

Doctoral Courses **2025-2026 I. (fall) semester**

1. Dr. Kertész Attila, Dr. Hamza Baniata: Blockchain Fundamentals and Applications / Blokklánc rendszerek alapjai és alkalmazásai (IDPT229)

Only in English

Topics:

- Course Introduction and Learning Objectives (Theoretical)
- Blockchain Overview and Introduction (Theoretical)
- Layers and Technical Concepts of Blockchain Systems (Theoretical)
- Ownership, Transaction Records (Ledger), Incentives, Attacks (Sybil, BFT, Double Spending), (Distributed) Consensus (Theoretical)
- Symmetric and Asymmetric Encryption (Theoretical)
- Cryptographic Hash Functions, Digital Signatures, Decentralized networks, Proof of Work (Theoretical)
- Key Problem Challenges and Solutions (Block Finality, Energy Consumption, Security and Privacy, DAG, Sharding, SPV, etc.) (Theoretical)
- Proof of Work alternatives (PoUW, PoS, PoA, PoET and dBFT) (Theoretical)
- Bitcoin demonstration and examples (Simple implementation using Python) (Practical)
- Smart Contracts and Solidity (Coin and NFT implementation/deployment with remix and Geth)(Practical)
- Blockchain use/integration Beyond Currency (PriFoB, FoBSim) (Practical)

Bibliography:

- Bitcoin and Cryptocurrency Technologies.
https://www.lopp.net/pdf/princeton_bitcoin_book.pdf
- SoK of Used Cryptography in Blockchain.
<https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?arnumber=8865045>
- Sok: A consensus taxonomy in the blockchain era.
<https://eprint.iacr.org/2018/754.pdf>
- SoK: Layer-Two Blockchain Protocols. <https://eprint.iacr.org/2019/360.pdf>
- Hamza Baniata and Attila Kertesz. "FoBSim: an extensible open-source simulation tool for integrated fog-blockchain systems." *PeerJ Computer Science* 7 (2021): e431.

2. Dr. Kertész Attila, Dr. Márkus András: IoT-Felhő rendszerek szimulációja / Simulating IoT-Cloud systems (IDPT224)

Available in English or Hungarian

Leírás: Napjainkban a számítási felhők egyre nagyobb teret hódítanak az internetes szolgáltatások körében. A legelterjedtebb felhő szolgáltatók felismerték az új technológiák, így pl. az IoT (Internet of Things) támogatás szükségességét, és rendelkeznek is bizonyos szintű IoT alkalmazásfejlesztő megoldásokkal. A köd paradigma kiegészíti a felhő erőforrásokat a felhasználóhoz közel elhelyezett, korlátozott kapacitású csomópontokkal, amelyeken nagy mennyiségű adatok hatékony feldolgozása és elemzése könnyebben megvalósítható, valós idejű IoT alkalmazások esetén is. Hatékony IoT-Köd-Felhő rendszerek tervezésének és üzemeltetésének komoly anyagi vonzata lehet, hiszen számtalan, a rendszert leíró paraméter (VM tulajdonságok, hálózati jellemzők) és erőforrásmenedzselő algoritmus (ütemező, tehermentesítő) finomhangolására van szükség. Ezért a kutatók körében elterjedtek a különböző szimulációs megoldások, amelyeket képesek realisztikusan modellezni és költséghatékonyan vizsgálni ezeket a rendszereket. Ilyen szimulációs megoldás a DISSECT-CF-Fog is, amely részletes modellel rendelkezik IoT rendszerek szimulálásra: képes szenzorokat, aktuátorokat és IoT eszközöket modellezni, illetve tetszőleges IoT alkalmazások viselkedését elemezni, amely köd és felhő erőforrásokat használ.

