

Otevírá umělá inteligence cestu k porozumění lidské řeči?

Biologické inspirace informatiky
Akademie věd ČR

Ondřej Bojar, ÚFAL



Charles University
Faculty of Mathematics and Physics
Institute of Formal and Applied Linguistics



unless otherwise stated

- Počítačová lingvistika a její aplikace.
- Obtížnost strojového překladu (machine translation, MT).
- Neuronová ~~neurální~~ revoluce ve strojovém překladu
 - Neuronový strojový překlad (NMT) stručně.
 - Hluboké učení na 3 slidy.
 - Ukázky výstupů, výsledky.
 - Jak a co se hluboké neuronové sítě se učí.
- Vize: Pro studium jazyka pitvejme NMT, nikoli mluvčí.

Počítačová lingvistika a její aplikace



Kontrola překlepů. Kontrola pravopisu.
Vyhledávání dokumentů (na webu). Sumarizace textů.
Syntéza a rozpoznávání řeči. Dialogové systémy.
Strojový překlad (mluvené řeči).

Proč je překlad těžký?

- Idiomatická spojení (kick the bucket, beat around the bush).
- Frázová a nepravidelná slovesa (run on, run off, run after).

Proč je strojový překlad těžký?

- Idiomatická spojení (kick the bucket, beat around the bush).
- Frázová a nepravidelná slovesa (run on, run off, run after).

- Víceznačnost a význam slov.
- Cílový slovní tvar.
- Negace.
- Koordinace.
- Zájmena.
- Pořádek slov (tj. i vzdálenost mezi slovy).

Proč je strojový překlad těžký?

- Idiomatická spojení (kick the bucket, beat around the bush).
- Frázová a nepravidelná slovesa (run on, run off, run after).
- **Víceznačnost a význam slov.**
- **Cílový slovní tvar.**
- **Negace.**
- Koordinace.
- Zájmena.
- Pořádek slov (tj. i vzdálenost mezi slovy).

Víceznačnost a význam slov

The plant is next to the bank.

Víceznačnost a význam slov

The plant is next to the bank.
Spal celou Petkevičovu přednášku.
Ženu holí stroj.

Víceznačnost a význam slov

The plant is next to the bank.
Spal celou Petkevičovu přednášku.
Ženu holí stroj.

SRC	One tap and the machine issues a slip with a number.
REF	Jedno ťuknutí a ze stroje vyjede papírek s číslem.
ÚFAL 2011a	Z jednoho <u>kohoutku</u> a stroj vydá složenky s číslem.
ÚFAL 2011b	Jeden <u>úder</u> a stroj vydá složenky s číslem.
Google 2011	Jedním klepnutím a stroj <u>problémy skluzu</u> s číslem.

Víceznačnost a význam slov

The plant is next to the bank.
Spal celou Petkevičovu přednášku.
Ženu holí stroj.

SRC	One tap and the machine issues a slip with a number.
REF	Jedno ťuknutí a ze stroje vyjede papírek s číslem.
ÚFAL 2011a	Z jednoho <u>kohoutku</u> a stroj vydá složenky s číslem.
ÚFAL 2011b	Jeden <u>úder</u> a stroj vydá složenky s číslem.
Google 2011	Jedním klepnutím a stroj <u>problémy skluzu</u> s číslem.
Google 2017–8	Jeden <u>kohoutek</u> a zařízení vydává <u>skluzu</u> s číslem.
ÚFAL 2018	Jedno klepnutí a přístroj vydá lístek s číslem.

Při překladu je nutno pochopit vstup

I saw two green striped cats .

... a možnosti se násobí ...

I	saw	two	green	striped	cats	.
já	pila	dva	zelený	pruhovaný	kočky	.
	pily	dvě	zelená	pruhovaná	koček	
	...	dvou	zelené	pruhované	kočkám	
	viděl	dvěma	zelení	pruhovaní	kočkách	
	viděla	dvěmi	zeleného	pruhovaného	kočkami	
	...		zelených	pruhovaných		
	uviděl		zelenému	pruhovanému		
	uviděla		zeleným	pruhovaným		
	...		zelenou	pruhovanou		
	viděl jsem		zelenými	pruhovanými		
	viděla jsem		...	...

Do češtiny navíc musíme trefit tvar...

I	saw	two	green	striped	cats	.
já	pila	dva	zelený	pruhovaný	kočky	.
	pily	dvě	zelená	pruhovaná	koček	
	...	dvou	zelené	pruhované	kočkám	
	viděl	dvěma	zelení	pruhovaní	kočkách	
	viděla	dvěmi	zeleného	pruhovaného	kočkami	
	...		zelených	pruhovaných		
	uviděl		zelenému	pruhovanému		
	uviděla		zeleným	pruhovaným		
	...		zelenou	pruhovanou		
	viděl jsem		zelenými	pruhovanými		
	viděla jsem		...	...

... přičemž tvar závisí na kontextu ...

I	saw	two	green	striped	cats	.
já	pila	dva	zelený	pruhovaný	kočky	.
	pily	dvě	zelená	pruhovaná	koček	
	...	dvou	zelené	pruhované	kočkám	
	viděl	dvěma	zelení	pruhovaní	kočkách	
	viděla	dvěmi	zeleného	pruhovaného	kočkami	
	...		zelených	pruhovaných		
			zelenému	pruhovanému		
			zeleným	pruhovaným		
	...		zelenou	pruhovanou		
	viděl jsem		zelenými	pruhovanými		
	viděla jsem		...	...

zrak mi utkvěl na

viděl jsem

viděla jsem

Obtížnost vyhodnocování kvality překladu

Kolik je správných překladů následující věty?

And even though he is a political veteran,
the Councilor Karel Brezina responded similarly.

Obtížnost vyhodnocování kvality překladu

Příklady ze 71 tisíc správných překladů anglické věty:

And even though he is a political veteran,
the Councilor Karel Brezina responded similarly.

