

Zrození kybernetiky – příběh americký

Pavel Ircing / Jan Romportl

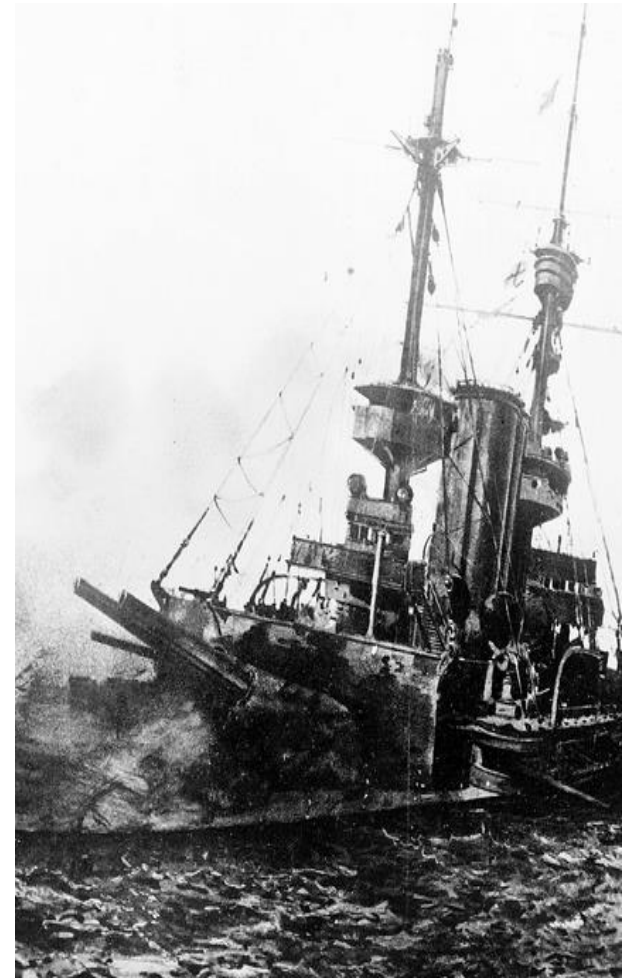
NTIS - UN 562

ircing@kky.zcu.cz

KKY/HKUI

Řízení střelby při námořních bitvách

- až do 1. světové války střelec obsluhující lodní dělo prostě obhlédl situaci, krátce se zamyslel, namířil dělo na nepřátelskou loď (nebo mírně před ní) a vystřelil
- v okamžiku, kdy děla měla dostřel až 10 mil (cca 18.5 km) a bylo třeba na tuto vzdálenost zasáhnout loď pohybující se rychlostí 20 uzlů (20 mil za hodinu, tj. cca 37 km/h), už byla metoda „kouknu-zamířím-vypálím“ nepoužitelná – granát letěl třeba i minutu
- proces řízení střelby musel být rozložen na 3 stadia:
 - *percepce* (vnímání) – pozorování aktuální situace na bojišti – může provádět střelec nebo jiný člen posádky
 - *integrace* (uvažování a rozhodování) – modelování a předpovídání polohy nepřátelských lodí v okamžiku předpokládaného zásahu – provádí tým expertů v podpalubí
 - *artikulace* (jednání) – vlastní výstřel z děla se správným náměrem – provádí střelec a stává se tak pouhým vykonavatelem



