**1. Automatické plánování, plánovací graf, kompilace plánování do jiných formalismů jako je SAT nebo CSP, hierarchické plánování, plánování v prostoru plánů. Plánování pohybu a problém lokalizace v robotice.**

NI-UMI

**Automatické plánování**

* Úloha hledání **posloupnosti akcí**, které vedou k dosažení určitého cíle
* **Klasické plánování** – plně pozorovatelné, deterministické, konečné, statické, diskrétní, offline (nejdříve naplánujeme, pak vykonáme)
* **Neklasické plánování** – stochastické, dynamické prostředí
* **Vyjadřovací prostředky**
  + **Atom** – predikátový symbol s dosazenými konstantami
  + **Jazyk** – predikátové symboly a konstanty (nulární funkce)
  + **Stavy** – konečné množiny základních atomů, uzavřený svět (co není zmíněno, to neplatí)
  + **Cíl** – částečná specifikace stavu konečnou množinou literálů
* **Operátory**
  + Trojice o(name(o), precond(o), effects(o))
    - **Name(o)** – n(x1…xn)
    - **Precond(o)** – literály, které musí být splněny
    - **Effect(o)** – množina literálů, které budou platit po provedení operátoru
* STRIPS – dnes v podobě **PDDL**
* **Akce** – základní instance operátoru
  + **Aplikovatelnost** akce:
    - Mějme akci a a stav s

*Precond+(a), precond-(a)*

*Effect+(a), effect-(a)*

* + - Akce je aplikovatelná ve stavu s:
  + **Aplikace** apl. Akce:
    - Odebereme negativní efekty, přidáme pozitivní efekty:
* **Plánovací doména** – jazyk (konstanty a predik. S.) L a operátory O
  + Implicitně určuje množinu stavů a funkci následníka – γ: SxA -> S
* **Plánovací problém** – předp. plánovací doménu: L, O
  + Zadání plánovacího problému: (O, S0, g)
  + Plánovací problém SP s přechody: (Σ, s0, sg)
    - = množina cílových stavů
* **Plány a řešení**
  + **Plán** **– posloupnost akcí** π = [a1, …, an], kde ai = instance operátoru z O
  + Plán je řešením P, jestliže je proveditelný z s0 a dosahuje cíle g
* **Dopředné plánování** – nedeterministický výběr akce do navštíveného stavu, tím se vytvoří nový stav
* **Zpětné plánování**
  + **Inverzní aplikace** – inverzní funkce k funkci následníka, tvořím pod-cíl, ze kterého se dostat do cíle
    - Lze uvažovat jen relevantní akce– ty, které nás posunou směrem ke splnění cíle (splní alespoň 1 cílový literál), a zároveň nezruší žádný ze splněných literálů cíle
    - Cíl g a akce a – γ-1(g, a)
    - Akce a je relevantní pro cíl g, když:
      * + g ∩ effects+(a) ≠ ∅
        + g+ ∩ effects-(a) = ∅ a g- ∩ effects+(a) = ∅
    - Pro relevantní a vzhledem k g definujeme: γ-1(g, a) = (g – effect(a)) ∪ precond(a)
    - Jako u DP se vybírá nedeterministický nový stav z předchozího, ale tentokrát se jde od cíle k počátečnímu stavu
* **Liftování** – zavedení proměnných zmenší větvící faktor
* **Prostor plánů**
  + Postupně opravujeme částečný plán – množina částečně instanciovaných operací/akcí, množina podmínek
  + Oprava – odstranění **kazu**
  + Uzly prohledávání jsou částečné plány
  + Kaz 1: otevřený cíl
    - Máme akci s předpokladem p, o kterém nevíme, jak jej nastavit/splnit
    - Léčba:

1. Najít a, co by mohla produkovat p
2. Instanciovat proměnné a/nebo nastavit vazbové podmínky
3. Nastavit kauzální podmínku
   * Kaz 2: Hrozba
     + Existuje možnost, že si smažeme (c) předpoklad (p) produkovaný pro nějakou akci (b)
     + Léčba:
4. Přinutit b, aby předcházelo a
5. Přinutit c, aby předcházelo a
6. Svázat proměnné tak, aby ke smazání p nedošlo

* Plánování v prostoru plánů (PSP) – vrací částečně uspořádaný plán
* **Analýza dosažitelnosti**
  + Zaměření na větvící faktor, zkoumání obsažitelnosti stavů (cílových)
    - Expanze stavového prostoru
    - Narazíme-li při expanzi na cílový stav, zrekonstruujeme plán
  + Expanze -> strom dosažitelných stavů (O(k^d))
  + **Graf dosažitelných stavů** – sloučení opakujících se stavů (O(k^d))
  + **Relaxace dosažitelnosti**
    - Původní: sg dosažitelný ⬄ obražen v grafu d. s.
    - Relaxovaný: sg dosažitelný => obsažen v plánovacím grafu d. s.
    - Sjednocení atomů úrovně stromu/grafu dos. Do 1 stavu/uzlu
* **Plánovací graf**
  + Střídání stavových (P0, …) a akčních (A1, …) vrstev
  + Hrany zpřesňují aproximaci oproti jen sjednocení atomů
  + Hrany z Pi do Ai+1 – ukazují předpoklady akce
  + Hrany z Ai do Pi – ukazují efekty akce
  + Skrz negativní efekty nemažeme
    - P0 ⊆ P1 ⊆ …
    - Axiom rámce (frame) – atomy přenášíme do další vrstvy
* **Paralelní plány** – určeny plán. Grafem – posl. Množin akcí
  + Převod na **sekvenční plán** – posloupnost množiny uspořádání akcí
  + Nutno zajistit **nezávislost** – mezi paralelně proveditelnými akcemi
    - Dvojice akcí (a, b) je nezávislá ⬄

Effect-(a) ∩ (precond(b) ∪ effect+(b)) = ∅

∧

Effect-(b) ∩ (precond(a) ∪ effect+(a)) = ∅

* + - Množina akcí π je nezávislá, jestliže je v π nezávislá každá dvojice akcí
      * Nezávislou množinu akcí lze aplikovat paralelně – akce si vzájemně neškodí
* Vzájemné vyloučení – **mutex**
  + V plán. Grafu mezi atomy nebo akcemi
  + Zpřesnění aproximace – zákaz nežádoucích dvojic
  + Akce a a b z Ai jsou vzájemně vyloučené (mutex) = jsou závislé, nebo je a mutex s předpokl. b
  + Atomy p a q z Pi jsou vzájemně vyloučené – každá akce a v Ai, že p ∈ effect+(a) je mutex s každou akcí b v Ai, že q ∈ effect+(b) a v Ai není akce c, že p, q ∈ effect+(c)
* Algoritmus **Graphplan** – střídá 2 fáze:

