

Oblast vzdělávání INFORMATIKA

Studijní program P4I1 Teoretická informatika a umělá inteligence

Oborová rada

Aktuální složení rady je na adrese <http://mff.cuni.cz/phd/or/p4i1>.

Spolupracující ústavy

- Matematický ústav AV ČR, v.v.i.
Žitná 25, 115 67 Praha 1
<http://www.math.cas.cz>
- Ústav informatiky AV ČR, v.v.i.
Pod vodárenskou věží 2, 182 07 Praha 8
<http://www.cs.cas.cz/>
- Ústav teorie informace a automatizace AV ČR, v.v.i.
Pod vodárenskou věží 4/1143, 182 08 Praha 8
<http://www.utia.cas.cz/>

Vypsaná témata

Jsou k nahlédnutí v SIS na adrese <http://mff.cuni.cz/phd/temata/p4i1>.

Poskytovaná výuka

Kód	Název	ZS	LS
NTIN091	Diplomový a doktorandský seminář 1	0/2 Z	—
NTIN092	Diplomový a doktorandský seminář 2	—	0/2 Z
NTIN088	Algoritmická náhodnost	—	2/0 Zk
NDMI018	Aproximační a online algoritmy	—	2/2 Z+Zk
NTIN017	Paralelní algoritmy	—	2/0 Zk
NDMI025	Pravděpodobnostní algoritmy	—	2/2 Z+Zk
NTIN097	Struktury v hyperkrychlích	2/0 Zk	—
NTIN096	Pseudo-Booleovská optimalizace	—	2/0 Zk
NTIN050	Seminář z výpočetní složitosti	0/2 Z	0/2 Z
NDBI031	Statistické metody v systémech pro dobývání znalostí z dat	1/1 Z+Zk	—

NTIN081	Výpočetní složitost a interaktivní protokoly	—	2/0 Zk
NTIN085	Vybrané kapitoly z výpočetní složitosti I	2/1 Z+Zk	—
NTIN086	Vybrané kapitoly z výpočetní složitosti II	—	2/1 Z+Zk
NTIN082	Neuniformní výpočetní modely	—	2/0 Zk
NAIL013	Aplikace teorie neuronových sítí	—	2/0 Zk
NAIL021	Booleovské funkce a jejich aplikace	2/0 Zk	—
NAIL025	Evoluční algoritmy 1	2/2 Z+Zk	—
NAIL086	Evoluční algoritmy 2	—	2/2 Z+Zk
NAIL078	Lambda-kalkulus a funkcionální programování 1	2/1 Z+Zk	—
NAIL079	Lambda-kalkulus a funkcionální programování 2	—	2/1 Z+Zk
NAIL076	Logické programování 1	2/0 Zk	—
NAIL077	Logické programování 2	—	2/0 Zk
NAIL002	Neuronové sítě	4/2 Z+Zk	—
NAIL071	Plánování a rozvrhování	—	2/0 Zk
NOPT042	Programování s omezujícími podmínkami	2/2 Z+Zk	—
NAIL031	Reprezentace booleovských funkcí	—	2/0 Zk
NAIL029	Strojové učení	—	2/0 Zk

Seznam požadavků ke státní doktorské zkoušce

Státní doktorská zkouška se skládá ze čtyř otázek. Po jedné otázce dostane student z témat 1 a 2, třetí otázku dostane student zaměření Teoretická informatika z témat 3 nebo 4 (dle vlastního výběru) a student zaměření Umělá inteligence z témat 5-7 (dle vlastního výběru). Čtvrtá otázka je z tématu profilujícího podle dohody se školitelem (může být jedno z ostatních témat):

1. Logika

Výroková a predikátová logika, syntax a sémantika, jejich vztah. Formální dokazovací systémy, formální aritmetika, bezespornost a úplnost, Gödelovy věty. Turingovy stroje. Algoritmicky nerozhodnutelné problémy, nerozhodnutelnost predikátové logiky, nerozhodnutelnost bezesporných rozšíření elementární aritmetiky. Nedefinovatelnost pravdy v aritmetice. Věty o rekurzi.

2. Teorie složitosti

Modely sekvenčních a paralelních počítačů. Booleovské formule a obvody. Míry složitosti (čas a prostor). Nedeterministické, alternující a interaktivní výpočty. Třídy složitosti, redukce a úplné úlohy, polynomiální hierarchie. Základní pojmy důkazové složitosti. Dolní odhady pro náhodné a explicitní funkce. Randomizované algoritmy a pseudonáhodnost. Komunikační složitost a její aplikace. Základy teoretické kryptografie. Kvantové obvody a algoritmy.

3. Datové struktury

Výpočetní modely (RAM a jeho varianty). Kompresce dat. Vyhledávací stromy. Hešování. Pokročilé haldy. Datové struktury pro práci s celými čísly. Datové struktury pro práci s řetězci. Vícerozměrné datové struktury. Struktury pro práci s grafy. Dynamizace a persistence. Práce s paměťovou hierarchií. Data-streamové problémy.

4. Algoritmy

Deterministické, pravděpodobnostní a paralelní algoritmy. Návrh efektivních algoritmů a jejich analýza. Grafové algoritmy. Efektivní algoritmy pro lineární programování a jejich aplikace. Metody pro řešení obtížných úloh: aproximační algoritmy, schémata a heuristické metody. Základní kryptografické protokoly.

5. Umělá inteligence

Reprezentace znalostí, automatické dokazování, rezoluční metoda. Booleovská splnitelnost, splňování omezujících podmínek. Deklarativní programovací jazyky. Prohlédávání stavového prostoru, metaheuristiky, jejich příklady a aplikace, lokální prohlédávání. Plánování akcí. Práce s neurčitostí, Bayesovské sítě, Markovské rozhodovací problémy. Multiagentní systémy a teorie her.

6. Strojové učení a analýza dat

Teoretické aspekty strojového učení. Typy modelů: penalizovaná složitost, jádrové metody, systémy bazických funkcí. Pravděpodobnostní přístupy. Algoritmy strojového učení. Zpětnovazební učení. Umělé neuronové sítě, jejich učení, aplikace a vlastnosti. Hluboké učení. Metody pro dobývání znalostí. Reprezentace, vyhodnocování a vizualizace získaných znalostí.

7. Přírodou inspirované optimalizační algoritmy

Evoluční algoritmy, reprezentace jedince, genetické operátory, adaptace a sebeadaptace parametrů, metody pro práci s omezujícími podmínkami. Evoluční strategie. Vícekriteriální evoluční algoritmy. Stromové, lineární a kartézské genetické programování, gramatická evoluce. Aplikace evolučních algoritmů – kombinatorická optimalizace, spojitá optimalizace, neuroevoluce a pravidlové systémy. Koevoluce a meta-evoluce. Optimalizace hejnem částic a koloniemi mravenců a jejich aplikace.

Doporučená literatura

1. Logika:

Nerode A., Shore R. A.: **Logic for Applications**. 2nd ed., Springer, 1997.

Pudlák P.: **Logical Foundations of Mathematics and Computational Complexity - A Gentle Introduction**. Springer, 2013.

Rautenberg W.: **A concise introduction to mathematical logic**. Springer, 2010.

Soare, R.I.: **Turing Computability, Theory and Applications**. Springer, 2016.

2. Teorie složitosti:

Arora, S., Barak, B.: **Computational Complexity: A Modern Approach**. Text přístupný na <http://theory.cs.princeton.edu/complexity/>.

Kushilevitz, E., Nisan, N.: **Communication complexity**. Cambridge University Press, Cambridge, 1997.

Papadimitriou, C. H.: **Computational Complexity**. Addison–Wesley, Reading, MA, 1994.

Jukna S.: **Boolean Function Complexity: Advances and Frontiers**. Springer–Verlag, 2012.

Cover T.M., Thomas, J.A.: **Elements of Information Theory**. John Wiley & Sons, 2nd edition, 2006.