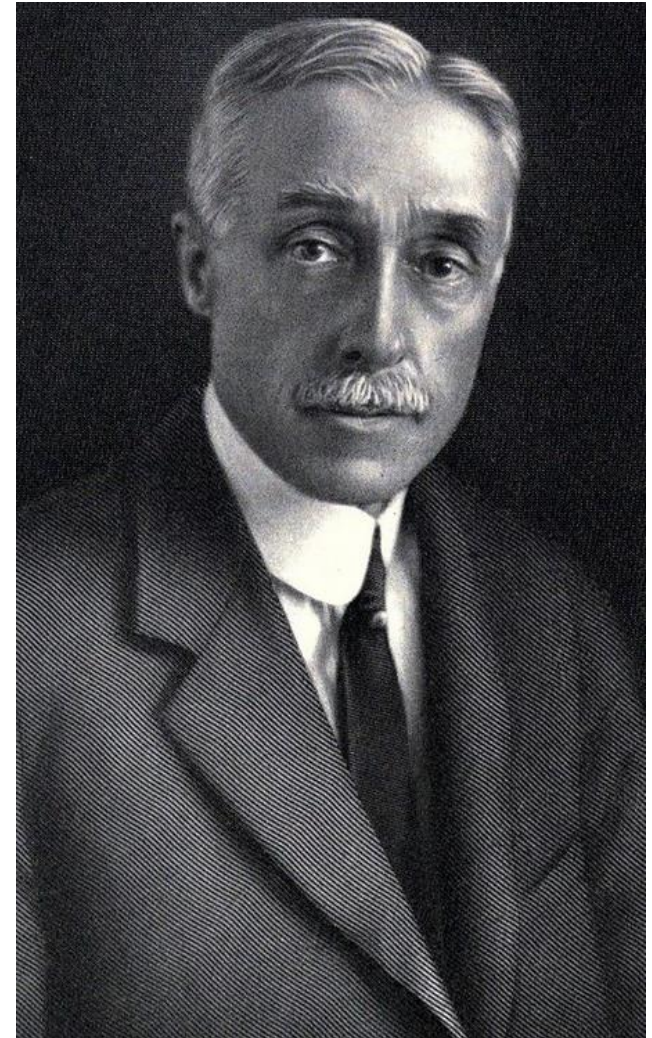
Částečná automatizace procesu

- Ford Rangekeeper Mk1 (1916) – „balistický počítač“
 - vypočítával aktuální polohu cíle a samozřejmě také polohu v době předpokládaného zásahu
 - dále počítal korekce náměru v závislosti na síle větru, typu nábojů apod.
 - hlavním konstruktérem Hannibal Ford
- důležité aspekty z hlediska pozdější kybernetiky:
 - část lidských kognitivních (rozumových) schopností je nahrazena strojem
 - člověk a stroj spolu interagují a společně tvoří jeden systém (v tomto případě střelby) – jsou spolu *spřaženi*
 - je použita antropomorfní (lidská) metafora pro činnost celého systému – systém *vnímá, uvažuje, rozhoduje a jedná.*



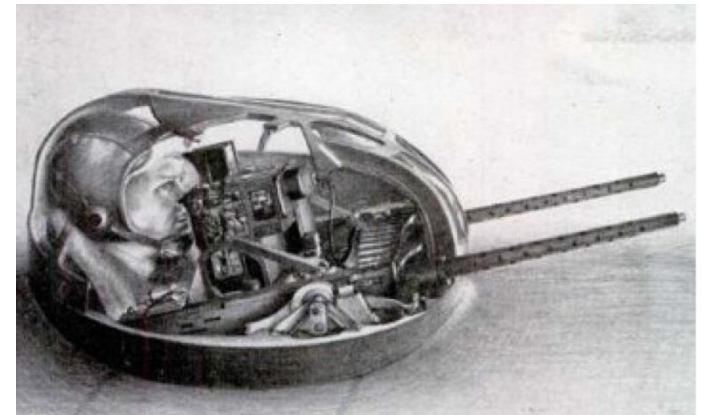
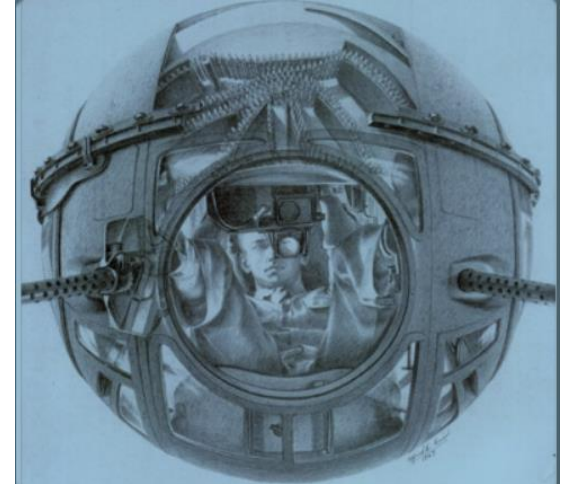
Elmer A. Sperry (1860 – 1930)

