

PREDIKCIÓN ALAPULÓ DIAGNOSZTIKA
MESTERSÉGES INTELLIGENCIA
MÓDSZEREK FELHASZNÁLÁSÁVAL

doktori (PhD) értekezés tézisei

Készítette: NÉMETH ERZSÉBET

a Pannon Egyetem

Informatikai Tudományok Doktori Iskolája keretében

Témavezető: Dr. Hangos Katalin
egyetemi tanár

Számítástudomány Alkalmazása Tanszék
Pannon Egyetem
Veszprém

2006

1. BEVEZETÉS, CÉLKITŰZÉS

A bonyolult és nagy méretű biztonságkritikus üzemek berendezéseinek meghibásodása elkerülhetetlen. A bekövetkező hiba, meghibásodás megváltoztatja a rendszer tulajdonságait, ezáltal a működését. Hibás működés esetén elengedhetetlen, hogy minél gyorsabban és pontosabban lokalizálni lehessen az esetleges hibát, majd ezen információ birtokában el kell dönteni, hogy ez milyen káros hatással van a jövőre nézve. Ha lehetséges és elegendő információ áll rendelkezésre, akkor az időben felismert hibát még korrigálni lehet.

Mint legtöbb mérnöki területen, így a folyamatrendszerekben is fontos szerepet tölt be és az utóbbi időben egyre inkább előtérbe kerül a hiba detektálás és diagnosztika (Fault Detection and Diagnosis, FDD). Az abnormális (rendkívüli) események kezelésének (Abnormal Event Management, AEM) [26] manapság szintén nagy figyelmet szentelnek. A rendkívüli események kezelése, amelynek a hibadetektálás és -diagnosztika egyik fő eleme, egy rendszerben előforduló hibák abnormális feltételeinek időben történő detektálásával, diagnosztikájával és korrigálásával foglalkozik. Mialatt az üzem/gyár egy irányítható tartományban üzemel, a hibák korai felismerése és diagnosztikája segít az abnormális események tovaterjedésének megakadályozásában és csökkenti a termelékenység kiesést.

Az ipari statisztikák azt mutatják, hogy a nagyobb katasztrófák a vegyi üzemek hibáiból következnek be. Itt a kisebb hibák is nagyon gyakoriak (szinte nap mint nap bekövetkeznek), ezek foglalkozási sérüléseket, megbetegedéseket és több milliárd dolláros költségeket okozhatnak [13]. Ezért nagyon fontos a hibákat, meghibásodásokat még korai szakaszukban felismerni, hogy az esetleges káros, súlyos következményeket el lehessen kerülni.

A gyárak, üzemek operátorai általában nem rendelkeznek megfelelő magas szintű szaktudással az általuk felügyelt, működtetett rendszerre vonatkozóan. Pedig kulcsfontosságú lehet egy abnormális esemény vagy veszély hatására a megfelelő időben a megfelelő döntést meghozni és beavatkozni, hogy a rendszer visszakerüljön egy normális, biztonságos működési módba. Ehhez azonban magas szintű, rendszerezett elméleti és gyakorlati tudásra van szükség. A heurisztikus működtetési információk beszerezhetők a veszély azonosítása és elemzése, valamint a károk felmérése és csökkentése során, felhasználva az ún. *folyamat működésképeségi elemzés*

(Process Hazard Analysis, PHA) [4] módszerét. A PHA tanulmányokban számos módszert használnak, mint pl. a hibafa elemzést (Fault Tree Analysis, FTA), a működőképesség- és veszélyelemzést (Hazard and Operability Analysis, HAZOP) [5], vagy a meghibásodásmód és -hatás elemzést (Fault Mode Effect Analysis, FMEA) [1].

Az operátori szaktudás esetleges hiányának pótlására olyan *intelligens rendszerek* [18] támogatása szükséges, amelyek biztosítják a rendszer vagy üzem biztonságos működését. Ezen intelligens rendszerek valamilyen heterogén, szakértőktől származó tudást (HAZOP, FMEA), a rendszer valamilyen dinamikus modelljét és az üzemi tapasztalatokat egy egységes keretrendszerben felhasználva működnek. Mivel minden üzem más és más, ezért nehéz és nem is célszerű egy egységes, tématerülettől független intelligens diagnosztikai rendszer megvalósítása.

Doktori munkám tárgyául a fentiek miatt a nagyméretű és bonyolult vegyi üzemekben (folyamatrendszerekben) alkalmazható intelligens diagnosztikai módszerek kutatását, fejlesztését és vizsgálatát választottam.

1.1. A felhasznált eszközök és módszerek

A kutatási munka erősen interdiszciplináris jellege miatt több tudományterületről, a rendszer- és irányításelmélet, a mesterséges intelligencia és a folyamatrendszerek elméletének területéről alkalmaztam eszközöket és módszereket.

