

Popis aktivit centra v době udržitelnosti (2019)

Registrační číslo projektu	CZ.1.05/1.1.00/02.0070
Název projektu	Centrum excellence IT4Innovations
Příjemce	Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava

1. Jaký je stav jednotlivých výzkumných programů, jak se daří dosahovat výzkumných cílů, milníků a výstupů

Výzkumné programy v roce 2019 pokračovaly ve výzkumných tématech tak, jak byly nastaveny v rámci projektu Centra excellence IT4Innovations (CE IT4I) a dále upřesněny v průběhu realizace jeho udržitelnosti. Jelikož pro období udržitelnosti nebyly specifikovány žádné konkrétní milníky, v následujícím textu shrnujeme za jednotlivé výzkumné programy jejich výzkumné cíle, které byly stanoveny pro rok 2019 a schváleny Vědeckou radou CE IT4I. Samotný popis naplnění těchto výzkumných cílů rovněž doplňujeme o nejvýznamnější výsledky dosažené výzkumnými programy v témže roce.

1.1 Aktivity VP1 - IT pro řešení krizových situací

HPC platforma pro rozhodování v rámci řešení krizových situací a v průmyslu (NPU II)

- Byla provedena aktualizace nástrojů a služeb HPC platformy se zaměřením na interoperabilitu, management, nasazení a bezpečnost. Aplikační framework HEAppE Middleware byl rozšířen o možnost nasazení skrze balíčkovací nástroje, podporu SSH Agent autentizace a adaptér pro práci se Slurm workload manažerem. Dále byl HEAppE Middleware integrován do Ystia orchestrátoru.
- V rámci rozšíření problematiky poskytování heterogenních výpočetních zdrojů uživatelům formou HPC-as-a-Service byl kladen důraz na vývoj speciální platformy kombinující technologie z oblastí HPC, Cloud a Big Data. Tato platforma rozšiřuje stávající softwarové portfolio vyvíjených služeb, a to včetně mezinárodního přesahu, kdy pracujeme na specializované orchestraci distribuovaných výpočetních workflow.
- Do Floreon+ byla přidána vizualizace aktuální polohy vlaku při jeho pohybu po železniční síti. Byly přidány stavy příjezdu na železničních stanicích (zpoždění, včasné nebo předčasné příjezdy). Byl vytvořen prototyp vrstev měřených koncentrací znečišťujících látek v ovzduší poskytovaný sensorovými sítěmi pro šest základních znečišťujících látek. Byly vyvinuty nové vrstvy JSDI závislé na čase.
- Floreon+ backend byl rozšířen tak, aby umožňoval nepřetržité sledování kvality ovzduší prostřednictvím sítě měřicích senzorů. Byla vydána nová verze frontendu systému Floreon+, obsahující aktualizovanou verzi vizualizačního frameworku a systému správy dat.
- Prostorová databáze platformy HPC byla rozšířena o nové zdroje dat: data ze sítě senzorů pro měření kvality ovzduší. Databáze externích senzorů byla také integrována do platformy HPC pro účely předzpracování dat a pro následnou vizualizaci v systému Floreon+. Došlo k rozšíření obsahu silničních dat odvozených z OpenStreetMap projektu, které jsou určeny pro

routovací a grafové úkoly. Dále pak byla integrována také data s informacemi o dopravní situaci (bodové a liniové události) ze systému JSDI.

- Téma aplikačního výzkumu bylo rozšířeno o kombinaci technik strojového učení a blockchain technologie, použitých pro analýzu Earth Observation urbanistických dat.
- Optimalizace a rozšíření programovacích modelů na spouštění výpočetních úloh na HPC infrastruktuře. Vylepšili jsme námi rozvíjený model o úlohy, které vnitřně využívají více výpočetních uzlů. Tato úprava primárně slouží pro úlohy, které interně využívají MPI.
- Byla navržena aktualizace systému IT4S1 (systém pro interferometrické zpracování družicových dat Sentinel-1 pokrývající Českou republiku). Po úspěšné implementaci toto umožní pokročilé polarimetrické analýzy dat. Byl vyvinut nový algoritmus pro identifikaci poškození lesa po vichřicích a aplikován na dvě případové studie v ČR.
- Zabývali jsme se oblastí aplikovaného výzkumu v těsné spolupráci s našimi průmyslovými partnery, a to jak v rámci mezinárodní spolupráce, tak smluvního výzkumu. Východiskem pro tuto aktivitu bylo navázání na výsledky základního výzkumu, které aplikovány do praxe přinesly zvýšení užité hodnoty produktů partnerů. Ve sledovaném období jsme se věnovali například prohloubení spolupráce s aplikačními partnery v oblasti meteorologické predikce, urgent computing či aeronautiky.
- Nedílnou součástí aktivit bylo pokračování transferu znalostí a dovedností v oblasti HPC směrem k veřejnému sektoru a průmyslu. Transfer probíhal formou přednášek, praktických seminářů s využitím HPC infrastruktury společně s existujícími a vyvíjenými programovými balíky. V neposlední řadě byla pořádána školení na míru požadavkům průmyslových partnerů.

Analýza rozsáhlých dat a modelování dynamických systémů (NPU II)

- V oblasti optimalizace dopravy byly testované a adaptované algoritmy pro současnou heterogenní HPC architekturu. Specificky byly využité genetické algoritmy, algoritmy hejnové inteligence, strojového učení, klasické heuristické optimalizační metody v oblastech odpadového hospodářství, optimalizace toků, energetiky a fúze dopravních dat.
- Klasické statistické metody pro klasifikaci a predikci časových řad zatížených šumem byly studovány, testovány a srovnány s LSTM a konvolučními neuronovými sítěmi. Bylo vyvinuto speciální předzpracování časových řad zatížených šumem s měnící se variancí založené na hustotě pozorování pro detekci důležitých pozorování a jejich shlukování. Díky tomu je možné snížit dimenzionalitu problému.
- V dopravním simulátoru byly vyvinuty a optimalizovány nové moduly a funkce, které rozšiřují navigaci vozidla o adaptivní chování. Rozšířená verze simulátoru zahrnuje vylepšenou architekturu simulovaného dopravního prostředí a využívá pipeline několika routovacích algoritmů (k-alternative path, Probabilistic Time-Dependent Routing, reordering path) pro zjištění výhodnější trasy vozidla dle aktuální situace v okolí vozidla. Testy simulátoru byly provedeny s několika desítkami tisíc vozidel nad dynamickou silniční sítí Prahy.
- Původní algoritmus pro betweenness centralitu byl rozšířen o koncept významnosti vrcholů v grafu. Tento algoritmus byl otestován na mapě města Ostravy. Algoritmus byl poté dále rozšířen o myšlenku propagace betweenness skóre za účelem lepšího modelování skutečného dění zejména v oblasti dopravních sítí.
- Vehicle Routing Problem algoritmy byly optimalizované pro současnou heterogenní HPC architekturu. Byly ukázány možnosti použití hyperparametrového vyhledávání pro řešení Periodic Vehicle Routing Problému (PVRP) v oblasti odpadového hospodářství. Platforma HyperLoom byla použita k definování a spuštění vzájemně propojených výpočetních úloh pro PVRP problém. Platforma nám umožnila spouštět velkou úlohu bez nutnosti paralelizace heuristického algoritmu pro PVRP problém. Heuristický algoritmus byl testován na reálných datech v oblasti odpadového hospodářství v České republice.

- Byly dosaženy výsledky týkající se invariantů grafů v oblasti ohodnocení grafů, zejména antimagických ohodnocení hustých i řídkých digrafů, DM ohodnocení 14-pravidelných grafů a rekurzivní konstrukce uniformních 1-faktorizací.
- Dynamické vlastnosti časově-prostorových diferenciálních rovnic (časové řady matic) byly zkoumány pomocí rekurenčních grafů a rekurenční kvantifikační analýzy. Tento typ analýzy byl aplikován na model elektrofyziologie srdeční tkáně. Pomocí této metody byl nalezen regulární i neregulární pohyb dynamického systému.
- Zabývali jsme se oblastí zpracování intenzivních datových toků ze sociálních sítí s využitím technologií Hadoop/Spark.
- Ve spolupráci s Výzkumným a vývojovým střediskem „Alfatec“, Niš, Srbsko, jsme vyvinuli s využitím metod umělé inteligence nové aproximace Wright omega funkce pro modelování tření pomocí Colebrookovy rovnice. Rozsáhlé numerické testy ukázaly, že dvě nové aproximace vytvořené symbolickou regresí překonávají tradiční řešení, které je postaveno na asymptotické expanzi. Několik výzkumníků již potvrdilo, že naše výsledky patří k nej přesnějším a k nejrychlejším aproximacím vyvinutým v letech 1947 až 2019. Naše poznatky jsme aplikovali i na modelování vzduchového systému chlazení palivových článků.

BioimageInformatics na HPC (Cesta k exascale)

- Byla zveřejněna upravená verze Labkitu s přidanou experimentální podporou scijava-parallel. Scijava-parallel je framework vyvíjený na IT4I umožňující přístup ke vzdáleným výpočetním zdrojům, jakými jsou například HPC clustery.
- Byla vydána nová CLIJ platforma pro Fiji. CLIJ doplňuje klíčové ImageJ komponenty o nově reimplementované části využívající OpenCL framework pro spouštění kódu na GPU kartách. V rámci CLIJ byla reimplementovaná řada klasických algoritmů z oblasti zpracování obrazu.
- Výpočetní síla superpočítače Salomon byla využita pro výpočet větší části referenčních anotací (označovaných jako silver reference annotations) odvozených z předešlých ročníků Cell Tracking Challenge. Cell Tracking Challenge je aktivita směřující k vývoji nových, robustních algoritmů zaměřených na sledování buněk a podpoře vývojářů ve smyslu poskytování trénovacích a testovacích dat. Od 8. ledna 2020 jsou k dispozici výsledky silver reference annotations, poskytující oproti předešlé verzi detailnější segmentační výsledky pro devět datasetů.
- Náš Fiji plugin (SPIM Workflow Manager for HPC) byl úspěšně využit pro rekonstrukci diferenciace zárodečných buněk huseníčku rolního snímaných pomocí light sheet mikroskopie. Plugin se aktuálně využívá i pro další zpracovávaná data.
- V lednu 2019 byl organizován Fiji Hackathon. Akce zaměřená na paralelizaci přitáhla do Ostravy řadu odborníků z Fiji komunity.

Bioinformatika

- Pokračovali jsme ve vývoji nástroje na analýzu dat z NGS přístrojů, včetně uživatelsky příjemného grafického rozhraní. Software je instalován na dvou pracovištích. Software verze 5.1 nově používá GATK HaplotypeCaller a Qualimap. Prvně jmenovaný nástroj umožní přesnější předpověď mutací (SNP-MNP-ShortInDel) zatímco druhý nástroj umožní lepší kontrolu zpracovávaných dat v mnoha parametrech i s grafickými výstupy. Dále jsme zpracovali 12 celo-exomových datasetů, které nám v rámci projektu laskavě poskytla laboratoř Dr. Fikusové (FN Brno). Kontroly jakosti jsou implementovány na základě výstupů ze čtyř ampliconových kitů a v součtu na základě 46 vzorků.
- Pokračovali jsme ve zlepšování 1.3 Tbp velkého genomu ryby na základě dat z OxfordNanopore přístrojů. Získaná haploidní konsenzuální genomová sekvence poslouží jako lepší referenční kostra pro umístění fragmentů genomických DNA sekvencí získaných z různých jedinců z různých populací a z různých oblastí Evropy a Asie.

- Webová aplikace pro analýzu NGS dat byla rozšířena dle požadavků uživatelů. Integrována byla nová verze analytické pipeline a nástroje pro anotaci výsledků. Duplicitní instance aplikace byla nasazena také na výpočetním clusteru v Olomouci.
- Byla zahájena implementace Python API pro software CAVER a CaverDock. CAVER je softwarový nástroj pro analýzu a vizualizaci tunelů a kanálů v proteinových strukturách. CaverDock je softwarový nástroj pro rychlou analýzu transportních procesů v proteinech. Nejprve jsme nahradili původní formát souboru PDB hierarchickým formátem RMF. Tato změna vedla ke snížení poptávky na disku o faktor 6. Provedli jsme také multiprocesovou analýzu souborů PDB, který na stolním počítači poskytuje 5x urychlení. Kromě vylepšení vstupních a výstupních formátů jsme navrhli základní strukturu API pro vázání Caver a CaverDock (případně i dalších nástrojů), které pokryjí všechny funkce.
- Ve spolupráci s MINI Brno jsme zahájili vývoj nového algoritmu pro simultánní dokování více než jedné molekuly pomocí programu AudoDock Vina. To je velmi důležité pro vysvětlení potenciálních inhibic substrátu a produktu.

Paralelizovaný reakčně-transportní model šíření kontaminace v podzemních vodách (PaReTran)

- Transportně-reakční model pro zlepšení možností analýzy nebezpečí environmentální kontaminace byl vyvinutý a integrovaný do prostředí HPC. Řešitelským týmem byly vyvinuty první verze transportně-reakčního modelu TRM. Model je postaven nad kódem PhreeqCRM a je zkombinován s 2D transportem v pravidelné obdélníkové síti elementů. Model byl úspěšně testován (funkcionalita, škálovatelnost) a implementován v prostředí HPC.

Spolupráce s Centrem CENET

- Vývoj detektoru poruch venkovních vedení s izolovanými vodiči je nová výzkumná aktivita IT4Innovations, která probíhá ve spolupráci s Centrem ENET. Cílem bylo vývoj a testování metod pro bezkontaktní snímání obrazců částečných výbojů a jejich vyhodnocení s využitím statistických metod a metod umělé inteligence. Centrum ENET poskytlo databázi naměřených dat a expertní konzultace. IT4Innovations testovalo klasifikační algoritmy: rozhodovací stromy, vlastní vytvořený statistický přístup a shlukovací algoritmy. První výsledky klasifikačních algoritmů byly konzultovány s Centrem ENET i se zástupci provozovatelů distribučních sítí v ČR (ČEZ Distribuce a E.ON Distribuce). Jako alternativa k výše popsanému přístupu k identifikaci částečných výbojů byl také připraven model rekurentní neuronové sítě s využitím RELU aktivačních funkcí a logistickou funkcí na výstupu. Optimální řešení bude hledáno využitím výpočetní síly superpočítačů.
- V rámci aktivity “analýza numerické stability algoritmů pro modelování elektrické sítě” proběhlo testování numerické stability hrubou silou. Numerické experimenty IT4Innovations na benchmarku „Columbia University”, USA, ukazují čtyři možná řešení. Nejednoznačnost numerického řešení ukazují i nezávislé testy, které byly verifikovány i pomocí nástrojů doporučených IEEE: Matpower, Pandapower a OpenDSS. První výsledky IT4Innovations byly také analyzovány experty z elektroenergetiky, díky spolupráci s Centrem ENET.

Bezpečnostní výzkum - Zapojení umělé inteligence do příjmu tísňového volání

- Zahájili jsem výzkumné aktivity na projektu “Zapojení umělé inteligence do příjmu tísňového volání”, jenž je zaměřen na výzkum a vývoj technologií umělé inteligence pro automatizovaný příjem zpracování tísňových volání v prostředí integrovaného záchranného systému (IZS) pomocí hlasového chat - bota.