3. Datové struktury:

Navarro, G.: **Compact Data Structures: A Practical Approach.** *Cambridge University Press, 2016.*

Crochemore, M., Hancart, Ch., Lecroq. T.: **Algorithms on Strings.** *Cambridge University Press, 2014.*

Navarro, G., Raffinot. M.: **Flexible Pattern Matching in Strings: Practical On-Line Search Algorithms for Texts and Biological Sequences.** *Cambridge University Press, 2002.*

Mehta, D.P., Sahni, S.: **Handbook of Data Structures and Applications.** *Chapman Hall/CRC Computer and Information Science Series, 2004.*

Chakrabarti, A.: **Data Stream Algorithms, Lecture Notes,** *by Dartmouth College, 2014.*

4. Algoritmy:

Cormen et al: **Introduction to Algorithms.** *3rd ed., MIT press, 2009.*

Kleinberg, J., Tardos, E.: **Algorithms Design.** *Addison-Wesley, Reading, MA, 2005.*

Vazirani, V. V.: **Approximation Algorithms.** *Springer-Verlag, 2001.*

Williamson, D. P., Shmoys, D. B.: **The Design of Approximation Algorithms.** *Cambridge University Press, 2011.*

Mitzenmacher, M., Upfal, E.: **Probability and Computing: Randomized Algorithms and Probabilistic Analysis.** *Cambridge University Press, 2005.*

5. Umělá inteligence:

Russell, S. J., Norvig, P.: **Artificial Intelligence: A Modern Approach.** *3rd ed., Pearson, 2009.*

Ghallab, M., Nau, D., Traverso, P.: **Automated Planning: Theory and Practice.** *Morgan Kaufmann, 2004.*

Rossi, F., Beek van, P., Walsh, T. (eds.): **Handbook of Constraint Programming.** *Elsevier, 2006.*

Dechter, R.: **Constraint Processing.** *Morgan Kaufmann, 2003.*

6. Strojové učení a analýza dat:

Aggarwal, C. C.: **Data Mining: The Textbook.** *Springer-Verlag, 2015.*

Goodfellow, I., Bengio, Y., Courville, A.: **Deep Learning.** *The MIT Press, 2016.*

Hastie, T., Tibshirani, R., Friedman, J.: **The Elements of Statistical Learning.** *Springer, 2013.*

James, G., Witten, D., Hastie, T., Tibshirani, R.: **An Introduction to Statistical Learning with Applications in R.** *Springer, 2013.*

Marsland, S.: **Machine Learning: An Algorithmic Perspective.** *2nd ed., Taylor Francis, 2015.*

7. Přírodou inspirované optimalizační algoritmy:

Eiben, A. E., Smith, J. E.: **Introduction to Evolutionary Computing.** *2nd ed., Springer, 2015.*

Michalewicz. Z., Fogel, D.B.: **How to Solve It: Modern Heuristics.** *2nd ed., Springer, 2004.*

Poli R., Langdon. W.B., McPhee. N.F.: **Field Guide to Genetic Programming.** *Lulu, 2008.*

Yang, X.-S.: **Nature-Inspired Optimization Algorithms.** *Elsevier, 2014.*

Ryan C., O'Neill, M., Collins, J.J. (Eds): **Handbook of Grammatical Evolution.** *Springer, 2018.*

Studijní program P4I2 Informatika - Softwarové systémy

Oborová rada

Aktuální složení rady je na adrese <http://mff.cuni.cz/phd/or/p4i2>.

Vypsaná témata

Jsou k nahlédnutí v SIS na adrese <http://mff.cuni.cz/phd/temata/p4i2>.

Poskytovaná výuka

Kód	Název	ZS	LS
NSWI132	Analýza programů a verifikace kódu	—	2/2 Z+Zk
NTIN033	Experimentální analýza algoritmů	—	2/2 Z+Zk
NTIN043	Formální základy softwarového inženýrství	2/2 Z+Zk	—
NPRG014	Koncepty moderních programovacích jazyků	0/3 Z	—
NMAI061	Metody matematické statistiky	—	2/1 Z+Zk
NSWI080	Middleware	—	2/1 KZ
NSWI164	Modelem řízený vývoj	0/1 Z	—
NSWI101	Modely a verifikace chování systémů	2/2 Z+Zk	—
NSWI029	Moderní trendy v informatice	0/2 Z	0/2 Z
NDBI033	Netradiční databázové modely, architektury a jazyky	2/0 Zk	—
NSWI026	Pokročilé aspekty softwarového inženýrství	—	2/2 Z+Zk
NPRG058	Pokročilé programování v paralelním prostředí	2/2 Z+Zk	—
NTIN018	Pravděpodobnostní analýza algoritmů	2/0 Zk	—
NMAI060	Pravděpodobnostní metody	2/0 Zk	—
NSWI104	Řízení firem – Systémová dynamika II	—	0/2 Z
NSWI103	Řízení projektů – Systémová dynamika I	0/2 Z	—
NAIL094	Rozhodovací procedury a SAT/SMT řešiče	—	2/2 Z+Zk
NSWI063	Start-up nebo korporace — Tajemství kariéry v IT	0/1 Z	—
NDBI019	Stochastické metody v databázích	—	2/0 Zk
NDBI042	Techniky vizualizace dat	—	2/1 Z+Zk
NDBI016	Transakce	—	2/0 Zk
NSWI057	Výběrový seminář z distribuovaných a komponentových systémů I	0/2 Z	—

Seznam požadavků ke státní doktorské zkoušce

Zkouška se skládá ze tří tematických okruhů. Prvním okruhem je zvolené téma závěrečné práce, další dva okruhy si vybere student ve spolupráci se školitelem z vypsání seznamu. Všechny okruhy jsou zkoušené jako prezentace studenta následovaná diskuzí se zkušební komisí. Komise hodnotí zejména perspektivu postupu závěrečné práce a orientaci ve zvolených tématech z pohledu tematického zaměření studenta.

U prvního okruhu (téma závěrečné práce) by měla prezentace zejména vysvětlit budoucí přínos závěrečné práce v kontextu existujícího výzkumu a uvést případné dosavadní výsledky a plán dalšího postupu tak, aby komise získala představu o budoucí podobě práce, použitých metodách a očekávaných výsledcích.

U dalších okruhů (obecně volitelná témata) by měla prezentace kriticky shrnout zvolená témata zejména pokud jde o jejich přínos k výzkumnému zaměření studenta. Očekává se proto volba aktuálních a relevantních výzkumných témat, včetně případných relevantních teoretických základů. Školitel v případě potřeby ještě před vyhlášením termínu zkoušky navrhne oborové radě rozšíření seznamu vypsání okruhů zkoušky nebo aktualizaci literatury tak, aby obsahoval aktuální témata relevantní k výzkumnému zaměření studenta. Každé téma by mělo být koncipováno jako kompaktní seznam zdrojů (zejména výzkumných publikací), který odpovídá vývoji oboru a potřebám zkoušky.

Distribuované a edge cloud systémy

M. Satyanarayanan: **The Emergence of Edge Computing** *IEEE Computer*, 2017.

M. Villari, M. Fazio, S. Dustdar, O. Rana, R. Ranjan: **Osmotic Computing: A New Paradigm for Edge/Cloud Integration**. *IEEE Cloud Computing*, 2016.

G. Coulouris, J. Dollimore, T. Kindberg, G. Blair: **Distributed Systems: Concepts and Design (5th Edition)** *Pearson*, 2011.

Modelování multi-model dat

A. Hernández et al.: **Exploring the visualization of schemas for aggregate-oriented NoSQL databases**. *Proc. ER Forum 2017*.

M.-A. Baazizi et al.: **Parametric schema inference for massive JSON datasets**. *The VLDB Journal*, 2019.

M. Klettke, U. Storl, S. Scherzinger: **Schema extraction and structural outlier detection for JSON-based NoSQL data stores**. *Proc. BTW 2015*.

