



SZÉCHENYI
ISTVÁN
EGYETEM

Kopják József

Távolságleírón alapuló szimmetrikus logikai függvényeket
megvalósító szoftverkapukból létrehozott eseményvezérelt
vezérlési háló szoftvermodelljének tervezése és verifikációja

doktori tézisek

Témavezető:

Dr. Kovács János

Széchenyi István Egyetem

Műszaki Tudományi Kar

Informatika Tanszék

Széchenyi István Egyetem

Infrastrukturális Rendszerek Modellezése és Fejlesztése

Multidiszciplináris Műszaki Tudományi Doktori Iskola

Győr, 2013

Tartalomjegyzék

1. Bevezetés.....	4
2. Témafelvetés.....	4
3. Célok és motivációk.....	5
4. A kutatás során alkalmazott módszerek.....	7
5. Kutatás téziseinek összefoglalása.....	9
6. Tudományos eredményeim publikálása.....	11
7. Kutatás eredményeinek összegzése.....	11
8. Kidolgozott modell alkalmazási lehetőségei.....	12
9. Kitekintés, további kutatási irányok.....	13
10. Irodalomjegyzék.....	14
11. Szerző témában megjelent publikációi.....	18

1. Bevezetés

A mikroprocesszorokat és a mikrokontrolleres rendszereket rohamos fejlődésük eredményeként egyre többet használják az iparban automatizálási feladatok ellátására. A fejlődésből következő lehetőségek alkalmazásával fontos változások álltak és állnak be az automatizálási rendszerek tervezési módszereiben is.[K8] A mikroprocesszorok és a mikrokontrolleres rendszerek növekvő számítási kapacitásának és csökkenő árának következtében egyre több helyen digitális vezérlést és szabályozást alkalmaznak a régi analóg szabályozások helyett. A tervező mérnökök a mikroszámítógépes vezérléseket és szabályozásokat olyan esetekben is alkalmazzák, amelyeket régebben mechanikus módszerekkel oldottak meg. A digitális vezérléseket többek között az autóiparban, légi közlekedésben, egészségügyi iparban, gyártási automatizálásban, és otthonautomatizálásban alkalmazzák. [4] [6] [19] [26]

Az előbbi kijelentések valóságtartalmát talán az a példa is alátámasztja, hogy manapság a számítógépekben található szinte összes ventilátor tartalmaz egy mikrokontrollert is a meghajtó motoron kívül. A mikrokontroller kiváltja a tradicionális egyenáramú motor szénkefés kommutációját elektronikus kommutációra, ezzel megnövelve a ventilátor élettartalmát, csökkentve a termék gyártási költségét. A különböző elektronikus kommutációjú vezérlésekkel és szabályozásokkal, azok alkalmazási lehetőségeivel a [13] [30] [43] [45] irodalmak foglalkoznak bővebben.

A vezérlési feladatok manapság már nem egy számítógépre összpontosulnak. Általában több kisebb intelligenciával rendelkező vezérlő és szabályzó eszköz elosztott módon, lazán csatolt rendszerben, kommunikációs hálózat segítségével végzi az automatizált rendszer felügyeletét. [8] [44]. A valós idejű vezérlési feladatokat ellátó, beágyazott rendszereken futó programokat tervező mérnököktől a fejlődő technika, a felhasználói igények növekedése, a kommunikációs lehetőségek kiszélesedése újabb és újabb tudást igényelnek. [27] [28].

2. Témafelvetés

Az előbbieken vázolt fejlődési trendeket, gyakorlati és elméleti igényeket érzékelve választottam PhD-disszertációm témájaként a vezérlési feladatok ellátó beágyazott vezérlőrendszerek programjainak tervezési modelljeinek vizsgálatát, és az el-

osztott vezérlési rendszerekben is alkalmazható, digitális hálózati modellre épülő, szoftvertervezési módszer kidolgozását.

A téma aktualitását abban látom, hogy mind a vezérléstechnikával foglalkozó tudomány területén dolgozó kutatóknak, mind a gyakorlati szakembereknek szüksége van újabb és újabb megvalósítási alternatívákra.