Velké infrastruktury LM2015070

- Refaktoring HEAppE Middleware do .NET Core - HEAppE Middleware je naše vlastní implementace HPC-as-a-Service konceptu, sloužící pro vzdálený přístup k HPC výpočetní infrastruktuře a její snadné integraci do klientských aplikací. Původní verze HEAppE Middleware je založena na technologii .NET Framework, která je úzce svázána s Microsoft Windows OS. Vystavení nové instance HEAppE Middleware pro uživatele tedy vždy vyžadovalo přípravu Windows-based serveru pro hostování aplikace. Z tohoto důvodu byla vytvořena nová multiplatformní verze tohoto aplikačního frameworku. Konkrétně došlo k portování zdrojových kódů z .NET Framework verze do .NET Core architektury, která umožňuje jednoduché nasazení a údržbu aplikací na Windows i Linux OS. HEAppE Middleware .NET Core verze je dostupná na GitLabu IT4Innovations.
- TSEntropies - Pro uživatele softwarového nástroje TSEntropies byl vytvořen manuál podrobně popisující všechny funkce tohoto balíčku implementovaného v jazyce R. Dále při reálném použití tohoto software vznikla potřeba provedení menších úprav. Konkrétně bylo modifikováno defaultní nastavení několika funkcí, čímž došlo k zjednodušení jejich praktického použití. Aplikace TSEntropies byla registrována jako veřejně dostupný software a je zároveň k dispozici uživatelům infrastruktury IT4Innovations.

Max. 10 nejlepších výsledků dosažených pracovníky VP v roce 2019

1. Byla vydaná nová verze HEAppE middlewaru (v 2.0). Tato verze nově umožňuje použití clusterů, které používají pro plánování úloh SLURM plánovač. V nové verzi byly také vylepšeny bezpečnostní mechanismy, například mechanismus pro používání clusterových účtů pomocí SSH Agenta. Možnosti orchestrátoru Ystia společnosti ATOS byly rozšířeny o propojení s HEAppE middlewarem. Díky propojení těchto dvou softwarů vzniklo rozšíření workflow managementu o definování a spouštění jednotlivých workflows přímo na HPC infrastrukturách. Použití a integrace nové verze HEAppE do orchestrátoru Ystia přispěly k dosažení jednoho z cílů projektu LEXIS.
2. Dokončen návrh, nákup a instalace nové LEXIS infrastruktury. Nasazena vysokorychlostní 100GBE síť v režimu vysoké dostupnosti, CEPH úložiště o celkové kapacitě 120TB, VMware vSphere cluster a bylo zahájeno nasazení experimentálního OpenStack cloudu. Součástí nasazení byla rovněž separace infrastruktury na podpůrnou a experimentální část a poskytnutí VPN přístupu pro vývojáře. Proof-of-concept nasazení OpenStack cloudu, CEPH a VMware bylo rovněž provedeno na dedikovaných výpočetních uzlech clusteru Anselm, výsledky a poznatky byly použity při nasazování nové LEXIS infrastruktury.
3. Vytvořili jsme ESTEE, rozšiřitelný simulátor pro testování plánovačů úloh se závislostmi (<https://github.com/It4innovations/estee>). Pomocí simulátoru jsme ověřovali chování existujících plánovačů v komplexnějších podmínkách. Jedním z důležitých výsledků je pozorování, že mnoho publikovaných algoritmů pro plánování má podprůměrný výkon v prostředí s reálnějším nastavením podmínek. Tyto výsledky byly zatím publikovány jako poster na konferenci Super Computing 2019. V přípravě je článek shrnující celý výsledek.
4. Dva články zabývající se přenosem výpočtů na síťové karty a návrhem rozhraní pro komunikaci FPGA byly publikovány na konferenci Supercomputing 2019. (1) De Matteis, T., de Fine Licht, J., **Beránek, J.** and Hoefler, T., 2019, November. Streaming Message Interface: High-performance distributed memory programming on reconfigurable hardware. In Proceedings of the International Conference for High Performance Computing, Networking, Storage and Analysis. (2) Di Girolamo, S., Taranov, K., Kurth, A., Schaffner, M., Schneider, T., **Beránek, J.**, Besta, M., Benini, L., Roweth, D. and Hoefler, T.: Network-accelerated non-contiguous memory transfers. In Proceedings of the International Conference for High Performance Computing, Networking, Storage and Analysis (November 2019).
5. Využití umělé inteligence při získání nové aproximace Wright omega funkce pro modelování tření. Výsledky byly publikovány v Q1 časopise. Nový přístup byl aplikován nejen na potrubí, ale také na systém potrubí: (1) Brkić, D.; Praks, P. Accurate and Efficient Explicit Approximations of the

- Colebrook Flow Friction Equation Based on the Wright ω -Function. *Mathematics* 2019, 7, 34, <https://doi.org/10.3390/math7010034>. IF=1.105; (2) Brkić, D.; Praks, P. Short Overview of Early Developments of the Hardy Cross Type Methods for Computation of Flow Distribution in Pipe Networks. *Appl. Sci.* 2019, 9, 2019. <https://doi.org/10.3390/app9102019>. IF=2.217.
6. BioimageInformatics na HPC - články publikované v časopisech s vysokým IF: (1) Kožusznik, J., Bainer, P., Klímová, K., Krumnikl, M., Moravec, P., Svatoň, V., Tomančák, P. SPIM workflow manager for HPC, *Bioinformatics*, Volume 35, Issue 19, 1 October 2019, Pages 3875–3876, <https://doi.org/10.1093/bioinformatics/btz140>; (2) Haase, R., Royer, L.A., Steinbach, P. et al. CLIJ: GPU-accelerated image processing for everyone. *Nat Methods* 17, 5–6 (2020) doi:10.1038/s41592-019-0650-1; (3) Ueda, H.R., Ertürk, A., Chung, K. et al. Tissue clearing and its applications in neuroscience. *Nat Rev Neurosci* 21, 61–79 (2020) doi:10.1038/s41583-019-0250-1.
 7. Halfar R. (2019). dydea: Bloková detekce regulárních a chaotických bloků v datech. R balík verze 0.1.0. <https://CRAN.R-project.org/package=dydea>.
 8. Zapojení do aktivit Big Data Value Association a Private Public Partnership prostřednictvím projektu LEXIS. Dále aktivní spolupráce s partnery v rámci EUDAT collaborative data infrastructure. Zapojení do jednání a aktivit Research and Innovation Advisory Group v rámci EuroHPC JU.
 9. ESA BLENDED projekt byl přijat. Hlavním cílem projektu je prozkoumat možnosti a podat zprávu o synergickém využití technologií blockchain a Deep Learning pro vesmírná data. Za tímto účelem bude vytvořen prototyp distribuované analytické platformy, která umožní testujícím uživatelům analýzu a predikci časových řad s cílem monitorování městské expanze ve třech sledovaných lokacích.
 10. Úspěšné ukončení H2020 FET-HPC projektu ANTAREX včetně publikování dosažených výsledků. Mezi nejvýznamnější výstup patří: Vitali, E., Gadioli, D., Palermo, G., Golasowski, M., Bispo, J., Pinto, P., Martinovic, J., Slaninova, K., Cardoso, J., SILVANO, C. An Efficient Monte Carlo-based Probabilistic Time-Dependent Routing Calculation Targeting a Server-Side Car Navigation System (2019) *IEEE Transactions on Emerging Topics in Computing*. Article in press.

1.2 Aktivity VP2 - Numerické modelování pro řešení inženýrských problémů

Aktivity VP – hlavní body

1. Výpočetní metody pro stochastickou a deterministickou analýzu inverzních úloh, včetně úloh optimálního řízení
2. Vývoj a analýza iteračních metod a řešičů
3. Řešení geotechnických stabilitních problémů pomocí pružně-plastických modelů, limitní analýzy zatížení a spolehlivých numerických metod
4. Modelování sdružených THM procesů
5. Hydro-mechanika v porézním prostředí s poruchami

Výpočetní metody pro řešení stochastických a deterministických inverzních úloh, včetně úloh optimálního řízení

Inverzní úlohy jsou nezbytné pro získání materiálových parametrů, okrajových a počátečních podmínek pro simulaci fyzikálních procesů v řadě aplikací, speciálně v geotechnice. Jejich řešení je výpočetně velmi náročné, zvláště při zahrnutí nejistot měření a nejistot v popise heterogenního materiálového prostředí.

Výsledky výzkumu se týkají

- srovnání metod minimalizace a regularizace pro deterministické inverzní úlohy a metod Lagrangeovského přístupu pro úlohy optimálního řízení;
- návrhu nového předpodmínění pro KKT systémy vznikající pro úlohy optimálního řízení;
- efektivních výpočetních metod pro Bayesovskou inverzi s využitím náhradních (zjednodušených, surrogate) modelů. Byla vytvořena strategie vytváření náhradního modelu, která byla úspěšně testována na úlohách proudění v porézním prostředí, bez nebo při zahrnutí deformace prostředí a v kontinuálním prostředí bez nebo při explicitním modelování poruch či poškození. Příkladem posledního je hydromechanika porézního horninového prostředí s trhlinami.
- Inverzní úlohy sdílejí výpočetní jádro s úlohami optimálního řízení. Zde se výzkum týkal nových metody předpodmínění pro KKT soustavy vznikající ze zahrnutí okrajových úloh popsanych parciálními diferenciálními rovnicemi pomocí Lagrangeových multiplikátorů.

Vývoj a analýza iteračních metod a řešičů

Vývoj iteračních řešičů je klíčový pro náročné simulace fyzikálních procesů v geotechnice a dalších oblastech vědy a techniky. Výsledkem jsou nové řešiče, které zrychlují řešení pomocí dekompozice, paralelizace a využití řešení pomocných úloh. Jde jednak o víceúrovňové Schwarzovy metody, metody FETI a metody využívající deflací. Pro předpodmínění s využitím deflace byl vytvořen software, který byl po recenzním řízení zařazen do celosvětově užívané knihovny PETSc, rozvíjené pod koordinací Argonne Nat Lab.

Výzkum zahrnuje také iterační metody pro řešení okrajových úloh s nejistotou v koeficientech. Speciálně byly navrženy a analyzovány metody pro soustavy vznikající při použití stochastické Galerkinovy metody s využitím stochastických rozvoju. Jde konkrétně o techniku redukované báze a odhady pro techniku předpodmínění pomocí matice s modifikovanou stochastickou částí.

Analýza iteračních metod zahrnuje otázku charakterizace konvergence metody GMRES pomocí charakterizace spektra. Známý výsledek svědčící o nedostatečnosti charakterizace spektra v případě obecných nesymetrických soustav byl zobecněn na blokovou GMRES metodu.

Řešení geotechnických stabilitních problémů pomocí pružně-plastických modelů, limitní analýzy zatížení a spolehlivých numerických metod

Limitní analýza je rigorózní metoda používaná pro řešení geotechnických stabilitních problémů (stabilita tunelů, svahů, podloží, apod.). Tato metoda je odvozena z vhodných elasto-plastických problémů a vede na řešení optimalizační úlohy, pomocí které určujeme limitní faktor zatížení a odhadujeme zóny poškození. Limitní faktor určuje bezpečnost zkoumané struktury či tělesa. Zmíněná optimalizační úloha je typická přítomností tzv. kuželových vazeb, které při řešení odstraňujeme užitím penalizační metody. Díky této metodě lze úlohu řešit obdobně jako elasto-plastické problémy. V roce 2019 jsme opublikovali 3 články na toto téma. První z nich je zaměřen na řešení elasto-plastických problémů a související limitní analýzy pomocí vektorizovaných kódů v MATLABu. V prostředí MATLAB doposud nebyly vektorizovány jak elasto-plastické problémy, tak konečné prvky vyššího řádu. Druhý článek vychází z těchto kódů a rozšiřuje je adaptivní lokální zjemňování konečně-prvkové sítě ve 2D. Navíc v tomto článku byla odvozena tzv. inf-sup podmínka na konvexních kuželu,

kteřá umožňuje hlubší studium problému limitní analýzy pro plastická kritéria používaná v geotechnické praxi. Na základě této inf-sup podmínky jsme odvodili počitatelné majoranty limitního faktoru zatížení, které jsou důležité pro a-posteriorní analýzu numerických chyb. Třetí článek je věnován aplikaci limitní analýzy při určování jednoosé tlakové pevnosti kompozitu složeného z uhlí a pryskyřice. Článek demonstruje, že námi navržené řešiče a matlabovská implementace jsou robustní i pro silně heterogenní materiál.

Modelování sdružených THM procesů

V rámci projektu Decovalex 2019 byl formulován model popisující termo-hydro-mechanické procesy pro simulace chování bentonitové bariéry pro podzemní ukládání vyhořelého jaderného odpadu. Přes složitost silně nelineárních a sdružených modelů byla provedena implementace v sw COMSOL, byly získány realistické výsledky a byla provedena validace modelu pomocí dat experimentu FEBEX.

Hydro-mechanika v porézním prostředí s poruchami

Výzkum byl motivován velkým zájmem o numerickou analýzu proudění v heterogenním porézním prostředí, včetně prostředí s významnými poruchami, které nelze zohlednit homogenizací.

Byl vytvořen numericky realizovaný model, v němž jsou poruchy reprezentovány jako objekty nižší dimenze. V článku, který byl přijat k publikaci, je popsána formulace a realizace modelu, který využívá propojené proudění v poruchách a matrici a vazbu na mechanickou deformaci. Model zahrnuje elastické deformace porézní matrice a otevírání / zavírání poruch s omezením neproniknutí. Mechanický model s tímto omezením je implementován technikou Lagrangeových multiplikátorů a duální formulace. Pro řešení je využita i metoda FETI rozkladu oblasti.

