tenni, ha 1 -hez közeli valószínűséggel teljesülne a $\mathbf{c}(t, w) \in C_0$ esemény. Tekintettel azonban arra, hogy a $\mathbf{c}(t, w)$ sztochasztikus vektorfolyamat - szemben a jármű $\mathbf{p}(t, w)$ paramétervektorának igen lassú időbeli változásával - igen frekvens, és a jármű mozgásállapotát jellemző $\mathbf{x}(t, w)$ sztochasztikus vektorfolyamatával gyakorlatilag azonos jellegű és frekvenciatartalmú időbeli változást mutat, nem elegendő egyetlen diszkrét t időpontra vizsgálni a $\mathbf{c}(t, w)$ kritériumvektor folyamatot, hanem egy adott $[t, t + \mathcal{G}]$ időkeretre vonatkozóan a $\mathbf{c}(t, w)$ vektorfolyamat realizáció trajektóriát tartalmazó $H_{\mathcal{G}}(\mathbf{c}(t, w))$ burkolóhalmazát kell figyelembe venni, amely a trajektória vektorait gyakorlatilag 1 valószínűséggel tartalmazza. Az elmondottakat a 4. ábra szemlélteti. Az a tény, hogy a $\mathbf{p}(t, w)$ paramétervektor folyamat változása elhanyagolható a $\mathbf{c}(t, w)$ kritérium vektor folyamat $H_{\mathcal{G}}(\mathbf{c}(t, w))$ burkoló halmazának meghatározásához felhasznált \mathcal{G} idő alatt, és ezért a $H_{\mathcal{G}}(\mathbf{c}(t, w))$ burkoló halmazt a $\mathbf{p}(t, w)$ paramétervektorhoz rendelhetjük.



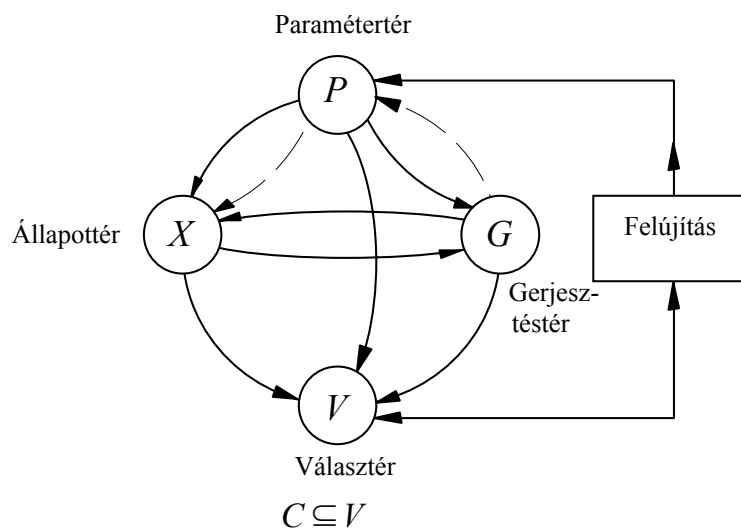
4. ábra. A kritériumvektorok megengedett C_0 halmaza és a t időpont előtti \mathcal{G} időintervallumon stabilizálódott $H_g(\mathbf{c}(t, w))$ burkolóhalmaz

Az elmondottak alapján a t időpontban az aktuális $\mathbf{p}(t, w)$ paramétervektor megengedhető, ha az alábbiakban megadott metszeteseményre a

$$\mathbf{P}(C_0 \cap H_g(\mathbf{c}(t, w))) \geq 1 - \varepsilon$$

feltétel teljesül, ahol ε a járművet üzemeltető vállalat *kockázatvállalási hajlandóságát* jellemző kicsi pozitív számérték [6].