Az új modell megalkotására az ösztönzött, hogy bebizonyítsam, felírható olyan üzenetekkel kommunikáló elosztott vezérlési háló, amelyben az üzenetek individualizálása nem szükséges. A háló egyes alkotóelemei olyan szimmetrikus függvényeket megvalósító alapkapuk, amelyek előre nem meghatározott bemenetszámmal rendelkeznek. Terveim szerint az egyes szoftverkapuk nem rendelkeznek információval az üzenet küldőjének kilétével kapcsolatban, és pontosan azt sem tudják meghatározni, hogy melyik bemenetük konkrétan milyen értékű, mégis minden időpillanatban meg tudják határozni saját kimenetük aktuális értékét.

3. Célok és motivációk

A témaválasztásomat három különböző motivációs cél vezérelte:

- A tudományterület gyakorlati dominanciája háttérbe szorította az elméleti kutatásokat. A tudománynak szüksége van olyan elméleti programmodellek kidolgozására, amelyek alapot biztosítanak a későbbi, a gyakorlati életben, az elosztott vezérlő rendszerek esetén használható programmodellek megalkotásához.
- A szakirodalomban előforduló vezérlési feladatokat megvalósító modellek széles palettája áll rendelkezésre. Felmerült bennem az az igény, hogy a modellek jellemző tulajdonságait összefoglaljam, mivel ez lehetőséget nyújt az egyes programmodellek előnyeinek és hátrányainak különböző szempontok alapján történő összehasonlítására.
- A gyakorlati szakemberek számára egy olyan összefoglaló szakirodalom elkészítése, amely áttekintést ad számukra központosított és elosztott vezérlő rendszer-modellek tulajdonságairól és alkalmazási lehetőségeikről. Ezzel biztosítva számukra azt, hogy megbízhatóbb, átláthatóbb és hatékonyabb programmodelleket tervezhessenek és programkódokat készíthessenek.

A kutatás elvégzésének irányvonalát a következőkben határozom meg:

Egyrészt a szakirodalomban megjelent, jelenleg használt, vezérlési feladatok megoldására alkalmas programmodellek feltárása, összehasonlítása, és az összehasonlításból adódó lehetőségek kiaknázása.

Másrészt egy új, elosztott rendszerekben is alkalmazható vezérlési modell megalakítása, bemutatása és tesztelése. A modell lehetőséget nyújt arra, hogy üzenetekkel kommunikáló, állapotgépes programozói modellen alapuló szoftverentitások segítségével visszacsatolás mentes, azaz kombinációs hálózatként viselkedő, vagy visszacsatolással is rendelkező, azaz aszinkron sorrendi hálózatként viselkedő vezérlési hálózatokat építsünk fel.

A szakirodalom feldolgozása után arra a következtetésre jutottam, hogy az általam ismert szakirodalmak nem adnak megoldást a bemeneti változók tárolása nélküli, elosztott rendszeren alapuló, kombinációs hálózati vezérlés kialakítására.

Disszertációm a következő motivációs célok mentén készítem el:

- Céлом, hogy az áttekinthetetlen „spagetti-kódos” vezérlő-rendszert működtető szoftver rendszerek helyett megalkossak egy olyan áttekinthető, dekompozícióval megvalósított, elméletileg megalapozott célarchitektúrájú, szoftver alapú vezérlő rendszert, amely könnyen beilleszthető preemtív operációs rendszer által futtatott környezetbe.
- Abban az esetben, ha a vezérlőrendszer hatókörébe bevont események binárisak, akkor a rendszer dekompozíciója a digitális technikából ismert kapurendszerrel modellezhető, azzal a különbséggel, hogy az egyes kapuk közötti információáramlást vezetékek helyett üzenetsorok biztosítják.
- Abban az esetben, ha a vezérlő rendszert alkotó objektumokat (taszkoakat) nem látjuk el párhuzamos bemenetekkel, akkor a logikai döntéseket meghozó objektumoknak kapunként csak egy bemeneti üzenetsorra kell rendelkezniük.
- A modell részletes kidolgozásához minimum feltételként meg kell alkotni a logikai kapuk viselkedésére emlékeztető ÉS, VAGY, tagadó kapuk felépítését és viselkedési leírását.