- Fordův přítel a kolega
- jeho firma Sperry Gyroscope Corp. začala sériově vyrábět gyrokompas
 - kompas, který určuje sever nikoliv na základě magnetismu, ale s využitím vlastní rychlé rotace (20 – 50 tisíc otáček/min.)
- gyrokompas sám o sobě zpřesnil určování azimutu, navíc pak Sperry vyvinul i tzv. gyrokompasový opakovač, který dokázal na dálku přenášet a zobrazovat azimut cíle z hlavního gyrokompasu
 - další příklad nahrazení lidské činnosti (hlasový přenos informací) strojem
- v roce 1922 firma představila automatického lodního kormidelníka pod názvem „Gyro-Pilot“



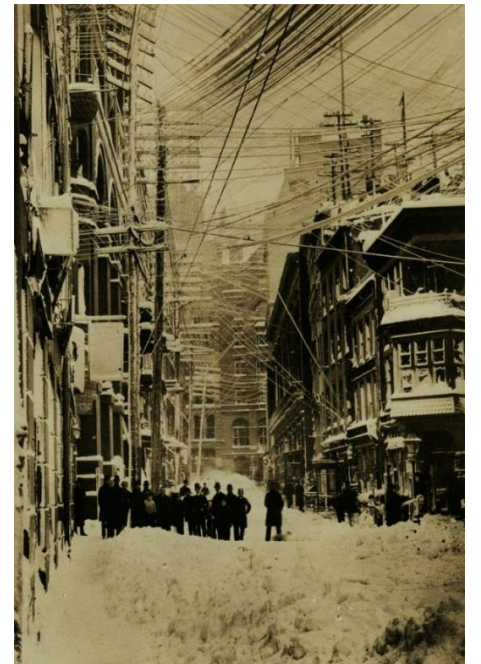
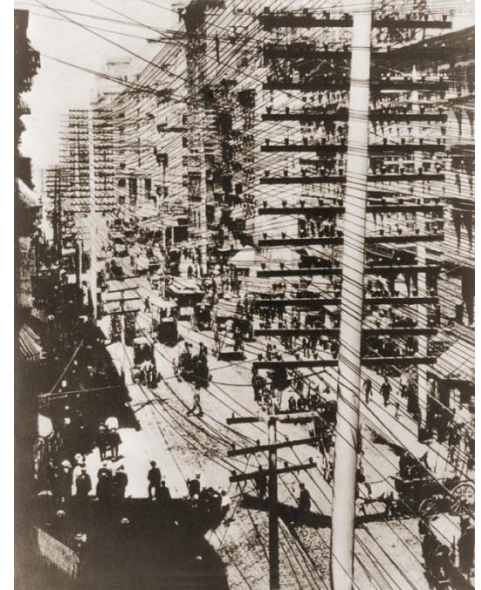
„Gyro-pilot“ a první letecký autopilot

- gyro-pilot využíval gyrokompas jako senzor (*percepce*), signál z něj – přesněji rozdíl mezi požadovaným a aktuálním kurzem – byl přes elektromotor (*zesilovač*) přiváděn na kormidlo (*artikulátor* – akční člen)
- změna polohy kormidla pak samozřejmě ovlivnila kurz a tím hodnoty zjištěné kompasem – vidíme klasickou *zpětnovazební smyčku*, další z klíčových prvků budoucí kybernetiky
- v letech 1925-1929 vyvinul Elmer Sperry Jr. prvního leteckého autopilota
 - podobný princip, jen senzorem byl tentokrát tlakoměr
 - umožňoval (lidskému) pilotovi zasahovat do řízení



AT&T a Bell Labs

- na přelomu 19. a 20. století už v USA fungovala celoplošná telefonní síť zvaná Bell System a provozovaná společností American Telephone and Telegraph (AT&T)
- systém *open-wire* – každý vodič mohl přenášet jen 1 tel. hovor
- bylo třeba inovací – v roce 1925 proto AT&T založila Bell Labs
- jedním z prvních úspěchů byl pokrok v oblasti amplitudové (AM) a frekvenční modulace (FM) signálu – John Renshaw Carson (1886-1940) – který umožnil zavedení *frekvenčního multiplexu*
 - v jednom vodiči je modulováno více hlasových signálů současně, každý v jiné části spektra