A ačkoli ho lze považovat za politického veterána, radní Brezina reagoval obdobně.

Ač ho můžeme prohlásit za politického veterána, reakce radního Karla Breziny byla velmi obdobná.

A i přestože je politický matador, radní Karel Brezina odpověděl podobně.

A přestože je to politický veterán, velmi obdobná byla i reakce radního K. Breziny.

A radní K. Brezina odpověděl obdobně, jakkoli je politický veterán.

A třebaže ho můžeme považovat za politického veterána, reakce Karla Breziny byla velmi podobná.

Byť ho lze označit za politického veterána, Karel Brezina reagoval podobně.

Byť ho můžeme prohlásit za politického veterána, byla i odpověď K. Breziny velmi podobná.

K. Brezina, i když ho lze prohlásit za politického veterána, odpověděl velmi obdobně.

Odpověď Karla Breziny byla podobná, navzdory tomu, že je politickým veteránem.

Radní Brezina odpověděl velmi obdobně, navzdory tomu, že ho lze prohlásit za politického veterána.

Reakce K. Breziny, třebaže je politický veterán, byla velmi obdobná.

Velmi obdobná byla i odpověď Karla Breziny, ačkoli ho lze prohlásit za politického veterána.

Invitatio.

Einleitung.



Základem MT je opisování

M. Veni, Puer!
disce Sapere.

P. Quid hoc est,
Sapere?

M. Omnia,

L. Komm her! Knab!
lerne Weisheit.

S. Was ist das/
Weisheit?

L. Alles!

1: Vezmi dvojice trénovacích vět

Nemám žádného psa.

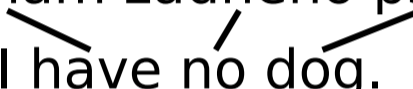
I have no dog.

Viděl kočku.

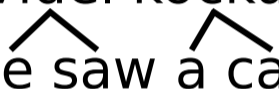
He saw a cat.

2: Zarovnej k sobě slova

Nemám žádného psa.
I have no dog.



Viděl kočku.
He saw a cat.



3: Získej překlady “frází”

Nemám žádného psa.
I have no dog.

Viděl kočku.
He saw a cat.

4: Přejde nový vstup

Nemám žádného psa.
I have no dog.

Viděl kočku.
He saw a cat.

New input: Nemám kočku.

5: Použij známé fráze...

Nemám žádného psa.

I have no dog.

Viděl kočku.

He saw a cat.

... I don't have cat.

New input:

Nemám kočku.

I have

6: ...aby byl výstup plynulý

Nemám žádného psa.

I have no dog.

Viděl kočku.

He saw a cat.

... I don't have cat.

New input:

Nemám kočku.

I have a cat.

7: ...a takhle to dopadlo před rokem 2016.

Nemám žádného psa.
I have no dog.

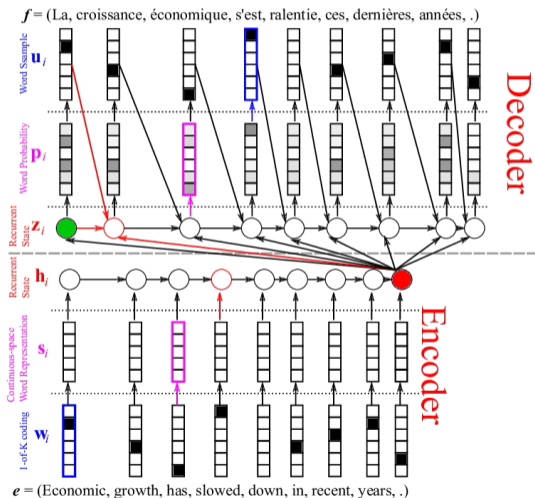
Viděl kočku.
He saw a cat.

... I don't have cat.

New input:

Nemám kočku.
I have a cat. ❌

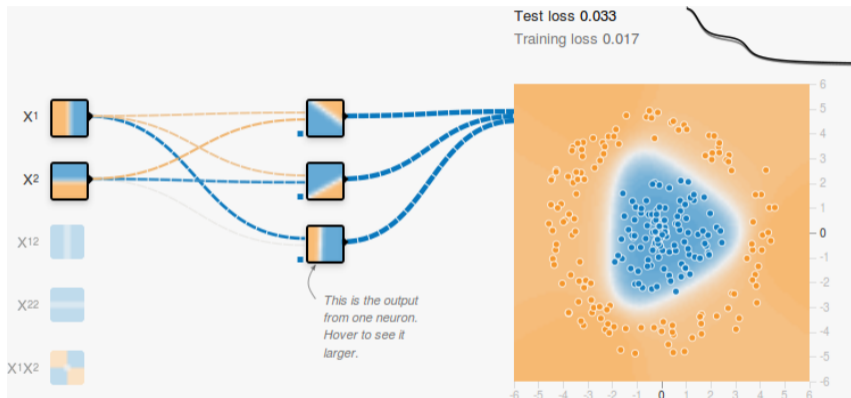
Neuronový neurální strojový překlad



← Model z roku 2014.

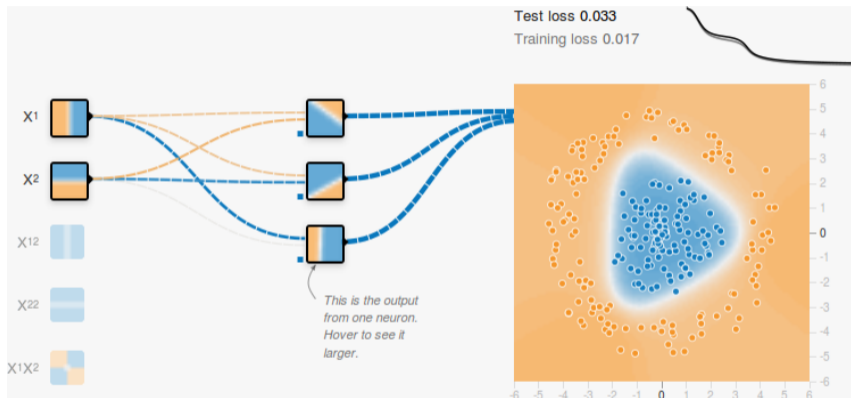
- Od té doby tři čtyři generace dalších.

