

# Konceptuální model prostředí pro seberozpoznávajícího robota

Jan Burian

## 1 Mirror test

Tato práce se zabývá otázkou, jaké podmínky musí splňovat kognitivní architektura umělého agenta – robota, který je schopen zvládnout tzv. zrcadlový test (mirror test).

Zrcadlový test vytvořil na konci 60. let Gordon Gallup (Gallup, 1970) na základě intuice pocházející patrně již od Charlese Darwina. Ten postavil v roce 1838 zrcadlo před orangutana chovaného v Londýnské ZOO a na základě jeho chování poznamenal, že nelze vyloučit, že si podobně jako lidé uvědomuje, že v zrcadle je jeho vlastní obraz.

Gallup nejprve nechal několik bonobů (blízcí příbuzní šimpanzů) po několik dní přivykat zrcadlu. Poté jim aplikoval, tak aby to nevěděli, barevnou skvrnu bez zápachu na místo, které sami nemohli vidět (většinou nad obočí). Když se šimpanzi ocitli před zrcadlem, skvrny si všimli, a začali se jí dotýkat. Zrcadlový test dokáží zvládnout kromě bonobů také šimpanzi, orangutani a gorily, tedy všechny velké opice, dále pak sloni, někteří delfini, kosatky a jako jediný ne-savec také evropská straka. Lidé dokáží zvládnout zrcadlový test kolem 18 měsíce věku.

## 2 Metodologie

V této práci se nebudu zabývat filosofickými problémy, které s mirror testem souvisí. Nebudu spekulovat, zda a do jaké míry mohou mít zvířata schopná projít mirror testem fenomenologické sebeuvědomění z perspektivy první osoby. Tím spíš nebudu o takové schopnosti spekulovat u robotů.

Nebudu tedy používat ani pojem sebeuvědomování, ani příbuzný pojem sebereflexe (který dokonce zavádějícím způsobem odkazuje spíše k introspekci).

Místo toho budu používat techničtější pojem **seberozpoznávání**. Seberozpoznávání budu chápat jako schopnost, která může mít různé aspekty. Agent (ať už živý, umělý či simulovaný) může mít tedy různou míru schopnosti seberozpoznávání v různých aspektech.

Zaměřím se na dobře definovatelný v podstatě technický problém:

Jaké podmínky musí splňovat kognitivní systém, aby dosáhl takové míry seberozpoznávání, že projde mirror testem?

Pokud tuto otázku budeme podrobněji analyzovat můžeme dojít k přesnější formulaci:

Jaké podmínky musí splňovat kognitivní systém, aby se dokázal naučit (aniž by to měl předem naprogramováno), že pokud je postaven před zrcadlo, znamená to (sémantika!), že k dosažení objektů viditelných v zrcadle musí zásadním způsobem změnit aktuálně používané senzomotorické vazby.

## 3 Přehled dosavadních pokusů o sestrojení seberozpoznávajících robotů

### 3.1 Robot QBO



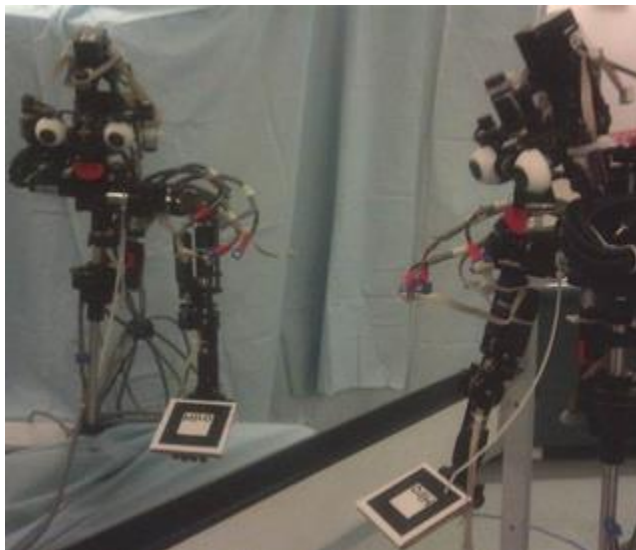
Obr. 1. - Robot QBO (The Corpora, 2011)

Robot QBO (The Corpora, 2011) je podobný klasickému robotu Khepera, je mobilní ale krom pohybu celého těla nemá žádné specifické manipulátory pro interakci s vnějším prostředím. Navíc je vybaven stereoskopickým viděním, modulem pro rozpoznávání předmětů a tváří, modulem pro rozpoznávání mluvené řeči a modulem pro syntézu řeči. QBO je schopen rozlišit od pozadí obraz, který je mu předložen, přiřadit k němu slovní popis zadaný lidským operátorem, a když je mu obraz znovu předložen, je schopen obraz rozpoznat a označit mluvenou řečí.

