KYBERNETIKA A UMĚLÁ INTELIGENCE

Úvod do kybernetiky, dynamika systémů, úvod do umělé inteligence

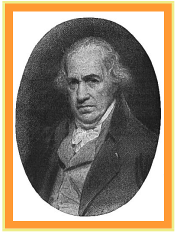
Fakulta elektrotechnická
ČVUT v Praze

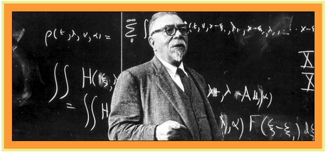
O předmětu

- **K čemu** je tento předmět
  - K získání *všeobecného přehledu* o problémech a technikách kybernetiky a UI a pochopení jejich povahy.
  - Uvede *základní pojmy a koncepty* často a v různých souvislostech používané v úžeji zaměřených 'kybernetických' předmětech
    - Roboti, Teorie signálů, Pravděpodobnost, statistika a teorie informace, Automatické řízení, Dynamika a řízení robotů ...
  - Upozorní na *souvislosti*, které v těchto předmětech explicitně nevyplývají.
- **O čem** je tento předmět
  - Kybernetika je obor s dlouhou historií (téměř 100 let).
  - Za tuto dobu v rámci kybernetiky vznikla řada samostatných oborů a její šíře je značná.
  - UI (a celá informatika) je jedním z těchto dceřiných oborů.
  - Souřadné spojení K & UI vzhledem k důrazu na UI v tomto předmětu.

Historie kybernetiky

- Věda o složitých **systémech** a procesech, jejich **modelování**, **řízení** a přenosu **informace**
- **James Watt** (1736 - 1819)
  - *parní stroj se* **zpětnovazební regulací**
- **André-Marie Ampère** (1775 – 1836)
  - „Kybernetika" - *umění vládnout*
  - Kybernetes $(\kappa\upsilon\beta\epsilon\rho\nu\epsilon\tau\epsilon\varsigma)$ = kormidelník
- **Norbert Wiener** (1894 – 1964)
  - funkční podobnost mezi stroji, živými organizmy, sociálními systémy, atd.
  - důraz na společné aspekty a metody popisu, zejm. statistické
  - Cybernetics: or Control and Communication in the Animal and the Machine (1948)
  - V češtině - Kybernetika neboli řízení a sdělování v živých organismech a strojích





Historie kybernetiky II

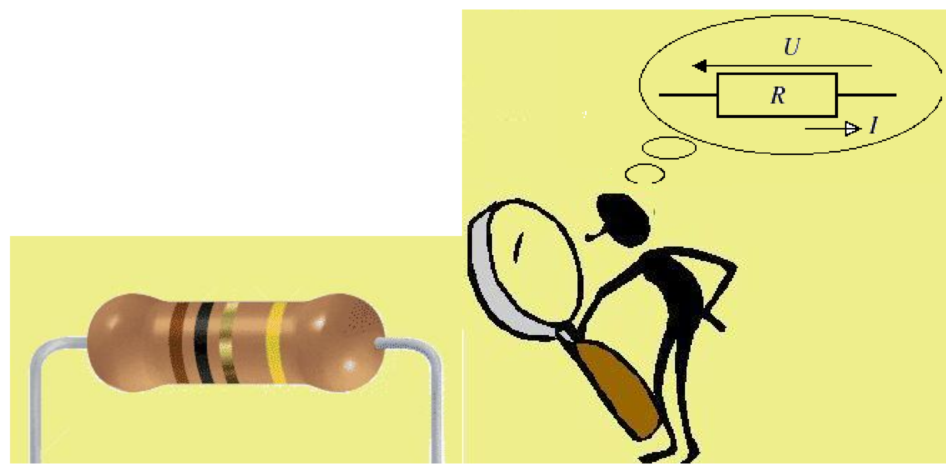
- Zpočátku vnímání vědy ovlivněno ideologií
- Stručný filozofický slovník, Sovětský svaz 1954

  Kybernetika – reakční pavěda, vzniklá v USA po druhé světové válce, která se široce rozšířila i v jiných kapitalistických zemích.
  Kybernetika jasně vyjadřuje jeden ze základních rysů buržoazního světového názoru – jeho nelidskost, snahu změnit pracující jako doplněk stroje, změnit je na nástroj výroby a na nástroj války.
  Společně s tím je pro kybernetiku charakteristická imperialistická utopie nahradit živého myslícího člověka, bojujícího za své zájmy strojem, jak ve výrobě tak i ve válce.
  Ti kdož připravují novou světovou vojnu používají kybernetiku ve svých hrozných praktických činech...

- **Současná kybernetika**: množství samostatných oborů
  - Dynamické systémy: *zpětná vazba, stavový popis, stochastické systémy, řízení, ...*
  - Přenos informace: *informační entropie, kapacita komunikačního kanálu, ...*
  - **Umělá inteligence**: *strojové vnímání a učení, multi-agentní systémy, robotika, ...*
  - Biokybernetika: *modelování neuronových sítí, konekcionismus, vazba člověk-stroj, ...*
  - Teorie rozhodování, her, teorie složitosti, chaotické systémy, atd....

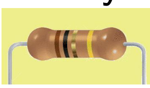
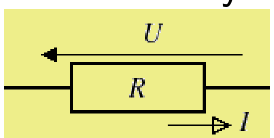
Systém, pozorovatel, model

- Co tyto obory spojuje? Zkoumají různé aspekty (složitých) systémů.
- Co je to **systém**?
- Soustava entit (objektů) a jejich vzájemných vztahů, taková, že každý objekt je v nějakém vztahu s některým jiným [Wikipedia.org]
- Definice je triviální. Důležité jsou systémy vzniklé **abstrakcí** reálných systémů.
- **Pozorovatel** definuje abstraktní systém vymezením
  - důležitých veličin reálného systému a jejich vzájemných vztahů
  - ostatní veličiny/vztahy tvoří **okolí** systému
  - mohou být ignorovány, či ovlivňovat **vstupy** systému resp. být ovlivňovány jeho **výstupy** (Určíme-li, které veličiny systému jsou vstupní/výstupní, definujeme *orientaci* systému.)



