

Szerszámgép-meghibásodás érzékelése digitális hajtómű jelzései alapján

Tárgyszavak: szerszámgép; hibaérzékelés; gépdiagnosztika.

A számjegyes vezérlésű szerszámgépek sem mentesek a mechanikus elhasználódás okozta hibáktól. A vezetékelőfelületek kopása, elszennyeződése, forgácsmaradványok stb. következtében a megmunkálószerszám helyezési pontossága csökken. Míg a jó, öreg esztergapadok, marógépek és más szerszámgéptípusok kezelői ezt azonnal érzékelték és korrigálták, a számjegyes vezérlés általános elterjedésével párhuzamosan nem fokozódott a gépmunkások szakértelme abban az értelemben, hogy „megérezzék”, a méretre állás helyesen történt-e, vagy nem. Szerencsére a digitális technika, megfelelő formában, tehető annyira intelligenssé, hogy automatikusan, külső beavatkozás nélkül elvégezze a korrekciót. Azonban helytelen lenne, ha ettől elbízánk magunkat. A gépmunkás szakértelme pótolhatatlan.

Számjegyes vezérlésű szerszámgépek fajlagos üzemeltetési költségei rendkívül magasak, ennek megfelelően egy ilyen gép meghibásodása és kiesése a termelésből igen költséges. Az ilyen váratlan kiesés elkerülése érdekében feltétlenül szükség van a megelőző, vagy még inkább az állapotorientált karbantartásra.

A kopás hatásának kitett szerkezeti elemek állapotának érzékelőkkel való ellenőrzése eddig nem tudott meghonosodni. Bár léteznek egyes gépelemek, például csapágyak ellenőrzésére szolgáló rendszerek, azonban ezek túlnyomórészt állandósult üzemviszonyok között válnak be, például erőművi berendezések esetében. Az ilyen megoldásokat nem lehet problémamentesen szerszámgépeken alkalmazni, többek között a környezeti károsító hatások, például a hűtő–kenő folyadékok, fémforgácsok jelenléte következtében, amelyek hosszabb használat után tönkreteszik az érzékelőrendszert. Ezen túlmenően, a szerszámgépek üzemeltetési viszonyai nem állandósultak, vagyis nehézségekbe ütközik az érzékelt jelek gépi értelmezése. Az üzemállapotra vonatkozó átfogó kép elnyerésére ezért több érzékelőt kell felszerelni. Példaként említhető a fordulatszám hatása a motor áramerősségének jelzésére. A jelenlegi megoldások hátrányai következtében a gépek felhasználói továbbra is „megbízható” és „olcsó” gépellenőrző megoldásokat igényelnek.

A nyitott szabályozási körök érdekes alternatívái lehetnek az érzékelőket felhasználó gépdiagnosztikai rendszereknek: a szabályozási struktúrában rendelkezésre álló digitális hajtóműjelek alapján kizárólag szoftverre épülő változat valósítható meg. Az állandóan rendelkezésre álló és változatlan minőségű jelek révén a nyitott szabályozások megvalósíthatóvá teszik a rendszer teljes integrálását. Ily módon a hajtóműtől származó jeleken kívül a szabályozásból származó számos, az állapotra vonatkozó információ is használható, vagy segítségével szabályozási beavatkozásra kerülhet sor. Így például valós időben érzékelhetők meghatározott tengelymozgások, vagy bizonyos gerjesztési ciklusok alatt a megbízható információtartalmú hajtóműjelek. Ezek alapján lehet az egyes részek aktuális állapotára következtetni. A folyamatszabályozás területén már a gyakorlatban is eredményesen kipróbálták a nyitott szabályozások alkalmazását. Ebben az esetben a digitális áramjelek, valamint néhány, a szabályozásból származó állapotinformáció alapján, következtetni lehetett a szerszám állapotára.