A most nyert valószínűségi kritérium alkalmazásához fontos feltételt jelent a $\mathbf{p}(t, w)$ aktuális paramétervektor és a $H_g(\mathbf{c}(t, w))$ burkolóhalmaz kapcsolatának numerikus úton realizálható megfogalmazása. A kívánt megfogalmazáshoz célszerű rögzíteni azt a rendszer-struktúrát, amely megadja a paramétertér, az állapottér, a gerjesztéstér és a választér kapcsolatait. Az 5. ábrán gráf modell alkalmazásával felvázoltuk a szóban forgó tereket megjelenítő síkbeli tartományokat, és az azok kapcsolatait irányított gráf ívekkel reprezentáltuk [4].



5. ábra. Az üzemeltetési folyamat rendszermodellje

Amennyiben a járműre ható gerjesztőhatások $\mathbf{g}(t, w)$ vektorértékű sztochasztikus folyamatának realizációs függvénye rendelkezésre áll, nincs akadálya annak, hogy a jármű aktuális műszaki állapotát tükröző - és igen lassan változó - $\mathbf{p}(t, w)$ sztochasztikus folyamat egy adott \mathcal{G} időtartományon változatlanul feltételezhető értéke mellett a rendszer mozgásállapot változásait leíró

$$\dot{\mathbf{x}}(t, w) = \mathbf{f}(\mathbf{x}(t, w), \mathbf{g}(\xi, w), \mathbf{p}(t, w), v(t))$$

sztochasztikus differenciálegyenlet-rendszerre vonatkozó kezdeti érték probléma adott w realizációhoz tartozó $\mathbf{x}(t, w)$ numerikus megoldása meghatározható, [4]. A rendszer $\mathbf{x}(t, w)$ mozgásállapotának és a $\mathbf{p}(t, w)$ aktuális paramétervektor valamint a $\mathbf{g}(t, w)$ aktuális gerjesztésvektor \mathcal{G} időintervallum feletti ismeretében meghatározható a kritérium vektor $\mathbf{c}(t, w)$ sztochasztikus folyamatának w paraméter melletti realizációja, és így a $H_g(\mathbf{c}(t, w))$ burkolóhalmaz már kiadódik. Ezen utóbbi meghatározás konkrét kivitelezése gerjesztő függvényre adott kritériumvektor-válasz függvény számítógépes numerikus megoldásával adódik. A paramétervektor megengedhetőségének megítélésékor igazából a $\mathbf{P}(C_0 \cap H_g(\mathbf{c}(t, w)))$ valószínűség megbízható becslésére van szükség. Ez a becslés elvégezhető a $\mathbf{c}(t, w)$ kritérium vektorfolyamat szimulált realizációjának statisztikai kiértékelésével a következő módon. Mivel a dinamikai szimuláció egy ekvidisztráns időpontosorozaton került végrehajtásra, ezért rendelkezésre áll a \mathcal{G} hosszúságú időintervallumon az N mintavételi értékből álló $\{\mathbf{c}(t_i, w)\}_{i=1}^N$ vektorsorozat, így nincs akadálya annak, hogy ezen N elemű vektorsorozatot végigvizsgálva megállapításra kerüljön azon mintavektoron N_1 száma, amelyek beleestek a megengedett kritériumvektorok C_0 halmazába. Ilyen helyzetben a keresett valószínűség becslése a nagy számok törvénye szerint

$$\mathbf{P}(C_0 \cap H_g(\mathbf{c}(t, w))) \approx \frac{N_1}{N}$$

alakban adódik, azaz a C_0 -ba esés szempontjából kedvező mintaelemek száma osztva az összes mintaelem számával, még másképp: a keresett valószínűséget egy elegendően hosszú sorozatból kiértékelt relatív gyakorisággal becsüljük. Azt a kérdést, hogy N elegendően hosszú-e megbízható becslés generálásához, legcélszerűbb az N_1/N hányadost a szimuláció során folyamatosan kiszámítani, és a kedvező stabilitás beállítására vonatkozó kritériumot automatikusan érvényesíteni. Ha N ily módon már "elegendően nagy" akkor megállapítható, hogy az előírt ε mellett a kívánt

