

A-I – Základní informace o žádosti o akreditaci

Název vysoké školy:	České vysoké učení technické v Praze
Název součásti vysoké školy:	Fakulta elektrotechnická
Název spolupracující instituce:	-
Název studijního programu:	Kybernetika a robotika
Typ žádosti o akreditaci:	udělení akreditace
Schvalující orgán:	Vědecká rada ČVUT v Praze
Datum schválení žádosti:	29. 5. 2018

Odkaz na elektronickou podobu žádosti:

<http://www.fel.cvut.cz/cz/akreditace/>
heslo: AkreditaceKYR2018

Odkazy na relevantní vnitřní předpisy:

Všechny informace o doktorském studiu na FEL ČVUT jsou přehledně na
<http://www.fel.cvut.cz/cz/vv/studium.html>

Studijní předpisy FEL, Směrnice děkana a dokumenty Vědecké rady FEL
relevantní doktorskému studiu jsou dostupné z webu fakulty
<http://www.fel.cvut.cz/cz/vv/doktorandi/predpisy.html>

Vnitřní předpisy ČVUT jsou na <https://www.cvut.cz/vnitri-predpisy>

ISCED F:

0714 Elektronika a automatizace

Automatizace je jedním z primárních konceptů, na které je ve své podstatě zaměřena výuka i výzkum v doktorském studijním programu Kybernetika a robotika. Výuka je zároveň realizována na fakultě elektrotechnické, tedy bude inherentně spojena s elektronikou.

B-I – Charakteristika studijního programu			
Název studijního programu	Kybernetika a robotika		
Typ studijního programu	doktorský		
Profil studijního programu	-		
Forma studia	prezenční a kombinovaná		
Standardní doba studia	4		
Jazyk studia	čeština		
Udělovaný akademický titul	Ph.D.		
Rigorózní řízení	ne	Udělovaný akademický titul	-
Garant studijního programu	prof. Ing. Michael Šebek, DrSc.		
Zaměření na přípravu k výkonu regulovaného povolání	ne		
Zaměření na přípravu odborníků z oblasti bezpečnosti České republiky	ne		
Uznávací orgán	-		
Oblast(i) vzdělávání a u kombinovaného studijního programu podíl jednotlivých oblastí vzdělávání v %			
Kybernetika - č. 15 dle Nařízení vlády č. 275/2016 Sb. o oblastech vzdělávání ve vysokém školství 100%			
Cíle studia ve studijním programu			
<p>Navrhovaný doktorský studijní program Kybernetika a robotika je inovací oboru Řídící technika a robotika (KKOV 2612V042) běžícího doktorského studijního programu Elektrotechnika a informatika na FEL ČVUT. Současný obor patří mezi nejlepší na škole i v zemi. Inovací, spočívající zejména v ještě větším otevření se do světa, v získání dalších skvělých školitelů, v dalším zvýšení kvality a náročnosti, se chceme dostat na úroveň nejlepších doktorských programů v Evropě.</p> <p>Cílem doktorského studia v programu Kybernetika a robotika je vychovat novou generaci špičkových akademických a průmyslových výzkumníků, kteří se úspěšně uplatní po celém světě ve špičkovém akademickém výzkumu (univerzitní, státní, veřejný), špičkovém průmyslovém výzkumu a případně i špičkovém průmyslovém vývoji. Vzdělávat, rozvíjet a trénovat výrazné osobnosti, které se stanou úspěšnými zakladateli, majiteli a vysokými manažery inovativních technologických firem. Kreativní tvůrce budoucnosti, zodpovědné a odvážné inspirátory, vůdce a myslitele. A to vše nejen v oboru studia, ale i v oborech příbuzných i vzdálenějších.</p> <p>Každý student si v programu upevní základy mnoha oborů potřebné pro porozumění světu a společnosti. Na cestě k doktorátu si studenti přirozeně rozšíří a podle potřeby prohloubí znalosti v oblastech teorie automatického řízení, teorie systémů, systémy systémů, řídicí systémy, počítačové modelování a simulace, kyberneticko-fyzikální systémy, číslicové a vestavné systémy, optimalizace a operační výzkum, robotika, strojové vnímání a inteligentní robotika, inteligentní plánování, rozvrhování, predikce a diagnostika, spolehlivost. A také v oblastech diskrétní matematika, kombinatorika a teorie grafů, programování, algoritmizace, teorie algoritmů, teorie složitosti a teorie vyčíslitelnosti, počítačové systémy, sítě a komunikační technologie, webové a mobilní technologie, paralelní a distribuované algoritmy a systémy, umělá inteligence a strojové učení, měření a zpracování signálů. V tématické jejich disertační práce se dokonce dostanou na špičku poznání ve světě a nejspíš i za ni. O to však v našem doktorském programu ani tak nejde. Úzká specializace totiž není jeho hlavním cílem.</p> <p>Navrhovaný program se naopak soustředí na další výrazný rozvoj myšlení a tvořivosti. Rozvoj schopnosti bádát, zkoumat, vymýšlet a objevovat. Doktorandi se přirozeně také naučí „vědeckému řemeslu“ a osvojí si metody výzkumné práce. Naučí se formulovat vědecké problémy a určovat směr výzkumu, bádát a tvořit samostatně i ve skupině, dosahovat výzkumné výsledky, dokazovat a ověřovat je, publikovat a prezentovat je, a také je obhájit na mezinárodní scéně. V určité míře si vyzkouší i vést výzkumný tým a shánět na výzkum peníze.</p> <p>Naši doktorandi se naučí vzdělávat jiné, a to jak ve škole tak mimo ni. Přenášet výzkumné výsledky do praxe, zodpovědně a moudře je propagovat a komunikovat veřejnosti. Porozumět společenským výzvám 21. století a reagovat na ně.</p> <p>Seznámí se se světovými špičkami v oboru a postupně získají širokou síť přátel a známostí z akademického a firemního světa, která se jim určitě hodí v jejich další kariéře. Budou schopni vyniknout v řadě institucionálních</p>			

prostředí, včetně univerzit, průmyslových, vládních a veřejných výzkumných laboratoří a think-tanků.

Absolventi navrhovaného doktorského programu dokáží nejen flexibilně reagovat na rychle se měnící svět a přizpůsobovat se mu, ale budou sami schopni budoucnost sami tvořit.

Profil absolventa studijního programu

Absolvent doktorského studijního programu Kybernetika a robotika je výjimečným a špičkovým akademickým či průmyslovým výzkumníkem. Úspěšně se uplatní po celém světě ve špičkovém akademickém výzkumu, špičkovém průmyslovém výzkumu a případně i ve špičkovém průmyslovém vývoji. Mnohý se stane úspěšným zakladatelem, majitelem či vysokým manažerem inovativních technologických firem, a to nejen v oboru studia, ale i v oborech příbuzných i vzdálenějších. Bude kreativním tvůrcem budoucnosti, zodpovědným a odvážným inspirátorem, vůdcem a myslitelem.

Absolvent doktorského studijního programu Kybernetika a robotika umí formulovat vědecké problémy a určovat směry výzkumu, bádá a tvořit samostatně i ve skupině, dosahovat výzkumné výsledky, dokazovat a ověřovat je, publikovat a prezentovat je, obhajovat je na mezinárodní scéně. V určité míře zvládne i vést výzkumný tým a shánět na výzkum peníze. Během doktorského studia již dosáhl významných originálních výzkumných výsledků a dokázal je publikovat a obhájit před světovou vědeckou komunitou. Jeho výsledky mají prokazatelný ohlas a dopad, jsou citovány mezinárodní vědeckou komunitou. Umí zavádět výzkumné výsledky do praxe a společnosti, zodpovědně a moudře je komunikovat veřejnosti.

V tématice disertační práce znalosti doktoranda dosahují hranic současného poznání, ale přitom má široký záběr, velký rozhled a významný nadhled. Dobře rozumí základním principům světa, vědy a techniky díky širokým základům v různých oblastech matematiky, přírodních věd, kybernetiky, robotiky, a automatického řízení.

