

# Historie kybernetiky a umělé inteligence

## 2. přednáška

### Zrození kybernetiky – příběh americký

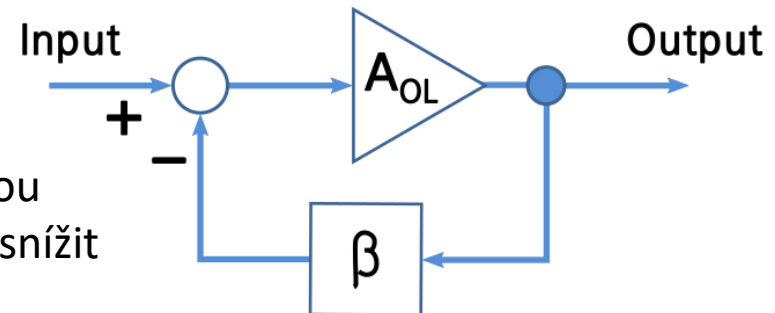
Miloš Železný  
Pavel Ircing / Jan Romportl

NTIS - UN 556  
[zelezny@kky.zcu.cz](mailto:zelezny@kky.zcu.cz)

KKY/HKUI

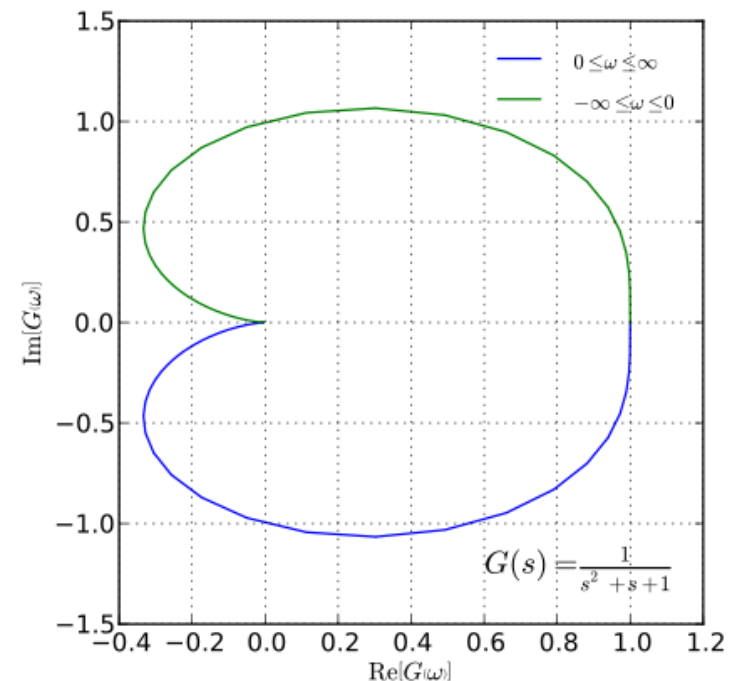
# Harold Black (1898-1983)

- inženýr Bell Labs, který nejprve přišel s konceptem zesilovače s *dopřednou vazbou*
  - zesilovač generoval i signál svého vlastního zkreslování a ten se pak na výstupu odečítal od výstupního signálu
  - koncept to byl v zásadě správný a v laboratorních podmínkách zesilovač fungoval, ale pro praxi byl příliš komplikovaný, choulostivý a bylo třeba jej složitě seřizovat
- průlomový byl až návrh zesilovače se *zpětnou vazbou* (r. 1927)
  - celkové zesílení je sice sníženo, ale zpětnovazební větev je možno sestavit z pasivních prvků s lineárními charakteristikami a tím ve stejném poměru zvýšit „linearitu“ (snížit zkreslení) celého zesilovače
  - při sériovém zapojení zesilovačů se zesílení násobí, ale zkreslení pouze sčítá



