

Prednáška

Kognitívna veda

Prednáša: prof. Ing. Vladimír Kvasnička, DrSc.

Pondelok 12.00 – 14.00 hod v U80

Cvičí: Ing. Ladislav Clementis

Útorok 16.00 – 18.00 hod v U20a

Útorok 18.00 – 20.00 hod v U20a



Prof. V. Kvasnička



Ing. L. Clementis

Web stránka prednášky je na adrese

<http://www2.fiit.stuba.sk/~kvasnicka/CognitiveScience>

Priebeh semestra

- (1) Dve kontrolne písomky, $2 \times 25 = 50$ bodov**
- (2) Záverečná písomka, 50 bodov**

1. prednáška

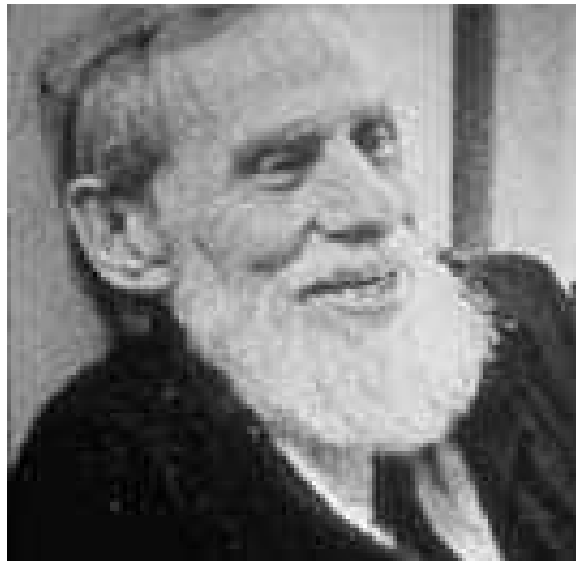
Úvod do kognitívnej vedy

1.1 Úvodné poznámky

- Kognitívna veda môže byť charakterizovaná ako teória mysle, ktorá modernými metódami skúma tak efemérny fenomén akým je ľudská myseľ.
- Použitie moderných teoretických (logika, informatika, teória neurónových sietí, a pod.) ako aj experimentálnych (MR k zobrazeniu aktivít mozgu a experimentálnych metód kvantitatívnej psychológie k výskumu kognitívnych aktivít ľudí) metód ju odlišuje od „klasického“ špekulatívno-esejistického prístupu k vysvetleniu kognitívnych vlastností ľudského mozgu, od „ad-hoc“ používania fenomenologických pojmov a koncepcií, ktoré nemajú oporu v súčasnej neurovede.

- Kognitívna veda má interdisciplinárny charakter medzi filozofiou, psychológiou, neurovedou a umelou inteligenciou.
- Umelá inteligencia má pre kognitívnu vedu zásadný význam, metódy UI (pojmy a koncepcie) sa prenášajú do kognitívnej vedy a tvoria jej teoretický základ.
- Aký je rozdiel medzi umelou inteligenciou a kognitívnou vedou? Na túto otázku možno najjednoduchšie odpovedať tak, že modely (prístupy, koncepcie a pod) kognitívnej vedy musia byť kompatibilné s predstavami neurovedy, t. j. musia byť založené na jej základnej paradigme, že vysvetlenie aktivít ľudského mozgu musí byť „zakotvené“ na „neurónovom substráte“ (obvykle reprezentovanom neurónovými sieťami). Táto vlastnosť „neurónového zakotvenia“ sa obvykle nepožaduje od prístupov umelej inteligencie, kde je irelevantná podmienka realizácie kognitívnych aktivít ľudského mozgu.
- Cieľom kognitívnej vedy je zostrojiť formálny model pre vysvetlenie a modelovanie kognitívnych aktivít (napr. usudzovania, riešenia problémov a pod.), pričom požiadavka tieto aktivity sú ukotvené na neurónovom substráte,

- Za prvú prácu z kognitívnej vedy a z umelej inteligencie sa pokladá publikácia amerických vedcov Warena McCullocha a Waltera Pittsa z r. 1943 s názvom „A Logical Calculus of the Ideas Immanent in Nervous Activity“ v časopise *Bulletin of Mathematical Biophysics*. V tomto pionierskom článku formulovali základy teórie neurónových sietí s použitím binárnych logických neurónov. Dokázali univerzálnu vlastnosť týchto sietí, že každá Boolova funkcia môže byť vyjadrená pomocou neurónovej siete, ktorá obsahuje binárne logické neuróny.



Warren McCulloch (1898-1972)



Walter Pitts (1923-196?)

A LOGICAL CALCULUS OF THE
IDEAS IMMANENT IN NERVOUS ACTIVITY

WARREN S. MCCULLOCH AND WALTER PITTS

FROM THE UNIVERSITY OF ILLINOIS, COLLEGE OF MEDICINE,
DEPARTMENT OF PSYCHIATRY AT THE ILLINOIS NEUROPSYCHIATRIC INSTITUTE,
AND THE UNIVERSITY OF CHICAGO

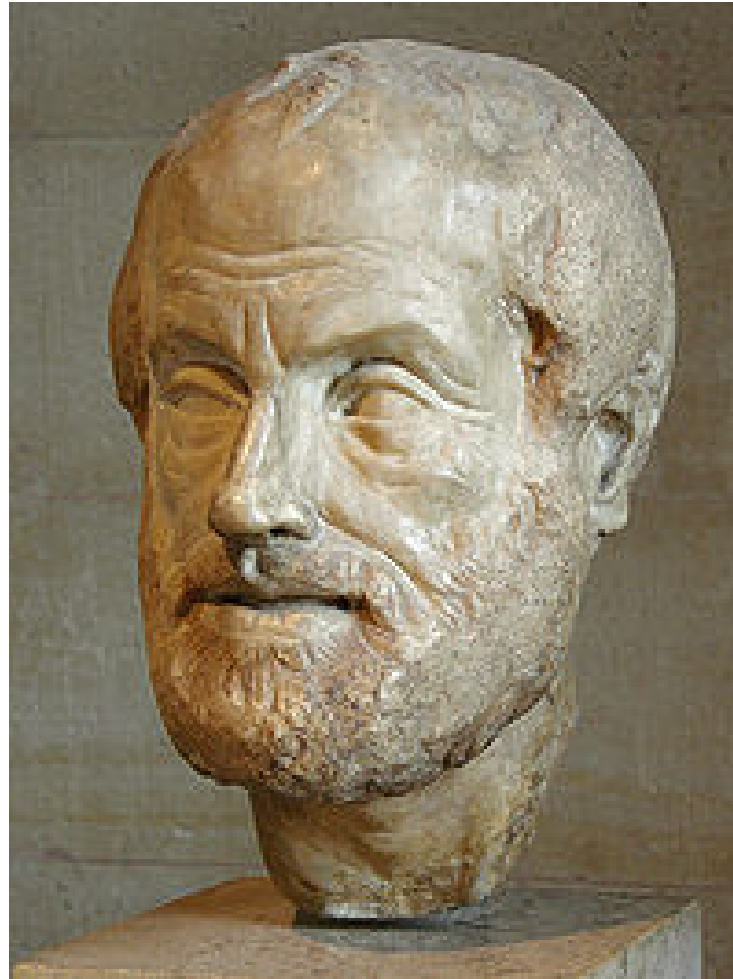
Because of the "all-or-none" character of nervous activity, neural events and the relations among them can be treated by means of propositional logic. It is found that the behavior of every net can be described in these terms, with the addition of more complicated logical means for nets containing circles; and that for any logical expression satisfying certain conditions, one can find a net behaving in the fashion it describes. It is shown that many particular choices among possible neurophysiological assumptions are equivalent, in the sense that for every net behaving under one assumption, there exists another net which behaves under the other and gives the same results, although perhaps not in the same time. Various applications of the calculus are discussed.