1. **Expanze** plánovacího grafu
2. Pokus o **extrakci** paralelního plánu z plánovacího grafu
   * + Neúspěch -> pokračuje expanze, + úroveň do p. g. – po čase stabilizace
   * Extrakce plánu
     + GP-scarch – chce bez-mutexovou množinu akcí π splňující g
     + Extract – tabulka nogoodů **▽**

▽(i) … zákazové cíle pro úroveň i

* Plánování jako SAT
  + Stavy odpovídají ohodnocení některých výrokových proměnných
  + Nutno dávat pozor na realitu
  + Cíl – vynutíme platnost cíle klauzulí
  + Problém – vývoj v čase -> časový index
    - Časová expanze – naznačuje, jak se postupně mění stavy v čase
  + Zavedení proměnných pro akce (a časové kroky) – pro každou časovou jednotku a každý atom proměnná, znamenající, že atom platí v daném čase
    - Pro každou časovou jednotku a akci další proměnnou – akce se provedla v daném čase
* **SATplan**
  + Využívá **plánovací graf** na určení atomů a akcí, které reprezentovat v časových krocích pomocí proměnných
  + **Mutexy** – zakazují určité kombinace akcí, přirozeně vyplývají z plánovacího grafu, podporují jednotkovou propagaci
  + Splňování formule odpovídá extrakci plánu z plánovacího grafu
* Hierarchické plánování – zkrácení plánů, rozděluje problém na málo velkých akcí, kde každou velkou akci rozděluje na pár menších atd.

**Plánování pohybu a problém lokalizace v robotice**

* **Lokalizace**
  + **Počáteční znalost** 
    - počáteční poloha známá – stopování
    - poč. poloha neznámá – globální lokalizace – změna na stopování hned po objev. polohy
  + **Přechodový model** – pohyb robota v rovině, známe přesnou mapu, Xt = (xt, yt, θt), posuvná rychlost vt , rotační ωt – deterministická stavová predikce
  + skuteční roboti nejsou determinističtí -> použití **Gaussovské distribuce**
  + senzorový model – vzahování k orientačnímu bodu, který senzory detekují (vzdálenost, natočení)
  + lokalizace **Monte Carlo (MCL)** – založeno na částicové filtraci
    - repr. Přesvědčení jako **mračno částic** (vzorků), které odpovídají stavům
    - přechodový a senzorový model na vstupu
    - vrací, jak odpovídá pozorování senzorem simulaci pozorování ve vzorku
* **Kalmanův filtr** – přesvědčení robota P(Xt | z1:t, a1:t-1) reprezentuje pomocí normálního rozd. N(μt ,Σt)
  + Funguje s lineárními (f ah) přechodovými a senzorovými modely
  + Přechodový model Xt+1 = f(Xt ,vt , ωt) interpretujeme jako maticovou operaci, senzorový model zt+1 = h(Xt) taky
  + Přesvědčení reprezentované jako normální rozdělení N(μt,Σt) je po lineárních transformacích opět popsáno normálním rozdělením N(μt+1,Σt+1)
* **Mapování** – otázka vytvoření reprezentace prostředí na základě údajů ze senzoru
  + Kombinace technik – lokalizace, dynam. Vytváření senzor. Modelu, někdy prohledávání prostředí
  + Technické aspekty – reprezentace pomocí mračna bodů, možnost spolupráce robotů, pohybující se objekty v prostředí
  + Aplikace – autonomní vozidla, Henry
* **Plánování pohybu**
  + Typy pohybů – z bodu do bodu, souladný – v kontaktu s překážkou
  + **Konfigurační prostor –** poloha, orientace, natočení kloubů
    - Hledání cesty – v robotice ve spojitém prostoru
  + Spojitost rozklad na buňky, skeletonizace
  + Pro zjednodušení nehledíme na neurčitost, vše deterministické
* **Konfigurační prostor**
  + Reprezentace pomocí pracovních souřadnic – pozice prvků robota
    - Plně popisuje pozici
    - Vhodná na detekci kolizí
    - Ne všechny souřadnice jsou možné
  + Reprezentace pomocí konfigurací – natočení kloubů…
* **Rozklad na buňky**
  + Konečný počet spojitých buněk – hledání cesty v rámci buňky ez
  + Jednoduché na implementaci
  + Komplikje se s rostoucí dimenzí
  + Rozdělování polo-obsazených buněk na 2^dimenze
* **Skeletonizace** – převod hledání cesty na úlohu v jedné dimenzi
  + **Voroného diagram** – množina bodů, které mají stejnou vzdálenost ke 2 a více překážkám
    - Tvoří graf, v němž je problém hledání cesty 1D
    - Vstup i výstup po úsečce
    - Obtížná konstrukce
  + **Pravděpodobnostní mapa** – generuje náhodné konfigurace, spojíme ty, mezi nimiž vede snadná cesta
* **Kinematika**
  + **Dopředná kinematika** – známe otočení kloubů – konfiguraci, chceme určit polohu efektoru – lineární transformace
    - Konfigurace => pracovní souřadnice (z konfiguračního do pracovního prostoru)
  + **Inverzní kinematika** – známe pozici efektoru reprezentovanou pracovními souřadnicemi, chceme určit konfiguraci – složitá transformace
    - Řešení rovnic, víc DOF -> víc řešení (nekonečno) – hledáme řešení minimalizující něco (energii, …)
    - Pracovní souřadnice => konfigurace (z pracovního do konfiguračního prostoru)
* **Dynamika a řízení** – nutno uvažovat nejen kinematický stav (konfiguraci), ale i rychlost – dynamický stav
  + Plánování s dynamickými stavy – hard, řešení diferenciálních rovnic
  + Alternativa – **metoda kontroleru** – je-li hodnota nějaké stavové proměnné odchýlena od požadované , robot ji kompenzuje působením at (síla efektoru)
    - Kontroler P – proporcionální – může oscilovat
    - Kontroler PD – proporciálně derivační – derivace je tlumix, na náhlou velkou změnu pomalá reakce
    - **Kontroler PID** – proporcionálně derivačně integrační – bere v potaz systematické externí působení (zahrnuto v integračním faktoru), nejčastější