Jelérzékelés a szabályozásba integrált megoldással

A nyitott számjegyes vezérlésű rendszerek alapfunkcióikon túlmenően olyan szoftverinterfész lehetőségekkel is rendelkeznek, amelyekkel mód nyílik technológiára vonatkozó felhasználási megoldások integrálására. Ezek a nyitott interfészkapcsolatokon át különböző digitális hajtóműjelek (például tengelyhelyzet, sebesség és motoráram) érzékelhetők és a hajtómű-szabályozásra előírt értékek megadhatók. Már a folyamatszabályozás esetében észlelni lehetett a hajtómű-mechanika által a jelekre gyakorolt hatást, bár abban az esetben ez zavarásnak minősül és egyszerű algoritmusok segítségével kompenzálható.

A szabályozási rendszerek integrálásának és a digitális hajtóművek használatának előnyei a mechanikai hajtóműelemek ellenőrzésére is kihasználhatók. Összehasonlítva a folyamatszabályozással, ahol a vizsgált alkalmazási területeken, például a szerszámtörés ellenőrzésekor, a motoráramot befolyásoló jelentős erőváltozások lépnek fel, a hajtómű-mechanikában, a mozgó tengelytömegekhez képest, csak kis zavaróerők érvényesülhetnek. Ezen kívül, az érzékelőket felhasználó rendszerekkel szemben, a digitális hajtóműjelek érzékelése helyileg kötötten történik és nem lehet tetszőlegesen megközelíteni az ellenőrzendő hajtóműelemet. A jelérzékelés adott helyzete következtében a jeltovábbítás csak közvetve, mechanikus átviteli szakaszon keresztül, többszörös zavaróhatások eredőjeként valósítható meg. Az eddigiek alapján, elvileg, a felismerhető zavaróhatások három kategóriája vezethető le.

- **Nem lokalizálható károsodások**

Ebben az esetben a hajtóműlánc zavarairól van szó, amelyet ugyan elvileg belső szabályozási jelek alapján fel lehet ismerni, azonban nincs mód arra,

hogy egy adott szerkezeti elemhez rendeljék hozzá. Erre egyik példa a mechanikus szerkezet irányváltási játéka.

- A modell ismerete alapján lokalizálható károsodások

Ide tartoznak mindazok a felismert károsodások, amelyek egy adott szerkezeti elemhez hozzárendelhetők, ha a jel értékeléséhez és ellenőrzéséhez hozzájárul a modell egyszerű ismerete. Így például a fogazott szíj me-revsége és a mozgatott tömegek ismeretében ellenőrizhető a fogazott szíj ál-lapota.

- Jelkorreláció alapján lokalizálható károsodások

Különböző jelek közötti korreláció révén olyan jeltulajdonságokat lehet ki-emelni, amelyek alapján következtetni lehet arra, melyik hajtóműelemen lép-het fel hiba. Példa az ilyen többérzékelős jelátvitelre a vezetékelület esetleges pontszerű kipattogzása, vagy amikor forgács kerül a vezetékelületre.

Mivel a gépstruktúrán belül a hajtóműnek, mint detektorelemnek a hely-zete adott, felvetődik tehát a kérdés, hol van a jelek használható információ-tartalmának a határa és hogy milyen esetekre alkalmasak a digitális hajtómű-jelek. Ezt az alábbi két gyakorlati példa fogja megvilágítani.