Na internetu je dostupné video (The Corpora, 2011), na kterém je robotu QBO předložen obrázek, vysloveno jméno objektu X na obrázku (operátor říká „This is X.“), QBO si obrázek i jméno zapamatuje a asociuje a poté, co mu je obrázek znovu ukázán, vysloví jméno obrázku. Zcela stejným způsobem je robotu QBO prezentováno zrcadlo, robot ho spojí s anglickým zájmenem „you“ (operátor říká: „This is you.“). Když je mu zrcadlo znovu ukázáno, je QBO schopen nejen zopakovat jméno asociované k obrazovým datům, ale i správně gramaticky změnit zájmeno na „me“ („This is me“). Všechny tyto fráze a gramatická pravidla jsou ovšem do QBO předem vloženy.

QBO tedy v žádném případě nerozpoznává sám sebe od jiných objektů, ale rozpoznává svůj odraz stejně jako by to byl libovolný jiný objekt.

### **3.2 Robot Nico**

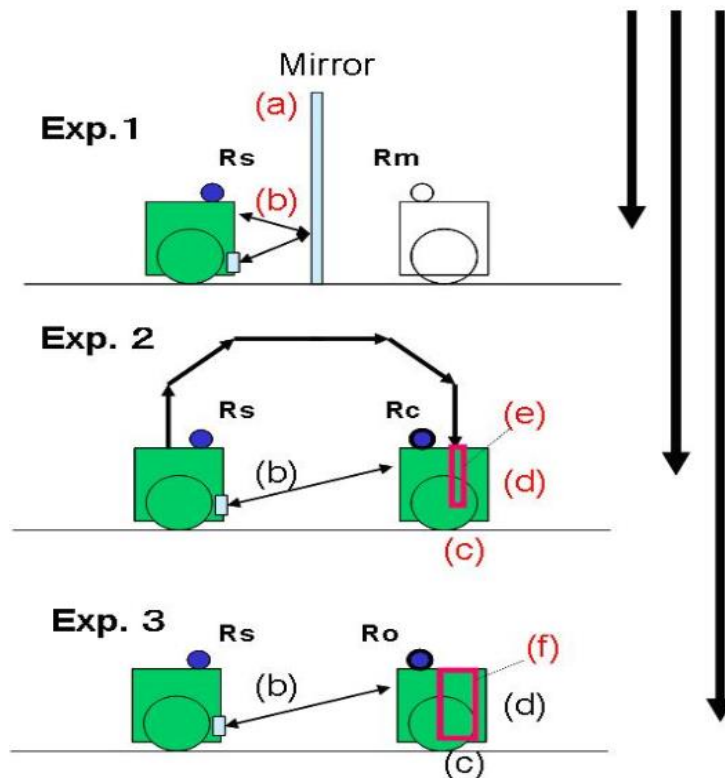


Obr. 2. - Robot Nico (Hart & Scassellati, 2012)

Robot Nico (Hart & Scassellati, 2012) je na rozdíl od robota QBO vybaven pohyblivým ramenem, ale nedokáže pohybovat celým tělem. V současné době dokáže Nico rozpoznávat podle zrcadlového obrazu pozici objektu, který drží svým ramenem. Cílem autorů je naučit robota postupně rozpoznávat pozici všech částí těla včetně hlavy, která je pro seberozpoznání klíčová. Nicméně autoři zatím neřeší další klíčovou otázku – jak se bude Nico učit rozpoznávat, zda stojí před zrcadlem či před normální scénou. V současné době má Nico předem pevně nastaven takový systém pro rozpoznávání vizuálních dat, který je speciálně upraven pro zrcadlový obraz.

### **3.3 Robot typu Takeno**

Takeno (2008) vybavil standartního robota typu Khepera infračerveným senzorem, který detekuje vzdálenosti robota od jiného robota. Robot se snaží imitovat chování robota, kterého má před sebou a zaznamenává míru korelace mezi svými pohyby a pohyby druhého robota. Chování robota je omezeno na pohyby dopředu a dozadu. Robot byl testován ve třech různých situacích, které ilustruje Obr. 3.



