

Deterministický chaos

(aneb cesta malého chlapce na okraj vědy a zpět)

Jan kolínský

Smykové oblasti a Turbulence

Zadání

Téma semestrální práce (Smykové oblasti a Turbulence): Deterministický chaos (podstata, vlastnosti, možnosti kvantifikace, aplikace na turbulenci), rozsah: 3-5 stran, odevzdání: zápočet.

Cíl (předmluva)

Tato práce vzniká ve vánočním čase a klade si za cíl naplnit podmínky pro udělení zápočtu z výše uvedených předmětů. Věřím, že její obsah bude omluvou pro místy ne zcela běžné obraty, a doufám, že ji přijmete s pochopením. Pokusím se ji odevzdat včas a dát tak určitý prostor pro případné přepracování daného tématu.

I v případě, že uznáte práci za dostatečnou velmi uvítám Vaši kritiku, protože právě toto téma se mi jeví jako poměrně diskutabilní a myslím, že má práce nedává o mnoho více odpovědí než otázek. I v tomto případě musím dát za pravdu těm, kteří považují dialog za nosnější formát než pouhý popis. Není náhodou, že tito se často rekrutují z řad filozofů. Ostatně termín deterministický chaos si zaslouží opatrné zacházení, a proto se pokusím opustit námi běžně obývanou říši technických zpráv.

Rozbor (namísto úvodu)

V rámci řešení daného zadání se budu zajímat o deterministický chaos, pokusím se vysvětlit, co může deterministický chaos znamenat, případně jak tento model mohl vzniknout. Pokusím se nastínit princip, jakým věda jako taková možná funguje, a tím poskytnout základ pro uchopení různých typů modelů až po formalizovaný model deterministického chaosu.

Věda

Úkolem či posláním vědy je pochopit a vysvětlit svět na základě racionálního uvažování, či zdravého rozumu, od renesance se tak snaží věda vytěsnit scholastiku, založenou na vykládání světa určitými dogmaty. Nástrojem a postupem vědy má být systematické zkoumání reality a její popis pomocí určitých modelů. Věda by se však neměla stát snůškou pravd, ale měla by být prostorem pro teorie, názory, principy a jejich vysvětlení. To co patrně činí vědu tak mocným nástrojem je nejspíše funkčnost tohoto prostoru, ve kterém se věda odehrává a který sama definuje. Jde o uznávání základních pravidel ve smyslu práce s údaji a kritériu koherence. Platilo tedy že, toho, kdo nebude uznávat tyto principy, k sobě věda nepustí. Do určité doby tento stav byl velmi funkční, protože mnoho věcí (axiomů) se jevílo naprosto zřejmými, ale čas ukázal, že je spíše dílem fantazie, co považujeme za přirozeně platné a co je zpochybnitelné. Opravdu ať zvolíte jakoukoliv na první pohled přirozenou věc, lze ji s dávkou fantazie najít protipříklad. Lze snadno říci, že v našem světě existuje nahoře a dole, a po staletí to bylo to nejpřirozenější co člověka mohlo potkat, ale není problém při troše imaginace pojmy nahoře a dole úplně převrátit a zničit.

Jako drobnou historickou linii lze sledovat vnímání pojmu nekonečna; třeba Euklides se v podstatě obešel bez něho, ale s drobnou dávkou fantazie a několika set lety vývoje nám tento termín připadá dnes přirozený.

Dalším oblíbeným příkladem jsou číselné řady. Například čísla přirozená (již sám název podtrhuje jejich vnímání) jsou pouhou podmnožinou čísel reálných a s jejich počtem a tvorbou se opět obracíme k určité dávce imaginace abychom dospěli k různým nekonečným.

Výše jsem zmínil ve vědě běžnou úctu k údajům v tom smyslu, že každý vědec, který studuje nějaký jev či předmět, systematicky ho popisuje pomocí nějakých údajů, např. délky, šířky, výšky, barvy, teploty, tvaru, atd. Můžeme si představit, že tato řada údajů o každém předmětu bude nekonečná, to jest, že jednotlivé údaje označíme po řadě přirozenými čísly 1, 2, 3,

