

# Král – muž + žena = královna

Umělá inteligence přitahovala Tomáše Mikolova takřka od prvního setkání s počítačem. Jeho talentu, který se rozvíjel nejdřív na Vysokém učení technickém, si brzy povšimli v Microsoftu a Googlu. Dnes pracuje ve Facebooku na zásadním úkolu: na vývoji obecné umělé inteligence. Ta nám, jak věří Mikolov, pomůže vyřešit problémy, na které lidstvo samo nestačí.

text **EVA BOBŮRKOVÁ**

**VÍTE, JAK vysoké máte IQ?** — Kdysi dávno jsem si IQ měřil podle nějakého časopisu, ale věrohodné testy Mensy jsem si nikdy nedělal.

**Nicméně už jako dítě jste prý byl mimořádně nadaný, v osmi letech jste programoval...** — V našem oboru se pohybuje hodně lidí, kteří programovali od mala. Nejsem úplně výjimečný. Ale poměrně brzy se mi podařilo vymyslet zajímavé algoritmy, například algoritmus Monte Carlo, kde pomocí náhodných čísel můžete přibližně odhadnout výsledek výpočtu, který by se analyticky řešil hodně těžko. Když mi bylo asi deset, použil jsem tento postup při matematické olympiádě, ale tehdy mi to neuznali. Škoda.

**Tak jste měl asi jasno, co budete dál studovat.** — Od začátku mě zajímala umělá inteligence. Když jsem poprvé viděl v roce 1991 počítače, všichni kolem je vnímali jako prima věc na hraní her, skákali jim tam panduláci, byla to docela sranda, ale mě tehdy napadlo, že by mohly umět mnohem víc. Dnes to víme všichni.

**A co jste myslel tím mnohem víc?** — My lidé udržíme v pracovní paměti šest sedm věcí, trénovaný člověk třeba osm, a za tuto hranici se nedostaneme. Totéž platí u vizuální nebo audio paměti, máme různá omezení. Počítač tyto limity nemá, ale zase umí jen to, na co ho naprogramujeme. Kdybychom dokázali vytvořit program simulující myšlení, pak by mohly počítače vymyslet všechno, co my, ale bez biologických limitů. Můžeme jen přemýšlet, jakého maxima umělá inteligence může dosáhnout. Jsem přesvědčen, že nás může posunout nepředstavitelně daleko.

**Zatímco řada lidí se umělé inteligence bojí, vy naopak vyjadřujete přesvědčení, že by nám mohla pomoci vyřešit i planetární**

**problémy, ekologické katastrofy. Jak?** — Hodně lidí, kteří se zabývají obecnou umělou inteligencí (umělá inteligence je naprogramována k řešení určitých problémů, „vyšší“ obecná umělá inteligence by měla být schopná samoučení a adaptace na změnu podmínek, pozn. aut.), sklouzne k tomu, že se nevěnují vývoji technologie, ale spíš o ní filozofují a předvídají, co bude za sto let. Však je to taky mnohem snazší. Tihle lidé často rozvíjejí nikam nevedoucí úvahy, jestli je vůbec dobře na umělé inteligenci pracovat, jestli nás v budoucnu nezničí. Můj názor je, že součástí inteligence není motivace. Aby se umělá inteligence obrátila proti nám, museli bychom do ní takovou motivaci vložit. Lidé si někdy představují, že umělá inteligence rovná se něco jako člověk v počítači, ale pokud se od tohoto pohledu oprostíte, uvidíte ji jen jako komplexní algoritmus, schopný řešit komplexní problémy, a to právě i ty, které jsou pro nás lidi příliš složité. Nebude dělat něco sama od sebe. Bude naším nástrojem.

**Počítač tedy nebude vybaven například agresivitou či touhou po moci, které jsou vlastní právě živým tvorům.** — Pokud bychom měli umělou inteligenci vybavit motivací, tak můžeme zadat, aby jí byla spolupráce s lidmi a plnění našich cílů. My nechceme vyvinout zcela nezávislý umělý život fungující na jiném principu, než je náš biologický, divergentní k lidské kultuře, ten bychom pravděpodobně ani nedokázali pochopit a nebyl by nám užitečný. Vlastně se můžeme na tyto filozofické problémy podívat z opačné strany: co když nakonec největší hrozbou civilizace je, že zamrzne na současném technologickém stupni a nebudeme schopni se posunout dál, nebudeme schopni řešit problémy, které přesahují možnosti nejen našeho mozku, ale i společnosti? Schopnosti společnosti dlouhodobě

plánovat, nejen v horizontu příštích voleb? Třeba právě v ekologii?