Obr. 3. - Robot typu Takeno ve 3 různých situacích (Takeno, 2008)

1. Robot  $R_s$  byl postaven před zrcadlo ve kterém se odráží jeho odraz  $R_m$ . Zdrojem šumu, který zhoršuje identifikaci korelací mezi pohybem robota a jeho odrazu je infračervený zářič a detektor (b) a samotné zrcadlo(a).
2. Robot  $R_s$  byl postaven před jiného avšak hw shodného robota  $R_c$ , se kterým by spojen kabelem. Robot  $R_s$  přímo řídil robota  $R_c$  tak, že mu zasílal řídicí signály zcela shodné s těmi, které posílal svým motorům. Novými zdroji šumu, který zhoršuje identifikaci korelací mezi pohybem robota  $R_s$  a  $R_c$  je převod signálů k motorům robota  $R_c$  (e), motory a tělo  $R_c$  (d) a tření podvozku  $R_c$  (c).
3. Robot  $R_s$  byl postaven před jiného avšak hw shodného robota  $R_o$ . Roboti spolu přímo nekomunikovali, ale vzájemně se snažili imitovat své chování. Novým zdrojem šumu, který zhoršuje identifikaci korelací mezi pohybem robota  $R_s$  a  $R_o$  je řídicí modul  $R_o$ .

Míra zaznamenaných korelací byla statisticky významně nižší v situaci před zrcadlem, protože záznam korelací je rušen jen minimálně. Robot  $R_c$  je tedy schopen to, že je před zrcadlem, detekovat podle míry korelací mezi svým pohybem a detekovaným pohybem protějšku. Experimentálně zjištěno bylo, že pokud je úspěšnost odhadu pohybu druhého robota vyšší než 60%, pak to indikuje, že robot je před zrcadlem.

Autor tento poznatek zobecňuje: „Pokud osoba (či robot) kterého vidíte nemá jiné záměry/chování odlišné od Vašeho, pak jste to Vy.“

I když je tento výrok možná až zbytečně zjednodušující, samotný fakt, že míra korelací mezi chováním a záměry robota (či jiného agenta) a zrcadlovým obrazem je velmi vysoká, je patrně základním mechanismem, který umožňuje rozlišit mezi „já“ (vysoká míra korelace), druhými agenty (střední míra korelace) a zbytkem světa (nízká míra korelace).

Pro úplnost zmiňme, že autor také odvážně spekuluje o tom, že v robotovi vzniká sebereflexivní vědomí apod. Ale jak jsme uvedli výše filosofickými spekulacemi se zde zabývat nebudeme.

Pokud se na experimenty s tímto robotem podíváme střízlivě, zjistíme, že to, co je robot schopen skutečně rozlišit, je právě a jen míra korelací velmi jednoduchých dat - mezi výstupem (pokyny dopředu a dozadu) a vstupem (detektorem vzdálenosti) druhého robota. Tedy robot jen rozliší, že nastala situace, kdy se zvyšuje míra korelací. Neznamená to, že by si vytvářel koncepty jako zrcadlo, moje tělo, moje pohyby atd. Z chování robota nijak nevyplývá, že by byl nučit se změnit senzomotorickou vazbu pokud zvýšené korelace zaznamená a není tedy schopen řešit například mirror test. Na druhé straně je pravděpodobné, že právě detekce situací charakterizovaných vysokou mírou korelace mezi vstupy a výstupy je základním předpokladem řešení mirror testu a vůbec „pochopení“ principu zrcadla.

## 4 Podmínky nutné k seberozpoznání a řešení mirror testu

Cílem této kapitoly je najít podmínky nutné k seberozpoznání a navrhnout na jejich základě minimální konceptuální model seberozpoznávajícího robota (či obecně agenta).

### 4.1 Základní předpoklady

- Seberozpoznávající robot musí být **situovaný** v prostředí, **autonomní** (umí se učit, ale nemá předem naprogramováno co má dělat). Musí se umět v prostředí **pohybovat** a musí umět **pomocí senzorů detekovat** nejen části prostředí, ale i změnu jejich polohy vzhledem ke svému pohybu – tímto způsobem vzniká senzomotorická vazba.
- Myslím, že je potřeba nějaký mechanismus, který bude odhalovat, **silné korelace mezi senzorickými vstupy a motorickými akcemi**. Pokud budou tyto silné korelace detekovány – musí to vést ke změně stavu robota, jejímž výsledkem je nasměrování interakce (např. pohybu robotického ramene) směrem k sobě samému.