Tematika:

A bemutatásra kerülő főbb témakörök:

- Számítási felhők kialakulása, fajtái, tulajdonságai
- IoT rendszerek kialakulása, elemei, tulajdonságai
- A Cloud-to-Thing rendszerek jellemzői, felépítése
- Szimulációs megoldások
- A DISSECT-CF és DISSECT-CF-Fog szimulátor
- Ütemezési és tehermentesítő stratégiák
- Mobilitási és migrációs stratégiák

Topics: Nowadays, Cloud Computing has become one of the most trending services on the Internet. Cloud service providers recognised the need to support new technologies such as the Internet of Things (IoT) and various solutions for IoT application development. However, when using only clouds, the overloaded communication channels and increased response time can degrade the performance of IoT services. Fog Computing manages nodes with limited resource capacity, located close to end-users, providing efficient processing and analysis of large amounts of real-time IoT applications. The design and operation of efficient IoT-Fog-Cloud systems can have significant financial implications, as they can only be operated economically by fine-tuning a large number of parameters (VM properties, network characteristics) and resource management algorithms (scheduler,

offloading). Therefore, various simulation solutions are widely used by researchers to realistically model and cost-effectively test these systems. One such simulation solution is DISSECT-CF-Fog, which provides a detailed model for simulating IoT systems: it can model sensors, actuators and IoT devices, and analyse the behaviour of arbitrary IoT applications using fog and cloud resources.

The material of the course covers the following topics:

- Characterizing Cloud Computing: history, origins, types, properties
- IoT systems: origins, elements, properties
- Characteristics and structure of the Cloud-to-Thing Continuum
- Various simulation approaches
- The DISSECT-CF and the DISSECT-CF-Fog simulator
- Scheduling and offloading strategies
- Mobility and migration strategies

Bibliography:

- A. Kertész, Characterizing cloud federation approaches. In: Cloud computing: challenges, limitations and R&D solutions. Computer communications and networks. Springer, Cham, pp. 277-296, 2014.
- J. Gubbi, R. Buyya, S. Marusic, M. Palaniswami. Internet of Things (IoT): A vision, architectural elements, and future directions. Future Generation Computer Systems, Volume 29, Issue 7, pp. 1645--1660, September 2013.
- A. Markus and A. Kertesz. A Survey and Taxonomy of Simulation Environments Modelling Fog Computing. Simulation Modelling Practice and Theory, Volume 101, 2020.

3. Dr. Dombi József: Fuzzy elmélet alkalmazásai (IDPT104-00106)

Available in English or Hungarian

Tematika:

A mesterséges intelligencia kihívásai.

A tanuló algoritmusok alapvető összefüggései

Az alakfelismerés és a tanulás összekapcsolása.

A fuzzy elmélet szükségessége

1. Halmazhoztartozási függvény

- Nyelvészeti megfontolások
- Tudományelméleti modellek

- Inflation koncepció
- Soft inequality
- Kontexus függő halmazhozzátartozási függvény
- Negáció alakja neutrális értékkel + Trillas
 1. DeMorgan azonosság szükséges és elégséges feltétele
 2. Neutrális értéktől független DeMorgan azonosság
 3. Szigorú monoton operátorok
 4. Asszociatív függvényegyenlet és a rendezett csoportok
 5. Multiplikatív és additív Pliant koncepció
 6. Soft lekérdezések
 7. Implikáció
 8. Reziduális implikáció és Modus Ponens
 9. Súlyozás: „ $x + y - xy$ súlyozása”
- Biszimmetrikus egyenlet
 1. Aggregáció
- Aggregáció és neurális hálózat kapcsolata
 1. Multiplikatív hasznosság és konjunktív, diszjunktív operátorok
 2. Fuzzyság mértéke
 3. Fuzzy control:
- Tagaki-Sugeno modell
- Mamdani modell

Topics:

Set membership function

Linguistic considerations

Theoretical models

Inflation concept

Soft inequality

Context dependent set membership function

Operators

Einstein

Hamacher

Min-max and characterization

Dombi

Shape of negation with neural values + Trilas

Strict monotone operators

Associative function equation and ordered groups

Multiplicative and Additive Pliant Concept

Soft queries

Implication

Residual implication and Modus Ponens

Weighting: " $\text{weighting } x + y - xy$ "