I. Introduction

Theoretical neurophysiology rests on certain cardinal assumptions. The nervous system is a net of neurons, each having a soma and an axon. Their adjunctions, or synapses, are always between the axon of one neuron and the soma of another. At any instant a neuron has some threshold, which excitation must exceed to initiate an impulse. This, except for the fact and the time of its occurrence, is determined by the neuron, not by the excitation. From the point of excitation the impulse is propagated to all parts of the neuron. The velocity along the axon varies directly with its diameter, from less than one meter per second in thin axons, which are usually short, to more than 150 meters per second in thick axons, which are usually long. The time for axonal conduction is consequently of little importance in determining the time of arrival of impulses at points unequally remote from the same source. Excitation across synapses occurs predominantly from axonal terminations to somata. It is still a moot point whether this depends upon irreciprocity of individual synapses or merely upon prevalent anatomical configurations. To suppose the latter requires no hypothesis *ad hoc* and explains known exceptions, but any assumption as to cause is compatible with the calculus to come. No case is known in which excitation through a single synapse has elicited a nervous impulse in any neuron, whereas any

1.2 Filozofia a kognitívna veda

- Interakcia medzi kognitívnou vedou a filozofie je veľmi bohatá a plodná, pretože problém mysle je predmetom skúmania filozofie už od čias starogréckeho filozofa *Aristotela.*, ktorý v *Etike* špecifikoval ľudské bytosti ako *racionálne zvieratá*, pretože má telo s fyzickými potrebami a nutnosťou prijímať potravu a sú racionálnou bytosťou, pretože majú dušu, ktorej časťou je pamäť a schopnosť myslieť a usudzovať (t. j. to, čo môžeme nazvať myseľ). Cieľom tejto bytosti je dosiahnuť šťastie tak, že naplní zmysel svojej existencie. Zmyslom ľudskej existencie – racionálneho zvieratá je, aby používalo svoju myseľ k usudzovaniu, t. j. správať sa racionálne pri vyhodnocovaní svojich životných skúseností. V tomto momente sa dostávame ku *klúčovému momentu gréckej filozofie, ktorá považovala za jeden z podstatných prejavov racionality ľudských bytostí schopnosť usudzovať pomocou zákonov logiky*, ktorej základy boli taktiež vytvorené v starom Grécku.



Aristoteles (starogrécka busta uložená v Louvre), (-384 – -322)

- Francúzsky filozof z prvej polovice 17. storočia **René Descartes**, vychádzajúc z dobových mechanistických predstáv o prírode formuloval dualistickú teóriu ľudských bytostí, ktorá je stále rozšírená aj v súčasnosti. Aj keď príroda, teda aj ľudské telo, je materiálneho charakteru a je teda ovládané základnými princípmi mechaniky, ľudské bytosti sú v tom zvláštne, že sú kombináciou mentálnych substancií (mysel') a materiálnych substancií (telo). Táto myšlienka tvorí základ Descartesovho dualizmu, ktorá môže byť preformulovaná do súčasného filozofického jazyka tak, že ľudia majú myseľ a telo (po angl. mind-body problem). Základný problém spočívajúci v tejto paradigme je, akým spôsobom môže interagovať nehmotná myseľ s materiálnym telom.



- Materialistický pohľad na tento problém Deascartesovho dualizmu medzi mysl'ou a telom je, že aj myseľ je materiálnej podstaty. Musíme však poznamenať, že aj tento materialistický alebo fyzikalistický pohľad na myseľ vyvoláva následné neriešené problémy. Fyzikálna myseľ je charakterizovaná špeciálnymi vlastnosťami, akými sú intencionalita (zámernosť alebo cielenosť) a vedomie, potom sa môžeme pýtať akým spôsobom vznikli tieto dve vlastnosti ľudskej mysle. K tomuto problému sa ešte vrátíme v ďalšej časti tejto prednášky.

Ďalší dôležitý problém filozofie mysle je otázka, čo to je myseľ, ako je odlišená od ostatných častí človeka, ako je štruktúrovaná a pod?

Táto otázka má dva aspekty:

(1) rôzne pohľady na podstatu a zdroje ľudských vedomostí.

- Podľa empirikov (Hume, Locke, ...) všetky naše poznatky pochádzajú z našich zmyslov, z empirických alebo experimentálnych interakcií s okolitým svetom.
- Podľa racionalistov (Descartes, Leibniz, Kant, ...) existujú určité poznatky, ktoré nie sú odvoditeľné z empirie, niektoré idey, napr. idea Boha alebo celých prirodzených čísel, nevyplývajú z našej experimentálnej skúsenosti, ale sú vrodenu súčasťou našej mysle.

(2) *Rôzne pohľady na myseľ.*

- Podľa empirikov myseľ obsahuje len také idey – poznatky, ktoré sú primárne odvodené z našich zmyslov (včítane aj veľmi abstraktných a zložitých idey, akou je idea Boha). Potom kognitívne procesy sú založené na procesoch vnímania, t. j. kognícia a vnímanie sú v podstate identické pojmy, ktoré sa odlišujú len v tom, že kognícia je špecifický sled vnímaní. Podľa škótskeho filozofa Davida Humea, významného predstaviteľa empirizmu a osvietenstva, kognitívne procesy v našej mysli sú riadené asociáciami a podobnosťou. Myseľ je všeobecné zariadenie – orgán, kde všetky typy kognície sú realizované pomocou našej empirickej skúsenosti prostriedkami asociácie a analógie.
- Podľa racionalistov hľadajú alternatívnu odpoveď na otázku, čo je zdrojom našich poznatkov. Tento problém vyriešili tak, že za zdroj našich poznatkov pokladajú vrozenosť za hlavný zdroj poznatkov a štruktúry našej mysle. Ak idey sú vrodené (a teda nemusia byť odvodená z našej skúsenosti), potom štruktúra našej mysle je vrodená a tak vlastne aj ohraničuje použiteľnosť mysle pri spracovaní našich pocitov.

Moderný pohľad na problém vrodenej (nativizmu) je, že len určité schopnosti našej mysle (napr. jazykové schopnosti, inštinkty a pod.) sú nám vrodené a preto sa nemusia učiť. Dôležitý aspekt tohto moderného prístupu k mysli je aj problém jej modularity, t. j. ľudská myseľ je chápaná ako systém navzájom poprepájaných modulov, z ktorých každý vykonáva určité špecifické kognitívne akcie a ktorých štruktúra je vrodená.

Problém vedomia

Problém *vedomia* patrí medzi najkomplikovanejšie záležitosti filozofie mysle a taktiež aj medzi tie vlastnosti mysle, ktorá „vzrušuje“ nielen filozofov a psychológov, ale aj informatikov aktívnych v umelej inteligencii a kognitívnej vede.

Vedomie je integrálnou súčasťou mysle, ktoré patrí medzi najzáhadnejšie vlastnosti mozgu. V súčasnej filozofii mysle existujú dva krajné názory na vedomie:

- Každá mentálna (alebo kognitívna) aktivita mozgu je prejavom vedomia, alebo je dostupná vedomiu (snád' môžeme povedať, že je jeho súčasťou).
- Ak však akceptujeme „komputačnú“ paradigmu podľa ktorej kognitívne procesy prebiehajúce v mozgu nie sú nič iné ako informačné procesy prebiehajúce v počítači – myslí, tak potom určitá časť týchto informačných procesov nie je dostupná vedomiu (napr. predspracovanie vstupnej vizuálnej informácie zo sietnice oka).

Mysel' v kognitívnej vede

*Vzťah medzi mentálnym a fyzikálnym je centrálnym problémom filozofie mysle. Tento vzťah je aj základným problémom súčasnej kognitívnej vedy. Spôsob riešenia tohto vzťahu v kognitívnej vede sa nazýva **funkcionalizmus**, podľa ktorého mentálne stavy nie sú ekvivalentné s fyzikálnymi štruktúrami ktoré ich produkujú, ale prejavom-vlastnosťou ich usporiadania a kauzálnych súvislostí medzi nimi. Funkcionalizmus, ktorý vyjadruje určitú predstavu o vzájomnom vzťahu medzi mentálnym a fyzikálnym, je kompatibilný s materializmom / fyzikalizmom, myseľ (mentálne stavy) je prejavom materiálnych – fyzikálnych štruktúr, ktoré sú súčasťou tela a tvoria materiálny substrát (vehikulum) mysle.*

Ilustračný príklad

Klasický príklad toho, čo nie je identické s tým z čoho je to urobené, sú *peniaze*. Peniaze nie sú totožné s papierom na ktorom sú vytlačené, ale majú určitú funkcionálnu úlohu v danom ekonomickom systéme. *Materiálna reprezentácia peňazí* nie je to podstatné, čo ich špecifikuje, či sú alebo nie sú peniaze; podstatné pre ne, je ich nemateriálna - *funkcionálna úloha*, ktorú hrajú v ekonomických systémoch ako platidlo, ktoré v niektorých prípadoch je reprezentované bankovkami, ale v prípade e-bankingu je reprezentované alfanumerickým reťazcom, ktorý sa prenáša reťazcom.

Dôsledok funkcionalizmu

- Pretože myseľ je „forma“ a nie „hmota“, ktorá špecifikuje psychické vlastnosti nejakého individua, dôležitý dôsledok funkcionálneho pohľadu na myseľ spočíva v tom, že ***funkcionalistická paradigmata umožňuje uvažovať aj nebiologické formy inteligencie.*** Z funkcionalistickej paradigmy vyplýva aspoň teoretická možnosť existencie umelej kreatúry (robot alebo počítač) s mentálnymi stavmi, ak majú tú správnu funkcionálnu štruktúru – organizáciu.
- Táto idea má ústredné postavenie v tradičnej umelej inteligencii, kde hlavnou víziou tejto informatickej oblasti je implementácia programu s takou algoritmicou štruktúrou, že umožňuje správať sa systému inteligentným spôsobom, ktorý je neodlíšiteľný od správania sa ľudskej bytosti.
- Tento redukcionistický pohľad na ľudskú inteligenciu je v súčasnosti kritizovaný mnohými filozofmi a informatikmi. Filozof John Searle na jednoduchom príklade „čínskej izby“ ukazuje ako kognitívna aktivita prekladu textu z čínštiny do angličtiny môže byť mechanicky realizovaná človekom, ktorý nevie po čínsky. Sumarizujúc, ***umelé inteligentné systémy nebudú mať vedomie a preto nebudú úplne rovnocenné ľudskej mysli.*** .

Kognitívna veda a psychológia

- *Psychológia je veda, ktorá sa zaoberá reprezentáciou a spracovaním informácie živočíchmi s vyššou nervovou aktivitou (a teda aj ľuďmi). Tieto sú schopné prijímať informáciu z okolia, vytvárať jej vnútornú reprezentáciu a transformovať ju s cieľom výberu a výkonu akcií. Inteligentné informačné procesy sú vyjadrené schopnosťou získavať a spracovávať informáciu z okolia, s cieľom vykonávania **adaptívne** akcií, ktoré zvyšujú schopnosť organizmu prežívať a rozmnožovať sa.*
- *Ústredným problémom študovaným psychológiou sú informačné procesy, ktoré prebiehajú medzi vstupom informácie prostredníctvom zmyslov a výstupom informácie prostredníctvom motorických centier. Zložité formy inteligencie, ktoré sú pozorované u humanoidov, vyžadujú teórie mechanizmov výkonu kognitívnych akcií a vnútornej skúsenosti (existencia pamäti a schopnosti vytvárania vnútorných modelov prostredia).*

- **Humanoidy sú schopné výkonu zložitých kognitívnych akcií**, akými sú rozhodovanie (angl. decision making), riešenie problémov (angl. problem solving) a plánovania (angl. planning); u ľudí pristupuje k týmto aktivitám schopnosť komunikácie prostredníctvom jazyka formálne reprezentovaného generatívnou gramatikou. Ľudia sú schopní najzložitejších a najvšeobecnejších foriem spracovania a transformácie, preto **podstatná časť psychológie je orientovaná na pochopenie procesov spracovania informácie a inteligencie u ľudí s cieľom vytvárania kognitívnych architektúr a modelov týchto procesov** (vyšších kognitívnych procesov).
- **Psychológia** (menovite tá jej časť, ktorá sa zaoberá kognitívnymi procesmi, t. j. kognitívna psychológia) **patri do jadra kognitívnej vedy**. Výskum kognitívnej vedy má vždy bezprostredný alebo sprostredkovaný význam v psychológii, Nie všetky výskumy o inteligentných informačných procesoch sú významné pre psychológiu. Musíme poznamenať, že **odborný záber umelej inteligencie je o mnoho všeobecnejší ako psychológie**, preto nie všetky výsledky tohto infromatického vedného odboru sú relevantné pre psychológiu

- Vznik informatiky v 50. rokoch minulého storočia znamenal nový impulz pre rozvoj psychológie, menovite jej odklon od striktného behaviorizmu, ktorý označoval za nevedecké snahy používať v psychológii paradigmu vnútorných mentálnych procesov.
- Počítače poskytujú jedinečné príklady o tom, že počítač transformuje vstup na výstup zložitou postupnosťou vnútorných procedúr, ktoré postupne transformujú vstupnú informáciu na výstupnú informáciu.
- Bezprostredne nasledujúci vznik umelej inteligencie znamenal ďalší stimul pre psychológiu, pretože snahou informatikou aktívnych v umelej inteligencii bolo nielen navrhnuť ale aj implementovať algoritmy, ktoré simulovali inteligentné činnosti, ktoré boli pokladané vtedy za výlučnú doménu ľudí (hrať dámu alebo šach, porozumenie prirodzenej reči, určenie diagnózy v medicíne a pod.).
- Američania (ekonómovia, psychológovia a informatici) Herbert Simon a Allan Newel sa zaslúžili o prienik metód umelej inteligencie do novovznikajúcej kognitívnej psychológie.



Herbert Simon



Allan Newell

THE LOGIC THEORY MACHINE
A COMPLEX INFORMATION PROCESSING SYSTEM

by

Allen Newell and Herbert A. Simon

P-868

June 15, 1956

II

The Logic Theory Machine

In the language we have constructed, we have variables (atomic sentences): p, q, r, A, B, C, \dots and connectives: \neg (not), \vee (or), \rightarrow (implies). The connectives are used to combine the variables into expressions (molecular sentences). We have already considered one example of an expression:

$$1.7 \quad \neg p \rightarrow q \vee \neg p$$

The task set for LT will be to prove that certain expressions are theorems — that is, that they can be derived by application of specified rules of inference from a set of primitive sentences or axioms.

The two connectives, \neg and \vee , are taken as primitives. The third connective, \rightarrow , is defined in terms of the other two, thus:

$$1.01 \quad p \rightarrow q \text{ "def" } \neg p \vee q$$

The five axioms that are postulated to be true are:

$$1.2 \quad p \vee p \rightarrow p$$

$$1.3 \quad p \rightarrow q \vee p$$

$$1.4 \quad p \vee q \rightarrow q \vee p$$

$$1.5 \quad p \vee q \vee r \rightarrow q \vee p \vee r$$

$$1.6 \quad p \rightarrow q \rightarrow r \vee p \rightarrow r \vee q$$

Each of these axioms is stored as a list in the theorem memory I, with all its variables marked free, F, in their respective elements.

From the axioms other true expressions can be derived as theorems. In the system of Principia Mathematica, there are two rules of inference by means of which new theorems can be

Komputačná hypotéza

- Ľudský mozog pracuje ako *biologický procesor*, ktorý transformuje vstupné symboly pomocou sledu pravidiel typu *ak..., potom...* na výstupné symboly; táto jednoduchá idea je podstatou symbolického prístupu.
- Alternatívou k tejto hypotéze je *konekcionizmus* (alebo neurónové siete), podľa ktorého ľudský mozog je neurónová sieť, ktorá obsahuje množstvo navzájom poprepájaných elementárnych procesorových jednotiek nazývaných neuróny. Základy tejto paradigmy už boli naformulované v r. 1943 už zmienenou prácou (pozri kapitolu 1.1) slávnou prácou Warena McCullocha a Walterom Pittsom.
- *Neurónové siete v súčasnosti patria medzi významnú časť počítačovo orientovanej umelej inteligencie, kde zaujali postavenie univerzálneho matematicko-informatického prístupu k štúdiu a modelovaniu procesov učenia, adaptácie umelých kognitívnych systémov založených na metafore ľudského mozgu.*

Kognitívna neuroveda

- „Neuroveda“ študuje nervový systém, jeho vlastnosti, architektúru, fyziológiu a biopfyziku neurónov a spojov (synapsií) medzi nimi.
- Jej špecializovaná časť „kognitívna neuroveda“ študuje mechanizmy realizácie kognitívnych aktivít mozgu. Je to veda o informačných procesoch prebiehajúcich v mozgu: (1) akým spôsobom je táto informácia získavaná z našich zmyslov, (2) ako sú realizované procesy vnímania a rozpoznávania, (3) ako vzniká myslenie a vedomie, (4) ako vznikajú procesy rozhodovania, ktoré zahŕňajú predvídanie budúcich stavov nášho okolia a dôsledkov našej aktivity, (5) čo je to učenie a ako je realizovaná pamäť a konečne, (6) ako sú implementované procesy tvoriace náš jazyk? Tieto činnosti patria do fundamentálneho jadra kognitívnej vedy.

- Môžeme si položiť otázku, aký je *rozdiel medzi kognitívnou vedou a kognitívnou neurovedou*? Hľadať odpoveď na túto otázku nie je jednoduchá záležitosť v dôsledku veľkého presahu medzi týmito dvoma „kognitívnymi“ vednými disciplínami. Snád, pomocou určitého zjednodušeného prístupu k tomuto problému, môžeme povedať, že medzi „kognitívnou neurovedou“ a „kognitívnou vedou“ existuje demrakčná čiara v predmete ich záujmu, predmetom záujmu kognitívnej neurovedy je „hardware“ (t. j. biologická realizácia procesov) a predmetom záujmu „kognitívnej vedy“ je software (t. j. informatická a/alebo algoritmická realizácia procesov). Tu musíme však poznamenať, že toto zakotvenie kognitívnej vedy v biologických vedách (na nervovom substráte) je hlavné kritérium odlíšenia kognitívnej vedy od umelej inteligencie, ktorá taktiež študuje algoritmickú realizáciu kognitívnych (alebo všeobecnejšie – inteligentných) procesov, ale nie je zakotvená na neurónovom substráte.

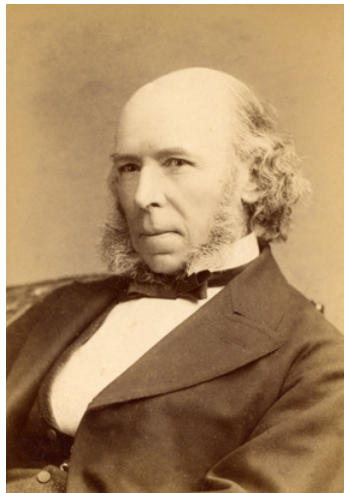
História neurovedy

- Veľmi zaujímavá je história neurovedy (a teda aj kognitívnej neurovedy). Za prvých experimentátorov s ľudským mozgom sú pokladní Egypťania, ktorí už pred 5000 rokmi vykonávali určité chirurgické výkony na mozgu. O úspešnosti týchto zákrokov svedčia archeologické nálezy, kde boli nájdené lebky so zahojenou trepanáciou.
- Filozof v starom Grécku Aristoteles veril, že centrom našej inteligencie je srdce a mozog je orgán na ochladzovanie krvi. Tento názor pretrvával aj v starovekom Ríme, až do čias významného lekára a filozofa Galena (žil v druhom storočí po Kr.), ktorý na základe pozorovaní poraní hlavy gladiátorov usúdil, že sídlom inteligencie (alebo v dobovej terminológii duše) je mozog. K tomuto záveru prišiel na základe poranení hlavy gladiátorov, ktorý pri špecifických poraneniach strácali schopnosť niektorých kognitívnych akcií (videnia, reči a pod.).

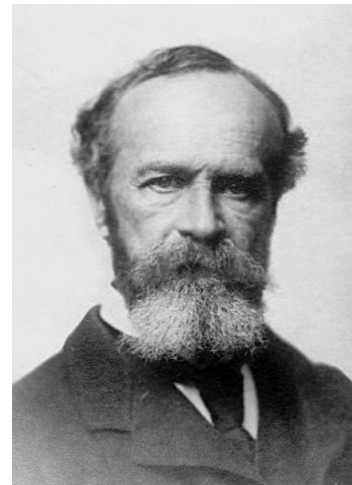
- Až počiatkom novoveku v 17. a hlavne v 18. storočí začali rôzni lekári a aj filozofi umiestňovať mentálne aktivity mozgu do rôznych častí mozgu. Ako klasický príklad uvidíme filozofa Descartesa, ktorý umiestnil myseľ/dušu v šišinke mozgovej (hypofýze).
- Táto snaha lekárov vyvrcholila v polovici 19. storočia, keď francúzsky lekár Paul Broca umiestnil centrum reči do ľavého frontálneho laloku mozgu, čo bolo vykonané na základe jeho pozorovania lokálnej lézie mozgu, ktoré malo za dôsledok stratu reči.
- Tento prístup hľadať centrum rôznych činností mozgu pretrvával až do 30.-40. rokov 20. storočia, keď sa objavili prvé funkčné metódy vyšetřovania mozgu, akými boli elektrické stimulovanie mozgu. Tieto vyšetřovania boli mnohokrát vykonávané ako diagnostické vyšetřenie, pomocou ktorého sa hľadalo centrum ťažkej epilepsie, za účelom jej chirurgického odstránenia. Možno konštatovať, že v tomto pionierskom období boli umiestnené už skoro všetky kognitívne funkcie do rôznych oblastí frontálnych a temporálnych mozgových lalokov.

- Pripomenieme pioniersku osobnosť tohto obdobia, ruského neuropsychológa a lekára A. R. Luria, ktorý v priebehu 2. svetovej vojny pôsobil ako frontový lekár a mal k dispozícii obrovský experimentálny materiál poranených vojakov s léziou mozgu. Ako psychológ vyšetroval týchto vojakov aj z pohľadu straty tej-ktorej kognitívnej aktivity vzhľadom k danej lézii mozgu. Takto nazbieral obrovský a unikátny experimentálny materiál, ktorý bol po vojne aj publikovaný, kde predbehol západnú vedu o niekoľko desaťročí. Žiaľ tieto výsledky boli publikované v anglickom jazyku až v 70. rokoch minulého storočia, keď táto oblasť lokalizácie kognitívnych aktivít v mozgu bola v podstate uzavretá a už existovali moderné metódy funkčného vyšetrenia mozgu.

Pre kognitívnu vedu hrá kľúčovú úlohu vznik a rozvoj neurónovej paradigmy v neurovede. Aj keď už v 2. polovici 19. storočia bolo v podstate jasné, že existuje veľmi úzka korelácia medzi mikroskopickou štruktúrou mozgu a kognitívnymi aktivitami, konkrétne vedomosti o mikroskopickej štruktúre mozgu boli veľmi malé.



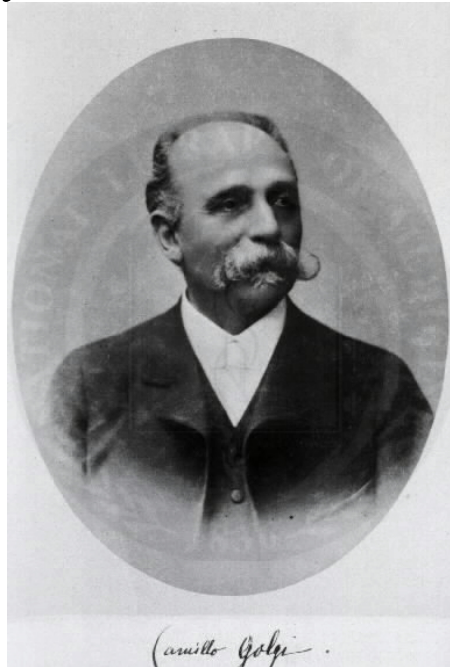
H. Spencer



W. James

Americký filozof H. Spencer v knihe *“The Principles of Psychology”* z r. 1855 prezentoval ideu, že pochopenie základných princípov fungovania nervového systému je nevyhnutným predpokladom pre korektnú interpretáciu procesov a fenoménov psychológie. Podobne, ďalší americký filozof W. James v knihe *„The Principles of Psychology“* z r. 1890 vychádzal z postulátu, že psychologické fenomény sa musia vysvetľovať pomocou aktivít mozgu, a existuje úplný paralelizmus medzi analýzou fungovania nervov a analýzou mentálnych ideí, každá mentálna modifikácia musí byť sprevádzaná zmenami v nervovom systéme mozgu. Pomocou tejto idey rozpracoval teóriu asociatívnej pamäti, ktorá obsahuje jednotlivé idey a ktoré sú medzi sebou prepojené do paralelnej štruktúry tak, že vybavenie si (recall) jednej idey je sprevádzané súčasným pripomenutím si asociovaných ideí.

Kľúčovú úlohu vo výskume mozgu zohral taliansky lekár C. Golgi z 2. polovice 19. storočia, ktorý vynášiel metódu selektívneho zafarbenia buniek v mozgu pomocou dusičnanu strieborného, aplikovaním tejto metódy sa stali dobre rozpoznateľné mozgové mikroskopické štruktúry.

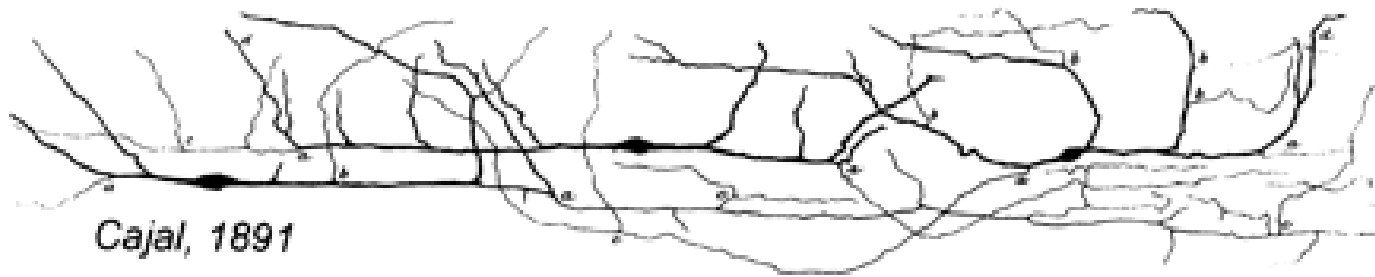
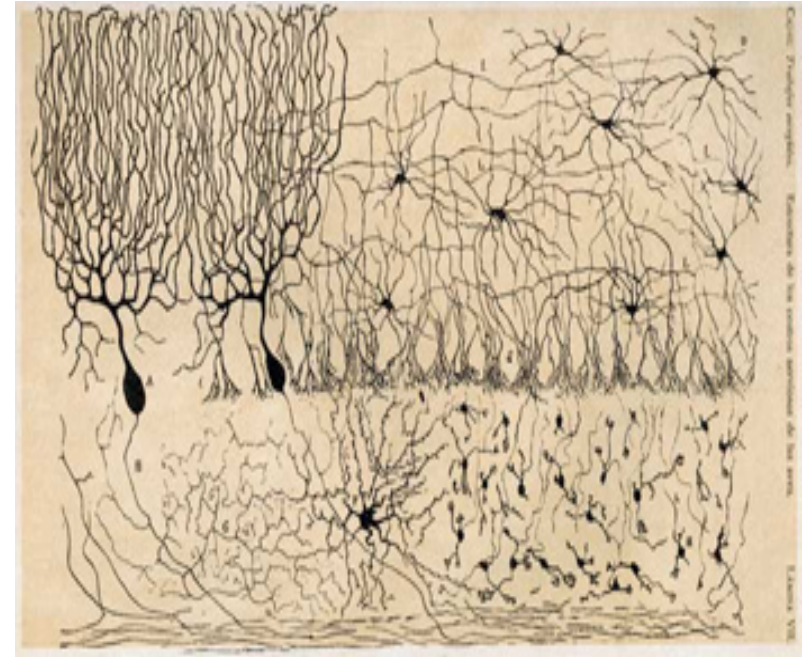
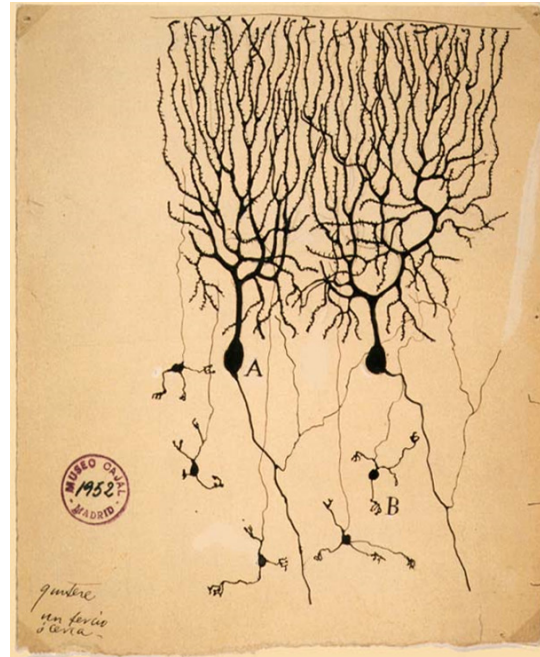


C. Golgi (1843 – 1926)

- Golgiho objav inicioval búrlivý rozvoj neurónovej paradigmy hlavne zásluhou španielskeho lekára SANTIAGO RAMÓN Y CAJAL (1852–1934), ktorý na prelome 19. a 20. storočia vykonal dôležité výskumy pre etablovanie sa neurónovej paradigmy v neurovede.
- Aplikoval Golgiho metódu k charakterizovaniu rôznych mikroštruktúr mozgu na rovnakom mieste (čím získal experimentálne podklady pre špecifikáciu mozgu ako neurónovej siete obsahujúcu neuróny, ktorá obsahujú dendritický systém (zložitý kanálový systém pre vstupnú informáciu), axón (kanál pre výstupnú informáciu) a somu (telo neurónu). Taktiež ukázal, že medzi rôznymi neurónmi existujú spoje – synapsie, kde axón z jedného neurónu sa „prilepí“ na dendrit druhého neurónu, pričom tieto spoje sa realizujú pomocou štruktúr nazývaných „trne“.



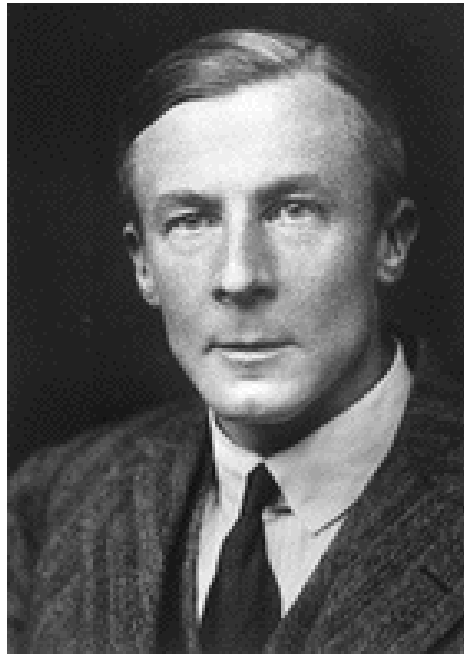
SANTIAGO RAMÓN Y CAJAL (1852–1934)



Cajal, 1891

Skutočnosť, že medzi neurónmi existujú synapsie, viedlo počiatkom 20. rokov minulého storočia k štúdiu elektrochemických mechanizmov prenosu signálov medzi neurónmi. V nasledujúcich dekádach minulého storočia došlo k prudkému rozvoju štúdia detailov elektrochemického mechanizmu prenosu signálu cez synapsie, čo viedlo k tvorbe detailného popisu aktivity neurónov.

Anglický lekár Sir E. A. Adrian na prelome 20. a 30. rokov minulého storočia , využil na tú dobu moderné prístrojové vybavenie (katódovú trubicu a elektronické zosilňovače), bol schopný zaznamenávať priebeh vnútorného potenciálu neurónu. Pomocou tejto techniky Adrian zistil, že neurón pracuje v móde „všetko alebo nič“: ak suma vstupných signálov (cez dendritický systém neurónu) prevýši prahovú hodnotu vnútorného potenciálu, potom neurón cez axón začne vysielat' výstupné signály.



Sir E. A. Adrian (1889–1977)

Kognitívna veda a umelá inteligencia

- ***Inteligentný problém*** ľudskej kognície je taký problém, ktorého riešenie vyžaduje tieto vyššie aspekty kognície: (1) percepciu prostredia, (2) vykonávanie akcií nad týmto prostredím, (3) učenie, (4) usudzovanie, (5) plánovanie, (6) rozhodovanie, (7) riešenie úloh, (8) komunikáciu, a pod. Samozrejme, nie vždy sa vyžaduje spoločný výskyt týchto aspektov, obvykle sa vyskytujú vo vzájomnej kombinácii len niekoľkých vyššie uvedených aspektov kognície.
- ***Umelá inteligencia je tá časť informatiky, ktorá sa zaoberá algoritmizáciou inteligentných problémov.***
- Pojem „inteligentný problém“ je historicky závislý, to čo sa nám javilo pred 30-40 rokmi ako inteligentný problém, v súčasnosti v dôsledku teoretického rozvoja matematiky a informatiky môže byť pomerne jednoducho algoritmizovateľný a nevyžaduje použitie výpočtových techník umelej inteligencie

- Kognitívna psychológia používa koncepcie umelej inteligencie k formulovaniu a testovaniu jej hypotéz.
- Mentálne štruktúry a procesy sú popísané pomocou informatických koncepcií, čo umožňuje vykonávať počítačové simulácie modelov vytváraných v rámci kognitívnej psychológie.
- Otázka o tom, či ľudia vykonávajú danú kognitívnu aktivitu tak, ako je špecifikovaná jej kognitívnym modelom je fundamentálneho charakteru pre kognitívnu psychológiu, práva počítačové simulácie môže byť veľmi nápomocné pri hľadaní odpovede na túto otázku.

Ako modelovať inteligenciu v UI

Existujú dva prístupy:

- symbolická umelú inteligenciu a
 - subsymbolická - konekcionistickú umelú inteligenciu.
-
- ***Symbolická metafora umelej inteligencie*** je založená na algoritmoch, ktoré pomocou formálnych pravidiel sekvenčne transformujú vstupné symboly na výstupné symboly.
 - ***Subsymbolická - konekcionistická metafora umelej inteligencie*** je založená na používaní neurónových sieti obsahujúcej mnoho jednoduchých procesorov, ktoré sú medzi sebou poprepájané.
 - ***Hybridné metafory*** sú kombináciou symbolického a konekcionistického prístupu k spracovaniu informácie.
 - Moderná umelá inteligencia sa zameriava na ***multiagentové systémy***, ktoré obsahujú intencionálnych agentov (agenti, ktorý vykonávajú predpísanú aktivitu – intenciu) s kognitívnym orgánom (buď na symbolickej alebo konekcionistickej úrovni).

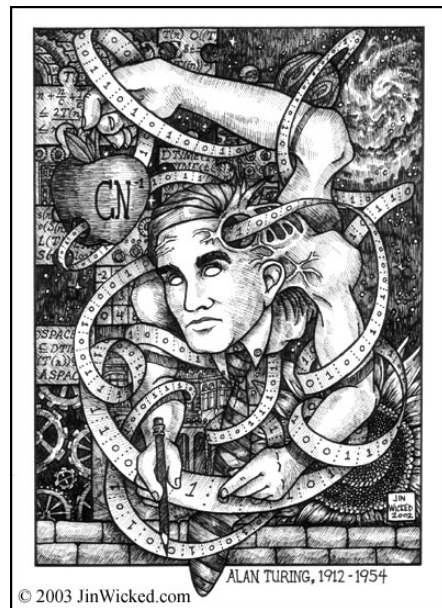
- Často sa rozdiel medzi klasickým symbolickým prístupom a konekcionistickým prístupom považuje za skoro neprekonateľný, ktorý rozdeľuje komunitu umelej inteligencie a/alebo kognitívnej vedy na dva „nezmieriteľné tábory“.
- Tento rozdiel je však veľmi vágny, ba až delikátny. Nie všetky konekcionistické prístupy sú založené na subsymbolickom spracovaní informácie, a naopak, mnohé klasické prístupy umelej inteligencie sú založené na konekcionistickom spracovaní vstupnej informácie (menovite procesy videnia a pochopenie prirodzeného jazyka).
- Na prelome 50. a 60. rokov minulého storočia klasická umelá inteligencia sa vyvíjala podstatne rýchlejšie ako konekcionistické modely kognitívnych procesov.

- Na prelome 50-tych a 60-tych rokov bolo jasné, že perceptrón má určité obmedzenia, že nie je univerzálne použiteľný na klasifikáciu ľubovoľných obrazcov, až prostredníctvom Minskeho a Papertovej knihy "*Perceptron*" boli tieto obmedzenia presne opísané a špecifikované.
- Ukázalo sa a na rôznych príkladoch všeobecného charakteru sa demonštrovalo, čo dokáže perceptrón korektne klasifikovať a čo nie.
- Bol zavedený fundamentálny pojem *lineárnej separovateľnosti*, pomocou ktorého sa pomerne jednoducho (a tiež názorne) formulujú podmienky pre korektnú klasifikáciu danej triedy objektov.
- V dobe publikovania knihy bol jedným z najaktuálnejších problémov umelej inteligencie problém rozpoznávania a klasifikácie scén. Práve v tejto dobe vznikali základné "symbolické" algoritmy a postupy, ako riešiť problém analýzy a klasifikácie scén. Preto Minsky a Papert upriamili svoju pozornosť na riešenie týchto problémov pomocou perceptrónov. Zistili napríklad, že perceptrón je schopný rozlíšiť trojuholníky od štvorcov, ale nedokáže rozlíšiť súvislé geometrické telesá od nesúvislých.

Počítače a kognícia

- Ideové prekurzory UI môžu byť vysledované až do 3. storočia pred Kr., keď Aristoteles vytváral svoju logiku sylogizmov a stoický filozof Chrysippos vytváral logiku, ktorú by sme z dnešného pohľadu nazvali výrokovou.
- Nemecký filozof a matematik Gottfried Wilhelm Leibniz, pokúsil sa v 17. storočí vybudovať formálny systém, ktorý by nahradil verbálne metódy usudzovania manipuláciami s formulami.
- Trvalo ešte ďalších 200 rokov než sa naplnila táto Leibnizova idea, keď v polovici 19. st. anglickí matematici A. de Morgan a G. Boole zostrojili „kalkulus“ – výrokovú logiku.
- Pre Descartesovho súčasník anglického filozofa T. Hobbesa myslenie už nebolo nič iné, ako len špeciálny druh výpočtu. Táto hypotéza, ktorá v 17. storočí znela veľmi neobvykle ba až exoticky, bola až v súčasnosti plne akceptovaná a realizovaná pomocou umelej inteligencie a kognitívnej vedy, kde má postavenie centrálnej paradigmy.

- Fundamentálna práca A. Turinga z r. 1937 (ktorá má zásadný význam pre vznik umelej inteligencie a kognitívnej vedy)
- Turing pri riešení tohto problému dospel k abstraktnému počítaču, ktorý je schopný vypočítať (alebo aj nevypočítať) funkciu charakterizujúcu daný matematický výrok. Potom môžeme celú triedu prípustných funkcií rozdeliť na dve potriedy: funkcie, ktoré sú Turingovým počítačom vypočítateľné a funkcie, ktoré nie sú Turingovým počítačom vypočítateľné.
- K podobnému výsledku dospel súčasne aj americký logik A. Church pomocou tzv. rekurzívnych funkcií, tieto dva výsledky sú spojené do Turingovej a Churchovej tézy, podľa ktorej pre *každú funkciu, ktorá je algoritmizovateľná (pozri poznámku 2) je aj vypočítateľná pomocou Turingovho počítača.*
- Pretože veríme, že naše kognitívne aktivity sú algoritmizovateľné, tak môžu byť aj implementované na počítači, čiže naša myseľ a Turingov počítač sú „ekvivalentné“, t. j. že tak myseľ ako aj Turingov počítač, dávajú rovnaký výstup na rovnaký vstup, odlišujú sa len v spôsobe „vypočítania“ tohto výstupu.



Alan Turing (1912 – 1954)

ON COMPUTABLE NUMBERS, WITH AN APPLICATION TO
THE ENTSCHIEDUNGSPROBLEM

By A. M. TURING.

[Received 28 May, 1936.—Read 12 November, 1936.]

[Extracted from the Proceedings of the London Mathematical Society, Ser. 2, Vol. 42, 1937.]

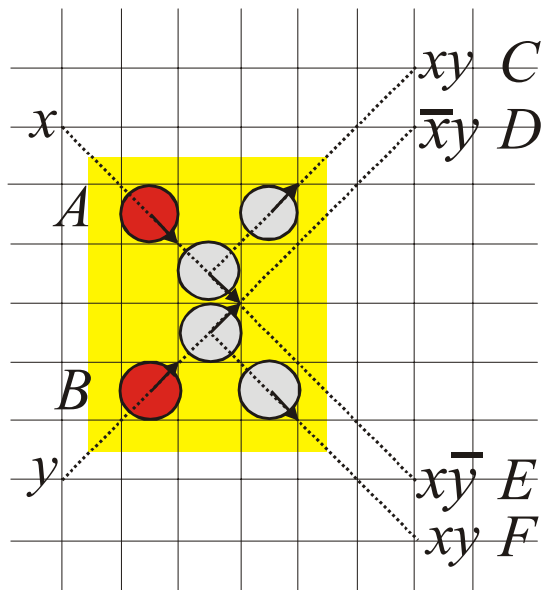
The “computable” numbers may be described briefly as the real numbers whose expressions as a decimal are calculable by finite means. Although the subject of this paper is ostensibly the computable numbers, it is almost equally easy to define and investigate computable functions of an integral variable or a real or computable variable, computable predicates, and so forth. The fundamental problems involved are, however, the same in each case, and I have chosen the computable numbers for explicit treatment as involving the least cumbersome technique. I hope shortly to give an account of the relations of the computable numbers, functions, and so forth to one another. This will include a development of the theory of functions of a real variable expressed in terms of computable numbers. According to my definition, a number is computable if its decimal can be written down by a machine.

In §§ 9, 10 I give some arguments with the intention of showing that the computable numbers include all numbers which could naturally be regarded as computable. In particular, I show that certain large classes of numbers are computable. They include, for instance, the real parts of all algebraic numbers, the real parts of the zeros of the Bessel functions, the numbers π , e , etc. The computable numbers do not, however, include all definable numbers, and an example is given of a definable number which is not computable.

Although the class of computable numbers is so great, and in many ways similar to the class of real numbers, it is nevertheless enumerable. In § 8 I examine certain arguments which would seem to prove the contrary. By the correct application of one of these arguments, conclusions are reached which are superficially similar to those of Gödel†. These results

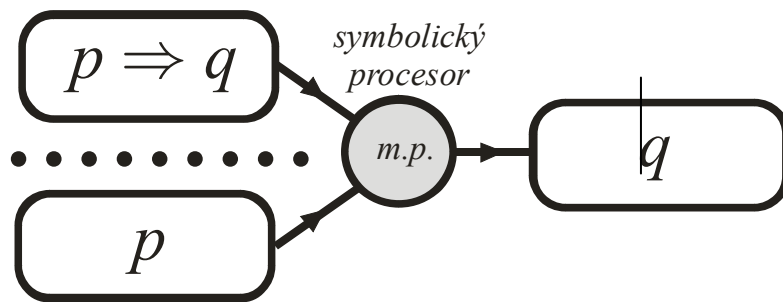
† Gödel, “Über formal unentscheidbare Sätze der Principia Mathematica und verwandter Systeme, I”, *Monatshfte Math. Phys.*, 38 (1931), 173–198.

V polovici 80. rokov minulého storočia anglický fyzik a informatik I. Deutsch formuloval fyzikálnu verziu Churchovej a Turingovej tézy: „*každý konečný fyzikálny proces simuluje nejaký výpočet*“. Podľa tejto verzie Churchovej a Turingovej tézy každý fyzikálny proces môžeme chápať ako špeciálny výpočet, problém je len v tom ako kódovať vstup do tohto fyzikálneho systému a dekodovať jeho výstup. Známym príkladom takéhoto fyzikálneho počítania sú biliardové gule, ktoré bolo navrhnuté americkými fyzikmi Fredkinom a Toffolim v r. 1982.



Dokonala elastická zrážka dvoch biliardových gúl simuluje logickú bránu konjunkcie. Binárne premenné x a y špecifikujú, či v čase $t = 1$ sa v daných východiskových polohách nachádza prvá resp. druhá guľa. K elementárnemu aktu zrážky dochádza v čase $t = 2$. Výsledné polohy v čase $t = 3$ sú špecifikované súčinnami (konjunkciami) binárnych premenných $xy, \bar{x}y, x\bar{y}, xz$.

- Skoro súčasne s týmto dôležitým teoretickým Turingovým výsledkom bolo na konkrétnom príklade v neurovede ukázané, že počítače špeciálneho typu môžu byť zostrojené aj pomocou jednoduchých logických (alebo prahových) neurónov McCullochom a Pittsom (pozri kapitolu 1.1).
- Ukázali, že každá Boolova funkcia, ktorá obsahuje spojky konjunkcie, disjunkcie a negácie je vyjadrená pomocou doprednej neurónovej siete. Ak tieto siete obsahujú cykly (hovoríme, že sieť je rekurentného charakteru), potom sieť môže simulovať konečnostavový stroj schopný univerzálneho počítania.



Znázornenie symbolického procesoru, ktorý uskutočňuje pravidlo usudzovania výrokovej logiky „modus ponens“, ktoré je vyjadrené pomocou schémy usudzovania

$$\begin{array}{ll}
 p \Rightarrow q & \text{1. predpoklad} \\
 p & \text{2. predpoklad} \\
 \hline
 q & \text{dôsledok}
 \end{array}$$

kde p a q sú symboly – výrokové premenné.

Syntax, sémantika a algoritmy

- Základný význam pre pochopenie a interpretáciu komputačnej teórie mysle je rozdiel medzi syntaxou a sémantikou symbolického systému.
- Spôsob povolenej manipulácie so symbolmi je problém syntaktický a otázka čo znamenajú novovytvorené symboly je problém sémantický.
- Uvažujme tri rôzne notácie pre čísla: (1) dekadické čísla '1', '2', '3',..., (2) rímske čísla 'I', 'II', 'III',... a (3) binárne čísla '1', '10', '11',.... Tak napríklad, číslo „tri“ má tri rôzne syntaktické reprezentácie 3, III a 11. Pravidlá pre súčet čísel v rôznej reprezentácii sú diametrálne odlišné, ale ich výsledky musia mať rovnakú sémantickú interpretáciu.
- Algoritmus je “mechanická” krok-po-kroku procedúra, ktorá transformuje vstupné symboly na výstupné symboly, pričom tieto symboly majú presne špecifikovaný syntax, ktorý odráža ich sémantickú interpretáciu (význam).

- Turing navrhol všeobecnú konštrukciu tohto algoritmu (ktorý sa nazýva Turingov stroj), ktorá postupne transformuje vstupné symboly na výstupné symboly.
- Podľa Churchovej a Turingovej tézy, Turingov počítač môže počítať všetko, čo je „intuitívne“ vypočítateľné. Táto idea bola inšpiráciou pre vznik súčasnej výpočtovej techniky.
- Komputačná teória mysle prenáša túto paradigmu do psychológie postulátom, že všetky inteligentné procesy môžu byť študované ako algoritmické procesy realizované na jednoduchých symbolických procesoroch.

Jednoduchý symbolický procesor

- Turingov stroj obsahuje „pásku“ na ktorú sa zaznamenávajú symboly medzivýsledky, „skener“, ktorý je schopný s páskou pohybovať dopredu a dozadu a taktiež zapisuje a číta symboly na páske.
- Toto je však len jedna z možných architektúr Turingovsho stroja, čo je dôležité pre stroj – počítač, že jeho elementárne operácie sú realizované pomocou nejakého fyzikálneho procesu. K tomu, aby komputačný model mozgu bol aspoň vzdialene podobný ľudskému mozgu, použijeme prístup logických neurónových sietí McCullocha a Pittsa, ktoré obsahujú elementárne brány konjunkcie, disjunkcie a negácie.