Jak jsem ale právě připomenul, přirozená čísla jsou podmnožinou reálných. Pak si ovšem můžeme představit, že hypoteticky, ke každému „předmětu“ máme tolik údajů, jako je reálných čísel, jinými slovy, každé reálné číslo označuje jakousi kolonku v dotazníku, v dotazníku skrývajícím všechny údaje o zkoumaném předmětu. Ihned se však vtírá otázka, proč jsme si přirozeně vybrali právě údaje označené celými čísly, proč nás nezajímá údaj nesoucí značku $\sqrt{2}$ (pro který sice neexistuje jméno, ale hypoteticky si lze představit, že existuje)? Jedna z možných odpovědí je tato; ve vývoji hmoty (až k její myslící variantě představované člověkem) se náhodně (jaksi samy od sebe) zvolily některé údaje (vlastnosti, charakteristiky) a jim se pak nejprve přizpůsobili naše smysly (a vymysleli jsme si pro ně názvy jako váha, délka, šířka, barva, atd) a posléze naše vnímání světa pomocí sofistikovanějších metod. Konečně pak se tomuto náhodnému výběru přirozených údajů (vlastností, charakteristik, atd.) přizpůsobila naše věda. Právě zmíněná náhodná volba vnímaných skutečností je samozřejmě, v jakémsi velmi vágním a současně nesmírně složitém smyslu, podmíněna funkčností (přežitím živé hmoty, atd., ale sama také podmiňuje mnoho dalších věcí, mnoho zpětných vazeb vlastně ovlivňuje to, co za funkční považujeme a co nikoliv).

Takto lze uvažovat o tom, jestli je možné zcela racionálně odůvodnit jakýkoliv mravní princip, či neotřesitelnou pravdu vědy, jestli vždy na počátku vývoje nebylo cosi zvoleno nahodile (samo od sebe)...

Modely

Je pozoruhodné jak jednotlivé vědní disciplíny sice vedly svou pouť stejným směrem, ale každé odvětví si začalo vytvářet vlastní, řekněme, užitečné modely. Lze pozorovat dvě zásadní rodiny modelů. Verbální modely sloužící jako nástroj pro uchopení poměrně širokých problémů bez nutnosti přesného vymezení oboru platnosti, uchopující problémy jakoby obecně, bez idealizací. Naopak Formalizované modely se zabývají a popisují poměrně úzkou oblast problému se značně idealizovanými podmínkami. Skutečnost si formalizované modely často zjednodušují; hmotný bod, kolo na hřídeli, tečení bez tření...

Je zřejmé, že společenské vědy tak jak byly chápány v minulosti využívali především verbální modely a naopak technika a přírodní vědy našly uplatnění pro modely formalizované. V současné době je patrná určitá konvergence těchto dvou rodin modelů, což vyvolala potřeba vyšší kvantitativní deskripce vzájemných vztahů v případě verbálních modelů. A uznání toho, že formalizovanými modely jednotlivostí nelze složit funkční model popisující globální problém. Slabá chvíle verbálních modelů nastala především v popisu dynamicky se vyvíjejících systémů, kde naprosto klíčovou roli sehrává faktor času ve smyslu vývoje systému.

V případě, že dospějí v modelu do stádia, kdy se může vyvíjet několika možnými variantami a nejsem schopný určit, která z těchto variant nastane, musím buď připustit, že jsem něco opomenul, či zanedbal (lze jen částečně řešit nějakými korekcemi), nebo připustím vliv čiré náhody. V každém případě poté můj model již těžko někdo bude považovat za čistě deterministický. Tím se člověk přikloní k tomu, že jev popíše také stochasticky, ale aby to mělo alespoň nějaký vědecký smysl, je třeba alespoň odhadnout pravděpodobnosti jednotlivých řešení. Je zřejmé, že takováto situace se již přestává hodit pro řešení verbálním modelem. V případě, že přiznám nejen deterministický charakter chování svého modelu, ještě to není rezignace na veškeré zákonitosti tímto modelem popsané (to by znamenalo chaos) jedná se právě o deterministický chaos ve smyslu hluboké zákonitosti sebeuspořádávání jednotlivých pojmů. Obzvláště pozitivně naladěnému čtenáři bych navrhl alternativu k pojmu „deterministický chaos“ a to „stochastický řád“, který dává jasněji najevo, že jde o model obsahující zákonitosti (obvykle velké množství).

Problém se tedy vyskytne právě ve chvíli, kdy se popisovaný systém přestává chovat čistě deterministicky a začne vyžadovat stochastický popis. Domnívám se, že dynamika systémů, je to, co verbálním modelům příliš nesedí.

Je příznačné, že právě dnes, kdy veškeré přístroje chrlí ohromné množství stále se zpřesňujících empirických dat, jeví se stochastický přístup stále naléhavější.

Predikce

Jakožto technik a sprostě řečeno praktik se samozřejmě zeptám (a nejen já), zda věda, která se snaží pochopit a vysvětlit, dokáže také předpovědět. Nemluvím teď o nějaké predestinaci, předpokládající totálně deterministický vývoj vesmíru, kde už by nemělo smysl se o něco snažit. Ptám se opět na naše modely, protože o nich by měla být tato práce.