**Jak by zde mohla umělá inteligence pomoci?** — Schopnost myslet a plánovat do budoucna přece roste s inteligencí. Politiky volí voliči. Pokud by běžná populace měla v symbióze s umělou inteligencí IQ v průměru o 50 bodů vyšší, tak zvolí takové, kteří hledí za horizont volebního období. Problémy s plastovým odpadem nebo znečištěním ovzduší by se pak řešily mnohem dříve. Zní to asi trochu utopicky, ale ono už se to částečně děje. Zatím nám počítače umožňují lepší přístup k informacím, jsou naší externí paměti. Tento trend bude pokračovat dál. A zároveň, když se člověk podívá na stav naší planety, je jisté, že mnoho problémů je důsledkem naší omezené inteligence a neschopnosti společnosti přijímat dlouhodobě výhodná rozhodnutí.

**Snad bude tento vývoj rychlejší než zkáza.** — Dle některých úvah by ve vesmíru měla existovat spousta životních forem. Přes všechny snahy však nenacházíme žádné jejich signály. Třeba je to proto, že většina civilizací, které dospějí na určitý stupeň vývoje, sama sebe zničí.

**To nezní příliš optimisticky. Jak k vývoji umělé inteligence, která nás zachrání, chcete přispět? Původně jste se na vysoké škole začal zabývat neuronovými sítěmi. Do těch se kdysi vkládala velká naděje, ta však už dávno pohasla...** — Umělé neuronové sítě jsou matematické modely, které, jak se doufalo, měly napodobit funkci neuronů v mozku. Vědci se již v padesátých letech pokusili sestavit první matematický zjednodušený model funkce neuronů – perceptron, ale po prvotním nadšení se ukázalo, že nejsou schopny vyřešit ani některé dosti jednoduché problémy. Takže



Snímek Stanislav Vaněk, Pentax K-111

## Ing. Tomáš Mikolov, Ph.D. (\*1982)

Narodil se v Šumperku, vystudoval VUT v Brně, obor informační technologie, kde také získal doktorát. Zabývá se umělou inteligencí, dosáhl významných úspěchů v tzv. vektorové reprezentaci slov, stál za významným vylepšením překladače Google Translate. Po stáží v Microsoftu a práci v Google Brain zvolil angažmá ve Facebooku, kde se zabývá obecnou umělou inteligencí. Zároveň se stal hostujícím vědcem na ČVUT a Karlově univerzitě. V roce 2018 dostal cenu Neuron v oboru počítačových věd.

vážně. Ale v letech 2009-2011 se mi podařilo několik průlomových kroků. Dokázal jsem trénovat speciální typ neuronových sítí, kterým se říká rekurentní a které byly do té doby považované za nenatrénovatelné. [Rekurentní sítě nejsou pouze dopředné a mají svoji paměť, pozn. red.] Vymyslel jsem několik vcelku jednoduchých triků a od roku 2010 začaly fungovat velmi dobře, jak na jazykovém modelování, tak na rozpoznávání řeči a automatickém překladu. Tyto modely pak vedly ke skokovým vylepšením na mnoha standardních úlohách.

**To jste byl ještě studentem VUT.** — Byl jsem tehdy na stáži na univerzitě Johns Hopkins v Baltimoru. U Bedřicha Jelínka alias Fredericka Jelinka, Čechoameričana, který předtím 20 let vedl slavnou výzkumnou skupinu v IBM. Vymysleli tam kdysi statistické přístupy pro rozpoznání řeči a pro strojový překlad. To bylo převratné, většina vědecké komunity tehdy statistický pohled odmítala, říkalo se, že pokud chceme vyřešit automatický překlad, musíme napsat lingvistická pravidla a také perfektně zvládnout větný rozbor. Fred Jelinek naopak tvrdil, že nepotřebujeme mít experta na lingvistiku, fonetiku a gramatiku, stačí, když sestavíme matematické modely, ukážeme jim příklady slov a audiozáznamů a budeme je na nich trénovat, abychom postupně maximalizovali pravděpodobnost, že pro danou větu vygeneruje správný přepis na slova. Takový slavný a zajímavý vědec českého původu to byl, a přitom tady u nás ho skoro nikdo nezná. Takže já jsem jako student zásadně vylepšil to, co Fred a jeho kolegové vymysleli.