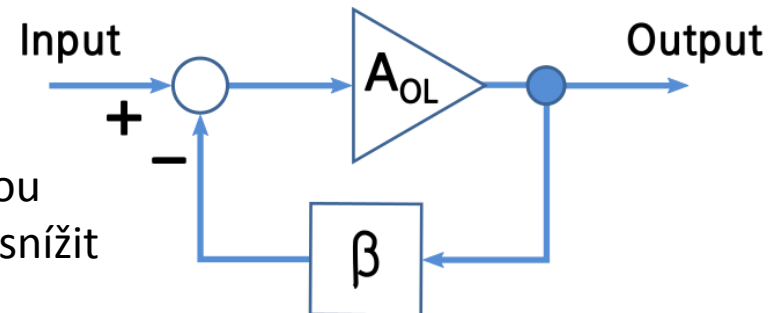
Zesilovače signálu

- v dlouhém vedení dochází k velkému útlumu signálu – nutnost zapojení zesilovačů, v té době elektronkových
- tyto zesilovače měly výrazně nelineární charakteristiku -> velké zkreslení signálu
- pro transkontinentální přenos bylo třeba až několik stovek takových zesilovačů -> značné úsilí věnováno výzkumu zapojení, které by dokázalo zvětšit zesílení a potlačit zkreslení



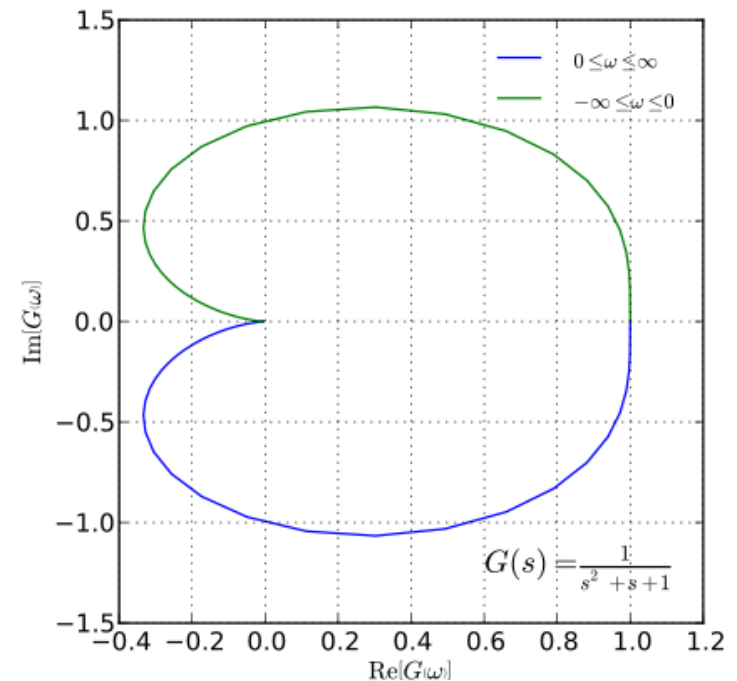
Harold Black (1898-1983)