?); <https://devblogs.nvidia.com/parallelforall/introduction-neural-machine-translation-gpus-part-2/>



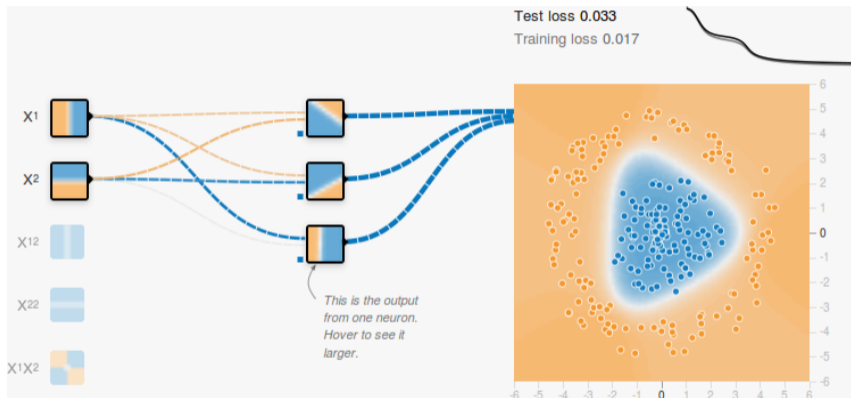
$$\begin{aligned} & -0.43x_1 - 0.89x_2 + 2.0 > 0 \\ \text{a } & -0.67x_1 + 0.89x_2 + 2.1 > 0 \\ \text{a } & 1.4x_1 - 0.067x_2 + 2.3 > 0 \end{aligned}$$

“Program” je jen výpočet a test...



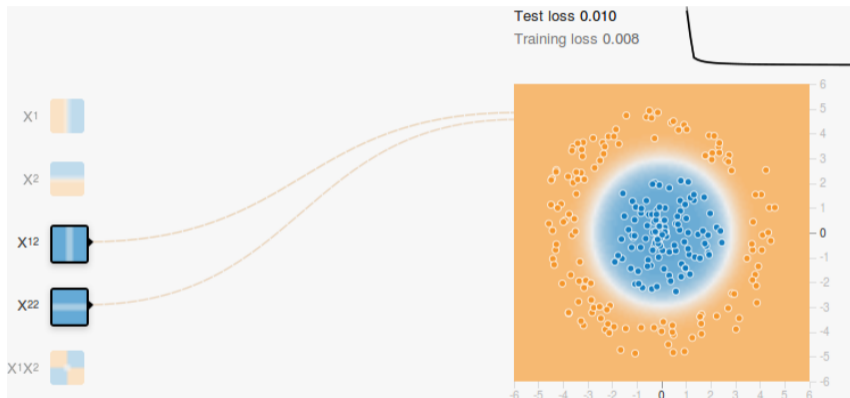
$$\begin{aligned} \text{Modrá pokud: } & 1 \tanh(-0.43x_1 - 0.89x_2 + 2.0) \\ & + 1 \tanh(-0.67x_1 + 0.89x_2 + 2.1) \\ & + 1 \tanh(1.4x_1 - 0.067x_2 + 2.3) - \pi/2 > 0 \end{aligned}$$

... s automaticky uhodnutými parametry



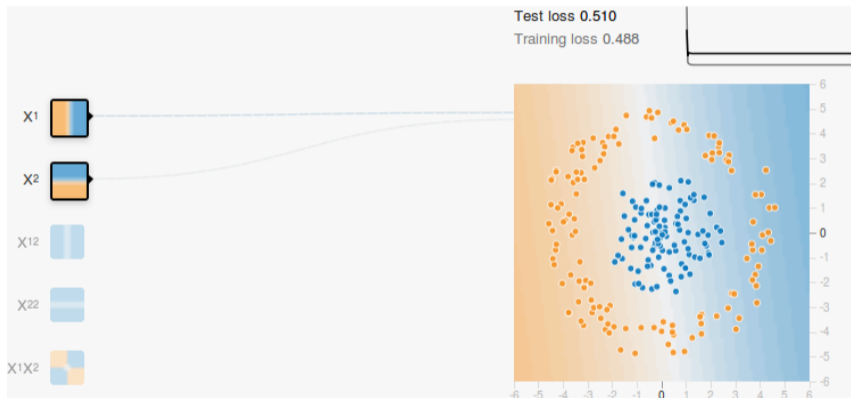
$$\begin{aligned} \text{Modrá pokud: } & 1 \tanh(-0.43x_1 - 0.89x_2 + 2.0) \\ & + 1 \tanh(-0.67x_1 + 0.89x_2 + 2.1) \\ & + 1 \tanh(1.4x_1 - 0.067x_2 + 2.3) - \pi/2 > 0 \end{aligned}$$

