

OBSAH

1	STRUČNÁ HISTORIE UMĚLÉ INTELIGENCE	9
2	DIAGNOSTIKA ELEKTRICKÝCH STROJŮ	13
2.1	Rozdělení diagnostických metod	14
2.2	Přehled používaných diagnostických metod	16
2.2.1	Diagnostické metody pro elektrické stroje točivé	16
2.2.2	Diagnostické metody pro elektrické stroje netočivé	20
2.3	Nekonvenční diagnostické metody	25
2.3.1	Metoda aktivační energie vodivostních dějů	25
2.3.2	Metoda aktivační energie polarizačních dějů	26
2.3.3	Metoda odhadu kritického napětí	27
3	VYBRANÉ VÝVOJOVÉ SMĚRY UMĚLÉ INTELIGENCE	29
3.1	Neuronové sítě	30
3.1.1	Obecný popis	30
3.1.2	Neuronová síť a její dynamika	33
3.1.3	Metody učení neuronových sítí	43
3.1.4	Neuronové sítě Backpropagation	45
3.1.5	Neuronové sítě RBF	48
3.1.6	Neuronové sítě LVQ	51
3.1.7	Simulátory neuronových sítí	54
3.2	Fuzzy systémy	59
3.2.1	Úvod do fuzzy teorie	59
3.2.2	Fuzzy množiny a základní operace	63
3.2.3	Fuzzy relace a operace nad nimi	64
3.2.4	Jazyková proměnná a fuzzy výroky	65
3.2.5	Struktura a parametry fuzzy regulátoru	66
3.2.6	Jazyková aproximace	73
3.2.7	Fuzzy model Mamdani – model s fuzzy závěry	75
3.2.8	Fuzzy model Sugeno – model s funkčními závěry	76
3.3	Genetické algoritmy	77
3.3.1	Podstata genetického algoritmu	77

3.3.2	Základní pojmy a teorie	79
3.3.3	Kódování	88
3.3.4	Principy, znaky a využití genetických algoritmů	89
3.4	Expertní systémy	90
3.4.1	Obecný popis	90
3.4.2	Struktura expertních systémů	93
3.4.3	Historie a přehled expertních systémů	97
3.4.4	Klasifikace expertních systémů	99
3.4.5	Diagnostické expertní systémy bez neurčitosti	103
3.4.6	Programovací jazyky expertních systémů	115
3.4.7	Diagnostické expertní systémy s neurčitostí	127
3.4.8	Fuzzy expertní systémy	139
3.4.9	Adaptivní neuro-fuzzy inferenční systém	143
3.4.10	Proces získávání znalostí v expertních systémech	144
3.4.11	Perspektivy expertních systémů	149
4	APLIKACE METOD UMĚLÉ INTELIGENCE V DIAGNOSTICE IZOLAČNÍCH MATERIÁLŮ	151
4.1	Obecné aspekty aplikace metod umělé inteligence v diagnostice	153
4.1.1	Úvod do problematiky	153
4.1.2	Vstupní veličiny diagnostického procesu	163
4.1.3	Verifikace nekonvenčních diagnostických metod	167
4.1.4	Volba diagnostických nástrojů, jejich aplikace a hodnocení	173
4.1.5	Trénovací a testovací množina dat	174
4.2	Neuronové sítě v aktuální diagnostice	178
4.2.1	Aktuální diagnostika neuronovou sítí Backpropagation	178
4.2.2	Aktuální diagnostika neuronovou sítí RBF	187
4.2.3	Aktuální klasifikace neuronovou sítí RBF	193
4.2.4	Aktuální klasifikace neuronovou sítí LVQ	198
4.3	Neuronové sítě v prognostické diagnostice	200
4.3.1	Prognostická diagnostika neuronovou sítí Backpropagation	200
4.3.2	Prognostická diagnostika neuronovou sítí RBF	214
4.3.3	Prognostická klasifikace neuronovou sítí RBF	224