Predikción alapuló diagnosztika A folyamat hiba diagnosztikának (process fault diagnosis) [2, 12] hatalmas irodalma van az analitikus módszerektől (pl. [6]) a mesterséges intelligencián alapuló technikákon (pl. [30]) át a statisztikai megközelítésekig (pl. [27]).

A hibadetektáló és -diagnosztikai módszerek három fő csoportba sorolhatók [11]: a modell nélküli, a modell alapú és a tudás alapú módszerek.

A modell nélküli módszerek nem használják a rendszer modelljét. Például, ha a rendszer megközelíthetőleg egy állandósult állapot környezetében működik, akkor legtöbbször a határérték átlépés ellenőrzés jól működik. Ezen módszerek nagy előnye az egyszerűség és a gyorsaság és a megbízhatóság. A hátrányok akkor jelentkeznek, ha a rendszernek nincs vagy túl gyakran változik a működési tartománya, mivel ilyen esetben a változók határértékének figyelésének bemenet- és szituációfüggő beállítási is nehéz feladatnak bizonyulhatnak.

A modell alapú módszerek lényege a jel és folyamatanalízisen alapuló analitikus redundancia vizsgálata. A mérhető jelek analízisére leggyakrabban korrelációs függvényeket, frekvenciatartománybeli vagy statisztikai döntéseméleti vizsgálati módszereket alkalmaznak. A folyamatok analíziséhez a modell alapú módszerek esetében a folyamatok és meghibásodások matematikai modelljeivel együtt legtöbbször paraméter- és állapotbecslőket és hibadetektáló szűrőket használnak [12].

A predikción alapuló diagnosztika rendszerelméleti megközelítésben A rendszerelméletben a dinamikus rendszerek leírására a bemenet-kimenet modellek mellett állapotter modelleket (state-space model) használnak [8]. A rendszereket a külső környezetből zavarások érhetik. A zavarásokat, mint a rendszer egy ismeretlen (nem irányítható) bemenetét lehet modellezni. A folyamat hibák tehát olyan zavarásoknak tekinthetők, amelyek a rendszerre hatnak és változást okoznak a rendszer kimenetén függetlenül a mért bemenetektől. A nemlineáris időinvariáns diszkrét idejű állapotter modell zavaró változókkal kibővített alakja az alábbi formában adható meg:

$$\begin{aligned}x(k+1) &= \bar{f}(x(k), u(k), z(k)), \quad x(0) = x_0 \\y(k) &= \bar{h}(x(k), u(k), z(k))\end{aligned}$$

ahol $x(k)$ az állapotváltozókból álló vektor, $u(k)$ a bemeneti változókból álló vektor, $y(k)$ a kimeneti változókból álló vektor, $z(k)$ a zavarásvektor és \bar{f} , \bar{h} sima nemlineáris függvények.

A diagnosztika célja, hogy különböző meghibásodási módokban felfedezze, detektálja és izolálja a rendszerhibákat és meghibásodásokat a mért adatokból és a jó, valamint a hibás működést leíró rendszer modellekből. Ha a diagnosztizálandó dinamikus rendszer rendszerelméleti modellje rendelkezésünkre áll, akkor két típusú diagnosztikát végezhetünk [7]: a predikciós hibán alapuló diagnosztikát és az identifikáción alapuló diagnosztikát.

Modellegyszerűsítés diagnosztikai céllal A rendszer- és irányításelméletben különböző célokhoz különböző részletezettségű modellek szükségesek. Ezért egy adott célra készített modellnek a valós rendszer minden jelentős dinamikai tulajdonságával rendelkeznie kell (ilyenek például a stabilitási tulajdonságok, vagy a rendszer fő időállandói), azonban ne tartalmazzon olyan viselkedést, amely az adott cél szempontjából az állapotváltozóknak elhanyagolható hatású, vagy nem kapcsolódik a célokhoz. Az

irodalomban számos különböző módszer található modellegyszerűsítésre és -redukcióra egy megfelelő méretű és komplexitású modell meghatározásához, amelyeket a modellegyszerűsítés során alkalmazott mérnöki tudás szerint osztályozhatjuk.

A modellredukciós módszerek teljesen fekete-doboz típusúak: állapottranszformációkat alkalmaznak, hogy meghatározzák az eredeti állapotváltozók azon kombinációját, amelyeknek nincs jelentős hatásuk a rendszer bemenet-kimenet viselkedésére és ezért ezek elhagyhatók.