**Tam už jste ale pracoval s anglickými slovy.** — Ano, když jsem ukazoval své výsledky na češtině, lidé pochybovali, zlepšení bylo

výzkum na dvacet let zamrzl. A takhle se střídala období nadějí a zklamání. Dnes už víme, že perceptrony skutečné neuronové sítě v mozku nenapodobují ani zdaleka, ale pro některé úlohy jsou dosti užitečné. Já jsem začal pracovat na neuronových sítích v roce 2006, když jsem si vybral jako téma diplomové práce jazykové modelování. Přišlo mi, že by měly být schopny shlukovat text tak, aby podobné věty a podobná slova měly podobné interní reprezentace, což klasické n-gramové modely neuměly. Strojový překlad viděl slova úplně oddělená, třeba slova bílá, modrá, zelená, červená neměly žádné společné parametry, proto také ze začátku Google překladač produkoval úplně

nesmysly. Neuronová síť podobnost mezi slovy vidí, dokáže reprezentovat slova a věty jako vektory.

**Práce na neuronových sítích vám vynesla pracovní nabídku od Google. To bylo v roce 2012. Čím jste byl pro ně zajímavý?** — Tehdy už jsem řadu let dělal na jazykovém modelování, automatickém rozpoznávání řeči a strojovém překladu a měl jsem ve svém oboru nejlepší výsledky na světě. Ze začátku jsem používal jednodušší neuronové modely, ty sice fungovaly dobře, ale byly pomalé. A i když jsem rozpoznávání řeči výrazně zlepšil, bylo to na českých datech, což mezinárodní komunita nebrala moc



prostě „příliš velké, aby to byla pravda“, jak mi tehdy řada vědců sdělila. Když jsem výsledky ukázal na anglických datech a ještě jsem svůj kód nabídl jako open source program, takže si jej mohli ostatní stáhnout, natrénovat na svých datech, ověřit si, že to nejen není zfalšované, ale že to opravdu funguje, bylo vše rázem jinak. Ozývali se mi lidé z IBM, Googlu, Microsoftu a mnoha dalších firem, pozvali mě na stáž do Microsoft Research i do Googlu. Chtěl jsem zkusit obojí, nakonec jsem šel nejdříve na stáž v Microsoft Research a pak pracovat na stálou pozici do Googlu v Kalifornii. Jen jsem si mezitím ještě zaletěl na chvíli do Brna obhájit dizertačku a nastoupil jsem.

**V Googlu jste dosáhl dost velkého úspěchu, že? Ale vydržel jste tam jen dva roky...** — Práce to byla hodně zajímavá, ale prostředí v Silicon Valley mi přišlo dost nudné, když je člověk zvyklý na evropská města, kde se můžete procházet a vždy něco zajímavého objevíte. Lidé tam často řeší dilema, jestli bydlet „usedle“ v Silicon Valley, nebo v San Francisku a dojíždět, pak ale strávíte denně tak tři a půl hodiny denně v autobuse. To mi přišlo dost šílené. Dnes už probíhá jistá decentralizace, otevírají se pobočky všude možně. Třeba Facebook, kam jsem odešel, má velké kanceláře v New Yorku, což už je pro mnoho lidí mnohem zajímavější město, a taky pobočky v Londýně a v Paříži... Ale zpátky ke Googlu. Šel jsem tam se třemi cíli: Zaprvé jsem chtěl udělat nějaký jednoduchý projekt do začátku, abych mohl rychle ukázat, co umím. Dlouhodobější cíl bylo vylepšení Google překladače. A třetí: pracovat na té opravdové umělé inteligenci, tedy nejen na úzce zaměřených aplikacích, které jsou zajímavé, užitečné, ale nejsou pro mě tou umělou inteligencí, o které jsme mluvili, která by měla umět myslet jako my.

**Ten první cíl se zhmotnil ve vaší dnes již slavné rovnici král – muž + žena = královna?** — Tahle rovnice, která ukazuje vztahy mezi slovy, pochází ještě z doby mé stáže v Microsoftu. V Googlu jsem udělal program word2vec, pomocí něhož se daly tyto reprezentace slov trénovat strašně rychle na velkých množstvích dat. To byla dosti přelomová věc, která změnila obor zpracování přirozeného jazyka. Dřív se pro tuto úlohu používaly o dost komplikovanější architektury neuronových sítí, já jsem jejich trénování zrychlil řádově tisíckrát. Takže to byl ve své době velký krok kupředu. Ale program word2vec nebyl nějaký zásadní objev sám o sobě. Tam opravdu šlo o to, že to bylo jednoduché, velmi rychlé, open source a výsledné vektory se daly použít v mnoha dalších aplikacích.