**2. Splňování omezení s konečnými doménami (CSP), pokročilé prohledávání (backjumping, dynamický backtracking), filtrace domén a lokální konzistenční techniky, globální omezení, rozhodovací heuristiky.**

NI-UMI

**Splňování omezení s konečnými doménami (CSP)**

* **Stav** v CSP není atomický, má vnitřní strukturu
  + Rozdělen do **proměnných**
  + **Cíl** definován jako **splnění omezení**
* Faktorová reprezentace -> doménově nezávislé heuristiky
* **CSP** = problém splňování podmínek – trojice (X, D, C)

X … konečná množina **proměnných**

D … konečná **doména** (obor hodnot) proměnných

C … množina **podmínek** nad X – omezení pro rozhodnutí

* + - Binární, ternární, n-nární… (podle |X|
* **Řešení** = přiřazení hodnot proměným tak, že všechny podmínky jsou splněny (konjunkce)
* **Prohledávání** v CSP
  + **Stav** = částečné ohodnocení proměnné
    - **Konzistentní** – přiřazené hodnoty neporušují podmínky
  + **Počáteční stav** – prázdné přiřazení
  + **Akce** – přiřazení hodnoty proměnné z její domény
  + **Cílový stav** – všechny p. ohodnoceny + konzistentní
    - Komutativita ohodnocení
* **Chronologický backtracking** – rekurzivní prohledávání do hloubky (DFS)
  + Dopředný chod – přiřazení
  + Nelze přiřadit -> u poslední přiřazené zkoušíme jinou hodnotu
* Složitost: CSP je **NP-těžké**
* Constraint programming – ILOG, Minion, Gecode, MiniZinc, …
* Neefektivita backtrackingu
  + Pasivní využití podmínek
  + Zapomínání již odvedené práce – hodněkrát nastaví pár proměnných na stejné ohodnocení, které je nesplnitelné

**Pokročilé prohledávání**

* **Backjumping** – pokud v průběhu ohodnocování x momentální proměnná nemůže být nastavena na žádnou hodnotu, najdou se všechny nesplněné omezení, z nich se vyberou konfliktní proměnné, následně se odnastaví všechny proměnné až do nejbližší konfliktní proměnné
  + Rozšiřujeme ohodnocení S´ do proměnné x, zbývá ale ohodnotit víc proměnných
    - Přiřazení S´(x)=d nezpůsobí konflikt, ale přesto nejde rozšířit na plné ohodnocení (odhalení konfliktu až při dalším ohodnocování)
    - Nemožnost přiřazení S´(x)=d odhalí prohledávací algoritmus (rekurzivní volání BJ) při pokusu ohodnotit zbylé proměnné
      * Uvažujeme **konfliktní množinu** Conf pro *zbylé proměnné, které v pozdějším běhu nebylo možné ohodnotit* – Conf je příčina nemožnosti rozšířit S’∪{x=d} na celé X
      * S’ pro Conf\{x} je pak příčina nemožnosti provést S’(x)=d – Confd = Conf \ {x} je konfliktní množina pro hodnotu d∈D(x)
    - Nelze-li provést přiřazení S´(x)=d pro žádnou hodnotu d z domény x, BJ skočí zpět na poslední proměnnou z konfliktní množiny
  + **Backjumping** v listu
    - Máme částečné ohodnocení s´, ohodnocujeme poslední proměnnou x. Předpokládejme, že s´ do x rozš. Nelze -> skok zpět na poslední prom. z konfliktní množiny pro x
* **Dynamický backtracking** – při skoku zpět část ohodnocení, která je OK, ponechá
  + Změna pořadí proměnných (-> dynamika) – aby se zachovalo ohodnocení nekonfliktních proměnných
* **Závislosti (nogoody)**

S´…částečné ohodnocení

Conf = {y1…yn} množina konfliktních proměnných k S´

**Nogood** = podmínka zakazující vytvořit nerozšiřitelné přiřazení

* + BJ objevuje nogoody – lze ukládat – učení (lze i zapomínat – šetření pamětí)
  + logický důsledek v daném CSP
  + Specifické lze skládat do obecnějších – rezoluční pravidlo

**Filtrace domén, konzistence, globální omezení a heuristiky**

* **Filtrace domén** – dopředná kontrola
  + Zavádíme pracovní domény pro proměnné, ze kterých je možné hodnoty vyškrtávat (dynam. datová struktura)
  + Při ohodnocení prom. Kontrola souv. podmínek, případně vyškrtáváme hodnoty z pracovních domén proměnné zasažené podmínkou
* **Backtracking s filtrací** – přiřazení opatříme dopřednou kontrolou (inference)
* Důraznější filtrace – nebudeme čekat na úplné ohodnocení proměnné v podmínkách
  + Propagace podmínek
* **Hranová konzistence** – obecnější druh filtrace pro CSP s binárními podmínkami
  + Výpočet: opakovaně vynucujeme konzistenci na hranách (dokud se mění prac. domény)
  + předpokládejme podmínku c ∈ C nad proměnnými x1 a x2, D = doména
    1. kontrolujeme orientovanou hranu (x1, x2)
    2. pro každou hodnotu d1 ∈ D(x1) hledáme **podporu** d2 ∈ D(x2) vzhledem k podm. c
    3. podpora – d2 ∈ D(x1) taková, že (d1, d2) ∈ c
    4. nemá-li d1 podporu v D(x2), odebereme d1 z D(x1)
  + **Podpora** pro a z domény x: hodnota b je podpora v doméně y, jestliže (x, y) splňuje podmínku (**a nemá podporu, jestliže je nemožné, aby x nabývala hodnoty a, aniž by porušila podmínku**)
* **Heuristiky pro výběr proměnné**:
  + Výběr nejvíce omezené proměnné
  + Výběr „klíčové“ proměnné
  + Výběr tak, abychom co nejdřív narazili na řešení
  + Využití struktury – míra souvislosti grafu CSP je určující
    - Komponenty souvislosti lze řešit nezávisle
    - Nejjednodušší souvislý graf je strom
* **Zobecněná hranová konzistence** (GAC) – zobecněná podpora
  + Podmínky jsou nebinární, pro jednu zvolenou proměnnou v podmínce je podpora tvořena všemi ostatními proměnnými
  + Globální podmínky
    - **allDifferent**(x1…xk) – obvykle uvažována jako jedna podmínka nahrazující všechny dvojice nerovností
    - Modelujeme jako hledání párování – konzistentní ohodnocení odpovídají párování
  + **Propagace** v allDifferent
    - Najdeme nějaké hodnocení proměnných, které splňuje allDifferent, následně se odeberou zbytečné hrany a dle toho se upraví pracovní doména proměnných
      * Najdeme maximální párování (maximální tok) – odstraníme hrany, co nepatří do žádného max. párování
      * Vyřazení neoznačených promítneme zpět do pracovních domén