Ideální vstupy

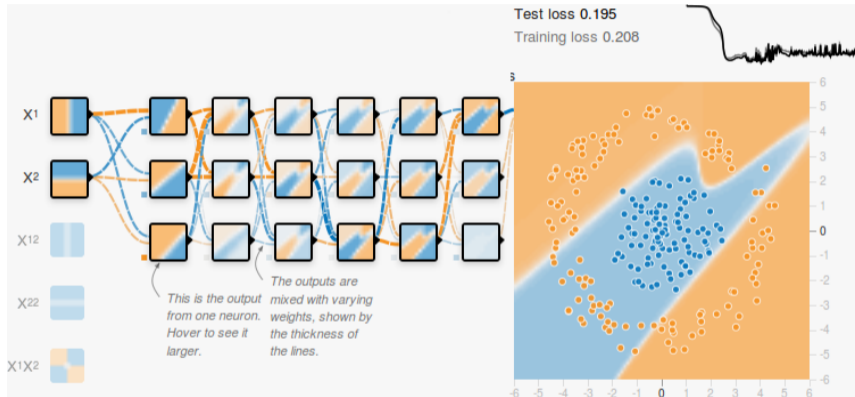


$$1x_1^2 + 1x_2^2 - 1 < 0$$

Nevhodné vstupy a malá hloubka

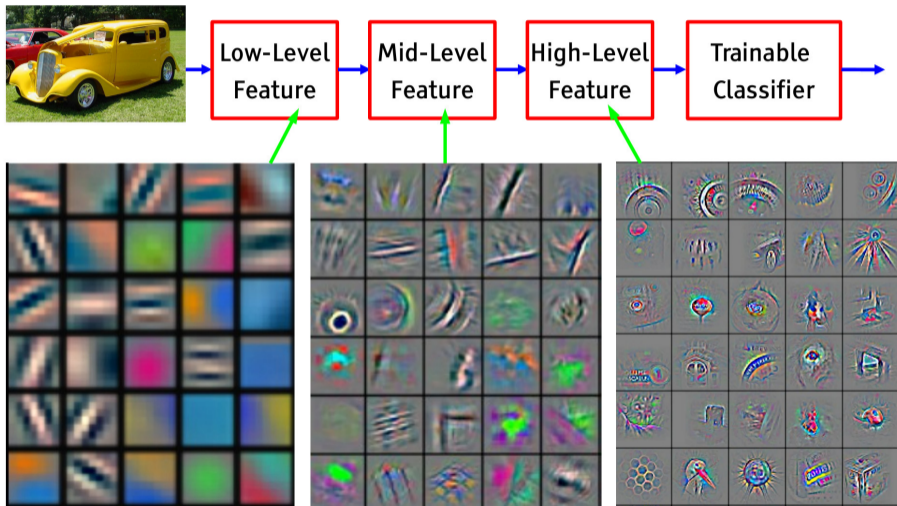


Příliš složitá síť se nenatrénuje



Hluboká síť pro klasifikaci obrázků

- It's **deep** if it has **more than one stage** of non-linear feature transformation



Hluboké sítě se učí reprezentaci

Trénování klasifikátoru:

- Na základě trénovacích dat (ukázkové vstupy a očekávané výstupy)
- se neuronová síť (neural network, NN) sama naučí
- čeho si ve vstupech všímat.

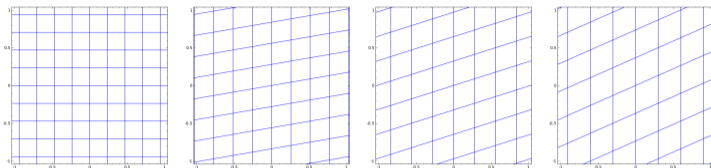
“**Reprezentace**” je **nový souřadný systém**.

- Místo 3 rozměrů (x, y , barva) dostaneme
- 2000 rozměrů: (slonovitost, počet čápů, modrost, ...)
- nalezených tak, **aby nejvíc pomáhaly uhodnout výstup**.

Změna souřadnic jednou vrstvou $\tanh(Wx + b)$

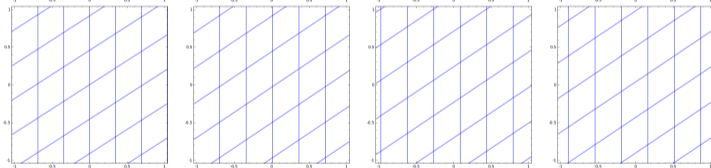
Zkosení:

W



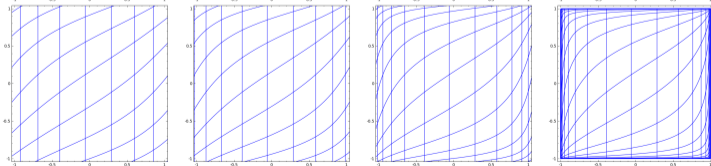
Posun:

b



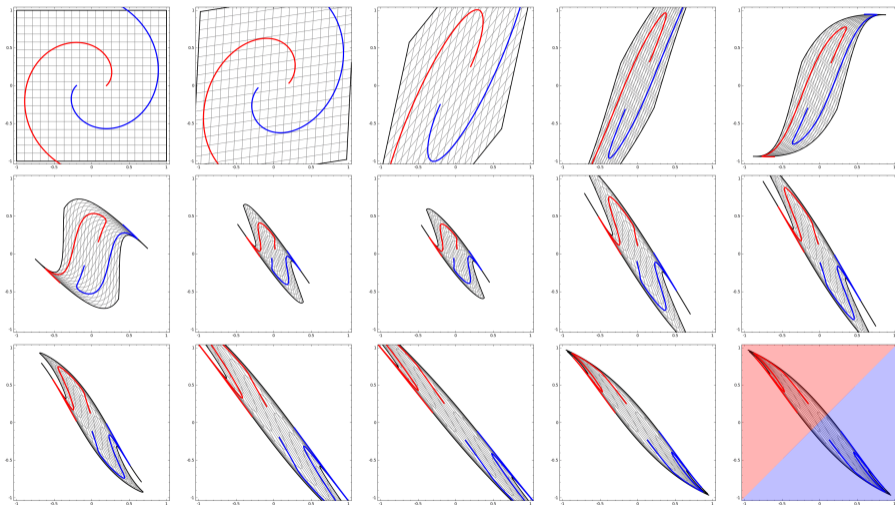
Nelinearita:

\tanh



Animace z <http://colah.github.io/posts/2014-03-NN-Manifolds-Topology/>

Čtyři vrstvy dokáží rozplést spirály



Animace z <http://colah.github.io/posts/2014-03-NN-Manifolds-Topology/>

Jak do NN nalít text?

