

Doktori (PhD) értekezés tézisei

**Rendszer felügyelet és rendellenesség felismerés többváltozós
statisztikai módszerekkel**

Tarcsay Bálint Levente

Pannon Egyetem
Vegyésmérnöki és Anyagtudományok
Doktori Iskola

Témavezetők:

Dr. Németh Sándor

Dr. Takács-Bárkányi Ágnes



Folyamatmérnöki Intézeti Tanszék

Veszprém

2024

1. Előzmények, célkitűzés

Doktori kutatási munkám során a rendellenesség és hibafelismerés többváltozós statisztikai módszereinek fejlesztésével foglalkoztam, célom a hibafelderítés és elkülönítés jelenlegi problémáinak részleges megválaszolása volt. Az ipari fejlődéssel párhuzamosan a technológiai rendszerekkel szembeni elvárások szigorodtak mind a biztonságtechnika, mind a minőség terén. A rendszerhibákból származó, váratlan termelés leállás vagy minőségi romlás elfogadhatatlan eseményekké váltak. Ebből kifolyólag az ipari rendszerek biztonságos, rendeltetésszerű működésének fenntartása kulcsfontosságú kérdéssé vált, melynek egyik alappillére a rendszerhibák időben való, pontos felismerése. A rendszerhibák olyan tüneti események, melynek során egy rendszer folyamatváltozói, a kezelők által meghatározott, rendeltetésszerű tartományaikon kívülre kerülnek valamilyen hiba gyökérok következtében. A hibajelenségek jelenlétének felismerése, illetve a hibák gyökérokainak meghatározása a hibafelismerési és azonosítási rendszer feladata. Jelenleg a hibafelismerési módszerek többnyire a posteriori folyamatmodelleket vagy adat alapú technikákat használnak a rendellenességek jelenlétének felismerésére. A hibafelismerési rendszereknek úgy kell működniük, hogy lehetővé tegyék a nem biztonságos, a folyamatnak nem megfelelő üzemállapotok azonnali észlelését, ugyanakkor különbséget kell tudniuk tenni a kisebb mértékű hibák, az adatokban lévő zaj és zavarások között, hogy ne terheljék túl a rendszereket kezelő személyzetet felesleges riasztásokkal. Doktori kutatásomban a hibafelismerés és azonosítás adataalapú, többváltozós statisztikai folyamatfelügyeleti módszereit fejlesztettem tovább és új algoritmusokat dolgoztam ki. Megoldásokat javasoltam a hibafelismerési keretrendszer aktuális kérdéseinek részleges megválaszolására, beleértve a folyamatkockázat hibafelismerésbe történő beépítését és a hibafelismerési módszerek fejlesztését elosztott paraméterű rendszerek esetében.

2. Tézisek

I. Kifejlesztettem egy módszert hiba azonosításra dinamikus rendszerekben, trajektória távolság mértékek felhasználásával. A módszer alkalmazhatóságát dinamikus rendszerekben széles működési tartományban validáltam.

1. A rendszer viselkedésének elemzésére és a technológiai egységek rendellenességeinek feltárására dinamikus főkomponens elemzést használtam hiba felderítési módszerként. A módszert a rendszer különböző üzemállapotaira finomhangoltam, és értékeltam a hibafelismerés pontosságát.
2. Megvizsgáltam a rendszer dinamikus viselkedését különböző hibakörülmények esetén, és felvettem a hibaválaszok trajektóriáit a rendszert jellemző főkomponens fázistérben. Megvizsgáltam a trajektóriák hasonlóságát trajektória távolsági mértékekkel, és következtetéseket vontam le a hibatípusok elkülöníthetőségére vonatkozóan.
3. A diszkrét Fréchet-távolság metrikát használtam valós időben gyűjtött hibajelek összehasonlítására a létrehozott hibakönyvtárral a hibák elkülönítése érdekében, legközelebbi szomszéd osztályozási logikát alkalmazva. Vizsgáltam a módszer osztályozási képességeit eltérő működési feltételek széles skáláján különböző mérési zajerősség mellett. Arra a következtetésre jutottam, hogy a módszer képes volt pontosan megkülönböztetni a hibákat a módszer tanítása során alkalmazott bemeneti változók stacioner pontjához képesti $\pm 20\%$ -os intervallumban. A makroszintű átlagolt F_1 érték a hibák osztályozása során 0,99 feletti értéket mutatott.