- A modell tesztelése érdekében fel kell építeni ilyen elemekből komponált vezérlő-hálózatokat egy valósidejű operációs rendszer használatával, és segítségükkel verifikálni kell a célarchitektúrát.

A szakirodalom és a kutatási céljaim alapján megfogalmazott a feltételezéseim:

Feltételezem, hogy lehetséges olyan szoftveres algoritmust készíteni, amely a digitális technikából ismert kombinációs alapkaphoz hasonló módon működik úgy, hogy a külvilággal csak üzenetek segítségével kommunikál, és oly módon tudja a kimentit állapotát meghatározni, hogy az egyes bemenetei konkrét állapotáról céltan nem rendelkezik információval.

Feltételezem, hogy lehetséges az első feltételezésem alapján készített eseményvezérelt szoftverkapukból olyan visszacsatolás mentes vezérlési hálót kialakítani, amely a külvilág felé kombinációs hálózati viselkedést mutat.

Feltételezem, hogy lehetséges a második feltételezésem alapján létrehozott vezérlési hálót aszinkron üzenet-visszacsatolásokkal kiegészíteni, így olyan vezérlési hálót kialakítani, amely a külvilág számára aszinkron sorrendi hálózati viselkedést mutat.

4. A kutatás során alkalmazott módszerek

A téma szakirodalmának részletes feldolgozása:

- a vezérlési feladatokat ellátó folyamatvezérlő programmodellek összehasonlítása,
- vezérlésekre használható eseményvezérelt programozói modell részletes tanulmányozása,
- elosztott vezérlőprogramok tervezésére alkalmazható digitális alapkaphoz véges állapotgépes modelljének megalkotása.

A modell gyakorlati megvalósításának tesztelése és felhasználási lehetőségeinek kiterjesztése:

- a kidolgozott modellben szereplő algoritmusok C nyelvű implementálása,
- az implementált algoritmusokból külön entitásként futtatható taszk-függvények létrehozása,

- mikrokontroller alapú tesztkörnyezet összeállítása,
- az elméleti modell alapján megvalósított program tesztkörnyezetben való futtatása, és a tesztelés eredményeinek dokumentálása.

A modell *teszteléséhez használt eszközök*:

- Elméletem tesztelését a Microchip cég által forgalmazott Explorer 16 Development Board és a panellel együtt érkező PIC24FJ128GA010 mikrokontroller segítségével végeztem el.
- C fordítóként a Microchip cég által készített, GNU C fordítóján alapuló, MPLAB C Compiler for PIC24 and dsPIC fordító 3.31 változatát használtam.
- Az aktív objektum modell megvalósításához szükséges preemtív multitasking környezetet, és a kommunikációhoz szükséges üzenetsorokat, és a hozzá tartozó üzenetkezelés megoldásokhoz a Real Time Engineers Ltd. cég által fejlesztett FreeRTOS valós idejű, 7.0.0 verzió számú, operációs rendszert használtam. A FreeRTOS operációs rendszer módosított GPLv2 licenz alapján szabadon terjeszthető, és felhasználható. A FreeRTOS függvényeinek részletes leírásával az [5] irodalom foglalkozik.
- Fejlesztési környezetnek és a szimulációs ábrák készítésére a Microchip cég által fejlesztett MPLAB IDE környezet 8.43 verziószámát használtam. A fejlesztőkörnyezet és a fordító program is ingyenesen letölthető termék és szabadon felhasználható fejlesztési és kutatási célokra egyaránt.

5. Kutatás téziseinek összefoglalása

A kutatómunkám eredményeként született megállapításaimat és azok magyarázatait a következő tézisekben foglalom össze:

- 1. Szekunder kutatásaimból származó eredmények felhasználásával levezés módszerével beláttam, hogy lehetséges távolságleírón alapuló szimmetrikus alapfüggvényeket megvalósító szoftverkapukat létrehozni.**
- 1.1. Távolságleírón alapuló szoftveres megvalósítás lehetőséget ad szimmetrikus függvényt megvalósító kombinációs hálózati viselkedés véges állapotgépes modellel történő felírására.*
- 1.2. Távolságleírón alapuló szoftveres megvalósítás esetén a szoftverkapu kimeneti állapotának meghatározásához a kapubemenetek számának ismerete nem szükséges.*

Az ÉS illetve VAGY szoftverkapuk viselkedésnek leírásához bevezettem a d távolságleíró fogalmát.