Absolvent doktorského studijního programu Kybernetika a robotika umí myslet kriticky, tvořivě a out-of-the-box. Umí zkoumat, objevovat, a vynalézat. Díky tomu umí navrhovat vysoce originální technická řešení. Umí pracovat samostatně i kolektivně. Dobře zvládne komunikovat s odborníky z celého světa ale i s médii a laickou veřejností. Je schopen moudře a odpovědně reagovat na společenské výzvy. Je připraven vyniknout v řadě institucí, včetně univerzit, průmyslových, vládních a veřejných výzkumných laboratoří a think-tanků po celém světě.

Absolvent osobně zná mnohé světové špičky v oboru a s dalšími byl alespoň v kontaktu. Během studia získal širokou síť přátel a známostí z akademického a firemního světa, která je k nezaplacení pro další kariéru. Plynně hovoří cizími jazyky a orientuje se v cizích kulturách. Má osobní zkušenosti ze zahraničních pracovišť a konferencí po celé Zeměkouli.

Absolvent doktorského studijního programu Kybernetika a robotika je více generalistou než specialistou a tak je nejlépe připraven na neurčitou a stále rychleji se měnící budoucnost. Je otevřený a flexibilní a proto se dobře přizpůsobí jakémukoli budoucímu vývoji. Je připraven/a budoucnost tvořit, protože umí vymýšlet a navrhovat technologie zítřka.

Proto je celkem přirozené, že se navrhovaný doktorský studijní program Kybernetika a robotika nedělí na specializace.

Pravidla a podmínky pro tvorbu studijních plánů

Přestože jsou odborné doktorské předměty jen doplňkovým nástrojem doktorského programu, musí každý doktorand úspěšně absolvovat nejméně čtyři. Na FEL se používá kreditní systém ECTS. Jedna vyučovací hodina trvá 45 minut. Během tzv. studijního bloku (viz dále) musí doktorand absolvovat nejméně 4 a nejvíce 6 povinných odborných předmětů, typicky v rozsahu 28 h přednášek a 28 h cvičení za semestr. Každý předmět je za 4 kredity.

Tematicky vhodné a metodicky přínosné odborné předměty pro doktoranda vybere školitel z následujících typů předmětů, vždy uzavřených zkouškou nebo podobně:

- doktorský nebo podobný kurz na špičkové světové univerzitě (tj. na světových žebříčcích kvality postavené výše než ČVUT), nebo
- doktorský kurz univerzity v ČR, pokud je veden světově uznávaným vědcem, nebo
- doktorský kurz ČVUT v Praze, pokud je veden světově uznávaným vědcem, nebo

- doktorský kurz nabízený přímo školícím pracovištěm.

Přitom školící pracoviště nabízí studentům doktorského studia všech programů FEL, ČVUT, ostatních škol v ČR i ve světě následujících 7 doktorských předmětů:

- Nelineární systémy (XP35NES)
- Odhadování a filtrace (XP35OFD)
- Robustní řízení (XP35RRD)
- Řízení multiagentních systémů (XP35CCM)
- Řízení flexibilních struktur (XP35SFC)
- Fuzzy modelování a řízení (XP35FMD)
- Lineární maticové nerovnosti (XP35LMI)

Tyto kurzy budou pro navrhovaný program inovovány a některé dovybaveny novými laboratorními přístroji. Podrobný popis nových předmětů, kvalifikace jejich učitelů a další najdete v příslušných formulářích částí B a C návrhu.

Poté, co je předmět zapsán do studijního plánu a schválen Radou programu, stává se pro doktoranda povinným.

-Podmínky k přijetí ke studiu

Jelikož má být tento doktorský program výběrový, náročný a elitní, bude přijímací řízení vysoce kompetitivní. Doktorský program Kybernetika a robotika, stejně jako jeho školitele a konkrétní témata, budeme inzerovat u nás i v zahraničí všemi ve světě běžnými způsoby. Na každé volné místo bude vybírán jeden z několika uchazečů. Cílem je se brzo dostat do v Evropě běžné situace, kdy se každý doktorand vybere z desítky či desítek uchazečů o totéž místo.

Při výběrů z uchazečů přezkoumáme všechny předložené materiály a vyhodnotíme mnoho faktorů, včetně dosavadní akademické přípravy, výsledků v předchozím studiu včetně toho, na jak dobré škole studoval, dalších zkušeností, dosavadních výsledků a publikací, a výzkumných zájmů uchazeče. Budeme vyžadovat doporučení profesorů z předchozí školy a motivační dopis uchazeče. Klíčovou úlohu bude hrát zájem a odhodlání uchazeče a jeho/její výzkumný potenciál. Naprosto nezbytnou podmínkou přijetí do programu bude výběr a souhlas vhodného školitele patřičných výzkumných zájmů a osobnostních rysů. V přijímacím pohovoru můžeme ověřovat znalosti a schopnosti uchazečů, zvláště pokud přicházejí z neznámých škol. U absolventů magisterských programů FEL ČVUT budeme navíc brát v úvahu i jejich výsledky v magisterském studiu, a to jak známky z konkrétních předmětů, tak vážený průměr všech.

Doktorské studium nechceme omezovat na absolventy našich magisterských programů ani na absolventy stejných či podobných programů jinde. Vycházíme totiž z toho, že jakékoli speciální znalosti jsou pro doktoranda mnohem méně důležité než jeho nadání, chytrost, tvořivost, pracovitost a nadšení. Ve stylu světových škol jsme otevřeni přijímání absolventů z jiných oborů. Takovým studentům se zpočátku budeme věnovat více a nabízet jim pomocnou ruku i zvláštní témata tak, aby se v ideálním případě absolvování jiného magisterského oboru nestalo hendikepem, ale naopak výhodou.

Mnoho z uvedených prvků požíváme už dnes (například vážený průměr nesmí převyšovat 1.7 a obvykle bývá mezi 1.0-1.5), avšak při očekávaném větším zájmu uchazečů (díky rostoucí kvalitě, prestiži a lepší inzerci) v tom budeme vybíravější. Formální podmínky přijetí ke studiu do oborů současného doktorského studijního programu jsou uvedeny na webu FEL: <http://www.fel.cvut.cz/cz/vv/doktorandi/prijem.html>.

Návaznost na další typy studijních programů

Hodí se absolvování magisterského studijního programu Kybernetika a robotika na FEL ČVUT, ale rozhodně není nutné. Naopak velmi povzbuzujeme a vítáme studenty přicházející z jiných programů či škol z ČR i celého světa.

B-IIb – Studijní plány a návrh témat prací (doktorské studijní programy)

Studijní povinnosti

Během první etapy studia, tzv. **studijního bloku**, si studenti doplňují odborné znalosti studiem čtyř až šesti **odborných předmětů** předepsaných **individuálním studijním plánem**, věnují se pedagogické praxi a vědecké a publikační činnosti na své katedře. Přitom v průběhu prvního roku studia musí každý doktorand dosáhnout alespoň 8 kreditů. Na závěr této etapy, která je v případě **prezenční formy dvouletá** a u **kombinované formy tříletá**, musí mít studenti:

- uzavřeny všechny povinné odborné předměty úspěšně vykonanými zkouškami
- dosaženo alespoň 30 kreditů (přičemž kredity se započítávají pouze za povinné předměty; kredity se dále ohodnocuje pedagogická i vědecká a publikační činnost). Za vědeckou, výzkumnou a publikační činnost musí být dosaženo minimálně **6 kreditů**.
- zpracování a úspěšně obhájení odbornou studií.
- publikován alespoň jeden článek na významné světové konferenci k tématu disertační práce, jehož je doktorand prvním spoluautorem/spoluautorkou.

V další fázi studia doktorandi absolvují **zkoušku z angličtiny** (pokud již nebyla složena v průběhu studijního bloku či formou obhajoby odborné studie) a **státní doktorskou zkoušku** (doktorandi studující v prezenční formě čtyřletého studijního programu mají povinnost složit státní doktorskou zkoušku do konce třetího roku svého studia), teprve poté mohou předložit **disertační práci**.