- 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



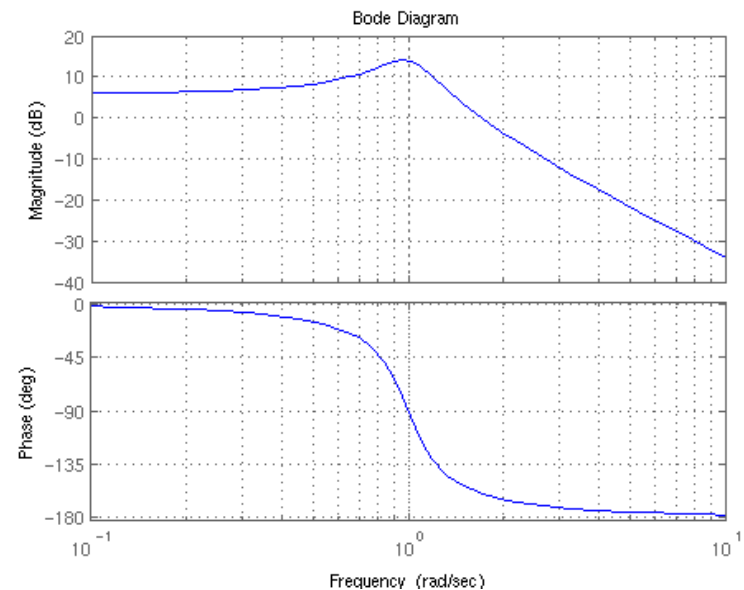
Harry Nyquist (1889–1976)

- 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



Souvislosti s budoucí kybernetikou

- záporná zpětná vazba a vůbec položení základů teorie řízení
- opět 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 (Homer Dudley – viz další slajd)
- položeny základy teorie informace – po válce rozpracovány C. Shannonem

Homer Dudley (1896-1987)

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

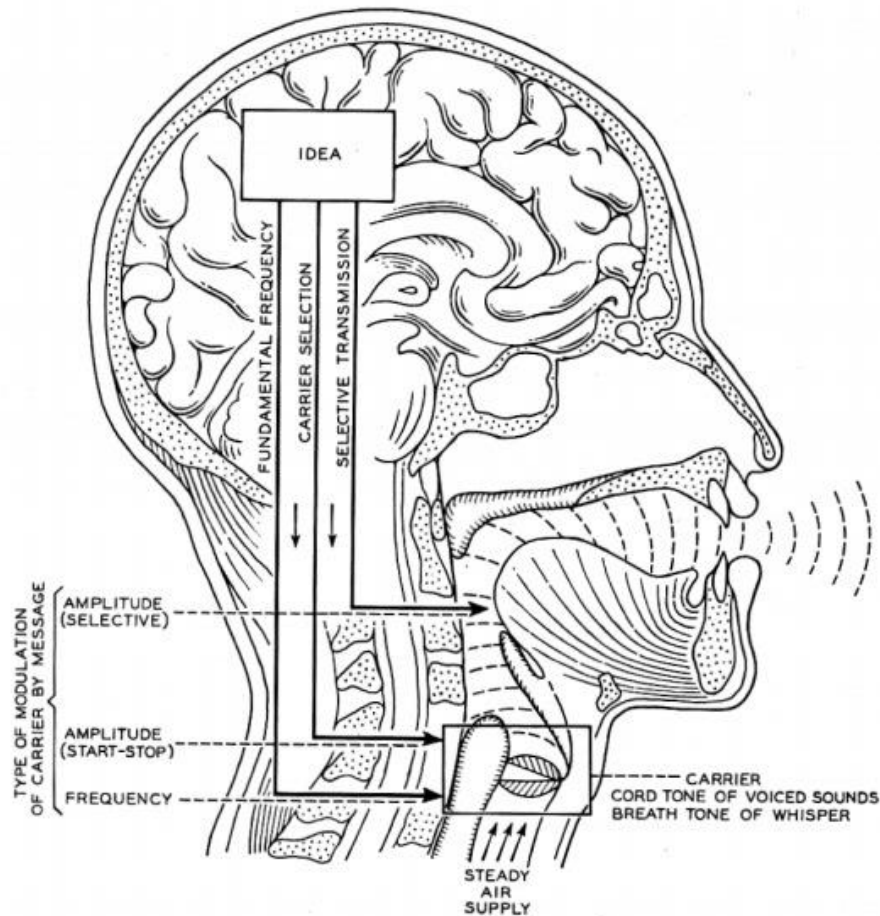


Fig. 1—The vocal system as a carrier circuit.