A. A. Frozza, E. D. Defreyne, R. Dos Santos Mello: **A Process for Inference of Columnar NoSQL Database Schemas**. *Proc. SBC 2020*.

P. Atzeni et al.: **Data modeling in the NoSQL world**. *Computer Standards Interfaces*, 2020.

D. I. Spivak: **Functorial data migration**. *Information and Computation*, 2012.

J. Shinavier, R. Wisnesky: **Algebraic property graphs**. *arXiv 1909.04881*, 2019.

Z. H. Liu et al.: **Multi-model database management systems-a look forward**. *Springer*, 2018.

Moderní databázové systémy

- P. J. Sadalage, M. Fowler: **NoSQL distilled: a brief guide to the emerging world of polyglot persistence.** *Pearson Education, 2013.*
- I. Holubová et al.: **Big Data a NoSQL databáze.** *Grada, 2015.*
- J. Lu, I. Holubová: **Multi-model databases: a new journey to handle the variety of data.** *ACM Computing Surveys, 2019.*

Objektové systémy

- A. Rausch et al.: **The Common Component Modeling Example: Comparing Software Component Models.** *Springer, 2008.*
- B. Pierce: **Types and Programming Languages.** *MIT Press, 2002.*
- D. Flanagan: **JavaScript: The Definitive Guide.** *O'Reilly Media, 2011.*
- D. Ghosh: **DSLs in Action.** *Manning Publications, 2010.*
- D. Koenig, A. Glover, P. King, G. Laforge, J. Skeet: **Groovy in Action.** *Manning Publications, 2007.*
- G. T. Brown: **Ruby Best Practices.** *O'Reilly Media, 2009.*
- G. T. Leavens, M. Sitaraman: **Foundations of Component-Based Systems.** *Cambridge University Press, 2000.*
- M. Abadi, L. Cardelli: **A Theory of Objects.** *Springer, 1998.*
- M. Fogus, C. Houser: **Joy of Closure.** *Manning Publications, 2011.*
- M. Odersky, L. Spoon, B. Venner: **Programming in Scala (2nd Edition).** *Artima, 2010.*
- R. Miles: **AspectJ Cookbook.** *O'Reilly, 2004.*
- T. Stahl, M. Volter: **Model-Driven Software Development.** *Wiley, 2006.*

Překladače

- A. V. Aho, M. S. Lam, R. Sethi, J. D. Ullman: **Compilers: Principles, Techniques, and Tools (2nd Edition).** *Addison Wesley, 2006.*
- C. F. Bolz, A. Cuni, M. Fijałkowski, A. Rigo: **Tracing the Meta-Level: PyPy's Tracing JIT Compiler.** *Proc. OOPSLA, 2009.*
- D. Grune, H. E. Bal, C. J. H. Jacobs, K. G. Langendoen: **Modern Compiler Design.** *J. Wiley, 2000.*
- D. Grune, K. van Reeuwijk, H. Bal, C. J. H. Jacobs, K. G. Langendoen: **Modern Compiler Design.** *Springer, 2012.*
- J. P. Shen, M. H. Lipasti: **Modern Processor Design: Fundamentals of Superscalar Processors.** *Waveland Press, 2013.*
- M. Arnold, S. Fink, D. Grove, M. Hind, P. F. Sweeney: **Architecture and Policy for Adaptive Optimization in Virtual Machines.** *IBM, 2004.*
- R. Allen, K. Kennedy: **Optimizing Compilers for Modern Architectures: A Dependence-Based Approach.** *Morgan Kaufmann, 2001.*

Specifikace chování softwarových systémů

- A. R. Bradley, Z. Manna: **The Calculus of Computation.** *Springer, 2007.*
- E. A. Emerson: **Temporal and Modal Logic.** *Elsevier, 1990.*
- E. M. Clarke, O. Grumberg, D. A. Peled: **Model Checking.** *The MIT Press, 1999.*
- F. Nielson, H. R. Nielson, C. Hankin: **Principles of Program Analysis.** *Springer, 2004.*

J. A. Bergstra, A. Ponse, S. A. Smolka: **Handbook of Process Algebra**. Elsevier, 2001.

K. McMillan: **Symbolic Model–Checking**. Kluwer, 1993.

R. Milner: **Communication and Concurrency**. Prentice Hall, 1995.

Strojové učení

T. Hastie, R. Tibshirani, J. Friedman: **The Elements of Statistical Learning: Data Mining, Inference, and Prediction (2nd Edition)**. Springer, 2017.

I. Goodfellow, Y. Bengio, A. Courville: **Deep Learning**. MIT Press, 2016.

Studijní program P4I3 Matematická lingvistika

Oborová rada

Aktuální složení rady je na adrese <http://mff.cuni.cz/phd/or/p4i3>.

Vypsaná témata

Jsou k nahlédnutí v SIS na adrese <http://mff.cuni.cz/phd/temata/p4i3>.

Poskytovaná výuka

Kód	Název	ZS	LS
NPFL004	Seminář z formální lingvistiky	0/2 Z	0/2 Z
NPFL006	Úvod do formální lingvistiky	2/0 Zk	—
NPFL015	Metody automatizovaného překladu	0/2 Z	—
NPFL024	Syntaktická analýza češtiny	—	0/2 Z
NPFL038	Základy rozpoznávání a generování mluvené řeči	2/2 Z+Zk	—
NPFL054	Úvod do strojového učení v systému R	—	2/2 Z+Zk
NPFL063	Úvod do obecné lingvistiky	2/1 Z+Zk	—
NPFL067	Statistické metody zpracování přirozených jazyků I	2/2 Z+Zk	—
NPFL068	Statistické metody zpracování přirozených jazyků II	—	2/2 Z+Zk
NPFL070	Zdroje jazykových dat	1/2 KZ	—
NPFL073	Matematické metody v lingvistice	0/2 Z	—
NPFL075	Závislostní gramatiky a korpusy	—	2/2 Z+Zk
NPFL079	Algoritmy rozpoznávání mluvené řeči	—	2/2 Z+Zk
NPFL083	Lingvistické teorie a gramatické formalismy	—	2/2 Z+Zk
NPFL087	Statistický strojový překlad	—	2/2 Z+Zk
NPFL094	Morfologická a syntaktická analýza	2/0 KZ	—
NPFL095	Moderní metody v počítačové lingvistice	0/2 Z	—

NPFL097	Neřízené strojové učení v NLP	1/1 Z	—
NPFL099	Statistické dialogové systémy	2/1 Z+Zk	—
NPFL100	Variabilita jazyků v čase a prostoru	1/1 Z	—
NPFL103	Vyhledávání informací	2/2 Z+Zk	—
NPFL106	Obecná lingvistika	—	1/1 KZ
NPFL109	Číslicové zpracování zvukových signálů	—	2/2 Z+Zk
NPFL114	Hluboké učení	—	3/2 Z+Zk
NPFL116	Kompendium neuronového strojového překladu	—	0/2 Z
NPFL118	Zpracování přirozeného jazyka na výpočetním clusteru	0/2 Z	—
NPFL120	Mnohojazyčné počítačové zpracování jazyka	—	1/1 KZ
NPFL122	Hluboké zpětnovazební učení	2/2 Z+Zk	—
NPFL123	Dialogové systémy	—	2/2 Z+Zk
NPFL124	Zpracování přirozeného jazyka	—	2/1 Z+Zk
NPFL125	Základy jazykových technologií	0/2 KZ	—
NPFL129	Úvod do strojového učení v Pythonu	2/2 Z+Zk	—

Seznam požadavků ke státní doktorské zkoušce

Zkouška se skládá ze dvou částí. V první části uchazeč představí výsledky své dosavadní rešeršní a výzkumné práce v návaznosti na téma zadané doktorské disertační práce. Ve druhé části jsou kladeny otázky ze tří okruhů. Okruh 1 je povinný. Ze zbývajících osmi okruhů uchazeč volí dva (všechny kombinace jsou možné).