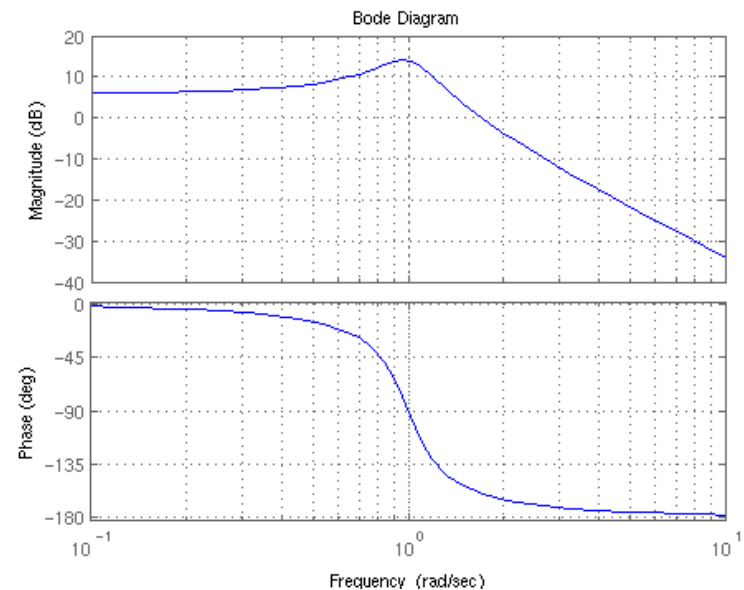
# Harry Nyquist (1889–1976)

- původem švédský vědec, Blackův kolega z Bell Labs
- 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*



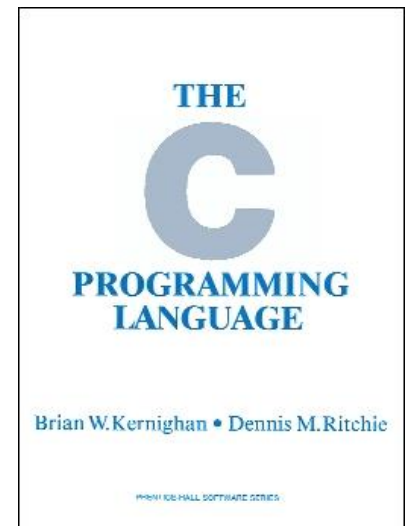
# Hendrik W. Bode (1905-1982)

- vědec se širokým záběrem, který se mj. významně podílel na vývoji protiletadlových zbraní za 2. svět. války
- jeho hlavním příspěvkem z doby působení v Bell Labs jsou však především tzv. *Bodeho diagramy* (r. 1938)
  - logaritmické frekvenční charakteristiky lineárních systémů zachycující průběh amplitudu (zesílení) a fázi systému v závislosti na frekvenci
- tyto grafy lze použít pro návrh stabilního systému splňujícího předem definované parametry



# Bell Labs po 2. světové válce

- 1947 – první tranzistor
- 1948 - A Mathematical Theory of Communication – Claude Shannon
- 1969 – UNIX - Dennis Ritchie, Ken Thompson
- 1972 – programovací jazyk C – Dennis Ritchie (B. Kernighan)
- 1986 - C++ - Bjarne Stroustrup
- konec 20. století – intenzivní výzkum (mimo jiné) v oblasti automatického rozpoznávání řeči
- v posledních letech spíše útlum výzkumných aktivit
- za práce významně spojené s Bell Labs bylo uděleno celkem 8 Nobelových cen



# Další předválečný vývoj teorie řízení

- první zmínka o PID regulátoru – Nicolas Minorsky (1922)
  - také v souvislosti s automatickým řízením lodi
- zásadní sjednocení teorie řízení a zavedení “moderní“ terminologie – Harold Hazen (1934) - MIT
  - přesun důrazu z řízení ustáleného stavu (udržování stálého kurzu, stálých otáček motoru, apod.) na dynamické řízení
  - koncepce servomechanismu jako zesilovače – převádí nízkoenergetický signál (např. z gyrokompasu) na vysokoenergetický akční výstup (např. otočení kormidlem)
  - ukázalo se, že pro efektivní využití této nové koncepce je nutný rozvoj dalších oblastí, především matematického modelování a také první výpočetní techniky

# Vannevar Bush (1890-1974)

- (mimo jiné) 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 – nová verze – Rockefellerův diferenciální analyzátor – přenastavování řešeno automaticky pomocí kombinace servomechanismů a reléových přepínačů
  - 1936 – pro práci na diff. analyzátoru najat Shannon
- 1938 – Bush odchází z MIT do vedení Carnegie Institution



# Carnegie Institution of Washington

- dnes zvaná i Carnegie Institution for Science
- jeden z hlavních zdrojů financování vědy v USA před 2. svět. válkou
- v roce 1940 navrhl Bush z pozice vedoucího této instituce prezidentu Rooseveltovi, aby zřídil radu koordinující výzkum v oblasti obrany
- vznikla tak NDRC – National Defense Research Committee – skupina lidí, která v zásadě rozhodovala o tom, co se bude (a nebude) ve válečném období zkoumat – Bush v jejím čele
- ve svých pamětech na tu dobu vzpomíná slovy:  
„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“