Predikci si představuji tak, že daný model dá přibližně stejné výsledky vývoje po dosažení shodných počátečních a okrajových podmínek bez ohledu na to, kdo tuto predikci provádí.

Naznačil jsem, určitou skepsi k tomu, zda je verbální model vhodný k popisu dynamického systému, a zdá se, že například ekonomie mi v tomto směru v posledních letech dává za pravdu. Ještě před sto lety se modely (ve společenských vědách) soustředily na popis stavu. V polovině minulého století začalo být nezbytné popisovat trendy (mechanik by řekl rychlost), totiž směřování odněkud někam. Dnes již je zcela běžné sledovat rychlost změny trendů (samozřejmě tím myslím ve fyzikální řeči druhou derivaci času). Nenapadá mne žádné omezení derivace času a lze tedy předpokládat, že i vyšší derivace podle času mohou vést k pochopení některých vlastností časových řad. Zmiňuji toto zde opět proto, že to je pole, kde verbální modely ustupují před formalizovanými, kterým tak nějak ve skrytu duše fandím.

Objektivita

Jsme svědky ne příliš veselého pohledu na to, jak věda jako taková uznává, že její objektivita je přinejmenším sporná. Věda prostě částečně rezignuje na to, aby pochopila a vysvětlila vše přesně tak, jak to je. Rezignuje na univerzálnost, úplnost i na objektivitu. Věda nám ve své úzkosti modelování nabízí jako výsledek bádání určité omezené funkční modely s ověřitelnou predikcí. Tvorbu těchto funkčních modelů nyní věda považuje za svůj smysl a zároveň za kritérium úspěchu.

Podívejme se ale, jak tyto (formalizované) modely vznikají. Formalizovaný model vzniká tak, že autor vezme pojmy, které se v dané disciplíně běžně používají, a sestavuje jednotlivé entity vystupující v daném systému do takového kauzálního vztahu, o kterém se domnívá, že tyto pojmy vystihuje. Takto vznikne buď vzoreček, diferenciální rovnice nebo stochastická diferenciální rovnice, jejíž řešení může napovědět ještě mnohé zajímavé vlastnosti daného systému. Ovšem nejzábavnější část tvorby formalizovaného modelu je ještě před námi. Zbývá ho ověřit experimentem, či empirickým pozorováním.

Ověřování teorie experimentem je také poměrně diskutabilní záležitost. Experiment totiž ze své podstaty může teorii buď vyvrátit, nebo nevyvrátit. Pakliže experiment teorii vyvrátí, situace je poměrně snadná; teorie se označí za chybnou a dále se neuvažuje. Je ale důležité si uvědomit, že v případě, kdy experiment teorii nevyvrátí, lze jen těžko říci, že ji potvrdil. Byla by to opět jakási ambice na univerzálnost, úplnost a objektivitu. V případě, že experiment teorii nevyvrátí, je často používána právě jako funkční model s ověřitelnou predikcí, je ale nutné vědět, že tento stav bude trvat, pouze do chvíle, než budou k dispozici data, která nám tuto teorii vyvrátí. Problém je v tom, že prostě nemůžeme vědět, že se ta data nikdy neobjeví.

Dalším příkladem toho, že nevyvrácení není potvrzení, je to, že mohou souběžně koexistovat dvě různé alternativní teorie, které obě projdou různými všemi dosud známými testy, a je pak velký problém se ptát, která je správná. Nejotřeplejším příkladem je vlnová a korpuskulární teorie světla. Neptáme se, která je správná, ale vždy se ptáme, která nám lépe poslouží a která nám dá lepší odpověď.

Formalizované modely mají určitou schopnost samostatné existence, fungující jako model sám o sobě. V podstatě lze říci, že se spojitě pohybují na škále od ryze konkrétních fyzikálních vzorců po ryze imaginární nástroje matematiky, či logiky. Pojmy (veličiny) vystupující v Newtonově pohybovém zákoně jsou poměrně konkrétní, naopak Bouleova algebra je jakýsi prázdný model, který je třeba naplnit libovolnými daty, splňujícími určité podmínky.

Snad právě proto je například studium turbulence, která se pohybuje mezi těmito extrémy, tak vzrušující. Jedná se o model, který není ani bezezbytku naplněn konkrétními daty ani zcela prázdný jakékoliv fyzikální podstaty.