$$\mathbf{P}(C_0 \cap H_g(\mathbf{c}(t, w))) \geq 1 - \varepsilon$$

kritérium teljesül-e. Ha igen, akkor a szimulációhoz használt kvázi konstans \mathbf{p} paramétervektor megengedett, és így érvényes a $\mathbf{p} \in P_0$ reláció és a jármű tovább üzemeltethető, ellenkező esetben viszont $\mathbf{p} \notin P_0$ és így az adott \mathbf{p} paramétervektorú jármű

nem üzemeltethető tovább, (letiltás). Fontos kiemelnünk, hogy a fenti eljárással a rendszerdiagnosztikai célú analízis típusú rendszerproblémát megoldottuk, és ezen analízis típusú problémamegoldás sorozatos alkalmazásával jutunk a megengedett paramétervektorok P_0 halmazának gyakorlati (numerikus) feltérképezéséhez [6].

4. Járműrendszerdinamikai szimulációval létrehozott információs bázis

A rendszerdiagnosztikai feladat megoldásának alapját adott C_0 megengedett kritériumtartományhoz rendelhető P_0 megengedett paraméter tartomány ismerete képezi.

A rendszerdinamikai modell által adott $\mathbf{g}(t, w)$ sztochasztikus gerjesztőfolyamat esetén adott $\mathbf{c}(t, w)$ kritériumvektorfolyamat válasz felfogható egy (egyébként nemlineáris) $\mathbf{D}(t, w)$ sztochasztikus dinamikai operátor $\mathbf{p}(t, w)$ paramétervektor folyamatra történő alkalmazásának eredményeként [3], [6]. Rövid felírással:

$$\mathbf{c}(t, w) = \mathbf{D}(t, w) \mathbf{p}(t, w).$$

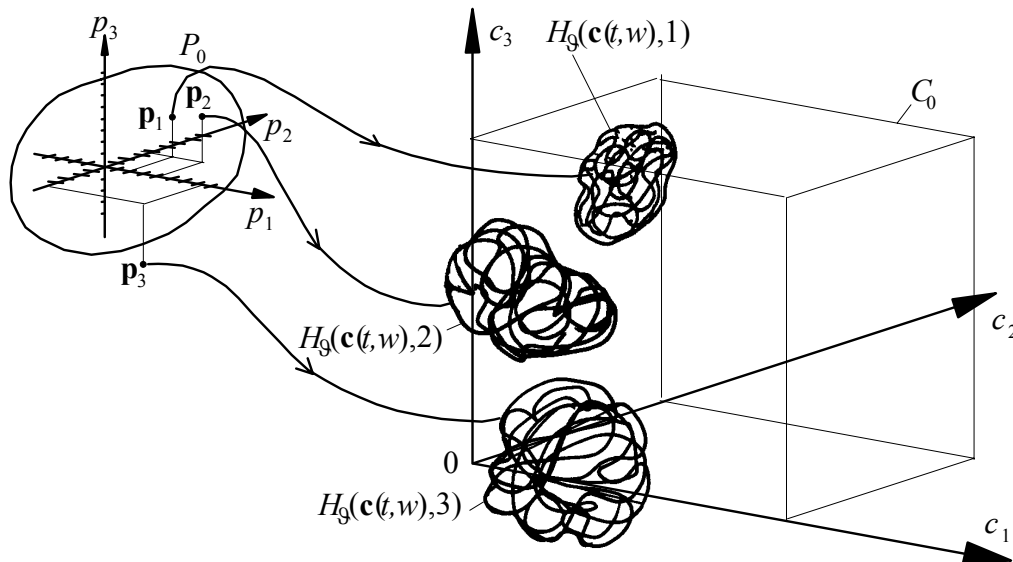
Ha a $\mathbf{p}(t, w)$ értékét a P_0 megengedett paramétertartományból veszi fel akkor a fenti leképezés eredményeként a már bevezetett \mathcal{G} időintervallumot figyelembe véve a $\mathbf{c}(t, w)$ folyamat burkolóhalmazára teljesül a kívánt $\mathbf{P}(C_0 \cap H_g(\mathbf{c}(t, w))) \geq 1 - \varepsilon$ reláció.