**3. Systematické a lokální splňování v logice (DPLL, CDCL, WalkSAT, posílání zpráv). Automatické uvažování, rozhodování v teoriích prvního řádu, obecná rezoluce, princip SAT-modulovaných teorií (SMT). Zpracování přirozeného jazyka.**

NI-UMI

**Systematické a lokální splňování v logice**

* φ je splnitelná, jestliže existuje α, že α |= φ
  + NP-úplný problém
  + **α |= φ**: „φ je splněná pro ohodnocení α“
* **CNF** – konjunktivní normální tvar – podobá se CSP
* **Backbone** – podmnožina lit. Φ, které jsou pravdivé v každém splňujícím ohodnocení φ
* Backdoor – podmnožina proměnných φ, po jejichž ohodnocení je vyřešení splnitelnosti pro φ po dosazení v polynomiálním čase
* Autarky (autarkie) – částečné ohodnocení, které splní každou klauzuli, ve které nastavuje nějaký literál
* Unsatisfiable core – je-li φ nesplnitelná, podmnožina jejích klauzulí, která je stále nesplnitelná
* **Cejtinova transformace** – postupujeme podle derivačního stromu
  + Pro každý vnitřní uzel derivačního stromu formule φ zavedeme **pomocnou proměnou** ai
    - Indikátorem splnění pod-formule odp. stromu
    - Listy = původní proměnné
* **Jednotková propagace** – pokud klauzule není splněná a všechny až na jednu proměnnou v ní jsou ohodnocené, poslední proměnná musí splnit danou klauzuli
* **Jednoduché splňování** – **DPLL**
  + Backtracking s jednotkovou propagací čistých proměnných
    - **Čistá proměnná** – buď pouze neg., nebo pouze poz., lze ihned ohodnotit
  + **Důvody konfliktu**
    - Předchůdcovská klauzule (Antecendent(x))
      * Jestliže byl literál l ohodnocen jednotkovou propagací kvůli klauzuli c – c je předchůdcovská pro l
    - **Implikační graf** pro ohodnocení α´
      * Zachycuje vznik α´, umožňuje vypátrat důvod nemožnosti α´ dále rozšířit – příprava na skok zpět (backjumping)
      * Není třeba ho explicitně konstruovat (looking at you, CDCL)
      * Vrcholům je přiřazena informace o ohodnocení, K je speciální vrchol označující konflikt (nemožnost rozšířit dané částečné ohodnocení)
* **Učení klauzulí –** hranový řez v IG, který odděluje K a rozhodovací vrcholy, určuje konfliktní klauzuli c
  + Lze využít k zpětnému skoku, lze si ji zapamatovat
  + Spec. Případ nogoodu
* **Splnitelnost s garancí** – DPLL, CDCL, …
  + Úplnost – vždy skončí a odpoví
  + Mohou poskytnout formální zdůvodnění odpovědí (implikační graf) – Explainable AI
  + Speciální třídy formulí – garantujeme rychlou odpověď
* **Trojice paradigmat** – CSP, SAT, IP (integer programming)
  + CSP

+ prohledávací algoritmy, silná formulace

- Heterogenní omezení

* + SAT

+ homogenní, silné učení

- absence aritmetiky

* + IP

+ dobrá aritmetika

- slabé učení

* **CDCL** algoritmus (Conflict Driven Clause Learning) – využívá jednotkové propagace, staví implikační graf (NE EXPLICITNĚ)
  + Základ systematických řešičů SATu – kombinuje BJ (skoky zpět), UP (jednot. propagaci) a učení
    - Analyzuje implikační graf pro nalezení vhodného konfliktu
  + Obsah obrázku text, snímek obrazovky, diagram, Písmo

    Popis byl vytvořen automatickySoučásti:
    - **DECIDE** – ohodnotí další neohodnocenou proměnnou
    - **BCP** – jednotková propagace (boolean constraint propagation)
    - **BackTrack**(level) – zruší všechna rozhodnutí na úrovních vyšších než level
  + Když dojde ke konfliktu, nalezne vhodný řez grafu, z něj vytvoří nogood, ten přidá jako klauzuli
    - **Vhodný řez** – z poslední vrstvy obsahuje pouze prom., u které se rozhodovalo ohodnocení
    - Přidaná klauzule následně vynutí změnu ohodnocení u poslední rozhodované proměnné pomocí UP
    - Dělá **backjumping** – protože když se dělá řez, skočí se do předposlední rozhodovací vrstvy, která obsahuje proměnnou v udělaném řezu – může přeskočit i nějakou vrstvu, která není na hraně řezu
  + **Analýza konfliktu**
    - **Hranový řez** – odděluje K a rozhodovací uzly v implik. grafu – určuje konfl. klauzuli (nogood)

Obsah obrázku diagram, řada/pruh, Písmo, text

Popis byl vytvořen automaticky Obsah obrázku Písmo, text, rukopis, řada/pruh

Popis byl vytvořen automaticky

* + - Obecné požadavky – krátká konfliktní klauzule (kvůli UP, snadno uložitelná, obecnější)
    - Budeme chtít **VYNUCUJÍCÍ konfliktní klauzuli**
      * Obsahuje jediný literál z aktuální rozhodovací úrovně
      * Po návratu (BackTrack), je-li vynucující klauzule naučena (přidána), dojde skrz ni okamžitě k jednotkové propagaci
      * Nutnost, aby CDCL fungoval – v. k. k. zajistí větvení
  + **Unikátní implikační bod** – UIP
    - Def. Vzhledem k akuální rozhodovací úrovni

1. Vrchol implikačního grafu různý od K
2. Všechny cesty z rozhodovacího vrcholu do K jím procházejí
   * + Vždy existuje, může jich být víc – zajímá nás 1. – nejbíže K
   * **Volba konfliktní klauzule**
     + Vynucení a UIP – obsahuje první UIP jako jediný literál z aktuální rozhodovací úrovně
       - Klauzule bude vynucující a bude krátká
     + Následuje návrat
       - Uložení KK (učení)
       - Návrat na 2. nejvyšší rozhodovací úroveň z KK
       - Singularity
   * Vlastnosti CDCL: Vždy skončí, KK lze zapomínat, krátké klauzule, systematický
   * Implikační graf není třeba explicitně konsturovat
   * Heuristiky pro výběr
     + VSIDS – každý literál má své skóre, literál s nejvyšším skóre ohodnocujeme True
     + Berkmin – proměnné a literály mají VSIDS skóre
       - Konfliktní klauzule na zásobník
       - Nerozhodnutá klauzule se bere ze zásobníku
       - Prázdný zásobník
   * Pomocí restartů se může učit z více stran zároveň

* Jednotková propagace efektivně – rychlé určení jednotkové klauzule
  + 2 sledované literály
    - V každé klauzuli označíme 2 neohodnocené literály (sledované)
    - U každé proměnné známe její sledované výskyty (ve kterých klauz. je sledován její literál)
* SAT řešen lokálně – **GSAT**
  + Hladové procházení úplných ohodnocení a restarty
  + Neúplný – nemůže-li najít splňující ohodnocení, nevíme, jestli je vstupní formule splnitelná, či ne
  + Najde takovou proměnnou, jejímž překlopením co nejvíce zvýším počet splněných klauzulí
  + Účelová funkce – počet splněných klauzulí (náchylný k uváznutí v lokálním maximu)
  + **Restart** = solver vezme zpět každé přiřazení na cestě a udělá novou sérii rozhodnutí – zahodí podstrom, ale neodnaučí se naučené
* Náhodná procházka – **WalkSAT**
  + Procházení úplných ohodnocení s restarty
  + Z lokálních maxim se může dostat náhodnými kroky
  + Střídání hladového kroku (s pravděpodobností p) a náhodného kroku (pst 1-p)
* **Fázový přechod –** poměr mezi počtem klauzulí a počtem proměnných
  + Obsah obrázku diagram, řada/pruh, text, skica

    Popis byl vytvořen automatickyNáhodné k-CNF formule (k=3, 4, 5, …)
  + Snadno splnitelné formule – málo klauzulí (málo omezení)
  + Snadno nesplnitelné formule – mnoho klauzulí (příliš omezené)
  + Ve fázovém přechodu jsou nejtěžší formule někde uprostřed
  + Limitní splnitelnost pro určité hodnoty: c = počet klauzulí / počet proměnných
* **Algoritmy posílání zpráv**
  + Na jednotlivé klauzule formule pohlíží jako na paralelní funkční jednotky – zkoumá, jak změna hodnoty proměnné ovlivní související klauzule
  + Faktorový graf (graf funkčních jednotek) – uzly jsou klauzule a proměnné, hrany jsou že proměnná je v klauzuli
  + **Propagace výstrah** – klauzule posílají proměnným zprávy (výstrahy), jak si přejí proměnnou nastavit, aby klauzule byla splněna
    - Aktualizační pravidlo pro výstrahy
  + **Výstrahami inspirovaná decimace** – postupně zjednodušuje formuli dosazováním
    - Preferovaná hodnota
    - Indikátor sporu
* Systematický CDCL se inspiroval u lokálních
  + **Restarty** v CDCL
  + **Náhodný krok** – s malou pst ignoruje heuristiku a vybere náhodnou hodnotu
* Lokální se inspirovaly u CDCL – 1 sledovaný literál
* **Inkrementální splnitelnost** – konflikt pro φ(t) je konfliktem i pro φ(t+1)

**Automatické uvažování**

* Automatické dokazování vět, uvažování s neurčitostí, …
* ATP – algoritmy ukazující, že zadané matematické tvrzení je logickým důsledkem daných axiomů
* APC – interaktivní verze ATP
* **Formalizace uvažování** – pomocí logiky prvního řádu (first order logic – FOL)
  + Silný vyjadřovací prostředek
  + Platíme nerozhodnutelností – nemůže existovat algoritmus, který by rozhodoval o platnosti zadaného tvrzení v logice 1. řádu
* **Rozhodování** – pro každý vstup skončit a dát správnou odpověď, zda tvrzení platí, či ne
  + Pro logiku prvního řádu máme jen semi-rozhodnutelnost
    - Algoritmus skončí, jestliže tvrzení platí a dokud neskončí, nic nevíme
  + Nebo rozhodnutelnost ve speciálních případech (fragmenty)
* **Nerozhodnutelnost**
  + Příčiny nerozhodnutelnosti
    - Logika 1. řádu je tak silná, že v ní lze popisovat algoritmy
    - Programy a logika se v důsledku toho pak dokáží oklamat
  + Algoritmy neumí rozhodovat tvrzení o algoritmech -> neumí rozhodovat o tvrzeních obecně
* **Logika prvního řádu**
  + Jazyk:
    - Proměnné pro individua – x, y, z, …
    - Spojky – unární, binární (negace, konjunkce, …)
    - Kvantifikátory – všeobecný, existenční
    - Pomocné symboly – závorky, tečka
  + Signatura (nelogické symboly):
    - Symboly pro funkce (transformace individuí) – f, g, h, +, \*… libovolné arity (nulární = konstanty)
    - Symboly pro predikáty (vlastnosti individuí) – R, S, <, = … libovolné arity (nulární obvykle ne)
* **Formule 1. řádu**
  + **Termy –** proměnná je term
    - Jestliže f je funkční symbol arity n a t1…tn jsou termy, pak f(t1…tn) je term
  + **Atomy** – jestliže p je predikátový symbol arity n a t1…tn jsou termy, pak p(t1…tn) je atomická formule (atom)
  + Formule je slovo (konečná posloupnost symbolů)
    - Atomická formule je formule
    - Jestliže p a q jsou formule, pak (¬p), (p ∧ q), (p ∨ q), (p ⇒ q), (p ⇔ q) jsou formule
    - Jestliže p je formule a x proměnná, ∀x(p(x)) a ∃x(p(x)) jsou formule
    - Každá formule vznikne konečným počtem aplikací těchto pravidel
* Pojmy v logice 1. řádu
  + **Teorie** – libovolná množina formulí
  + **Důkaz formule** φ z teorie T – posloupnost formulí končících φ, každá f. patří do T nebo je z nějakých předchozích f. v posloupnosti odvozena odvozovacím pravidlem
  + **Pravdivost** (validita) - T ⊧ φ (φ je pravdivá (validní, platná) v T), model pro T je modelem pro φ
    - Model – struktura, která splňuje všechny formule teorie
    - Sporná teorie nemá model
  + **Struktura** (interpretace, realizace) signatury
    - Nosná množina M (prvky jsou individua)
    - Realizace funkcí nad M: f: M×M×…M →M
    - Realizace predikátů nad M: p⊆ M×M×…M
* Semi-rozhodování: **rezoluce**
  + Rezoluční metoda – klauzální zamítací dokazování
    - Předp. Dokazování tvrzení C vzhledem k množině axiomů T
    - Uvážíme T ∪ {¬C}, snažíme se odvodit spor
  + **Rezoluční pravidlo**
    - speciální výroková varianta (řez) – x, y výrokové literály, z výroková proměnná