V případě, že disertace není předložena během čtyřleté prezenční či pětileté kombinované formy studia, po uplynutí příslušné doby studia se studium buď automaticky přerušuje až do obhajoby disertační práce, nebo:

- doktorandi studující v prezenční formě čtyřletého studijního programu mají možnost požádat o přestup do kombinované formy studia,
- doktorandi studující v kombinované formě mají možnost požádat o prodloužení studia až po maximální dobu studia, tedy do sedmi let od zahájení studia.
- Před podáním disertační práce musí mít doktorand programu Kybernetika robotika alespoň jeden článek publikovaný (rozumí se vyšlý nebo přijatý k publikaci) ve kvalitním impaktovaném časopise (rozumí se excerpovaném v databázi WoS v prvním nebo druhém kvartilu podle AIS – Article Influence Score), a to v tématice disertační práce, jehož je doktorand prvním spoluautorem/spoluautorkou.

Disertaci lze podat nejpozději do sedmi let od zahájení studia.

Souhrn studijních povinností platný pro současný doktorský studijní program Elektrotechnika a informatika je uveden na [webu FEL ČVUT](#). Podrobnosti viz [Studijní a zkušební řád ČVUT](#) a [Řád doktorského studia FEL](#).

Požadavky na tvůrčí činnost

Samostatná vědecká, výzkumná a publikační činnost je hlavním a nejdůležitějším prvkem doktorského studia. Probíhá pod každodenním vedením a kontrolou školitele. Periodicky (jednou za půl roku) ji dále kontroluje vedení Rady a vedení školícího pracoviště.

Významné dílčí výzkumné výsledky jsou prezentovány na mezinárodních konferencích a publikovány ve významných impaktovaných časopisech. Za tyto publikace se během studijní etapy uděluje kredity podle pravidel uvedených v dokumentu Směrnice děkana pro ohodnocení publikační činnosti kredity v doktorském studiu na ČVUT FEL. Za vědeckou, výzkumnou a publikační činnost musí být během studijního bloku dosaženo minimálně 6 kreditů.

Dále v programu Kybernetika a robotika požadujeme, aby před ukončením studijního bloku měl doktorand publikován alespoň jeden článek na významné světové konferenci k tématu disertační práce, jehož je prvním spoluautorem.

Před podáním disertační práce musí mít doktorand programu Kybernetika robotika alespoň jeden článek publikovaný (rozumí se vyšlý nebo přijatý k publikaci) ve kvalitním impaktovaném časopise (rozumí se excerpovaném v databázi WoS v prvním nebo druhém kvartilu podle AIS – Article Influence Score), a to

v tématice disertační práce, jehož je doktorand prvním spoluautorem/spoluautorkou.

Na požadavky nad rámec fakultních zatím všichni studenti reagovali vstřícně, neboť jim samotným se vyplácí je plnit. Pokud by to však bylo nutné, využili bychom k vynucení jejich splnění Radu programu.

Požadavky na absolvování stáží

Dle Řádu doktorského studia FEL čl. 10 je povinný nejméně měsíční pobyt v cizině a společná publikace se zahraničními spoluautory. V případě mimořádných okolností (zdravotní nebo sociální důvody) může děkan fakulty na návrh Rady programu dovolit doktorandovi, aby tuto povinnost nahradil účastí v mezinárodním projektu.

Názor autorů programu je poněkud odlišný: V navrhovaném programu bychom povinné stáže nejraději neměli. Doktorandi na ně stejně jezdí dle potřeby a přirozeně, a to výhradně na špičková pracoviště. Navíc se každý zúčastní 1-2 zahraničních konferencí ročně, o celou dobu studia, vyjma jeho konce, kdy se soustředí na disertaci a články v časopisech. Po obhajobě podle našich pravidel všichni doktorandi odchází, takže mnozí z nás považují povinnou stáž za (byť dočasnou) ztrátu výzkumné pracovní síly. Musíme s v tom ale řídit předpisy fakulty a školy, které se velmi často mění, neboť je toto téma předmětem bouřlivých diskusí.

Další studijní povinnosti

Naši doktorandi bývají pro své zaujetí, nadšení a tvůrčí přístup nejoblíbenějšími učiteli, cvičícími a instruktory. Výuka studentů je pro doktorandy prospěšná, neboť rozvíjí pedagogické, prezentační a další měkké dovednosti, které dobře uplatní v pozdějším povolání, ať už akademickém nebo průmyslovém. Navíc jim studenti často pomáhají přímo – většinou laboratorní či programátorskou – prací na dílčích projektech potřebných k disertaci. Není proto divu, že proto doktorandi často a rádi vedou bakalářské a diplomové práce.

Naši doktorandi se povinně účastní výuky bakalářů a magistrů. Typicky vedou laboratoře nebo cvičení v rozsahu 1-2 skupiny týdně po dobu max. 4 semestrů. Obvykle je to méně, a někdy se na doktorandy možnost přímo učit v tomto rozsahu ani nedostane, není co či koho učit. A to přesto, že na zúčastněných katedrách docenti cvičení ani laboratoře nevedou a asistentů je velmi málo. V takových případech doktorandi neučí přímá, ale pomáhají s tvorbou nových kurzů, výukových experimentů a materiálů, s opravováním domácích úkolů či vedou webové diskuse se studenty.

V navrhovaném studijním programu není povinná odborná praxe, neboť ji shledáváme zbytečnou. V tom se plně shodujeme s většinou špičkových škol na světě, které pro doktorandy žádné praxe nemají! Doktorandi jsou už během studia svými schopnostmi na úrovni firemního výzkumu či vývoje, a toho mají firmy v ČR tak málo, že bychom praxe pro všechny doktorské studenty ani nesehnali. Praxe v průmyslovém provozu je pro naše doktorandy zbytečná, pokud se v kariéře do provozu vůbec dostanou, bude to „provoz v budoucnosti“, nikoli ten současný.

Jinou věcí je, že se některá výzkumná témata našich doktorandů řeší na zadání firem a /nebo ve spolupráci s nimi. Byť je to celkem časté, není to povinností pro všechny.

Vzhledem k tomu, že většina absolventů stávajícího doktorského studijního oboru (Řídící technika a robotika) odchází po obhajobě do firemního výzkumu či vývoje po cíl světě a že jsou tam prokazatelně velmi úspěšní, na svých postojích setrváváme i v programu navrhovaném.

Návrh témat disertačních prací a témata obhájených prací

Témata disertačních prací navrhuje školitel a schvaluje Rada programu a vedení katedry. Samozřejmými požadavky jsou přitom novost a originalita ve světovém měřítku, význam pro mezinárodní vědeckou komunitu, průmysl nebo společnost, publikovatelnost ve významných časopisech, obhajitelnost a disertabilita na mezinárodní úrovni před zahraničními oponenty. Dále je úkolem hlavně školitele zajistit všechno potřebné vybavení a financování pro efektivní výzkum doktoranda, proto často volí témata disertací vhodně zapadající do jeho projektů a výzkumných zájmů.

Témata disertačních prací v minulosti úspěšně obhájených ve stávajícím oboru Řídicí technika robotika jsou (spolu s disertačními pracemi a jejich posudky) ke stažení na webu katedry a na webu školy.

Jen jako příklad zde uvedeme ty nejlepší práce, které byly oceněny Cenou děkana za nejlepší disertaci:

- Ing. Ivo Herman, Ph.D. za práci [Scaling in vehicle platoons](#) pod vedením prof. Ing. Michaela Šebka, DrSc. 2017
- Ing. Milan Anderle, Ph.D. za práci Modelling and control of walking robots pod vedením prof. RNDr. Sergeje Čelikovského, CSc. - 2016
- Ing. Dan Martinec, Ph.D. za práci Travelling Waves in Distributed Control pod vedením prof. Ing. Michaela Šebka, DrSc. – 2016
- Ing. Jiří Cigler, Ph.D. za práci [Model Predictive Control for Buildings](#) pod vedením prof. Ing. V. Kučery, DrSc.. – 2013
- Ing. Samuel Přívara PhD. za práci [Building modeling and identification for predictive control](#), pod vedením prof. Ing. Michaela Šebka, DrSc. – 2013

Doktorandi současného programu pracují např. na těchto tématech:

- Xueji Zhang, MSc. Distributed estimation and control with applications to spatially distributed damping systems. – školitel prof. Ing. Michael Šebek, DrSc.- podáno
- Zhong Zhe Dong, MSc. Effective modeling of composite structures with integrated piezoelectric transducers. – školitel prof. Ing. Michael Šebek, DrSc.- podáno
- Ing. Eva Žáčeková: Model Predictive Control of Buildings. – školitel prof. Ing. Michael Šebek, DrSc.- před podáním disertace
- Ing. Jan Zábajník: Optimization of Electric Power Transmission Networks.– školitel prof. Ing. Michael Šebek, DrSc.- před podáním disertace
- Ing. Štefan Knotek: Networked Control Systems. – školitel prof. Ing. Michael Šebek, DrSc.