Okruh 1 - Společný základ

Typy úloh a aplikací v počítačovém zpracování přirozeného jazyka. Základy pravděpodobnosti, jazykové modelování. Základní pojmy řízeného a neřízeného strojového učení. Výpočetní model neuronových sítí. Základy teorie grafů. Automaty a gramatiky, Chomského hierarchie. Popis jazykového systému jako souboru rovin. Základní pojmy lexikologie. Základní pojmy jazykové typologie. Korpusy, klasifikační kritéria. Principy lingvistické anotace. Morfologická anotace. Syntaktická anotace (složkové a závislostní korpusy). Paralelní korpusy. Specializované korpusy. Lexikální zdroje (slovníky, ontologie ad.). Zásady využívání dat při vyhodnocování experimentů, užití základních evaluačních měř, měření mezianotátorské shody. Vyhledávání v jazykových datech.

Volitelné okruhy pro počítačové zaměření

Okruh 2 - Základní statistické metody a strojové učení ve zpracování přirozeného jazyka

Pravděpodobnostní přístup ke zpracování jazyka. Jazykové modely, vyhlazování. Model šumového kanálu. Metody řízeného učení (lineární regrese, logistická regrese, rozhodovací stromy, perceptron, metoda podpůrných vektorů, K nejbližších sousedů ad.). Kernelové metody. Metody neřízeného učení (shluková analýza, EM ad.). Skryté Markovovy modely (algoritmy Baum–Welch, Forward–Backward, Viterbi). Algoritmy pro statistický tagging. Algoritmy pro složkový a závislostní

statistický parsing. Statistický strojový překlad. Základy neuronových sítí pro využití v počítačovém zpracování jazyka. Testy signifikance.

Okruh 3 - Pokročilé strojové učení

Trénování neuronových sítí. Regularizace neuronových sítí. Konvoluční sítě. Rekurentní sítě. Distribuované reprezentace a embeddingy slov. Architektury pro zpracování přirozeného jazyka. Generativní modelování textu a obrázků. Zpětnovazební učení. Optimalizace diskrétních latentních proměnných. Bayesovská inference. Metody typu Markov Chain Monte Carlo.

Okruh 4 - Strojový překlad

Úloha strojového překladu (obtížnost MT, prostor správných a nesprávných překladů, víceznačnost a vágnost, mezivětné vztahy). Vyhodnocování překladu (ruční, automatické; proti referenci, bez reference). Data pro strojový překlad (zarovnání dokumentů, vět, slov a jiných jednotek, modely IBM). Klasický statistický strojový překlad (frázový překlad a další metody používající překladové jednotky). Heuristické přístupy (transfer-based MT, hybridní překlad). Neuronový strojový překlad (architektury, vztah diskrétní a spojitě reprezentace výrazů přirozeného jazyka). Pokročilé metody (multi-task, multi-lingual MT, ad.). Formální popis jazyka pro překlad (morfologie a syntax v překladu). Počítačem podporovaný překlad (CAT, TM, inkrementální překlad).

Okruh 5 - Vyhledávání informací

Booleovský model. Invertovaný index, komprese indexu. Tolerantní vyhledávání. Oprava pravopisných chyb. Vektorový model. Evaluace a benchmarky. Metody zpětné vazby, rozšiřování dotazů. Pravděpodobnostní modely. Jazykové modely. Klasifikace dokumentů. Learning to rank. Shlukování dokumentů. Latentní sémantické indexování.

Okruh 6 - Zpracování mluvené řeči a dialogové systémy

Modelování akustiky fonému. Implementace Baum-Welch a Viterbi algoritmu pro rozpoznávání řeči. Adaptační techniky. Metody syntézy řeči. Dialogové systémy. Základní komponenty dialogového systému. Stav dialogu, řízení dialogu. Porozumění mluvené řeči. Generování promluvy. Neuronové dialogové systémy. Hodnocení kvality dialogových systémů.

Volitelné okruhy pro lingvistické zaměření

Okruh 7 - Formální popis jazykového systému

Základy fonetiky a fonologie. Morfologická stavba jazyka. Základní slovotvorné postupy. Syntaktická stavba jazyka: reprezentace větné stavby, povrchová a hloubková stavba věty, role valence, aktuální členění věty. Jazykový význam, asymetrie formy a významu; jazykový význam a kognitivní obsah. Výstavba textu: mezivětné významové vztahy (discourse relations), koreference a asociační anafora. Základní pojmy stylistiky; přehled stylů a žánrů, využití jazykových prostředků pro ztvárnění stylu textu. Základní pojmy sémantiky a pragmatiky.

Okruh 8 - Lingvistické formalismy (základní charakteristiky)

Lingvistické formalismy a jejich účel. Funkční generativní popis. Generativní gramatika, Government & Binding, minimalismus. Vztah gramatiky a slovníku (gramatické vs. lexikální jevy vs. jevy pomezí). Srovnání přístupů orientovaných

lexikalisticky vs. gramaticky. Porovnání lingvistických formalismů z hlediska reprezentace syntaktické struktury. Zachycení slovesa jako syntaktického centra věty v různých formalismech. Sémantická reprezentace v různých jazykových modelech.

Okruh 9 - Variabilita jazyků a základy jazykové typologie

Variabilita jazyků a možnosti jejich klasifikace (genetická, areálová, strukturně-lingvistická). Genetická klasifikace jazyků, jazykové rodiny. Areálová klasifikace jazyků, jazykové svazy. Inventáře hlásek, distinktivní rysy a suprasegmentální jevy z kontrastivního pohledu; mezinárodní fonetická abeceda; tvoření slabik. Mluvená vs. psaná forma jazyka; typy písma. Morfologická stavba jazyků (jazykový typ flektivní, aglutinační, izolanti a polysyntetický); typologie gramatických významů (pád, číslo, čas, aspekt, modalita aj.). Slovní druhy a jejich porovnatelnost přes hranice jazyků. Slovosled v kontrastivním pohledu; volný a pevný slovosled; dominantní slovosled; korelace slovosledných vzorců. Slovtvorné procesy napříč jazyky. Harmonizace anotačních schémat.

Doporučená literatura

Okruh 1 - Společný základ

Manning C. D., Schuetze, H.: **Foundations of Statistical Natural Language Processing**. *MIT Press, Cambridge, 1999.*

Lüdeling, A., Kytö, M.: **Corpus Linguistics: an International Handbook, Volume 1**. *W. de Gruyter, 2008*

Ide, N., Pustejovsky, J. (eds.): **Handbook of Linguistic Annotation**. *Springer, 2017.*

Okruh 2 - Základní statistické metody a strojové učení ve zpracování přirozeného jazyka

Manning C. D., Schuetze, H.: **Foundations of Statistical Natural Language Processing**. *MIT Press, Cambridge, 1999.*

Jurafsky, D. and J. H. Martin: **Speech and Language Processing**. *Prentice-Hall, 2nd edition. 2009.*

Bishop, C.: **Pattern Recognition and Machine Learning**. *Springer, 2007.*

Okruh 3 - Pokročilé strojové učení

Ian Goodfellow and Yoshua Bengio and Aaron Courville: **Deep Learning**. *MIT Press, 2016.*

Richard, S. Sutton and Andrew G. Barto: **Reinforcement Learning: An Introduction (Second Edition)**. *MIT Press, Cambridge, MA, 2018.*

Murphy, K.: **Machine Learning: a Probabilistic Perspective**. *MIT Press, 2012.*

Okruh 4 - Strojový překlad

Philipp Koehn: **Statistical Machine Translation**. *Cambridge University Press New York, 2010*

Philip Williams, Rico Sennrich, Matt Post, Philipp Koehn: **Syntax-based Statistical Machine Translation**. *Morgan Claypool Publishers, 2016.*

Goldberg, Y.: **Neural Network Methods for Natural Language Processing**. *Morgan Claypool Publishers, 2017*

Okruh 5 - Vyhledávání informací

Christopher D. Manning, Prabhakar Raghavan, Hinrich Schütze: **Introduction to Information Retrieval**. *Cambridge University Press, 2008.*

Charu Aggarwal, Chengxiang Zhai: **Mining Text Data**. Springer, 2012

David A. Grossman, Ophir Frieder: **Information Retrieval, Algorithms and Heuristics**. Springer, 2004.