### 4.2 Další předpoklady a otázky

#### 4.2.1 Musí být robot motivovaný (systém odměny a trestu)?

Podle mě ano. Jaký je hlavní důvod, proč lidé či některá zvířata sáhnou na barevný bod, když ho uvidí v zrcadle? I když nemám po ruce žádný konkrétní výzkum odhaduji, že velkou roli přitom hraje opatrnost – péče o vlastní tělo a snaha tělo prozkoumávat a odstranit to, co by mohlo být nebezpečné. Za prozkoumání těla plyne odměna – snižuje se nebezpečí. Domnívám se tedy, že základním předpokladem pro skutečné seberozpoznání je to, že robot bude odměněn za to, že interaguje vhodným způsobem se svým tělem.

Právě tato motivace (resp jakákoliv motivace) chyběla všem dosud vytvořeným robotům, které jsem představil v úvodu. Je možné, aby robot rozeznal korelace mezi svým chováním a senzorickými vstupy. Ale bez motivace nemůže projevit „zájem“ o sebe či o druhé.

Jakým způsobem by byla motivace realizována u robota. Možností je více, ale jelikož hledáme minimální model seberozpoznávání, je vhodné, aby systém odměn a trestu byl co nejvíce zjednodušen. Prvním krokem zjednodušení, je robota jen odměňovat a netrestat.

Dále navrhuji, aby robot vyhledával ve svém prostředí místa (např. ve formě jakýchsi „tlačítek“) se kterými, když bude interagovat, získá odměnu. V první fázi se tedy robot bude učit vyhledávat tlačítka ve svém okolí pomocí odměny Tento mechanismus může být realizován nějakou variantou strojového učení pomocí odměn.

Aby se robot u tlačítka „nezasekl“ a nemačkal je stále dokola, budou tlačítka po úspěšné interakci na nějakou dobu vypnuta nebo zcela zmizí a objeví se jinde v prostředí.

Jedno z takových tlačítek bude mít robot na svém těle - na takovém místě, které nemůže vidět.

Když se „uvidí“ v zrcadle, měl by být schopen naučit se, že aby dosáhl odměny musí změnit schéma senzomotorické vazby a místo s vnějším prostředím musí začít interagovat s vlastním tělem.

### 4.2.2 Jak komplexní musí být tělo robota?

Většina biologických agentů může velké části svých těl „vidět“, a „dotýkat“ se jich i bez zrcadla. Je možné, že tato schopnost může napomáhat k úspěchu při řešení mirror testu. Ale na druhou stranu řada zvířat, která o svá těla pečují, jako třeba kočky, psi, či nižší opice, mirror testem neprojdou.

Je možné uvažovat o tom, že pro úspěch v mirror testu (či v jeho variantě) jsou nutné jen jisté tělesné aspekty. Pokud se na ně soustředíme, zjednodušíme analýzu a vyhneme se složitým, ale pro seberozpoznání nikoliv zásadním problémům jako je rozpoznávání obrazu komplexních 3D scén a komplexní reprezentace těla.

Musí být seberozpoznávající robot umístěn v reálném prostředí? Vzhledem k tomu, že nám nejde o řešení filosofických problémů, týkajících se existence vědomí, ale zkoumání formálně popsatelných (i když velmi komplexních procesů), můžeme robota umístit v prostředí simulovaném.

V simulovaném prostředí budou mít slovesa „vidět“ a „dotýkat se“ jen metaforický význam, „vidění“ znamená zaznamenávání blízkých i vzdálených charakteristik prostředí. Dotýkat se znamená interagovat s prostředím pomocí „ramene“.

Musí být toto prostředí 3D? Nikoliv, důležité je pouze to, aby bylo možno nejprve robota naučit hledat odměnu a poté ho naučit rozlišovat situace ve kterých se liší míra korelace mezi vstupy a výstupy. K tomu je nutné, aby v prostředí byla definována nějaká smysluplná metrika, tedy aby měli smysl pojmy jako „přibližovat se“ a „vzdalovat se“. Robot nemůže v prostředí libovolně přeskakovat, ale musí se přesouvat přes okolí bodu, kde se právě nachází. Tj. v prostředí musí mít každý bod definováno své okolí. Příkladem takového prostředí je spojitý n-rozměrný prostor či diskretní síť.