**A ten větší úkol?** — Strojový překlad, který jsem pomohl v Googlu vylepšit pomocí



Snímek Lukáš Biba

rekurentních neuronových sítí. Začal jsem spoluprací mezi týmem Google Brain, kde jsem působil, a týmem Google Translate a také jsem vymyslel jednu z prvních modelů pro plně neuronový strojový překlad. Ten projekt dokončili a vydali až moji kolegové, když už jsem byl dávno ve Facebooku. Do produkční verze překladu do češtiny se to dostalo až předloni a musela na tom pracovat ještě spousta dalších inženýrů, aby to zrychlili, zpřesnili a zlevnili.

**Teď jste však ve Facebooku. Plníte si tedy ten nejobtížnější, nejvzdálenější cíl – vyvíjet obecnou umělou inteligenci?** — Google byl moc fajn, ale šlo tam hlavně o zlepšování existujících aplikací. Komunikoval jsem a pomáhal spouště různých týmů, které používaly word2vec a neuronové sítě na zpřesnění vyhledávače, doručování reklam a takovéto věci, které generovaly pro firmu mraky peněz – ale tohle můj sen nebyl. Když jsem se na začátku roku 2014 rozhodoval, co dál, Mark Zuckerberg zrovna budoval nový výzkumný tým, který se měl zaměřit právě na ty nejzajímavější výzkumné cíle v oblasti umělé inteligence. Vyvíjet něco, co by mohlo, ale nemuselo fungovat, kde člověk musí riskovat, ale může to být opravdu velké, byt třeba za deset i více let. Později nicméně i Google změnil priority a více se zaměřil na základní výzkum.

**Všichni se snaží o něco převratného, přelomového. Vnímáte se jako konkurence, nebo spolupracujete v zájmu onoho velkého cíle?** — Konkurence je veliká, nejen mezi firmami, ale často i uvnitř. Někdy mi to v Silicon Valley připomínalo zlatou horečku na Klondiku. Do vývoje umělé inteligence teď proudí mraky peněz, přitom většina manažerů, kteří rozhodují o tom, co se bude dělat, o umělé inteligenci ví

velmi málo. Takže se do tohoto oboru hrnuli lidé z celého světa a křičeli: Já mám řešení umělé inteligence, podívejte se na mě, kupte mě! A samozřejmě že nikdo to řešení neměl. Bylo to jak v dobách alchymistů ve středověku. Bohatí králové měli neomezené množství peněz a financovali jak vědce, tak alchymisty a různé šarlatány. Nakonec i ty sliby o kameni mudrců a elixíru mládí přežily s menšími úpravami do současnosti, a někdy se člověk až musí divit tomu, jakým způsobem se v Silicon Valley utrácejí peníze.

**Tehdy i teď asi hodně záleží na sebepropagaci.** — Bohužel kdo nejvíc času vymýšlí své PR, na tom nakonec bude líp než ten, kdo nejvíc času věnuje práci. A často někdo něco vymyslí, druhý to pak okopíruje a přejmenuje a udělá tomu velkou reklamu, objedná konferenci po celém světě a na původního autora se vlastně zapomene. Mimochodem tohle je typický problém české vědy.

**České vědy?** — No ano, kdo ve světě i tady u nás například ví, že ve výzkumu neuronových sítí se v Česku hodně udělalo? Třeba takoví František Grézl a Petr Schwarz z VUT, oba dokázali trénovat vícevrstvé neuronové sítě pro akustické modelování už před rokem 2007. Přitom všechny učebnice tehdy tvrdily, že to není možné, že klasické trénovací algoritmy nefungují, pokud má neuronová síť více skrytých vrstev. Měli výborné výsledky, ale tak nějak to vše v průběhu času zapadlo. Nakonec něco podobného objevil slavný vědec Geoff Hinton se svými studenty v Torontu a dnes už všichni vědí, že se to „vymyslelo“ v Torontu. V České republice lidé často neberou propagaci ve vědě jako něco důležitého, není to součástí místní kultury a nakonec jde hlavně o to, získat granty a peníze na další rok. To mi přijde škoda.