Okruh 6 - Zpracování mluvené řeči a dialogové systémy

Jurafsky, D. and J. H. Martin: **Speech and Language Processing**. Prentice-Hall, 2nd edition. 2009.

Yu, D., Deng, L.: **Automatic Speech Recognition: A Deep Learning Approach**. Signals and Communication Technology, Springer London, 2014.

Gao, J., Galley, M., Li, L.: **Neural Approaches to Conversational AI**. Foundations and Trends in Information Retrieval, Vol. 13, No. 2-3, pp 127-298. 2019.

Okruh 7 - Formální popis jazykového systému

Booij, G.: **Morphology. An International Handbook on Inflection and Word-Formation. Volume 1**, de Gruyter, 2000.

Ágel, V. et al. (eds.): **Dependency and Valency. An international Handbook of Contemporary Research. Volume 1**. de Gruyter, 2003.

Cruse, D. A.: **Meaning in language: an introduction to semantics and pragmatics**. Oxford: Oxford University Press, 2011.

Okruh 8 - Lingvistické formalismy (základní charakteristiky)

Allan, K. (ed.): **The Oxford Handbook of the History of Linguistics**. Oxford University Press. 2013

Ágel, V. et al. (eds.): **Dependency and Valency. An international Handbook of Contemporary Research. Volume 1**. de Gruyter, 2003.

Okruh 9 - Variabilita jazyků a základy jazykové typologie

Haspelmath, M. et al. (eds.): **Language typology and language universals**. De Gruyter, 2001.

Comrie, B.: **Language universals and linguistic typology**. University of Chicago press, 1989.

Studijní program P4I4 Informatika - teorie, diskrétní modely a optimalizace

Oborová rada

Aktuální složení rady je na adrese <http://mff.cuni.cz/phd/or/p4i4>.

Spolupracující ústavy

- Matematický ústav AV ČR, v.v.i.
Žitná 25, 115 67 Praha 1
<http://www.math.cas.cz>

Vypsaná témata

Jsou k nahlédnutí v SIS na adrese <http://mff.cuni.cz/phd/temata/p4i4>.

Poskytovaná výuka			
Kód	Název	ZS	LS
NDMI066	Algebraická teorie čísel	2/0 Zk	—
NDMI028	Aplikace lineární algebry v kombinatorice	2/2 Z+Zk	—
NDMI064	Aplikovaná diskrétní matematika	2/0 Zk	—
NTIN103	Introduction to Parameterized Algorithms	2/2 Z+Zk	—
NDMI009	Základy kombinatorické a výpočetní geometrie	2/2 Z+Zk	—
NTIN022	Pravděpodobnostní techniky	2/2 Z+Zk	—
NDMI055	Vybrané kapitoly z kombinatoriky 1	2/0 Zk	—
NTIN085	Vybrané kapitoly z výpočetní složitosti I	2/1 Z+Zk	—
NDMI045	Analytická a kombinatorická teorie čísel	—	2/0 Zk
NDMI035	Geometrické reprezentace grafů 2	—	2/0 Zk
NDMI078	Grafy a počty	—	2/0 Zk
NDMI013	Kombinatorická a výpočetní geometrie 2	—	2/2 Z+Zk
NDMI015	Kombinatorické počítání	—	2/0 Zk
NMAI071	Matematika++	—	2/2 Z+Zk
NDMI058	Toky a cykly v grafech	—	2/2 Z+Zk
NDMI056	Vybrané kapitoly z kombinatoriky 2	—	2/0 Zk
NTIN086	Vybrané kapitoly z výpočetní složitosti II	—	2/1 Z+Zk
NDMI090	Bioinformatický seminář	0/2 Z	0/2 Z
NDMI041	Kombinatorický seminář pro pokročilé	0/3 Z	0/3 Z
NDMI070	Vybrané kapitoly z teorie grafů	2/0 Zk	2/0 Zk

Seznam požadavků ke státní doktorské zkoušce

Uchazeč si zvolí 4 z povinných témat, a to 2 témata z okruhů 1.– 4. a 2 témata z okruhů 5.– 12. Po dohodě se školitelem bude stanoveno volitelné téma, které může také patřit do jednoho z okruhů 5.– 12.

Zvolené téma musí rozsahově odpovídat jednomu z pokročilých přehledových textů z doporučené literatury k příslušnému okruhu, může ale po dohodě se zkoušejícím být úžeji zaměřeno na hlubší zvládnutí některé z partií v daném okruhu. Téma a studijní literatura (knižní či časopisecká) v takovém případě podléhá schválení oborové rady.

1. Diskrétní matematika

Párování, pakování a pokrytí v grafech. Souvislost grafů. Kreslení na plochy. Barevnost. Toky v grafech. Extremální a Ramseyovská teorie. Hamiltonovské cykly. Náhodné grafy. Strukturální teorie grafů.

2. Logika

Úvod do teorie modelů, algebraické specifikace programů. Výrokový a predikátový počet, syntax a sémantika, jejich vztah. Formální systémy, bezespornost a úplnost, Gödelovy věty.

3. Výpočetní složitost

Základní složitostní třídy. Diagonalizace. Polynomiální hierarchie. Obvody. Náhodnost, derandomizace. Interaktivní protokoly. Dolní meze v různých výpočetních modelech. PCP věta.

4. Návrh a analýza algoritmů

Párování. Toky v sítích. Nejkratší cesty. Kostry. Algoritmy pro matroidy. Algoritmy pro rovinné grafy, aplikace sublineárních řezů.

5. Kombinatorická a spojitá optimalizace

Polyedrální kombinatorika. Lineární programování, dualita. Celočíselné programování. Kombinatorické algoritmy.

6. Kombinatorika a algebraická kombinatorika

Metody lineární algebry, vlastní čísla, aplikace. Grafové polynomy. Symetrie a regularita. Teorie matroidů.

7. Teorie struktur

Kategorie, funktory. Faktorizace struktur. Monády. Topologické a algebraické kategorie. Kategorické aspekty kombinatorických objektů.

8. Pravděpodobnostní metoda

Nekonstruktivní metody v kombinatorice. Střední hodnota a momenty. Lokální lemma. Koncentrační odhady. Náhodné grafy. Geometrické aplikace. Pseudonáhodnost.

9. Topologické metody a diskrétní geometrie

Spravedlivé dělení, Borsuk-Ulamova věta. Aplikace v grafové barevnosti. Vnořování. Konvexní množiny a polytopy. Obálky. Transverzály a epsilon-sítě. Objemy ve velké dimenzi.

10. Kryptografie

Výpočetní složitost a jednosměrné funkce. Aplikace teorie čísel. Pseudonáhodné generátory. Zero Knowledge Proofs. Šifrovací a autentizační schémata.

11. Datové struktury

Fronty. Slovníky. Vícerozměrné struktury. Dynamické struktury. Aplikace.

12. Algoritmická teorie her

Nashova rovnováha. Hry dvou hráčů. Kombinatorické algoritmy. Aplikace v kryptografii a výpočetní složitosti. Kombinatorické aukce.

Doporučená literatura

1. Diskrétní matematika

Diestel, R.: **Graph theory**. Springer-Verlag 2010.

Bollobás, B.: **Modern graph theory**. Graduate Text in Mathematics 184, Springer-Verlag, New York, 1998.

Hell, P., Nešetřil, J.: **Graphs and homomorphisms**. Oxford University Press, Oxford, 2004.

2. Logika

Abramsky, S., Gabbay, D.: **Handbook of Logic in Computer Science.** Clarendon Press, Oxford, 1992.