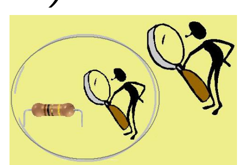
Systém, pozorovatel, model

- Zjednodušení při zachování důležitých principů:

Systém	**Entity**	**Vztahy**
Reálný systém $\mathcal{S}$ 	∞ mnoho: **napětí**, *barva*, *teplota*, **odpor**, *délka*, **proud**, *průměr*, ...	∞ mnoho
Abstraktní systém $\mathcal{S}'$ 	**napětí** U, **odpor** R, **proud** I	$U = R \cdot I$

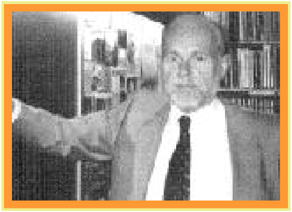
- Abstraktní systém $\mathcal{S}'$ je **modelem** fyzického systému $\mathcal{S}$. Model umožňuje *předpovídat* chování reálného systému.

- Důsledek kvantové teorie: 
  - Fyzický systém není možno pozorovat (měřit) bez jeho ovlivnění.
  - *"Kybernetika 2. řádu" (meta-kybernetika)* zkoumá systémy pozorovatel-systém



Obecná teorie systémů

Ludwig von Bertalanffy
1901 Vídeň - 1972 Binghamton, USA



George Klir
1932 Praha, nyní Binghamton, USA

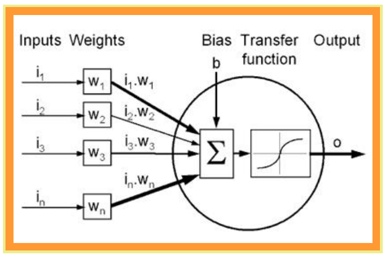
- OTS rozlišuje systémy dle úrovně detailu jejich popisu.
  - **Zdrojový systém:** vyjmenovány veličiny a jejich interagující podmnožiny
    - např. veličiny: $\{U, R, I\}$, interakce: $\{\{U, R, I\}\}$
  - **Datový systém:** zdrojový systém + empirické hodnoty veličin
    - např.

U	12V	10V	8V	...
R	1kΩ	1kΩ	1kΩ	...
I	12mA	10mA	8mA	...

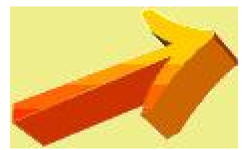
  - **Generativní systém:** veličiny + vztahy mezi nimi. Umožňuje generovat datový systém.
    - $U = R \cdot I$
  - **Strukturní systém:** jsou rozlišeny podsystémy (např. hierarchicky)
    - např. elektrický obvod rozdělený na samostatné funkční jednotky
- Každý typ systému nese **informaci navíc** oproti předchozímu typu.

Emergence

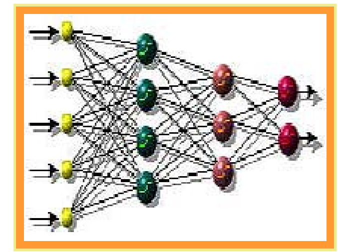
- **NÁMITKA 1:** K čemu speciální *systémová* věda? Nestačí výzkum na úrovni *komponent*?
- *Systém je ,,více" než souhrn jeho součástí.*
- Z jednoduchých vztahů na úrovni komponent mohou *emergovat* překvapivé vlastnosti na úrovni systému. Příklady:



Jednoduchý model **neuronu**
Umí jen počítat $\phi\left(\sum_{ij} w_{ij} x_i\right)$
(nelin. funkce váženého součtu vstupů)



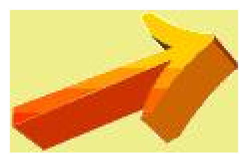
Propojení velkého množství neuronů



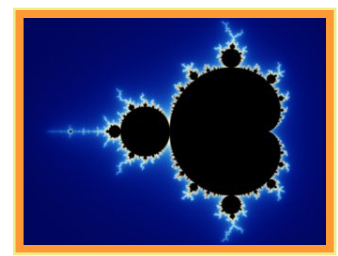
Umělá neuronová síť
Lze **naučit** k rozpoznávání obrazů, simulaci lidské paměti, ...

$$\boxed{f(z) = z^2 + c}$$

triviální vztah mezi komplexními proměnnými



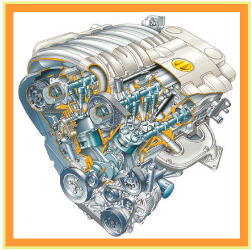
Odstín: rychlost divergence $f(f(\ldots f(z)))$ pro dané c

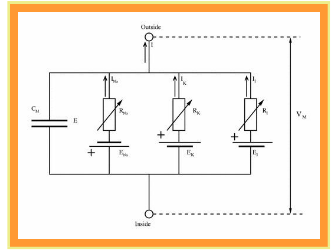


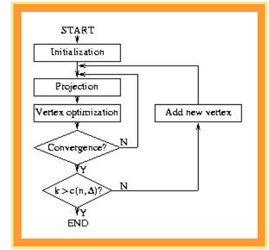
Generuje extrémně složitou **fraktální** strukturu (sobě-podobnou v různých mírách zvětšení) v rovině Re $c\times$ Im c.

Příklady systémů

- Technické

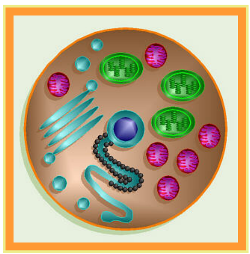


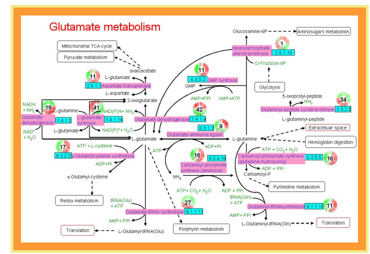




spalovací motor　　elektrický obvod　　počítačový algoritmus

- Biologické





buňka　　mozek　　metabolický proces

- Ekologické (oscilující populace predátor / kořist), socio-ekonomické, atd...
- Kybernetika studuje systémy **velmi rozličných povah**. Z čehož plyne .....