Bisymmetric equation

Aggregation

Relationship between aggregation and neural network

Multiplicative utility and conjunctive, disjunctive operators

Degree of Fuzzy

Bibliography:

- Kóczy L. , Tikk D., Fuzzy rendszerek, Typotex Kft, 2000
- Borgulya István, Neurális hálók és fuzzy-rendszerek, Dialóg Campus Kiadó, 1998
- Retter Gyula, Fuzzy, neurális, genetikus és kaotikus rendszerek, Akadémia Kiadó, 2006
- George J. Klir, Bo Yuan: Fuzzy sets and fuzzy logic, Theory and Applications, Prentice Hall, 1995
- J. Fodor, M. Rubens: Fuzzy Preference Modelling and Multicriteria Decision Support, Kluwer Academic Pub., 1994
- Hung T. Nguyen, Michio Sugeno: Fuzzs systems, Modeling and Control, Kluwer Academic Pub., 1998
- Miko Sato, Yoshiharu Sato, Lakhmi C. Jain: Fuzzy Clustering Models and Applications

4. Dr. Gazdag-Tóth Boglárka: Advanced Optimization (IDPT205)

Only in English

Topics:

(Integer) linear programming as a modeling tool provides an effective solution and in-depth understanding of, e.g., graph theory / network research problems in many cases. In recent decades, a number of solution methods have been proposed in the literature, which can then be seen more and more often in scientific articles and applications. A significant part of these methods, due to lack of time, is usually left out from the curriculum of compulsory and specialized courses. The Advanced Optimization course thus fills this gap.

Az (egészértékű) lineáris programozás, mint modellezési eszköz számos esetben hatékony megoldást és mély megértést szolgáltat gráfelméleti/hálózat kutatási problémákhoz. Az utóbbi évtizedekben számos olyan megoldási módszert javasoltak a szakirodalomban, amelyeket aztán egyre többször látni a tudományos cikkekben, alkalmazásokban. Ezen módszerek jelentős része, idő hiányában, már kimarad a kötelező és szakirányos kurzusok tematikájából. Az Optimalizálás Felsőfokon kurzus így ezt a hiányt pótolja.

Tervezett tematika:

Integer Linear Programming (ILP) basics

Modeling tricks

Total unimodular matrices (TUM)

Constraint generation

Column generation

Branch-and-cut

Branch-and-price

Benders decomposition

Danzig-Wolfe decomposition

Egészértékű programozás alapok

Modellezési trükkök

Totális unimodularitás

Feltétel generálás

Oszlop generálás

Branch-and-cut

Branch-and-price

Benders dekompozíció

Dantzig-Wolfe dekompozíció

Bibliography:

- Jünger, Michael, et al., eds. 50 Years of integer programming 1958-2008: From the early years to the state-of-the-art. Springer Science & Business Media, 2009.
- Sierksma, Gerard, and Yori Zwols. Linear and integer optimization: theory and practice. Chapman and Hall/CRC, 2015.

A PhD hallgatóknak a félév végi (szóbeli) vizsga mellett egy szabadon választott cikkből is kell referálni.

5. Dr. Gergely Tamás, Dr. Vidács László: Tesztkészletek minősége / Test Quality (IDPT104-00018)

Available in English or Hungarian

Tematika:

- Tesztelés alapjai bevezető
- Blackbox és whitebox technikák
- Kód lefedettség mérése, lefedettség alapú minőség
- Teszt szelekció
- Teszt és kód együttes evolúciója
- Hiba lokalizáció
- Mutációs tesztelés
- Teszt és kód nyomon követhetősége
- Tesztkészletek és automatikus hibajavítás