Všechny disertační práce obhájené v minulých letech v současném oboru Řídicí technika a robotika jsou ke stažení na

https://support.dce.felk.cvut.cz/mediawiki/index.php/Kategorie:Diserta%C4%8Dn%C3%AD_a_habilita%C4%8Dn%C3%AD_pr%C3%A1ce spolu se všemi jejich posudky.

Témata disertačních prací nově nabízená studentům ve stávajícím oboru Řídicí technika robotika jsou ke stažení na webu katedry <https://dce.fel.cvut.cz/doktorska-temata> a fakulty

<http://www.fel.cvut.cz/cz/education/phd/phdtopics.html?k=&o=11&s=#form> .

Témata nabízená v nově navrhovaném studijním programu Kybernetika a robotika budou podobně vycházet z budoucích výzkumných směrů, zájmů a projektů školitelů. Budou nabízena zajímavá a náročná témata na hranici poznání v oblastech např. síťových systémů (prof. M. Sebek, doc. Z. Hurák, Dr. K. Hengster-Movric); optimálního řízení ve spojení s umělou inteligencí (prof. V. Havlena); hluboké učení pro řízení (doc. V. Havlena); rychlých algoritmů pro rozvrhování ve výrobě a službách (doc. P. Šůcha); optimálních algoritmů pro elektrická auta a auta bez řidiče (Dr. M. Sojka, doc. Z. Hurák); řízení chytrých struktur a vznikající leteckých a kosmických aplikací (doc. M. Hromčík); lineární maticové nerovnosti pro řízení (prof. D. Henrion); formace aut bez řidiče, UAV a satelitů (doc. Z. Hurák a prof. M. Šebek); nelineární prediktivní řízení v průmyslu (prof. Havlena); řízení v mikro měřítku a distribuované řízení (doc. Z. Hurák); Průmysl 4.0 a průmyslová informatika (Dr. P. Burget); fuzzy modelování a řízení (doc. P. Hušek); průmyslové roboty, jejich řízení, optimalizace spotřeby (doc. P. Burget); atd.

B-III – Charakteristika studijního předmětu				
Název studijního předmětu	Kooperativní řízení multiagentních systémů			
Typ předmětu	povinně volitelný		doporučený ročník / semestr	-
Rozsah studijního předmětu	2x14 p	hod.	28 h	kreditů 3
Prerekvizity, korekvizity, ekvivalence	Žádné prerekvizity ani korekvizity.			
Způsob ověření studijních výsledků	Zkouška		Forma výuky	Přednáška, domácí práce
Forma způsobu ověření studijních výsledků a další požadavky na studenta	Ústní zkouška; obhajoba studie na téma související s oborem zájmu doktoranda			
Garant předmětu	Prof. Ing. Michael Šebek, DrSc.			
Zapojení garanta do výuky předmětu	přednášející a zkoušející; vede konzultace			
Vyučující	Kristian Hengster-Movric, Ph.D. – přednášející, zkoušející, konzultuje			
Stručná anotace předmětu	<p>Kooperativní řízení je relativně novou a rapidně se rozvíjející oblastí teorie i praxe automatického řízení. Rozsáhlé a složité systémy jsou nahlíženy coby propojení velkého množství autonomních podsystémů (agentů). Ty provádí své vlastní lokální výpočty, avšak dokáží komunikovat s ostatními subsystémy. Tato změna pohledu nabízí nové možnosti ale i výzvy při plnění úkolů jako jsou odhadování, stabilizace či sledování reference – jednotlivé subsystémy (agenti) na splnění celkového úkolu spolupracují. Vzhledem k důležitosti komunikace pro splnění celkové mise je klíčová analýza vlivu komunikační topologie a případně zajištění robustnosti řídicího systému vůči jejím změnám. Kromě teoretických aspektů budou v předmětu představeny i některé praktické aplikace.</p> <p>Seznam témat, jak budou probírány v jednotlivých týdnech (přednášky budou vedeny anglicky):</p> <ol style="list-style-type: none">1. Introduction to distributed decision and control; historical development of control theory and motivation for distributed and cooperative architectures.2. Graph theory fundamentals; topological characteristics. Algebraic graph theory; adjacency and Laplacian matrices, Frobenius form. Simple consensus protocols, relation to the underlying graph adjacency and Laplacian matrices.3. Detailed discussion of single-integrator scalar consensus algorithms in discrete-time and continuous time; convergence, stability and conserved quantities. Stochastic indecomposable aperiodic (SIA) matrices and their relation to ergodic Markov chains.4. Introducing the leader, pinning control. Laplacian potentials. Lyapunov analysis of scalar consensus and synchronization5. Oscillator synchronization. Alternative concept: Kuramoto oscillators. Synchronizing region methodology for oscillators, synchronization analysis via synchronizing regions.6. Synchronization of complex networks, nonlinear agents, various couplings. Different methods of dynamical analysis.7. LTI single-agents; synchronization. Application of the synchronizing region to distributed control design: the Algebraic Riccati Equation (ARE) in continuous-time and discrete-time. Bounded and unbounded synchronizing regions. Separating the detailed graph topology from the single-agent properties.8. Distributed observers and dynamic regulators, duality.9. Adaptive synchronization, dynamical coupling gains.10. Output synchronization of heterogeneous agents; passivity-based approaches for affine-in-control agents11. Output synchronization of heterogeneous agents; IMP as necessary and sufficient condition for LTI agents' output synchronization12. Inverse optimality of distributed cooperative state synchronization control.13. Game theoretic distributed design for state synchronization, a differing concept of distributed optimality. Multi-player graphical games, zero-sum vs. non-zero sum games.14. Distributed sensing and control of environments. Distributed optimization.			

Studijní literatura a studijní pomůcky		doporučená literatura:
<ol style="list-style-type: none"> 1. F. L. Lewis, H. Zhang, K. Hengster-Movric, a A. Das, <i>Cooperative Control of Multi-Agent Systems: Optimal and Adaptive Design Approaches</i>. London: Springer-Verlag, 2014, ISBN: 978-1-4471-5573-7. 2. Z. Qu, <i>Cooperative Control of Dynamical Systems: Applications to Autonomous Vehicles</i>. London: Springer-Verlag, 2009. ISBN: 978-1-84882-324-2. 		
Informace ke kombinované nebo distanční formě		
Rozsah konzultací (soustředění)	14	hodin
Informace o způsobu kontaktu s vyučujícím		
<p>V kombinované formě doktorského studia se sice studenti nebudou účastnit přednášek, nicméně rozsah látky určené k nastudování, stejně jako objem zadané samostatné práce budou stejné jako u interních studentů. Látka určená k nastudování bude zveřejněna (strukturovaně po jednotlivých týdnech) na webu předmětu ve fakultním systému Moodle, kde bude rovněž k dispozici studijní literatura (vlastní texty vyučujícího či odborné články ke stažení) a seznamy knih, které si studenti můžou vypůjčit z fakultní knihovny.</p> <p>Studentům kombinované formy studia se bude nabízet možnost konzultace s vyučujícím, a to přibližně každé dva týdny na dvě hodiny. Tedy celkem 14 hodin za semestr. Konzultace budou realizovány buď formou fyzického setkání studenta s vyučujícím nebo formou „vzdáleného setkání“ s využitím prostředků pro videohovory.</p>		