Odpovědnost

V poslední době se poměrně významně rozmáhá budování celkem abstraktních modelů, řešících ledasco. Je to do značné míry zásluha softwarového inženýrství, což je opravdu mocný nástroj, ale stejně jako matematika, statistika či logika vyžadují tyto modely kvalifikované naplnění daty. Případně přizpůsobení modelu. Není bez zajímavosti, že například jádro účetního a skladového softwaru se běžně testuje jako funkční jádro nějaké počítačové hry.

Je-li nějaký model dobře utvořen, může být používán velmi variabilně, přesouvá se tak ale zároveň odpovědnost na nižší instance (podobně jako v decentralizované státní správě), od tvůrců modelu k aplikátorům.

V tuto chvíli také vzniká ohromný prostor pro vznik různých chyb. Je třeba si uvědomit, že naprosto zásadní je používání pojmů tak, jak byly použity při vytváření modelu. Toto se jeví nasnadě u verbálních modelů, ale problém s objektivitou a přirozeným vnímáním pojmů prostupuje i modely formalizovanými.

Snad dobrým příkladem je pojem času. V lečterém oboru je čas chápán různě, většinou, pokud se v nějakém formalizovaném modelu, dobře orientuje, není ani třeba problém říci, jak pro naše potřeby čas měřit. Poté se třeba ve vzorci může objevit jako „t“. Poněkud krkolomné bude, pokud se budeme snažit formulovat, co to ten čas je. Opět asi nenajdeme obecně platnou krátkou a výstižnou definici. Smíříme se tedy s „t“ a spokojíme se, že pokud dobře dosadíme za „t“ náš model bude fungovat. Funguje mnoho vzorečků obsahujících „t“ a není nutné pátrat po nějaké fyzické entitě čas. Jde o to nechat na odpovědnosti aplikátorů jak s touto entitou budou nakládat.

V současnosti se tento trend poměrně dost prosazuje, kdy vznikají jakási prázdná schémata, která se pro jednotlivé studie plní daty a modifikují a je ponechána volba mnoha parametrů na tom, kdo je u problému blíž.

Těžko pak ale tvrdit, že něco objektivně vyšlo, je třeba vědět, že to zcela objektivně ani vyjít nemohlo, protože do celého procesu od tvorby modelu přes získávání dat až po zpracování výsledků vstupuje tolik neobjektivních parametrů, že je potřeba za každý výsledek vidět lidi, kteří ho vytvořili.

Další zdrojem možných chyb je dle mého soudu samotné stochastické chování modelu a jeho ne vždy přesná interpretace, je vždy nutné si uvědomovat omezené možnosti modelu a nevěřit výsledkům, které sice mohly vyjít, ale jsou interpretovány neúplně. Interpretace je samozřejmě opět osobní odpovědností autora studie.

V poslední části jsem opomenul verbální modely, tak tedy podotýkám, že objektivita výsledků u verbálních modelů, je pravděpodobně ještě mnohem problematičtější. Tak jak se s tímto problémem neustále setkáváme například u historických věd při výkladu určitých událostí.

Postřehy odjinud (namísto poznámek)

Váš článek Pořádek, nepořádek, chaos a turbulence mne zaujal také citací Lucretia, který k popisu přerodu chaosu v turbulentní pořádek použil verbální model a stejně tak Vaše další přeformulování (jak sám přiznáváte provokativní) nese určité znaky právě příznačné pro verbální modely. Je to opravdu tak, že to, co dnes nazveme článkem, v podstatě považuji za verbální model se všemi úskalími, kterými si filozofie (přes pozitivismus až k samotné lingvistice) již prošla, totiž vždy nejednotného výkladu jednotlivých pojmů a spoléhání na jejich přirozené chápání. Tuto mou domněnku o vratkosti verbálních modelů snad podpoří i to, že chceme-li verbální model opřít o něco jakoby pevnějšího, jistějšího, přejdeme k formalizovanému modelu. Není tedy divu, že se velmi často (například i ve vašem článku Náhoda v exaktní vědě) v rámci verbálního modelu uchýlíme k použití modelu formalizovaného. Ve Vašem případě tím myslím zahrnutí matematického popisu Lorenzova systému do Vašeho článku.

Zopakuji tedy na závěr to, co jsem uvedl výše v textu; jsme svědky jakési konvergence obou rodin modelů a můžeme jen doufat, že tato konvergence bude ku prospěchu věci. Stejně tak jako na nás mechanicih bude, abychom nezavírali oči před verbálními modely dávajícími do souvislosti široké škály problémů, přestože nejsou vždy zcela pojmově korektní, tak i uživatelé verbálních modelů z řad společenských vědních oborů patrně stále častěji budou užívat nástroje formalizovaných modelů.

Jan Kolínský
jan.kolinsky@fs.cvut.cz