Analogie mezi systémy

- **NÁMITKA 2:** K čemu všeobecná systémová věda, jsou-li jednotlivé systémy studovány ve speciálních oborech (technika, biologie, ekonomie, ...)?
- Některé kybernetické **koncepty** jsou společné systémům rozličných druhů. Související techniky lze analogicky využít. Příklady:

zpětná vazba

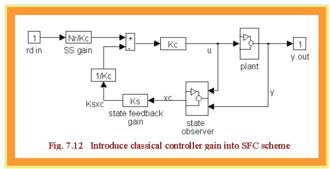
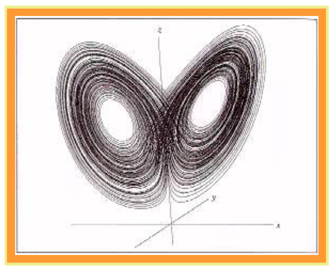


Fig. 7.12 Introduce classical controller gain into SFC scheme

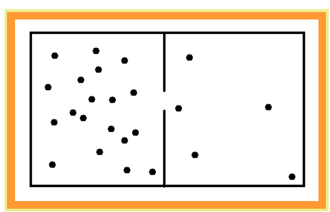
Všudypřítomná v přírodě (regulace pH oceánů, populace predátor/kořist, akciové trhy, ...)
Využívaná hojně v technických systémech.

stavový prostor



Pojem zaveden Poincarem pro fyzikální (termodynamické) systémy.
Nyní nejdůležitější technika modelování dynamických systémů v technice.

entropie

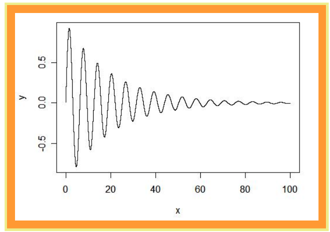


Původně zavedena jako vlastnost termodynamických systémů.
Nyní analogicky v jiných systémech (informační entropie, algoritmická entropie).

Analogie mezi systémy

- Některé systémové **vlastnosti** lze nalézt a studovat pro systémy rozličných druhů. Příklady:

harmonický průběh veličin



Všechny lineární dynamické systémy
elektrické, mechanické, hydraulické, ...

neklesající entropie

Všechny uzavřené systémy.
(bez přísunu energie)

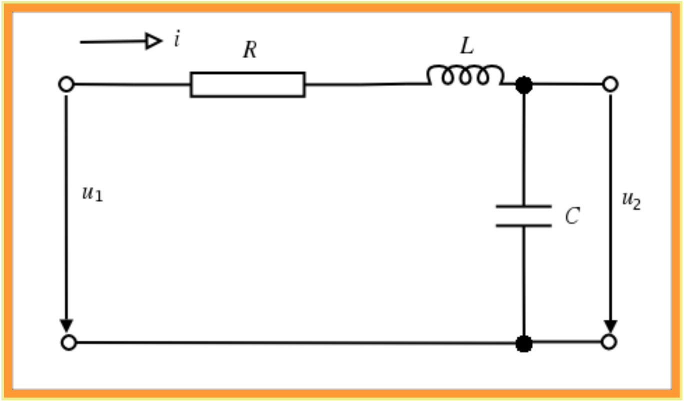
fraktální struktury

Přírodní útvary (pobřežní linie, hory, rostliny)
Trajektorie ve stavovém prostoru chaotických dynamických systémů

Analogie mezi systémy

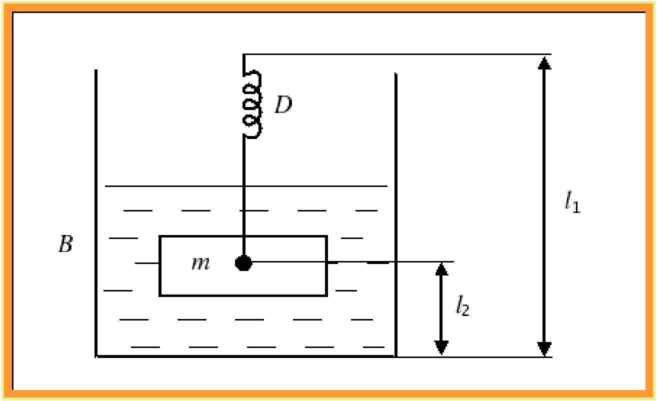
- Některé kybernetické **modely** platí stejně pro různé systémy.

Elektrický obvod



$$L\frac{\mathrm{d}^2 u_2}{\mathrm{d}\, t^2} + R\frac{\mathrm{d}\, u_2}{\mathrm{d}\, t} + \frac{1}{C}u_2 = \frac{1}{C}u_1$$

Mechanická soustava



$$m\frac{\mathrm{d}^2 l_2}{\mathrm{d}\, t^2} + B\frac{\mathrm{d}\, l_2}{\mathrm{d}\, t} + Dl_2 = Dl_1$$

induktance L	$\leftrightarrow$	hmotnost m
odpor R	$\leftrightarrow$	brzdicí síla B
inv. kapacita $1/C$	$\leftrightarrow$	tuhost pružiny D
napětí u_1	$\leftrightarrow$	délka l_1
napětí u_2	$\leftrightarrow$	délka l_2

- Stejný matematický model (lineární dif. rovnice 2. řádu), jen jiné názvy veličin. Systémy jsou tzv. **izomorfní** (stejné až na názvy). Každý ze systémů je modelem druhého.

Aspekty systémů

- Aspekty systému, které nás zajímají v rámci KyR:
- **Dynamika**
  - Lineární a nelineární systémy: od pořádku k chaosu.
- **Entropie a informace**
  - Jak měřit neuspořádanost systému a množství informace pomocí pravděpodobnosti.
- **Přenos informace, kódování**
  - Jak informaci přenést. Komunikační kanál, chybné přenosy a komprese dat.
- **Algoritmická entropie, rozhodnutelnost**
  - Jak měřit složitost systému a množství informace bez pomoci pravděpodobnosti. Algoritmická rozhodnutelnost úloh.
- **Umělá inteligence**
  - Řešení úloh, rozhodování za neurčitosti, rozpoznávání, učení, ...
- **Zpětná vazba a řízení**
  - Vnější popis dynamiky, zpětná vazba, regulace a ovládání systémů.

Dynamika systémů

- Nechť $\vec{x} = [x_1, x_2, \dots x_n]$ je vektor veličin systému (mezi veličinami není *čas*!).
- **Dynamika** systému = vývoj $\vec{x}$ v čase.
- **Dynamický model** systému: pravidlo určující tento vývoj
  - **diskrétní** model:
  $$\boxed{\vec{x}(k+1) = \vec{f}(\vec{x}(k))}$$
  $(k = 0, 1, 2, \dots)$ *Následující stav* vyplývá ze současného stavu.
  - **spojitý** model:
  $$\boxed{\frac{\mathrm{d}}{\mathrm{d}\,t}\vec{x}(t) = \vec{f}(x)}$$
  $(0 \leq t \leq \infty)$ *Změna stavu* vyplývá ze současného stavu.
- **Deterministický** dynamický systém: $\vec{f}$ je **funkce**
- **Stochastický** dynamický systém: $\vec{f}$ je **pravděpodobnostní rozložení** (mimo rámec KUI!)
- Základní předpoklady:
  - **Konečný rozměr** systému: $n < \infty$. **Stacionarita:** $\vec{f}$ nezávisí na k (resp. t).