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 zpět
 - lze zařadit i šifrovací a dešifrovací moduly
- **Voder (Voice Operation DEMonstrator)**
 - první elektronický řečový syntetizér

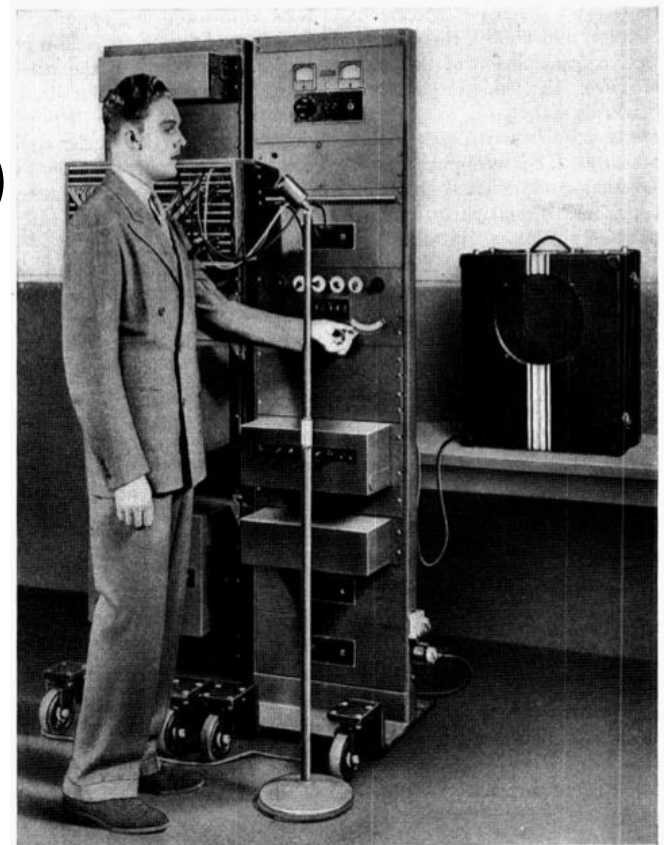
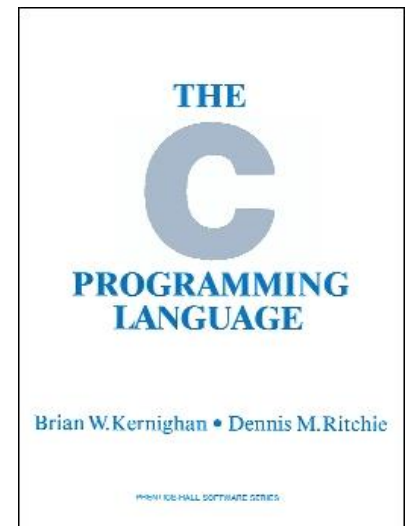


Fig. 4—The vocoder as demonstrated.