Természetes, hogy előírt C_0 és ε mellett előnyös lenne egy $P_0 = f(C_0, \varepsilon)$ direkt tartomány-hozzárendelés, azonban a rendszerdinamikai folyamatok ilyen hozzárendeléshez szükséges inverz szemléletű kezelése kivitelezhetetlen nehézségekbe ütközik.

A "közlekedési pálya - jármű" dinamikai rendszer vonatkozásában azonban az előzőekben tárgyaltaknak megfelelően módunk van a paramétertér minden pontjához egy $H_g(\mathbf{c}(t, w))$ burkolóhalmazt szimulációs eredmények kiértékelésére támaszkodva hozzárendelni, és kiértékelni, hogy az így hozzárendelt burkolóhalmaz valószínűségben mennyire "lóg ki" a megengedett kritériumvektorok elért C_0 tartományából. Ez a lehetőség ha nem is adja meg a megengedett C_0 kritériumtartományhoz történő direkt P_0 paramétertartomány hozzárendelést, mégis sorozatos számítással lehetőséget ad a C_0 -hoz tartozó P_0 tartomány közelítő feltérképezésére.

A fentiekben vázolt gondolatmenet tényleges alkalmazása az n-dimenziós paramétertérben felvett elég sűrű osztású n-dimenziós ortogonális rácsrendszer szisztematikus leképezésével történik. A kiinduláshoz az új állapotú jármű paramétervektorát tartalmazó - a gyártási szórás jellemző - kis tartomány középpontját célszerű kiválasztani. Ezen kezdőpontból kiindulva az összes egymásra merőleges $p_i, i = 1, 2, \dots, N$ koordinátatengely irányában a kezdőponttól jobbra és balra i -függő ekvidisztáns osztással haladva rácsrendszer generálható. A viszonyokat a 6. ábrán mutatjuk be $N=3$ dimenziós paramétertér esetére. Az ábrán az 1 jelű rácspont leképezésekor a kiadódó $H_g(\mathbf{c}(t, w), 1)$ burkolóhalmaz teljes egészében belesik a C_0 megengedett kritériumtartományba. ennek következtében a $\mathbf{p}(1)$ paramétervektor rácspont P_0 -beli. A 2 jelű

rácspont leképezésekor a kiadódó $H_g(\mathbf{c}(t, w), 2)$ burkolóhalmaz már nem esik teljes egészében a C_0 megengedett kritériumtartományba, azonban még teljesül a $\mathbf{P}(C_0 \cap H_g(\mathbf{c}(t, w), 2)) \geq 1 - \varepsilon$ reláció, ennek következtében a $\mathbf{p}(2)$ paramétervektor rácspont szintén P_0 -beli. A fenti két esettel szemben a 3 jelű rácspont leképezésekor a kiadódó $H_g(\mathbf{c}(t, w), 3)$ burkolóhalmaz nemcsak hogy "kilóg" a C_0 megengedett kritérium tartományból, hanem a $\mathbf{P}(C_0 \cap H_g(\mathbf{c}(t, w), 3)) \geq 1 - \varepsilon$ reláció sem teljesül, ezért a $\mathbf{p}(3)$ paramétervektor rácspont nem lehet eleme a P_0 megengedett paraméstartományának.



6. ábra. A paramétertérbeli rácrendszer leképezése a kritériumtérbe a megengedett P_0 paramétertartomány behatárolására

A fentiek szerinti eljárással az N -dimenziós rácrendszer minden csomópontjáról megállapítható, hogy az P_0 -ba esik-e vagy sem. Természetesen egy adott finomságú rácrendszer csomópontjai általában nem esnek a P_0 tartomány határfelületére, márpedig a határfelület eléggően pontos ismerete fontos a diagnosztikai eljárás megvalósításához. Arra a kérdésre, hogy miképpen lehet a határfelületet pontosabban megközelíteni, az a válasz adható, hogy abban az esetben, ha két szomszédos rácspontból kiderül, hogy egyikük P_0 -beli és másikuk nem P_0 -beli, akkor az addig alkalmazott ekvidisztans osztástávolságok felezésével az ilyen pontok környezetében be kell sűríteni a rácrendszert. Végül is feltételezhető, hogy a P_0 határfelülete eléggően pontosan meghatározható és egy tetszőlegesen felvett \mathbf{p} vektorról megállapítható hogy eleme vagy nem eleme-e a P_0 tartománynak. Ezen kiértékelés elvégezhetősége adja meg a kulcsot a diagnosztikai eljárás tényleges alkalmazásához, persze fel kell tételni, hogy a P_0 tartomány határfelületi finomítást is biztosító rácrendszer koordináta adatai (koordináta N -esei) a számítógép tárterületén elérhetően rendelkezésre állnak egy megfelelő tömbben.