Dynamika systémů

- Vhodnost spojitého resp. diskrétního modelu závisí na povaze reálného systému.
  - Ve fyzice zejm. spojité modely (např. el. obvod), v ekonomii diskrétní (kurz akcie k datu)
  - Diskrétní model často používán jako **aproximace** spojitého (zejména v počítačových simulacích). Potom $t \equiv k \cdot \Delta\tau$ ($\Delta\tau$ - *vzorkovací perioda*).
- **NÁMITKA:** Model $\vec{x}(k+1) = \vec{f}(\vec{x}(k))$ zjednodušuje, u reálných systémů může $\vec{x}(k+1)$ záviset i na $\vec{x}(k-1)$, $\vec{x}(k-2)$ atd.
- Řešení: stačí uvažovat další veličiny jako "paměť systému". Příklad

$$\boxed{x_1(k+1) = x_1(k) + x_1(k-1)} \quad \Rightarrow \quad \boxed{\begin{array}{l} x_1(k+1) = x_1(k) + x_2(k) \\ x_2(k+1) = x_1(k) \end{array}}$$

  tj. $[x_1(k+1), x_2(k+1)] = \vec{x}(k+1)$ nyní závisí pouze na $\vec{x}(k)$.
- Analogicky u spojitých modelů. Pro eliminaci vyšších derivací stačí uvažovat další veličiny které jsou derivacemi původních veličin (příklad za chvíli).
- Takto sestavené systémové veličiny tvoří tzv. **stavový vektor**. Jeho hodnota v čase t (resp. k) je **stav systému** v čase t (resp. k). Vektorem $\vec{x}$ budeme označovat *stavový vektor*.

Lineární orientovaný systém

- Speciální typ dynamického systému s **obrovským** uplatněním: $\vec{f}$ je **lineární** zobrazení:

  diskrétní lin. systém: $\vec{x}(k+1) = \mathbb{A}\vec{x}(k)$ spojitý lin. systém: $\frac{\mathrm{d}}{\mathrm{d}\,t}\vec{x} = \mathbb{A}\vec{x}$

- Lineární systémy se snadno matematicky analyzují. Díky tomu je možno uvažovat podrobnější, tzv. **orientovaný** lineární model,

  diskrétní

  $$\boxed{\begin{aligned}\vec{x}(k+1) &= \mathbb{A}\vec{x}(k) + \mathbb{B}\vec{v}(k)\\ \vec{y}(k) &= \mathbb{C}\vec{x}(k) + \mathbb{D}\vec{v}(k)\end{aligned}}$$

  spojitý

  $$\boxed{\begin{aligned}\frac{\mathrm{d}}{\mathrm{d}\,t}\vec{x}(t) &= \mathbb{A}\vec{x}(t) + \mathbb{B}\vec{v}(t)\\ \vec{y}(t) &= \mathbb{C}\vec{x}(t) + \mathbb{D}\vec{v}(t)\end{aligned}}$$

  v němž jsou od stavových veličin $\vec{x}$ odlišeny

  – vstupní veličiny $\vec{v}$ (nejsou ovlivňovány stavem)

  – výstupní veličiny $\vec{y}$ (neovlivňují stav)

- **Výhoda** lineárního modelu: průběh $\vec{x}(k)$ (resp. $\vec{x}(t)$) lze analyticky odvodit.
- **Nevýhoda** lineárního modelu: často jen aproximace, reálné fyzikální systémy obvykle nelineární.

Příklad: spojitý lineární orientovaný systém

Obvodová rovnice:

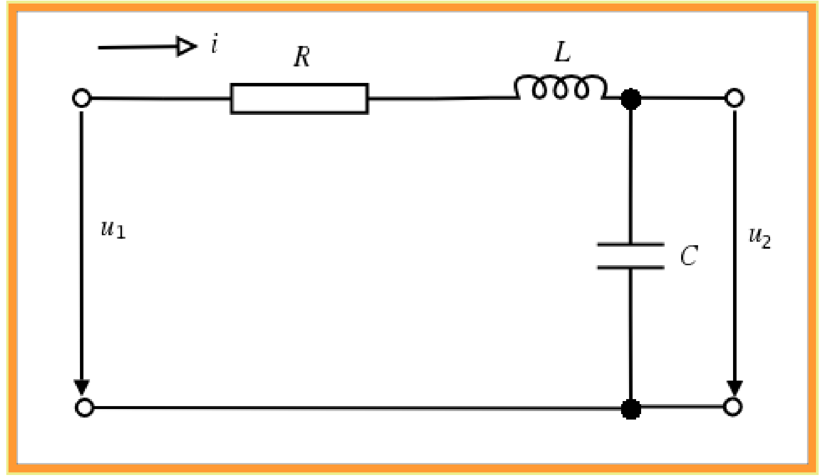
$$L\ddot{u}_2 + R\dot{u}_2 + \frac{1}{C}u_2 = \frac{1}{C}u_1$$

Vstup: $v := u_1$

Stavové veličiny: $x_1 := u_2$

$x_2 := \dot{x}_1$ **(eliminace $\ddot{x}_1$)**

Výstup: $y := x_1$



Z obvodové rovnice:

$$\dot{x}_2 = -\frac{R}{L}x_2 - \frac{1}{LC}x_1 + \frac{1}{LC}v$$

Stavový popis:

$$\begin{bmatrix} \dot{x}_1 \\ \dot{x}_2 \end{bmatrix} = \underbrace{\begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -\frac{1}{LC} & -\frac{R}{L} \end{bmatrix}}_{\mathbb{A}} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix} + \underbrace{\begin{bmatrix} 0 \\ \frac{1}{LC} \end{bmatrix}}_{\mathbb{B}} [v]$$

$$[y] = \underbrace{\begin{bmatrix} 1 & 0 \end{bmatrix}}_{\mathbb{C}} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix} + \underbrace{\begin{bmatrix} 0 \\ 0 \end{bmatrix}}_{\mathbb{D}} [v]$$