Fontosabb kapcsolódó publikációk: 3

II. Igazoltam, hogy a módszer, melyben a kockázat felmérést integráltam a hiba felismeréssel, sikeresen alkalmazható kockázat alapú rendszerfelügyelet céljából az operátori terhek csökkentésére.

1. Kidolgoztam egy keretrendszert a Bayes-hálózatok, a hibamód- és hatáselemzés (FMEA), valamint a dinamikus főkomponens elemzés eredményeinek egyesítésére a kockázatalapú hibafelismeréshez.
2. Kidolgoztam egy módosított, dinamikus kockázati prioritási számot, amely a dinamikus főkomponens elemzéssel értékelt meghibásodások elmulasztott riasztási arányát, a Bayes-hálózatokon alapuló meghibásodási valószínűséget és a szakértői ismereteket használja fel a folyamatállapotok kockázati szintjének értékelésére.
3. A módosított kockázati prioritási számot arra használtam, hogy a folyamat rendellenességeit olyan osztályokba soroljam, amelyek riasztást indokolnak, és olyanokba, amelyek csak figyelmeztetést indokolnak. Ezen osztályok révén az üzemeltetők jobban meg tudják ítélni, hogy egy folyamathiba azonnali reagálást igényel-e vagy sem. Egy háromtartályos referencia-rendszer és egy dehidrogénező reaktor esettanulmányának felhasználásával arra a következtetésre jutottam, hogy a riasztások aránya 20-30%-kal csökkenthető, enyhítve a kezelőkre nehezedő terhelést a technológiai rendszerekben lehetségesen fellépő, nagy számú riasztás miatt.

Fontosabb kapcsolódó publikációk: 4, 5

III. Igazoltam, hogy a cellás modellek használhatóak adatgenerálásra hibadetektálási algoritmusok tanításához csökkent számítási igény mellett, a hibadetektálási képesség jelentős romlása nélkül.

1. A numerikus áramlástani módszerek eredményein alapuló cellás modellek fejlesztését és felhasználhatóságát vizsgáltam.
2. Fuzzy logikát alkalmaztam egy összetett rendszer áramlási jelenségeinek leírására és a rendszer egységugrásra adott válaszfüggvényének pontos közelítésére idealizált modellek hálózatának segítségével. Laboratóriumi méretű keverőtartályon végzett kísérletekből származó adatokkal validáltam a numerikus áramlástani módszerekkel felépített és cellás modellt.
3. A cellás modellt felhasználtam a keverőtartály hibafelismerési algoritmusának tanításához, és összehasonlítottam a kapott hibafelismerési sémát a numerikus áramlástani módszereken alapuló modelltől gyűjtött adatokon alapuló hibafelismerési sémával. Megállapítottam, hogy a cellás modellen alapuló hibadetektálási algoritmus tanításához szükséges adatmennyiséget 95%-kal kevesebb számítási idővel lehet előállítani, mint a numerikus áramlástani módszereken alapuló modell esetében. A cellás modellekkel generált adatok alkalmazásának ára a numerikus áramlástani módszerekkel generált adatok helyett a téves riasztási arány 16%-os növekedése és a hamis riasztási arány elhanyagolható növekedése. Arra a következtetésre jutottam, hogy a módszer felhasználható a rendszer folyamatváltozónak térbeli és időbeli vizsgálatára, és

elfogadható teljesítményű hibadetektálási módszerek kialakítására, jelentősen csökkentett számítási igény mellett.

Fontosabb kapcsolódó publikációk: 1, 2, 6

3. Hasznosítási lehetőségek

A doktori kutatásban bemutattam a hibaérzékelés és felismerés kihívásainak megválaszolására fejlesztett algoritmusokat.

Az első javasolt megoldás, a dinamikus főkomponens elemzés hibafelismerési módszerének kiegészítése egy trajektória hasonlósági mértéken alapuló hibaaazonosítási lépéssel, mely a legközelebbi szomszédok osztályozás elvén alkalmas rendellenességek gyökérokainak meghatározására. Az eredmények alapján az algoritmus jó hibafelismerési és hibaosztályozási képességekkel rendelkező változó üzemeltetési állapotok és jelentős (a hibajel 1-5%-os nagyságrendjébe eső) mérési zaj jelenlétében is. A módszer historikus üzemeltetési adatok vagy folyamatszimulátor rendelkezésre állása esetén könnyen kiterjeszhető más rendszerek felügyeletére is, amint a dinamikus főkomponens elemzési algoritmus tanításához és a hibakönyvtár felállításához elég referencia áll rendelkezésre.