Obsah obrázku text, Písmo, řada/pruh, snímek obrazovky

Popis byl vytvořen automaticky

* + - Obecná varianta pro logiku 1. řádu

Obsah obrázku text, Písmo, snímek obrazovky, řada/pruh

Popis byl vytvořen automaticky

* + - * p, q literály, r,s atomy
      * θ – nejobecnější unifikace r a s s (tedy rθ = sθ a každá jiná θ', že rθ' = sθ' lze vyjádřit pomocí θ, tedy θ' = θρ)
* Příprava na rozhodování

1. převod T a C na CNF
   * standardizace proměnných – přejmenovávání
   * skolemizace – odstraňování existenčních kvantifikátorů
   * zahození všeobecných kvantifikátorů
   * distribuce skrz ∧ a ∨
2. eliminace spojek jiných, než ¬, ∧, ∨
3. negace dovnitř až k atomům

* **Unifikační algoritmus** – hledá nejobecnější unifikaci (mgu) θ množiny termů x a y – chceme xθ = yθ
* **ANL loop** – pomocí DFS či BFS výběr klauzule c, vrací splnitelnost
* Holičův paradox – „neexistuje holič, který by holil právě ty, kteří se neholí sami“
  + ANL s rezolučním pravidlem nenajde důkaz
* Pravidlo faktorizace – eliminace unifikovaného literálu -> zúplnění rezoluce pro logiku 1. řádu
* **Resoluce s faktorizací** – zdánlivě úplný algoritmus pro rozhodování o platnosti tvrzení v logice 1. řádu, problém teorie s nekonečně mnoho axiomy
* **Dokazování ve fragmentech** – omezení na podmnožinu jazyka logiky 1. řádu – **fragment**
  + Často bez kvantifikátorů, speciální sada axiomů
  + Speciální algoritmy na dokazování ve fragmentech
    - Poskytují úplnost rozhodovacího procesu
    - Převod otázky T ⊧ φ na splnitelnost
* **Dokazování s rovností**
  + Logika s rovností (fragment s rovností) – z predikátů pouze =, bez funkčních symbolů a kvantifikátorů
  + Zjednodušení – jen spojky ¬, ∧,∨ a převod na NNF (negační normální tvar)
  + V NNF lze hovořit o literálech
* **Graf rovností** – def. Pro formuli φ s rovnostmi v NNF jako G= = (Var(φ), E=, E≠)
  + Vrcholy – proměnné, hrany – E= rovnosti a E≠ nerovnosti
  + Sporná kružnice – cyklus v G=, který obsahuje právě jednu nerovnost
* **Zjednodušovací algoritmus** – na vstupu formule φE s rovnostmi ve tvaru NNF, konstrukce grafu rovností
  + Výstup je kratší ekvivalentně splnitelná formule
* **Výroková kostra** – zachycuje Booleovskou strukturu formule s rovnostmi
  + Pro každou rovnost (atom) zavedeme výrokovou proměnnou, v pův. formuli rovnosti nahradíme zavedenými výrokovými proměnnými
  + Nezachycuje tranzitivitu rovnosti
* **Tranzitivita rovnosti**
  + Nepolární graf rovností G=NP = (Var(φ), E= ∪ E≠) – zapomeneme na polaritu
    - Pro každý cyklus a každou hranu v cyklu přidáme tranzitivní podmínku – zakáže hraně přiřadit False, když jsou všechny ostatní hrany True
* **Líný přístup**
  + Komponenty – decideT (dokazovací procedura pro konjunktivní fragment teorie T), řešič SATu
  + Spolupráce decideT a řešiče SATu
    - Řešič vybírá, které literály splnit
    - DecideT kontroluje, jestli vybrané literály můžou současně platit (ne -> zakázané ohodnocení)
* SAT modulované teorie (**SMT**) – spolupráci SATu a DECIDE lze zabudovat do CDCL
  + Propagace teorií přímo do řešiče satu
  + Na formuli t se kladou další podmínky, aby byla zaručena konečnost algoritmu
* Další metody – přirozená dedukce, metoda tablo, rozhodování s bitovými vektory, ukazateli, poli

**Zpracování přirozeného jazyka**

* **Formální jazyk** – množina řetězců, řetězec posloupnost terminálů
* **Přirozený jazyk** – nemá pevnou definici (přístup k nim jako by byly formální)
* **Gramatika** – sada pravidel specifikující jazyk
  + – terminály, neterminály, počáteční neterminál, konečná množina pravidel
  + **Chomského hierarchie** gramatik a jazyků – rekurzivně spočetné, kontextové, bezk., regulární
* **Fáze komunikace**
  + Záměr – sdělit skutečnost
  + Generování – přesvědčivého sdělené o skutečnosti věta
  + Syntéza – sdělení, hlasový syntetizátor zvuk
  + Vnímání – rozpoznání hlasu věta
  + Analýza – věta derivační strom
  + Odstranění dvojsmyslů – určení správné interpretace, pravděpodobnostně
  + Začlenění – budeme věřit či ne
* **Analýza** (parsing)
  + Pravděpodobnostní derivační strom – vnitřním uzlům přiřazena pravděpodobnost
  + Algoritmus CYK – předpokládá bezkontextovou (pravděpodobnostní) gramatiku v Chomského normální formě (pravidla nebo
* **Učení PCFG**
  + Učení pravděpodobností pro PCFG – podle banky stromů (treebank), korpus korektně vytvořených derivačních stromů vzhledem k dané bezkontextové gramatice
* **Rozšířené gramatiky**
  + **Lexikalizované PCFG**
    - Pravděpodobnost pravidel závisí na vztahu slov v derivačním stromu, ne jen na jejich sousedství ve větě
    - Vztah všech dvojic je komplikované počítat, vybereme nejvýznamější slovo z daného spojení – hlava (head)
    - Stále mnoho dvojic, kro které potřebujeme pravděpodobnost
  + **DCG** – definite-clause grammars (gramatiky s určenou klauzulí)
    - Používáme navíc – pravidlo platí, pokud je podmínka splněná
    - Problém – skloňování/pády, shoda přísudku s podmětem
* **Sémantika** – výrazy
  + Aritmetické výrazy, lambda notace
  + Kvantifikace – používá se přechodná forma mezi derivačním stromem a logickou interpretací
    - **Kvazi-logická forma** – akceptace ústupků od přísných pravidel ve prospěch zachycení kontextu, modelování významových relací mezi větami
  + Další jevy
    - Časy – kalkulus událostí (event calculus)
    - Nejednocnačnost – lexikální, syntaktická (více derivací), doslovné x obrazné
* **Statistický překlad** – překládáme větu z angličtiny do francouzštiny
  + – **překladový model** – jak pravděpodobné je, že je anglickým překladem dané francouzské věty
  + – jak pravděpodobné je, že je francouzským překladem dané anglické věty
  + – **jazykový model** – jak pravděpodobné je, že je věta ve francouzštině
  + Hledáme řetězec
  + Lze počítat podle – máme-li dobrý jazykový model pro nebo přímo
  + Průběh statistického překladu
    - Rozdělíme vstupní anglickou větu na slovní spojení
    - Vyhledáme slovní spojení v anglické části korpusu
    - Najdeme odpovídající překlad slovních spojení ve francouzské části korpusu
    - Sestavíme výsledný překlad z nalezených francouzských překladů slovních spojení

**4. Metody pro hodnocení a výběr příznaků (univarietní/multivarietní metody, filtrační/wrapper/embedded metody). Selektivní/adaptivní metody redukce počtu instancí: Condensed Nearest Neighbor (CNN), Delauney/Gabriel/RNG grafy, Wilsonova editace, Multi-edit metoda, Tomkovy spoje.**

NI-PDD

**Univarietní / multivarietní metody**

* **Univarietní** – zvažuje každý příznak zvlášť
  + Jak relevantní je proměnná pro predikci výsledku proměnné ?
  + Irelevantní příznak :
  + **T-test** – normálně rozdělené třídy, stejný rozptyl neznámý, odhad z dat jako
    - Nulová hypotéza:
    - Pokud je nul. hyp. pravdivá:
  + **Korelace** – vzájemný lineární vztah mezi proměnnými
    - +1 přímá závislost, -1 nepřímá závislost
    - **Pearsonův korelační koeficient**

Obsah obrázku text, Písmo, řada/pruh, bílé

Popis byl vytvořen automaticky

* + - **Korelační a kovariační matice**

Obsah obrázku text, Písmo, řada/pruh, snímek obrazovky

Popis byl vytvořen automaticky

* + - **Spearmanův koeficient pořadové korelace**
      * Máme 2 náhodné proměnné X a Y s neznámými rozděleními
      * Seřadíme hodnot a podle velikosti a přiřadíme jim pořadová čísla a . Hodnota koeficientu je:

Obsah obrázku Písmo, text, bílé, řada/pruh

Popis byl vytvořen automaticky

* + **Obsah obrázku kruh, snímek obrazovky, diagram, Písmo

    Popis byl vytvořen automatickyObsah obrázku Písmo, bílé, Grafika, text

    Popis byl vytvořen automatickyEntropie** – předpokládané množství informace v náhodné proměnné
  + **Univarietní závislost**
    - Nezávislost:
    - **Vzájemná informace** – hodnota vzájemné závislosti mezi dvěma náhodnými proměnnými
      * Kvantifikuje množství informace získané o jedné proměnné zkoumáním jiné náhodné proměnné

Obsah obrázku text, Písmo, řada/pruh, bílé

Popis byl vytvořen automaticky

* + - * Empirická vzájemná informace – z dat kontingenční tabulka, z ní empirická pravděpodobnost, ta je vstupem pro vzájemnou pravděpodobnost
* **Multivarietní** – zvažuje podmnožiny příznaků najednou

**Filtrační / wrapper / embedded metody**

* **Filter metody** – hodnotí příznaky nebo jejich podmnožiny nezávisle na klasifikátoru
  + *Kritéria* – hodnocení relevance příznaků
  + *Hledání* – seřazení příznaků
  + *Hodnocení* – statistické testy
  + Robustní výsledky, ale nemusí vybrat úplně nejlepší příznaky
* **Wrapper metody** – používají klasifikátor k hodnocení příznaků / podmnožin
  + Rozdělení dat na tréninkové, validační a testovací
  + Problém přeučení, ale najde nejlepší příznaky
  + *Kritéria* – měření užitečnosti podmnožiny
  + *Hledání* – prohledávání prostoru podmnožin příznaků
  + *Hodnocení* – **Křížová validace** – rozdělení do  skupin
    - Trénink na všech skupinách kromě 1
    - Výběr těch příznaků s nejlepším skóre podle poslední skupiny
    - Opakování, dokud nejsou všechny skupiny použity pro testování
    - Zprůměrovat
* **Obsah obrázku text, Písmo, snímek obrazovky, diagram

  Popis byl vytvořen automatickyEmbedded metody** – jako wrapper, hledání ovládáno algoritmem konstruujícím klasifikátor
  + *Kritéria* – měření užitečnosti podmnožin
  + *Hledání* – naváděno učícím procesem
  + *Hodnocení* – křížová validace
  + Výsledky podobné wrapperům, ale menší riziko přeučení a míň výpočetně náročné

**Selektivní/adaptivní metody redukce počtu instancí**

* **Condensed Nearest Neighbour** (CNN) – inkrementální, závislá na pořadí, ani minimální ani decision boundary konzistentní
  + pro brute-force metodu
  + Lze navázat na reduced NN
  + Postup:
    - Inicializace podmnožiny jedním trénovacím případem
    - Klasifikace většiny vzorků pomocí té podmnožiny a přesun všech špatně klasifikovaných vzorků do podmnožiny
    - To se opakuje, dokud buď nedochází k přesunu nebo je podmnožina plná
* **Proximity grafy** – poskytují různé definice „souseda“
  + Obsah obrázku řada/pruh, kruh