Vlastní čísla a vlastní vektory matice

- Matice $\mathbb{A}$ v sobě "skrývá" zásadní vlastnosti lineárního dynamického systému.
- K jejich rozluštění jsou důležité pojmy: **vlastní číslo** a **vlastní vektor** matice.
  - $\vec{r}$ je vlastní vektor a λ je vlastní číslo matice $\mathbb{A}$ právě tehdy, když

$$\boxed{\mathbb{A}\vec{r} = \lambda\vec{r}}$$

  - $\vec{r}$ jsou tedy řešeními soustavy lineárních rovnic

$$(\mathbb{A} - \lambda\mathbb{I})\,\vec{r} = 0 \tag{1}$$

    s parametrem λ, kde $\mathbb{I}$ je *jednotková matice* (jedničky na hlavní diagonále, jinde nuly).
  - Soustava má netriviální řešení (nenulové $\vec{r}$) právě tehdy, když

$$\det(\mathbb{A} - \lambda\mathbb{I}) = 0$$

  - Řešením této rovnice s determinantem zjistíme všechna vlastní čísla λ. Pozor: řešení hledáme v oboru *komplexních čísel*.
  - Pro každé λ následně řešíme soustavu 1, čímž obdržíme všechny vlastní vektory $\vec{r}$.

Dynamické vlastnosti lineárního spojitého systému

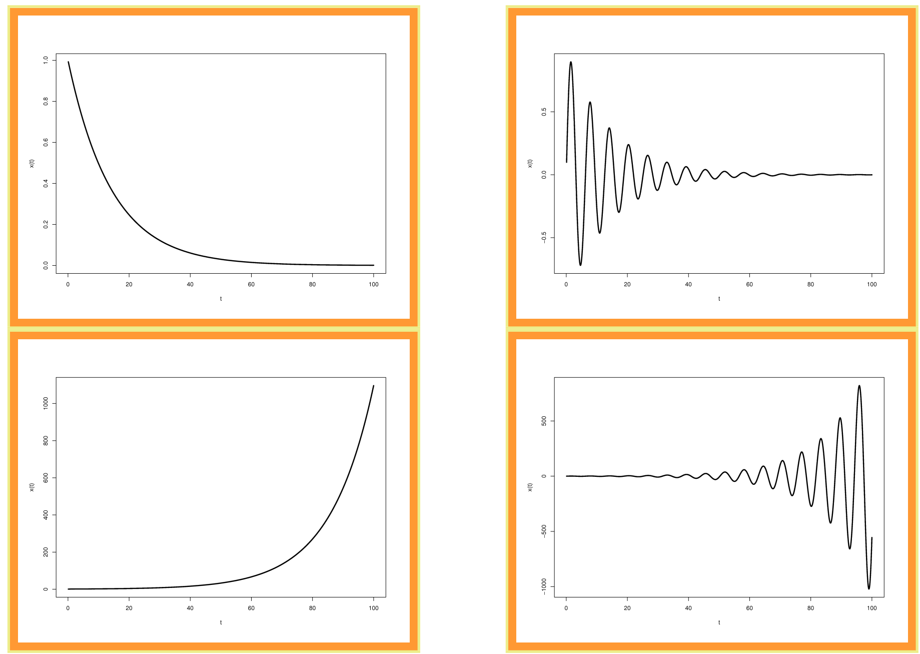
- Po doznění vstupu v čase t_0 ($t > t_0 \Rightarrow v(t) = 0$), **obecné řešení** $\frac{\mathrm{d}}{\mathrm{d}\,t}\vec{x}(t) = \mathbb{A}x\vec{(t)}$:

$$\boxed{\vec{x}(t) = \sum_{i=1}^{n} k_i \vec{r}_i e^{\lambda_i t}}$$

  kde $\vec{r}_i$ jsou *vlastní vektory* $\mathbb{A}$, λ_i odpovídající *vlastní čísla* a k_i konstanty závislé na počátečních podmínkách ($\vec{x}(t_0)$ v okamžiku t_0 doznění vstupu).

- Příklady časového průběhu (např. pro x_1)

nekmitavý ($\forall i\, \mathrm{Im}\, \lambda_i = 0$) kmitavý ($\exists i\, \mathrm{Im}\, \lambda_i \neq 0$)

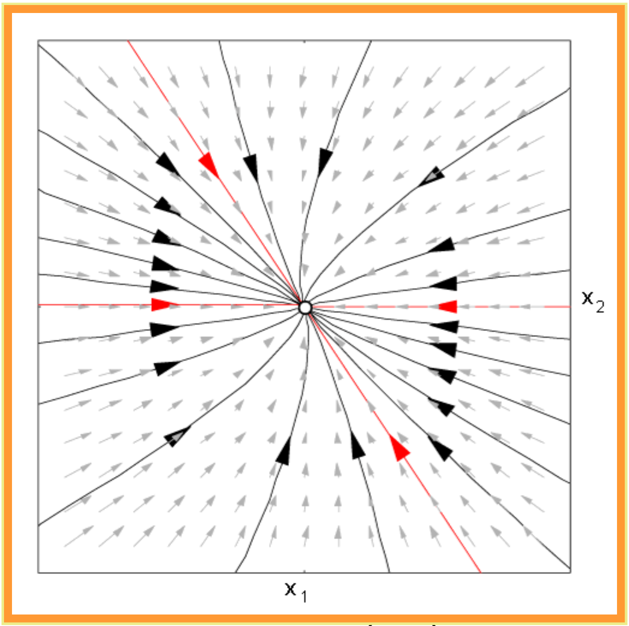


stabilní ($x(t) \to 0$ pro $t \to \infty$) pokud $\forall i\, \mathrm{Re}\, \lambda_i < 0$, tj. všechna vlastní čísla **v levé komplexní polorovině**. *Proč* je toto důvodem stability?