4.3.4	Prognostická klasifikace neuronovou sítí LVQ	228
4.4	Fuzzy systémy v aktuální a prognostické diagnostice	230
4.4.1	Aktuální diagnostika fuzzy modelem Sugeno	230
4.4.2	Prognostická diagnostika fuzzy prediktorem Sugeno	238
4.5	Genetické algoritmy v optimalizaci parametrů metod umělé inteligence	246
4.5.1	Optimalizace parametrů neuronové sítě genetickým algoritmem	246
4.5.2	Optimalizace parametrů fuzzy systému genetickým algoritmem	253
5	APLIKACE METOD UMĚLÉ INTELIGENCE V DIAGNOSTICE ELEKTRICKÝCH STROJŮ	259
5.1	Úvod do problematiky	260
5.1.1	Vstupní veličiny diagnostického procesu	261
5.1.2	Verifikace nekonvenčních diagnostických metod	271
5.2	Diagnostika s využitím umělé inteligence	274
5.2.1	Volba diagnostických nástrojů a jejich aplikace	274
5.2.2	Trénovací a testovací množina dat	275
5.3	Neuronové sítě v aktuální diagnostice	277
5.3.1	Aktuální diagnostika neuronovou sítí Backpropagation	277
5.3.2	Aktuální diagnostika neuronovou sítí RBF	286
5.4	Neuronové sítě v prognostické diagnostice	290
5.4.1	Prognostická diagnostika neuronovou sítí Backpropagation	290
5.4.2	Prognostická diagnostika neuronovou sítí RBF	297
5.5	Fuzzy systémy v aktuální a prognostické diagnostice	301
5.5.1	Aktuální diagnostika fuzzy modelem Sugeno	301
5.5.2	Prognostická diagnostika fuzzy prediktorem Sugeno	309
5.6	Expertní systémy v diagnostice elektrických strojů točivých...	316
5.6.1	Nástroje pro tvorbu expertního systému	317
5.6.2	Popis a vlastnosti expertního systému	318
5.6.3	Tvorba a struktura báze znalostí	323
5.6.6	Vnitřní struktura báze znalostí pravidlového expertního systému ES	325

5.6.4 Konzultace uživatele s expertním systémem	325
5.6.5 Ověření funkce expertního systému na reálných datech	333
5.7 Expertní systémy v diagnostice transformátorů	367
5.7.1 Charakteristika expertního systému pro diagnostiku transformátorů	368
5.7.2 Tvorba a struktura báze znalostí	369
5.7.3 Konzultace uživatele s expertním systémem	373
5.7.4 Ověření funkce expertního systému na reálných datech	378
LITERATURA	387
REJSTŘÍK	392

ÚVOD

Novodobá věda ukazuje, že složitost jevů reálného světa s mnoha vazbami mezi objekty se neustále zvětšuje a vzniká snaha se s ní vyrovnat adekvátními postupy. Jedním z nich je poměrně mladá vědní disciplína, a to **umělá inteligence**. Předmětem jejího zkoumání jsou všechny postupy a algoritmy, které ve svém důsledku vedou k určitému napodobení projevů inteligentního chování člověka. Inteligence je vlastností některých živých organizmů, která jim dává v přírodě mimořádné postavení. I díky nástupu výpočetní techniky se rozvíjí postupně snaha o napodobení intelektuální schopnosti člověka. K tomu jsou využívány postupy vycházející z detailní analýzy činnosti živých organizmů na úrovni biologické. Sem patří např. rozvoj neuronových sítí, genetických algoritmů, apod. Také se využívají techniky vycházející z matematické abstrakce mentálních procesů lidského mozku na úrovni psychologické a kognitivní, sem lze zařadit např. metody učení založené na modelech. Složitost reálného světa ovšem není jedinou motivací rozvoje metod umělé inteligence. Značně důležitá je také jeho neurčitost, která může mít různý charakter i původ. Někteří autoři přisuzují neurčitosti podstatný význam a umělou inteligenci pojímají jako schopnost systému dosáhnout cíle nebo udržet požadované chování právě v neurčitých podmínkách. Značnou roli v této oblasti hrají také fuzzy modely. Problémem při řešení rozlehlých systémů s mnoha prvky a vazbami jsou velké objemy dat, jejichž zpracování vyžaduje efektivnější metodické postupy. Zde je důležitá např. teorie rozpoznávání, která se v těchto případech zabývá rozlišením a utříděním sledovaných údajů o objektech reálného světa podle jejich společných vlastností. V technické praxi se často používají klasifikační příznakové metody teorie rozpoznávání a k nim především patří shluková analýza. K historicky nejstarším vývojovým směrům umělé inteligence patří expertní systémy. Zpravidla se jimi rozumí speciální počítačové programy simulující činnost experta při řešení složitých úloh a využívající vhodně zakódovaných, explicitně vyjádřených speciálních znalostí. Právě expertní systémy jsou vhodné kromě jiného k identifikaci nebo nacházejí uplatnění v diagnostice.