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

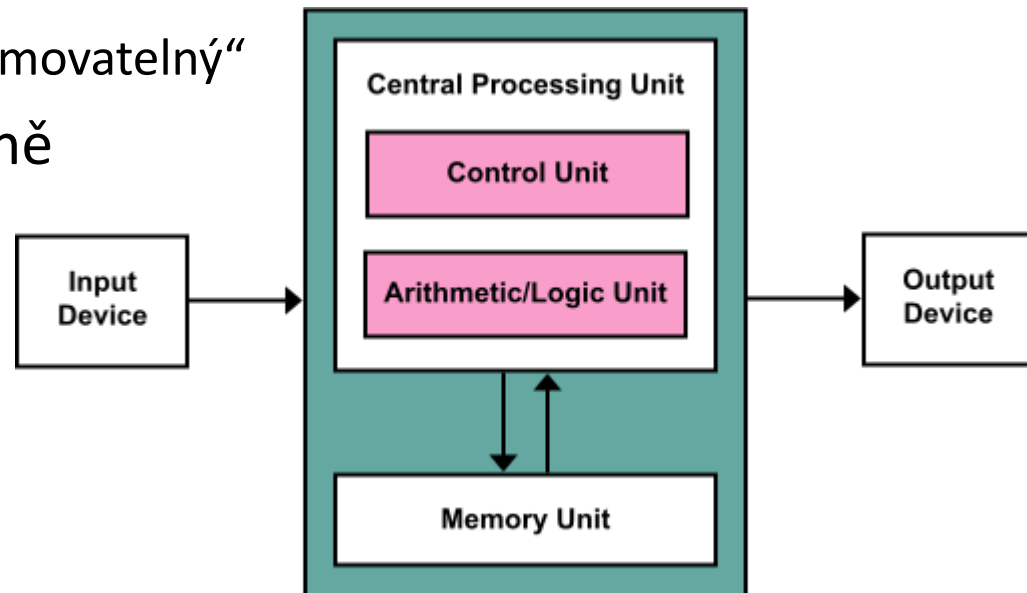
D-3 – nástroje

D-4 – vyzařování tepla

E. Patenty a vynálezy

John von Neumann (1903-1957)

- v oboru IT jméno známé kvůli *von Neumanově 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



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

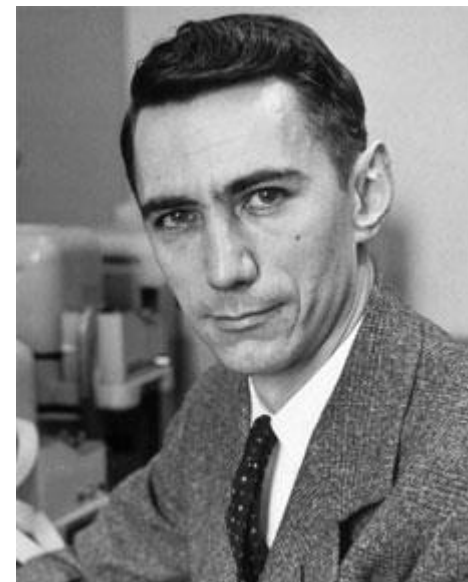
Claude Shannon (1916-2001)

