

## Doctoral Courses 2024-2025 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](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. Gazdag-Tóth Boglárka: Kvantum optimalizálási módszerek (IDPT230)

*Magyar nyelven, olvasókurzus / Only in Hungarian*

### **Tematika:**

Problémák kvantum információ-elméleti bonyolultsága, Grover keresés, paraméteres kvantum áramkörök, variációs kvantum sajátérték keresés (VQE), Adiabaticus optimalizálás, Kapualapú adiabaticus algoritmusok (QAOA), Időfejlődésen alapuló közelítő algoritmusok (QTE, QRTE, QITE), Duális varQITE algoritmus

### **Szakirodalom:**

Summary of the Quantum Optimization Working Group: Quantum Optimization: Potential, Challenges, and the Path Forward (2023),

S. McArdle és tsai: Variational ansatz-based quantum simulation of imaginary time evolution (2019),

J. Gacon és tsai: Variational quantum time evolution without the quantum geometric tensor (2024),

## 3. Dr. Kató Zoltán: CNNs in Image Processing (IDPT231)

*Only in English*

### **Topics:**

Convolution and digital images (foundation of convolution and associated algorithms)

CNNs – Convolutional Neural Networks (construction, training, inference)

Backbone networks (VGG, Resnet,...)

Object detection , Segmentation

Correspondences

3D reconstruction , Tracking, localization

Latest trends and results

Implementation: PyTorch: <https://pytorch.org/>

Results and trends: ICCV, CVPR, ECCV conferences, IJCV, PAMI journals



#### 4. Dr. Kertész Attila: IoT-Felhő rendszerek szimulációja / Simulating IoT-Cloud systems (IDPT224)

*Available in English*

**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 realiztikusan 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.

### **5. Dr. Bilicki Vilmos, Dr. Siket István: Prompt Engineering for Software Development (IDPT225)**

*Only in English*

**Description:** This course explores the principles and techniques of prompt engineering for software development, focusing on utilizing large language models like GPT-4 and other open source models. Students will learn how to effectively design prompts for various software development tasks, such as code generation, bug identification, documentation, and code review. The course also covers topics like fine-tuning and transfer learning, AI infrastructure.

**Topics:** Introduction to Language Models in Software Development: An overview of how large-scale language models like GPT-4 are utilized in the software development process, covering their capabilities, limitations, and underlying architectures.



Basics of Prompt Engineering for Developers: The importance of crafting effective prompts for generating useful, accurate, and relevant responses from language models in software development applications.

Prompt Types and Techniques for Developers: Exploration of various types of prompts and techniques for crafting effective prompts, with a focus on applications in software development, such as code generation and bug identification.

Open Source Large Language Models in Software Development: A survey of popular open source large language models, such as BERT, RoBERTa, and T5, and their applications in software development tasks.

Model Fine-tuning and Transfer Learning for Software Tasks: Techniques for adapting pre-trained language models to specific software development tasks using transfer learning and fine-tuning, including code generation, documentation, and code reviews.

Evaluating Model Performance in Software Development: Methods and metrics for assessing the quality and effectiveness of language model outputs in software development, including both quantitative and qualitative analyses.

Bias and Fairness in Language Models for Software Development: Understanding and addressing biases present in large language models and their implications for software development, with a focus on ensuring fairness and inclusivity in generated code and recommendations.

Infrastructure for AI-powered Software Development: An overview of the infrastructure required for AI-driven software development, including vector stores, distributed computing, and storage solutions for efficient language model utilization.

Code Review and Collaboration with AI: Techniques for leveraging language models in collaborative code review processes, including detecting issues, suggesting improvements, and enhancing overall code quality.

Advanced Prompt Engineering Techniques for Developers: In-depth exploration of techniques for optimizing prompts in software development contexts, such as enhancing code generation, improving error detection, and facilitating code refactoring.

Domain-specific Prompt Engineering in Software Development: Strategies and examples for crafting prompts specific to various software development domains, such as web development, mobile development, data science, and game development.

Interactive Applications and Conversational AI for Developers: Designing prompts for interactive software development applications, such as AI-assisted code editors, developer chatbots, and conversational agents for user support.

Data Collection and Dataset Curation for Software Development: Techniques for creating, collecting, and curating datasets to train language models and improve their performance on software development tasks.

Final Project Presentations and Course Wrap-up: Students present their final projects, showcasing their prompt engineering skills applied to real-world software development problems, followed by a course review and discussion on future developments in the field.

## **6. 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.



## 7. Dr. Palágyi Kálmán: Digitális topológia és matematikai morfológia (IDPT110)

*Magyar nyelven, konzultációs kurzus / Only in Hungarian, reading course*

### Tematika

1. Digitális képek, szomszédságok, Jordan tétel
2. Topológiai jellemzők, lyukak 3D-ben
3. Képművelet, addíció, redukció, topológia-megőrzés, topológiai mag
4. Egyszerű pontok 2D-ben és 3D-ben
5. Topológia-megőrző párhuzamos redukciók
6. Erózió, dilatáció, nyitás, zárás, morfológiai szűrés
7. Határkivonás, régiófeltöltés, komponens kivonás, vázkijelölés
8. Hit-or-miss transzformáció, vékonyítás, vastagítás, váztisztítás, konvex burok
9. Morfológiai műveletek többszintű képeken

### Irodalom

- R. Klette, A. Rosenfeld: Digital geometry - Geometrical methods for digital picture analysis, Elsevier - Morgan kaufman Publishers, 2004.
- E.R. Dougherty, R.A. Lotufo: Hands-on morphological image processing, SPIE Press, 2003.