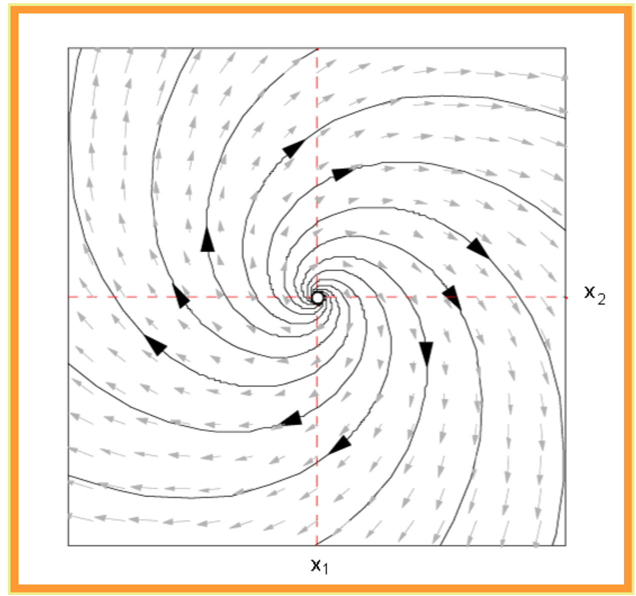
nestabilní ($x(t) \to \infty$ pro $t \to \infty$) pokud $\exists i\, \mathrm{Re}\, \lambda_i > 0$.
Fyzikálně nerealizovatelné s nulovým vstupním signálem, tj. bez přísunu energie.

Stavový prostor lineárního spojitého systému

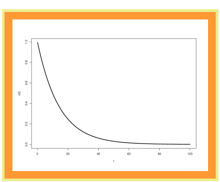
- Hodnoty n stavových veličin = souřadnice v n-rozměrném **stavovém prostoru**
- V našem příkladě: $< x_1, x_2 = \dot{x}_1 >$
- Časový vývoj systému: trajektorie ve stavovém prostoru. Příklady:



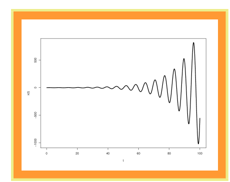
stabilní, nekmitavý. Stav (0,0) = **"atraktor"**



nestabilní, kmitavý



jedna z trajektorií: projekce x_1 dle t



jedna z trajektorií: projekce x_1 dle t

Dynamické vlastnosti lineárního **diskrétního** systému

- Dynamické vlastnosti lineárního diskrétního systému lze podobně jako ve spojitém případě snadno matematicky odvodit.
- Předpokládejme doznění vstupního signálu v čase k_0 ($t > t_0 \Rightarrow v(k) = 0$). Hledáme řešení

  $$\vec{x}(k+1) = \mathbb{A}\vec{x}(k)$$

  pro počáteční podmínku $\vec{x}(k_0) = x_0$ v okamžiku k_0 doznění vstupu. Evidentně:

  $$\vec{x}(k) = \underbrace{\mathbb{A} \cdot \mathbb{A} \cdot \ldots \cdot \mathbb{A}}_{(k-k_0)\times} \vec{x}_0 = \mathbb{A}^{k-k_0}\vec{x}_0$$

  lze převést na

  $$\boxed{\vec{x}(k) = \sum_{i=1}^{n} \alpha_i \vec{r}_i \lambda_i^k}$$

  kde $\vec{r}_i$ jsou *vlastní vektory* $\mathbb{A}$, λ_i odpovídající *vlastní čísla* $\mathbb{A}$ a α_i konstanty závislé na počáteční podmínce.
- Systém **stabilní** ($x(k) \to_{k\to\infty} 0$) právě tehdy, když $\forall i \; |\lambda_i| < 1$, tj. všechna vlastní čísla **uvnitř jednotkového kruhu** v komplexní rovině.
- *Kontrolní otázka: kde leží vlastní čísla $\mathbb{A}$ pro* **stabilní spojitý** *lineární systém?*

Příklad: diskrétní nelineární systém

- **Lineární systémy:** dobře matematicky modelovatelné, chování snadno odvoditelné ze stavového nebo vnějšího popisu. **Nelineární systémy:** mnohem složitější situace.
- Příklad: modelování velikosti populace v čase. První "nástřel" diskrétního modelu:

$$x(k+1) = p \cdot x(k)$$

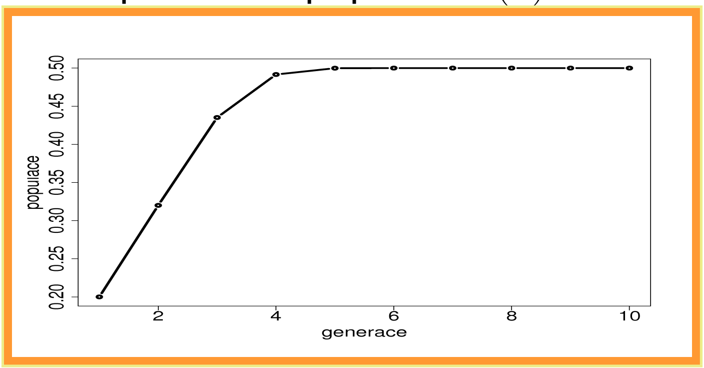
$0 \leq x(k) \leq 1$ velikost populace v k-té generaci, p - parametr růstu (rychlost rozmnožování)

- Tento model je lineární, řešení je $x(k) = p^k$, pro $p > 1$ nestabilní ($x(k) \rightarrow_{k\rightarrow\infty} \infty$).
- Populace nemůže růst do ∞ kvůli nedostatku potravy. Do modelu je třeba začlenit faktor $(1 - x(k))$ potravy ubývající s růstem populace. Obdržíme tzv. **logistický model:**

$$\boxed{x(k+1) = p \cdot x(k) \cdot (1 - x(k))}$$

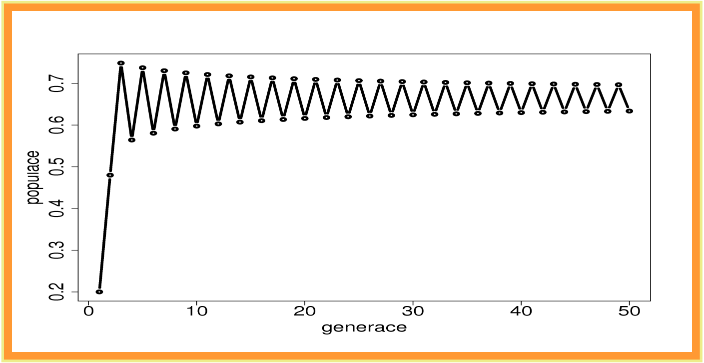
předpokládající normovanou velikost populace: $0 \leq x(k) \leq 1$ pro $\forall k$.