Shoenfield, J. R.: **Mathematical logic.** Addison–Wesley, Reading, 1967.

3. Výpočetní složitost

Arora, S. and Barak, B.: **Computational Complexity: A Modern Approach**

Papadimitriou, C. H.: **Computational Complexity.** Addison–Wesley, Reading, 1994.

Garey, M. R., Johnson, D. S.: **Computers and Intractability, A guide to the theory of NP–completeness.** W. H. Freeman, San Francisco, 1979.

Sipser, M.: **Introduction to the Theory of Computation.** PWS Publishing Company, Boston, 1997.

4. Návrh a analýza algoritmů

Kozen, D. C.: **The Design and Analysis of Algorithms.** 1992.

Marek Cygan, Fedor V. Fomin, Lukasz Kowalik, Daniel Lokshtanov, Dániel Marx, Marcin Pilipczuk, Michal Pilipczuk, Saket Saurabh: **Parameterized Algorithms.** Springer, 2015.

Shmoys, D. B., Williamson, D. P.: **The Design of Approximation Algorithms.** Cambridge University Press 2011.

M. Mitzenmacher, E. Upfal: **Probability and Computing: Randomized Algorithms and Probabilistic Analysis.** Cambridge Univ. Press, 2005.

Knuth, Donald E.: **Art of Computer Programming, Volumes 1-4A.** Addison-Wesley Professional, 2011.

5. Kombinatorická a spojitá optimalizace

Cook, W. J., Cunningham, W. H., Pulleyblank, W. R., Schrijver, A.: **Combinatorial optimization.** Wiley, New York, 1998.

Schrijver, A.: **Theory of linear and integer programming.** Wiley, New York, 1998.

Schrijver, A.: **Combinatorial Optimization, Polyhedra and Efficiency.** Springer-Verlag 2003.

6. Kombinatorika a algebraická kombinatorika

Biggs, N. L.: **Algebraic graph theory.** Cambridge University Press, Cambridge 1994.

Oxley, J.: **Matroid theory.** Oxford University Press, Oxford, 1992.

Graham, R. L., Spencer, J., Rothschild, B.: **Ramsey Theory.** Wiley, New York, 1990.

Nešetřil, J., Ossona de Mendez, P.: **Sparsity, Graphs, Structures, and Algorithms.**

Cvetkovic, D. M., Doob, M., Sachs, H.: **Spectra of graphs, Theory and applications.** J. A. Barth Verlag, Leipzig, 1995.

7. Teorie struktur

Adámek, J., Herrlich, H., Strecker, G. E.: **Abstract and Concrete Categories.** Wiley, New York, 1990.

MacLane, S.: **Categories for the working mathematician.** Graduate Texts in Mathematics 5, Springer–Verlag, New York, 1971.

8. Pravděpodobnostní metoda

Alon, N., Spencer, J.: **The Probabilistic Method**. Wiley, New York, 2000.

Grimmet, G. R., Stirzaker, D. R.: **Probability and random processes: Problems and solutions**. Clarendon Press, Oxford, 1992.

Motwani, R., Raghavan, P.: **Randomized algorithms**. Cambridge University Press, Cambridge, 1995.

9. Topologické metody a diskrétní geometrie

de Longueville, M.: **A Course in Topological Combinatorics**. Springer 2013.

Matoušek, J.: **Lectures on Discrete Geometry**. Springer 2002.

Kelly, J.: **General Topology**. Van Nostrand, New York, 1955.

Matoušek, J.: **Using the Borsuk-Ulam Theorem**. Lectures on Topological Methods in Combinatorics and Geometry, Springer 2003.

Hatcher, A.: **Algebraic Topology**. Cambridge University Press 2001.

Berg de, M., Kreveld van, M., Overmars, M., Schwarzkopf, O.: **Computational Geometry: Algorithms and applications**. Springer-Verlag, Berlin, 2000.

Pach, J., Agarwal, P.: **Combinatorial Geometry**. Cambridge University Press, Cambridge, 1995.

10. Kryptografie

O. Goldreich: **The Foundations of Cryptography - Volume 1, Basic Techniques**. Cambridge University Press 2001

O. Goldreich: **The Foundations of Cryptography - Volume 2, Basic Applications**. Cambridge University Press 2004

J. Katz, Y. Lindell: **Introduction to Modern Cryptography**. Second Edition, CRC Press 2014

11. Datové struktury

D. P. Mehta, S. Sahni eds.: **Handbook of Data Structures and Applications**. Chapman Hall/CRC, Computer and Information Series, 2005.

K. Mehlhorn: **Data Structures and Algorithms I: Sorting and Searching**. Springer-Verlag, Berlin, 1984.

12. Algoritmická teorie her

Noam Nisan, Tim Roughgarden, Eva Tardos, Vijay V. Vazirani: **Algorithmic Game Theory**. Cambridge University Press, 2007.

J. Conway: **On numbers and games**. i/IjAK Peters/CRC Press, 2000.i/Ij

Studijní program P4I5 Informatika - vizuální výpočty a počítačové hry

Oborová rada

Aktuální složení rady je na adrese <http://mff.cuni.cz/phd/or/p4i5>.

Spolupracující ústavy

- Ústav teorie informace a automatizace AV ČR, v.v.i.
Pod Vodárenskou věží 4, 182 08 Praha 8
<http://www.utia.cas.cz/>

Vypsaná témata

Jsou k nahlédnutí v SIS na adrese <http://mff.cuni.cz/phd/temata/p4i5>.

Poskytovaná výuka

Kód	Název	ZS	LS
NMNM331	Analýza maticových výpočtů 1	2/2 Z+Zk	—
NMNM332	Analýza maticových výpočtů 2	—	2/2 Z+Zk
NPGR016	Aplikovaná výpočetní geometrie	—	2/1 Z+Zk
NNUM103	Fourierova analýza a wavelety	2/0 Zk	—
NPGR020	Geometrie pro počítačovou grafiku	—	2/0 Zk
NPGR030	Optika pro počítačovou grafiku	2/0 Zk	—
NPGR010	Pokročilá 3D grafika pro film a hry	2/2 Z+Zk	—
NPGR024	Seminář z vědecké práce	—	0/2 Z
NPGR028	High Performance Ray Tracing	—	2/0 Zk
NPGR013	Speciální funkce a transformace ve zpracování obrazu	—	2/0 Zk
NPGR005	Seminář z počítačové grafiky a vidění	0/2 Z	0/2 Z
NPGR022	Speciální seminář ze zpracování obrazu	0/2 Z	—
NPGR027	Shading Languages	—	2/1 Z+Zk
NPGR026	Predictive Image Synthesis Technologies	—	2/1 Z+Zk
NNUM102	Teorie spline funkcí a waveletů pro doktorandy	2/0 Zk	—
NPGR025	Introduction to Colour Science	2/0 Zk	—
NPGR029	Variační metody ve zpracování obrazu	—	2/0 Zk
NPGR023	Visualizace	2/1 Z+Zk	—

Seznam požadavků ke státní doktorské zkoušce

Tématické okruhy 1 - 5 jsou povinně volitelné v tom smyslu, že student je povinen složit zkoušku z alespoň jednoho z okruhů 1 a 2 a zároveň alespoň jednoho z okruhů 3 - 5. K nim si uchazeč zvolí jedno téma profilující z (dosud nezvolených) okruhů 1 - 9 anebo jiné podle dohody se školitelem. Student by měl složit státní doktorskou zkoušku do konce druhého ročníku studia.

Povinně volitelné okruhy (alespoň jeden okruh z 1 a 2; alespoň jeden okruh z 3 - 5)**1. Teoretické základy informatiky**

Diskrétní matematika: Základy teorie grafů, reprezentace grafů v paměti, algoritmy nad grafy.