5. A diagnosztikai eljáráshoz szükséges a mérőállomás

Az előző fejezetekben bemutatott elvek alapján működő dinamikai rendszerszimulációra támaszkodó adatbank létrehozása megteremti a diagnosztikai eljárás alapvető informatikai feltételét. A diagnosztikai eljárás tényleges kivitelezéséhez szükséges azonban a jármű aktuális műszaki állapotát tükröző paramétervektor-koordináták diagnosztikai mérőállomáson történő műszeres mérése. Jelölje $\mathbf{p}_m(t, w)$ a w elemi eseménnyel azonosított járművön mért paramétervektort. A diagnosztikai döntéshozatal az alábbi tartalmazási reláció kiértékelése alapján történhet a P_0 megengedett paraméterhalmaz ismeretében:

1. ha $\mathbf{p}_m(t, w) \in P_0 \Rightarrow$ a jármű tovább üzemeltethető,

2. ha $\mathbf{p}_m(t, w) \notin P_0 \Rightarrow$ a jármű nem üzemelhet tovább, (letiltás).

A fentiekben megfogalmazott bináris döntési modell természetesen tovább finomítható annak figyelembe vételével, hogy az aktuális mért $\mathbf{p}_m(t, w)$ paramétervektor milyen távol van a P_0 megengedett paraméterhalmaz határától. Jelölje \bar{P}_0 a megengedett paramétertartomány határfelületi pontjainak halmazát. Értelmezzük a mért paraméterpont $d(w)$ távolságát a $d(w) = \min_{\mathbf{p} \in \bar{P}_0} \|\mathbf{p} - \mathbf{p}_m(t, w)\|$ norma minimummal, ahol

$$\|\mathbf{x}\| = \sqrt{\sum_{i=1}^n x_i^2}.$$

Ezen távolság bevezetésével ha pl. $d(w) > \delta_1$ akkor a továbbüzemelés engedélyezett időtartama T_1 , ha $d(w) > \delta_2$, akkor a továbbüzemelés megengedett időtartama $T_2 < T_1$, és az eljárás hasonlóképp folytatható. A továbbüzemelés letiltását célszerű egy kicsé szigorítva adott kicsi pozitív $\varepsilon > 0$ korlát figyelembevételével eszközölni, éspedig a $d(w) \leq \varepsilon$ esemény teljesülésekor. Az egész döntési rendszert számítógépi képernyőre lehet vinni és vizuálisan szemléltetni. A képernyő közepén lévő tartomány felelhet meg az előírt időkorlát nélküli továbbüzemeltethetőségnek (itt az időkorlát nélküli továbbüzemeltethetőség implicite a két tervezett diagnosztikai vizsgálat időközével mégiscsak korlátozva van). Ezt a képernyő tartományt célszerű zöld színnel kivezérelni, és a mért $\mathbf{p}_m(t, w)$ paramétervektort egy éles fehér ponttal megjeleníteni. A P_0 megengedett paramétertartomány határához belülről közeledve a képernyő színét először sárgásra, majd narancssárgára, végül a \bar{P}_0 határfelület közvetlen belső környezetét pirosra célszerű változtatni. Így az aktuális járműállapotot jelző fénylő fehér pont egyben a megszokott *zöld=szabad*, *sárga=figyelj*, *vörös=megállj* jelzéseknek felel meg. A megjelenítés természetesen azzal is kiegészíthető, hogy az aktuális műszaki állapotot jelző fénylő pont mellé feltüntetjük az engedélyezhető továbbüzemeltetési időt napokban kifejezve. Fontos további adatgyűjtési és tárolási feladat a sorozatosan (módszeresen) diagnosztikai vizsgálat alá került adott pályaszámú jármű műszaki állapotát - vagy ami ugyanaz - a végrehajtott diagnosztikai vizsgálatok $\{\tau_1, \tau_2, \dots, \tau_m\}$ időpontosorozatán ismertté vált $\{\mathbf{p}_m(\tau_1, w), \mathbf{p}_m(\tau_2, w), \dots, \mathbf{p}_m(\tau_m, w)\}$ mért paramétervektorok koordinátá-