**A jak jste na tom se sebepropagací vy?** — Určitě jsem mohl mít lepší reklamu u rekurentních neuronových sítí vzhledem k tomu, že jsem byl první na světě, kdo je dokázal úspěšně trénovat na netriviálních problémech. Dnes už se používají různé komplikovanější verze těchto modelů, ale stále se využívají některé mnou vymyšlené triky například pro stabilizaci trénování. Většina vědců a studentů vlastně o těchto věcech neví, protože často používají kód napsaný někým jiným. Nejméně viditelné jsou objevy, které jsem udělal ještě jako student v Brně, ale to má důvodů více. Když vydáte vědecký článek v Googlu, na Stanfordu, MIT nebo ve Facebooku, tak jste zkrátka vidět mnohem více, než když ten stejný článek vyjde na brněnské univerzitě. A pak samozřejmě platí „vítěz bere vše“, kdy vědci ze slavných skupin někdy prezentují jako vlastní i to, co se vymyslelo někde jinde. Takže Fred Jelinek, František Grézl, Petr Schwarz a další jsou lidé, o nichž se u nás ví mnohem méně, než by si zasloužili.

**Jste ochoten v této věci pomoci? Rozvíjet, propagovat, podporovat českou vědu?** — Plánuji přesun do Evropy, Facebook má výzkumnou pobočku v Paříži. Mám od nich již slíbené peníze, asi čtvrt milionu dolarů na podporu několika studentů, kteří se v ČR zabývají základním výzkumem umělé inteligence. Mám domluvenou návštěvnickou pozici na CIIRC a na UK. A to považuji za začátek, do budoucna bych si přál, aby v Praze vznikla výzkumná skupina u větší technologické firmy, jako je Facebook nebo Google. Lidé i výsledky na to máme. Jen zlepšit propagaci. Když už člověk něco zajímavého objeví, tak to taky musí ostatním říct.

**V jakém stadiu se vlastně nachází vývoj obecné umělé inteligence?** — Existuje spousta názorů, jak bychom ji mohli vytvořit, dokonce existují i názory, proč ji vytvořit nelze. Dříve jsem věřil, že lepší, přesnější modely jazyka můžeme použít v budoucnu jako základ pro umělou inteligenci, která bude chápat jazyk, a že bude stačit přidat jenom nějakou jednoduchou komponentu na základě zpětnovazebního učení. Ale už když jsem na těchto přístupech ještě jako student pracoval, začal jsem být skeptický. Protože vztahy mezi slovy, které my lidé vidíme jako zcela triviální, jsou i pro nejlepší současné počítačové modely neviditelné. Tedy podobný problém jako u neuronových sítí, existuje určitá skupina pravidelností v datech, my je vidíme zcela jasně, ale modely nejsou schopné je odhalit. I rekurentní sítě, které jsou dnes považované za nejkomplicovanější a nejambicióznější modely s nejlepší schopností reprezentovat vztahy třeba právě v jazyce, mají mezery a nejsou

schopné generalizovat tak, jak bychom očekávali. Například se nenaucí zapamatovat si a reprodukovat větu o n slovech, kde n není předem dané. Jejich paměť je v mnoha ohledech velmi limitovaná. Na této technologii tedy umělou inteligenci asi nevybudujeme. Je třeba další výzkum, a kdo ví, možná že umělá inteligence budoucnosti nebude vůbec postavená okolo umělých neuronových sítí. Vše je stále otevřené.

**Tyto modely prostě v určitém bodě končí.** — Jsou velmi dobré, když mají něco memorizovat. Ale neumějí generalizovat zdaleka tak dobře, jak bychom potřebovali. Je to taková papouščí inteligence. Papoušek může říct  $E = mc^2$ , ale rozhodně není chytrý jako Einstein, jenom se naučil zopakovat něco, čemu ve skutečnosti vůbec nerozumí. Umělá inteligence zdánlivě postupuje rychle dopředu. Například začneme psát na počítači větu a vypadne na nás pokračování. Nejpravděpodobnější pokračování. Třeba: Smyslem života je... a počítač dopoví – žít, být šťastný. Zní to úžasně filozoficky. Ale počítač jen vytáhl tu větu z trénovacích dat, není to jeho inteligence, ale jen zrcadlo, které nám vrací to, co tam člověk zadal. Ty zázračné výsledky, které dnes můžeme v oboru AI sledovat, spočívají často jen v tom, že přibývá trénovacích dat, která však vygenerovali lidé.