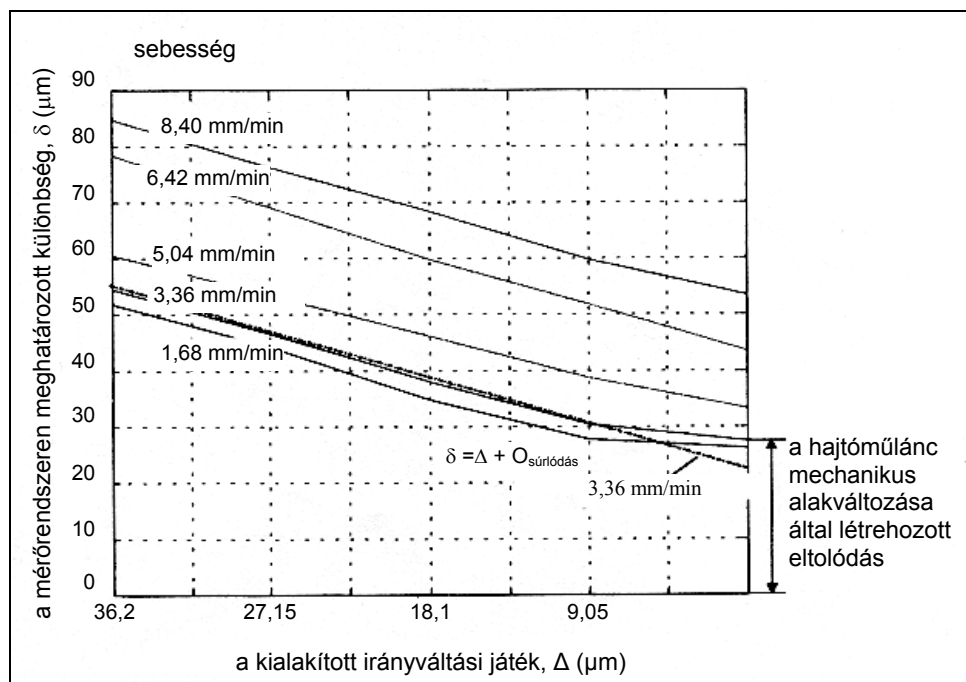
Az irányváltási játék ellenőrzése

Jellegzetes mechanikai zavaró hatás a mechanika kopási folyamatainak és az illeszkedés végleges kialakulásának következtében fellépő irányváltási játék. Ez először abból ismerhető fel, hogy a tengelyirány megváltozásakor a hajtóműlánc egy része nyugalomban marad és csak a játék megszűnése, va-lamint a mechanikai rugalmasság leküzdése után kezd mozogni. Amennyiben a motor mérőrendszerén kívül az egyik géptengely egy kiegészítő, közvetlen helyzetmérő rendszerrel van ellátva, akkor a mozgásirányváltás után a két jel különbsége, többek között, a mechanikai irányváltási játék hatását is tartal-mazza. Bár gyártási hibák elkerülése érdekében a helyzetszabályozás köz-vetlen mérőrendszerrel is megoldható, azonban ezzel csak a mechanikai kop-ás által a gyártási pontosságra gyakorolt hatást lehet minimumra csökkenteni, a gép kiesésének veszélye azonban nem csökken.

Az irányváltási játék meghatározására a vizsgált tengely mozgásirányát kell ellentétesre változtatni. Ezen kívül a helyzetkülönbségből adódó ideigle-nes zavaróhatások és dinamikai jelenségek kiküszöbölése érdekében a moz-gásirányokra vonatkoztatott helyzetkülönbség középértékét meghatározzák (1. ábra).

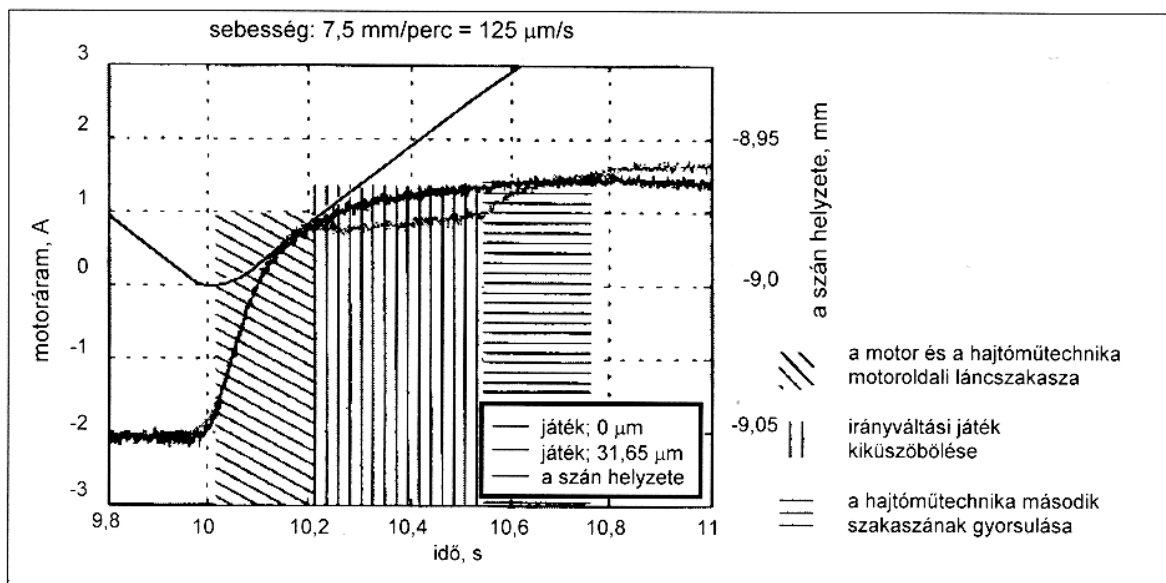
Ezen középérték-különbségnek a mechanikai rugalmasság okozta ösz-szetevőjét állandó korrekciós tényező formájában lehet korrigálni. A mérési értéknek az irányváltási játék által előidézett változása lineáris kapcsolatban