Max. 10 nejlepších výsledků dosažených pracovníky VP v roce 2019

1. *Axelsson, Owe, Liang, Z.-Z. A note on preconditioning methods for time-periodic eddy current optimal control problems. Journal of Computational and Applied Mathematics. 2019, 352, 262-277. ISSN 0377-0427 doi: 10.1016/j.cam.2018.11.010. WOS Q1, IF(2018)= 1.883*
2. *Axelsson, Owe, Lukáš, D. Preconditioning methods for eddy current optimally controlled time-harmonic electromagnetic problems. Journal of Numerical Mathematics. 2019, 27(1), 1-21. ISSN 1570-2820 doi: 10.1515/jnma-2017-0064. WOS Q1, IF(2018)= 3.107*
3. *Axelsson, Owe, Gustafsson, I. A coarse-fine mesh stabilization for an alternating Schwarz domain decomposition method. Numerical Linear Algebra with Applications. 2019, 26(3), 1-19), e2236. ISSN 1070-5325 doi: 10.1002/nla.2236. WOS Q1, IF(2018)= 1.883*
4. *Axelsson, Owe, Liang, Z.-Z. Parameter modified versions of preconditioning and iterative inner product free refinement methods for two-by-two block matrices. Linear Algebra and Its Applications. 2019, 582, 403-429. ISSN 0024-3795 doi: 10.1016/j.laa.2019.07.024. WOS Q2, IF(2018)= 0.977*
5. *Axelsson, Owe, Salkuyeh, D.K. A new version of a preconditioning method for certain two-by-two block matrices with square blocks. BIT NUMERICAL MATHEMATICS. 2019, 59(2), 321-342. E-ISSN 1572-9125 doi: 10.1007/s10543-018-0741-x. WOS Q2, IF(2018)= 1.451*
6. *Sysala, Stanislav, Blaheta, Radim, Kolcun, Alexej, Ščučka, Jiří, Souček, Kamil, Pan, P. Computation of Composite Strengths by Limit Analysis. Key Engineering Materials. 2019, 810(810), 137-142. ISSN 1662-9795 doi: 10.4028/www.scientific.net/KEM.810.137. Scopus*

7. Čermák, Martin, Sysala, Stanislav, Valdman, Jan. *Efficient and flexible MATLAB implementation of 2D and 3D elastoplastic problems. Applied Mathematics and Computation. 2019, 355(August/2019), 595-614. ISSN 0096-3003 doi: 10.1016/j.amc.2019.02.054. WOS Q1, IF(2018)= 3.092*
8. Haslinger, Jaroslav, Repin, S., Sysala, Stanislav. *Inf-sup conditions on convex cones and applications to limit load analysis. Mathematics and Mechanics of Solids. 2019, 24(10), 3331-3353. ISSN 1081-2865 doi: 10.1177/1081286519843969. WOS Q2, IF(2018)= 1.791*
9. Tomčala, J., Papuga, J., Horák, D., Hapla, V., Pecha, M., Čermák, M., *Steps to increase practical applicability of PragTic software. Advances in Engineering Software 129(2019), 57-68. ISSN 0965-9978 doi: 10.1016/j.advengsoft.2018.06.009. WOS Q1, IF(2018)= 4.194*
10. *Pořádání konference MODELLING 2019 (Mathematical modelling and computational methods in applied sciences and engineering), 130 účastníků z ČR a zahraničí*

1.3 Aktivity VP3 - Knihovny pro paralelní výpočty

HPC knihovny a vývoj škálovatelných algoritmů (NPU II)

- Pokračoval vývoj knihoven pro molekulové simulace a jejich použití ve výpočtech: MULTIDYN (neadiabatická molekulová dynamika), MCSIMUL (klasické metody Monte Carlo), PIMCSIMUL (kvantové metody Monte Carlo), LIB4NEURO (reprezentace molekulových interakcí pomocí umělých neuronových sítí).
- BEM4I (bem4i.it4i.cz): V průběhu roku byla implementována distribuovaná metoda Adaptive Cross Approximation (ACA) pro řešení Helmholtzovy rovnice modelující šíření vlnění v prostoru. Pro kompozitní oblasti byla zvolena metoda local Multitrace Formulation (MTF), která vede k jednoznačně a stabilně řešitelné diskrétní soustavě. Metoda je paralelizována na několika úrovních, tj. vyhodnocení singulárních hraničních integrálů je vektorizováno, lokální příspěvky se sestavují paralelně ve sdílené paměti a hranice jednotlivých podoblastí jsou distribuovány mezi výpočetní uzly.
- BESTHEA: V rámci projektu 'Prostoro-časové metody hraničních prvků pro řešení rovnice vedení tepla' (GAČR+FWF) byla zahájena implementace knihovny BESTHEA. Součástí balíku je testovací kód implementovaný v prostředí MATLAB, finální paralelní a optimalizovaná knihovna je implementována v C++. V současné době C++ knihovna umožňuje řešení Dirichletovy či Neumannovy úlohy s obecnou počáteční podmínkou pomocí plných matic. Sestavení těchto matic je vektorizováno a lokální příspěvky elementů jsou vypočítány paralelně ve sdílené paměti. V dalším roce řešení se autoři budou zabývat zrychlením metody pomocí pFMM pro časově závislé úlohy a paralelizací v distribuované paměti.
- FETI-H: V rámci projektového modulu 'FEM/BEM based domain decomposition solvers' projektu PRACE 6-IP vzniká implementace metody doménové dekompozice FETI-H pro vysoce paralelní řešení Helmholtzovy rovnice a úloh harmonické analýzy. Finální implementace bude provedena v rámci knihovny ESPRESO, testovací kód je implementován v MATLAB knihovně MATSOL. V současné době byly otestovány jednotlivé aspekty metody FETI-H, tedy lokální regularizace pomocí Robinovy podmínky a zavedení umělého hrubého problému, na menších úlohách v knihovně MATSOL. V dalším roce bude následovat ověření funkčnosti na velkých úlohách pomocí knihovny ESPRESO.

Superpočítání pro průmysl (NPU II)

- V roce 2019 byla rozšířena spolupráce s průmyslovým partnerem Glass Service. S touto firmou byla formou hospodářské smlouvy řešena problematika modelování procesů ve sklářském průmyslu pomocí umělých neuronových sítí. Na základě této spolupráce byl podán projekt v rámci výzvy grantové agentury TAČR.
- Začátkem roku 2019 bylo navázáno na započatou spolupráci s firmou Siemens s.r.o (pobočka elektromotory Frenštát) řešením dvou hospodářských smluv (i) vývoj metodiky výpočtu aktivního chlazení elektromotoru – fáze 2, (ii) vývoj metodiky výpočtu modálních vlastností elektromotoru. Spolupráce byla v roce 2019 završena podáním společného projektu digitální dvojče elektromotoru v rámci výzvy MPO APLIKACE a v září 2019 byl projekt vybrán k financování.
- Bylo pokračováno ve spolupráci s firmou Sigma Lutín na řešení projektu MPO TRIO pro vtokové a výtokové objekty. V tomto projektu byla vytvořena metodika pro CFD simulace proudění kapaliny v otevřeném kanále s pomocí open source nástrojů. Metodika byla zaměřena na výpočet proudění na přepadech, jeztech apod.
- V rámci WP8 Forward Looking Software Solutions projektu PRACE 6IP byl vyvíjen FEM/BEM modul, který rozšíří funkcionalitu programového balíku ESPRESO pro řešení konkrétních problémů inženýrské praxe.
- V rámci výzev H2020 byly podány projekty SPACE CoE (INFRAEDI-05-2020) a Artifact (DT-ICT-03-2020), přičemž projekt Artifact byl koordinován IT4Innovations.

Velké infrastruktury LM2015070

1. ESPRESO

Rozvoj knihovny ESPRESO navázal na předchozí rok rozšiřováním možností paralelního zpracování konečně-prvkových sítí o nové vstupní a výstupní formáty (ABAQUS, EnSight, VTK). Tato část byla vyčleněna do samostatné aplikace, kterou mohou uživatelé infrastruktury využívat pro efektivní paralelní převod mezi jednotlivými formáty. Významným rozšířením knihovny je také integrace open-source knihoven pro paralelní rozdělování načtené úlohy mezi dostupné procesy (Pt-Scotch, KaHIP). Tímto mohou poskytovatelé knihovny využívat i ti uživatelé, kteří vyžadují plně open-source nástroj.

Mezi další nově integrované knihovny do ESPRESA patří také paralelní řešiče pro řídké matice SuperLU a Watson. Pomocí těchto knihoven lze efektivněji vyřešit některé typy úloh. Jejich integrace poskytuje větší variabilitu přizpůsobení knihovny pro daný problém, a umožňuje tak efektivnější využití infrastruktury.

V knihovně ESPRESO byl dále rozšířen modul strukturální mechaniky o harmonickou analýzu, která umožňuje simulovat chování součástí při různých frekvencích a o nový typ prvku (TDNNS), který poskytuje přesnější simulace při použití hrubší konečně-prvkové sítě než standardní prvky. Dalším z nových modulů je modul pro topologickou optimalizaci, kterým lze optimalizovat tvar součástí při zachování jejich požadovaných vlastností. Možnosti samotného FETI řešiče, který tvoří jádro knihovny, byly rozšířeny o akceleraci výpočtu Schurova doplňku na grafických kartách, které se stávají standardním vybavením moderních superpočítačů.

Nástroj MESIO, který vznikl z I/O modulu knihovny ESPRESO, byl registrován jako veřejně dostupný software a je k dispozici uživatelům infrastruktury IT4Innovations.

2. MERIC

V průběhu roku 2019 jsme se zaměřili na automatizaci procesu analýzy chování paralelních aplikací knihovnou MERIC, která slouží pro měření energie a přepínání hardwarových parametrů za běhu aplikace s cílem snížit její spotřebu elektrické energie. Došlo k odstranění nutnosti manuální instrumentace kódu optimalizované aplikace a ručního prohledávání stavového prostoru.

Knihovna tak nově poskytuje dva nástroje (z důvodu podpory různých hardwarových platform) založené na knihovnách Dyninst, respektive MAQAO pro identifikaci regionů v analyzované aplikaci vhodných pro instrumentaci pomocí knihovny MERIC. Následně tyto nástroje provedou zcela automatickou binární instrumentaci požadované aplikace, čímž se daná aplikace stane připravenou pro analýzu dynamického chování pomocí knihovny MERIC.

Dalším novým nástrojem umožňujícím automatizaci procesu analýzy chování paralelní aplikace je MERICwrapper, který uživateli poskytuje informaci o hardwarových parametrech, které je MERIC na dané platformě schopen ladit, a dále nabízí tři různé algoritmy pro prohledávání stavového prostoru (kompletní prohledání stavového prostoru, genetický algoritmus, nebo optimalizace hejnem částic). Využitím MERICwrapper je tak možné najít výrazně rychleji optimální nastavení parametrů pro jednotlivé části optimalizované aplikace.

Vedle implementace nových nástrojů, byla dále rozvíjena i knihovna MERIC, která tak nyní umí využít knihoven GEOPM nebo msr-safe pro změnu hardwarových parametrů (možnost využití MERIC na serverech, kde jsou tyto knihovny nainstalovány) a rozšířit díky tomu i seznam nastavitelných parametrů o možnost nastavení maximální spotřeby wattů (skrže Intel RAPL powercap rozhraní). Další novinkou je ukládání hodnot měření do binárního formátu HDF5, který přináší lepší přenositelnost dat a snižuje nároky na souborový systém, protože nově neukládá desítky až stovky malých textových souborů.

Nový formát výstupních dat musel být vzat v potaz i v RADAR visualizer, grafickém interaktivním nástroji pro vizualizaci chování aplikace při různých konfiguracích laděných parametrů. Tento nástroj byl v tomto roce dále rozšířen o vizualizaci výkonových vzorků, které jsou generovány některými zařízeními pro měření spotřeby elektrické energie, v průběhu času měření.

RADAR visualizer byl registrován jako veřejně dostupný software, který je stejně jako knihovna MERIC k dispozici uživatelům infrastruktury IT4Innovations.

3. Výsledky v oblasti vizualizace a virtuální reality.

Na základě vyvinutého nástroje pro paralelní rendering na clusteru (CyclesPhi) byly implementovány další nezbytné nástroje, a byla připravena ke spuštění služba Rendering-As-A-Service (RAAS). Služba umožní uživatelům využít infrastruktury superpočítačového centra pro potřeby renderingu. Hlavními výhodami této služby je odstranění hlubší odborné znalosti koncového uživatele ohledně nastavení výpočetní úlohy pro cluster a poskytnutí akcelerovaného renderingu širší komunitě uživatelů. Celá služba je složena ze tří hlavních částí (front end, middleware, CyclesPhi). Uživatelský front end, který je integrován do prostředí Blender (software pro tvorbu a vizualizaci 3D obsahu), zajišťuje přímou komunikaci s uživatelem nad výslednou 3D scénou. Požadavky uživatele ohledně renderingu jsou následně směřovány na middleware, který zprostředkovává komunikaci s clusterem. Samotný rendering je realizován prostřednictvím software CyclesPhi, který je instalovaný na clusteru.

Aplikace CyclesPhi byla registrována jako veřejně dostupný software a je zároveň k dispozici uživatelům infrastruktury IT4Innovations.

V oblasti renderingu byl také implementován koncept paralelního renderování na několika GPU, které vzájemně sdílí svou paměť v rámci tzv. CUDA unifikované paměti. Celková dostupná paměť pro rendering je tak rovna součtu velikostí pamětí jednotlivých GPU. Cílem tohoto přístupu je umožnit akcelerovaný rendering pomocí GPU na scénách, které se nevejdou do paměti jedné karty. Pro vývoj této metody je používán systém Nvidia DGX-2 vybavený 16 GPU Nvidia Tesla V100. V budoucnu bude možné tento koncept použít také na novém clusteru Barbora, který je rovněž vybavený GPU akcelerovanými uzly.

Ostatní aktivity

- Pokračování v projektech OP VVV Doktorská škola pro vzdělávání v oblasti matematických metod a nástrojů v HPC, Technika pro budoucnost a Věda bez hranic, nově zahájeno řešení projektu OP VVV Technika pro budoucnost 2.0

Max. 10 nejlepších výsledků dosažených pracovníky VP v roce 2019

1. Kravčenko, M., Merta, M., Zapletal, J.: Distributed Fast Boundary Element Methods for Helmholtz Problems. Applied Mathematics and Computation.
2. Zapletal J., Bouchala J.: Shape optimization and subdivision surface based approach to solving 3D Bernoulli problems. Computers & Mathematics with Applications.
3. S. Dohr, J. Zapletal, G. Of, M. Merta, M. Kravčenko. A parallel space-time boundary element method for the heat equation. Computers & Mathematics with Applications.
4. C. Van de Steen, M. Benhenni, R. Kalus, R. Čosić, S. Ilésová, F.X. Gadea, M. Yousfi, Cross-sections, transport coefficients and dissociation rate constants for Kr²⁺ molecular ion interacting with Kr. Plasma Source Sci. Technol.
5. C. Van de Steen, M. Benhenni, R. Kalus, R. Čosić, F.X. Gadea, M. Yousfi, Mobility and dissociation of electronically excited Kr_{2}^{+} ions in cold krypton plasma. Plasma Source Sci. Technol.
6. C. Van de Steen, M. Benhenni, R. Kalus, R. Čosić, S. Ilésová, F.X. Gadea, M. Yousfi, Calculations of cross-sections, dissociation rate constants and transport coefficients of Xe²⁺ colliding with Xe. Phys. Chem. Chem. Phys.
7. Zapoměl J., Ferfecki, P., Kozánek J.: The mathematical model for analysis of attenuation of nonlinear vibration of rigid rotors influenced by electromagnetic effects, Journal of Sound and Vibration, Volume 443, 17 March 2019, 167-177.
8. Haslinger, J., Kučera, R., Šátek, V.: Stokes system with local Coulomb's slip boundary conditions: Analysis of discretized models and implementation. Computers and Mathematics with Applications (May 2018).
9. Z. Dostál, O. Vlach, T. Brzobohatý: Scalable TFETI based algorithm with adaptive augmentation for contact problems with variationally consistent discretization of contact conditions, accepted in Finite Elements in Analysis & Design.
10. Brzobohatý T., Jarošová M., Kučera R., Šátek V. Path-following interior point method: Theory and applications for the Stokes flow with a stick-slip boundary condition. Advances in Engineering Software, roč. 2019, č. 129, s. 35-43. ISSN 0965-9978.