- Každé slovo zapiš jako vektor nul a jedniček (“1-hot repr.”):

$$\text{cat} \mapsto (0, 0, \dots, 0, 1, 0, \dots, 0)$$

- Věta je pak reprezentována úzkou maticí:

		the	cat	is	on	the	mat
↑	a	0	0	0	0	0	0
	about	0	0	0	0	0	0

	cat	0	1	0	0	0	0

	is	0	0	1	0	0	0

	the	1	0	0	0	1	0

↓	zebra	0	0	0	0	0	0

Jak do NN nalít text?

- Každé slovo zapiš jako vektor nul a jedniček (“1-hot repr.”):

$$\text{cat} \mapsto (0, 0, \dots, 0, 1, 0, \dots, 0)$$

- Věta je pak reprezentována úzkou maticí:

		the	cat	is	on	the	mat
	↑	a	0	0	0	0	0
		about	0	0	0	0	0
	
Slovník:		cat	0	1	0	0	0
1.3M angličtina		...	...	...	...	...	...
2.2M čeština		is	0	1	0	0	0
	
		the	1	0	0	1	0
	
	↓	zebra	0	0	0	0	0

Jak do NN nalít text?

- Každé slovo zapiš jako vektor nul a jedniček (“1-hot repr.”):

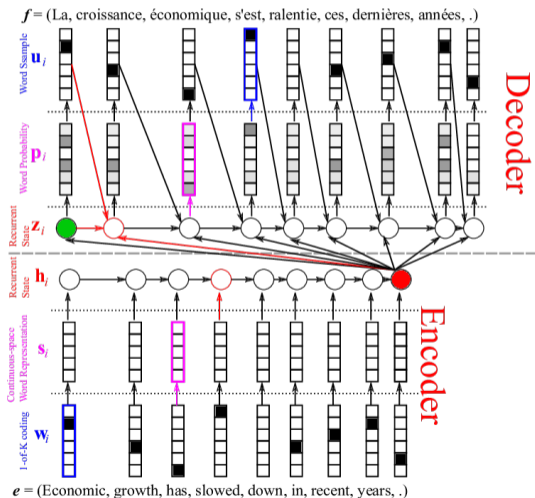
$$\text{cat} \mapsto (0, 0, \dots, 0, 1, 0, \dots, 0)$$

- Věta je pak reprezentována úzkou maticí:

		the	cat	is	on	the	mat
	↑	a	0	0	0	0	0
		about	0	0	0	0	0
	
Slovník:		cat	0	1	0	0	0
1.3M angličtina		...	...	...	...	...	...
2.2M čeština		is	0	0	1	0	0
	
		the	1	0	0	0	1
	
	↓	zebra	0	0	0	0	0

- Hned v prvním kroku se převede na “embedding”, ~2000 složek.

Neuronový strojový překlad



- **One-hot vektor** indikuje konkrétní slovo.
- **Embedding** reprezentuje slova ve spojitém prostoru \mathbb{R}^n .
- **Enkodér** pohlcuje slova a vytváří vektorovou reprezentaci celé věty (●).
- **Dekodér** z počátečního stavu ● generuje výstupní slova.

Jak byl NMT dobrý v roce 2017?

SRC A 28-year-old chef who had recently moved to San Francisco was found dead in the stairwell of a local mall this week.

Osmadvacetiletý kuchař, který se nedávno přestěhoval do San Franciska, byl tento týden nalezen mrtvý na schodišti místního obchodního centra.

Osmadvacetiletý šéfkuchař, který se nedávno přistěhoval do San Franciska, byl tento týden \emptyset schodech místního obchodu.

Jak byl NMT dobrý v roce 2017?

SRC A 28-year-old chef who had recently moved to San Francisco was found dead in the stairwell of a local mall this week.

MT Osmadvacetiletý kuchař, který se nedávno přestěhoval do San Franciska, byl tento týden nalezen mrtvý na schodišti místního obchodního centra.

REF Osmadvacetiletý šéfkuchař, který se nedávno přistěhoval do San Franciska, byl tento týden \emptyset schodech místního obchodu.

Jak byl NMT dobrý v roce 2017?

SRC A 28-year-old chef who had recently moved to San Francisco was found dead in the stairwell of a local mall this week.

MT Osmadvacetiletý kuchař, který se nedávno přestěhoval do San Francisca, byl tento týden nalezen mrtvý na schodišti místního obchodního centra.

REF Osmadvacetiletý šéfkuchař, který se nedávno přistěhoval do San Franciska, byl tento týden ∅ schodech místního obchodu.

SRC There were creative differences on the set and a disagreement.

Došlo ke vzniku kreativních rozdílů na scéně a k neshodám.
Na place byly tvůrčí rozdíly a neshody.

Jak byl NMT dobrý v roce 2017?

SRC A 28-year-old chef who had recently moved to San Francisco was found dead in the stairwell of a local mall this week.

MT Osmadvacetiletý kuchař, který se nedávno přestěhoval do San Francisca, byl tento týden nalezen mrtvý na schodišti místního obchodního centra.

REF Osmadvacetiletý šéfkuchař, který se nedávno přistěhoval do San Franciska, byl tento týden \emptyset schodech místního obchodu.

SRC There were creative differences on the set and a disagreement.

REF Došlo ke vzniku kreativních rozdílů na scéně a k neshodám.

MT Na place byly tvůrčí rozdíly a neshody.

Jak dobrý je NMT dnes?

	Ave. %	Ave. z	System
1	84.4	0.667	CUNI-TRANSFORMER
2	79.8	0.521	UEDIN
	78.6	0.483	Referenční překlad
4	68.1	0.128	ONLINE-B
5	59.4	-0.178	ONLINE-A
6	54.1	-0.354	ONLINE-G

Varování:

- Lidé překládali celé dokumenty, MT **jednotlivé věty**.
- Vyhodnocování probíhalo **po jednotlivých větách**.