B-III – Charakteristika studijního předmětu				
Název studijního předmětu	Fuzzy modelování a řízení			
Typ předmětu	povinně volitelný	doporučený ročník / semestr		-
Rozsah studijního předmětu	2x14 p + 4x14 d	hod.	28 h	kreditů 3
Prerekvizity, korekvizity, ekvivalence	Žádné prerekvizity ani korekvizity.			
Způsob ověření studijních výsledků	Zkouška		Forma výuky	Přednáška, domácí práce
Forma způsobu ověření studijních výsledků a další požadavky na studenta	Ústní zkouška; obhajoba studie související s oborem zájmu doktoranda			
Garant předmětu	Doc. Ing. Petr Hušek, Ph.D.			
Zapojení garanta do výuky předmětu	přednášející, zkoušející, vede konzultace			
Vyučující	Doc. Ing. Petr Hušek, Ph.D.			
Stručná anotace předmětu	<p>Cílem předmětu je seznámit se s nejnovějšími trendy a výsledky v oblasti modelování a řízení nelineárních systémů s využitím principů fuzzy logiky a neuronových sítí. Jedná se především o analýzu a syntézu Takagi-Sugeno fuzzy systémů, využití fuzzy systémů a neuronových sítí při řízení nelineárních systémů při aproximaci neznámých funkcí vyskytujících se v popisu systému a návrh adaptivních fuzzy systémů, přímých i nepřímých.</p> <p>Student bude seznámen s filozofií návrhu výše zmíněných stabilizujících regulátorů a způsobem důkazů, tak aby byl schopen tyto znalosti použít při své vědecké práci.</p> <p>V úvodních lekcích jsou probírány základy fuzzy logiky, fuzzy množin a fuzzy operací a relací v rozsahu nutném pro jejich aplikace v modelování a řízení dynamických systémů. Poté jsou studenti seznámeni s metodikou přibližného zdůvodňování a její interpretace pomocí báze fuzzy pravidel s odvozením různých typů inferenčních mechanismů. Fuzzy systém je dále interpretován jako nelineární zobrazení, jsou diskutovány jeho vlastnosti a možnosti aproximace funkcí. Tyto možnosti jsou využity při modelování fuzzy systémů z naměřených dat, a to pomocí gradientních metod a metody nejmenších čtverců. Dále jsou podrobně probírány metody fuzzy shlukové analýzy včetně 3 nejpoužívanějších algoritmů – fuzzy c-means, algoritmů Gustafson-Kessel a Gath-Geva.</p> <p>Další lekce jsou věnovány analýze a syntéze Takagi-Sugeno fuzzy systémů, tedy systémů založených na modelu, který je získán buď linearizací podél trajektorie nebo metodou sekcí – oba přístupy jsou srovnány. Podrobně jsou probírány různé Ljapunovovy funkce používané u těchto systémů – kvadratické, po částech kvadratické, fuzzy sdílející stejné rozdělení stavového prostoru jako lokální submodely. Úlohy jsou převedeny na metody konvexní optimalizace s využitím Lineárních maticových nerovností (LMI) a Sum-of-Squares (SOS).</p> <p>Dále jsou ukázány základní metody návrhu fuzzy adaptivních regulátorů, a to jak přímé (backstepping, fuzzy sliding mode control) tak nepřímé (Fuzzy Model Reference Adaptive Control). Obdobné metody jsou nakonec aplikovány při řízení s využitím neuronových sítí.</p> <p>Osnova přednášek</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Úvod do fuzzy logiky, historie využití fuzzy logiky v modelování a řízení systémů 2. Základní pojmy a principy fuzzy logiky – fuzzy množina, fuzzy operace a relace, lingvistická proměnná 3. Přibližné zdůvodňování, báze pravidel, inferenční mechanismy 4. Fuzzy modelování – návrh fuzzy systémů pomocí gradientních metod, nejmenších čtverců 5. Fuzzy shluková analýza (rekurzivní a nerekurzivní algoritmy fuzzy c-means, Gustafson-Kessel a Gath-Geva) 6. Analýza Takagi-Sugeno fuzzy systémů s využitím různých typů Ljapunovových funkcí 7. Syntéza Takagi-Sugeno fuzzy systémů s využitím různých typů Ljapunovových funkcí 8. Využití LMI a SOS při analýze a syntéze Takagi-Sugeno fuzzy systémů 9. Návrh přímých adaptivních fuzzy regulátorů 			

10. Návrh nepřímých adaptivních fuzzy regulátorů
12. Modelování systémů s využitím neuronových sítí
13. Řízení nelineárních systémů s využitím fuzzy logiky a neuronových sítí – sliding mode control, backstepping
14. Příklady aplikací

Studijní literatura a studijní pomůcky

Povinná literatura:

1. Li-Xin Wang: A Course in Fuzzy Systems and Control, Prentice Hall, 1997, ISBN 978-0135408827.

Kromě této monografie budou studentům zadávány k přečtení vybrané články z časopisů IEEE Transactions on Fuzzy Control, IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics, Fuzzy Sets and Systems, IEEE Transactions on Cybernetics.

Doporučená literatura:

2. Tanaka, K. and H.O. Wang: *Fuzzy Control Systems Design and Analysis: A Linear Matrix Inequality Approach*, John Wiley and Sons, 2001, ISBN 978-0471323242
3. Jang, J.-S.R., Sun, C.-T. and Mizutani, E.: *Neuro-Fuzzy and Soft Computing*, Prentice Hall, 1997, ISBN 978-0132610667
4. Norgaard, M., Ravn, O., Poulsen, N.K. and L.K. Hansen: *Neural Network for Modelling and Control of Dynamic Systems*, Springer 2000, ISBN 978-1852332273

Informace ke kombinované nebo distanční formě

Rozsah konzultací (soustředění)

14

hodin

Informace o způsobu kontaktu s vyučujícím

V kombinované formě doktorského studia se sice studenti nebudou účastnit přednášek, nicméně rozsah látky určené k nastudování, stejně jako objem zadané samostatné práce budou stejné jako u interních studentů. Látka určená k nastudování bude zveřejněna (strukturovaně po jednotlivých týdnech) na webu předmětu ve fakultním systému Moodle, kde bude rovněž k dispozici studijní literatura (vlastní texty vyučujícího či odborné články ke stažení) a seznamy knih, které si studenti mohou vypůjčit z fakultní knihovny.

Studentům kombinované formy studia se bude nabízet možnost **konzultace** s vyučujícím, a to přibližně **každé dva týdny na dvě hodiny**. Tedy celkem 14 hodin za semestr. Konzultace budou realizovány buď formou fyzického setkání studenta s vyučujícím nebo formou „vzdáleného setkání“ s využitím prostředků pro videohovory.

B-III – Charakteristika studijního předmětu				
Název studijního předmětu	Lineární maticové nerovnosti (angl. Linear matrix inequalities)			
Typ předmětu	povinně volitelný		doporučený ročník / semestr	-
Rozsah studijního předmětu	2x14 p	hod.	28 h	kreditů 3
Prerekvizity, korekvizity, ekvivalence	Žádné prerekvizity ani korekvizity.			
Způsob ověření studijních výsledků	Zkouška		Forma výuky	Přednáška, domácí práce
Forma způsobu ověření studijních výsledků a další požadavky na studenta	Ústní zkouška; obhajoba studie na téma související s oborem zájmu doktoranda			
Garant předmětu	Prof. Ing. Didier Henrion, Ph.D.			
Zapojení garanta do výuky předmětu	přednášející, zkoušející, vede konzultace			
Vyučující	Prof. Ing. Didier Henrion, Ph.D.			
Stručná anotace předmětu	<p>Ideo o pokročilý předmět o aplikaci moderních optimalizačních metod založených na matematickém formalismu lineárních maticových nerovností pro návrh regulátorů. Předmět bude realizován v angličtině.</p> <p>Lineární maticové nerovnosti (anglicky LMI) jsou intenzivně studovány již devadesátých let dvacátého století ve spojitosti s Ljapunovskými technikami pro zajištění stability i kvality řízení lineárních i nelineárních systémů. Tento přístup k analýze i syntéze řídicích systémů s výhodou využívá výsledků výzkumu v oblasti numerických algoritmů založených na primárních-duálních metodách vnitřního bodu pro konické programování.</p> <p>Nejnovější výsledky z reálné algebraické geometrie poskytly silné nástroje pro reprezentaci kladných mnohočlenů coby „součty čtverců“ (angl. sum of squares, SOS) a duální teorii momentů. Mnoho velmi těžkých nelineárních, nekonvexních optimalizačních a řídicích problémů dnes může být řešeno numericky pomocí momentových-SOS hierarchií problémů s lineárními maticovými nerovnostmi, pro které existují matematicky rigorózní garance konvergence i certifikáty globální optimality. Náš Matlabský toolbox zvaný GloptiPoly, vyvíjený od roku 2002, implementuje mnoho z těchto technik a ideí.</p> <p>Hlavním účelem tohoto kurzu je představení základních konceptů této obecné metodologie. Detailně si také ukážeme aplikaci při řešení nelineárních nekonvexních úloh z oblasti návrhu řízení při uvažování polynomiálních modelů.</p> <p>Osnova přednášek</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Convex cones 2. Duality 3. Spectrahedra and LMIs 4. SDP duality and solvers 5. Measures and moments 6. Positive polynomials 7. Primal-dual linear formulation 8. Lasserre moment-SOS hierarchy 9. Occupation measures 10. Primal-dual linear formulation 11. Optimal control and trajectory recovery 12. Piecewise polynomial dynamics 13. Region of attraction approximations 14. Optimal switching 			
Studijní literatura a studijní pomůcky				