1.4 Aktivity VP4 - Modelování pro nanotechnologie

V průběhu roku 2019 byly výzkumné aktivity VP4 diverzifikovány do následujících oblastí.

Nové materiály a povrchy pro nanooptiku

- Modelování struktury a fyzikálních vlastností pevných látek na bázi kvantové mechaniky. Byla realizována další série Ab-initio výpočtů elektronové struktury a tenzoru permitivity pro bcc Fe s magnetizací podél [001] a [011].
- Byl studován 5f magnetismus v UH3 materiálech. Byl prokázán vliv mřížkové komprese na orbitální momenty.
- Byl teoreticky prokázán vliv tzv. partikulárního elementu (amplitudy magnetických momentů, preferované magnetické fáze) na magnetické vlastnosti „high-entropy alloys“.
- Pokračovaly experimenty s kombinací magneto-optického jevu v substrátu a šířením elektromagnetické vlny v hlubokých mřížkách s cílem maximální rezonanční odezvy.
- Byl analyzován a předpovězen jeden z prvních feromagnetických polovodičů v 2D materiálech.
- Provedeno review ohledně posledních možností k designu supertvrdých materiálů.
- Review ohledně Li-baterií ohledně modelování několika charakteristických fyzikálních a chemických vlastností včetně elektrochemických povrchových reakcí.
- Analýza vlivů anharmonických efektů na přenos tepla v pokročilých nukleárních palivech.

Modelování a design nanokompozitů pro široké využití

- Příprava nanokompozitů reaktivním mletím.
- Vývoj vysoce fotoaktivních nanokompozitů pro sanitární účely.
- Vývoj nových nanokarbonových struktur.
- Návrh multikomponentních nanokompozitů.
- Modelování a teoretický design lithium-kovových baterií nové generace.
- Bylo prokázáno, že organovermikulitové výplně vykazují nejlepší výsledky u biodegradujících polymerních materiálů s antimikrobiálními povrchy.

Nové terahertzové zdroje a spintronika

- Modelování spintronickej struktury pro THz zdroje.
- Návrh a optimalizace difrakční struktury pro THz emitör.
- VCSEL – povrchově emitující lasery s vertikální architekturou.
- Multivrstvé spin-VCSEL struktury s lokální optickou anizotropií – analýza pomocí elipsometrie na bázi Muellerovy matice.
- Teoreticky a experimentálně byly specifikovány rezonanční stavy v THz oblasti u opticky pumpovaného NH₃.

Plazmonické a n reciproké fotonické struktury

- Polovodičová plazmonika a magneto-opticky aktivní materiály a struktury – návrh nových struktur s polovodiči s vysokou úrovní dopantů pro THz oblast.
- Modelování n reciprokých a filtračních oblastí.

- Magnetoplazmonika nanomřížek pro optickou neregiprocitu.
- Aplikace Kerrova jevu pro optickou modulaci v planárních a periodických strukturách.
- Analýza plazmonových vln na rozhraní dielektrikum-vodič.
- Teoreticky byla studována problematika "Fano resonance" mezi vlnovodnými TM vidy planární struktury s indukovanou anizotropií a polaritonovou vlnou generovanou povrchovými plazmony. Byl determinován vliv intervstvy v gapové oblasti na rezonanční charakteristiky plazmonických jevů.
- Pokračovalo studium kvadratických magneto-optických jevů vycházející z fotoelastické modulace světla na nově realizované experimentální sestavě.
- Byl navržen a analyzován duální absorber založený na Ag mřížce pokryté grafenem pracující ve vlnové oblasti 0.8 – 2.1 μm .

Fotovoltaické a bezpečnostní difrakční struktury

- Modelování bezpečnostních hologramů.
- Modelování progresivních povrchových struktur pro fotovoltaické články s vysokou účinností.
- Optické vlastnosti a výkonové parametry pyramidálních slunečních článků.
- Modelování citlivosti elipsometrie na bázi Muellerovy matice pro difrakční struktury.

10 nejlepších výsledků dosažených pracovníky VP v roce 2019

1. Z. H. Fu; N. Wang, D. Legut, C. Si, Q. F. Zhang, S. Y. Du, SY T. C. Germann, J. S. Francisco, R. F. Zhang: Rational Design of Flexible Two-Dimensional MXenes with Multiple Functionalities. CHEMICAL REVIEWS 119, no. 23, DOI: 10.1021/acs.chemrev.9b00348 (2019).
2. R. Illa, R. Jesko, R. Silber, O. Zivotsky, KM. Kutlakova, L. Matejova, M. Kolencik, J. Pistora, J. Hamrle: Structural, magnetic, optical, and magneto-optical properties of CoFe₂O₄ thin films fabricated by a chemical approach. MATERIALS RESEARCH BULLETIN, Vol. 11, pages 96-102, DOI: 10.1016/j.materresbull.2019.05.002 (2019).
3. V. Jandieri, K. Yasumoto, J. Pištora, D. Erni: Analysis of Scattering by Plasmonic Gratings of Circular Nanorods Using Lattice Sums Technique. SENSORS 19, no. 18, DOI: 10.3390/s19183923 (2019).
4. N. Nguyen-Huu, J. Pištora, M. Cada: Dual broadband infrared absorptance enhanced by magnetic polaritons using graphene-covered compound metal gratings. OPTICS EXPRESS 27, no. 21, DOI: 10.1364/OE.27.030182 (2019).
5. J. Vlček, J. Pištora, M. Lesňák: Design of Plasmonic-Waveguiding Structures for Sensor Applications. NANOMATERIALS 9, no. 9, DOI: 10.3390/nano9091227 (2019).
6. Y. Q. Guo, S. H. Zhang, B. Zhan, I. J. Beyerlein, D. Legut, S. L. Shang, Z. K. Liu, R. F. Zhang: Synergetic effects of solute and strain in biocompatible Zn-based and Mg-based alloys. ACTA MATERIALIA 181, DOI: 10.1016/j.actamat.2019.09.059 (2019).
7. Y. C. Fan, T. S. Wang, D. Legut, Q. F. Zhang: Theoretical investigation of lithium ions' nucleation performance on metal-doped Cu surfaces. JOURNAL OF ENERGY CHEMISTRY 39, DOI: 10.1016/j.jechem.2019.01.021 (2019).
8. H. T. Chen, A. D. Handoko, J. W. Xiao, X. Feng, Y. C. Fan, T. S. Wang, D. Legut, Z. W. Seh, Q. F. Zhang: Catalytic Effect on CO₂ Electroreduction by Hydroxyl-Terminated Two-Dimensional MXenes. ACS APPLIED MATERIALS & INTERFACES 11, DOI: 10.1021/acsami.9b09941 (2019)
9. J. W. Xiao, G. M. Zhou, H. T. Chen, X. Feng, D. Legut, Y. C. Fan, T. S. Wang, Y. Cui, Q. F. Zhang: Elaboration of Aggregated Polysulfide Phases: From Molecules to Large Clusters and Solid Phases. NANO LETTERS 19, no. 10, DOI: 10.1021/acs.nanolett.9b03297 (2019).
10. R. F. Zhang, S. H. Zhang, Y. Q. Guo, Z. H. Fu, D. Legut, T. C. Germann, S. Veprek: First-principles design of strong solids: Approaches and applications. PHYSICS REPORTS-REVIEW SECTION OF PHYSICS LETTERS 826, DOI: 10.1016/j.physrep.2019.09.004 (2019).

1.5 Aktivity VP5 - IT pro zpracování znalostí

- **Umělá inteligence v komplexních systémech, big data a plánování a kombinatoriální optimalizace**
 - Tým se v roce 2019 věnoval v této oblasti především naplnění indikátorů projektu „Umělá inteligence a uvažování“ v rámci výzvy OP VVV Excelentní výzkumné týmy, kde je tým partnerem Českého vysokého učení technického v Praze a Západočeské univerzity v Plzni. Aktivita byla věnována problematice optimalizace spotřeby robotického ramene pomocí úpravy trajektorie. Výzkum byl proveden v oblasti plánování trajektorie v cílovém prostoru. Druhým typem optimalizací byl pohyb po fixní trajektorii s optimalizací pozice manipulátoru vůči této trajektorii. Výsledky prokazují, že je možné dosáhnout signifikantních úspor ve srovnání se standardním plánovačem. Výstupem jsou algoritmy založené na PSO pro generování trajektorie, její optimalizaci i umístění manipulátoru v cílovém prostoru. Veškeré algoritmy byly paralelizovány pro dosažení maximální efektivity. Publikační výstupy jsou v probíhajícím recenzním řízení (v Q1 časopisech).
 - Část aktivit byla věnována problematice steganografie v JPEG souborech a její optimalizace pomocí paralelních výpočtů s využitím AVX instrukcí. Výstupem je článek v impaktovaném časopise. Byla rozvíjena problematika statistického modelování dopravních dat. Dopravní tok byl modelován pomocí směsi Von Misesových distribucí, přičemž pro hledání parametrů těchto distribucí byly implementovány metody z oblasti diferenciální evoluce, evolučních fuzzy pravidel, Expectation-Maximization algoritmu a metod strojového učení. Výsledky byly zaslány do časopisu s impaktním faktorem. V prvním kole recenzního řízení byl článek přijat po malých úpravách, nyní čekáme na odpověď ze strany časopisu.
 - Dále bylo pracováno na analýze datasetu z HBSC studie, která analyzuje pohybové aktivity mladých lidí. V přípravě je série článků, jež budou popisovat jednotlivé výsledky ze zpracování této studie. Články se zabývají problematikou přístupu mladých lidí na volně přístupné hřiště v ČR, proto budou mít i doporučující charakter pro rozvoj sportovišť v ČR.
 - Byl publikován příspěvek představující novou vizualizační techniku pro data, jež pracují s hodnoticím systémem. To představuje rychlý náhled na kvalitu portfolia na daném webu. Metoda byla aplikována na datech z online seznamky, kde umožnila vydefinovat tzv. influencersy a také uživatele, jež mohou trpět z negativního hodnocení od ostatních uživatelů.
 - Byl publikován rovněž příspěvek na téma modelování dopravních dat pomocí evolučních fuzzy pravidel.
- **Internet věcí**
 - Činnosti zejména korelovaly s dílčími cíli projektu "Secure IoT Gateway" (2017-2020) řešeného se sdružením CESNET v programu bezpečnostního výzkumu pro potřeby státu financovaného MV ČR. Vylepšili jsme kolektor pro sběr dat v IoT sítích a experimentujeme v kampusové IoT síti, kterou jsme si sami v Ostravě vytvořili, viz <https://lora.vsb.cz/>. Implementovali jsme detekční mechanismus pro indikaci senzorů porušujících Duty Cycle Time a lokalizační mechanismus pro nalezení IoT zařízení. Dále jsme vytvořili dashboard pro práci nad daty v kampusové IoT síti viz <https://koiot.cesnet.cz/>, kde si uživatelé mohou provádět různé analýzy a statistiky nad daty ze svých senzorů.

- Pokračovali jsme v řešení H2020 projektu TETRAMAX (2017-2021), který je zaměřen do oblasti Internetu věcí a v rámci něj se realizuje technologický transfer (TTX) s mezinárodním rozměrem v otevřených výzvách. V roce 2019 jsme zajišťovali podporu dvěma TTX a zorganizovali jeden "Innovation Office" k tématu "Low-Power WAN IoT" pro zahraniční firmu.
- Dále jsme se zabývali simulacemi ztrátovosti a propustnosti přenosů v kooperativních bezdrátových sítích využívajících relay uzly bez lokálního napájení, které získávají energii z elmg. pole (EH – energy harvesting). Pro EH režim jsme vytvořili několik modelů, odvodili energetické poměry v komunikačním kanálu a simulovali situace pomocí Monte Carlo metody. Závěry jsme publikovali v prvosledovém časopise Computer Networks (Q1 v Computer Science).
- Rovněž jsme pokračovali v řešení projektu MPO, ve kterém realizujeme pro průmyslového partnera vývoj v oblasti jeho portfolia IoT produktů (2017-2020). V roce 2019 jsme pro firmu SolidusTech řešili navýšení kapacity přenosu pomocí vhodných kompresních schémat. Vzhledem k blížícímu se konci projektu, byly podány s partnerem další dva nové záměry v objemu přes 30 mil. Kč.
- **Kybernetická bezpečnost**
 - V roce 2019 byl zahájen mezinárodní projekt "OpenQKD" (2019-2022) v rámci výzvy H2020-SU-ICT-2018 (Call name: Cybersecurity) a rovněž bylo zahájeno řešení smluvního výzkumu pro NÚKIB v objemu 4,3 mil. Kč. V rámci OpenQKD byl publikován koncem roku 2019 článek v prvosledovém časopise IEEE/ACM Transactions on Networking, který je zatím pouze online zveřejněn pod DOI:10.1109/TNET.2019.2956079 a čeká na zařazení do regulérního čísla. Co se týče smluvního výzkumu s NÚKIB, ten probíhá v režimu utajení.
 - Dalším výstupem týmu v oblasti Cybersecurity je přijetí článku do prvosledového časopisu IEEE Communications Magazine (IF 10,3), kde popisujeme způsob využití hlubokého učení pro klonování hlasu a rozvíjeli jsme práci výstupu, který jsme publikovali v polovině roku 2019 v časopise IEEE ACCESS s názvem "DeepVoCoder: A CNN Model for Compression and Coding of Narrow Band Speech." Při návrhu řečových kodeků jsme využívali prostředí NVIDIA DGX-2 na IT4I a přišli s novým konceptem DeepVoCoderu využívajícího konvoluční neuronové sítě.