A domináns üzenetérték bevezetésével mindkét kaputípus esetén definiáltam a beérkező domináns, és nem domináns üzenetek alapján meghatározható d távolság értéket.

A távolságérték értéktartományai alapján definiáltam a kombinációs alapkapuk viselkedését, majd viselkedésük alapján összevontam az ÉS illetve VAGY alapkapukat, és bevezettem az univerzális szoftverkapu fogalmát.

Összefüggést kerestem a d távolságleíró és a szakirodalom által ismert Hamming-távolság között, ami alapján beláttam, hogy a d távolságleíró nem más, mint a Hamming-távolság fogalmának kiterjesztése időben egymás után bekövetkező eseményekre. Mindezek alapján bizonyítottam, hogy kombinációs hálózati viselkedés hozható létre sorrendi modellek alapján az univerzális szoftverkapu bevezetésével.

Az univerzális szoftverkapu viselkedését fel tudtam írni csak a kapu domináns bemeneteinek alapján, így bizonyítottam, hogy a viselkedés leírásához elegendő csak a domináns értékű bemenetek számának ismerete.

2. Távolságleírón alapuló specializált szoftverkapuk bevezetése lehetővé teszi – az alap logikai függvények viselkedése alapján működő kaputípusokon túl – parametrizált szimmetrikus logikai függvények alapján viselkedő szoftverkapuk megvalósítását.

2.1. N bemenettel rendelkező páratlan függvények megoldására létrehoztam egy, az univerzális szoftverkapuk hálózatához képest egyszerűbb és általánosabb megoldást kínáló N bemenettel rendelkező XOR szoftverkaput.

2.2. Távolságleíró változó segítségével lehetséges paramétervektor alapján definiált szimmetrikus logikai függvényt megvalósító szoftverkaput létrehozni.

A páratlan vagy páros függvények megvalósíthatóak XOR szoftverkapu bevezetésével. Páratlan függvények esetén egy darab XOR szoftverkapu alkalmazásával kiváltható az ugyanazon feladat megoldására képes több univerzális kapuból álló vezérlési háló.

Az univerzális szoftverkapu működési korlátjának felismerése után kiterjesztettem az általam definiált d távolságérték alapján működő, N bemenetre értelmezett, működését paramétertömb segítségével meghatározható, szimmetrikus függvényt megvalósító eseményvezérelt szoftverkaput is. A szimmetrikus függvényt megvalósító kapu működése a szakirodalomban már használt, a függvény viselkedését leíró szimmetria számok és a d távolságérték közötti összefüggésen alapszik.

3. Definiáltam a távolság leírón alapuló, üzenetekkel kommunikáló, eseményvezérelt szoftverkapukból felépített vezérlési háló egyes alkotóelemek felépítését és működését.

3.1. Felépítettem és szimulációk segítségével teszteltem egy olyan távolságleírón alapuló eseményvezérelt vezérlési hálót, amely beleső visszacsatolással nem rendelkező kombinációs hálózatra jellemző viselkedést produkált.

3.2. A távolságleírón alapuló eseményvezérelt szoftverkapukból létrehozott vezérlési hálók a szakirodalomból ismert aszinkron visszacsatolások segítségével üzenethajtott sorrendi hálózatokként is képesek viselkedni.

A megalkotott elméleti modellem alapján létrehozott vezérlési hálót gyakorlatban teszteltem. A tesztelés során külön vizsgáltam a háló külső, fekete dobozként történő viselkedését, és belső működését is. A vezérlő háló viselkedése szempontjából

külön rávilágítottam a d távolságleíró szerepére. A modell a tesztelés során az elvárt viselkedést eredményezte: külső viselkedés szempontjából kombinációs hálózatként viselkedett úgy, hogy e közben belső felépítése sorrendi hálózati programmodelleken alapult.