Logika, algoritmy: Vybrané algebraické struktury. Predikátový počet. Formální systémy, bezespornost a úplnost, Goedelovy věty. Teorie vyčíslitelnosti, Turingovy stroje a ekvivalentní modely výpočtu. Algoritmy a jejich složitost, NP-úplné problémy. Algoritmicky nerozhodnutelné problémy. Věty o rekursi.

2. Matematické metody pro grafiku a zpracování obrazu

Maticové výpočty: Schurova věta, význam ortogonality a normality, rozklady matic, metody pro řešení soustav lineárních rovnic, singulární rozklad, úlohy nejmenších čtverců, částečný problém vlastních čísel, nelinearita a numerická nestabilita v maticových výpočtech.

Spliny: teorie polynomiálních splinů, interpolační a zhlazující spliny, racionální spliny.

Wavelety: teorie multirozkladu, aplikace, algoritmy, biortogonální wavelety, vícerozměrné wavelety, balíčky waveletů, „lifting scheme”, spojitá waveletová transformace; Mallatova konstrukce multirozkladu; wavelety s kompaktním nosičem; příklady waveletů

Fourierova transformace v $L_1(\mathbb{R})$; Wienerova teorie Fourierovy transformace v $L_2(\mathbb{R})$; Paleyova-Wienerova věta a Heisenbergova nerovnost.

Základy variačního počtu (Euler-Lagrangeovy rovnice, brachistochrona, Lagrangeova funce, funkce s omezenou variací)

Základy numerických metod řešení (parciální diferenciální rovnice, metoda konečných prvků, metoda konečných diferencí, metoda největšího spádu, konjugovaných gradientů, kvadratické programování)

Statistické metody (odhad hustoty rozdělení pravěpodobnosti, parametrické, neparametrické metody, testování hypotéz)

Geometrické transformace, homogenní souřadnice, převod mezi souřadnými systémy zobrazovacím řetězcí.

3. Základy počítačové grafiky

Základy 2D grafiky: vidění a barvy, kolorimetrie a barevné prostory, měření a reprodukce barev, rastrová grafika, operace s rastrovým obrazem, rastrové kreslení, anti-aliasing, datové struktury pro 2D vyhledávání, komprese obrazu a videa, HDR fotografie, mapování odstínů.

Základy 3D grafiky: transformace, reprezentace 3D scén, úroveň detailu, parametrické křivky a plochy, viditelnost, stínování, textury, hardwarově akcelerovaná grafika, stínovací programy, základy CUDA/OpenCL.

Základy realistické syntézy obrazu: Rekurzivní sledování paprsku a metody jeho urychlení, datové struktury, distribuované (rozprostřené) sledování paprsku, základy radiační metody, zobrazovací rovnice a její řešení pomocí Monte Carlo metod.

Základy vizualizace dat: objemová data, počítačová tomografie a magnetická rezonance, výpočet izoploch, přímé zobrazování objemu, model šíření světla v 3D médiu, vizualizace vektorových polí a tenzorů vyšších řádů

4. Základy analýzy obrazu

Digitalizace obrazu, vzorkování a kvantování spojitých funkcí, Shannonův teorem. Základní operace s obrazy, histogram, změny kontrastu, odstranění šumu, zaostření obrazu. Lineární filtrace v prostorové a frekvenční oblasti, konvoluce, Fourierova transformace. Detekce hran a rohů. Degradace obrazu a její modelování, odstranění základních typů degradací (rozmazání pohybem a defokusací), inverzní a Wienerův filtr, odhady PSF, slepá a vícekanálová dekonvoluce, variační přístup. Segmentace obrazu, klasické i variační přístupy (prahování, region growing, Mumford-Shah funkcionál, active contours, level sets). Registrace (matching) obrazů. Invarianty pro popis a rozpoznávání 2-D objektů (obecné principy, vizuální příznaky, momenty, Fourierovy deskriptory, diferenciální příznaky, momentové invarianty). Teorie příznakového rozpoznávání, klasifikátory s učením a bez učení, NN-klasifikátor, lineární klasifikátor, SVM klasifikátory, Bayesův klasifikátor. Příklady použití v analýze obrazu. Shluková analýza v prostoru příznaků, iterační a hierarchické metody. Redukce dimenzionality příznakového prostoru, PCT, suboptimální metody pro výběr příznaků. 2D waveletová transformace (WT) - matematické základy. Použití WT pro detekci hran a význačných bodů v obrazu, potlačení šumu, registraci obrazu a fúze obrazu. Kompresi obrazu pomocí WT.

5. Základy 3D počítačového vidění a robotiky

Počítačové vidění s jednou kamerou: geometrie jednoduché perspektivní kamery, projektivní rovnice, kalibrace kamery, vnější a vnitřní parametry, rekonstrukce vzoru z jeho obrazu.

Stereo-vidění: kanonické stereo a určování hloubky scény, geometrie dvou kamer, epipolární ohraničení, fundamentální matice a její určování, řešení problému stereo korespondence.

Detekce, počítání, měření a sledování objektů: detekce objektů, lokální příznaky, granulometrie, Kalmanův filtr, mean shift.

3D rekonstrukce objektů: tvar z XX (ze stínování, z více světelných zdrojů, z textury, atd.).

Architektura řízení robotů: plánování pohybu, odometrie, SLAM, architektura kontroly robota.

Přímá a inverzní kinematika: terminologie, typické struktury, určování polohy jednotlivých částí robota, určování koncové polohy.

Volitelné okruhy

6. Počítačová geometrie

Aplikovaná výpočetní geometrie: definice, vlastnosti a algoritmy pro geometrické vyhledávání, konvexní obálky, Voronoi diagramy, jejich aplikace a zobecnění, triangulace v 2D a 3D a jejich aplikace, střední osa, rekonstrukce povrchu, průsečíky a průniky geometrických objektů.

Geometrie pro počítačovou grafiku: Grupa projektivních, afinních a eukleidovských transformací. Reprezentace těchto grup pomocí matic. Projektivní prostor, homogenní souřadnice. Sférická geometrie. Využití kvaternionů a duálních kvaternionů při popisu eukleidovského pohybu.

Křivky a plochy v počítačové grafice: Prostor spline funkcí, Hermitovy spliny, kubické spliny, Bézierovy křivky a plochy, B-spline křivky a plochy, racionální křivky a plochy, NURBS, speciální plochy, geometrická spojitost.

7. *Syntéza realistického obrazu*

Radiometrické a fotometrické veličiny, zobrazovací rovnice, důležitost, dualita transportu světla a důležitosti, operátorové vyjádření transportu světla a důležitosti. Monte Carlo kvadratura, nestranné Monte Carlo metody pro řešení zobrazovací rovnice (sledování cest, sledování světla). Kombinované estimátory a aplikace: přímé osvětlení, obousměrné sledování cest. Metropolis-Hastings metoda vzorkování, Metropolis light transport. Přibližné metody řešení zobrazovací rovnice: (progresivní) mapování fotonů, (ir)radiance caching, okamžitá radiozita, lightcuts. Radianční metoda, adaptivní zjemňování, hierarchická radiozita, stochastická radiozita. Zobrazování participujících médií: rovnice transportu světla, algoritmy pro zobrazování médií, speciální techniky pro mraky a atmosféru, průsvitné materiály, BSSRDF. Reyes architektura, standard RenderMan, princip stínovacích jazyků v RenderMan a OpenGL. Prediktivní syntéza obrazu: regulace chyby v rendering pipeline, psycho-fyzikálně věrné mapování odstínů, simulace pokročilých optických jevů (polarizace, difrakce), fluorescenční materiály, fyzikální věrnost konstruktů stínovacích jazyků.

8. *Invarianty pro rozpoznávání*

Geometrické momenty, definice a základní vlastnosti, normalizace. Komplexní momenty. Momentové invarianty vzhledem k otáčení a měřítku obrazu, úplnost, nezávislost, konstrukce báze. Momentové invarianty vzhledem k afinní transformaci obrazu, metoda grafů. Momentové invarianty vzhledem ke konvoluci, N-fold symetrická jádra, nulprostor a diskriminabilita. Kombinované invarianty. Momentový matching. Ortogonální momenty (Legendrovy momenty, Fourier-Mellin momenty, Zernikovy momenty). Diskrétní momenty a algoritmy pro jejich výpočet.