Max. 10 nejlepších výsledků dosažených pracovníky VP v roce 2019

1. Chamorro, H.R., Sanchez, A.C., Pantoja, A., Zelinka, I., Gonzalez-Longatt, F., Sood, V.K. *A network control system for hydro plants to counteract the non-synchronous generation integration* (2019) **International Journal of Electrical Power and Energy Systems**, 105, pp. 404-419. DOI: 10.1016/j.ijepes.2018.08.020 (IF 4.448)
2. Keles, H.Y., Rozhon, J., Gokhan Ilk, H., Voznak, M. *DeepVoCoder: A CNN Model for Compression and Coding of Narrow Band Speech* (2019) **IEEE Access**, 7, art. no. 8730308, pp. 75081-75089. DOI: 10.1109/ACCESS.2019.2920663 (IF 4.098)
3. Huynh, V.-V., Nguyen, H.-S., Hoc, L.T.T., Nguyen, T.-S., Voznak, M. *Optimization issues for data rate in energy harvesting relay-enabled cognitive sensor networks* (2019) **Computer Networks**, 157, pp. 29-40. DOI: 10.1016/j.comnet.2019.04.012 (IF 3.03)
4. Vantuch, T., Zelinka, I., Adamatzky, A., Marwan, N. *Perturbations and phase transitions in swarm optimization algorithms* (2019) **Natural Computing**, 18 (3), pp. 579-591. DOI: 10.1007/s11047-019-09741-x (IF 1.33)

5. Nguyen, T.N., Tran, M., Nguyen, T.-L., Ha, D.-H., Voznak, M. *Multisource power splitting energy harvesting relaying network in half-duplex system over block rayleigh fading channel: System performance analysis* (2019) **Electronics**, 8 (1), art. no. 67. DOI: 10.3390/electronics8010067 (IF 1.764)
6. Nguyen, T.N., Tran, M., Ha, D.-H., Nguyen, T.-L., Voznak, M. *Energy harvesting based two-way full-duplex relaying network over a rician fading environment: Performance analysis* (2019) **Proceedings of the Estonian Academy of Sciences**, 68 (1), pp. 111-123. Cited 1 time. DOI: 10.3176/proc.2019.1.11 (IF 0.51)
7. Snasel, V., Kromer, P., Safarik, J., Platos, J. *JPEG steganography with particle swarm optimization accelerated by AVX* (2019) **Concurrency Computation**, art. no. e5448. DOI: 10.1002/cpe.5448 (IF 1.167)
8. Skanderova, L., Fabian, T., Zelinka, I. *Self-adapting self-organizing migrating algorithm* (2019) **Swarm and Evolutionary Computation**, 51, art. no. 100593. DOI: 10.1016/j.swevo.2019.100593 (IF 6.33)
9. Van, H.T., Nguyen, H.-S., Nguyen, T.-S., Huynh, V.V., Nguyen, T.-L., Sevcik, L., Voznak, M. *Outage performance analysis of non-orthogonal multiple access with time-switching energy harvesting* (2019) **Elektronika ir Elektrotechnika**, 25 (3), pp. 85-91. DOI: 10.5755/j01.eie.25.3.23682 (IF 0.684)
10. Sevcik, L., Uhrina, M., Bienik, J., Voznak, M. *Optimal Mapping Function for Predictions of the Subjective Quality Evaluation Using Artificial Intelligence*, in **Proc. 4th Future Technologies Conference - FTC 2019**, San Francisco 2019, AISC, vol. 1069, pp. 263-275. DOI: 10.1007/978-3-030-32520-6_21.

1.6 Aktivita VP6 - Metody soft computing s aplikacemi pro superpočítač

Aktivita centra uvedená v plánu byla plněna. Pokračovali jsme v zaměření na fuzzy modelování, které postupně rozšiřujeme do nových oblastí matematiky a informatiky.

V roce 2019 jsme získali řadu netriviálních výsledků:

- Vyvinuli jsme nové metody numerického řešení diferenciálních (obyčejných i parciálních) a integrálních rovnic. Cílem bylo rozšířit metody jejich řešení s pomocí přístupů fuzzy modelování, a to zejména F-transformace vyššího stupně. Kromě jiného lze takto řešit také diferenciální rovnice s fuzzy koeficienty.
- Získali jsme mnoho hlubokých a netriviálních výsledků v oboru topologické teorie dynamických systémů na kompaktních prostorech, např. topologickou verzi Poincaré-Bendixonova teorému, zkonstruovali jsme parametrizovatelnou třídu skoro-Birkhoffových kohraničních atraktorů, studovali jsme topologii neuniformních hyperbolických atraktorů, Lorenzovo zobrazení získané přeložením jedné ze dvou větví symetrického unimodálního zobrazení, zkonstruovali jsme dynamický systém na Cantorově množině, který se dá vložit do reálné osy tak, že toto zobrazení na Cantorově množině má nulovou derivaci, a řadu dalších speciálních výsledků, které zasahují hluboko do teorie.
- Přispěli jsme ke třídě metod řazených do oblastí tzv. deep learning a metod zpracování hlubokých neuronových sítí. Zde jsme se zaměřili na návrh hlubokých neuronových sítí s jádry vytvořenými pomocí F-transformace vyššího stupně, dále jsme vyvinuli originální metody pro identifikaci objektů v obrázcích, které se mohou na různých obrázcích lišit, aj.

- V oblasti algebry jsme zavedli novou speciální dragon-fly algebru, jejíž prvky mohou reprezentovat nedefinované hodnoty a která má praktické aplikace v metodě identifikace vážek. Také jsme studovali vztahy mezi F-transformacemi na různých variantách fuzzy rozkladů a R-semimodulů. Zavedli jsme automaty definované monádami v kategoriích. Zavedli jsme kategorie dolních a horních svazových F-transformací, v nichž morfismy jsou fuzzy relace.
- Rozšířili metody kompozice fuzzy relací s možností zahrnout nedefinované hodnoty a také specifikovat nezbytné a pominutelné parametry, což rozšířilo praktickou aplikovatelnost těchto metod při identifikaci vlastností a objektů.
- Vylepšili jsme metody dolování dat, ve kterých mohou být chybějící údaje. Dále jsme studovali vliv míry neurčitosti v originálních datech na míru neurčitosti (šířku intervalu) vypočítané konfidence vydolovaných pravidel. Definovali jsme obecný pojem fuzzy čtyřpolní tabulky, ukázali jsme, jak navazuje na existující směry ve fuzzy asociační analýze, ukázali jsme, že má smysl uvažovat vhodné dvojice t-norem v definici fuzzy čtyřpolní tabulky, a dále jsme studovali vlastnosti odvozené z tohoto nově zavedeného pojmu.
- Zpracovali jsme různá data, např. statistické modelování rozšíření invazivních druhů na území Španělska, statistické zpracování dat o propustnosti světla znečištěnou atmosférou, nebo data týkající se faktorů ovlivňujících komunitní práci sociálních pracovníků.
- V oblasti formální fuzzy logiky a modelování přirozeného lidského usuzování jsme modifikovali teorii intermediálních kvantifikátorů a rozšířili ji o nové kvantifikátory „Many, a few, several a little“ a prozkoumali jsme jejich základní vlastnosti.
- Rozpracovali jsme další techniky fuzzy modelování pro dekompozici sezónních časových řad a jejich prognózování. Mimo jiné jsme navrhli metodu identifikace tzv. bear a bull fází ve finančních časových řadách, což je důležitý problém ve finančnictví.
- Významně jsme přispěli k teorii agregačních operátorů. Mimo jiné jsme studovali pojem zobecněné monotónnosti v daném směru a jeho vlastnosti, navrhli jsme novou konstrukci ordinálních sum t-norem a t-konorem na omezených svazech a dokázali jejich různé vlastnosti.
- Studovali jsme speciální míry a integrály, např. jak spojit OWA váhové funkce se zadanou pravděpodobnostní mírou tak, aby se vytvořila nová pravděpodobnostní míra a na základě ní zkonstruovali Choquetův integrál. Dále jsme zkonstruovali tento integrál na omezených posetech.
- Vyvinuli jsme speciální software pro selektivní detekci barvy na základě teoretických výsledků v oblasti speciálních kategorií.
- Rozšířili jsme software LFL Forecaster na zpracování časových řad o originální algoritmus na identifikaci úseků se stejným monotónním chování a také identifikaci tzv. strukturních zlomů v časových řadách.
- Rozpracovali jsme nové verze jednoduchých diskrétních modelů multiagentních systémů – P kolonií, a prezentovali je na mezinárodních vědeckých akcích.
- Rozšířili jsme možnosti simulátoru morfogenetických systémů (Cytos) a s jeho pomocí provedli simulace několika typů bakteriálních buněk (Escherichia coli, Streptococcus lactis, Lactobacillus acidophilus).

Max. 10 nejlepších výsledků dosažených pracovníky VP v roce 2019

- Boroňski, J., Kupka, J. a Oprocha, P. A mixing completely scrambled system exists. Ergodic Theory and Dynamical Systems. 2019, 39(1), s. 62-73. ISSN 0143-3857.

- Kupka, J. a Rusnok, P. Fuzzy four-fold tables: their properties and use in fuzzy association analysis. INT J APPROX REASON. 2019, 108(May), s. 89-106. ISSN 0888-613X.
- Močkoř, J. F-transforms and Semimodule Homomorphisms. Soft Computing. 2019, 23(17), s. 7603-7619. ISSN 1432-7643.
- Murinová, P. a Novák, V. The theory of intermediate quantifiers in fuzzy natural logic revisited and the model of "Many". Fuzzy sets and Systems. 2019,
- Nguyen, L. T. N. L., Perfiljeva, I. a Holčapek, M. Boundary Value Problem: Weak Solutions Induced by Fuzzy Partitions. Discrete And Continuous Dynamical Systems B. 2020, 25(2), s. 715-732. ISSN 1531-3492.
- Štěpnička, M., CAO, T. H. N., Běhounek, L., Burda, M. a Dolný, A. Missing Values and Dragonfly Operations in Fuzzy Relational Compositions. INT J APPROX REASON. 2019, 113(October), s. 149-170. ISSN 0888-613X.
- Hurtík, P. a Tomasiello, S. A Review on the Application of Fuzzy Transform in Data and Image Compression. SOFT COMPUT. 2019, 23(23), s. 12641-12653. ISSN 1432-7643.
- Holčapek, M. A Graded Approach to Cardinal Theory of Finite Fuzzy Sets, Part II: Fuzzy Cardinality Measures and Their Relationship to Graded Equipollence:. FUZZY SET SYST. 2020, 380(February), s. 64-103. ISSN 0165-0114.
- Jin, L., Mesiar, R. a Yager, R. R. Melting Probability Measure With OWA Operator to Generate Fuzzy Measure: The Crescent Method. IEEE T FUZZY SYST. 2019, 27(6), s. 1309-1316. ISSN 1063-6706.
- Novák, V. Subtypes in Fuzzy Type Theory. FUZZY SET SYST. 2019, 363(květen), s. 66-83. ISSN 0165-0114.
- Ciencialová, L, Csuhaj-Varjú, E., Cienciala, L. a Sosík, P. P colonies. Journal of Membrane Computing, Singapore: Springer Singapore, 2019, roč. 1, č. 3, s. 178-197. ISSN 2523-8906.
- Sosík, P., Smolka, V., Bradík, J. a Garzon, M. Modeling Plant Development with M Systems. In T. Hinze; G. Rozenberg; A. Salomaa; C. Zandron. Membrane Computing. CMC 2018. Lecture Notes in Computer Science. Cham: Springer, 2019. s. 246-257, 12 s. ISBN 978-3-030-12796-1.
- Ciencialová, L, Cienciala, L.: Two notes on APCol systems. Theoretical Computer Science. Elsevier, online. ISSN 0304-3975.

1.7 Aktivity VP7 - Rozpoznávání a prezentace informací z multimediálních dat

Zpracování informací z multimediálních dat (NPU II)

- V rámci projektu NPU II probíhal výzkum využívající algoritmy a postupy vyvinuté v rámci VP7 centra IT4Innovations. Zejména se jednalo o algoritmy porozumění scéně, automatické kalibrace kamer a určení měřítka scény. Dále probíhal výzkum v oblasti strojového učení založeného na konvolučních neuronových sítích (CNN).
- Při uplatňování výsledků předchozího výzkumu bylo využíváno algoritmů pracujících autonomě, bez potřeby pořizování velkého množství (ideálně žádného) trénovacích a testovacích dat.
- Algoritmy vyvinuté v rámci NPU II byly aplikovány v oblasti automatického zpracování dohledových záběrů městských scén – parkovišť, silnic, veřejných prostor aj.

Průmyslové aplikace pokročilých informačních technologií (NPU II)

- V rámci NPU II jsme v roce 2019 učinili další kroky ve výzkumu CPS a IoT nejen v aplikacích ve „smart cities“ a ve „smart homes“, ale v roce 2019 zejména v dopravních aplikacích, což je nyní základem našeho výzkumu. I nadále se výzkum netýká přímo aplikačních algoritmů, ale převážně infrastruktury k jejich realizaci, bezpečnostních a ochranných prvků.
- Dalším klíčovou oblastí v roce 2019 zůstalo dolování multimediálních dat a zejména na data ze zpracování řeči. I nadále pokračovalo hodnocení potřebného objemu výpočetních zdrojů pro dolování dat za účelem lepší specifikace budoucích potřeb v rámci jejich použití.
- Postupy a algoritmy vyvinuté v rámci NPU II byly aplikovány v rámci publikací, smluvního výzkumu, ale i získaného Národního centra kompetence pro Kyberbezpečnost.

Zpracování videosekvencí a rozpoznávání řeči

- V roce 2019 jsme pokračovali v pracích na zvyšování přesnosti a robustnosti algoritmů pro dolování informací z řeči a z videa. V oblasti rozpoznávání řeči byla důležitá práce na moderních architekturách neuronových sítí (často prototypovaných v počítačovém vidění či počítačové lingvistice) jako jsou attention modely, transformers a cyklicky konzistentní učení. Značná pozornost byla věnována tvorbě trénovacích dat, především pomocí augmentace (reverberace a zašumování podle cílových podmínek). V oblasti rozpoznávání řečnicka dominovaly plně neurální modely – x-vektory a nové přístupy využívající konvoluční neuronové sítě a ResNet architektury. V oblasti diarizace (určení kdo kdy mluví) jsme publikovali důležitý časopisecký článek shrnující naši práci na Bayesovském modelování, které již nyní využívá většina světových laboratoří. Úspěšně jsme se zúčastnili několika mezinárodních evaluací: VoxCeleb, DIHARD II, Voices in the Distance a především 2019 NIST Speaker Recognition Evaluation. Nově pracujeme na multi-modálních přístupech, kde je dolování z řeči kombinováno s rozpoznáváním obličejů (NIST SR evaluace), případně je sekvence “rozpoznávání řeči-strojový překlad” trénována jako end-to-end system. Práce probíhaly v synergii s projekty financovanými z EU (H2020 Security ROXANNE a H2020 CleanSky ATCO2), USA (projekty DARPA Lorelei a IARPA Material) a českými (MV DRAPÁK, GAČR NEUREM2). Pokračovala a rozvíjela se smluvní průmyslová spolupráce, především s Phonexia (ČR), Raytheon BBN (USA), NTT (Japonsko) a Ericsson (Švédsko).

Počítačové vidění a rozpoznávání

- V roce 2019 jsme prohloubili výzkum v akceleraci nových a robustních algoritmů pro detekci objektů a kategorizaci obrazů, a to na moderních platformách, jako jsou embedded platformy, platformy a GP-GPU, ale i kombinace programovatelného hardware a procesorů. Pokračovali jsme v experimentech s netradičními zdroji obrazu, jako jsou multispektrální kamera a další experimenty byly provedeny i se skládáním HDR obrazu. Nově jsme se věnovali pořizování a analýze obrazu pro zobrazovací systém LookingGlass. I v roce 2019 jsme využili akceleraci pomocí FPGA a také jsme pokračovali ve využití konvolučních neuronových sítí (CNN) včetně jejich akcelerované implementace v GP-GPU. Proběhly další praktické experimenty a zhodnocení algoritmů a sběrů dat (které byly zpřístupněny). Část výzkumu probíhala souběžně s projekty H2020 ECSEL-FitOptiVis a TAČR BOREC, ale i s projektem PERO Ministerstva kultury

a VRASSEO Ministerstva Vnitřní. Výsledky jsme publikovali v časopisech a na konferencích a aplikovali mimo jiné i ve smluvním výzkumu.

Získávání znalostí z dokumentů a multimédií

- V roce 2019 jsme se v oblasti extrakce informací z WWW zaměřili na problematiku integrace extrahovaných dat s tradičními informačními systémy. Dále jsme zkoumali možnosti využití distribuovaného uložení a zpracování dokumentů za účelem extrakce událostí, jejich indexování a prohledávání a v oblasti získávání znalostí z procesů jsme se soustředili na možnosti predikce času a úspěšnosti procesu. Část výzkumu probíhala souběžně s projekty MV ČR a MPO ČR. Některé navržené metody a postupy jsme implementovali ve formě prototypových softwarových nástrojů.

