

Válasz Rudas Imre Professor Úr “Data Mining Techniques for Process Development” című MTA doktori értekezéssel kapcsolatos opponensi véleményére

Nagyon szépen köszönöm Rudas Imre Professor Úrnak a disszertációm alapos véleményezését és a munkámat méltató szavakat. Külön köszönöm kérdéseit, melyek inspirációt adnak további kutatásaimhoz, és lehetőséget teremtenek a dolgozatomban kevésbé tárgyalt kérdések kifejtésére, mindezek által munkám fejlesztésére és elfogadtatására.

A dőlt betűvel szedett kérdésekre és megjegyzésekre felmerülésük sorrendjében válaszolok.

Az információátvitel a különböző típusú modellek között egyre kutatottabb terület. A Szerző ilyen szempontból az amúgy is transzparensnek és értelmezhetőnek tartott fuzzy modelleket vizsgálta. Milyen példákat tud mondani az amúgy fekete doboz modelleknek tekintett neurális hálózati modellekből történő információ kinyerésre?

A szakmai munkám és a tudományos irodalom követése alapján úgy gondolom, hogy a modellpontosságon túl egyre gyakrabban kerülnek előtérbe a modellek értelmezhetőségével kapcsolatos elvárások is. A „fekete doboznak” minősített neurális hálózatokból feltárt információk nem csupán a modellek alkalmazásában, azaz a mérnöki, tudományos és üzleti problémák megoldásában lehetnek hasznosak, hanem a modell struktúrájának és strukturális paramétereinek tervezése során is komoly jelentőséggel bírnak.

Úgy gondolom, hogy a neurális hálózatok érzékenységvizsgálata, invertálása¹ és linearizálása² voltak azok a kezdeti lépések melyek ilyen jellegű információkinyeréseként értelmezhetők. A speciális neurális hálózati modellstruktúrák generálása szintén kapcsolódó fejlesztési irány. Véleményem szerint a vizualizációs képesség biztosításával a Kohonen által kidolgozott önszerveződő hálózatok³ és a fuzzy rendszerek értelmezhetőségének „kölcönzésével” megalkotott neuro-fuzzy modellek⁴ tartoznak ebbe a csoportba.

Az információ kinyerésre alkalmas megoldások fejlesztésének fontos mozgatórugója az egyes modellek közti strukturális analógiák feltárása, melyre a legfontosabb példa a radiális

¹Hoskins, D.A., Hwang, J.N., Vagners, J. , Iterative inversion of neural networks and its application to adaptive control, IEEE Transactions on Neural Networks 3 (2), pp. 292-301 34, 1992

²Yeşildirek, A., Lewis, F.L. , Feedback linearization using neural networks, Automatica 31 (11), pp. 1659-1664 188, 1995

³Kohonen, T., Self-organized formation of topologically correct feature maps, Biological Cybernetics, 43:59-69., 1982

⁴Jang, J.-S. R. and Sun, C.-T., Neuro-fuzzy modeling and control, Proceedings of the IEEE, 83(3): 378–406., 1995

bázisfüggvényekből felépülő neurális hálózatok értelmezhetőségének elemzése⁵. Az SVM⁶ alapú tudásfeltárási technikák szintén a strukturális elemzésen alapuló csoportba tartoznak. E rendkívül fontos területet Kenesei Tamás PhD hallgatóval a mai napig kutatjuk⁷, illetve a klasszikus neurális hálózati modellek vizualizációs és modellredukciós lehetőségeit is vizsgáljuk⁸.

Fontos megjegyezni, hogy az elmúlt időszakban nemcsak az a kérdés került előtérbe, hogy miként lehet neurális hálózatokból információt kinyerni, hanem az is, hogy miként lehet a más modellstruktúrákban rendelkezésre álló ismeretet felhasználni a modellalkotás során. A számtalan, mai napig aktív fejlesztés⁹ közül sok visszavezethető a munkámat is inspiráló Kubat¹⁰ döntési fa alapú megoldására.

A 3.4 fejezetben kidolgozott technika a dinamikus rendszerek bemenet-kimenet adatai által definiált tér geometrikus jellemzésével foglalkozik. A kidolgozott jellemzőkön, módszertanon kívül van-e tudomása más, hasonlóan geometrikus alapokon nyugvó mértékekről, melyek akár más, autonóm, illetve kaotikus rendszerek esetében is alkalmazhatók?

A kidolgozott technika alapötlete a kaotikus rendszerek jellemzésére bevezetett mértékekre is visszavezethető¹¹. E publikáció közel 1000 hivatkozása között számtalan dimenziómértéket és a kaotikus viselkedést geometriai alapokon jellemző mérőszámot találhatunk (pl. Ljapunov exponens). Feil Balázs és Balaskó Balázs ma már fokozatott szerzett PhD hallgatókkal a geometrikus mértékeket is felhasználva igazoltuk, hogy a 3.4 fejezetben összefoglalt technika sikeresen továbbfejleszthető autonóm kaotikus rendszerek fázisterének jellemzésére és megjelenítésére¹².