A tézis igazolásához felépítettem egy aszinkron visszacsatolással rendelkező vezérlési hálót, amelynek működését összevetettem ugyanazon hálózat hardveres megvalósításának viselkedésével. A tesztelések során beláttam, hogy a definiált viselkedési leírásokon belül a hálózat a bemeneteire a hardveres megoldással megegyező módon reagál, azaz üzenethajtott sorrendi hálózatokként is képes viselkedni. A két típusú megvalósítás között különbséget csak a nem teljes mértékben definiált viselkedési szituációkban találtam.

6. Tudományos eredményeim publikálása

Doktori értekezésem elkészítését több publikációs tevékenység előzte meg. Beágyazott vezérlőrendszerekkel kapcsolatos első publikációm 2007-ben születtek ([K9],[K10]). A [K8] könyv elkészítése megalapozta a kutatási témám kiválasztását és segítette kutatási irányvonalak meghatározását.

A 2.. fejezetben ismertetett megállapításaimmal kapcsolatos saját publikációim: [K4], [K5], [K6], [K7]

A 3. és a 4. fejezetben ismertetett megállapításaimat, amelyre egyben az 1. és 2. tézisemet alapoztam a [K1], [K2], [K3] publikációkban jelentettem meg.

Az 5 fejezet és a 3. tézis megállapításait részben [K1], [K2] publikációk tartalmazzák. Későbbi terveim között szerepel az 5. fejezet megállapításainak teljes körű publikálása.

7. Kutatás eredményeinek összegzése

A disszertáció során először a szakirodalomban található vezérlési feladatokat ellátó program-modelleket hasonlítottam össze, majd ezek eredményeire támaszkodva olyan megvalósítási lehetőséget találtam, amelynek segítségével a kombinációs hálózati viselkedés véges állapotgépes modellel felírható. Bizonyítást találtam arra, hogy a sorrendi programozói modellen alapuló, kombinációs hálózati viselkedéssel

rendelkező programelemek képesek hálózatban, összetett kombinációs hálózatként működni. Mindezek alapján a tesztelésem során alátámasztottam, hogy a sorrendi programozói modellen alapuló, kombinációs hálózati viselkedéssel rendelkező programelemek képesek összetett, visszacsatolásokkal rendelkező hálózatok kialakítására is.

A disszertációmban felépítettem egy üzenetekkel kommunikáló vezérlési hálót, amely egyes elemeit részletesen kidolgoztam. Nagy hangsúlyt fektettem a vezérlést végző objektumok modell szintű felépítésének kidolgozására.

Bevezettem az eseményvezérelt *ÉS szoftverkapu* és az eseményvezérelt *VAGY szoftverkapu* fogalmát. Megalkottam és definiáltam a kapuk belső működéséhez szükséges *d távolságleíró* fogalmát, és ezzel az értékkel meghatároztam az egyes kapuk viselkedési leírását.

A két szoftverkaput összevonva bevezettem az eseményvezérelt *univerzális szoftverkapu* fogalmát, majd definiáltam működését.

Ezek után bevezettem két speciális, származtatott viselkedési feladatot ellátó szoftverkaput is, úgymint a páratlan függvényt megvalósító *XOR szoftverkaput* és a szimmetrikus függvényeket megvalósító *Szimmetrikus szoftverkaput* is.

A kapuk helyes működését tesztekkel bizonyítottam. A dolgozat tartalmazza a tesztelési eredmények közül a legszemléletesebb eredményeket hozó jegyzőkönyvek ábráit.

8. Kidolgozott modell alkalmazási lehetőségei

A dolgozat elején a motivációim között fontos célként jelöltem meg, hogy mind a témában jártas elméleti, mind gyakorlati szakemberek számára olyan tudományos eredményt hozzak létre, amely fejlesztéseiket segíti, illetve tudományos munkájukat szolgálja. Az általam kidolgozott, és a dolgozatban bemutatott modell alkalmazási lehetőségei az elméleti szakemberek számára az elosztott vezérlőhálózatok viselkedési modellezésében, a gyakorlati szakemberek számára pedig a végső programozói megoldásokban nyújthatnak segítséget. Ilyen hálózat lehet például egy vezetékek nélküli épületautomatikai megoldás, vagy egy elosztott, vezetékek nélküli felügyeleti rendszer.