A kockázatértékelési technikák és a hibafelismerési módszerek egyesítésének lehetőségét vizsgáltam a második javasolt algoritmus esetében. A felügyelt rendszerekben felismerhető rendellenességek közt hierarchiát állítottam fel egy, a módszer során javasolt kockázat prioritási mérőszám segítségével, ezáltal támogatva a kezelőket a rendellenes események rangsorolásában a beavatkozás szükségessége szempontjából. Az eredmények alapján a módszer hatékonyan el tudta különíteni az erősen és kevésbé kockázatos hibajelenségeket, ezáltal segítve a technológiát üzemeltető kezelők munkáját. A módszer

könnyen kiterjeszhető egyéb technológiai rendszerekre, amennyiben megfelelő mennyiségű historikus adat áll rendelkezésre a rendszer üzemeltetéséről, valamint a hibamód- és hatáselemzés, mint alapvető ipari elemzés is rendelkezésre áll.

A harmadik vizsgált kutatási pont az elosztott paraméterű rendszerekben történő hibafelismerést helyezte középpontba. A vizsgálatok célja olyan redukált modellek előállításának volt vegyipari rendszerek leképezéséhez, melyek megfelelően képesek leírni a rendszert jellemző folyamatváltozók térbeli és időbeli eloszlását, elfogadhatóan alacsony számítási igényrel. A modellekkel generált adatok segítségével hibadetektálási algoritmusok tanítása történt, a részletes és redukált modellek segítségével felállított hibafelismerési sémák hibafelismerési képességeit hasonlítottam össze egy statikus keverőkkel ellátott tartály esetében. A redukált modellek felépítésének általam javasolt általános menete könnyen kiterjeszhető egyéb vegyipari műveleti egységekre amennyiben ezek stacioner működéséről numerikus áramlástan szimulációk rendelkezésre állnak. A kifejlesztett modellek továbbá nemcsak a hibafelismerési algoritmusok alacsonyabb számítási igényű tanítását teszik lehetővé, hanem az adott rendszer elemzéséhez, érzékenységvizsgálatok elvégzéséhez is hasznos és számítási szempontból költséghatékony megoldást jelentenek.

Publikációs lista

A doktori értekezés alapját képező közlemények

Külföldi folyóiratban megjelent publikációk:

1. Tarcsay, B. L., Bobek-Nagy, J., & Egedy, A. (2022). Experimental and modeling based dead-volume detection for externally stirred tanks. *Chemical Engineering Communications*, 209(6), 1-15. IF: 2.705 (2022), (Q2)

2. Tarcsay, B. L., Németh, S., Chován, T., & Bárkányi, Á. (2022). Development of CFD based Compartment Models for Analysing High Risk Processes. *Chemical Engineering Transactions*, 91, 487-492. IF: 0.983 (2022), (Q3)
3. Tarcsay, B. L., Bárkányi, Á., Chován, T., & Németh, S. (2022). A Dynamic Principal Component Analysis and Fréchet-Distance-Based Algorithm for Fault Detection and Isolation in Industrial Processes. *Processes*, 10(11), 2409. IF: 3.724 (2022), (Q2)
4. Bárkányi, Á., Tarcsay, B. L., Lovas, L., Mérő, T., Chován, T., & Egedy, A. (2024). Future of hydrogen economy: simulation-based comparison of LOHC systems. *Clean Technologies and Environmental Policy*, 26(5), 1521-1536. IF:4.748 (2023), (Q1)
5. Tarcsay, B. L., Bárkányi, Á., Németh, S., Chován, T., Lovas, L., & Egedy, A. (2024). Risk-Based Fault Detection Using Bayesian Networks Based on Failure Mode and Effect Analysis. *Sensors*, 24(11), 3511. IF: 4.246 (2023), (Q1)

Hazai folyóiratban megjelent publikációk:

6. Tarcsay, B. L., Bárkányi, Á., Chován, T., & Németh, S. (2021). Development of Compartment Models for Diagnostic Purposes. *Hungarian Journal of Industry and Chemistry*, 49(1), 47-58.