A modellegyszerűsítő módszerek a mérnöki tudást és a működtetési tapasztalatokat használják fel arra, hogy elhagyjanak állapotváltozókat. Az elhagyandó állapotváltozók kiválasztása az eredeti állapot változó dinamikáján és fizikai jelentésén alapszik. Például Leitold *et al.* (2000) [14] és Hantos and Cameron (2000) [8] egy gráfelméleti módszert ismertettek koncentrált paraméterű dinamikus folyamatmodellek struktúra egyszerűsítésére. Németh *et al.* (2005) [15] a koncentrált paraméterű nemlineáris állapottér modellek modellegyszerűsítésére egy olyan szisztematikus módszert ad, amely figyelembe vesz egy előre definiált performancia kritériumot és a fizikai meglátásokon alapszik.

A fentiekől eltérően a predikció alapú diagnosztikai célú modellegyszerűsítés nem analitikus, hanem empirikus ismereteken alapszik és a modellegyszerűsítés célja a modell méretének csökkentése úgy, hogy a modell egy adott hibamódban leírja a hibás működést, ezáltal alkalmas legyen diagnosztikai célú felhasználásra.

A tudás alapú diagnosztikai módszerek A tudás alapú módszerek a megfigyelt szimptomákon és a folyamatrendszerrel rendelkezésre álló heurisztikus ismereteken alapszanak, ahol a szimptomáknak a folyamat jellegzetes mérhető változóinak a normális működésbeli referencia értékétől való eltérését tekintjük. Ha nem áll rendelkezésre információ a hibák vagy szimptomák ok-okozatiságára vonatkozóan, akkor a tapasztalatok alapján tanított statisztikai vagy geometriai osztályozó módszereket alkalmaznak hibadiagnosztikára. Ha a hibák-szimptomák ok-okozatiságát le lehet írni „if-then” alakú szabályokkal, akkor a következtetési módszereket szokás alkalmazni.

A tudásalapú diagnosztikai technikák nem csak a felhasznált információk típusában különböznek, hanem a diagnosztikai keresési stratégiákban is. Általában a diagnosztikai keresési stratégia erősen függ az ismeretek reprezentációs sémájától, amelyet az a priori ismeretek sajátosságai hatá-

roznak meg. Ezért a felhasznált a priori információk (a meghibásodások halmaza, a megfigyelések (szimptómák) és meghibásodások közötti relációt leíró kapcsolatok) típusa a legfontosabb megkülönböztető sajátosság a tudásalapú diagnosztikai rendszerekben. Az a priori információt felhasználó diagnosztikai módszerek csoportosítását és részletes ismertetését Venkatasubramanian *et al.* (2003) [26, 24, 25] közleményeiben tárgyalja.

A tudás alapú diagnosztikai rendszerekben leggyakrabban az alábbi megközelítési módszertant és eszközkészletet használják:

- Petri hálók,
- szakértői rendszerek,
- multi-ágens rendszerek.

Petri hálók diagnosztikai alkalmazása A színezett Petri háló modellek alkalmasak különböző modellezési módszerek (pl. ok-okozati szabályokat alkalmazó modell-alapú következtetés) felhasználásával diagnosztikai problémák modellezésére. Elsőként Portinale (1993) [16] közölt megoldást a diagnosztikai problémák Petri háló alapú modellezésére és megoldására abban az esetben, ha a diagnosztikai problémát datalog szabályok [8] formájában modellezzük.

A Petri hálók hibadiagnosztikai felhasználásának egy másik módja az összefüggő hibafák ábrázolása és azok elemzése. Ezzel a tématerülettel foglalkozik Zouakia *et al.* (1999) [31] közleménye.

Petri hálók más mesterséges intelligencia területén alkalmazott technikákkal kombinálva (például fuzzy következtetések [19], neurális hálók [17]) szintén lehetőséget biztosítanak hibadiagnosztikai felhasználásra. A fenti esetekben a Petri háló általában csak egy keretrendszer, amelyben az alkalmazott technikák felhasználásra kerülnek.

A gráfelméleti alapon nyugvó előjeles irányított gráf (signed directed graph, SDG), amely ok-hatás kapcsolatok leírására alkalmas, széles körben alkalmazott eszköz a hibadiagnosztika területén [24].

Néhány közlemény [22, 21, 28] foglalkozik Petri háló modellek automatizált HAZOP analízisre való felhasználásával, amelyben HAZOP-digráf (HDG) modelleket használnak fel a diagnosztikai feladat végrehajtásához.

Szakértői diagnosztikai rendszerek A diagnosztizáló problémákat megoldó szakértői rendszerek [9] az egyik fő alkalmazási területe a szakértői rendszereknek, ezért az irodalma hatalmas. Az irodalomban fellelhetők különböző folyamatrendszerekhez kapcsolódó diagnosztikai szakértői

rendszerek, amelyekről Venkatasubramanian *et al.* (2003) [25] egy áttekintést ad a szakértői rendszerek hibadetektálás és diagnosztikai célú alkalmazására.

Venkatasubramanian és társai (pl. [21, 23]) foglalkoznak HAZOP ismeretek szakértői diagnosztikai rendszerekben való felhasználásával.