Tělo robota může být tedy zcela virtuální. Pokusme se navrhnout minimální tělo robota.

Tělo musí obsahovat minimálně „rameno“ pro interakci s prostředím a značku či tlačítko, se kterou může interagovat pomocí ramene, ale která je viditelná jen v zrcadle. Domnívám se, že víc částí minimální tělo robota, který by prošel mirror testem, mít nemusí.

Je otázka zda musí rameno robot „vidět“. Odpověď na tuto otázku souvisí s následující kapitolou – pokud bude robot interagovat s dalšími roboty, pak má dobrý smysl, aby byl schopen vidět ramena druhých robotů, stejně jako vidí ostatní složky prostředí. V opačném případě stačí, když bude získávat informace o poloze ramene pouze prostřednictvím nějakého vnitřního senzoru.

Další otázka související se senzory vstupy je možnost multimodálního vnímání vlastního tlačítka. Robot může své tlačítko vidět v zrcadle, ale může ho vnímat i „tělesně“. Například pokud by se tlačítko na robotovi zapnulo, vyslalo by někdy slabý tělesný (nevizuální) signál (biologicky by se to dalo interpretovat jako svrbění či bolest), který by mohl přispět k tomu, že by se robot učil směřovat rameno ke svému tlačítku. V situaci, kdy bychom přidali do prostředí zrcadlo, by se přestal tělesný signál vysílat (nebo by byl vysílán méně často), aby bylo možné rozlišit zda robot stiskl své tlačítko skutečně jen díky obrazu v zrcadle.

### 4.2.3 Řídící systém

Jaký systém řízení je vhodný pro seberozpoznávajícího robota. Domnívám se, že vzhledem k vysoké potřebě učit se nové, předem nepopsané dovednosti je vhodná některá forma subsymbolické umělé inteligence např. samoorganizované neuronové sítě. Vzhledem k tomu, že tyto sítě mohou zkonvergovat k nějakému lokálnímu extrému žádoucího chování, může být vhodné doplnit zdrojem šumu, který zvýší plasticitu systému - její schopnost učit se novému. Popřípadě je možné uvažovat i

o nějakém evolučním algoritmu, který bude vyvíjet nové struktury řídicího systému.

**Vzhledem k tomu, že klíčovým mechanismem seberozpoznání je detekce korelací mezi pohybem robota a viděnými pohyby v okolí a následná změna senzomotorické vazby, mohly by být detekované korelace signálem pro zvýšení šumu či obecně zvýšení plasticity systému.**

Je možné experimentovat s různými hodnotami parametru, které se týkají zapojení šumu do učení. Takové parametry jsou například:

- míra korelací, při které se začne šum zvyšovat
- množství šumu
- jak dlouho zůstává šum zvýšený poté, co korelace ustanou apod.

Další otázkou je, zda by samotná detekce (jakýchkoliv) korelací neměla být navázána na odměnu a robot by se tak učil vyhledávat korelace. Ale touto obecnou otázkou se nebudu zabývat, nicméně chci upozornit, že by mohla významně přispět k obecnému principu konstrukce autonomních agentů.

#### 4.2.4 Je k seberozpoznání nutná sociální interakce?

Existují psychologické teorie, podle kterých je k vytvoření konceptu „Já“ nutná intenzivní sociální interakce, protože jen při ní se objevuje potřeba jasně rozlišit „já“ od „druhých“. Nicméně fakt, že ani tak silně sociální zvířata jako jsou například psi či krysy mirror testem neprojdou, sílu tohoto argumentu oslabují.

Nicméně můžeme přijmout hypotézu, že sociální interakce usnadňují seberozpoznání a následně i schopnost projít mirror testem. Jakým způsobem? Klíčovou roli v tomto procesu mohou hrát tzv. mirror neurony, které jsou aktivní jak při tom, když agent provádí nějakou akci (např. pohyb končetiny), tak při pouhém sledování té samé akce jiného agenta. Mirror neurony mají patrně zásadní vliv na schopnost učit se od druhých. Předpokládejme tedy, že řídicí systém robota obsahuje prvky, které plní obdobnou funkci jako mirror neurony.