Pro tento předmět není žádná kniha zadána coby povinná. Doporučená literatura bude upřesňována u jednotlivých témat, a půjde často o veřejně dostupné odborné články či poznámky k přednáškám.

Materiál k přednáškám vytvořený samotným přednášejícím je k volnému stažení na jeho webových stránkách <http://homepages.laas.fr/henrion/Papers/henrion-grenoble14.pdf>.

Informace ke kombinované nebo distanční formě

Rozsah konzultací (soustředění)

14

hodin

Informace o způsobu kontaktu s vyučujícím

V kombinované formě doktorského studia se sice studenti nebudou účastnit přednášek, nicméně rozsah látky určené k nastudování, stejně jako objem zadané samostatné práce budou stejné jako u interních studentů. Látka určená k nastudování bude zveřejněna (strukturovaně po jednotlivých týdnech) na webu předmětu ve fakultním systému Moodle, kde bude rovněž k dispozici studijní literatura (vlastní texty vyučujícího či odborné články ke stažení) a seznamy knih, které si studenti mohou vypůjčit z fakultní knihovny.

Studentům kombinované formy studia se bude nabízet možnost **konzultace** s vyučujícím, a to přibližně **každé dva týdny na dvě hodiny**. Tedy celkem 14 hodin za semestr. Konzultace budou realizovány buď formou fyzického setkání studenta s vyučujícím nebo formou „vzdáleného setkání“ s využitím prostředků pro videohovory.

B-III – Charakteristika studijního předmětu				
Název studijního předmětu	Nelineární systémy			
Typ předmětu	povinně volitelný		doporučený ročník / semestr	-
Rozsah studijního předmětu	2x14 p	hod.	28 h	kreditů 3
Prerekvizity, korekvizity, ekvivalence	Žádné prerekvizity ani korekvizity.			
Způsob ověření studijních výsledků	Zkouška		Forma výuky	Přednáška, domácí práce
Forma způsobu ověření studijních výsledků a další požadavky na studenta	Ústní zkouška; obhajoba studie na téma související s oborem zájmu doktoranda			
Garant předmětu	Prof. RNDr. Sergej Čelikovský, CSc.			
Zapojení garanta do výuky předmětu	přednášející, zkoušející, vede konzultace			
Vyučující	Prof. RNDr. Sergej Čelikovský, CSc			
Stručná anotace předmětu	<p>Cílem tohoto předmětu je seznámit posluchače s hlubším a širším pohledem na problematiku teorie a aplikací nelineárních systémů. Předmět seznámí své posluchače zejména s tzv. diferenciálně-geometrickým přístupem, který je možné využít ke studiu říditelnosti a pozorovatelnosti nelineárních systémů, dále k úplné charakteristice různých typů exaktní zpětnovazebné linearizace a mnoha jiných úloh. Podrobně se zabývá strukturou nelineárních systémů z hlediska návrhu nelineárních řídicích algoritmů. Vychází ze stavového popisu nelineárních systémů a dále využívá metodiku transformací zadaného nelineárního modelu do jednoduššího tvaru, který je pak využit k návrhu regulačního obvodu. Studuje diferenciálně-geometrické podmínky pro existenci těchto transformací. Zavádí nelineární pojmy říditelnosti a pozorovatelnosti a vymezuje jejich vztah ke stabilizaci a rekonstrukci, který není tak zřejmý, jako pro lineární systémy. Budou stručně také probírány některé další problémy, jako nehladká stabilizace a nespojitá stabilizace, a možnosti jejich řešení. Dále pak i příklady využití nelineární teorie v oblasti podaktuovaného kráčení, neholonomních systémů, či optimalizace biosystémů.</p> <p>Témata v jednotlivých týdnech jsou:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Matematické základy: vektorová pole, Lieova derivace funkce podle vektorového pole, Lieova závorka dvou vektorových polí, Lieovy algebry a jejich vlastnosti. 2. Říditelnost nelineárních systémů. Dosažitelnost, silná dosažitelnost, říditelnost, globální říditelnost, lokální říditelnost, lokální říditelnost v malém čase a lokální-lokální říditelnost. 3. Lieova algebra dosažitelnosti a silné dosažitelnosti. Podmínky různých typů dosažitelnosti a říditelnosti a vlastnosti Lieových algeber dosažitelnosti a silné dosažitelnosti. 4. Pozorovatelnost nelineárních systémů. Definice pozorovatelnosti a její úskalí v nelineárním případě. 5. Algebra pozorovatelnosti a podmínky pozorovatelnosti. Nelineární kanonická forma pozorovatelnosti. Podmínky transformace nelineárního systému do této formy. 6. Nelineární kanonická forma pozorovatele. Podmínky transformace nelineárního systému do této formy. 7. Nutné a postačující podmínky zpětnovazebné exaktní linearizace. Relativní stupeň nelineárního systému s jedním vstupem a výstupem, vektorový relativní stupeň pro systémy s více vstupy a výstupy. Problém volby "pomocného" linearizujícího výstupu pro exaktní zpětnovazebnou linearizaci. 8. Distribuce, její involutivita a integrovatelnost, Frobeniova věta. 9. Využití Frobeniovovy věty pro stanovení nutných podmínek zpětnovazebné exaktní linearizace. Diferenciální formy, exaktní diferenciální formy, jejich souvislost s involutivními distribucemi a využití pro hledání "pomocného" linearizujícího výstupu 10. Další otevřené problémy teorie nelineárního řízení a příklady jejího využití. Nehladká a nespojitá stabilizace nelineárních systémů. 11. Brockettova podmínka hladké a spojitě stabilizace. Vztah říditelnosti a stabilizovatelnosti pro nelineární systémy. 12. Neholonomní systémy, jejich říditelnost a stabilizovatelnost. 			

13. Využití částečné exaktní linearizace při řízení podaktuovaných mechanických systémů. Problematika podaktuovaných kráčejších robotů.
14. Optimální řízení nelineárních systémů. Pontrjaginův princip maxima v úloze s volným pravým koncem. Příklad řízení optimální produkce řas.