- Na rozdíl od lineárního modelu není k dispozici analytické řešení $x(k)$. Zkoumejme numericky: např. pro $p = 2$ a počáteční populaci $x(0) = 0.2$.

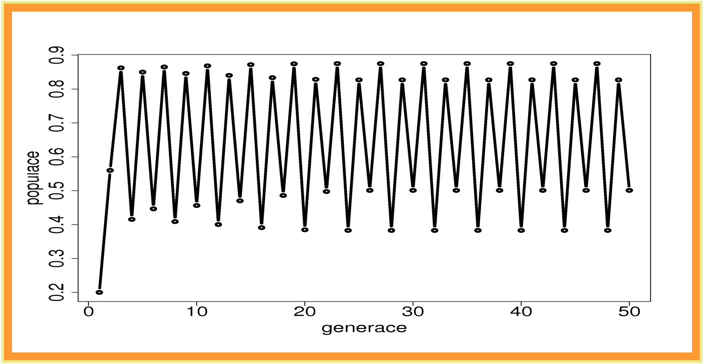


Pro $p = 2$: konvergence ke stabilnímu stavu.

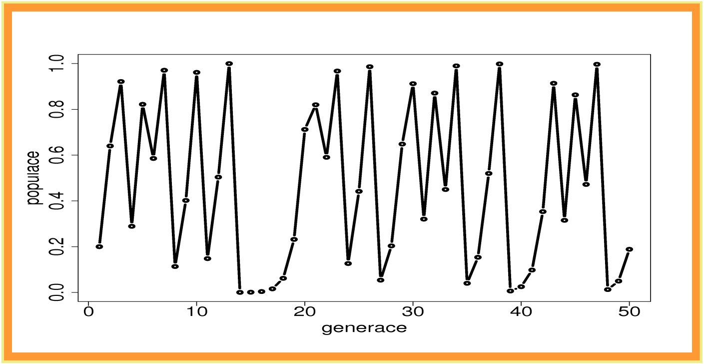
Příklad: diskrétní nelineární systém

- 

Při $p \approx 3$ náhlá změna:
průběh je periodický, s periodou 2 generace

- 

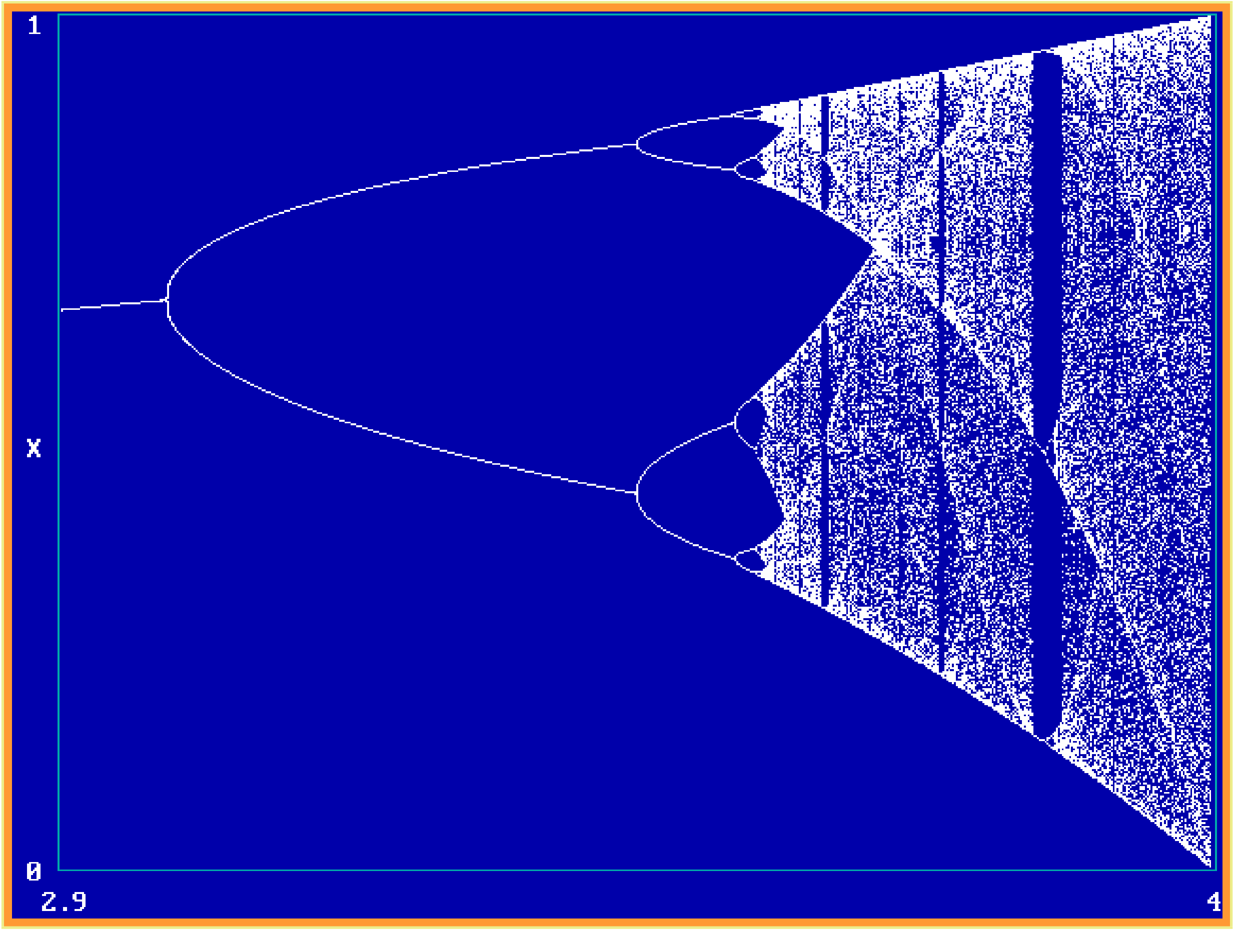
Při $p \approx 3.5$ náhlá změna:
perioda se zvýší na 4 generace.
Dále skokově stoupá s rostoucím r.

- 

Při $p \approx 3.57$: Nastupuje **chaotické chování**
neperiodický průběh, $x(k)$ navštíví časem **jakkoliv malé okolí kterékoli hodnoty** v intervalu $(0;1)$ (přestože jde o diskrétní systém!).

Emergence chaosu

- **Bifurkační diagram**.