MT stále dělá vážné chyby (vítěz 2017)

SRC ... Frank initially stayed in hostels...

MT ... Frank původně zůstal v **Budějovicích**...

SRC Most of the Clintons' income...

MT Většinu příjmů **Kliniky**...

SRC The 63-year-old has now been made a special representative...

MT 63letý **mladík** se nyní stal zvláštním zástupcem...

SRC He listened to the moving stories of the women.

MT Naslouchal **pohyblivým** příběhům žen.

...a někdy katastrofické chyby

SRC Criminal Minds star Thomas Gibson sacked after hitting producer

REF Thomas Gibson, hvězda seriálu Myšlenky zločince, byl propuštěn po té, co uhodil režiséra

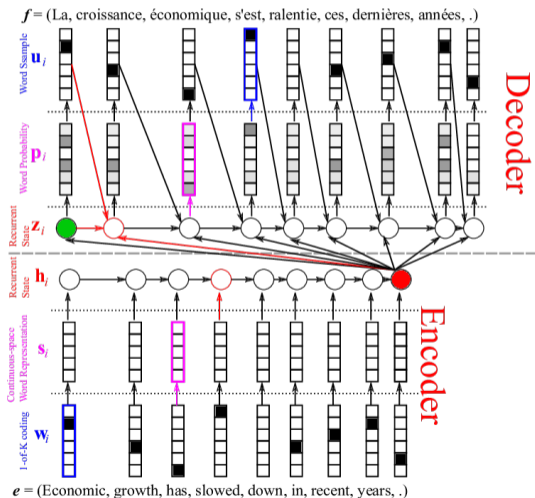
MT **Kriminalisté Minsku** hvězdu Thomase Gibsona **vyhostili** po **zásahu** producenta

SRC ...add to that its long-standing grudge...

REF ...přidejte k tomu svou dlouholetou nenávist...

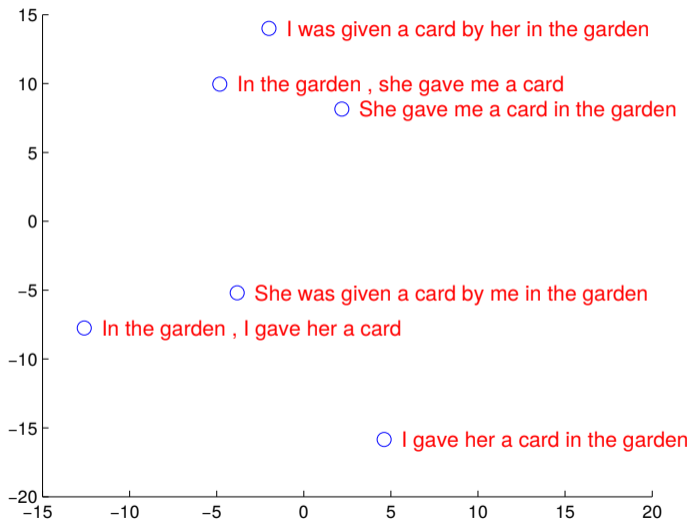
MT ...přidejte k tomu svou dlouholetou **záštitu**...
(grudge → zášť → záštita)

Reprezentuje neuronová síť věty smysluplně?



- **One-hot vektor** indikuje konkrétní slovo.
- **Embedding** reprezentuje slova ve spojitém prostoru \mathbb{R}^n .
- **Enkodér** pohlcuje slova a vytváří vektorovou reprezentaci celé věty (●).
- **Dekodér** z počátečního stavu ● generuje výstupní slova.

Někdy ano



8000-rozměrný prostor reprezentací vět promítnut do 2D (Sutskever et al., 2014).

Někdy ne

English

Czech - detected



English

Czech

Translate

Máma mele maso?

Máma maso mele?

Mele máma maso?

Mele maso máma?

Maso mele máma?

Maso máma mele?



Mum is mincing meat?

Mommy meat?

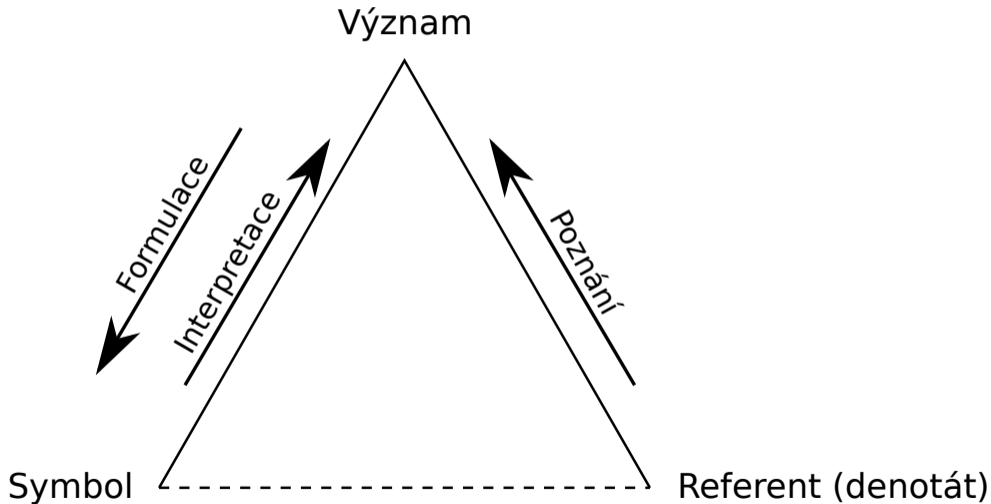
My mom's meat?

My Flesh Mum?