Studijní literatura a studijní pomůcky

Povinná literatura:

1. H. K. Khalil, Nonlinear Systems. Third edition. Prentice Hall 2002. ISBN-13: 978-0130673893
2. A. Isidori. Nonlinear Systems: Third Edition, Springer Verlag, Heidelberg, 1995. ISBN 978-1-4471-0549-7

Doporučená literatura:

3. M. Vidyasagar, Nonlinear Systems Analysis, Second Edition. SIAM Classics in Applied Mathematics 42. SIAM 2002. ISBN 0-89871-526-1.
4. R. Marino and P. Tomei: Nonlinear Control Design. Geometric, Adaptive and Robust Approach, Prentice Hall, Englewood Cliffs, NJ 1995. ISBN 0-13-342635-1

Informace ke kombinované nebo distanční formě

Rozsah konzultací (soustředění)

14

hodin

Informace o způsobu kontaktu s vyučujícím

V kombinované formě doktorského studia se sice studenti nebudou účastnit přednášek, nicméně rozsah látky určené k nastudování, stejně jako objem zadané samostatné práce budou stejné jako u interních studentů. Látka určená k nastudování bude zveřejněna (strukturovaně po jednotlivých týdnech) na webu předmětu ve fakultním systému Moodle, kde bude rovněž k dispozici studijní literatura (vlastní texty vyučujícího či odborné články ke stažení) a seznamy knih, které si studenti mohou vypůjčit z fakultní knihovny.

Studentům kombinované formy studia se bude nabízet možnost **konzultace** s vyučujícím, a to přibližně **každé dva týdny na dvě hodiny**. Tedy celkem 14 hodin za semestr. Konzultace budou realizovány buď formou fyzického setkání studenta s vyučujícím nebo formou „vzdáleného setkání“ s využitím prostředků pro videohovory.

B-III – Charakteristika studijního předmětu				
Název studijního předmětu	Odhadování a filtrace			
Typ předmětu	povinně volitelný		doporučený ročník / semestr	-
Rozsah studijního předmětu	2x14 p	hod.	28 h	kreditů 3
Prerekvizity, korekvizity, ekvivalence	Žádné prerekvizity ani korekvizity.			
Způsob ověření studijních výsledků	Zkouška		Forma výuky	Přednáška, domácí práce
Forma způsobu ověření studijních výsledků a další požadavky na studenta	Ústní zkouška; obhajoba semestrálního projektu na téma související s oborem zájmu doktoranda			
Garant předmětu	Prof. Ing. Vladimír Havlena, CSc.			
Zapojení garanta do výuky předmětu	přednášející, zkoušející, vede konzultace			
Vyučující	Prof. Ing. Vladimír Havlena, CSc.			
Stručná anotace předmětu	<p>Tento pokročilý kurz pokrývá popis neurčitosti skrytých proměnných (parametrů a stavů dynamického systému) s použitím jazyka a metod teorie pravděpodobnosti. Pro analýzu chování za neurčitosti bude systematicky využíván bayesovský přístup, který v kurzu poslouží pro vývoj algoritmů pro odhadování parametrů (ARX modely, regrese Gausovskými procesy), filtraci (Kalmanův filtr, iterovaný filtr, částicový filtr) a detekce (metody využívající věrohodnostní poměr). Studenti se naučí numericky robustní implementaci algoritmů, které budou použitelné pro reálné problémy v různých oblastech průmyslového procesního řízení, robotiky či avioniky.</p> <p>Seznam hlavních témat po týdnech:</p> <ol style="list-style-type: none">1. Rekapitulace základních konceptů pravděpodobnosti a statistiky.2. MS, LMS a ML odhady3. Bayesův přístup k popisu neurčitosti, modely dynamického systému4. Identifikace parametrů ARX modelu5. Sledování časově proměnných parametrů, zapomínání, využití apriorní informace6. Numericky robustní implementace algoritmů pro odhadování parametrů7. Regrese Gausovskými procesy8. Stochastické systémy, pravděpodobnostní definice stavu, Kalmanův filtr9. Kalmanův filtr pro barevný šum, rozšířený Kalmanův filtr10. Iterovaný Kalmanův filtr, „unscented“ Kalmanův filtr, vyhlazování11. Stochastické dynamické programování, LQ a LQG regulátory, separační princip12. Věrohodnostní poměr – teorie a aplikace13. Nelineární odhadování – lokální vs. globální aproximace14. Metody Monte Carlo			
Studijní literatura a studijní pomůcky	Žádná povinná literatura není v tomto předmětu plánována. Literatura je doporučena každému doktorandovi individuálně spolu se zadáním semestrálního projektu tak, aby vhodně doplňovala jeho znalosti z hlediska tématu disertační práce.			
Informace ke kombinované nebo distanční formě				
Rozsah konzultací (soustředění)	14	hodin		
Informace o způsobu kontaktu s vyučujícím				
V kombinované formě doktorského studia se sice studenti nebudou účastnit přednášek, nicméně rozsah látky určené k nastudování, stejně jako objem zadané samostatné práce budou stejné jako u interních studentů. Látka určená k nastudování bude zveřejněna (strukturovaně po jednotlivých týdnech) na webu předmětu ve fakultním systému Moodle, kde bude rovněž k dispozici studijní literatura (vlastní texty vyučujícího či odborné články ke stažení) a seznamy knih, které si studenti můžou vypůjčit z fakultní knihovny.				

Studentům kombinované formy studia se bude nabízet možnost **konzultace** s vyučujícím, a to přibližně **každé dva týdny na dvě hodiny**. Tedy celkem 14 hodin za semestr. Konzultace budou realizovány buď formou fyzického setkání studenta s vyučujícím nebo formou „vzdáleného setkání“ s využitím prostředků pro videohovory.

B-III – Charakteristika studijního předmětu				
Název studijního předmětu	Optimální a robustní řízení			
Typ předmětu	povinně volitelný		doporučený ročník / semestr	
Rozsah studijního předmětu	2x14 p	hod.	28 h	kreditů 3
Prerekvizity, korekvizity, ekvivalence	Žádné prerekvizity ani korekvizity.			
Způsob ověření studijních výsledků	Zkouška		Forma výuky	Přednáška, domácí práce
Forma způsobu ověření studijních výsledků a další požadavky na studenta	Ústní zkouška; obhajoba studie na téma související s oborem zájmu doktoranda			
Garant předmětu	Doc. Ing. Zdeněk Hurák, Ph.D.			
Zapojení garanta do výuky předmětu	přednášející, zkoušející, vede konzultace			
Vyučující	Doc. Ing. Zdeněk Hurák, Ph.D.			
Stručná anotace předmětu	<p>Jde o pokročilý kurz o moderních metodách návrhu regulátorů, které úlohu návrhu regulátoru formulují coby úlohu optimalizační. Kromě rozvíjení praktických návrhových kompetencí bude předmět rozvíjet i hlubší porozumění fundamentálním konceptům i posilovat informovanost o nejnovějších výsledcích. Pro své optimalizační zaměření lze jistě přínos předmětu pro studenta vidět i za hranicemi domény automatického řízení.</p> <p>Předmět lze zčásti chápat jako rozšíření existujícího stejnojmenného předmětu v magisterské etapě (B3M35ORR). Mnohá témata jsou však oproti magisterskému studiu nová, a u těch několika stejných témat je v předmětu zamýšleno nezůstat pouze u „návodů na použití“ nýbrž rozvíjet i hluboké porozumění matematickým základům daných metod (matematické důkazy, různé interpretace, ...) a informovat o nejnovějších výsledcích v mezinárodním výzkumu.</p> <p>Cílem předmětu (z pohledu studentů) je získat pokročilé kompetence (znalosti i dovednosti) v oblasti praktického výpočetního návrhu regulátorů (či lépe regulačních algoritmů). Metody budou převážně předpokládat dostupnost matematického modelu řízeného dynamického systému (angl. model-based control design). Uvažovány budou dynamické systémy ve spojitém i diskrétním čase, lineární i nelineární, s jedním i více vstupy i výstupy. Jelikož všechny představované metody návrhu regulátoru formulují návrhovou úlohu jako úlohu optimalizace, budou klíčové kompetence pocházet z domény optimalizace, a to jak její konečně-dimenzionální varianty (lineární, kvadratické, nelineární i semidefinitní programování), tak i nekonečně-dimenzionální varianty (variační počet, teorie operátorů, diferenciální hry).</p> <p>Seznam hlavních témat po týdnech:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Numerické metody pro přímovazební řízení / plánování trajektorie: nepřímé metody 2. Numerické metody pro přímovazební řízení / plánování trajektorie: přímé metody 3. Sledování trajektorie – LQ optimální řízení pro časově proměnný lineární systém 4. Optimální zpětnovazební řízení nelineárních systémů – stavově závislé Riccatiho rovnice (state-dependent Riccati equations, SDRE) 5. Model predictive control (MPC) – online přístupy 6. Model predictive control (MPC) – explicitní přístupy 7. Optimální řízení založené na dynamickém programování; řízení založené na posilovaném učení (reinforcement learning) 8. Řízení založené na pasivitě (passivity-based control, PBC) 9. l_1 a L_1 optimální řízení 10. H_∞ optimální řízení - řešení založené na Riccatiho rovnicích 11. H_∞ optimální řízení - řešení založené lineárních maticových nerovnostech (LMI) 12. Řízení pro systémy lineárně závislé na parametrech (LPV control) 13. Na změřených datech založený návrh robustních regulátorů (QFT control a další) 			

14. Řízení založené na iterativním učení (iterative learning control, ILC)

Studijní literatura a studijní pomůcky

Žádná literatura v tomto předmětu není plánována jako povinná. Pro každou přednášku budou zvlášť upřesňovány další studijní zdroje, s preferencí pro zdroje dostupné online (odborné články a „lecture notes“).