3D geometrické modelování

- V oblasti zpracování a analýzy 3D dat jsme se v roce 2019 věnovali dvěma oblastem. Tradiční oblastí je zpracování rozsáhlých dat ve formě 3D mračen bodů získaných pomocí laserového skenování. V časopise jsme publikovali a také prakticky ověřili (firma GEODROM, s.r.o.) metody a kompletní SW a HW řešení, které využívá dvou vzájemně kalibrovaných senzorů Velodyne LIDAR a umožňuje přesné mapování jak venkovních prostor, tak vnitřních prostor. Mezi řešené problémy patřil robustní výpočet odometrie na základě dat ze dvou senzorů, tvorba tzv. pozičního grafu a jeho efektivní globální optimalizace pro velmi rozsáhlé scény, atd. Druhou oblastí je pak využití současných trendů hlubokého učení pro učení modelů schopných zachytit tvar 3D objektů. Zkoumáme použití konvolučních neuronových sítí pro modelování 3D tvaru lidských tkání. A ve spolupráci s průmyslovým partnerem (TESCAN 3DIM, ČR) pak aplikace takových sítí ve zdravotnictví pro návrh a výrobu individuálních náhrad. Výsledky jsme publikovali na konferenci.

Prezentace a zobrazování dat

- V roce 2019 probíhal výzkum a vývoj algoritmů realistického zobrazování a simulace atmosférických jevů, zejména deště. Důraz byl kladen na uplatnitelnost při zobrazování v reálném čase a se začleněním do existujících systémů zobrazování (enginů) prostřednictvím modulárního řešení simulace a zobrazování deště. Dále byl prohlouben výzkum kalibrace a lokalizace kamer a měření reálných rozměrů ve scénách. Pro tyto účely byly pořízeny a anotovány nové datové sady, probíhal vývoj algoritmů kalibrace kamery z rigidních objektů. Nově bylo mimo jiné experimentováno s možnostmi kompenzace radiálního zkreslení a necentrování optického středu. Vyvíjené algoritmy byly testovány na reálných a simulovaných datech a vyhodnocovány. Výsledky byly publikovány v časopiseckých publikacích.

Akcelerace ve specializovaném hardware

- V roce 2019 byl dále rozvíjen výzkum vysoce výkonných a energeticky efektivních výpočetních struktur a architektur, byly studovány vhodné algoritmy s ohledem na jejich použitelnost v reálných aplikacích, byly analyzovány možnosti optimalizace rozdělení výpočtu algoritmů mezi FPGA a CPU, jejich vzájemnou komunikaci a zpracování na jenom čipu. Byly hlouběji analyzovány a testovány možnosti maximálního využití automatizovaných návrhových nástrojů, především HLS syntézy, s cílem zvýšení produktivity práce a optimalizaci požadovaných vlastností obvodů. Uvedené postupy byly ověřovány i na praktických problémech reálných aplikací. Výsledky byly publikovány.

Technologie sémantického webu

- V roce 2019 jsme se zaměřili především na další zlepšování sémantické reprezentace obsahu textu a její využití v oblasti odpovídání na otázky v přirozeném jazyce, jak ze strukturovaných dat, obsažených ve znalostních bázích a grafech, tak ve volném textu. V souladu s aktuálními trendy v oblasti zpracování přirozeného jazyka jsme zapojili pokročilé neuronové modely typu Transformer, trénované na velmi rozsáhlých korpusových datech. Učení těchto rozsáhlých modelů by nebylo možné bez využití nejmodernějších grafických procesorů a principů distribuovaného a paralelního počítání s konceptem GP-GPU. Výsledky byly publikovány.

Formální jazyky a gramatiky

- Hlubší a mnohem rozsáhlejší výzkum výpočtu, který zpracovává informace nespojitým způsobem, anglicky nazývaný *jumping information processing*, byl proveden v roce 2019 prostřednictvím adekvátního popisu na bázi formálních jazyků a jejich modelů, zejména gramatik a automatů. Tento výzkum se soustředil na nové přístupy a modely v teorii formálních jazyků, zejména skákajících gramatik a automatů. Nadto byly vyvinuty další postupy zpracování volně kontextové informace ve zmíněné teorii. O úspěchu a rozsahu tohoto výzkumu výmluvně svědčí níže uvedená monografie, která má 750 stran, ale i řada poznatků publikovaných v časopisech.

Max. 10 nejlepších výsledků dosažených pracovníky VP v roce 2019

- NOVOTNÝ Ondřej, PLCHOT Oldřich, GLEMBEK Ondřej, ČERNOCKÝ Jan a BURGET Lukáš. Analysis of DNN Speech Signal Enhancement for Robust Speaker Recognition. Computer Speech and Language, roč. 2019, č. 58, s. 403-421. ISSN 0885-2308. IF = 1.857
- KŘIVKA Zbyněk, KUČERA Jiří a MEDUNA Alexander. Jumping Pure Grammars. The Computer Journal, roč. 62, č. 1, s. 30-41. ISSN 0010-4620. IF=0,980
- MUSIL Petr, JURÁNEK Roman, MUSIL Martin a ZEMČÍK Pavel. Cascaded Stripe Memory Engines for Multi-Scale Object Detection in FPGA. IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, roč. 2020, č. 1, s. 267-280. ISSN 1051-8215. IF = 4.046
- DIEZ Sánchez Mireia, BURGET Lukáš, LANDINI Federico Nicolás a ČERNOCKÝ Jan. Analysis of Speaker Diarization based on Bayesian HMM with Eigenvoice Priors. IEEE/ACM TRANSACTIONS ON AUDIO, SPEECH AND LANGUAGE PROCESSING, roč. 2019, č. 11, s. 1-14. ISSN 2329-9290. IF = 3.531
- SZÓKE Igor, SKÁCEL Miroslav, MOŠNER Ladislav, PALIESEK Jakub a ČERNOCKÝ Jan. Building and Evaluation of a Real Room Impulse Response Dataset. IEEE Journal of Selected Topics in Signal Processing, roč. 13, č. 4, s. 863-876. ISSN 1932-4553. IF = 6.688

- ROHDIN Johan A., SILNOVA Anna, DIEZ Sánchez Mireia, PLCHOT Oldřich, MATĚJKA Pavel, BURGET Lukáš a GLEMBEK Ondřej. End-to-end DNN based text-independent speaker recognition for long and short utterances. *Computer Speech and Language*, roč. 2020, č. 59, s. 22-35. ISSN 0885-2308. IF = 1.857
- ŽMOLÍKOVÁ Kateřina, DELCROIX Marc, KINOSHITA Keisuke, OCHIAI Tsubasa, NAKATANI Tomohiro, BURGET Lukáš a ČERNOCKÝ Jan. SpeakerBeam: Speaker Aware Neural Network for Target Speaker Extraction in Speech Mixtures. *IEEE Journal of Selected Topics in Signal Processing*, roč. 13, č. 4, s. 800-814. ISSN 1932-4553. IF = 6.688
- KOCCMAN Radim, KŘIVKA Zbyněk a MEDUNA Alexander. On Double-Jumping Finite Automata and Their Closure Properties. *RAIRO - Theoretical Informatics and Applications - Informatique Théorique et Applications*, roč. 52, č. 2, s. 185-199. ISSN 0988-3754. Scopus CiteScore=0,52
- VELAS Martin, ŠPANĚL Michal a HEROUT Adam. Indoor and Outdoor Backpack Mapping with Calibrated Pair of Velodyne LiDARs. *Sensors*, roč. 2019, č. 18, s. 34. ISSN 1424-8220. Dostupné z: <https://doi.org/10.3390/s19183944>. IF = 3.031
- Software: LENGÁL, Tomáš, BURGET Radek, ZELENÝ Jan: Implementace segmentačního algoritmu BCS, Projekt představuje novou implementaci algoritmu Box clustering segmentation. Tento algoritmus zajišťuje rychlou a přesnou segmentaci webových stránek pro jejich další zpracování. Implementace je poskytována jako samostatný rozšiřující modul stávajícího rámce FitLayout. (<https://www.fit.vut.cz/research/product/615/>)

1.8 Aktivity VP8 - Bezpečné a spolehlivé architektury, sítě a protokoly

- Zabezpečení multiagentních systémů, bezdrátových sensorových sítí a biometrických systémů

V oblasti biometrie byl výzkum zaměřen na řešení problémů souvisejících s poškozenými otisky prstů a analýzou obličejů. U poškozených otisků prstů se jednalo o jejich zajištění (nové snímací pracoviště pro FN Brno, Dermatovenerologické oddělení), analýzu (algoritmy pro detekci poškození v obrazu otisku prstu a stanovení, zda se jedná o náhodné poškození nebo onemocnění), výrobu falzifikátů (využití různých materiálů a způsobů výroby) a generování syntetických otisků prstů s rozličnými poškozeními. U technologie obličeje byl vytvořen generátor různého natočení 3D modelu reálného obličeje a rozpoznání 3D pozice hlavy ve 2D obrázku. Byla dokončena konstrukce zařízení EYRINA 4 na snímání sítnice oka. Systém na bázi multiagentních systémů, který byl v minulém období implementován v prostředí bezdrátových sensorových sítí, byl dokončen a vyhodnocen v případových studiích.

- Vestavěné systémy, sítě a protokoly

Výzkum byl především zaměřen na návrh nových technik pro analýzu komunikace v průmyslových a IoT sítích s ohledem na možnosti detekce bezpečnostních hrozeb na základě identifikovaných anomálií v síťovém provozu. V této souvislosti byly zkoumány různé metody založené na vytváření profilu, statistického modelování a použití metod strojového učení pro klasifikaci provozu. Další oblastí výzkumu bylo využití metod pro zpracování velkých dat pro účely pokročilé analýzy počítačové komunikace. Zejména se pak jednalo o kombinaci těchto nástrojů s metodami strojového učení pro identifikaci a klasifikaci šifrovaného spojení v Internetu. V oblasti digitální forenzní analýzy se podařilo vytvořit zajímavé výsledky v oblastech detekce těžebních uzlů v sítích kryptoměn a zdokonalení metody pro distribuované a GPU akcelerované obnovování hesel ze zabezpečených dokumentů.

- Počítačové architektury a diagnostika

V rámci výzkumu v oblasti systémů odolných proti poruchám na hradlových polích FPGA byla porovnána odolnost řídicí elektroniky elektromechanického systému založeného na soft-core procesoru běžícího na FPGA oproti obvodové realizaci implementované použitím VHDL. Byla zkoumána také odolnost hardwarové implementace řadiče rekonfigurace FPGA. V oblasti automatizace návrhu byly ověřeny možnosti nových metrik pro odhad odolnosti. Věnovali jsme se využití technik aproximativního počítání pro identifikaci signatur v síťovém provozu. Vytvořené techniky najdou uplatnění v IDS systémech a systémech pro zákonné odposlechy. Současně jsme se začali zabývat urychlováním analýzy šifrovaného provozu s cílem zjistit více informací o probíhající komunikaci a identifikovat různé bezpečnostní problémy na síti.

- Společný vývoj HW/SW

V oblasti automatizované optimalizace procesoru pro danou aplikaci byly řešeny problémy hledání optimální varianty řešení pro různé aplikace spouštěné na konkrétním procesoru. Jako vzorový parametrizovatelný procesor byl použit RISC-V. Byl vyvinut evoluční algoritmus pro hledání nejvýhodnější konfigurace řešeného procesoru. Pomocí agregované Pareto fronty pro sdružené aplikace bylo testováno, zda nastavení evolučního algoritmu je specifické pro různé třídy procesorů nebo zda je možné dosáhnout univerzálního řešení. Metoda agregace Pareto fronty byla jako unikátní publikována.

- Evoluční hardware

Výzkum skupiny byl zaměřen na nové aplikace evolučního návrhu obvodů, kdy se evoluční přístup osvědčil zejména při konstrukci specializovaných aproximativních obvodů. Aproximativních obvody byly následně využity s cílem snížit příkon akceleračtorů hlubokých neuronových sítí. Současně byly vylepšeny algoritmy pro výpočet chyb aritmetických obvodů, které jsou založeny na metodách formální analýzy a verifikace. Dále byla publikována koevoluční varianta kartézského genetického programování umožňující významně snížit dobu evolučního návrhu v úlohách symbolické regrese. Byl realizován nízkopříkonový hardwarový akceleračtor pro testování náhodnosti bitových sekvencí, který je postaven na opakovaném evolučním návrhu kombinačních obvodů v FPGA. Rovněž byly pomocí evolučních postupů nalezeny booleovské funkce splňující různé požadavky z pohledu kryptografie.

- Automatická verifikace

Značný důraz byl kladen na výzkum efektivních technik práce s logikami a automaty jako základním stavebním kamenem řady verifikačních technik. Byla navržena nová rozhodovací procedura pro logiku WSKS (oceněná jako nejlepší článek konference CADE 2019) a nová rozhodovací procedura pro formule nad řetězci (oceněná jako nejlepší článek konference ATVA 2019). Bylo navrženo zdokonalení procedury pro komplementaci Büchiho automatů s aplikací ve verifikaci software. Významné výsledky byly dále získány také v oblasti automatické syntézy pravděpodobnostních programů s danými vlastnostmi, založené na postupně zjemňované abstrakci. Zkušenosti skupiny s automaty byly dále využity pro návrh nových technik přibližné redukce nedeterministických automatů aplikovaných při hardwarově akcelerovaném monitorování síťového provozu. Ve spolupráci s Microsoft Research Redmond (USA) byl navržen nový přístup k determinizaci automatů s omezenými čítači umožňující efektivní vyhledávání dle regulárních výrazů s repetičními omezeními (např. při analýze záznamů o bezpečnostně kritických akcích).

- Modelování, simulace a optimalizace

Skupina nadále pokračovala ve výzkumu v oblasti specifikace a implementace distribuovaných řídicích systémů s využitím různých variant Petriho sítí. Pokračoval vývoj nástrojů pro aplikaci variant Petriho

sítí v návrhu a realizaci IoT a experimentální ověřování jejich použitelnosti v reálném provozu. Smyslem těchto aktivit je postupné zdokonalování našeho konceptu modelování a vývoje řídicích aplikací s ohledem na spolehlivost a bezpečnost.

- Superpočítačové technologie

Skupina superpočítačových technologií se věnovala výzkumu v oblasti šíření ultrazvuku a fotoakustického snímkování prsou v rámci projektu H2020 PAMMOTH. V rámci výzkumu jsme se zaměřili na pokročilé techniky rekonstrukce fotoakustických obrazů pomocí progresivní změny rozlišení u gradientního řešiče, která v prvotních iteracích používá hrubé rozlišení pro získání základního odhadu, který postupně zpřesňuje. Tato technika výrazně snižuje výpočetní nároky na rekonstrukci obrazu. Dále jsme se věnovali akceleraci samotného řešiče pomocí muti-GPU systému, např. Nvidia DGX-2, kde jsme dosáhli výborných výsledků ve škálování. Aplikační výzkum se soustředil na platformu pro automatizované plánování, spouštění a monitorování dílčích výpočtů v rámci fotoakustické tomografie s minimální intervencí uživatele.