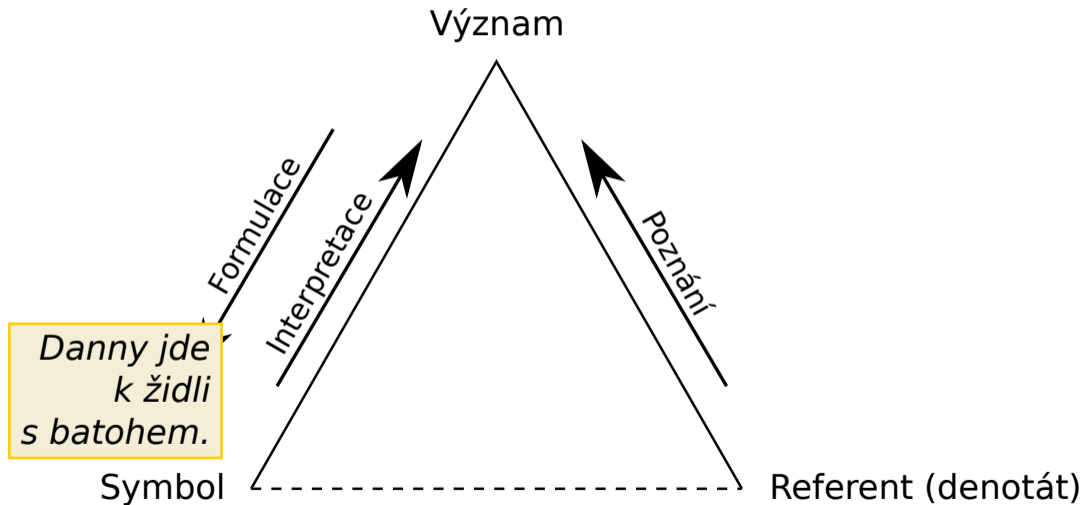
My mom's meat?

My mom's meat?

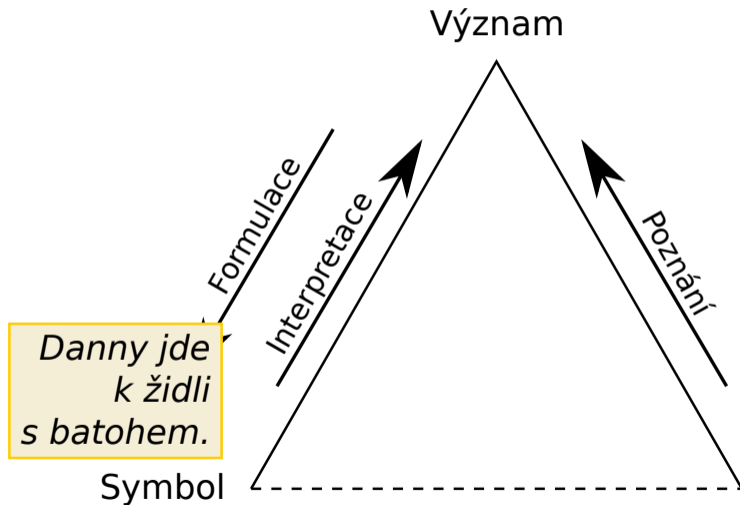
Sémantický trojúhelník



Sémantický trojúhelník

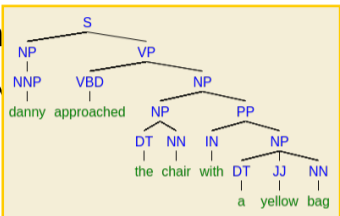
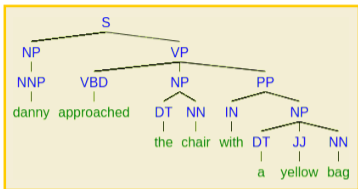


Sémantický trojúhelník



Referent (denotát)

Sémantický trojúhelník



Danny jde
k židli
s batohem.