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

*Available in English*

### 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 halmazhoztartozási 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: "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

## 9. Dr. Kiss Ákos, Dr. Gál Péter: Fordítóprogramok / Compiler technologies (IDPT104-00038)

*Available in English*

### **Tematika / Topics**

#### Vezérlési folyamat analízis / Control-flow analysis

(Keresések és bejárások, dominátorok és postdominátorok, hurkok és erősen összefüggő komponensek, reducibilitás, intervallumanalízis és vezérlési fák, szerkezeti analízis

/ Searches and traversals, dominators and postdominators, loops and strongly connected components, reducibility, interval analysis and control trees, structural analysis)

#### Adatfolyam analízis / Data-flow analysis

(Hálók, folyamfüggvények és fixpontok, adatfolyam problémák és megoldási módszerek. Iteratív adatfolyam analízis, folyamfüggvények hálói, vezérlési fa alapú adatfolyam analízis, szerkezeti analízis, intervallum analízis, Du/Ud láncok, SSA, tömbök, struktúrák és mutatók kezelése

/ Lattices, flow functions and fixed points, data flow problems and solution methods, iterative data-flow analysis, lattices of flow functions, control-tree-based data-flow analysis, structural analysis, interval analysis, Du-/Ud-chains, SSA, dealing with arrays, structures and pointers)

#### Függőségi analízis és függőségi gráfok

(Függőségi relációk, alapblokk függőségi DAG-ok, függőségek ciklusokban, programfüggőségi gráfok, függőségek dinamikusan foglalt objektumok között

/ Dependence relations, basic-block dependence DAGs, dependences in loops, program-dependence graphs, dependences between dynamically allocated objects)

#### Alias analízis / Alias analysis

(Aliasok valós programozási nyelvekben, az alias-gyűjtő, az alias-propagáló / Aliases in various real programming languages, the alias gatherer, the alias propagator)

#### Optimalizálások alapjai / Introduction to optimization

(Folyamérzékenység, lehetséges és kötelező információ, optimalizálások sorrendje és ismétlése

/ Flow sensitivity, may vs. must information, order and repetition of optimizations)

### **Irodalomjegyzék / Bibliography**

\* Steven S. Muchnick: Advanced Compiler Design and Implementation. Morgan Kaufmann Publishers, 1997

\* Dick Grune, Henri E. Bal, Cerial J. H. Jacobs, Koen G. Langendoen: Modern Compiler Design. John Wiley & Sons, 2000

## **10. Dr. Pletl Szilveszter: Adaptív irányítások (IDPT142)**

*Magyar nyelven*

### **A tantárgy célkitűzése:**

A tárgy célja, hogy összefoglalja az adaptív rendszerek azon belül is az adaptív jelfeldolgozás és adaptív irányítás korszerű elméleteit. A tárgyalt algoritmusok feltehetően még hosszú ideig hatást gyakorolnak a működési környezet megváltozásaihoz is alkalmazkodni képes rendszerek elméletére és gyakorlatára. Napjaink hardvereszközei lehetővé teszik a tárgyalt algoritmusok beágyazott rendszerekben való alkalmazását. A tárgy célul tűzi ki az egyes algoritmusok, speciális architektúrákon történő implementálását is.

### **Tartalom:**

Általános áttekintés, jel és rendszertechnikai alapfogalmak. Lineáris irányítások. Állapotbecslés. A Kalman-szűrő. LQ irányítás. Nemlineáris rendszerek irányítása. Az önhangoló adaptív irányítás. A modell referens adaptív irányítás. Az MIT szabály. Az LMS algoritmus. Paraméterbecslés. ARMA folyamatok. Adaptív szűrők. Az adaptív lineáris kombinátor. Esettanulmányok.

### **Irodalom:**

- [1] Karl J Åström, Björn Wittenmark, „Computer-Controlled Systems: Theory and Design”, Third Edition, Dover New York, 2011.
- [2] Karl J. Åström, Björn Wittenmark, „Adaptive Control”, Second Edition, Dover New York, 2008.
- [3] George Ellis, "Control System Design Guide", Elsevier, 2012, ISBN: 978-0-12-385920-4.
- [4] Shimon Y. Nof, "Springer Handbook of Automation", 2009, Springer, ISBN: 978-3-540-78830-0
- [5] Lantos Béla, "Nonlinear Control of Vehicles and Robots". Springer London Ltd. 2010, ISBN 9781849961219.
- [6] B. Widrow, S.D.Stearns, "Adaptive Signal Processing", Prentice-Hall, 1985.
- [7] Aström, K. J. - Wittenmark, B.: "Computer controlled systems". Prentice-Hall, 1997.
- [8] Hassan K. Khalil, „Nonlinear Control, Global Edition”, Pearson Education Limited, 2015.