# National Defense Research Committee (NDRC)

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

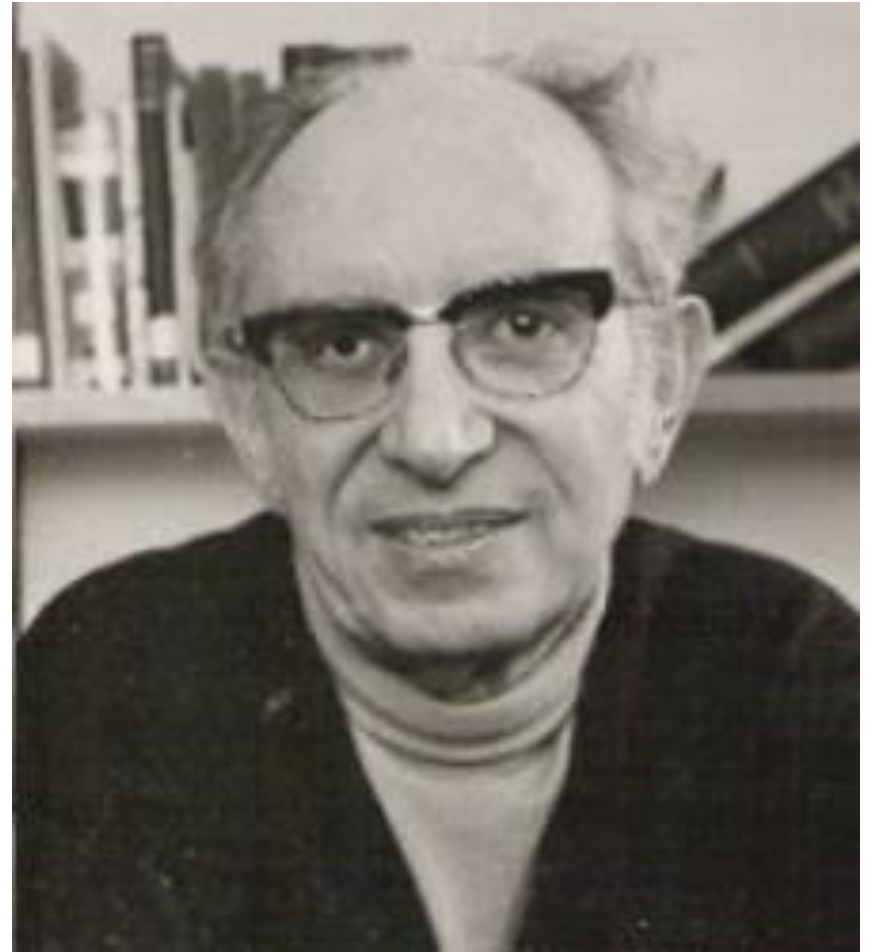
D-3 – nástroje

D-4 – vyzařování tepla

E. Patenty a vynálezy

# Warren Weaver (1894-1978)

- Stavební inženýr, později pomocný profesor matematiky
- Ředitel divize přírodních věd Rockefellerovy nadace (1932-55)
- Za války vedoucí D-2 NDRC (viz předchozí snímek)



# 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

- Wiener byl nesmírně schopný matematik, který se pro NDRC zabýval statistickými metodami predikce a vyhlazování a jejich využitím v řízení protiletecké 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

# Weaver vs. Wiener

- [Wiener and Bigelow] have gaily started out on a series of visits to military establishments, without itinerary, without any authorizations, and without any knowledge as to whether the people they wanted to see (in case they know whom they want to see) are or are not available. WW [Weaver] is highly sceptical about this whole business... Inside of twenty-four hours my office begins to receive telegrams wanting to know where these two infants are. This item should be filed under 'innocents abroad'.
- [Bigelow was convinced that Wiener's statistical method] has no practical application to fire control at this time [and that the young engineer] seriously doubts that W[iener] will be able to bring himself to make this statement.
- When this was is over, the theory and mechanization of smoothing will be one of the outstanding contributions of the NDRC control group.

## 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



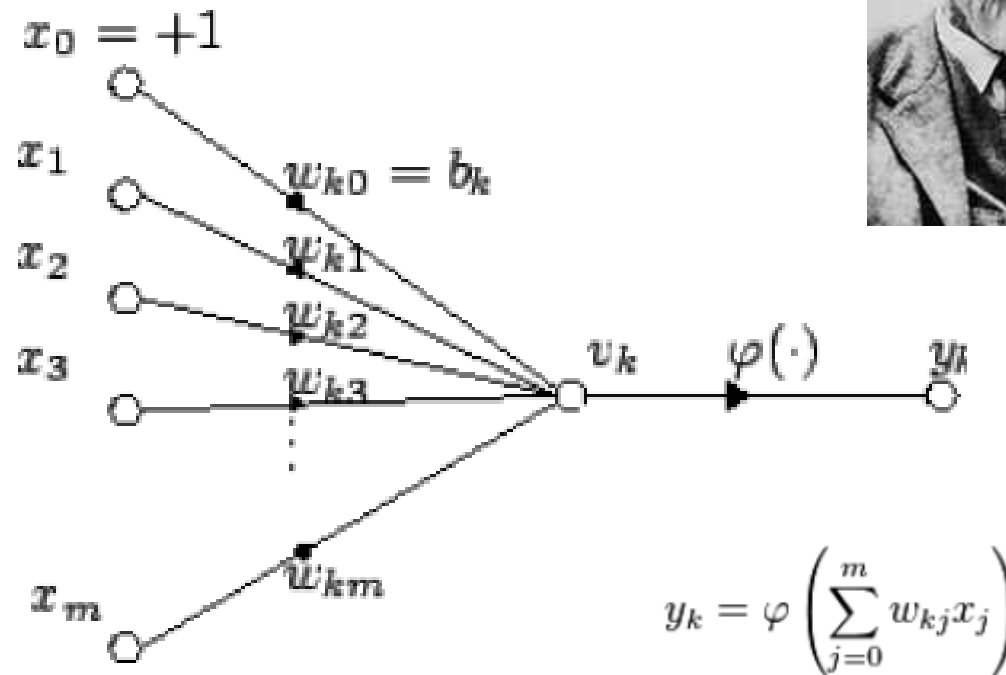
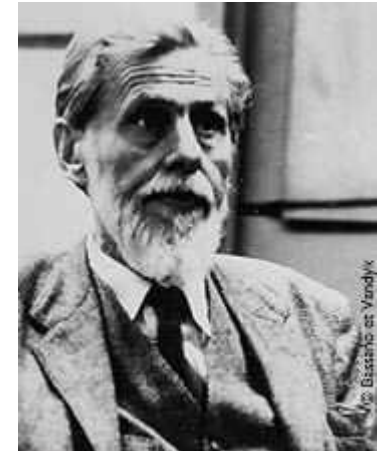
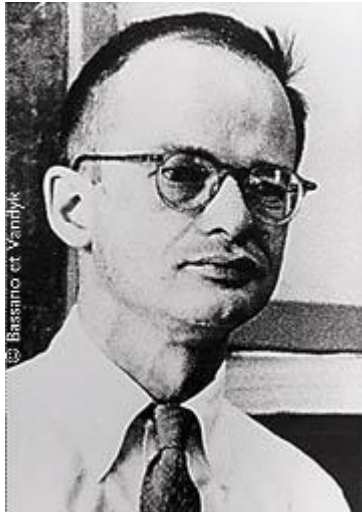
## Arturo Rosenblueth (1900 – 1970)

- 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.



# McCulloch, Pitts a jejich model neuronu

- Warren Sturgis McCulloch (1898 – 1969) – neurofyziolog - a Walter Pitts (1923-1969) - logik



# Claude Shannon (1916-2001)

- elektroinženýr, matematik a kryptograf
- 1936 - nastupuje na MIT jako magisterský student k V. Bushovi a začíná spolupracovat na diferenciálním analyzátoru
- 1937 – obhajuje „diplomovou práci“

*A Symbolic Analysis of Relay and Switching Circuits*  
(Symbolická analýza relé a spínacích obvodů)

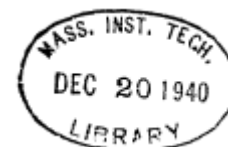
– v této práci ukazuje, že

- (a) pomocí Booleovy algebry lze zjednodušit návrh spínacích obvodů používaných v telefonní síti
  - (b) zapojení reléových obvodů lze využít pro řešení problémů vyjádřených v Booleově algebře
- tato práce, která v podstatě položila základy vývoje číslicových počítačů, je považována za „pravděpodobně nejdůležitější, a také nejznámější, diplomovou práci 20. století“



A SYMBOLIC ANALYSIS  
OF  
RELAY AND SWITCHING CIRCUITS

by



Claude Elwood Shannon  
B.S., University of Michigan

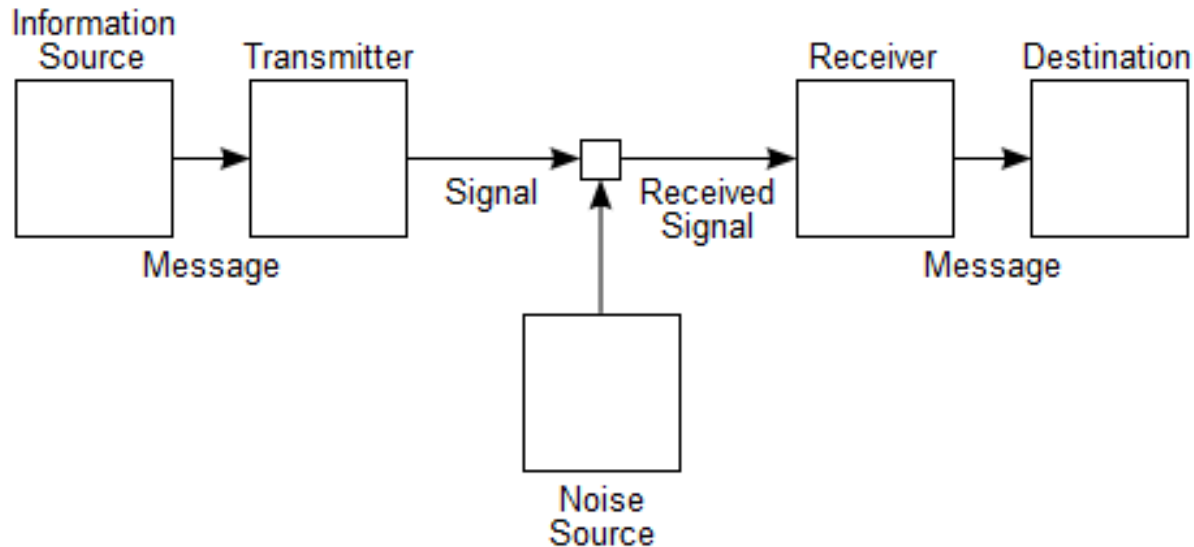
1936

# Claude Shannon za 2. světové války

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

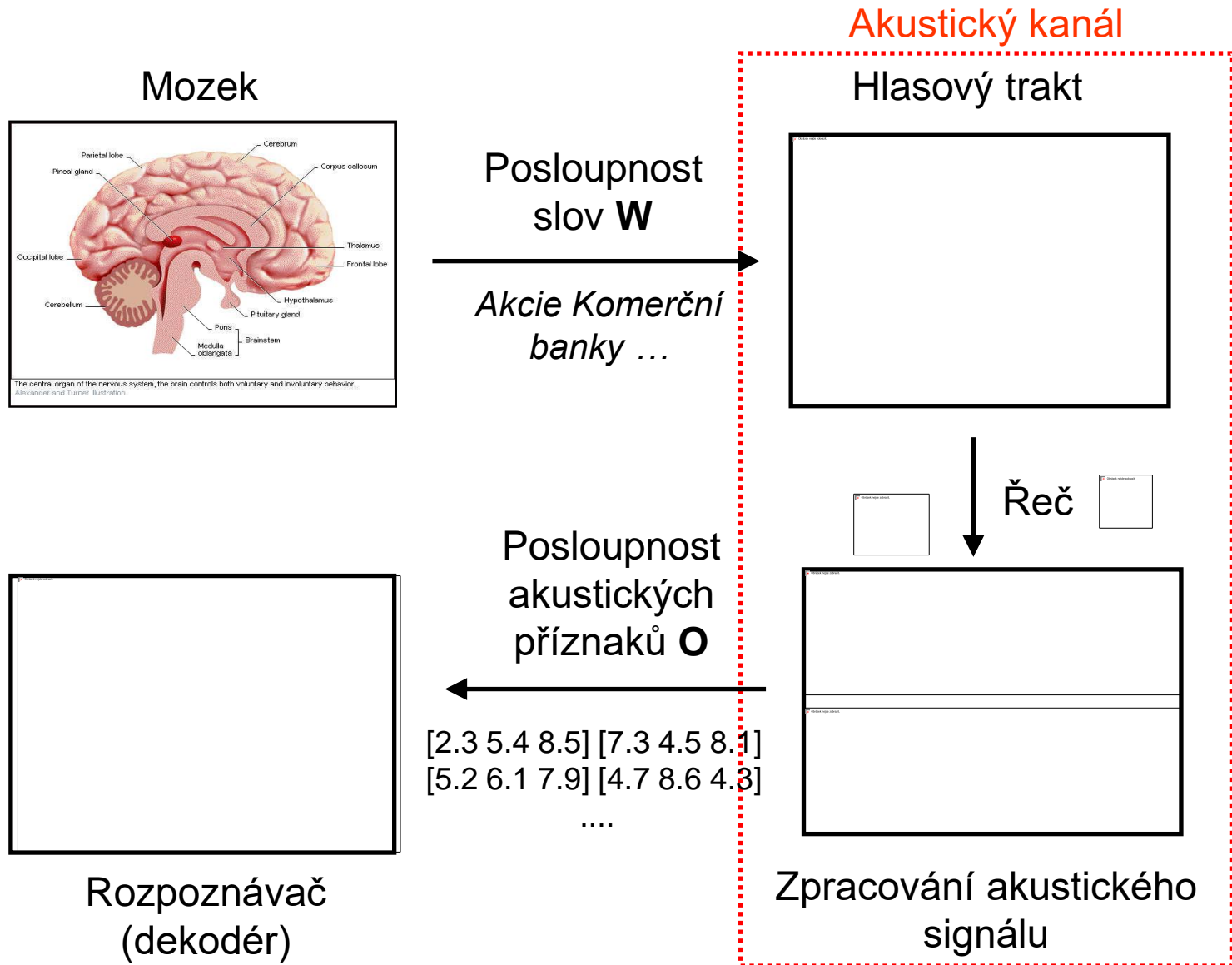
# Teorie informace

- 1948 - *A Mathematical Theory of Communication*



- **nejdůležitější koncepty**
  - informační entropie
  - redundance a její role pro zvýšení spolehlivosti přenosu
  - bit
- 1949 – článek vydán ve formě knihy „*The Mathematical Theory of Communication*“ – spoluautor Warren Weaver

# Využití teorie informace pro rozpoznávání řeči

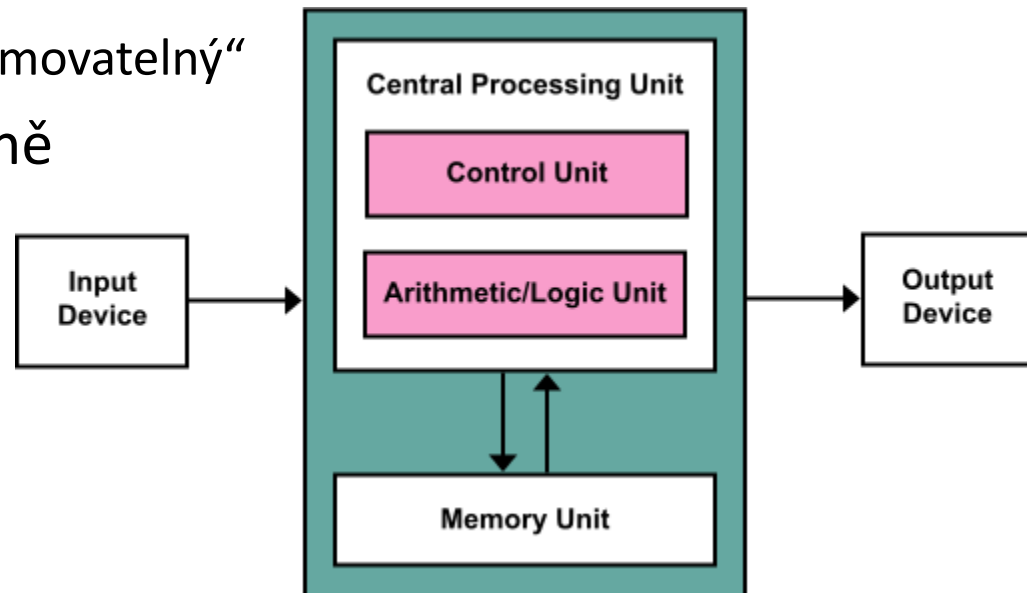


# Claude Shannon – závěr

- dalším Shannonovým příspěvkem je teorém o vzorkování:  
*„Přesná rekonstrukce spojitého, frekvenčně omezeného signálu z jeho vzorků je možná tehdy, pokud byla vzorkovací frekvence vyšší než dvojnásobek nejvyšší harmonické složky vzorkovaného signálu.“*
  - tzv. *Nyquistův–Shannonův teorém* nebo také *Whittakerův–Nyquistův–Shannonův-Kotělnikovův teorém*)
- 1956 – Shannon se vrací na MIT, kde zůstává až do své smrti v roce 2001
- odkaz pro kybernetiku - připomenutí:
  - silná analogie mezi člověkem a strojem, v tomto případě mezi přenosem informací mezi lidmi (a vlastně i „uvnitř člověka“) a v telefonní síti