Musím poznamenat, že pokud by měl systém mirror neuronů skutečně nějak výrazněji napomoci učení schopnosti mačkat tlačítka, pak by musel být relativně sofistikovaný. Například první robot vidí ideální příklad - že druhý robot je na pozici  $x$  a tlačítko na pozici  $y$  a druhý robot udělá pohyb ramenem s vektorem  $(x-y)$ . Mirror neurony by neměly ovlivnit učení tím způsobem, že se první robot naučí dělat prostě jen kdekoli pohyb  $(x-y)$ , nebo že se naučí dojet na pozici  $x$  a dělat pohyb  $(x-y)$ , protože tlačítko už na pozici  $y$  nemusí být. Mirror neurony musí přispět k tomu, že když první robot bude na pozici  $k$  a tlačítko na pozici  $l$  a vektor  $(k-l)$  bude stejný jako  $(x-y)$  pak robot provede pohyb ramenem s tímto vektorem. V ideálním případě přispějí mirror neurony k tomu, že když robot uvidí tlačítko na pozici  $l$  a robot bude na pozici  $m$  takové, že vektor  $(m-l)$  je větší než dosah ramene, tak robot dojede na pozici  $n$ , která je v dosahu ramene a udělá pohyb ramenem o vektoru  $(n-l)$ .

Jakým způsobem by byli roboti v prostředí reprezentováni? Ve shodě se snahou navrhnout minimální model robota by stačilo, kdyby roboti „viděli“ z druhých robotů jen polohu jejich ramene a tlačítka na jejich těle. Tlačítko na těle robotů by se od tlačítek v prostředí odlišovalo tím, že by se pohybovalo ve shodě s pohybem svého nositele.

Otázkou je, co by stalo, pokud jeden robot stiskne tlačítko jiného robota? Možnosti jsou:

- odměnu dostane druhý robot
- odměnu dostane první robot
- odměnu dostanou oba – tato varianta je patrně nejzajímavější protože umožňuje jak motivovat roboty k mačkání tlačítek na jiných robotech, tak napomáhá tomu, aby si robot

spojil odměnu s tím, když je stisknuto jeho vlastní tlačítko, které sám nevidí. Tato varianta je také biologicky plauzibilní, protože např. při groomingu opic (vzájemném vyčítávání hmyzu v srsti) je interakce odměnou pro obě zvířata.

Jaké možné interakce mezi roboty může robot zaznamenat a jak to ovlivní jeho chování:

1. Robot může vidět jiného robota jak interaguje s tlačítky v prostředí.
  - Tato interakce může napomoci rychlejšímu učení schopnosti vyhledávat tlačítka v okolí.
2. Robot může vidět jak ostatní roboti interagují s tlačítky jiných robotů.
  - Tato interakce může napomoci rychlejšímu učení schopnosti vyhledávat tlačítka na jiných robotech, ovšem není zřejmá souvislost, zda by mohla napomoci posílit schopnost robota nasměrovat rameno ke svému tlačítku.
3. První robot může vidět jak interaguje s tlačítkem druhého robota.
  - Tato interakce by mohla vést k posílení schopnosti robota začít směřovat své rameno k vlastnímu tlačítku, pokud má tlačítko na druhém robotu podobné vlastnosti jako tlačítko na prvním robotovi, resp. tlačítka na robotech mají odlišné vlastnosti (např. co se týče polohy) než tlačítka v prostředí.
4. První robot může vidět jak druhý robot interaguje s tlačítkem prvního robota.
  - Tato interakce by mohla vést k posílení schopnosti robota začít směřovat své rameno k vlastnímu tlačítku. Závisí to ovšem na sofistikovanosti mirror neuronů (viz poznámka výše) a na schopnosti robota odvodit polohu tlačítka, i v případě že ho přímo nevidí.
5. Situaci kdy robot vidí jak jiný robot mačká svá vlastní tlačítka.
  - Tato interakce může vést velmi přímočaře k posílení schopnosti robota začít směřovat své rameno k vlastnímu tlačítku. Nicméně může nastat ten problém, že až dáme do prostředí zrcadlo, může obtížné odlišit, zda robot zmáčkne své tlačítko díky tomu, že se to naučil od jiných robotů nebo zda je to tím, že vidí své tlačítko v zrcadle, resp. jaký je vzájemný podíl těchto dvou vlivů. Samozřejmě, že je možné zaznamenat korelaci mezi umístěním zrcadla do prostředí a zmáčknutím tlačítka. Problém by ale nastal v situaci, kdy by se robot snažil mačkat své tlačítko příliš často či dokonce neustále, i když by mu to většinou neposkytovalo odměnu. (připomínám, že po stisknutí tlačítka dojde dočasně k jeho vypnutí).