van a játék nagyságával. Csupán a kis irányváltási játékok tartományában figyelhető meg nemlineáris kapcsolat, ami az irányváltási játék megszüntetése után az illeszkedés stabilizálódására vezethető vissza. Ezen kívül, különösen kis elmozdulási sebességek esetén, a tapadósúrlódás hatása erőteljesebben érvényesül, ami a 0,84 m/min előtolásértéknél a görbe második megtörése formájában jelentkezik. Tehát a szabályozórendszeren belüli helyzetjelzés, az irányváltási játék ellenőrzésére 5 μm fölötti játéknagyság esetében alkalmas. A kísérletek ismétlési hibája általában 1 μm alatt van.



1. ábra A motormérő rendszer és a közvetlen helyzetmérő rendszer közötti különbség alapján mért irányváltási játék

A tapadósúrlódás figyelembevétele egy további összefüggést eredményez, ami felhasználható az irányváltási játéknak a digitális hajtóműjelek alapján való felismerésére. Amennyiben a tengelyszabályozás a motorhelyzetrendszer alapján történik, akkor irányváltásnál először a hajtóműláncnak csupán a motor felőli része gyorsul fel. A további rész csak a játék megszűnése után kezd felgyorsulni. Ennek következtében a tömegek felgyorsulása és a rugalmassági hatások megszüntetése időben két szakaszban történik. A hajtóműlánc első részében ébredő tapadósúrlódás leküzdése után ideiglenesen csökken a motoráram, míg a játék meg nem szűnik, és meg nem kezd mozgását a mechanika lemaradt második része is (2. ábra).



2. ábra A gyorsulási folyamat vázlatja

Különösen a motor helyzetére vonatkozó jel szempontjából nyilvánvaló az összefüggés az irányváltási játék és a késleltetett áramnövekedés között. Amennyiben a motoráram idő függvényében végbemenő változását aluláteresztő szűrővel feldolgozva használják elemezhető mérőjelként, akkor ennek szélsőértékei szolgáltatják a gyorsulási időpontokat. A mért irányváltási játék a haladási sebességből vezethető le. Az elemzés azt mutatja, hogy a rosszul meghatározható gyorsulási csúcsok következtében ennek az eljárásnak a pontossága erősen ingadozik. Ez elsősorban arra vezethető vissza, hogy a súrlódási viszonyoknak már egészen kis ingadozása hatással van a tapadósúrlódás megszűnési időpontjára. Ezen kívül az áramjel amplitúdójának változása erősen függ a felgyorsítandó hajtóműlánc hosszától – tehát rugalmasságától –, valamint a tömegeloszlástól. Ennek következtében az irányváltási játék ugyan kihat a digitális hajtóműjelre, azonban üzemi feltételek között, ezen az elven nehezen valósítható meg az irányváltási játék ellenőrzése.