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

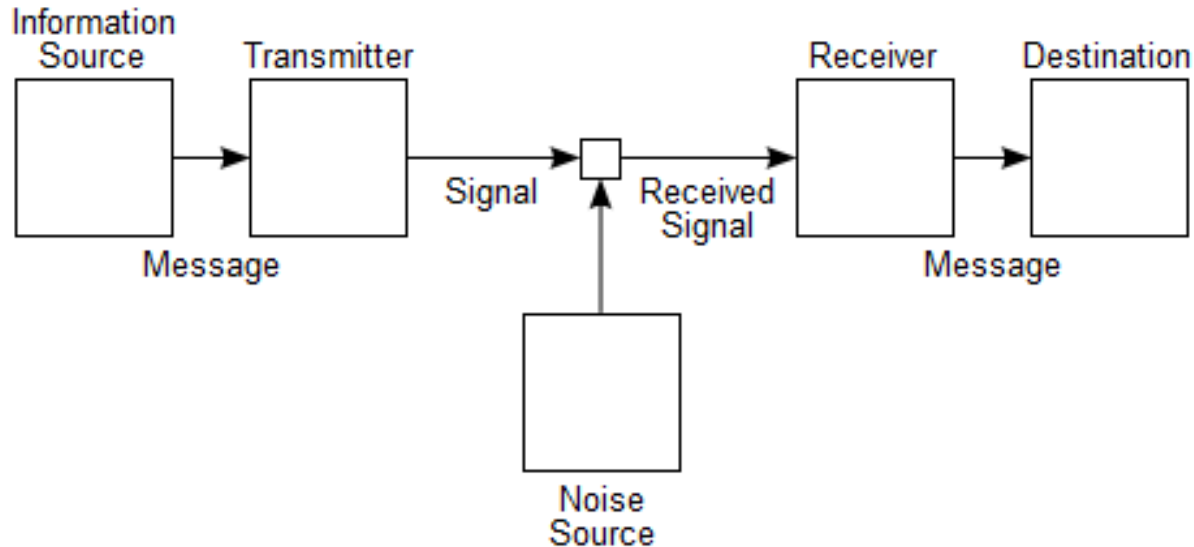
1936

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

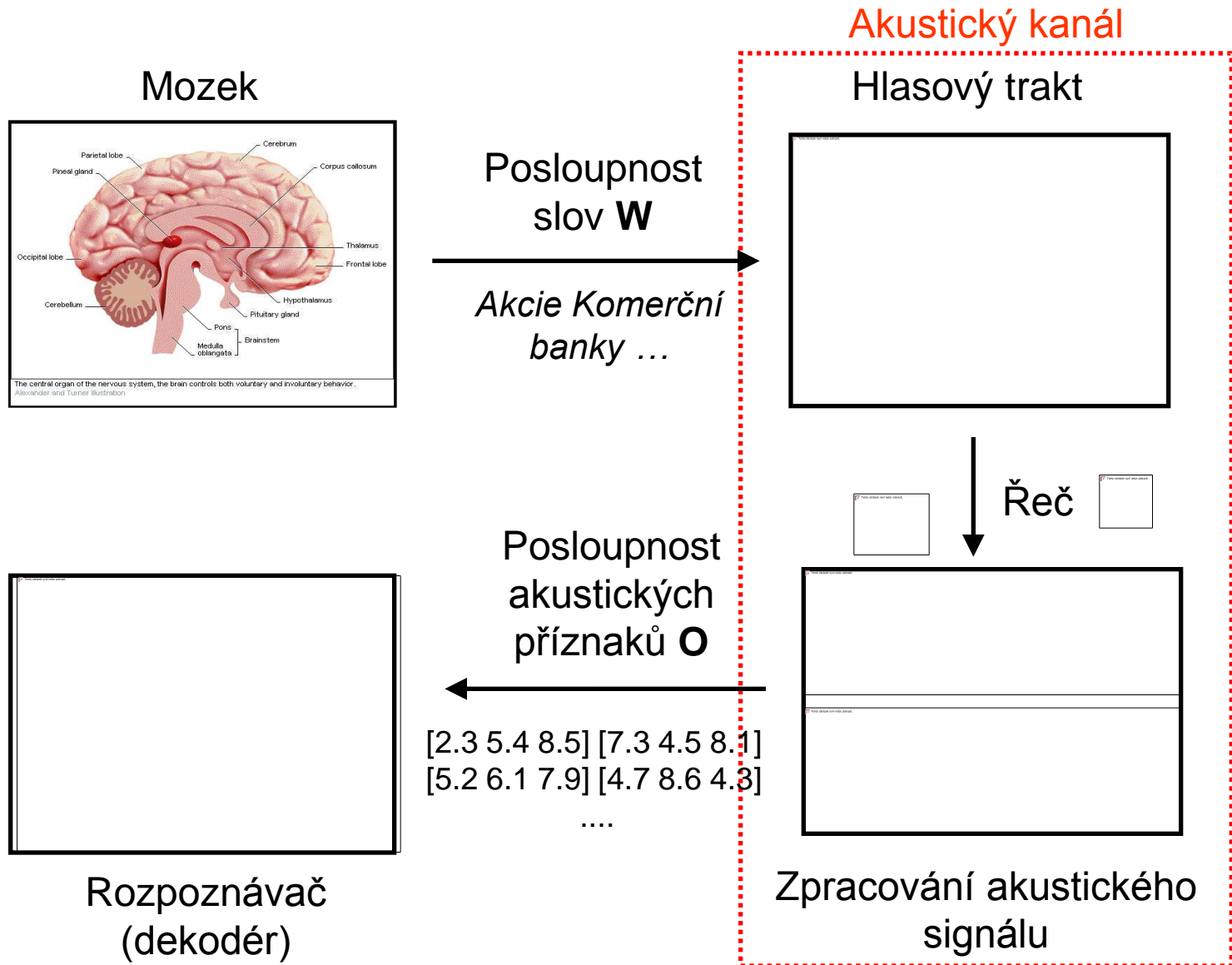
Teorie informace

- 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

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
- o tom, co se v souvislosti s N. Wienerem dělo během 2. sv. války a co přímo vedlo ke zrodu nového vědního oboru – kybernetiky – povíme za chvíli s využitím prezentace kolegy Romportla. Teď si ještě představíme další „účinkující“



Julian Bigelow (1913 – 2003)

- americký inženýr, během války blízký spolupracovník N. Wienera
- 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)



McCulloch, Pitts a jejich model neuronu

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