A dolgozat terjedelmi korlátai miatt a disszertációmban ismertetett modellem nem ad minden elosztott vezérlő hálózati problémára megoldást. Biztos vagyok benne azonban, hogy megfelelő alapot jelent későbbi modellek fejlesztéséhez. Továbbá a szoftvertervezés jövőbeni megvalósításaiban a kidolgozott modellem az igényeknek megfelelően finomítható, és jó alapot biztosít speciális problémákra történő adaptáláshoz.

9. Kitekintés, további kutatási irányok

Elméleti modellem tesztelése közben a rendszernek olyan jellemzői kerültek felszínre, amelyek között hiányosságokat is felfedeztem, ezek a későbbiekben további fejlesztéseket igényelnek. Ezek a fajta hiányosságok a jelen állapotbeli működést negatívan nem befolyásolják.

A modell ilyen hiányosságának tekintem, hogy a vezérlési háló modellje nem foglalkozik az esetleges üzenetvesztés okozta problémákkal. Jelen esetben, ha a hálózaton üzenetvesztés történik, akkor a hálózat nem képes helyesen működni, és regenerálódásra is alkalmatlan.

További kutatási lehetőséget az aszinkron visszacsatolással rendelkező hálózat gerjedési jelenségével kapcsolatban látok. Érdekes lenne megvizsgálni, hogy milyen alapesetekben reagál hasonló módon a hálózat, és hogy milyen csillapítást lehetne alkalmazni a gerjedési problémák kiküszöbölésére.

Harmadik iránynak pedig a hálózat bővülési lehetőségét tartom. Bizonyos korlátok mellett a hálózat képes menet közbeni bővülésre. Véleményem szerint érdemes a bővülés korlátait részletesebben megvizsgálni, és konkrétan letisztázni a működés közbeni hálózatbővülés lehetőségét.

A kétértékű logikán túl bizonyos döntéshozatali hálók a Fuzzy logikára épülnek. [16] Érdekes kutatási terület lehet annak a vizsgálata, hogy a disszertációmban bemutatott modell kiterjeszthető-e a Fuzzy logikára, ezzel üzenetvezérelt elosztott döntési háló kialakítására.

10. Irodalomjegyzék

- [1] Angster Erzsébet – Az Objektumorientált tervezés és programozás alapjai, 1997
- [2] Dr. Arató Péter – Logikai Rendszerek Tervezése, Budapest, 1992
- [3] Arkhangel'skii, A.V.; Pontryagin, L.S. – General Topology I: Basic Concepts and Constructions Dimension Theory, Encyclopaedia of Mathematical Sciences, Springer, ISBN 3-540-18178-4, 1990
- [4] Astrom K.J. and Wittenmark B. – Computer Controlled Systems: Theory and Design, 3rd edn, pp. 555. Englewood Cliffs, NJ, USA: Prentice-Hall, 1997
- [5] Richard Barry, Using The FreeRTOS Real Time Kernel, 2009
- [6] Allan W. M. Bonnick – Automotive Computer Controlled Systems - Diagnostic tools and techniques, ISBN 0 7506 5089 3, Oxford, 2001
- [7] George Boole – An Investigation of the Laws of Thought, Prometheus Books 2003, ISBN 978-1-59102-089-9, 1854
- [8] Brinkschulte, U. - A microkernel middleware architecture for distributed embedded real-time systems, 20th IEEE Symposium on Reliable Distributed Systems, 2001. Proceedings. pp. 218 - 226, 2001
- [9] Anne Canteaut, Marion Videau – Symmetric Boolean Functions, IEEE Transactions On Information Theory, vol. 51, NO. 8, August 2005. pp.2791-2811
- [10] Steven Givant, Paul Halmos – Introduction to Boolean Algebras, Undergraduate Texts in Mathematics, Springer, 2009, ISBN 978-0-387-40293-2
- [11] Richard W. Hamming – Error detecting and error correcting codes, Bell System Technical Journal 29 pp.147–160, 1950