⁵ Kenneth J. Hunt , Roland Haas, and Roderick Murray-Smith, Extending the Functional Equivalence of Radial Basis Function Networks and Fuzzy Inference Systems, Basis Function Networks and Fuzzy Inference Systems, IEEE Transactions on Neural Networks, vol. 7, no. 3, 1996

⁶ Barakat, N., Bradley, A.P., Rule extraction from support vector machines: A review, Neurocomputing 74 (1-3), pp. 178-190, 2010

⁷ Kenesei, T., Roubos, J.A., Abonyi, J. , A combination-of-tools method for learning interpretable fuzzy rule-based classifiers from support vector machines, 8th International Conference on Intelligent Data Engineering and Automated Learning, IDEAL 2007; Birmingham; 16 December 2007 through 19 December 2007; Code 71246

⁸ Kenesei, T., Feil, B., Abonyi, J. , Visualization and complexity reduction of neural networks, Advances in Soft Computing, Volume 52, 2009, Pages 43-52

⁹ Chorowski, J., Zurada, J.M. , Extracting Rules from Neural Networks as Decision Diagrams, IEEE Transactions on Neural Networks, Article in Press, 2011

¹⁰ Kubat, M., Decision trees can initialize radial-basis function networks , IEEE Transactions on Neural Networks 9 (5), pp. 813-821, 1998

¹¹ Kennel, M.B., Brown, R., Abarbanel, H.D.I., Determining embedding dimension for phase-space reconstruction using a geometrical construction , Physical Review A, 45 (6), pp. 3403-3411, 1992.

¹² Feil, B., Balaskó, B., Abonyi, J. , Visualization of fuzzy clusters by fuzzy Sammon mapping projection: Application to the analysis of phase space trajectories , Soft Computing 11 (5), pp. 479-488 , 2007

*Milyen gyakorlati jelentősége van a technológiai adatok splinokkal történő simításának?
Milyen alkalmazásokban van/lehet e lépésnek gyakorlati haszna?*

A dolgozatban ismertetett eredmények fontos tanulsága, hogy a technológiai adatok simításának a klasszikus adatfeldolgozási feladatok megvalósításán túl további hozadéka lehetnek. Az általam kidolgozott többváltozós simítási technika az alkalmazott spline függvények adott pontokban definiált függvényértékeire és deriváltjaira vonatkozó paramétereken definiált korlátok felhasználásával alkalmas a megmaradó mennyiségek összefüggő idősorainak hatékony feldolgozására (pl. mérleghiba kiegyenlítésre). Annak a kedvező tulajdonságnak a kiaknázására miszerint a deriváltak a splineből közvetlenül előállíthatók a szemi-mechanisztikus modellek fekete doboz elemeinek identifikálása kapcsán dolgoztam ki új eljárást¹³.

Rejthet-e magában bizonyos veszélyeket a bizonyos tartományon simán illesztett spline függvények illesztési tartományhoz közeli tartományon való „hullámos” viselkedése? Hogyan kezelhetők általánosan ezek a problémák?

Professzor Úr kérdésével pontosan világít rá arra a tényre, hogy a spline függvények illesztése sem mentes a modellstruktúra megválasztásának feladatától, kellő figyelem és szakértelem hiányában előfordulhat, hogy a modell túlparaméterezetté válik, melynek a vizsgált rendszere nem jellemző hullámos viselkedés megjelenés lesz az eredménye. Ennek elkerülése a megfelelő regularizációs hatás elérésével biztosítható, melynek eszköze lehet a keresztvalidálás alapján történő modellkomplexitás meghatározás (ez alatt a csomópontok számának meghatározását értem), a költségfüggvény regularizációs elemekkel történő kiegészítése, és az általam bevezetett paraméterkorlátok alkalmazása. Utóbbival a függvény esetleges monotonicitása is biztosítható, illetve a deriváltak viszonyának megadásával az inflexiós pontok előfordulása is befolyásolható.

¹³Abonyi J, Roubos H, Babuska R, Szeifert F, Identification of Semi-Mechanistic Models with Interpretable TS-fuzzy submodels by Clustering, OLS and FIS Model Reduction. In: J Casillas, O Cordon, F Herrera, L Magdalena (szerk.) Fuzzy modeling and the interpretability-accuracy trade-off, Heidelberg: Physica Verlag, 2003

Az interaktív evolúciós stratégia gyakorlati alkalmazhatóságát milyen eszközökkel célszerű támogatni? Hogyan lehet/kell mérni e megoldások minőségét?

Tekintve, hogy az evolúciós hurokban a felhasználó szubjektív értékelése alapján kerülnek kiválasztásra a kereszteződés és a mutáció alapjául szolgáló egyedek az evolúciós algoritmusoknál is kevesebb elméleti jellegű állítás fogalmazható meg az algoritmus konvergenciájával és a megoldások minőségével kapcsolatban. Ez természetesen nem jelenti azt, hogy a kérdés nem foglalkoztatja a kutatókat, ugyanis a módszer hatékonysága a felhasználó véges értékelési kapacitása kapcsán fontos kérdés¹⁴. Nem véletlen, hogy az irodalomban most egymást érik a felhasználó döntéseit értékelő és vizualizáló, illetve köztes optimalizálási lépéseket megvalósító támogató eszközök, melyek a konvergencia felgyorsítását hivatottak támogatni. Ezen eszközök értékelése kivétel nélkül gyakorlati alkalmazások alapján történik.

Köszönöm Rudas Professzor Úr elismerő szavait, megjegyzéseit, érdekes szakmai kérdéseit, eredményeim új eredményként való elfogadását. Remélem, Professzor Úr válaszaim elfogadja, azokat megfelelőnek tartja. Érzésem szerint e kérdésekre adott válaszok lehetőséget teremtettek arra, hogy a kutatási témáról a dolgozatban kialakított kép teljesebbé váljon.

Veszprém, 2011. 06. 01.

Abonyi János

¹⁴ Yan, J.-R., Min, Y., User fatigue in interactive evolutionary computation, Applied Mechanics and Materials 48-49, pp. 1333-1336, 2011