Topics:- Foundations of testing

- Black box and white box techniques
- Measuring code coverage, coverage-based quality
- Test selection
- Co-evolution of test and code
- Fault localization
- Mutation testing
- Test and code traceability
- Test suites and automatic bug correction

Bibliography:

- Y. Jia and M. Harman, An analysis and survey of the development of mutation testing, *Software Engineering, IEEE Transactions on*, vol. 37, no. 5, pp. 649-678, Sept 2011.
- G. Rothermel, R. J. Untch, and C. Chu, Prioritizing test cases for regression testing, *IEEE Trans. Softw. Eng.*, vol. 27, no. 10, pp. 929-948, Oct. 2001.
- D. Athanasiou, A. Nugroho, J. Visser, and A. Zaidman, Test code quality and its relation to issue handling performance, *Software Engineering, IEEE Transactions on*, vol. 40, no. 11, pp. 1100-1125, Nov 2014.
- B. Marick, J. Bach, and C. Cem Kaner, A manager's guide to evaluating test suites, in *13th International Software Quality Conference (Quality Week)*, Jun. 2000, pp. 116.
- F. Horváth, B. Vancsics, L. Vidács, Á. Beszédes, D. Tengeri, T. Gergely, and T. Gyimóthy, Test suite evaluation using code coverage based metrics, in *Proceedings of the 14th Symposium on Programming Languages and Software Tools (SPLST'15)*, Oct. 2015, pp. 4660.
- M. J. Harrold, G. Rothermel, R. Wu, and L. Yi. An empirical investigation of program spectra. In *Proceedings of the 1998 ACM SIGPLAN-SIGSOFT workshop on Program analysis for software tools and engineering, PASTE'98*, pages 83-90. ACM, 1998.
- D. Tengeri, F. Horváth, Á. Beszédes, T. Gergely, and T. Gyimóthy. Negative Effects of Bytecode Instrumentation on Java Source Code Coverage. In *Proceedings of the 23rd IEEE International Conference on Software Analysis, Evolution, and Reengineering (SANER 2016)*, pages 225-235, March 2016.
- G. Balogh, T. Gergely, Á. Beszédes, and T. Gyimóthy. Are My Unit Tests in the Right Package? In *Proceedings of 16th IEEE International Working*

Conference on Source Code Analysis and Manipulation (SCAM'16),
pages 137-146, October 2016.

6. Dr. Pluhár András: Véletlen módszer a kombinatorikában / Random Method in Combinatorics (IDPT104-00094)

Available in English or Hungarian

Tematika:

Alapfogalmak, diszkrét mértékterek.

A várható érték linearitása és néhány következménye (Ramsey számok, Szele tétel, összeg mentes halmazok, maximális vágás, minimális domináló halmaz, függetlenségi szám becslései, LYM egyenlőtlenség).

Hipergráf 2-színezés (Erdős alsó és felső korlátja).
Újrászínezés (Beck, Radhakrisnan és Srinivasan eredményei), mohó színezés.

Második momentum módszer és néhány alkalmazása (számelmélet, különböző összegek, véletlen gráfok).

Lovász Lokális Lemma és alkalmazásai.

Négy függvény tétel és az FKG tétel.

Martingálok és véletlen gráf kromatikus száma. Chernoff korlát.
Beck-Fiala tétel.

Derandomizáció, Erdős-Selfridge tétel.

Gráf és hipergráf konténerek

Szakirodalom:

Noga Alon and Joel Spencer, The Probabilistic Method, Wiley-Interscience; 4 edition.
Yufei Zhao, Probabilistic Methods in Combinatorics, MIT Lecture notes 2024.

7. Dr. Antal Gábor: Nagy nyelvi modellek használata a szoftverek sérülékenységeinek detektálásában és javításában / Usage of Large Language Models in Vulnerability Detection and Repair (IDPT233)

Available in English or Hungarian

This course explores the intersection of Large Language Models (LLMs) and software security, focusing on how modern LLM-based techniques can be applied to detect and repair source code vulnerabilities. We will briefly overview the history of LLM usage for vulnerability detection and repair.