- [12] Maurice Karnaugh – The Map Method for Synthesis of Combinational Logic Circuits, Transactions of the American Institute of Electrical Engineers part I 72 pp.: 593–599, 1953
- [13] Farshad Khorrami, Prashanth Krishnamurthy, Hemant Melkote – Modeling and Adaptive Nonlinear Control of Electric Motors, ISBN 3-540-00936-1, Springer-Verlag, 2003
- [14] Dr. Keresztes Péter – Digitális hálózatok, Universitas-Győr Nonprofit Kft. 2006
- [15] Keviczky László, Bányász Csilla - Robust stability and performance of time-delay control systems, ISA Transactions. Journal for the Science and Engineering of Measurement and Automation, pp. 233-237, 2007
- [16] Kovács Levente, Preitl Stefan, Precup Radu-Emil, Sólyom Stefan – Development of Conventional and Fuzzy Controllers for output Coupled Drive Systems and Variable Inertia, In: IFAC Conference on Large Scale Systems: Theory and Applications. Bukarest, Románia, 2001.07.18-2001.07.20. pp. 267-274.
- [17] Kóczy Annamária, Kondorosi Károly – Operációs rendszerek mérnöki megközelítésben Könyv, ISBN 9789635452507, Panem, 2004
- [18] Dr. Kondorosi Károly, Dr. László Zoltán, Dr. Szirmay-Kalos László – Objektum-Orientált Szoftverfejlesztés, 2003
- [19] Ioan D. Landau, Gianluca Zito – Digital Control Systems, ISBN-10: 1846280559, Springer-Verlag, London 2006
- [20] Aaron Richard McCabe, Event-Driven, Asynchronous Control and Monitoring, B.S. Electrical Engineering, Massachusetts Institute of Technology, 1998
- [21] David Meiklejohn, Introduction to PIC Programming Mid-Range Architecture and Assembly Language, Gooligum Electronics, www.gooligum.com.au, 2012
- [22] Zoran Milivojević, Djordje Šaponjić, Programming dsPIC (Digital Signal Controllers) in C,

- <http://www.mikroe.com/products/view/266/programming-dspic-mcu-in-c/>
- [23] M. Morris Mano, Michael D. Ciletti – Digital Design (4th Edition), Upper Saddle River, ISBN: 978-0131989245, Pearson Prentice Hall, 2006
- [24] Németh Gábor – Horváth László: Számítógép-architektúrák, ISBN: 963 05 66060, Akadémiai Kiadó, Budapest, 1993
- [25] Tammy Noergaard – Embedded Systems Architecture, A Comprehensive Guide for Engineers and Programmers, Elsevier Inc., ISBN: 0-7506-7792-9, 2005
- [26] Ogata K. – Discrete-Time Control Systems, 2nd edn, pp. 768. Englewood Cliffs, NJ, USA: Prentice-Hall, 1995
- [27] P.N. Paraskevopoulos – Digital Control Systems, pp. 383. London, UK: Prentice-Hall, 1996
- [28] P. N. Paraskevopoulos – Modern Control Engineering, ISBN: 0824789814, Marcer Dekker Inc, 2002
- [29] Bruce Powel Douglass – Real-Time UML: developing efficient objects for embedded systems, 1998
- [30] Krishnan Ramu – Permanent Magnet Synchronous and Brushless DC Motors, Taylor & Francis, 2009
- [31] Miro Samek – Practical UML Statecharts in C/C++, Second Edition, 2009
- [32] J.H. Sandee, W.P.M.H. Heemels, and P.P.J. v.d. Bosch, Case studies in event-driven control, Eindhoven, The Netherlands, Lecture Notes in Computer Science, Volume 4416/2007, 762-765, DOI: 10.1007/978-3-540-71493-4_79, 2007
- [33] Jacobus Henk Sandee, Event-driven control in theory and practice : trade-offs in software and control performance, Eindhoven: Technische Universiteit Eindhoven, ISBN-10: 90-386-1933-2, 2006
-