Vezetékfelületek meghibásodásának ellenőrzése

A relatív keresztelmozdulások következtében a gördülősúrlódásos egyesbe vezetések kopási igénybevétele is nagy. Különösen a forgácsok és a fémpor által előidézett szennyeződés miatt nagy terhelési csúcsok lépnek fel a gördülőtestek és a vezetékelület között. Ennek következménye vagy a szerkezeti elem meghibásodása, vagy funkcionális károsodás, például pikkelyes kipattogzás. Kísérletileg igazolható, hogy a motoráramjel a vezetékelületek

meghibásodására vonatkozó információkat tartalmaz. A korrelációs jelvizsgálat azonban azt mutatta, hogy a gördülési hibákon kívül további, determinisztikus, nem a zavaróhatásra visszavezethető jelösszetevők is szerepelnek, amelyek például excentricitásra utalhatnak. A helyi zavaró hatások biztonságos felismeréséhez megfelelő jelkiemelési módszerek szükségesek, ami például a megvezetés gördülőttestjeinek átgördülési frekvenciája alapján végezhető el az alábbi képlet szerint:

$$f_{\text{BPF}} = \frac{v / 2}{a_{\text{görd.test}}}$$

f_{BPF} – átgördülési frekvencia (Hz),

v – tengelysebesség (mm/s),

$a_{\text{görd.test}}$ – gürdülőttestek közötti távolság (mm).

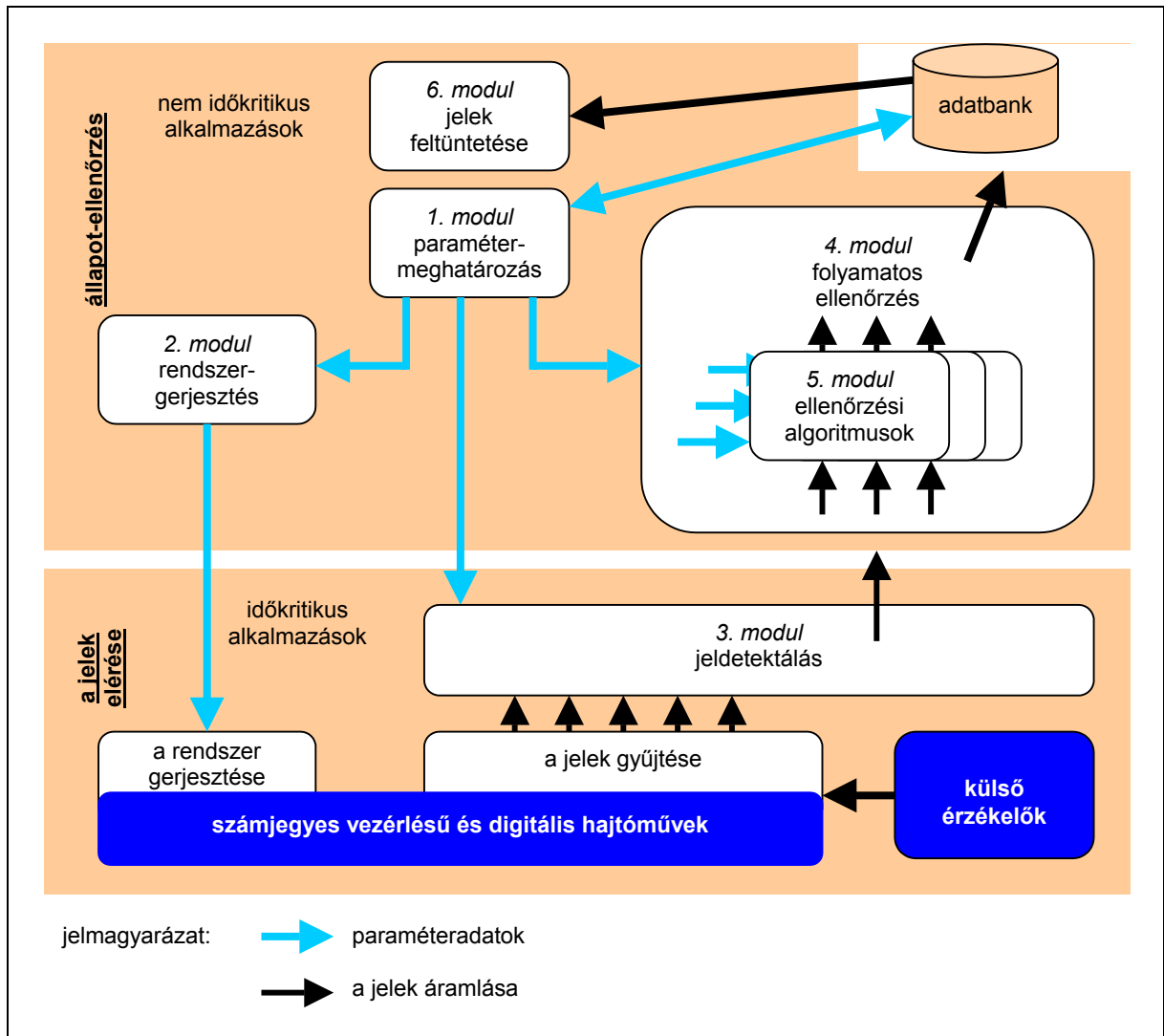
Az értékelés elvileg az ablakos Fourier-transzformálással (STFT) végezhető el: Ez a transzformálás azonban állandósult szinuszből indul ki, ami helyi jelfeldolgozás szempontjából nem optimális. Nem állandósult jelek számára megfelelőbb a diszkrét jeltranszformálás (DWT). Ez egy időben helyi jeltől indul ki, amelyik egy többfokozatú szűrőcsoport alapjaként szolgál. Ez a jeltranszformálás képes a jelváltozások kimutatására. A jobb jelfeldolgozáson kívül ennek az algoritmusnak a számítástechnikai időigénye kisebb, mint az STFT esetében.