## 5 Návrh minimálního prostředí a reprezentace seberozpoznávajícího robota

Jak jsem navrhl výše, vydáme se cestou zjednodušování. Ale kde je hranice, při které pojmy agent, robot, či seberozpoznávání ztrácejí význam. Nevím. Nakonec se dostaneme k otázce, co vlastně znamená slovo „sebe“ ve slově seberozpoznávání. Tato otázka je filosofická, a přenechám ji filosofům.

Shrňme dosavadní charakteristiky seberozpoznávajícího robota:

- je schopen "**vidění**", **pohybu** v "**prostředí**" a **interakce** s prostředím pomocí "**ramene**"
- je schopen učit se pomocí senzomotorické vazby, vyhledávat zrakem "příjemné podněty" - např. „**tlačítka**“ a interagovat s nimi pomocí ramene. Pokud tlačítko stiskne dostane **odměnu** – učení posilováním. Pokud je tlačítko stlačeno přestane být (dočasně) vidět.



- robot má jedno takové **tlačítko na svém těle**, které normálně nemůže vidět
- pokud by se v okolí vyskytlo zrcadlo, robot by se v něm viděl – resp. viděl by minimálně své tlačítko – **viděný pohyb tohoto tlačítka bude silně korelovaný s pohybem robota**
- **robot by se dokázal se naučit (aniž by to měl předem naprogramované, že je možné toto tlačítko stlačit**

Konkrétně se tento robot může pohybovat v jednoduchém simulovaném prostředí, které má následující vlastnosti:

- Prostředí má jen jeden rozměr, jakoby se robot pohyboval po jedné ose (analogické kartézské ose x) či kolejnici. Nejsou dokonce asi nutné žádné hranice prostředí, osa x může být cyklicky uzavřená.
  - Robot se může pohybovat doleva (mínus) či doprava (plus).
  - Robot je v prostředí reprezentován jen svojí pozicí, pozicí ramene (jak daleko rameno sahá od pozice robota) a tlačítkem, které má na svém těle. Pozice robota a tlačítka je shodná.
- Robot „vidí“ na obě strany a dostává tak vstup ze dvou sad vizuálních senzorů.
  - V každé sadě jsou tři senzory:
    - jeden zaznamenává vzdálenost nejbližšího tlačítka v příslušném směru (tlačítko může být buď v prostředí či na robotovi)
    - druhý zaznamenává vzdálenost nejbližšího robota
    - třetí zaznamenává pozici ramene nejbližšího robota.
- Robot nevidí své vlastní rameno, ale má zvláštní „tělesný“ senzor, který ho informuje o pozici jeho ramene.
- Pozice tlačítka může být v nejjednodušším případě shodná s pozicí robota.
  - V tom případě by však bylo nemožné odlišit, zda je tlačítko v prostředí či na robotovi. Toto rozlišení nemusí být nutné, ale může hrát roli např. při sociální interakci mezi roboty. Mohlo by se také snadno stát, že v jednorozměrném prostředí nalezne robot tlačítko „příliš snadno náhodou“ (viz také níže poznámka přesnosti pozice ramene pro stisknutí tlačítka).
  - Můžeme proto uvažovat o situaci, kdy přidáme k pozici tlačítka další rozměr reprezentující jeho „výšku“ - osu y. Pozice tlačítka je pak vyjádřen dvoučlenným vektorem, který může být v rozsahu  $[<(-1), 1>; <0, 1>]$ . Např. tlačítka v prostředí mohou mít výšku 0 a tlačítka na robotech mohou mít výšku 1. V případě, že by byla pozice tlačítka dvourozměrná, byl by ovšem dvourozměrný i vizuální vstup zaznamenávající pozici tlačítek.
- Prvním výstupem řídicího systému robota je vektor pohybu robota např. v rozsahu  $<(-1), 1>$ 
  - Otázka je, zda se má robot zastavit pokud „narazí“ na tlačítko, druhého robota, či zrcadlo.
    - První variantou je, že vše (včetně zrcadla) bude přístupné. Při této variantě hrozí, že se robot naučí vyhledávat druhé roboty, stoupnout si přesně na jejich pozici a tam mačkat tlačítko, přičemž v tu chvíli se bude shodovat pozice tlačítka obou robotů. Pokud robot uvidí sám sebe v zrcadle a aplikuje tuto

metodu, tj. dojde přesně na pozici zrcadla a tam stiskne své tlačítko, nebude to indikovat seberozpoznání, protože robot jen vnímá obraz v zrcadle jako by to byl jiný robot a aplikuje již naučenou metodu. Nedojde tedy ke změně chování. Teprve změna chování je znakem seberozpoznání.