9. *Vývoj počítačových her*

Architektura herní engine: renderer, fyzika, audio, I/O, síťová komunikace, herní mechaniky, multiplatformnost, řetězec produkce herního obsahu, a.j. Příklady existujících herních engine.

Techniky renderingu v reálném čase: výpočet vržených stínů, stínové mapy, stínové objemy, pokročilé techniky stínových map (filtrování, kaskádové mapy). Odložené stínování - princip, výhody, nevýhody. Ambientní zastínění a jeho výpočet v prostoru obrazu.

Pokročilé stínování v reálném čase: BRDF, rovnice odrazu světla, reprezentace funkcí, ortogonální a ortonormální báze, sférické harmonické a jejich použití pro reprezentaci BRDF a osvětlení, HDR mapa prostředí - princip, akvizice, použití. Irradiance environment mapping.

Architektura autonomního agenta. Hry jako příklad multi-agentního prostředí.

Reprezentace a uvažování o herním prostoru: abstrakce prostředí (navigační graf, navigační mesh, voxelová navigace, reprezentace viditelnosti, šíření zvuku v prostředí), navigace agentů v 3D prostředí, hledání nejkratší cesty (A*, jeho varianty a způsoby urychlení výpočtů), následování cesty (vyhýbání se kolizí se statickými a dynamickými objekty, reciproční vyhýbání se kolizí, techniky steeringu).

Reaktivní přístupy k řízení chování agentů: hierarchické konečné automatij, stromy chování, prostory rozhodování.

Distribuce chování agenta skrz prostředí a koordinace: chytré objekty, chytré oblasti, géniové.

Příklady použití plánování v počítačových hrách.

Doporučená literatura

1. Teoretické základy informatiky

K. Mehlhorn: **Data Structures and Algorithms 2: Graph Algorithms and NP-completeness**. *EATCS – monograph, Springer-Verlag 1984*.

R. E. Tarjan: **Data Structures and Network Algorithms**. *Society for Industrial and Applied Mathematics, Philadelphia 1983*.

J. E. Hopcroft, J. D. Ullman: **Introduction to Automata Theory, Languages, and Computation**. *Addison-Wesley Publ. Company 1979*.

M. R. Garey, D. S. Johnson: **Computers and Intractability: A Guide to the Theory of NP-completeness**. *Freeman, San Francisco 1978*.

O. Demuth, R. Kryl, A. Kučera: **Teorie algoritmů I, II**. *SPN Praha 1989*.

R. I. Soare: **Recursively enumerable sets and degrees**. *Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York 1987*

2. Matematické metody pro grafiku a zpracování obrazu

Duintjer Tebbens, J., Hnětynková, I., Plešinger, M., Strakoš, Z., Tichý, P.: **Analýza metod pro maticové výpočty I**. *Skripta MFF UK, 2011*.

Watkins, D.S.: **Fundamentals of Matrix Computations**. *J. Wiley & Sons, New York, Third edition 2010*.

Golub, G.H., Van Loan, C.F.: **Matrix Computations (Third edition)**. *J. Hopkins Univ. Press, Baltimore, 1996*

Najzar K.: **Základy teorie waveletů**. *Skripta, Nakl. Karolinum 2004*.

Najzar K.: **Základy teorie splinů**. *Skripta, 2006*.

Micula Ch. and Micula S.: **Handbook of splines**. *1999*.

Resnikoff H. L., Wells R. O., Jr.: **Wavelets analysis**. *Springer 1998*.

Andreas Antoniou and Wu-Sheng Lu: **Practical Optimization: Algorithms and Engineering Applications**. *Springer, 2007*.

3. Základy počítačové grafiky

Marschner S., Shirley P.: **Fundamentals of Computer Graphics**. *A K Peters/CRC Press, 4th Revised edition, 2015*.

Shirley P., Morley R. K.: **Realistic Ray Tracing**. *A K Peters, 2nd Revised edition, 2003*.

4. Základy analýzy obrazu

Pratt W. K.: **Digital Image Processing (3rd ed.)**. *John Wiley, New York, 2001*

Gonzales R. C., Woods R. E.: **Digital Image Processing (2nd ed.)**. *Prentice Hall, 2002*

Zitová B., Flusser J.: **Image registration methods: a survey**. *Image and Vision Computing, 21 (2003), 11, pp. 977-1000*

Duda R.O. et al.: **Pattern Classification, (2nd ed.)**. *John Wiley, New York, 2001*

Flusser J., Suk T. and Zitová B.: **Moments and Moment Invariants in Pattern Recognition**. *Wiley & Sons Ltd., 2009*.

5. Základy 3D počítačového vidění

Richard Hartley, Andrew Zisserman. **Multiple View Geometry in Computer Vision, 2nd Edition**, *Cambridge University Press, 2004*.

Subhash Challa, Mark R. Morelande, Darko Mušicki, Robin J. Evans. **Fundamentals of Object Tracking**, *Cambridge University Press*; 1 edition (November 28, 2011).

Pierre Soille. **Morphological Image Analysis: Principles and Applications**, *Springer* (December 7, 2010), ISBN 3-540-65671-5

6. Počítačová geometrie

O' Rourke, Joseph: **Computational Geometry in C**. *Cambridge University Press*, 1.vydání, 1994 nebo 2.vydání, 2000.

de Berg, Mark, van Kreveld, Marc, Overmars, Mark, Schwarzkopf, Otfried: **Computational Geometry, Algorithms and Applications**. *Springer Verlag*, 1.vydání, 1997 nebo 2.vydání, 2001.

M. Lávička: **KMA/G2 Geometrie 2**. *Pomocný učební text*, ZČU Plzeň, 2006

Jirí Žára a kol: **Moderní počítačová grafika**. *Computer Press*, 1998

František Ježek: **Geometrické a počítačové modelování**. *Plzeň 2009*

7. Syntéza realistického obrazu

Pharr M., Jakob W., Humphreys G.: **Physically Based Rendering: From Theory To Implementation**. *Morgan Kaufmann*; 3rd edition, 2016.

Veach E.: **Robust Monte Carlo Methods for Light Transport Simulation**. *Ph.D. dissertation, Stanford University*, 1997.

Shirley P., Morley R. K.: **Realistic Ray Tracing**. *A K Peters*, 2nd Revised edition, 2003.

Dutre P., Bala K., Bekaert P.: **Advanced Global Illumination**. *A k Peters*, 2nd edition, 2006.

Glassner A.: **Principles of Digital Image Synthesis**. *Addison- Wesley*, 1995.

Jensen H.W.: **Realistic Image Synthesis Using Photon Mapping**. *A K Peters*, 2001.

8. Invarianty pro rozpoznávání

J. Flusser, T. Suk and B. Zitová: **Moments and Moment Invariants in Pattern Recognition**. *Wiley & Sons Ltd.*, 2009.

J. Flusser, T. Suk and B. Zitová, **2D and 3D Image Analysis by Moments**, *Wiley Sons Ltd.*, 2016.

9. Vývoj počítačových her

Gregory, Jason. **Game engine architecture**. *AK Peters/CRC Press*, 2014.

Nystrom, Robert. **Game programming patterns**. *Genever Benning*, 2014.

Millington, Ian, and John Funge. **Artificial intelligence for games**. *CRC Press*, 2009.

Rabin, Steve (ed.): **AI Game Programming Wisdom series**, *Charles River Media*, 2002-2008.

Rabin, Steve (ed.). **Game AI Pro: Collected Wisdom of Game AI professionals series**, *AK Peters/CRC Press*, 2013-2017

Tomas Akenine-Moller, Eric Haines, Naty Hoffman. **Real-Time Rendering**, *A K Peters/CRC Press*; 4th edition 2018.