# János Lajos (John von) Neumann (1903-1957)

- v oboru IT jméno známé kvůli *von Neumannově architektuře* počítačů
  - programovatelný počítač – společná paměť pro data i programové instrukce
  - jediná sběrnice, která přenáší buď data nebo instrukce – sekvenční zpracování
- zpráva „*First Draft of a Report on the EDVAC*“ (1945)
  - EDVAC (*Electronic Discrete Variable Automatic Computer*) byl na rozdíl od známějšího ENIACu „softwarově programovatelný“
- oba byly používány převážně pro balistické výpočty



# Homer Dudley (1896-1987)

- mechanismus tvorby řeči je ekvivalentní mechanismu přenosu signálu tel. kanálem

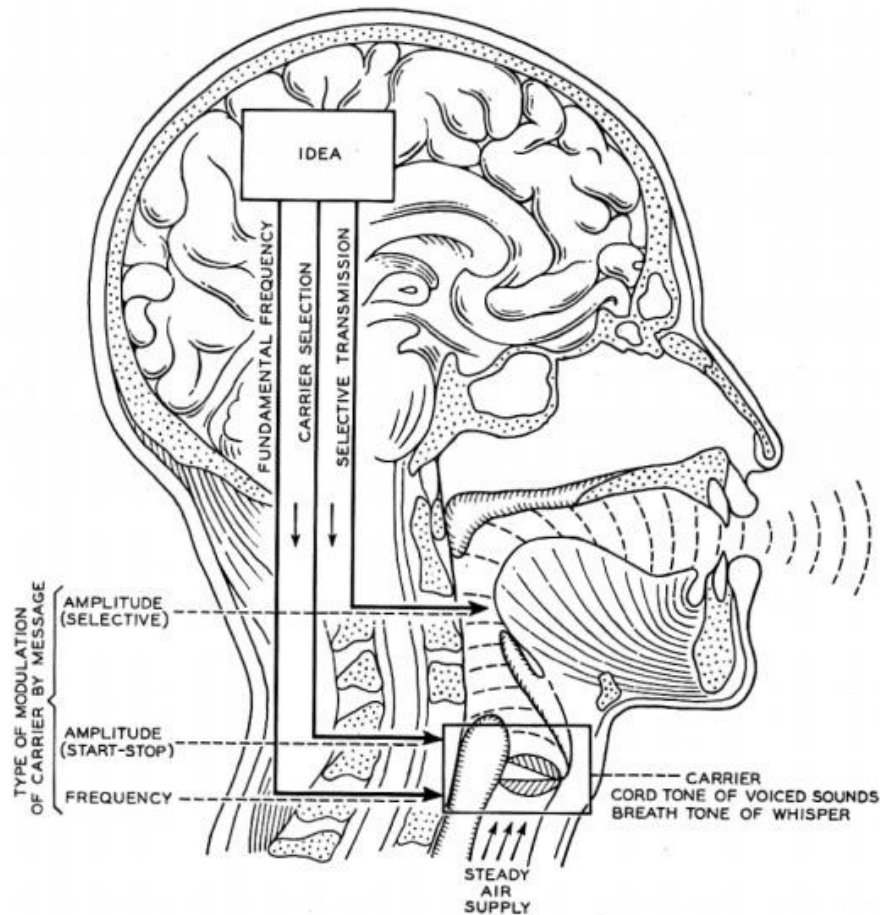


Fig. 1—The vocal system as a carrier circuit.

# Vocoder a Voder

- Dudleyho vynálezy
- Vocoder (Voice Encoder)
  - zařízení pro transformaci řeči do podoby, která potřebuje menší šířku přenosového pásma - tj. v zásadě pro kompresi a zřet
  - lze zařadit i šifrovací a dešifrovací moduly
- Voder (Voice Operation DEMonstrator)
  - první elektronický řečový syntetizér