Szoftverintegrálás

A szabályozórendszer integrálási módszere egyrészt olcsón igen megbízható érzékelőjeleket szolgáltat, másrészt a gépdiaagnózis szempontjából előny, hogy nincs külső interfésze. Ezt az teszi lehetővé, hogy egyetlen platformon belül integrálja a rendszergerjesztés, a jelérzékelés, az ellenőrzés és a vizuális kijelzés funkcióit. Lehetőség van például arra, hogy a jelrögzítés aktiválására bevezetett új programutasítások révén egyszerűen szinkronizálja a gerjesztési ciklusokat és a jelrögzítést. Hasonlóképpen lehetőség van különleges gerjesztési funkciók, például zajjelek vagy ugrási funkciók integrálására.

Amíg nincsenek egységes szabványok, az ellenőrző rendszernek egy nyitott számjegyes vezérlésű szabályozórendszerbe való integrálásakor figyelembe kell venni a szabályozás sajátos adottságait. Ennek megfelelő megoldása lehet, hogy két részt alakítanak ki: az egyik valós idejű üzemelésre képes, a másik arra nem képes (3. ábra).

A jelrögzítéshez valós idejű feldolgozás szükséges, viszont az ellenőrző algoritmus alapján végzett kiértékelést szükséges nem valós időben végezni. Az ellenőrző algoritmus segítségével lehetővé tették a szoftver különböző gépek és szabályozási platformok közötti átvitelét. Ezáltal lehetővé vált az algoritmusok egyszerű cseréje és új technológiai adottságokhoz való illesztése.



3. ábra A szabályozásba integrált állapot-ellenőrzés szoftverstruktúrája

Összefoglalás

Az érzékelőkön alapuló rendszerekkel szemben a szabályozással integrált gépállapot-ellenőrzés különböző előnyökkel jár együtt. Például a jelek könnyen hozzáférhetők, érzékelésük olcsó és egyszerűen integrálható az ismert szabályozási megoldásokba. Bebizonyítást nyert, hogy a hajtóműmechanika különböző meghibásodásait a gyakran kis zavaramplitúdó ellenére, a digitális hajtóműjelek segítségével érzékelni lehet.

(Dr. Barna Györgyné)

Plapper, V.; Weck, M.: Signale digitaler Antriebe zeigen Maschinenschäden. = ZWF Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb, 97. k. 3. sz. 2002. p. 84–88.