Vodorovně: hodnota parametru p.
Svisle: všechny hodnoty dosažené $x(k)$ $(k = 0, 1, \ldots \infty)$ pro dané p.

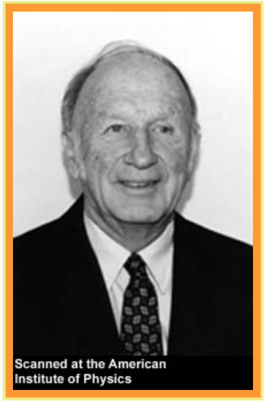
Chaos ve **spojitém** nelineárním systému

- **Edward Norton Lorenz** (1917 - 2008)

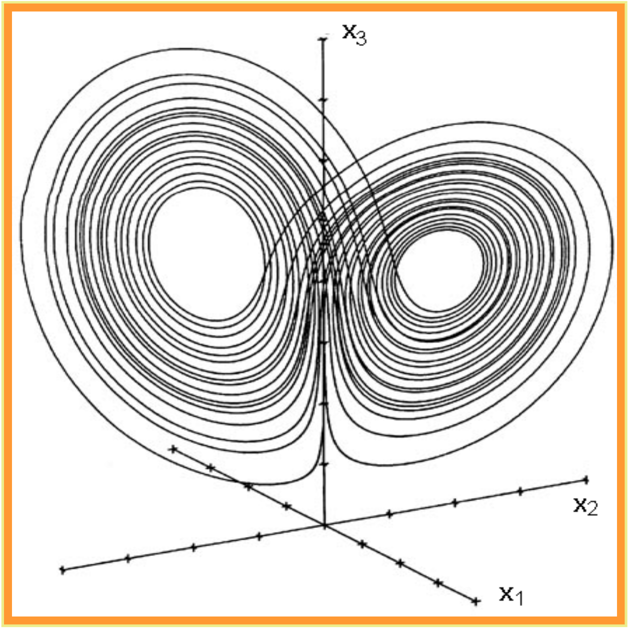
  Zavedl jednoduchý nelineární model meteorologického jevu:

$$\boxed{\begin{aligned} \dot{x}_1 &= a(x_2 - x_1) \\ \dot{x}_2 &= x_1(b - x_3) - x_2 \\ \dot{x}_3 &= x_1 x_2 - c x_3 \end{aligned}}$$

  (a, b, c reálné konstanty).



- Trajektorie ve 3D **stavovém prostoru** $[x_1, x_2, x_3]$ (pro $a = 10, b = 28, c = 8/3$)



— Tzv. **"podivný atraktor"**. Chaotické chování:

— Trajektorie nikde neprotíná sama sebe (důsledek aperiodicity).

— Malý rozdíl v počáteční podmínce $\Rightarrow$ velký rozdíl po malém Δt.

— První "objevený" chaotický systém (1963).

Umělá inteligence

- Motto z knihy Umělá inteligence 1 *Přirozená inteligence bude umělou brzy překonána. Přirozenou blbost však umělá nemůže nahradit nikdy. Jára Cimrman*

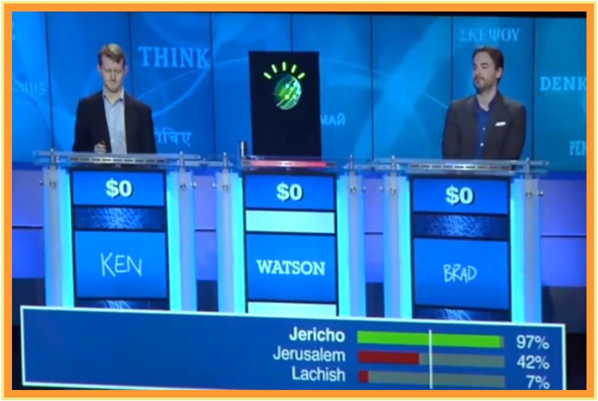
- Mnoho různých definic
  - Marvin Minsky, 1967 *Umělá inteligence je věda o vytváření strojů nebo systémů, které budou při řešení určitého úkolu užívat takového postupu, který - kdyby ho dělal člověk - bychom považovali za projev jeho inteligence*
  - Kotek a kol., 1983 *Umělá inteligence je vlastnost člověkem uměle vytvořených systémů vyznačujících se schopností rozpoznávat předměty, jevy a situace, analyzovat vztahy mezi nimi a tak vytvářet* **vnitřní modely světa**, *ve kterých tyto systémy existují, a na tomto základě pak přijímat účelná rozhodnutí, za pomoci schopností předvídat důsledky těchto rozhodnutí a objevovat nové zákonitosti mezi různými modely nebo jejich skupinami.*

Podobory umělé inteligence

- Řešení úloh, reprezentace znalostí, strojové učení
- Rozpoznávání, strojové vnímání
- Neuronové sítě, evoluční výpočetní techniky
- Plánování a rozvrhování
- Teorie her
- Distribuované a multiagentní systémy
- Zpracování přirozeného jazyka
- Biokybernetika

Zajímavé state-of-the-art projekty UI

- DARPA Grand Challenge/Urban Challenge
- IBM Jeopardy/Big Blue
- Rat brain robot
- Robotické projekty (Boston dynamics)
- Computer Game AI (Starcraft, poker)



Shrnutí přednášky

- Kybernetika je věda o netriviálních **systémech** a **procesech**, jejich **modelování** a **řízení** a přenosu **informace**.
- Zkoumá aspekty společné **systémům rozličných druhů** (technickým, biologickým, socio-ekonomickým, ekologickým, ...).
- Jedním ze systémových aspektů je **dynamika** (vývoj v čase).
- Dynamika se snadno modeluje pro **lineární systémy**.
- Základním modelem dynamiky systému je **stavový popis**.
- Ze stavového popisu lineárního systému lze **snadno odvodit** důležité **asymptotické vlastnosti** (zejm. stabilitu), a obecně **vývoj v čase**, který je vždy dán lineární kombinací
  - komplexních exponenciálních funkcí (pro spojité systémy)
  - komplexních mocninných funkcí (pro diskrétní systémy)
- U **nelineárních systémů** může být vývoj v čase mnohem **složitější** a obecně jej ze stavového popisu nelze matematicky odvodit.
- I jednoduše popsané nelineární systémy mohou v čase vyvíjet extrémně složitě - **chaoticky**.

- V předmětu je kladen důraz na **Umělou inteligenci**
- **Příště:** Pravděpodobnostní rozhodování a klasifikace.