inak megbízható, és mindenkor lekérdezhető tárolása. Az említett koordináták időSORA feltárja a jármű elhasználódási folyamatának időbeli dinamikáját, és így alapja lehet az üzemeltetés, a járműfenntartás és a javítási tevékenység egzakt alapokon álló tervezésére és szervezésére.

6. Összefoglalás

A fentiekben bemutatott rendszerdinamikai szimulációval generált adatbázisra támaszkodó "közlekedési pálya - jármű" *rendszerdiagnosztikai eljárás* korszerű, igen megbízható üzemeltetési rendszer kialakítását teszi lehetővé. A módszer lényegi alapját megadó rendszerdinamikai szimuláció súlypontját az adott közlekedési pálya (pályák) jellemzőinek (egyenesek, ívek, rezgésgerjesztő pályaeigenlenségek, stb.) gyors és pontos szimulációja képezi, ezért nagyon fontos a vizsgált dinamikai rendszer differenciálegyenlet-rendszerének igen gyors megoldását biztosító numerikus módszerek alkalmazása. A módszer tényleges alkalmazásához természetesen szükséges a megfelelő *diagnosztikai mérőállomások* kialakítása, aholis a szükséges mérések elvégezhetők és a szimulációval generált adatbázis összevetésével a diagnosztikai döntéshozatal sorozatosan és tömeges kiterjedésben elvégezhető. A kialakított módszer finomabb részleteinek továbbfejlesztésére további kutató fejlesztő munka szükséges. Mindazonáltal, a fentiekben ismertetett diagnosztikai rendszer a jelenleg alkalmazott járműfenntartási (üzemeltetési) költségek jelentős csökkentését teszi lehetővé, ezen csökkenéssel szembeállítva a mérőállomás kialakításával kapcsolatos beruházási költségeket, a megtérülési idő igen rövidre adódik.

7. Irodalom

- [1] **Zobory István** et al.: Automatic Diagnosis of Running Gears. Railway gazette, 1992. September Volume, p. 22-26.
- [2] **Zobory István**: A Pálya-jármű rendszer diagnosztikája a járműgépész szemével. V. Nemzetközi "Pálya-Jármű Rendszer" Konferencia, KTE, Velem, 1993. p.57-72.
- [3] **Zobory István**. et al.: Járműdiagnosztikai mérőállomás kifejlesztése vasúti járművek számára. Járművek- Mezőgazdasági Gépek 40.Kötet, 1993. június, p.197-206.
- [4] **Megyeri Jenő - Szeidl László - Zobory István**: A Vasúti pálya alrendszer a pálya-jármű rendszerben. Közlekedéstudományi Szemle, XLVI. Kötet 7.szám, Budapest, 1996. p.241-247.
- [5] **Zobory, I.**: Prediction of Wheel/Rail Profile Wear, *State of the Art Study* for the 15th Symposium on Dynamics of Vehicles on Roads and Tracks held at the TU of Budapest, 25-29 August, 1997. Vehicle System Dynamics, Vol. 28., No 2-3 August, 1997. p. 221-259.
- [6] **Benedek, T.-Zobory, I.- Anka, L.**: Simulation-Based Diagnostics of the Track/Vehicle System. Proceedings of the 6th Mini Conference on Vehicle System Dynamics, Identification and Anomalies, held at the TU of Budapest, 9-11 of November, 1998. p. 219-228.