Níže je seznam doporučené literatury, která pokrývá odpřednášená témata, a kterou lze použít pro získání hlubšího porozumění. Tato literatura je k dispozici buď online nebo v několika výtiscích ve fakultní či katederní knihovně.

1. D. E. Kirk. *Optimal control theory*. Dover Publishing, 1. vydání, 1998. ISBN 048632432X
2. J. T. Betts. *Practical methods for optimal control and estimation using nonlinear programming*. SIAM, 2. vydání, 2010. ISBN 0898716888
3. M. Diehl. *Numerical optimal control*. Lecture notes (draft), 2011. Dostupné online.
4. F. Borrelli, A. Bemporad, M. Morari. *Predictive control for linear and hybrid systems*. Cambridge University Press, 1. vydání, 2017. ISBN-10: 1107652871
5. K. Zhou, J. C. Doyle, K. Glover. *Robust and optimal Control*. Prentice Hall, 1. vydání, 1996. ISBN 0134565673
6. M. A. Dahleh, I. J. Diaz-Bobillo. *Control of uncertain systems – a linear programming approach*. Prentice Hall, 1. vydání, 1995. ISBN 0132806452

B. A. Francis, *A Course in H_∞ control theory*, Springer, 1. vydání, 1987. ISBN 978-3-540-17069-3

Informace ke kombinované nebo distanční formě

Rozsah konzultací (soustředění)

14

hodin

Informace o způsobu kontaktu s vyučujícím

V kombinované formě doktorského studia se sice studenti nebudou účastnit přednášek, nicméně rozsah látky určené k nastudování, stejně jako objem zadané samostatné práce budou stejné jako u interních studentů. Látka určená k nastudování bude zveřejněna (strukturovaně po jednotlivých týdnech) na webu předmětu ve fakultním systému Moodle, kde bude rovněž k dispozici studijní literatura (vlastní texty vyučujícího či odborné články ke stažení) a seznamy knih, které si studenti mohou vypůjčit z fakultní knihovny.

Studentům kombinované formy studia se bude nabízet možnost **konzultace** s vyučujícím, a to přibližně **každé dva týdny na dvě hodiny**. Tedy celkem 14 hodin za semestr. Konzultace budou realizovány buď formou fyzického setkání studenta s vyučujícím nebo formou „vzdáleného setkání“ s využitím prostředků pro videohovory.

B-III – Charakteristika studijního předmětu				
Název studijního předmětu	Řízení flexibilních struktur			
Typ předmětu	povinně volitelný		doporučený ročník / semestr	
Rozsah studijního předmětu	2x14 p	hod.	28 h	kreditů 3
Prerekvizity, korekvizity, ekvivalence	Žádné prerekvizity ani korekvizity.			
Způsob ověření studijních výsledků	Zkouška		Forma výuky	Přednáška, domácí práce
Forma způsobu ověření studijních výsledků a další požadavky na studenta	Ústní zkouška; obhajoba studie na téma související s oborem zájmu doktoranda			
Garant předmětu	Doc. Ing. Martin Hromčík, Ph.D.			
Zapojení garanta do výuky předmětu	vede přednášky, zkouší, konzultuje			
Vyučující	Doc. Ing. Martin Hromčík, Ph.D.; Prof. Martin Kozek and Dr. Alexander Shirrer (TU Wien, hostující přednášející) – poslední dva jmenovaní vedou přednášky a konzultují			
Stručná anotace předmětu	<p>Předmět je zaměřen na pokročilé řízení mechanických struktur s nezanedbatelnou pružností. Metody řízení budou předpokládat modely mechanických flexibilních systémů vytvořené pomocí metody konečných prvků (FEM). Diskutováno bude pasivní i aktivní tlumení, dopředné (feedforward) i zpětnovazební (feedback) řízení; řízení „collocated“ i „noncollocated“; tvarování vstupních signálů (signal shapers). Úlohy návrhu regulátoru budou formulovány coby úlohy optimalizační, zejména H_{∞} optimalizace a to i za omezení na strukturu regulátoru.</p> <p>Na realizaci předmětu se budou podílet i specialisté z oblasti mechatroniky z TU ve Vídni, jmenovitě Prof. Martin Kozek a Dr. Alexander Schirrer, se kterými vyučující z ČVUT v dané oblasti dlouhodobě spolupracují formou několika mezinárodních grantů. Díky zapojení těchto expertů tak bude v předmětu kromě teoretických konceptů a metod představena i řada velmi pokročilých případových studií z průmyslu.</p> <p>Seznam hlavních témat po týdnech (anglicky):</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Flexible structures models: input output models 2. Flexible structures models: state models 3. Flexible structures models: classical control design methods 4. Flexible structures models: optimal control 5. Flexible structures models: robust control 6. Active damping systems 7. Morphing shape control 8. Aeroelastic systems 9. Active flutter suppression 10. Case study 1: metro wagon active damping system 11. Case study 2: flexible aircraft Airbus ACFA 2020 12. Case study 3: morphing wing and active flutter damping 13. Wrap-up 14. Reserve 			
Studijní literatura a studijní pomůcky	<p>Povinná literatura:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. W. K. Gawronski, Dynamics identification and control of structures. New York: Springer-Verlag, 2004, ISBN: 978-1-4757-5033-1. <p>Doporučená literatura:</p>			

2. S. Skogestad a I. Postlethwaite, Multivariable Feedback Control: Analysis and Design, 2. vyd. Wiley, 2005. ISBN ISBN-13 978-0-470-01168-3.

Informace ke kombinované nebo distanční formě

Rozsah konzultací (soustředění)

14

hodin

Informace o způsobu kontaktu s vyučujícím

V kombinované formě doktorského studia se sice studenti nebudou účastnit přednášek, nicméně rozsah látky určené k nastudování, stejně jako objem zadané samostatné práce budou stejné jako u interních studentů. Látka určená k nastudování bude zveřejněna (strukturovaně po jednotlivých týdnech) na webu předmětu ve fakultním systému Moodle, kde bude rovněž k dispozici studijní literatura (vlastní texty vyučujícího či odborné články ke stažení) a seznamy knih, které si studenti mohou vypůjčit z fakultní knihovny.

Studentům kombinované formy studia se bude nabízet možnost **konzultace** s vyučujícím, a to přibližně **každé dva týdny na dvě hodiny**. Tedy celkem 14 hodin za semestr. Konzultace budou realizovány buď formou fyzického setkání studenta s vyučujícím nebo formou „vzdáleného setkání“ s využitím prostředků pro videohovory.

B-IV – Údaje o odborné praxi				
Charakteristika povinné odborné praxe				
Doktorský studijní program Kybernetika a robotika neobsahuje povinnou praxi.				
Rozsah		týdnů	hodin	
Přehled pracovišť, na kterých má být praxe uskutečňována				Smluvně zajištěno
Zajištění odborné praxe v cizím jazyce (u studijních programů uskutečňovaných v cizím jazyce)				



EVROPSKÁ UNIE
Evropské strukturální a investiční fondy
Operační program Výzkum, vývoj a vzdělávání



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY