

Historie kybernetiky a umělé inteligence

02. Vývoj kybernetiky v USA

Miloš Železný

Katedra kybernetiky
Fakulta aplikovaných věd
Západočeská univerzita v Plzni

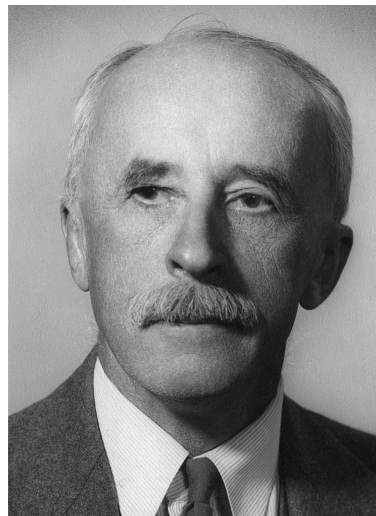
23. září 2024



Nicolas Minorsky

Nicolas Minorsky (Nikolaj Fjodorovič Minorskij) (1885–1970)

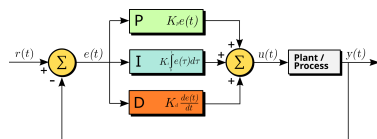
- ▶ narozen v Rusku, studoval v Petrohradě, měl na starost dohled nad gyrokompasu a vyučoval gyroskopický efekt
- ▶ emigroval v době občanské války v Rusku (1917-1918) za svého pobytu na ambasádě v Paříži
- ▶ pracoval ve výzkumné laboratoři General Electric
- ▶ podílel se na návrhu řízení pro bitevní loď USS Mexico



Nicolas Minorsky II

PID regulátor

- ▶ PID regulátor je mechanismus zajišťující zpětnou vazbu v průmyslových řídicích systémech
- ▶ PID regulátor počítá odchylku mezi nastavenou a skutečně naměřenou hodnotou a z ní vypočítává akční zásah
- ▶ jeho základní myšlenkou je použití 3 složek - proporcionální (P), integrační (I) a derivační (D)



Další předválečný vývoj

Harold Hazen, MIT (1901–1980)

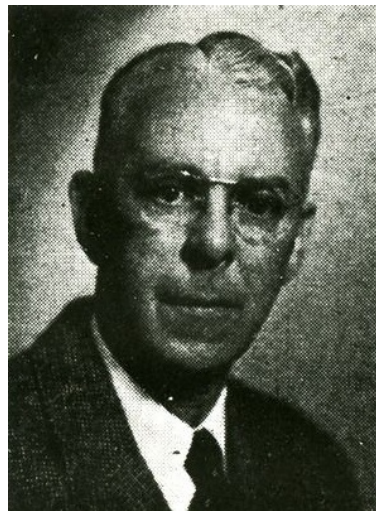
- ▶ sjednocení teorie řízení a zavedení moderní terminologie
- ▶ přesun důrazu z řízení ustáleného stavu na dynamické řízení
- ▶ koncepce servomechanismu jako zesilovače – převádí nízkoenergetický signál (např. z gyrokompasu) na vysokoenergetický akční výstup (např. otočení kormidlem)
- ▶ ukazuje se, že pro využití této koncepce je nutný další rozvoj např. matematického modelování a také první výpočetní techniky



Harold Black

Harold Stephen Black (1898–1983)

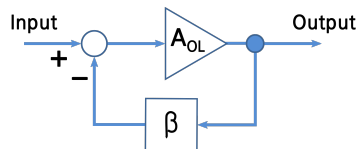
- ▶ americký inženýr, pracoval v Bell Labs v letech 1925–1963
- ▶ původně přišel s konceptem zesilovače s dopřednou vazbou
- ▶ zesilovač geenroval i signál svého vlastního zeslení a ten se pak na výstupu odečítal od výstupního signálu
- ▶ tento v zásadě správný koncept však fungoval pouze v laboratorních podmínkách, pro praxi byl komplikovaný a vyžadoval složité seřizování



Harold Black II

Návrh zesilovače se zpětnou vazbou

- ▶ je považován za průlomový,
- ▶ řeší nelinearitu zesilovačů,
- ▶ celkové zesílení je sice sníženo, ale významně je sníženo zkreslení,
- ▶ při sériovém zapojení se zesílení násobí, a le zkreslení pouze sčítá,
- ▶ tento vynález umožnil



Harry Nyquist

Harry Nyquist (1889–1976)

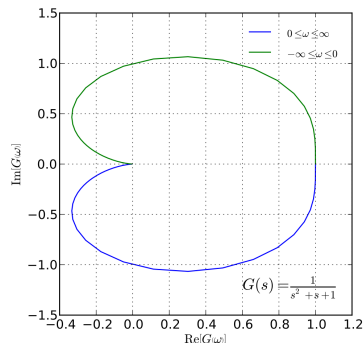
- ▶ původem švédský vědec
- ▶ Blackův kolega z Bell Labs



Harry Nyquist II

Nyquistovo kritérium stability

- ▶ Nyquist pomohl Blackovi vyřešit problém se stabilitou jeho zpětnovazebního zesilovače pomocí analýzy ve frekvenční oblasti
- ▶ dodnes je v teorii řízení pro vyšetření stability systému využíváno *Nyquistovo kritérium stability* založené na inspekci *Nyquistovy křivky*
- ▶ Nyquistova křivka vykresluje frekvenční charakteristiku systému v komplexní rovině. Křivka je parametrizovaná frekvencí $j\omega$ a zobrazuje zesílení jako absolutní hodnotu a fázový posuv jako úhel.



Henryk Bode

Henryk Wade Bode (1905–1982)

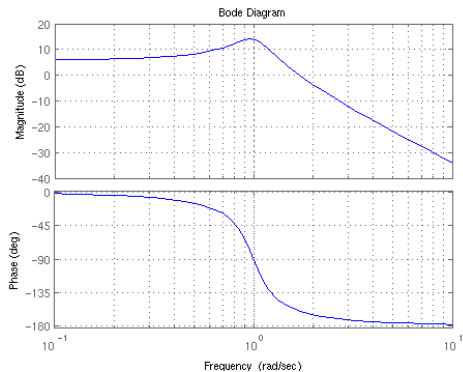
- ▶ americký inženýr a vynálezce holandského původu
- ▶ také kolega z Bell Labs
- ▶ v roce 1938 vyvinul amplitudový a fázový diagram, který byl později nazván po něm – Bodeho diagramy
- ▶ za války pracoval v NDRC na vývoji protiletadlových systémů válce spolu s Wernherem von Braunem byli členy NACA (předchůdce NASA) a podíleli se na vývoji balistických raket



Henryk Bode II

Bodeho diagramy

- ▶ Bodeho diagramy popisují frekvenční odezvu systému
- ▶ technicky jde o amplitudovou a fázovou logaritmickou frekvenční charakteristiku
- ▶ tyto diagramy se používají pro identifikaci systému a pro návrh stabilního systému splňujícího předem definované parametry.



Bellovy laboratoře

AT&T

- ▶ AT&T (American Telephone and Telegraph) byla založena v roce 1885, jejím cílem bylo vytvoření celostátní telefonní sítě
- ▶ od roku 1924 trvaly spory ohledně monopolního postavení, které byly v roce 1982 vyřešeny rozdělením společnosti

Bellovy laboratoře

- ▶ Bellovy laboratoře byly založeny v roce 1925 jako součást AT&T s cílem převzít práci vedenou Westren Electric. Vlastnictví bylo rozděleno rovnoměrně mezi AT&T a Westren Electric
- ▶ od roku 1924 trvaly spory ohledně monopolního postavení, které byly v roce 1982 vyřešeny rozdělením společnosti

Bellovy laboratoře II

Vynálezy v době do 2. světové války

- ▶ 1926 – synchronní zvuková stopa pro filmy
- ▶ 1927 – přenos televizního signálu z Washingtonu do New Yorku
- ▶ 1928 – Blackův zesilovač
- ▶ 1932 – Nyquistovo kritérium
- ▶ 1931, 1932 – stereofonní záznamhudby Filadelfského orchestru
- ▶ 1937 – vocoder (zařízení pro elektronickou kompresi řečového signálu a voder (prní řečový syntetizér
- ▶ 1943 – fotovoltaiická buňka

Bellovy laboratoře II

Vynálezy po 2. světové válce

- ▶ 1947 – Tranzistor
- ▶ 1948 – Matematická teorie komunikace (Claude Shannon)
- ▶ 1969 – UNIX (Dennis Ritchie, Ken Thompson)
- ▶ 1969 – Charge-coupled device (CCD) - používaný např. v kamerách pro snímání obrazu
- ▶ 1972 – programovací jazyk C (Dennis Ritchie, B. Kernighan)
- ▶ 1986 – Programovací jazyk C++ (Bjarne Stroustrup)

Celkem 9 Nobelových cen

Od roku 2016 součástí Nokia

Carnegie Institute of Washington

Carnegie Institute of Washington

- ▶ dnes nazývaná i Carnegie Institution of Science
- ▶ jeden z hlavních zdrojů financování vědy v USA před druhou světovou válkou
- ▶ v roce 1940 byl ředitelem Vannevar Bush, který ze své pozice navrhl prezidentovi Rooseveltovi zřídit radu koordinující výzkum v oblasti obrany
- ▶ vznikla tak National Defense Research Committee (NDRC) – skupina lidí de facto rozhodující o tom, co se bude (a nebude) ve válečném období zkoumat
- ▶ ve svých pamětech vzpomíná, že *byli tací, kteří protestovali, že založení NDRC byl fígl, jímž se malá skupinka vědců a inženýrů jednajících mimo zavedené kanály zmocnila pravomocí a peněz k programu vývoje nových zbraní. A v podstatě přesně takhle to bylo.*

Vannevar Bush

Vannevar Bush (1890–1974)

- ▶ profesor na MIT a školitel H. Hazena a Clauda Shannona
- ▶ spolu s Hazenem vyvinuli v letech 1928-1931 mechanický diferenciální analyzátor
 - ▶ mechanický analogový počítač, který řešil diferenciální rovnice pomocí integrování
 - ▶ při každé změně počítané úlohy musel být rozebrán a manuálně přenastaven
 - ▶ 1935 — Rockefellerův diferenciální analyzátor (přenastavování řešeno automaticky pomocí kombinace servomechanismů a reléových přepínačů)
 - ▶ 1936 – pro práci na diferenciálním analyzátoru najat Shannon
- ▶ v roce 1938 Bush odchází z MIT do vedení Carnegie Institution



National Defense Research Committee (NDRC)

National Defense Research Committee (NDRC)

měla 5 divizí

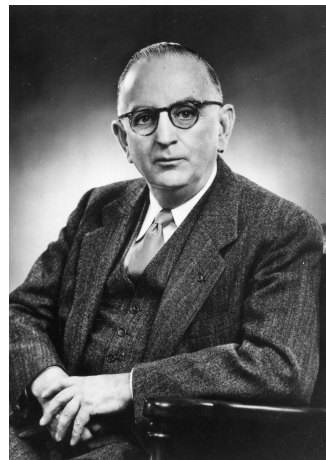
- ▶ A. Výzbroj a obrnění
- ▶ B. Bomby, palivo, plyny a chemie
 - ▶ Manhattan project - vývoj atomové bomby
- ▶ C. Komunikace a přeprava
- ▶ D. Detekce, řízení, nástroje
 - ▶ D-1 – detekce a radar
 - ▶ D-2 – řízení (střelby) – vedoucí Warren Weaver
 - ▶ jeden z malých projektů zde řešil i Norbert Wiener
 - ▶ opět Claude Shannon – již v rámci Bell Labs
 - ▶ D-3 – nástroje
 - ▶ D-4 – vyzařování tepla
- ▶ E. Patenty a vynálezy



Warren Weaver

Warren Weaver (1894–1978)

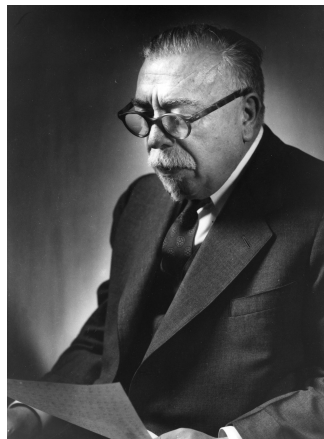
- ▶ stavební inženýr, později pomocný profesor matematiky
- ▶ ředitel divize přírodních věd Rockefellerovy nadace (1932-55)
- ▶ Za války vedoucí divize D-2 NDRC



Norbert Wiener

Norbert Wiener (1894–1964)

- ▶ matematik a filozof (krátce ovšem studoval i zoologii)
- ▶ v průběhu 1. sv. války učil filozofii na Harvardu, pracoval jako inženýr u GE (General Electric) a byl i novinářem
- ▶ po válce získal místo vyučujícího matematiky na MIT



Weaver vs. Wiener

Weaver vs. Wiener

- ▶ Wiener byl nesmírně schopný matematik, který se pro NDRC zabýval statistickými metodami predikce a vyhlazování a jejich využitím v řízení protiletectvé dělostřelecké palby
- ▶ Weaver jeho práci uznával, avšak postupně mezi nimi docházelo k neshodám, a to kvůli jistě Wienerově naivitě, jeho neschopnosti dovést svůj výzkum k fungujícím praktickým aplikacím, a nejspíše též kvůli jeho nekonformnosti s požadavky a režimem válečného výzkumu a vývoje
- ▶ Wienerův projekt pro NDRC byl předčasně ukončen

Macy conferences

Macy conferences

- ▶ série 10 setkání odborníků na téma „kybernetika“ – která teprve v roce 1948 kybernetiku stvořila
- ▶ první konference březen 1946, New York City
 - ▶ Téma: *Feedback Mechanisms and Circular Causal Systems in Biological and Social Systems.*
 - ▶ Core group: Bateson, Bigelow, von Bonin, Frank, Fremont-Smith, Gerard, Harrower, Hutchinson, Klüver, Kubie, Lazarsfeld, Lewin, Lorente de Nó, McCulloch (chair), Mead, von Neumann, Northrop, Pitts, Rosenblueth, Savage, Wiener
- ▶ téma se měnilo
 - ▶ *Teleological Mechanisms and Circular Causal Systems*
 - ▶ *Cybernetics: Circular Causal and Feedback Mechanisms in Biological and Social Systems*
- ▶ místo zůstalo stejné až na poslední konferenci. Ta se konala v dubnu 1953 v Princetonu



Julian Bigelow

Julian Bigelow (1913–2003)

- ▶ americký inženýr, během války blízký spolupracovník N. Wienera
- ▶ řízení střelby, protiletadlové zbraně, Wienerův filtr
- ▶ v roce 1946 na Wienerovo doporučení stává spolupracovníkem J. von Neumanna a je hlavním konstruktérem jednoho z prvních číslicových počítačů zvaného IAS machine nebo též MANIAC



Arturo Rosenblueth

Arturo Rosenblueth (1900–1970)

- ▶ mexický lékař a fyziolog
- ▶ spolu s Wienerem a Bigelowem autor článku *Behavior, Purpose and Teleology (Chování, účel a teleologie)*
- ▶ účelové aktivní chování může být rozděleno do dvou tříd: *zpětnovazební* (či *teleologické*) a *ne-zpětnovazební* (či *neteleologické*); veškeré účelové chování může být chápáno jako vyžadující negativní zpětnou vazbu



Warren McCulloch

Warren Sturgis McCulloch (1898—1969)