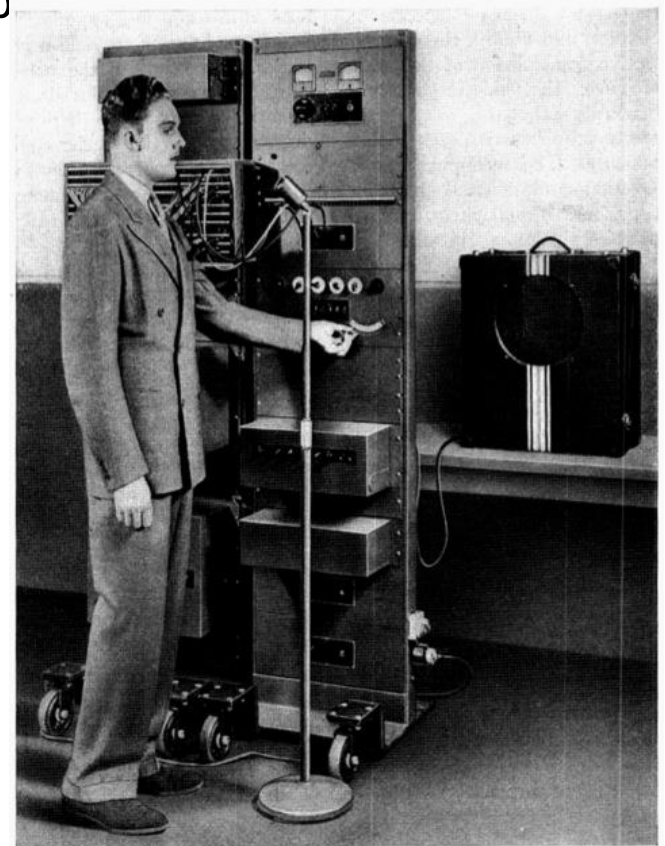


Fig. 4—The vocoder as demonstrated.

# John von Neumann (1903-1957)

- Maďar židovského původu, původní jménem Neumann János Lajos
- podle svých vědeckých kolegů geniální matematik a fyzik
- v matematice se věnoval mimo jiné i teorii her
  - za kterou pak dostalo Nobelovu cenu paradoxně několik jiných vědců – nejznámější z nich je asi John Nash
- měl klíčovou roli v projektu Manhattan, kde se podílel na vývoji plutoniové jaderné pumy („*Fat Man*“ – Nagasaki) a významně přispěl k vývoji vodíkové pumy (spolu se známějšími Edwardem Tellerem a Stanislawem Ulamem)
- v roce 1954 se stal členem Atomic Energy Committee, kde stál za zrodem konceptu „vzájemně zaručeného zničení“ (*mutually assured destruction*, ve zkratce *MAD*)
  - v podstatě forma Nashovy rovnováhy



# John von Neumann a umělá inteligence - I

- teoretický návrh sebereplikujícího se stroje („von Neumannův stroj“), který se schopen vyrábět kopie sebe samého a také opravovat případné chyby
  - tento princip je zcela klíčový pro případný vývoj robotů schopných naprosté autonomie
- návrh byl založen na konceptu tzv. celulárních (buňkových) automatů – opět společná práce se S. Ulamem
  - prostor je rozdělen na jednotlivé buňky
  - každá buňka je na začátku charakterizována počátečním stavem
  - tento stav se mění v diskrétních krocích (iteracích) a závisí na buňkách v okolí
  - používají se pro modelování fyzikálních či biologických systémů
- nejslavnější celulární automat je asi *Game of Life* („Hra života“) – John Conway (1970)
  1. Každá živá buňka s méně než dvěma živými sousedy zemře.
  2. Každá živá buňka se dvěma nebo třemi živými sousedy zůstává žít.
  3. Každá živá buňka s více než třemi živými sousedy zemře.
  4. Každá mrtvá buňka s právě třemi živými sousedy oživne.

# John von Neumann a umělá inteligence - II

- krátce před svou smrtí začal psát knihu *The Computer and the Brain*
  - rozvíjí základní myšlenku, že mozek je možno chápat jako počítač (a tudíž lze mozek s pomocí počítače i modelovat)
  - kniha zůstala nedokončená (96 stran), ale dodnes se vydávají re-edice tohoto rukopisu

# 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

# Souvislosti s budoucí kybernetikou

- antropomorfní metafory
  - telefonní síť byla často nazývána „nervovým systémem společnosti“ či „míchou“ národa
  - později vyvinutá reléová ústředna pak dokonce byla připodobňována k lidskému mozku
  - „přenos“ pohledu i opačným směrem – informace jsou i „uvnitř člověka“ zpracovány a posílány podobným způsobem jako v tel. síti
- záporná zpětná vazba a vůbec položení základů teorie řízení
- položeny základy teorie informace – po válce rozpracovány C. Shannonem