Príklad

Budeme študovať elementárnu úlohu súčtu dvoch jednobitových čísel

$$\alpha_1 + \alpha_2 = \beta_1\beta_2$$

ktorej všetky možné prípady sú uvedené v nasledujúcej tabuľke

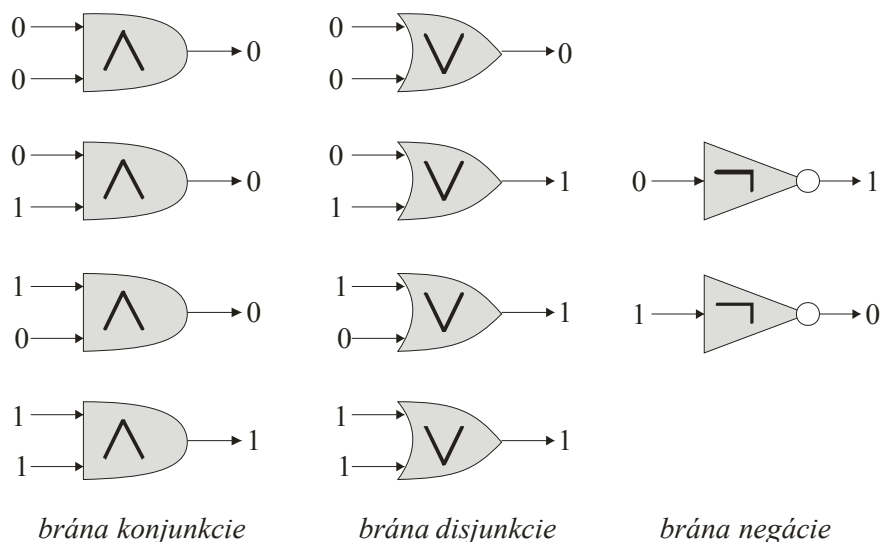
α_1	α_2	β_1	β_2
0	0	0	0
0	1	0	1
1	0	0	1
1	1	1	0

kde prvá dva stĺpce reprezentujú vstupné čísla – bity a posledná dva stĺpce reprezentujú výstupné čísla – bity. Z tejto tabuľky bezprostredne vyplýva, že výstupné byty β_1 a β_2 sú určené ako jednoduché funkcie vstupných bitov

$$\beta_1 = \alpha_1 \wedge \alpha_2,$$

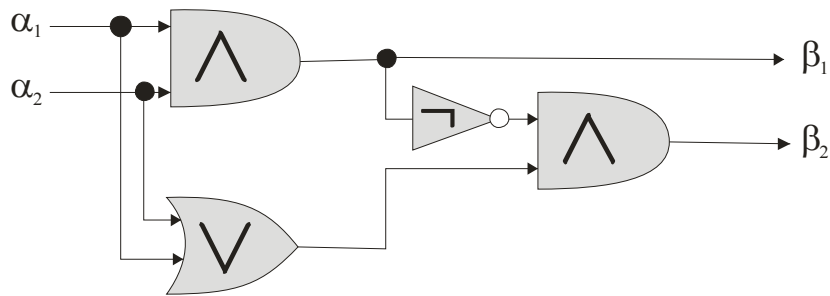
$$\beta_2 = (\neg\alpha_1 \wedge \alpha_2) \vee (\alpha_1 \wedge \neg\alpha_2) = (\alpha_1 \vee \alpha_2) \wedge \neg(\alpha_1 \wedge \alpha_2) \quad (*)$$

Kognitívna úloha súčtu dvoch jednobitových čísel môže byť vyjadrená funkciou ktorá je jednoducho vypočítateľná (ako ukážeme v ďalšom texte, táto vypočítateľnosť je uskutočnená pomocou obvodu – neurónovej siete, ktorá obsahuje brány konjunkcie, disjunkcie a negácie.



Logické brány konjunkcie, disjunkcie a negácie, ktoré na ľavej strane majú vstupné „binárne“ hodnoty a na pravej strane výstupnú „binárnu“ hodnotu. Vstupné hodnoty obsahujú všetky možné rôzne prípady vstupov. Fyzikálna realizácia týchto brán je v súčasnosti rutinnou technologickou záležitosťou.

Ak tieto elementárne logické brány prepojíme do funkčného celku nazývaného neurónová sieť tak, aby boli “implementované” Boolove funkcie (*) pre jednotlivé komponenty výsledného súčtu $\beta_1\beta_2$.



Logický obvod (neurónová sieť) realizujúci súčet dvoch 1-bitových čísel α_1 a α_2 (tvoria vstup do siete) na výsledné 2-bitové číslo $\beta_1\beta_2$ (jeho komponenty tvoria výstup siete). Tento obvod (neurónová sieť) môže byť formálne chápaný ako počítač realizujúcu úlohu súčtu dvoch 1-bitových čísel.

- V rámci *symbolického prístupu* ku vzťahu medzi mozgom a mysl'ou je tento problém riešený pomocou počítačnej hypotézy. Potom *mozog/mysel* *charakterizovaný ako sekvenčný počítač*, (1) ktorý transformuje symboly pomocou syntaktických pravidiel na iné symboly, pričom (2) myšlienky sú symbolické reprezentácie implementované pomocou jazyka myslenia, a (3) mentálne procesy sú postupnosti symbolov (medzi ktorými sú príčinné vzťahy) generované syntaktickými pravidlami.
- Pre sekvenčné paralelné počítače existuje striktná dichotómia medzi počítačom a programom – t. j. medzi hardvérom a softvérom. Žiaľ, metafora mysle ako sekvenčného počítača, kde možné oddeliť mozog od mysle, ako dva „nezávislé“ fenomény, kde mozog hrá úlohu hardvéru, zatiaľ čo myseľ je softvér (vykonávaný na hardvéru – mozgu). V tejto súvislosti sa tiež hovorí o sociokultúrnom zdroji ľudskej mysle, kde mozog akoby bol len irelevantným „hardwarovým“ vehiklom mysle.

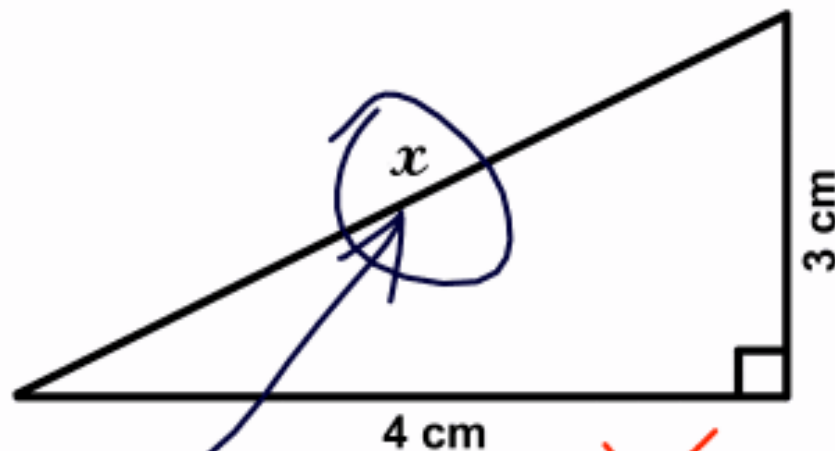
- Súčasný prístup k chápaniu vzťahu medzi mozgom a myslou je založený na konekcionistickom poňatí tak mozgu, ako aj mysle.
- Základná predstava o mozgu (založená na experimentálnych neurovedných poznatkoch) je, že je tvorený z neurónov navzájom poprepájaných pomocou jednosmerných synaptických spojov. Ľudský mozog vykazuje neobyčajnú plasticitu, v priebehu učenia neustále vznikajú (ale taktiež aj zanikajú) synaptické spoje. Architektúra mozgu je určená spojmi medzi neurónmi, ich inhibičným, alebo excitačným charakterom, a taktiež aj ich intenzitou.
- *Schopnosť mozgu vykonávať nielen kognitívne aktivity, ale byť aj pamäťou, je plne zakódovaná do jeho architektúry.* Na základe týchto neurovedných poznatkov bazálneho charakteru môžeme konštatovať, že počítačová paradigma ľudského mozgu/mysle sa musí formulovať tak, že **mozog je paralelný distribuovaný počítač** (obsahujúci mnoho miliárd neurónov, elementárnych procesorov, ktoré sú medzi sebou poprepájané do zložitej neurónovej siete).

- Program v tomto paralelnom počítači je priamo zabudovaný do architektúry neurónovej siete, t. j. ľudský mozog je *jednoúčelový* paralelný počítač reprezentovaný neurónovou sieťou, ktorý nie je možné preprogramovať bez zmeny jeho architektúry.
- Z týchto všeobecných úvah vyplýva, že *mysel' s mozgom tvoria jeden integrálny celok; myseľ je v tomto prístupe chápaná ako program vykonávaný mozgom, avšak tento program je špecifikovaný architektúrou distribuovanej neurónovej siete reprezentujúcej mozog.*
- Mozog a myseľ tvoria dva rôzne pohľady na ten istý objekt: (1) keď hovoríme o mozgu, myslíme tým „hardwarovú“ štruktúru, biologicky realizovanú neurónmi a ich synaptickými spojmi (formálne reprezentovanú neurónovou sieťou), v opačnom prípade, (2) keď hovoríme o mysli, myslíme tým kognitívne a iné aktivity mozgu, realizované výpočtami neurónovej siete reprezentujúcej mozog.

A cognitive joke

After D. J. Chalmers a 'cognitive joke' is a joke whose humour seems to rely on higher-level, more abstract cognitive processing in the brain, where offered solution is highly unexpected

3. Find x .



The End