Max. 10 nejlepších výsledků dosažených pracovníky VP v roce 2019

- ABDULLA Parosh A., ATIG Mohamed F., BUI Phi Diep, HOLÍK Lukáš a JANKŮ Petr. Chain-Free String Constraints. In: Proceedings of ATVA'19. Cham: Springer International Publishing, 2019, s. 277-293. ISBN 978-3-030-31783-6. **Cena za nejlepší článek konference ATVA 2019.**
- ČEŠKA Milan, HAVLENA Vojtěch, HOLÍK Lukáš, KORENEK Jan, LENGÁL Ondřej, MATOUŠEK Denis, MATOUŠEK Jiří, SEMRIČ Jakub a VOJNAR Tomáš. Deep Packet Inspection in FPGAs via Approximate Nondeterministic Automata. In: Proceedings of the 27th IEEE International Symposium on Field-Programmable Custom Computing Machines (FCCM). San Diego, CA: IEEE, 2019, s. 109-117. ISBN 978-1-72811-132-2
- DRAHANSKÝ Martin a KANICH Ondřej. Influence of Skin Diseases on Fingerprints. *Biometrics under Biomedical Considerations*. Singapore: Springer Nature Singapore, 2019, s. 1-39. ISBN 978-981-1311-44-4.
- DRAHOŠOVÁ Michaela, SEKANINA Lukáš a WIGLASZ Michal. Adaptive Fitness Predictors in Coevolutionary Cartesian Genetic Programming. *Evolutionary Computation*, roč. 27, č. 3, s. 497-523, 2019. ISSN 1063-6560.
- HAVLENA Vojtěch, HOLÍK Lukáš, LENGÁL Ondřej a VOJNAR Tomáš. Automata Terms in a Lazy WSKS Decision Procedure. In: Proceedings of 27th International Conference on Automated Deduction (CADE-27). Natal: Springer Verlag, 2019, s. 300-318. ISSN 0302-9743. **Cena za nejlepší článek konference CADE-27 (tedy CADE 2019).**
- HRANICKÝ Radek, ZOBAL Lukáš, RYŠAVÝ Ondřej and KOLÁŘ Dušan. Distributed password cracking with BOINC and hashcat. *Digital Investigation*, roč. 2019, č. 30, s. 161-172, 2019. ISSN 1742-2876.
- MRÁZEK Vojtěch, SEKANINA Lukáš, DOBAL Roland, SÝS Marek a ŠVENDA Petr. Efficient On-Chip Randomness Testing Utilizing Machine Learning Techniques. *IEEE Transactions on Very Large Scale Integration (VLSI) Systems*, roč. 27, č. 12, s. 2734-2744, 2019. ISSN 1063-8210
- VAŠÍČEK Zdeněk. Formal Methods for Exact Analysis of Approximate Circuits. *IEEE Access*, roč. 7, č. 1, s. 177309-177331, 2019. ISSN 2169-3536.
- VESELÝ Vladimír and ŽÁDNÍK Martin. How to detect cryptocurrency miners? By traffic forensics!. *Digital Investigation*, roč. 2019, č. 31, s. 1-25, 2019. ISSN 1742-2876.
- WISE Elliott S., COX Ben T., JAROŠ Jiří and TREEBY Bradley E. Representing arbitrary acoustic source and sensor distributions in Fourier collocation methods. *The Journal of the Acoustical Society of America*, roč. 146, č. 1, s. 278-288, 2019. ISSN 1520-8524.

2. Jak se centru dařilo dosahovat stanovených hodnot monitorovacích indikátorů v rámci monitorovacího období

Plnění plánovaných hodnot monitorovacích indikátorů pro rok 2019 shrnuje níže uvedená tabulka.

Kód indikátoru	Indikátor	2019	
		plán	skutečnost
110810	Počet výzkumných pracovníků využívající vybudovanou infrastrukturu	354	398
110820	Počet studentů magisterských a doktorských studijních programů využívajících vybudovanou infrastrukturu	406	219
110300	Počet nově vytvořených pracovních míst, zaměstnanci VaV - celkem	200,30	246,36
071700	Počet nově vytvořených pracovních míst, výzkumní pracovníci celkem	148,50	192,86
071900	Počet nově vytvořených pracovních míst, výzkumní pracovníci do 35 let	100,95	132,71
074902	Počet úspěšných absolventů doktorských studijních programů	24	9
110502	Publikace (impaktované časopisy) (Jimp)	116	118
	Publikace (ostatní)	238	161
	Odborné publikace ¹	354	279
110503	Patenty (národní)	6	2
	Patenty (mezinárodní, triadické (EU, US, Japonsko))	1	0
	Výsledky výzkumu chráněné na základě zvláštního právního předpisu ¹	7	2
110504	Poloprovoz, ověřená technologie, odrůda ... (Z, T)	1	0
	Prototyp, metodika, užitečný a prům. vzor, ... (S)	43	22
	Aplikované výsledky výzkumu ¹	44	22
111200	Objem smluvního výzkumu	52 000 000	23 590 963,20
110710	Počet projektů spolupráce aplikační sféry s centry excelence	35	30
111300	Objem prostředků na VaV získaný ze zahraničních zdrojů	27 350 000	49 482 164,19
0603	Objem prostředků získaných ve veřejné soutěži o účelovou podporu VaV národních zdrojů	51 000 000	240 603 353,14
110516	Rozšířené nebo zrekonstruované kapacity - plocha (m ²)	550	552,24
110517	Vybudované kapacity - plocha (m ²)	11280	11 455,64

Hodnoty závazných monitorovacích indikátorů (10300, 071700) týkajících se počtu vytvořených pracovních míst byly naplněny s přesahem.

Hodnoty závazných monitorovacích indikátorů (110516, 1105217) týkajících se kapacit centra byly naplněny.

Indikátor 110810 byl naplněn na 112 %. Ve vykazované hodnotě nejsou zahrnuti Ph.D. studenti vykázání v MI 110820.

Indikátor 110820 byl naplněn z 54 %. Důvodem je soustředění se na kvalitu oproti kvantitě.

Indikátor 110504 byl naplněn na 50 % a indikátor 110503 byl naplněn na 29 %.

Indikátor 111200 byl naplněn ze 45 %. Důvodem nenaplnění je zejména neochota společností k tomuto typu spolupráce (podporují spolupráci formou společných výzkumných projektů) a zaměření centra na mezinárodní projekty (H2020, apod.), což deklaruje jejich výše.

Indikátor 110502 byl naplněn na 79 %. V rámci indikátoru nebyly vykazovány publikace, které byly pouze přijaty k publikaci v 2019.

Indikátor 074902 byl naplněn z 38 %.

Indikátor 111300 byl přeplněn z 81 %.

3. Jak probíhala spolupráce s partnery projektu (plnění společných výzkumných aktivit)

V rámci Centra excelence IT4Innovations probíhala spolupráce mezi jednotlivými výzkumnými programy a potažmo i mezi partnery tak, jak bylo identifikováno již na počátku projektu a jak se v průběhu řešení projektu přirozeně formovaly tematicky zaměřené výzkumné skupiny a řešitelské týmy nových výzkumných projektů. Jako příklady spolupráce identifikované v roce 2019 uvádíme následující.

Výzkumné programy 1 a 3 se společně podílely na řešení třech prestižních mezinárodních projektů. Konkrétně se jedná o projekty LEXIS (Large-scale EXecution for Industry & Society), ExaQute (Exascale Quantification of Uncertainties for Technology and Science Simulation) a InnoHPC (High-Performance Computing for effective Innovation in the Danube region). Dále se VP1 a VP3 podílely na společné přípravě několika H2020 projektů: OptiPipeCoE a ClusterCockpit. Oba výzkumné programy se dále podílely na definici výzkumných témat s firmou iXperta. Tato spolupráce vyústila v přijatý projekt *“Výzkum a vývoj funkčního vzorku železničního vozidla se schopností sběru dat a softwaru - simulátoru se schopností generování dat pro trénování detekce překážek v simulovaných podmínkách”* TAČR.

Výzkumné programy 1, 2, 3 a 8 spolupracovaly při organizaci konference HPCSE 2019, Soláň, květen 20-23, 2019.

Výzkumný program 4 spolupracoval s ostatními výzkumnými programy na přípravě mezinárodní konference NANO Ostrava 2019 (13. - 16. května 2019). **Výzkumné programy 1 a 4** spolupracují na řešení projektu OP VVV „IT4Innovations National Supercomputing Center - Path to Exascale“.

Výzkumné programy 1 a 7 získaly společně bezpečnostní projekt „Zapojení umělé inteligence do příjmu tísňového volání“ (AI v TiV) v rámci výzvy MV ČR. Projekt se zabývá využitím hlasových technologií pro podporu center tísňových volání (linka 112) a počítá s prototypováním hlasového „chat-bota“ pro příjem volání v případě krizových situací přetěžujících tuto linku.

Výzkumné programy 2 a 3 spolupracovaly rovněž při organizaci konferencí:

- MODELLING 2019 (Mathematical modelling and computational methods in applied sciences and engineering), 130 účastníků z ČR a zahraničí, <http://www.ugn.cas.cz/actually/event/2019/modelling/index.php>.
- Organizace minisymposia **Numerical methods for massively parallel computations**. (Peter Arbenz, Erin Carson, Jakub Šístek) při konferenci Modelling.

Výzkumné programy 7 a 8 spolupracovali úzce při řešení většiny projektových aktivit díky sdílení celé řady projektů a při publikačních aktivitách.

4. Jak se dařilo rozvíjet spolupráci a vytvářet nová smluvní partnerství na národní a mezinárodní úrovni (společné výzkumné projekty, uzavírání nových smluv o spolupráci, memoranda, atd.)

Výzkumné spolupráce v rámci výzkumných projektů:

- Ve spolupráci s Politecnico di Milano (Itálie), CINECA (Itálie), Atos (Francie), University of Tartu (Estonie) a dalšími mezinárodními partnery jsme podali projekt OptiPipe do H2020 výzvy INFRAEDI-05-2020 Centres of Excellence in exascale computing.
- Spolupráce s LINKS Foundation (Itálie), Atos (Francie), LRZ (Německo) a dalšími mezinárodními partnery na řešení H2020 projektu s názvem LEXIS v oblasti "ICT-11-2018-2019: HPC and Big Data enabled Large-scale Test-beds and Applications – scope a)".
- Spolupráce s LINKS Foundation (Itálie), ECMWF (Itálie), Atos (Francie), a dalšími mezinárodními partnery byl připraven projekt EuroHPC s názvem ACROSS do výzvy "H2020-JTI-EuroHPC-2019-1".
- Spolupráce s ETH Zurich v rámci projektu "Věda bez hranic".
- Université Toulouse III Paul Sabatier, spolupráce v rámci projektu Modelování interakcí chladného plazmatu na bázi vzácných plynů se vzduchem (proj. č. 8J18FR031, BARRANDE 2018-2019).
- Projekt 'Prostorovo-časové metody hraničních prvků pro řešení rovnice vedení tepla' v rámci programu Lead agency, financováno GAČR a FWF. Projekt řešen ve spolupráci s Graz University of Technology.
- Zahájení H2020 projektu openQKD (2019-2022), koordinátor AIT AUSTRIAN INSTITUTE OF TECHNOLOGY GMBH, 37 partnerů.
- Připojení se k výzvě Thales Group "THE EUROPEAN QUANTUM COMMUNICATION INFRASTRUCTURE", kterou kromě IT4I podepsalo dalších 21 oslovených institucí v EU jako Airbus, Fraunhofer, KPN, Telefónica, AIT, Eutelsat, atd.
- V roce 2019 byly zahájeny evropské projekty v programech H2020 Security (ROXANNE) a H2020 CleanSky (ATCO2). Byl přijat projekt H2020 WELCOME zabývající se inteligentními asistenty pro řešení uprchlické krize (rozběhne se v 02/2020).
- Byla úspěšně ukončen projekt smluvní spolupráce se švédskou firmou Ericsson v oblasti diarizace a byla obnovena smlouva o smluvním výzkumu s japonskou firmou NTT týkající se extrakce řeči jednoho řečníka pomocí mikrofonních polí a neurálních architektur.
- V roce 2019 pokračovaly přípravy na organizaci největší řečové konference Interspeech 2021 v Brně <https://www.interspeech2021.org/>.
- Nově získaný projekt MPO ČR TRIO "Validované datové úložiště" (hlavní řešitel za FIT M.Rychlý) - <https://www.fit.vut.cz/research/project/1309/>.
- V roce 2019 se ve spolupráci s VP7 podařilo rozběhnout společný projekt H2020 ECSEL Arrowhead Tools, do kterého je zapojena také česká společnost CAMEA a řada dalších partnerů z Evropy.
- Spolupráce s partnery projektu H2020 – PAMMOTH (University College London, University of Bern, University of Twente).
- Masarykova univerzita, FSS – provádění průzkumů mezi obyvateli ohledně znalosti a zvyklostí používání u biometrických systémů – v rámci projektu Průzkum a edukace občanů České republiky v oblasti biometrie, TAČR TL02000134, 2019-2021.
- Kriminologický ústav Praha – tvorba falzifikátů a jejich použití v praxi (interní projekt KÚP).
- EURAD European Joint Programme on Radioactive Waste Management. European Joint Programme (EJP) Cofund Action 847593. H2020-Euratom-1.2. Participation in WP DONUT

Development and Improvement of Numerical Methods and Tools for Modelling Coupled Processes, particularly work in Tasks

1. Numerical methods for high performance computing of coupled processes.
 2. Methods and tools to quantify/derive uncertainties induced by coupled processes.
- Microstructure analysis and numerical upscaling using parallel numerical methods, algorithms for heterogeneous computer architectures and hi-tech measuring devices. Period: 1/2017 – 12/2019, supported by agreement on collaboration between CAS and BAS.
 - DECOVALEX project (coordination from LBNL Berkeley, USA, financing through Czech Radioactive Waste Authority), closest collaboration with U Barcelona (Spain), JAEA Japan, KAERI Korea, NCU/TP Taiwan, IRSN France, SSM Sweden, AECL, Canada .
 - Společné projekty a publikace s FÚKU MFFF Praha, FzÚ AV ČR Praha, PŘF UP Olomouc.