Symbol

Formulace

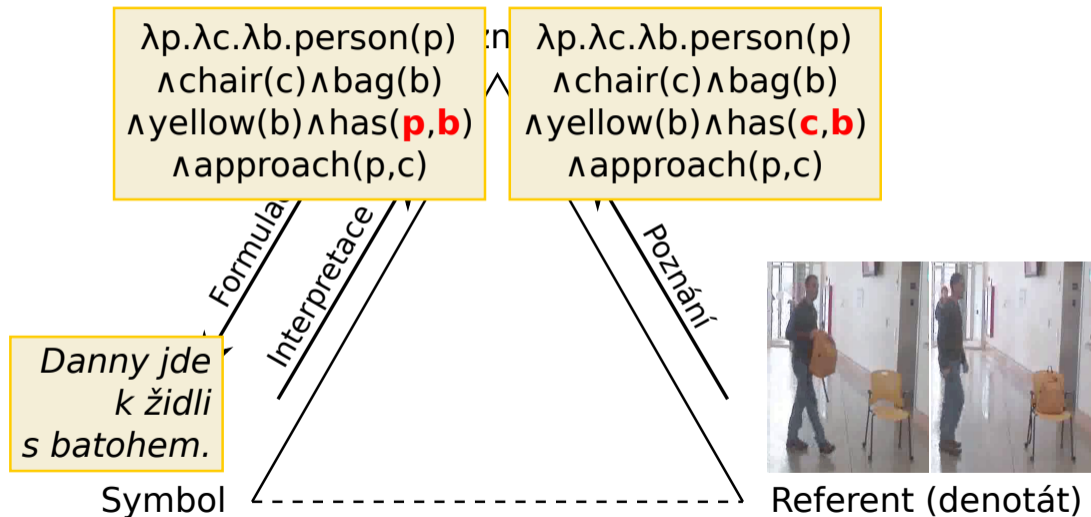
Interpretace

Poznání

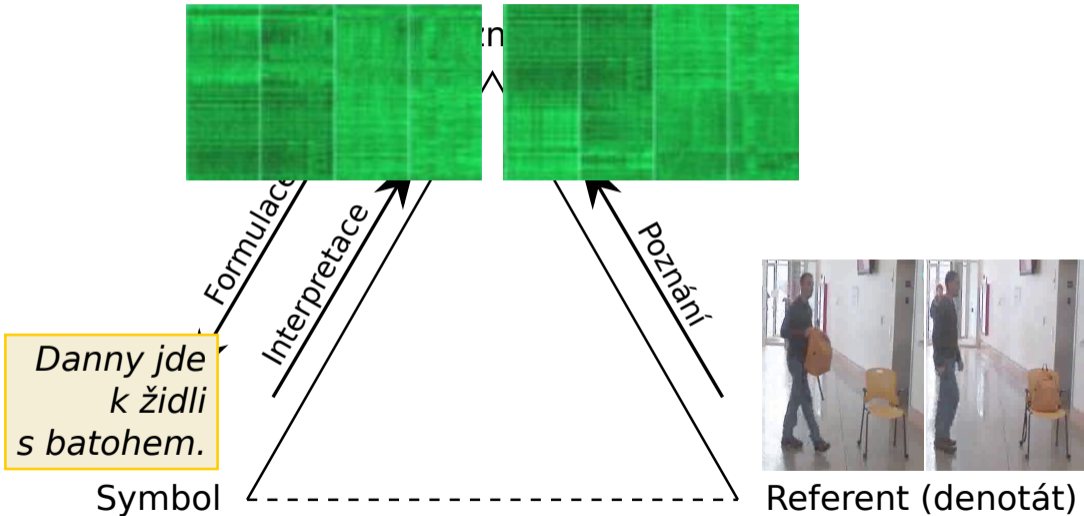


Referent (denotát)

Sémantický trojúhelník

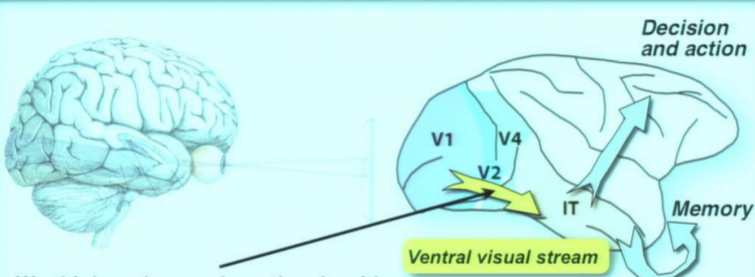


Sémantický trojúhelník



Inspirace z oboru vidění (DiCarlo, 2013)

Systems neuroscience: the non human primate model

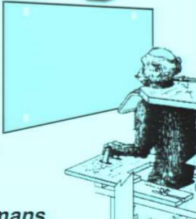


The diagram illustrates the primate brain with a focus on the ventral visual stream. On the left, a lateral view of the brain shows the location of the visual cortex. On the right, a more detailed view of the brain highlights the ventral visual stream, which includes areas V1, V2, V4, and IT. A yellow arrow labeled 'Ventral visual stream' points from V2 towards IT. From IT, a blue arrow points upwards towards 'Decision and action', and a curved blue arrow points downwards towards 'Memory'.

We think we know where the algorithms and representations that solve core object recognition live in the primate brain.

We can study those representations at the level of neuronal spikes in a model system with comparable behavioral abilities.

We can directly compare the properties of those representations with likely homologous regions in humans



Adapted from Mother and Mountcastle 1981

Inspirace z oboru vidění (DiCarlo, 2013)

Opičí/lidské rozpoznávání objektů zmapováno:

- Nahraj **aktivitu neuronů v různých oblastech mozku**:
 - na souboru úloh z rozpoznávání objektů.
Záměrně pokrýj celou škálu obtížnosti.
 - Najdi takovou oblast, kde lze z aktivity neuronů poznat objekt.
⇒ Díky elektrodám v opičí hlavě víme, kde už hlava “vidí objekty”.
- Na stejném souboru úloh změř i lidi:
 - Když budou mít stejný “profil úspěšnosti” napříč obtížností úloh asi to mají v hlavě udělané stejně.

Od vidění k jazyku (návrh na příští desetiletí)

Místo elektrod do mozků mluvčích:

- Najdi úlohy zpracování jazyka rozličné složitosti, kde lidé a neuronová síť budou podávat podobné výkony.
= Turingův test.
 - Počítač nemá být lepší než člověk, musí **dělat stejné chyby**.
- Studuj chování umělé neuronové sítě:
 - ... jaká struktura byla nejvhodnější,
 - ... jaké aktivace neuronů ve kterou chvíli vykazovala.
- Extrapoluj: lidé to asi mají v hlavě podobně.
- (Ověřuj neinvazivními metodami, které ještě budou objeveny.)

Počítačová lingvistika



...spojí filozofii...



...spojí filozofii s neurologií.



Shrnutí

- Strojový překlad je těžký.
- Hluboké neuronové sítě často zvládají překlad skvěle.
- Není zatím přesně jasné, co se sítě učí.
- Vize: dozvědět se něco o **jazyce v mozku mluvčích** studiem **natrénovaných neuronových sítí**.

Pozvánka místo poděkování



ELITR: European Live Translator (2019–2021; <http://elitr.eu/>)

- Strojový překlad a **tlumočení** mezi všemi jazyky EU a EUROSAT.

Technologie	Hlavní cíl	Pokryto	Experimentálně
Transkripce řeči	En, De	Fr, Sp, It, Ru	Cs
Překlad/tlumočení	{ En, De } → { En, De, Cs }	všechny jazyky EU → všechny jazyky EU	všechny jazyky EUROSAT → všechny jazyky EUROSAT
Sumarizace	angličtina, čeština	–	–

Bergamot: Browser translation (2019–2021)

- **Offline** překlad (ve webovém prohlížeči).



NEUREM³: Neural representations (2019–2023)

- Základní výzkum: trénování na neanotovaných datech; studium, co se síť učí.