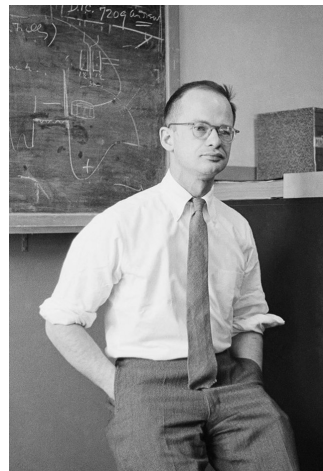
- ▶ americký neurofyziolog
- ▶ od roku 1941 profesorem psychiatrie v Chicagu
- ▶ předsedal sérii Macy konferencí



Walter Pitts

Walter Pitts (1923–1969)

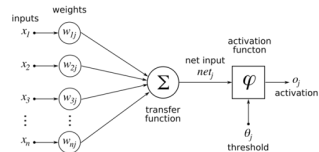
- ▶ americký logik
- ▶ pracoval v oblasti počítačích neurově
- ▶ jako dítě studoval matematiku a logiku samostudiem a také jazyky (latinu a řečtinu)
- ▶ je známo, že ve 12 strávil 3 dny čtením *Principia Mathematica* v knihovně; poté napsal Bertrandu Russelovi (jednomu z autorů), jaké vidí problémy v první polovině prvního svazku a dostal nabídku studovat v Cambridge ve věku 12 let, kterou v tu dobu nevyužil



Model neuronu

McCullochův a Pittsův model neuronu

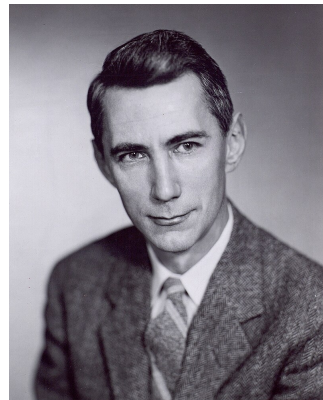
- ▶ založený na podobnosti se skutečným neuronem
- ▶ používá váhy jednotlivých vstupů – tyto jsou předmětem trénování
- ▶ je základem pro moderní neuronové sítě



Claude Shannon

Claude Shannon (1916–2001)

- ▶ americký elektroinženýr, matematik a kryptograf
- ▶ 1936 - nastupuje na MIT jako magisterský student k V. Bushovi a začíná spolupracovat na diferenciálním analyzátoru
- ▶ obhájí diplomovou práci *A Symbolic Analysis of Relay and Switching Circuits* (Symbolická analýza relé a spínacích obvodů)
v této práci ukazuje, že
 - ▶ pomocí Booleovy algebry lze zjednodušit návrh spínacích obvodů používaných v telefonní síti
 - ▶ zapojení reléových obvodů lze využít pro řešení problémů vyjádřených v Booleově algebře



Claude Shannon II

Claude Shannon za 2. světové války

- ▶ tato práce, která v podstatě položila základy vývoje číslicových počítačů, je považována za *pravděpodobně nejdůležitější, a také nejznámější, diplomovou práci 20. století*
- ▶ matematické principy využitě v diplomové práci pak ve své disertační práci aplikuje i na populační genetiku
 - ▶ 1940 – *An Algebra for Theoretical Genetics*
- ▶ ve stejném roce nastupuje na Institute for Advanced Study (IAS) v Princetonu, kde se setkává s J. von Neumannem, ale také A. Einsteinem a K. Gödelem
- ▶ 1941 – Shannon nastupuje do Bell Labs a pracuje v rámci kontraktu s NDRC (sekce D-2) na řízení střelby a kryptografických úlohách
- ▶ 1943 – v průběhu 2 měsíců na začátku tohoto roku se opakovaně setkává s britským matematikem a kryptoanalytikem Alanem Turingem a diskutují spolu svoji myšlenky



Claude Shannon III

Claude Shannon za 2. světové války

- ▶ 1945 – technická zpráva pro NDRC – část věnovaná problému *vyhlazování* dat pro řízení střelby napsaná Shannonem a jeho kolegy z Bell Labs používá s analogii s komunikačními systémy ve kterých je také třeba „oddělit užitečný signál od rušivého šumu“ – základ pro pozdější koncept teorie informace