- [34] P. Savicky – On the bent Boolean functions that are symmetric, *Europ. J. Combin.*, vol. 15, pp. 407–410, 1994.
- [35] Ian Sommerville – *Software Engineering*, 9th Edition, Pearson, ISBN-13: 978-0-13-703515-1, 2011
- [36] Stuart J. Russell, Peter Norvig – *Artificial Intelligence – A Modern Approach*, 2010
- [37] Andrew S. Tanenbaum, Maarten van Steen – *Distributed Systems: Principles and Paradigms*, ISBN: 0-13-239227-5, United States of America, 2007
- [38] Andrew S. Tanenbaum – *Structured Computer Organization (5th Edition)*, Prentice Hall, ISBN: 0-13-148521-0, 2006
- [39] Richard F. Tinder – *Engineering Digital Design*, 2000
- [40] Edward W. Veitch – A Chart Method for Simplifying Truth Functions, *ACM Annual Conference/Annual Meeting: Proceedings of the 1952 ACM Annual Meeting (Pittsburg) (ACM, NY)*: pp. 127–133, 1952
- [41] Ingo Wegener – The Complexity of Symmetric Boolean Functions, in: *Computation Theory and Logic, Lecture Notes in Computer Science*, vol. 270, 1987, pp. 433-442
- [42] Peter Wegner – A technique for counting ones in a binary computer, *Communications of the ACM* 3, 1960
- [43] Piotr Wach – *Dynamics and Control of Electrical Drives*, ISBN 978-3-642-20221-6, Springer-Verlag, 2011
- [44] Wolf, W. - *Middleware Architectures for Distributed Embedded Systems*, 11th IEEE International Symposium on Object Oriented Real-Time Distributed Computing, pp.377 - 380, 2008
- [45] Chang-liang Xia – *Permanent Magnet Brushless DC Motor Drives and Controls*, ISBN 978-1-118-18833-0, Seince Press, 2012

11. Szerző témában megjelent publikációi

- [K1] József Kopják, Dr. János Kovács – Implementation of event driven software gates for combinational logic networks, IEEE 10th Jubilee International Symposium on Intelligent Systems and Informatics, Subotica, Serbia, ISBN: 978-1-4673-4751-8, pp. 299 - 304, 2012
- [K2] József Kopják, Dr. János Kovács – Event driven software modeling for combinational logic networks based control programs, IEEE 16th International Conference on Intelligent Engineering Systems 2012, Lisbon, Portugal, ISBN: 978-1-4673-2694-0, pp. 253 - 257, 2012
- [K3] József Kopják, Dr. János Kovács – Timed cooperative multitask for tiny real-time embedded systems, IEEE 10th Jubilee International Symposium on Applied Machine Intelligence and Informatics, Herl'any, Slovakia, ISBN: 978-1-4577-0196-2, pp. 377 - 382, 2012
- [K4] József Kopják, János Kovács – RTOS Program Models Used in Embedded Systems, Óbuda University e-Bulletin, Budapest, ISSN: 2062-2872, Óbuda University, Budapest, Vol. 2, No. 1, 2011 pp. 161-171, 2011
- [K5] Dr. János Kovács, József Kopják – Comparing event-driven program models used in embedded systems, Automotive - Entwicklungen und Technologien, Dresden, Germany, ISSN: 1611-8839, Technische Universität Dresden, 22.09.2011 pp. 90-95, 2011
- [K6] József Kopják, Dr. János Kovács – Event-driven control program models running on embedded systems, 6th IEEE International Symposium on Applied Computational Intelligence and Informatics, Timișoara, Romania, ISBN: 978-1-4244-9108-7, pp. 323 - 326, 2011
- [K7] Kopják József – Vezérlési feladatokat ellátó beágyazott rendszerek programtervezési modelljeinek összehasonlítása, Elektrotechnika, Budapest, HUISSN: 0367-0708, Magyar Elektrotechnikai Egyesület, 2010/12 pp. 13-17, 2010

- [K8] Kónya László, Kopják József – PIC mikrovezérlők alkalmazástechnikája – PIC Programozás C nyelven, Budapest, ISBN: 978-963 06-6720-3, ChipCAD Kft., pp. 221-376, 2009
- [K9] Kopják József – Ipari irányítástechnikai programok UML alapú modellezése, Műszaki és informatikai rendszerek és modellek I., Győr ,ISBN: 978-963-7175-37-4,Széchenyi István Egyetem – Műszaki Tudományi Kar,pp. 75-78, 2007
- [K10] Kopják József – Developing of microcontroller based program development tool for education, XXV. Internationales Wissenschaftliches Kolloquium „Science in Practice”, Schweinfurt,pp. 71-77, 2007