- Druhou variantou je, že se robot může k druhým robotům a k zrcadlu přiblížit jen na jistou vzdálenost. Tato varianta může zase přinést obtíže s tím, že se roboti budou u překážek „zasekávat“. Tyto obtíže však lze technicky řešit.
- Druhým výstupem řídicího systému robota je vektor pozice ramene. Otázku zda výstup určující pohyb ramene bude absolutní (koncová pozice ramene) nebo inkrementální (změna pozice ramene) nechám na konkrétní technické realizaci modelu.
  - Pozice ramene může být v případě že pozice tlačítek je jednorozměrná také reprezentována jednorozměrným vektorem např. v rozsahu  $\langle -1, 1 \rangle$ , zopakujme, že jde o vzdálenost do které rameno sahá od pozice robota
  - Pokud bude pozice tlačítek dvourozměrná, můžeme pozici ramene vyjádřit dvoučlenným vektorem, který může být v rozsahu  $[\langle -1, 1 \rangle; \langle 0, 1 \rangle]$ . První člen je pozice ramene v ose x (tj. v ose ve které se roboti pohybují) a druhý je výška v ose y. Dejme tomu, že mají tlačítka v prostředí mají výšku 0 a tlačítka na robotech mají výšku 1. Když chce robot sáhnout na své tlačítko musí dát rameno na  $\langle 0, 1 \rangle$ , když na cizího robota tak na  $\langle dx, 1 \rangle$ , kde dx je vzdálenost mezi oběma roboty. V případě, že by byla pozice ramene dvourozměrná, byl by ovšem dvourozměrný i vizuální vstup zaznamenávající pozici ramene druhých robotů.
- Otázka je, jak přesná musí být pozice ramene, aby tlačítko stiskla. Pokud bude požadovaná přesnost příliš velká, bude pro robota obtížné naučit se tlačítko stisknout, pokud bude příliš nízká, bude se robot chovat chaoticky. Je možné uvažovat o tom, že v průběhu učení se požadovaná přesnost pohybu může zvyšovat.
- Konečně, co se bude dít, když do prostředí přidáme zrcadlo? Robot uvidí v zrcadle sebe, jako by to byl jiný robot, který je v dvojnásobné vzdálenosti, než je vzdálenost skutečného robota od zrcadla. Při pohybu by měl řídicí systém robota zaznamenat korelace mezi pohybem robota a vizuálními vstupy:
  - korelace mezi pohybem skutečného robota a viděným pohybem pozice tlačítka a robota v zrcadle
  - ale také může být zaznamenána důležitá korelace mezi viděnou pozicí ramene a pozicí vlastního ramene vnímané „tělesným“ senzorem – tyto pozice jsou vždy shodné

Klíčovým prvkem řídicího systému robota musí být schopnost změnit své chování, resp. senzomotorickou vazbu pokud zaznamená korelace – konkrétně změnit pohyb ramene zrcadlově obráceným směrem ke svému tlačítku. Na konceptuální úrovni je obtížné upřesnit detaily tohoto mechanismu, a je to spíše úloha pro velké množství experimentů v simulovaném prostředí.

Cílem tohoto minimálního konceptuálního modelu prostředí bylo to, aby experimenty vedly co nejefektivněji k cíli a nemusely se vypořádávat s úlohami, které přímo nesouvisí se samotným seberozpoznáváním.

## 6 Literatura

Gallup, G. G., Jr. (1970). Chimpanzees: Self Recognition. [Science](#), 167, 86-87.

Hart, J. W. Scassellati, B. (2012). Mirror Perspective-Taking with a Humanoid Robot. In *Proceedings of the 26th AAAI Conference on Artificial Intelligence (AAAI-12)*. Toronto, Canada, July 2012.

Takeo, J. (2008). A Robot Succeeds in 100% Mirror Image Cognition. *INTERNATIONAL JOURNAL ON SMART SENSING AND INTELLIGENT SYSTEMS*, Vol. 1, No. 4, December 2008. Dostupné na WWW: <<http://www.s2is.org/Issues/v1/n4/papers/paper4.pdf>>.

The Corpora. (2011). *QBO and the mirror. What if...(UPDATED)*. Dostupné na WWW: <<http://thecorpora.com/blog/?p=844>>.