We will cover the state-of-the-art techniques in this topic, spanning LLM-based vulnerability detection systems, automated patch generation approaches, and combined techniques across multiple programming languages.

Topics:

- Vulnerability fundamentals: CWE, CVE, CVSS scoring methodology
- Traditional detection methods: Static/dynamic analysis tools and their limitations
- Brief history of LLM architectures for code understanding (CodeT5, CodeBERT, etc.)
- State-of-the-art LLM architectures for code understanding (e.g., DeepSeek Coder)
- State-of-the-art general purpose cloud-based LLMs for vulnerability detection and repair (e.g., GPT, Gemini, Claude)
- State-of-the-art on-premise LLMs for vulnerability detection and repair (e.g., GPT-OSS, LLama 4)
- LLM-based vulnerability detection and classification techniques
- Automated vulnerability repair and patch generation, validation using LLMs
- Evaluation strategies for generated code: EM, BLEU, etc.
- Combined approaches and complex systems

8. Dr. Kalmár György: Beágyazott mesterséges intelligencia / Embedded machine learning (IDPT234)

Only in English

Tematika:

- 1) Idősoros adatok jellemzőinek kinyerése, ezek fontossága beágyazott rendszerekben
- 2) Jelfeldolgozás gépi tanuláshoz
- 3) Hatékony modellstruktúrák
- 4) Modellkompresszió a hatékony predikció eszközei
- 5) Hardverarchitektúrák gépi tanuláshoz
- 6) Valós idejű döntéshozatal gépi tanulással
- 7) Beágyazott gépi tanuláshoz szükséges teljes munkafolyamat

Topics:

- 1) Extracting features from time series data and their importance in embedded systems
- 2) Signal processing for machine learning
- 3) Efficient model structures
- 4) Model compression as a tool for efficient prediction
- 5) Hardware architectures for machine learning
- 6) Real-time decision making with machine learning
- 7) Complete workflow for embedded machine learning

Bibliography:

- 1) Raschka, S., Liu, Y., Mirjalili, V. *Machine Learning with PyTorch and Scikit-Learn: Develop machine learning and deep learning models with Python, 2nd Edition*, Packt Publishing, 2022. ISBN: 978-1801819312
- 2) Chadha, A. *Deep Learning for Embedded Systems: A Hands-On Guide to Efficient Inference and Edge AI* Apress, 2021. ISBN: 978-1484272141"
- 3) Vermesan, O., Diaz Nava, M., & Debaillie, B.: *Embedded Artificial Intelligence: Devices, Embedded Systems, and Industrial Applications*, River Publishers, 2023. ISBN-13: 978-8770228213

- 4) Situnayake, D., & Plunkett, J. : *AI at the Edge: Solving Real-World Problems with Embedded Machine Learning*, O'Reilly Media, 2023. ISBN-13: 978-1098120207"
- 5) Egyéb, kurrens publikációk

9. Dr. Rajkó Róbert: Multivariate statistical methods (IDPT235)

Only in English

Topics

A student who has successfully completed the course a) knows the basic concepts (theories, practices) behind the multivariate statistical methods, b) can choose a relevant method from several options, c) can analyze and visualize the data with R, SPSS and Matlab software, d) draw conclusions from the analysis and report the results. The course considers multidimensional distribution, multidimensional normal distribution, conditional distributions, Hotelling T^2 and Wishart distributions, Cochran-Fisher theorem; ML estimation of the parameters of the multidimensional normal distribution, hypothesis testing of the parameters; multidimensional regression analysis, variance analysis, covariance analysis, principal component, and factor analysis; analysis of contingency tables, discriminant analysis, cluster analysis, multidimensional scaling and embedding; multivariate threshold models, probit and logit analysis; multivariate statistical software packages.

References:

- T. Cleff: *Applied Statistics and Multivariate Data Analysis for Business and Economics. A Modern Approach Using R, SPSS, Stata, and Excel*, Springer, 2025.
<https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-031-78070-7>
- D.L. Hahs-Vaughn: *Applied Multivariate Statistical Concepts*, 2nd ed., Routledge, 2025.
https://www.routledge.com/Applied-Multivariate-Statistical-Concepts/Hahs-Vaughn/p/book/9781032276076?srsId=AfmBOopoftZr-yhDBcEj2_s5PPJWXdvlQDh2plYDbQKbDm2JS2JKO0Ab
- Gy. Terdik: *Multivariate Statistical Methods. Going Beyond the Linear*, Springer, 2021.
<https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-030-81392-5>

Recommended:

C.A. Mertler, R.A. Vannatta, K.N. LaVenia: Advanced and Multivariate Statistical Methods. Practical Application and Interpretation, 7th ed., Taylor & Francis, 2021.

<https://www.taylorfrancis.com/books/mono/10.4324/9781003047223/advanced-multivariate-statistical-methods-craig-mertler-rachel-vannatta-kristina-lavenia>

A. Afifi, S. May, R. Donatello, V.A. Clark: Practical Multivariate Analysis, 6th ed., Routledge, 2020.

https://www.routledge.com/Practical-Multivariate-Analysis/Afifi-May-Donatello-Clark/p/book/9781032088471?srsId=AfmBOoo1_dHad3dojPh70emDwQC7U91Bo1Vmo4CfzD-ndwWMIQQCR7_s

B.F.J. Manly, J.A. N. Alberto, K.G. Gerow, B.F.J. Manly: Multivariate Statistical Methods. A Primer, 5th ed., CRC Press, 2024.

<https://blackwells.co.uk/bookshop/product/Multivariate-Statistical-Methods-by-Bryan-F-J-Manly-Jorge-A-Navarro-Alberto-Ken-G-Gerow-Bryan-F-J-Manly/9781032591971?srsId=AfmBOoqlOhnZPvs2seAO-jiRQ2GHeVsSvynPevWY9jSX7k21g97v5WXE>

10. Dr. Nyúl László: Fuzzy módszerek a képfeldolgozásban / Use of Fuzzy Methods in image Processing (IDPT104-00057)

Available in English

Tematika:

Fuzzy halmazok, műveletek, fuzzy logika

Fuzzy halmazok tulajdonságai

Fuzzy képfeldolgozó rendszerek felépítése

Fuzzy képjavítási módszerek

Fuzzy éldetektálás és élösszekötés

Fuzzy képszegmentálás (klaszterezés, kNN, c-means)

Fuzzy összefüggőség és változatai, algoritmusai

Fuzzy összefüggőség alkalmazása orvosi képek szegmentálásában

Topics

Imperfection is inherently present in most image processing and image analysis problems. It may be in the image data, e.g. due to the acquisition device and process, noise, discretization artifacts, and inhomogeneity of the subject of imaging.

On the other hand, in many real life image understanding applications the objectives and the expert knowledge can only be expressed in vague terms. Fuzzy set theory allows formally handling vague terms, and reasoning with degrees of truthfulness and falsehoods. Fuzzy logic is successfully applied in many fields, from control theory to pattern recognition and artificial intelligence. Expert systems, such as those in medical diagnostics also can benefit from fuzzy set theory. Fuzzy image processing is the collection of approaches that represent and process images, their segments and features as fuzzy sets. In this course we cover the basics of fuzzy set theory and fuzzy logic, and discuss, through examples, how fuzzy set representation can be applied in image processing at low-level (pixels), mid-level (image segments), and high-level (objects and scenes) tasks.

Bibliography:

- James C. Bezdek, James Keller, Rangu Krishnapuram, Nikhil R. Pal: Fuzzy Models and Algorithms for Pattern Recognition and Image Processing, Kluwer Academic Publishers, 1999.