V současné době lze sledovat rychlý vývoj metod umělé inteligence. S tímto je často zvláště v technické praxi spojena otázka, jak tyto metody využít k řešení vytčených cílů. V oblasti elektrických strojů točivých i netočivých se dnes řeší různorodé problémy konstrukční, technologické, materiálové, apod. Na některých pracovištích je také rozvíjena problematika diagnostiky elektrických strojů, a to především velkých generátorů pro energetické aplikace. Předmětem zájmu jsou také motory, které slouží v energetice jako pohonné jednotky. V neposlední řadě jsou to také transformátory, které jsou spojeny s distribucí elektrické energie. Včasná a efektivní diagnostika všech uvedených zařízení umožňuje zvýšit spolehlivost těchto zařízení a druhotně přináší i zvýšení spolehlivosti dalších technických celků. Toto je spojeno i se značným ekonomickým efektem pro provozovatele energetických zařízení. Z výše uvedeného je zřejmá motivace autora knihy při koncipování jejího obsahového zaměření. Samozřejmě i vzhledem k odbornému zaměření autora knihy půjde o oblast diagnostiky elektrických strojů točivých a netočivých a s tím spojených vybraných problémů, a to v tomto případě se zaměřením na umělou inteligenci. Na rozdíl od mnohých teoretických publikací o umělé inteligenci, které hledají

další její aplikační využití, jde autorovi o zvládnutí konkrétních problémů z oblasti diagnostiky elektrických strojů nejvhodnějšími metodickými postupy a za pomoci efektivního programového vybavení. I na tomto využití lze dobře ukázat význam těsné spolupráce základního a aplikovaného výzkumu.

Čtenáři se dostává do rukou odborná kniha, která je u nás ojedinělá svým obsahem a rovněž v dostupné zahraniční literatuře nemá podobný vzor. Kniha si klade za cíl přiblížit a objasnit široké technické veřejnosti a především pracovníkům zaměřeným na diagnostiku elektrických strojů některé metody umělé inteligence, ukázat na konkrétních příkladech vybrané možnosti její aplikace v diagnostice elektrických strojů točivých a netočivých a takto přispět k rozvoji technické diagnostiky. Knihu mohou také využívat též studenti magisterských a doktorských studijních programů na vysokých školách s technickým zaměřením. Kniha v žádném případě není učebnicí metod umělé inteligence a nelze ji také považovat za uzavřenou a ucelenou publikaci o aplikaci umělé inteligence v diagnostice elektrických strojů. Výklad teoretických základů je omezen na nejnútnejší skutečnosti, které jsou nutné pro pochopení uváděných aplikací. Podrobné oddělené teoretické rozpracování umělé inteligence, elektrických strojů a také technické diagnostiky lze nalézt v dnes již rozsáhlé odborné literatuře. Avšak příklady použití umělé inteligence v diagnostice elektrických strojů točivých i netočivých jsou v současné literatuře značně skromné. Proto v předkládané knize autor vycházel především z některých posledních výsledků vědecko-výzkumné činnosti na jeho pracovišti.

Za svůj vznik kniha děkuje výzkumnému záměru MŠMT ČR MSM 4977751310 „Diagnostika interaktivních dějů v elektrotechnice“.

Autor