Multi-ágens rendszerek diagnosztikai alkalmazása Az ágensek értelmezhetőségének sokszínűsége miatt a multi-ágens rendszerek alkalmazhatósága is igen sokrétű. Az ágensek és a multi-ágens rendszerek lehetséges felhasználási területei közül igen nagy szerepet kapnak a szimulációs alkalmazások. Az ágensek nagyon hasznosak a diagnosztikai alkalmazások megvalósításakor (pl. [20, 29]), mert a különböző részfeladatokat egymástól elkülönítve vannak, csak a szükségeseket kell végrehajtani egy adott diagnosztikai lépésben. Mivel az ágensek nem helyhez kötöttek, ezért fizikailag távol eső helyeken is tudnak működni.

A predikciós tudás alapú diagnosztikai rendszerek elemei A tudás alapú predikciós elven működő diagnosztikai rendszerek irodalmában már kikristályosodtak azok az elemek és fogalmak, amelyek szükségesek egy ilyen rendszer felépítéséhez.

Gyökér ok A tudás alapú hiba detektálásban és diagnosztikában a rendszer minden meghibásodási módjához rendelhető egy ún. gyökér ok. Ezen gyökér okok bekövetkezésének egy variációja adja egy hiba okát. A gyökér okok gyakran nem mérhetőek és diszkrét értékűek (indikátor változók), így egy gyökér ok rendszerelméleti szempontból úgy írható le, mint egy nem mérhető zavarás egy diagnosztikai célú folyamatrendszerben.

Szimptómák Egy mérhető vagy számítható mennyiségeken definiált relációt szimptómának nevezünk, ha kapcsolódik egy tetszőleges meghibásodás vagy hiba egy gyökér okához. A szimptómák működési szempontból felismert devianciák, amelyeket a rendszer dinamikus viselkedése következtében időfüggő módon azonosíthatunk. Egy szimptóma definíciójában szereplő relációk leggyakrabban egyenlőtlenségekként jelennek meg. A szimptómák értékkészlete a logikai értékek halmaza (igaz vagy hamis). Dinamikus rendszerek esetében a mérhető mennyiségek többsége olyan változó, amely időben változó értéket vesz fel, ezért egy szimptóma értéke (vagy jelenléte) szintén egy időben változó mennyiség.

Veszélyelemzés, veszélyazonosítás A hibadetektálási és diagnosztikai feladatokhoz [26] szükséges információk eltérő karakterisztikával jelle-

mezhető különféle forrásokból nyerhetők ki. Ezek az információforrások tartalmazzák a koncepcionális tervezési tanulmányokat és a kockázatelemzést, ezen túlmenően a részrendszerek vagy konkrét működési módok [8] részletes dinamikus modelljeit, továbbá operátoroktól és egyéb üzemi munkásoktól származó heurisztikus működtetési tapasztalatokat.

HAZOP A működőképesség- és veszélyelemzés (HAZard and OPerability analysis, HAZOP) [5] módszeres megközelítést alkalmaz azoknak a veszélyeknek és üzemeltetési problémáknak a feltárásához, amelyek a rendeltetészerű, normális működéstől való eltérésekből erednek, és amelyek káros következményekkel járhatnak. A HAZOP elemzésnek az az elve, hogy a rendszer paramétereinek vagy változóinak normális állapottól való eltérését a már létező vagy kialakulóban lévő hibák okozzák.

FMEA A meghibásodásmód és -hatás elemzése (Fault Mode Effect Analysis, FMEA) [1] tetszőleges rendszerek, alrendszerek, berendezések, funkciók, technológiai eljárások diagnosztikai szempontú minőségi analízise. Elsősorban mechanikai és villamos berendezések meghibásodásának vizsgálatára használják, ellentétben a HAZOP módszerrel, amely a rendszerben zajló folyamatok egymásutánosságát, ok-okozati kapcsolatait elemzi. Az FMEA feltérképezi maguknak a berendezéseknek, alrendszereknek a lehetséges meghibásodását, és a meghibásodások helyi és rendszer szintű következményeit.

A HAZOP és FMEA eredmények rögzített szerkezetű táblázatos formában adóttak, ahol azonban a hibaizolációs elemeket beszélt nyelven írják le.

Többléptékű modellezés A technológia fejlődésével egyre bonyolultabb üzemeket terveznek, építenek és működtetnek. Ezen összetett rendszerek leírására az utóbbi években egyre népszerűbb, *többléptékű (multiscale) modellezés* [3] a legalkalmasabb, bár ez még kevésbé alkalmazott, változóban, fejlődésben lévő terület.

Egy többléptékű modell (multiscale model) [10] egy összetett matematikai modell, amely két vagy több részleges modellből áll, amelyek különböző léptékszinteken (méret-, időskála) írják le a jelenségeket.

A léptékszintek (vagy skálák) általában az objektumok karakterisztikus ideje vagy mérete mentén alakíthatók ki és tartalmazzák a modell által leírt jelenségeket. A skálatérképek segítségével objektumok, folyamatok vagy jelenségek elhelyezkedése ábrázolható a karakterisztikus idő vagy méret

vagy mindenkettő szerint logaritmikus tengelyen.

1.2. Célkitűzés

Munkám célja olyan predikción alapuló diagnosztikai algoritmusok és módszerek kidolgozása volt, amelyek komplex, több berendezést magába foglaló folyamatrendszerek [8] meghibásodásakor képesek lokalizálni a hibát, majd a szakértők által meghatározott HAZOP és/vagy FMEA analízis eredményeinek segítségével meghatározzák a hiba lehetséges helyét és annak következményeit a berendezés és/vagy rendszer működésére nézve, valamint tanácsot adnak a lehetséges beavatkozásokra, veszteség megelőzésre. Az algoritmusok alkalmazhatóságát és megvalósítási lehetőségeit a mesterséges intelligencia területén szokásosan alkalmazott módszerek felhasználásával terveztem megvalósítani, és az elkészített prototípus diagnosztikai rendszerek felhasználásával esettanulmányok segítségével szándékoztam a kifejlesztett módszereket és eszközöket bemutatni és tulajdonságaikat megvizsgálni.

Ezen belül az alábbi feladatokat fogalmaztam meg.

- Egy színezett Petri háló alapú diagnosztikai keretrendszer elkészítése.
- Egy predikción alapuló diagnosztikai szakértői rendszer elkészítése.
- Egy predikción alapuló diagnosztika multi-ágens rendszerrel való megvalósítása.
- Egy olyan többléptékű folyamatmodelleket egyszerűsítő eljárás elkészítése, amely diagnosztikai célra alkalmas és a mérnöki gyakorlatban szokásos egyszerűsítő lépéseket használ fel.

2. ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK

Az értekezésben bemutatott új tudományos eredményeket az alábbi tézisekben foglalom össze.

1. Tézis *Predikción alapuló diagnosztika színezett Petri hálóval* (3. fejezet)

([P1], [P2], [P3], [P4], [P5])

Módszert dolgoztam ki predikción alapuló diagnosztika színezett hierarchikus Petri hálóval való megvalósítására, amellyel meghatároztam a Petri háló alapú diagnosztikai rendszer struktúráját és tudáselemeit. A diagnosztikai rendszerben használt információkat három rétegben különítettem el az információk típusa szerint: a hierarchikus (többléptékű) modell réteg, a szimptóma azonosítás réteg és a gyökér okok meghatározása réteg. A rétegeken belüli elemek a többléptékű modell hierarchiáját követik. A HAZOP táblából származó információkat „if - then” alakú szabályokká alakítottam.

A diagnosztikai rendszer megvalósításához a Design/CPN színezett Petri hálók építésére és használatára készült szoftver csomagot választottam.

2. Tézis *Predikción alapuló diagnosztikai szakértői rendszer* (4. fejezet)

([P6], [P7], [P13])

Módszert ajánlottam predikción alapuló diagnosztikai szakértői rendszer megvalósítására. A diagnosztikai szakértői rendszert a következőképpen építettem fel.

- (a) A tudásábrázolás a többléptékű diagnosztikai szakértői rendszer megvalósításához szükséges és a szakértők által meghatározott tudást írja le. A HAZOP táblából származó heurisztikus tudáselemeket (szimptómák, gyökér okok és megelőző beavatkozások) és a köztük lévő logikai kapcsolatokat szabályok formájában reprezentáltam. A HAZOP tábla egy-egy sorát egy (*ok, következmény, megelőző beavatkozás*) rendezett hármassal azonosítottam.
- (b) A diagnosztika szabály alapú következtetési módszerre épül. A HAZOP táblából származó információkból létrehozott szabályok alkotják a tudásbázist, amelyet két részre tagoltam: diagnosztikai szabályok és megelőző beavatkozást meghatározó szabályok.

A szimptóma detektálás után a szimptómához kapcsolódó releváns részmodell vagy hierarchia szint megtalálásához *fókuszálást* alkalmaztam, felhasználva a modell és a szabályok hierarchiáját.

A predikció szerepet játszik a hiba izolálása során is úgy, hogy a rendszer összehasonlítja az előző diagnosztikai lépésben kapott predikált változó értékeket a megfelelő mért értékekkel, ily módon távolítja el a téves/hamis okokat.

A diagnosztikai rendszer megvalósításához a G2 szakértői keretrendszert választottam.

3. Tézis *Predikción alapuló diagnosztika multi-ágens rendszerrel* (5. fejezet)

([P8], [P10], [P11])

Módszert dolgoztam ki predikción alapuló diagnosztika multi-ágens rendszerekkel való megvalósítására. Az ágens alapú diagnosztikai rendszert a következő elemekből építettem fel.

- (a) A tudásreprezentáció eszközeként a diagnosztikai rendszer általános és moduláris alkalmazhatóságát figyelembe véve két ontológia halmazt definiáltam. A folyamatspecifikus ontológia írja le a folyamatrendszerek fogalmait és azok kapcsolatait a megszorításokkal együtt. A diagnosztikai ontológia a diagnosztikai fogalmak, valamint a különböző diagnosztikai eszközök és eljárások szemantikáját formalizálja. Egy valós idejű adatbázisban tároltam az ontológiákban szereplő, időben változó elemeket.
- (b) Az ágenseket csoportosítottam az általuk használt ontológia alapján, így vannak a folyamatokhoz kapcsolódó ágensek, a diagnosztikához kapcsolódó ágensek és a valós idejű kiszorgálásokhoz kapcsolódó ágensek.

A diagnosztikai ágensek egymással együttműködve következtetnek és/vagy numerikus számításokat végeznek a hiba vagy meghibásodás minél pontosabb azonosítása (Hiba izolátorok), valamint a teljesebb (Teljesség koordinátor ágens) és ellentmondásmentesebb (Ellentmondás vagy konfliktus feloldó ágens) diagnosztika érdekében.

A hiba izolációt az ágens alapú diagnosztikai módszernél a szimptómából visszafelé haladó következtetéssel dolgozó HAZOP és a győ-

kér okból előrefelé haladó következtetést megvalósító FMEA módszerek koordinált működésével értem el.

A diagnosztikai rendszer megvalósításához a JADE Java alapú ágens fejlesztő környezetet választottam, integrálva a JESS következtető géppel, a Protégé ontológia szerkesztővel és a MATLAB/SIMULINK szimulációs környezettel.

4. Tézis *Többléptékű modellek egyszerűsítése diagnosztikai célból* (6. fejezet)

([P9], [P12])

Módszert javasoltam predikciós diagnosztikai célra szolgáló többléptékű folyamatmodellek egyszerűsítésére. Kiindulásként a többléptékű folyamatmodellek modellegyszerűsítésének probléma kitűzését formális eszközökkel írtam le és meghatároztam az egyszerűsítés szükséges feltételét: az időskála szintjeinek kellő szétválását. Meghatároztam a többléptékű modellek modellegyszerűsítésének lépéseit: az adott diagnosztikai szcenáriónak megfelelő időszint meghatározását az időskálán; a skála-redukált nemlineáris modell kiválasztását; a skála-redukált lineáris modell felírását; a skála-redukált lineáris modell paramétereinek meghatározását. Módszert javasoltam az időskála szétválás empirikus meghatározására a részletes többléptékű modellen vagy a valódi rendszeren elvégezhető egységugrás-válaszfüggvények analízisével.

3. AZ ÉRTEKEZÉS TÉMAKÖRÉBŐL KÉSZÜLT PUBLIKÁCIÓK

- [P1] **E. Németh** and K. M. Hangos, „Prediction-based diagnosis using coloured Petri nets,” in *Proceedings of the 4th International PhD Workshop on Information Technologies and Control - Young Generation Viewpoint, Libverda, Czech Republic, 2003*. on CD. (**1. tézis**)
- [P2] **E. Németh**, R. Lakner, K. M. Hangos, and I. T. Cameron, „Hierarchical CPN model-based diagnosis using HAZOP knowledge,” Technical report of the Systems and Control Laboratory SCL-009/2003, Computer and Automation Research Institute of HAS, 2003. <http://daedalus.scl.sztaki.hu>. (**1. tézis**)
- [P3] **E. Németh**, „Diagnostic goal driven modelling and simulation of multiscale process systems,” in *Proceedings of the 5th International PhD Workshop on Systems and Control - Young Generation Viewpoint, Balatonfüred, Hungary, 2004*. on CD. (**1. tézis**)
- [P4] **E. Németh** and K. M. Hangos, „Multi-scale process model description by generalized coloured CPN models,” Technical report of the Systems and Control Laboratory SCL-002/2004, Computer and Automation Research Institute of HAS, 2004. <http://daedalus.scl.sztaki.hu>. (**1. tézis**)
- [P5] **E. Németh**, I. T. Cameron, and K. M. Hangos, „Diagnostic goal driven modelling and simulation of multiscale process systems,” *Computers and Chemical Engineering*, vol. 29, pp. 783–796, 2005. (**1. tézis**)
Impakt faktor: 1.678 (2004)
- [P6] **E. Németh**, R. Lakner, K. M. Hangos, and I. T. Cameron, „Prediction-based diagnosis and loss prevention using model-based reasoning,” in *Lecture Notes in Artificial Intelligence*, vol. 3533, pp. 367–369, Springer-Verlag, 2005. (**2. tézis**)
Impakt faktor: 0.251 (2004)

- [P7] **E. Németh**, R. Lakner, K. M. Hangos, and I. T. Cameron, „Prediction-based diagnosis and loss prevention using qualitative multi-scale models,” in *European Symposium on Computer Aided Process Engineering - 15* (L. Puigjaner and A. Espuna, eds.), vol. 20A of *Computer-Aided Chemical Engineering 20 A/B*, pp. 535–540, Elsevier Science, 2005. (**2. t zis**)
- [P8] **E. Németh**, R. Lakner, and K. M. Hangos, „A multi-agent prediction-based diagnosis system,” in *Proceedings of the 6th International PhD Workshop on Systems and Control - Young Generation Viewpoint, Izola, Slovenia*, 2005. on CD. (**3. t zis**)
- [P9] **E. Németh**, R. Lakner, and K. M. Hangos, „Diagnostic goal-driven reduction of multiscale process models,” Technical report of the Systems and Control Laboratory SCL-001/2005, Computer and Automation Research Institute of HAS, 2005. <http://daedalus.scl.sztaki.hu>. (**4. t zis**)
- [P10] R. Lakner, **E. Németh**, K. M. Hangos, and I. T. Cameron, „Multi-agent realization of prediction-based diagnosis and loss prevention,” in *Lecture Notes in Artificial Intelligence*, vol. 4031, pp. 70–80, Springer-Verlag, 2006. (**3. t zis**)
Impakt faktor: 0.251 (2004)
- [P11] R. Lakner, **E. Németh**, K. M. Hangos, and I. T. Cameron, „Agent-based diagnosis for granulation processes,” 2006. Accepted to the ESCAPE-16 Conference. (**3. t zis**)
- [P12] **E. Németh**, R. Lakner, and K. M. Hangos, „Diagnostic goal-driven reduction of multiscale process models,” *Model Reduction and Coarse-Graining Approaches for Multiscale Phenomena*, ed. by A.N. Gorban, N. Kazantzis, Y.G. Kevrekidis, H.C. Ottinger, C. Theodoropoulos (Springer, Berlin–Heidelberg–New York 2006), 2006. In press. (**4. t zis**)
- [P13] **E. Németh**, R. Lakner, K. M. Hangos, and I. T. Cameron, „Prediction-based diagnosis and loss prevention using qualitative multi-scale models,” *Submitted to Information Sciences*, 2006. (**2. t zis**)

4. EGYÉB PUBLIKÁCIÓK

- [O1] **E. Németh** and K. M. Hangos. Deadlock analysis in hierarchical Petri nets. In *Proceedings of the 3rd International PhD Workshop on Advances in Supervision and Control Systems - Young Generation Viewpoint, Strunjan, Slovenia, 2002.* on CD.
- [O2] Á. Kovács, **E. Németh**, and K. M. Hangos. Coloured Petri net model of a simple runway. Technical report of the Systems and Control Laboratory SCL-001/2004, Computer and Automation Research Institute of HAS, 2004.
<http://daedalus.scl.sztaki.hu>.
- [O3] Á. Kovács, **E. Németh**, and K. M. Hangos. Modeling and optimization of runway traffic flow using coloured Petri nets. In *International Conference on Control and Automation - ICCA05*, pages 881–886, 2005. on CD.

HIVATKOZÁSOK

- [1] *System Safety Handbook*, chapter 9: Analysis Techniques. Federal Aviation Administration, 2000.
http://www.faa.gov/library/manuals/aviation/risk_management/ss_handbook/media/Chap9_1200.pdf.
- [2] M. Blanke, M. Kinnaert, J. Junze, M. Staroswiecki, J. Schroder, and J. Lunze. *Diagnosis and Fault-Tolerant Control*. Springer-Verlag, 2003.
- [3] I. T. Cameron, G. D. Ingram, and K. M. Hangos. Multiscale process modelling. In *Computer Aided Process and Product Engineering*, 2004.
- [4] I. T. Cameron and R. Raman. *Process Systems Risk Management*. Elsevier, 2005.
- [5] F. Crawley and B. Tyler. *HAZOP: Guide to best practice*. The Institution of Chemical Engineers, Rugby, U.K., 2000.
- [6] A. Edelmayer, J. Bokor, F. Szigeti, and L. Keviczky. Robust detection filter design in the presence of time varying system perturbations. *Automatica*, 33(3):471–475, 1997.
- [7] K. M. Hangos, J. Bokor, and G. Szederkényi. *Computer Controlled Systems*. Veszprémi Egyetem, 2003.
- [8] K. M. Hangos and I. T. Cameron. *Process modelling and model analysis*. Academic Press, 2001.
- [9] P. Harmon and B. Sawyer. *Creating Expert Systems for Business and Industry*. Wiley&Sons, Inc., 1990.
- [10] G. D. Ingram. *Multiscale modelling and analysis of process systems*. PhD thesis, Division of Chemical Engineering, School of Engineering, The University of Queensland, 2006.
- [11] R. Isermann. *Process fault diagnosis based on dynamic models and parameter estimation methods*. Prentice Hall, 1989.

- [12] R. Isermann. Model-based fault-detection and diagnosis - status and applications. *Annual Reviews in Control*, 29(1):71–85, 2005.
- [13] M. Laser. Recent safety and environmental legislation. *Transactions IchemE*, 78(B):419–422, 2000.
- [14] A. Leitold, K. M. Hangos, and Z. Tuza. Structure simplification of dynamic process models. *Journal of Process Control*, 12:69–83, 2000.
- [15] H. Németh, L. Palkovics, and K. M. Hangos. Unified model simplification procedure applied to a single protection valve. *Control Engineering Practice*, 13(3):315–326, 2005.
- [16] L. Portinale. Exploiting T-invariant analysis in diagnostic reasoning on a petri net model. In Ajmone Marsan, M., editor, *Lecture Notes in Computer Science; Application and Theory of Petri Nets 1993, Proceedings 14th International Conference, Chicago, Illinois, USA*, volume 691, pages 339–356. Springer-Verlag, 1993.
- [17] Y. Power and P. A. Bahri. A two-step supervisory fault diagnosis framework. *Computers and Chemical Engineering*, 28(11):2131–2140, 2004.
- [18] S. Russell and R. Norvig. *Artificial Intelligence: A Modern Approach*. Prentice Hall, New Jersey, 2003. 2nd edition.
- [19] Ouali M. S., Ait-Kadi D., and Rezg N. Fault diagnosis model based on Petri net with fuzzy colors. *Computers and Industrial Engineering*, 37(1-2):173–176, 1999.
- [20] M. A. Sanz-Bobi, E. F. Sanchez-Ubeda, J. Villar, S. Revuelta, and A. Kazi. Multi-agent diagnosis systems in industry. In *First International IFAC Workshop on Multi-Agent Systems in Production (MAS'99)*, Vienna, Austria, 1999.
- [21] R. Srinivasan and V. Venkatasubramanian. Experience with an expert system for automated hazop analysis. *Computers and Chemical Engineering*, 20:S719–S725, 1996.
- [22] R. Vaidhyathan and V. Venkatasubramanian. Digraph-based models for automated HAZOP analysis. *Reliability Engineering and System Safety*, 50(1):33–49, 1995.

- [23] R. Vaidhyanathan and V. Venkatasubramanian. Experience with an expert system for automated hazop analysis. *Computers and Chemical Engineering*, 20:S1589–S1594, 1996.
- [24] V. Venkatasubramanian, R. Rengaswamy, and S. N. Kavuri. A review of process fault detection and diagnosis Part II: Qualitative models and search strategies. *Computers and Chemical Engineering*, 27:313–326, 2003.
- [25] V. Venkatasubramanian, R. Rengaswamy, S. N. Kavuri, and K. Yin. A review of process fault detection and diagnosis Part III: Process history based methods. *Computers and Chemical Engineering*, 27:327–346, 2003.
- [26] V. Venkatasubramanian, R. Rengaswamy, K. Yin, and S. N. Kavuri. A review of process fault detection and diagnosis Part I: Quantitative model-based methods. *Computers and Chemical Engineering*, 27:293–311, 2003.
- [27] A. Wachs and D. R. Lewin. Improved PCA methods for process disturbance and failure identification. *American Institute of Chemical Engineers Journal*, 45(8):1688–1700, 1999.
- [28] Y. F. Wang, J. Y. Wu, and C. T. Chang. Automatic hazard analysis of batch operations with Petri nets. *Reliability Engineering and System Safety*, 76(1):91–104, 2002.
- [29] H. Wörn, T. Längle, M. Albert, A. Kazi, A. Brighenti, Santiago Re-vuelta Seijo, C. Senior, Miguel Angel Sanz Bobi, and Jose Villar Col-lado. DIAMOND: Distributed multi-agent architecture for monitoring and diagnosis. *Production Planning and Control*, 15:189–200, 2004.
- [30] J. Zhao, B. Chen, and J. Shen. A hybrid ANN-ES system for dynamic fault diagnosis of hydrocracking process. *Computers and Chemical Engineering*, 21(S):S929–S933, 1997.
- [31] R. Zouakia, D. Bouami, and M. Tkiouat Mohamed. Industrial systems maintenance modelling using petri nets. *Reliability Engineering and System Safety*, 65(2):119–124, 1999.