Další spolupráce s výzkumnými institucemi:

- Max Planck Institute of Molecular Cell Biology and Genetics (Germany) – spolupráce v oblasti rozšíření Fiji platformy a SPIM mikroskopie.
- Spolupráce s IDSIA – Dalle Molle Institute for Artificial Intelligence, SUPSI - University of applied sciences of southern Switzerland na testování a adaptování optimalizačních algoritmů.
- Nová publikační spolupráce s Petrellus Engineering Limited, UK.
- Spolupráce s Joint Research Centre (JRC), Directorate (C) for Energy, Transport & Climate, Energy Security, Distribution & Markets Unit (C.3).
- V roce 2019 byla i s přispěním specialistů z VUT založena iniciativa pro podporu umělé inteligence v ČR AICzechia <https://www.aiczechia.cz/>, doc. Černocký (výzkumný program 7) se na podzim stal jejím předsedou.
- V říjnu jsme ve spolupráci s kolegy z UFAL MFF UK a ze ZČU zorganizovali 1. Český speech/NLP den – konal se na CIIRC ČVUT v Praze a zúčastnilo se jej téměř 100 zástupců z akademických laboratoří i průmyslových firem v oboru.
- Úspěšně pokračovala série vyzvaných přednášek VGS-IT (Invited Talks on Vision, Graphics, and Speech), kde jsme hostovali 4 zahraniční mluvčí (USA, Indie, Rakousko, Izrael). <http://vgs-it.fit.vutbr.cz/>.
- Prohloubení spolupráce s firmami tuzemskými (například TESCANA Brno, CAMEA, TESCANA 3DIM, Phonexia, GEODROM) a nadnárodními (NXP, CadWork, Raytheon, Adobe, Honeywell).
- Spolupráce s Beihang University, Peking, Čína v oblasti aplikace IT v letectví a možnostech smluvního výzkumu a výměny výzkumníků i studentů a nové kontakty s Beijing Institute of Technology (BIT) v Pekingu a BIT-MSU v Shenzen, obojí též v Číně.
- V oblasti analýzy a verifikace a s tím souvisejících technik práce s automaty a logikami pokračovala úzká spolupráce vedoucí na společné publikace a společně podané projekty s řadou tradičních partnerů skupiny VeriFIT z FIT VUT – konkrétně: Microsoft Research Redmond, RWTH Aachen, Oxford University, Uppsala University, TU Wien, DiffBlue Ltd., Academia Sinica či v ČR FI MU, MFF UK, Red Hat a Honeywell.
- V oblasti evolvable hardware vznikly společné publikace s TU Wien a University of Alberta (Edmonton).
- INTERPOL – navázání spolupráce a dvě přednášky v oblasti biometrie
- Spolupráce se Strathmore University, Kenya – uskutečněna mobilita studentů a zaměstnanců.
- University Duisburg – Essen, Prof. J. Kraus, dr. M. Lymbery - spolupráce při pořádání minisymposií Recent advances in robust and efficient preconditioning methods (devoted to Owe Axelsson on the occasion of his significant birthday) a Modelling of coupled processes in porous media and other multiphysics problems při konferenci Modelling.

- University of Minnesota, Prof Y. Saad, spolupráce při pořádání minisymposia Recent advances in robust and efficient preconditioning methods (devoted to Owe Axelsson on the occasion of his significant birthday) při konferenci Modelling. Zvaná přednáška Numerical linear algebra for data-driven applications. Účast na konf. Preconditioning v Minesotě - J. Kružík.
- Návštěva University of Jyväskylä, pozvání dr. Sysaly prof. Repin, společné publikace, pracovní pobyt v Jyväskylä, pozvání prof. Repina na konferenci Modelling 2019.
- University of Cape Town, South Africa, prof. B.D. Reddy, zvaná přednáška Convergent approximations for near-incompressible and near-inextensible transversely isotropic elasticity na konferenci Modelling.
- TU Chemnitz – prof. O. Ernst. Zvaná přednáška Uncertainty quantification for PDE models a organizace minisymposia Uncertainty quantification in boundary, initial, engineering, and other problems na konferenci Modelling.
- Pozvání E. Carson přednesení cyklu tří přednášek High-performance variants of Krylov subspace methods v rámci Zimní školy SNA 2019.
- Organizace mezinárodní konference EUSFLAT 2019, 8.-13. 9. 2019 v Praze, hlavní organizátor VP6, konference se zúčastnilo více než 200 vědeckých pracovníků z celého světa.
- Université Toulouse III Paul Sabatier (Ecole Doctorale Génie Electrique, Electronique, Télécommunications), realizace doktorského studia pod dvojím vedením (Martin Beseda).
- Université Toulouse III Paul Sabatier, příprava společného doktorského programu typu double-degree Computational Plasma Physics (v rámci projektu OP VVV Doktorská škola pro vzdělávání v oblasti matematických metod a nástrojů v HPC).
- Jacques-Louis Lions Laboratory, Sorbonne Université, společný článek s X. Claeyssem ‘Parallel adaptive cross approximation for the multi-trace formulation of scattering problems’.
- Institute of Applied Mathematics, Graz University of Technology, spolupráce s Günthrem Ofem a Stefanem Dohrem. Společné články ‘A boundary element method for homogenization of periodic structures’ a ‘A parallel space–time boundary element method for the heat equation’.
- Research Institute of Electronics, Shizuoka University, Hamamatsu – Japonsko (2D mřížky, spektrální elipsometrie).
- Fukuoka Institute of Technology – Japonsko (reálné optické mřížky).
- Dalhousie University, Halifax - Kanada (fotonické krystaly, plazmonika).
- University of Bialystok – Polsko (magnetooptika nanostruktur).
- University of Colorado Springs – USA (nové materiály).
- University of Nevada – USA (nanoantény).
- Chemnitz University – SRN (3D technologie).
- University of Tbilisi – Gruzie (interakce elmag. vln s nanostrukturami).
- Université Paris-Saclay – Francie (progresivní struktury pro fotovoltaiku).
- AGH Kraków, UNSA Sarajevo, AIT Vienna.
- Příprava doktorského studijního programu Cotutelle Nanotechnologie „Výchova doktorandů pod dvojím mezinárodním vedením“, zahájení výuky se předpokládá v září 2020.
- Uzavřeny MoU s následujícími pracovišti: Dalhousie University – Kanada, University of Cracow – Polsko, Institute of Cybernetics, Georgian Technical University – Gruzie, Department of Physics, Uppsala Universitet – Švédsko, ENSTA Bretagne – Francie, Institute of Polymer Science and Technology (ICTP-CSIC) – Španělsko, University of Northumbria at Newcastle – UK, Université Paris-Saclay – Francie (Cotutelle), École Polytechnique Paris – Francie (Cotutelle). Spolupráce s uvedenými institucemi se orientovala na přípravu studijního programu, společný výzkum, realizaci společných publikací v renomovaných časopisech a organizaci konferencí.

5. Jak velká byla mobilita zaměstnanců/spolupracujících studentů projektu

V následujícím uvádíme seznam zaměstnanců Centra excellence IT4Innovations, kteří v roce 2019 pobývali na stážích v zahraničí.

- Petr Kovář, Výzkumná spolupráce na Technické univerzitě v Košicích, Slovensko, 8.-14.4.2019
- Kamil Postava, Španělsko, Barcelona, 25.5 – 31. 5. 2019
- Kamil Postava, Paříž, Francie, 17.10. 2019 – 19. 10. 2019
- Kamil Postava, Rogów, Polsko, 6. 11. 2019
- Lukáš Halagačka, Rogów, Polsko, 6. 11. 2019
- Tibor Fördös, Velká Británie, University of Sheffield, 1. 11. 2018 až 30. 4. 2019
- Michal Lesňák, Bielefeld University, 15. 10. 2019 – 20. 10. 2019
- Jaromír Pištora, Dalhousie University, Halifax, 9. – 15. 4. 2019
- René Kalus, Université Toulouse III Paul Sabatier, Francie, (2 týdny)
- Aleš Vítek, Instituto de Física Fundamental, CSIC, Madrid, Španělsko, (1 týden)
- Zapletal Jan, Jacques-Louis Lions Laboratory, Sorbonne Université (Xavier Claeys), březen (1 týden)
- Zapletal Jan, Department of Mathematics, University College London (Timo Betcke), leden (1 týden)
- Zapletal Jan, Institute of Applied Mathematics, Graz University of Technology (Günther Of), prosinec (1 týden)
- Merta Michal, Institute of Applied Mathematics, Graz University of Technology (Günther Of), prosinec (1 týden)
- Petr Ferfecki, Letní škola projektu Expertise, Samara (Rusko), červenec (2 týdny)
- Marek Rychlý (ESIGELEC Francie, Strathmore University Keňa)
- Lukáš Holík a Tomáš Vojnar: Microsoft Research, Redmond, USA
- Lukáš Holík a Ondřej Lengál: Academia Sinica, Tchaj-wan
- Milan Češka, jr.: Technical University of Munich, Německo
- Vojtěch Mrázek: TU Vienna, Rakousko
- Michale Drahošová: University of York, UK
- M. Kubínová, Trinity College Dublin -- vědecká návštěva (1 týden), prof. K. M. Soodhalter
- Stanislav Sysala, University of Jyväskylä (Finland), spolupráce s prof. S. Repinem
- RNDr. Lucie Cencialová, Ph.D., Eötvös Loránd University, Maďarsko, 2 měsíce
- Mgr. Miroslav Langer, Ph.D., Uniwersytet Opolski, Polsko, 2 měsíce

Níže uvádíme seznam studentů, kteří v roce 2019 vycestovali na zahraniční studijní pobyt.

- Jakub Beránek, projekt Věda bez hranic, ETH Zurich, Švýcarsko, 1. 3. 2019 – 31. 8. 2019
- Martin Mičica, University of Lille, Francie, 15. 07.2019 – 26. 07.2019, 24. 11.2019 – 30. 11.2019
- Pierre Koleják, Barcelona, Španělsko, březen
- Marius Drong, Rochester, USA, 22. 7. 2019 – 7. 8. 2019
- Robin Silber, Bielefeld University, 15. 10. 2019 – 20. 10. 2019
- Barbora Kacerovská, Dalhousie University v Halifaxu, Kanada, 1. 1. 2019 – 5. 5. 2019
- Martin Beseda, Université Toulouse III Paul Sabatier, Francie, leden-červen (6 měsíců) a listopad-prosinec (2 týdny)
- Stanislav Paláček, Université Toulouse III Paul Sabatier, Francie, říjen-listopad (1 měsíc)
- Martin Mrovec, Université Toulouse III Paul Sabatier, Francie, listopad (1 měsíc)
- Rajko Ćosić, Université Paris-Est Marne-la-Vallée, listopad (1 měsíc)

- Kravčenko Michal, Jacques-Louis Lions Laboratory, Sorbonne Université (Xavier Claeys), březen – květen (3 měsíce)
- Filip Zaoral, Letní škola projektu Expertise, Samara (Rusko), červenec (2 týdny)
- Ondřej Vysocký, Università di Bologna, UNIBO (Andrea Bartolini), leden – únor (2 měsíce)
- Ondřej Vysocký, Università di Bologna, UNIBO (Andrea Bartolini), červen – červenec (2 měsíce)
- Federico Landini – Apple Inc., USA
- Ladislav Mošner – Amazon Inc., USA
- Lucas Ondel – Johns Hopkins University, USA
- Karthick Baskar - Johns Hopkins University, USA
- Anna Silnova – SRI International, USA
- Karel Beneš – RWTH Aachen, Německo
- Kateřina Žmolíková – NTT, Japonsko
- Lenka Turoňová – Microsoft Research, Redmond, USA
- Vojtěch Havlena a Petr Janků – Academia Sinica, Tchaj-wan
- Petr Janků – TU Kaiserslautern, Německo
- Filip Kukliš – University College London
- Michal Orsák, Queen Mary University of London, UK
- J. Kružík, Institut of Mathematics, TU Berlin, Prof. Nabben (3 months)
- M. Pecha, Visit Università degli Studi di Napoli Federico II, ERASMUS, (1 month from 3 months, health reasons)
- M. Pecha, Sofia ICT BAS Sofia, 10 dní
- Mgr. Jan Hůla, USA 6 měsíců
- Dr. Anand Pratap Singh, postdoc, Indie (celkem na 3 roky 2018-2020)
- Stefania Boffa, postdoc, Itálie (celkem na 1 rok 2019-2020)

Centrum IT4Innovations rovněž navštívili v roce 2019 zahraniční odborníci, viz níže.

- Dr. Dejan Brkič - 20.5.2019 -24.5.2019 (Srbsko) - výzkumná spolupráce v oblasti efektivních statistických modelů založených na aproximaci Wright omega funkce (s využitím pro modelování plynů a palivových článků)
- Dr. Neha Sharma - 23.9.2019 -27.9.2019 - (Society for data science, Indie), Pozvána s cílem diskutovat možnosti výzkumné spolupráce v oblasti analýzy dat
- Prof. G. Jandieri, University of Tbilisi – Gruzie (interakce elmag. vln s nanostrukturami), 15. 1 – 15. 7. 2019
- Prof. M. Cada, Dalhousie University, Kanada (plazmonika polovodičů), 1 týden
- Prof. H. Jaffres, Univ Paris Sud, Unite Mixte Phys CNRS Thales, F-91767 Palaiseau, Francie (spintronika), 1 týden
- Prof. M. Vanwolleghem, Univ Lille 1, CNRS UMR 8520, Inst Electron Microelect & Nanotechnol, F-59652 Villeneuve Dascq, Francie (magnetoplazmonika), 2 týdny
- Dr. M. Foldyna, Univ Paris Saclay, Ecole Polytech, CNRS, LPICM, F-91128 Palaiseau, Francie (fotovoltaika), 1 týden
- Sergiu Arapan, Rumunsko, 1. 1. 2019 – 31. 12. 2019
- Andrzej Kadzielawa, Polsko, 1. 1. 2019 – 31. 12. 2019
- Shiaho Zhang, Čína, 16. 9. – 31. 12. 2019
- Florent Xavier Gadéa, Université Toulouse III, prosinec (2 týdny)
- Malika Benhenni, Université Toulouse III, prosinec (1 týden)
- Günther Of, Institute of Applied Mathematics, Graz University of Technology, září (1 týden)
- Dr. Johan Rohdin, Švédsko
- Dr. Hossein Zeinali, Irán.

- Dr. Alicia Lozano, Španělsko
- Dr. Harikrishna Vydana, Indie
- Dr. Karam Singh, Indie
- Prof. Y.-F. Chen, Academia Sinica, Tchaj-wan
- Dr. Nikos Gorogiannis, Facebook, Londýn, UK
- Prof. Mauro Pezzè, Università della Svizzera italiana, Lugano, Švýcarsko
- Dr. Florian Zuleger, TU Vienna, Rakousko
- Prof. S. Margenov, Dr. S. Harizanov, IICT BAS Sofia, v rámci společného projektu

Další zahraniční studenti pobývající v centru:

- Shuai Wang, Čína
- Beltran Labrador, Španělsko
- Bolaji Yousuf, Turecko
- Sangeet Sagar, Indie
- Jens Katelaan, TU Vienna, Rakousko
- Andrej Titov, Rusko, 6 měsíců
- Mutaz Al-Ghzaiwata, Francie, 1 týden
- Marta Napieralska (studijní výjezd v rámci programu Erasmus+), Uniwersytet Łódzki (Polsko), 24. září 2018 – 24. února 2019
- Maciej Zaremba (studijní výjezd v rámci programu Erasmus+), Uniwersytet Łódzki (Polsko), 24. září 2018 – 24. února 2019

6. Jak příjemce zapracoval doporučení, která mu byla daná v rámci auditů

Nerelevantní. V roce 2019 neproběhl žádný audit týkající se projektu.

7. Jak příjemce zapracoval doporučení, která mu byla daná v rámci evaluací, jaká opatření v tomto směru učinil, případně hodlá učinit

Nerelevantní.

V Ostravě 29. 1. 2020

doc. Mgr. Vít Vondrák, Ph.D.