**Tedy ani vítězství stroje ve hře go není posun?** — Když chceme hrát s počítačem dámu, jsme schopni vymyslet algoritmy, které projdou celý stavový prostor hry, počet kombinací není příliš vysoký. Když přejdete na šachy, tam už je stavový prostor mnohem větší, proto si někteří vědci ještě v osmdesátých letech mysleli, že počítač bude hrát šachy lépe než člověk až poté, co vymyslíme onu obecnou umělou inteligenci. Nakonec se ukázalo, že stačí, když vědci z IBM stráví nad problémem dostatek času. Natrénovali systém tak, že prošel nejpravděpodobnější smysluplné kombinace, a to bylo dost na porážku šachového velmistra Kasparova. A go? Pro mě je to to samé v bleděmodrém. V první verzi programátoři nacpali do systému své znalosti o fungování hry. Další verze mají vylepšenou heuristiku, už nemusí být zadána ručně. Stále ale jde hlavně o procházení velmi velkého stavového prostoru.

**Zpracování jazyka je tedy pro počítač těžší úkol?** — Velice jsme vylepšili výsledky rozpoznání řeči atd., máme větší modely, více trénovacích dat, dokážeme shlukovat slova, a tím i sdílet parametry mezi stejnými a podobnými slovy, což se projevilo v tom, že překladač se zpřesnil, generuje lepší češtinu. Ale pořád je to stejný princip jako z osmdesátých let: pokud se pokusím překládat velmi specifický text, který se liší od

trénovacích dat, tak bude překlad mizerný. Dokud zase neposkytnu překladači spousty dat k trénování. Současné učící algoritmy moc negeneralizují, proto potřebují těch příkladů strašně moc, mnohem více než lidé.

**V čem tedy vidíte tu správnou cestu k vytvoření opravdu inteligentní umělé inteligence? A věříte, že brzo dosáhnete nějakého zásadního pokroku, světového úspěchu?** — Kdybych nebyl aspoň trochu optimista, tak bych na tom nemohl dělat. Věřím, že k umělé inteligenci mám ještě co říct. A nápadů, které můžou vést ke skokovým vylepšením, taky pár mám. Týkají se matematických modelů evoluce. Podle mne není nejlepší cestou inspirovat se ve funkci mozku v jeho dnešní podobě, spíš bychom měli studovat evoluci inteligence, tedy mechanismus, který dal mozku vzniknout. A zkoumat, jak se během času jeho složitost a schopnosti zvyšovaly a jak tento proces můžeme přenést do matematických modelů.

**Napoví nám evoluce jazyka?** — Jazyk vznikl možná někdy před 100 tisíci lety a určitě nebyl původně tak komplikovaný jako dnes. U hominidů šlo pravděpodobně spíš o výměnu jednoduchých informací ve stylu: Tam na stromě jsou banány, tam číhá tygr a tam nechoď. Pak se slovník zesložitoval, počet slov, kterými jsme v jazyce schopni reprezentovat myšlenky, narůstal. A naše inteligence je jazykem zásadně ovlivněná – pokud něco nejsme v jazyce schopni vyjádřit, pak o tom nejsme schopni ani přemýšlet, pak to pro nás vlastně ani neexistuje. Což je zajímavé při pohledu napříč kulturami, některé jsou schopny popsat to, co jiné ani nevidí. Některé mají například více názvů pro odstíny bílé nebo modré barvy, my ty rozdíly nejsme schopni rozeznat, i když máme stejné oči, ale používáme jiný jazyk. Pohled na vývoj jazyka jako na dynamický systém se zvyšující se složitostí je proto velmi zajímavý.

**Tak to je ta cesta?** — Existují určité komplexní matematické modely, kde může v průběhu času narůstat složitost, což není případ statických neuronových sítí, které se neustále snaží zpřesnit, přiblížit k optimálnímu řešení. Tyto komplexní modely jsou naopak schopny divergence, často můžeme pozorovat i chaotické chování, a proto by mohly být oněmi modely evoluce, velmi zajímavými pro vývoj umělé inteligence. Inteligence je zásadně spojená s jazykem. Z určitého pohledu je jazyk sám dynamický systém, stejně jako život i mozek. Než popsat současnou složitost mozku, může být jednodušší popsat dynamický systém, který dává vzniknout oné složitosti. To je můj pohled. ●