    Popis byl vytvořen automaticky**Delaunay**
    - Delaunayho triangulace – duální graf Voronoiho diagramu?
    - Tři body jsou si sousedy, pokud kružnice jim opsaná neobsahuje žádné jiné body
    - Voronoi editing: ponechá body, jejichž sousedi jsou z jiné třídy
    - Rozhodovací hranice je stejná
    - Obsah obrázku kruh, řada/pruh

      Popis byl vytvořen automatickyKonzervativní podmnožina, nechává si body navíc, drahá na výpočet ve vysokých dimenzích
  + **Gabriel**
    - Podmnožina delaunayho triangulace
    - Body jsou sousedi, pouze pokud je jejich sféra vlivu prázdná
    - Obsah obrázku kruh, umění

      Popis byl vytvořen automatickyNezachovává identickou rozhodovací hranici, ale změny se odehrávají jen vně komvexního obalu datových bodů
    - Spoje mezy sousedy = Tomek links
  + **RNG** – Relative Neighbourhood Graph
    - Podmnožina Gabrielova gradu
    - Dva body jsou sousedi, pokud „luna“ definovaná průsečíkem jejich radiálních sfér je prázdná
    - Dále zmenšuje počet sousedů
    - Rozhodovací hranice bývají drastické a nemusí být konzistentní s trénovací množinou
* **Editing** – vyjmutí šumových bodů a tvorba hladkých rozhodovacíh hranic
  + Často se zachovají body daleko od hranice a vzniknou homogenní shluky bodů
  + **Wilson editing** – vyjmutí bodů, které mají jinou třídu než většina jejich k nejbližších sousedů
  + **Multi-edit** – opakovaně opakuje Wilsonův editing na náhodné části, klasifikuje pomocí 1-NN pravidla
    - **Difúze** – rozdělení dat do N >= 3 náhodných podmnožin
    - **Klasifikace** – klasifikace S\_i pomocí 1-NN za použití S\_(i + 1)modN jako trénovací set
    - **Editing** – zrušení všech špatně klasifikovaných vzorků
      * 1-NN pravidlo – klafikace X podle jeho nejbližšího souseda z trénovacích bodů
    - **Konfúze** – přidání všech vzorků do nové množiny
    - **Terminace** – pokud posledních I iterací nemělo za následek žádný editing, konec, jinak od začátku
  + Kombinace editingu a condensingu – první editing na odstranění šumu a hladkou hranici, potom kondenzace pro získání menší podmnožiny
* **Tomkovy spoje** – odstranění šumu a hraničních případů
  + Tomkův spoj
    - patří do jiných tříd, je vzdálenost mezi nimi
    - je Tomkův spoj, pokud neexistuje takové , že nebo

**5. Algoritmy pro nahrazování chybějících hodnot. Detekce a ošetření odlehlých hodnot. Vyvažování skupin dat (undersampling/oversampling metody).**

NI-PDD

**Nahrazování chybějících hodnot**

* Nelze rozlišit mezi chybějící hodnotou a prázdnou buňkou
* **Způsoby nahrazení:**
  + **Nic nedělání** – použije se relevantní reprezentace tak, aby šel aplikovat model
    - Např. použití -1, když jsou všechny ostatní hodnoty kladné
  + **Vymazání**
    - **Listwise** – vymaže všechny data pro případ, který á jednu či více chybějících hodnot
    - **Pairwise** – listwise ale až v pozdějším stádiu, kdy jsou určeny důležité příznaky – zaměření na opravdu potřebná data
    - **Příznaky s chybějícími daty** – odstraní celý příznak, pokud chybí většina dat
    - Užitečné jen pokud málo záznamů obsahuje chybějící data, nebo příznak obsahuje většinu chybějících dat
  + **Imputace** – proces nahrazení chybějících dat substituovanými hodnotami
    - Neexistuje ultimátně nejlepší způsob
* **Mechanismy chybějících dat**
  + **MCAR** = *missing completely at random* – pokud je pravděpodobnost, že příznak chybí nezávislá na hodnotě příznaku a hodnotách jiných příznaků
    - Chybějící hodnoty jsou nezávislé na datech
  + **MAR** = *missing at random* – pokud je pravděpodobnost, že příznak chybí nezávislá na hodnotě příznaku, ale může záviset na hodnotách dalších příznaků
    - *Na otázku o platu častěji odpoví muži než ženy*
  + **MNAR** = *missing not at random* – pokud je pravděpodobnost, že příznak chybí závislá na hodnotě příznaku
    - *Chybí údaj o platu, protože na otázku člověk neodpověděl kvůli jeho výši*
* **Imputace**
  + **Průměr/medián** pomocí přítomních hodnot daného příznaku
  + **nejbližších sousedů** – vhodné pouze pro datasety nízkých dimenzí kvůli prokletí dimenzionality
    - Využití data encodingu – one-hot/dummy
  + Evaluace – pomocí korelace

**Odlehlé hodnoty**

* **Odlehlé hodnoty** = anomálie = extrémní hodnoty, které se odchylují od ostatních pozorování
  + Detekce anomálií – podvodné transakce, podezřelí cestující, zdravotní problémy
* **Detekce** – nesupervizované metody, hlavně clustering
  + Díky absenci labelů – outlieři nejsou předem známí
  + **Jeden příznak – rule of thumb** – outlieři jsou mimo interval
    - Q1 = první kvartil
    - Q3 = třetí kvartil
    - IQR = inter quartile range = Q3 – Q1 (prostředních 50 %)
  + **Více příznaků** – více-dimenzionální pohled
    - **Shlukovací přístupy** závislé na vzdálenostech (k-means, local outlier factor)
    - **Density-based** přístupy (SVM)
    - **Modelové** přístupy (neuronky – autoenkodéry, LSTM)
* Po identifikaci nutná analýza původu – Lidská chyba, Chyba měření, Experimentální chyba (extrakce dat), Samplingová chyba, Přírodní úkaz (novoty)
* **LOF = local outlier factor**
  + Hledání anomálií měřením lokální odchylky daného datového bodu vzhledem k jeho sousedům
  + Založeno na konceptu lokální hustoty, kde lokálnost je dána nejbližšími sousedy, jejichž vzdálenost je použita na odhad hustoty
  + Porovnáním lokální hustoty datového bodu s lokálními hustotami jeho sousedů lze identifikovat oblasti s podobnou hustotoou
  + Body, které mají podstatně nižší hustotu, než jejich sousedi jsou anomálie
  + **LOF(A)** = průměřná lokální hustota sousedů A dělená lokální hustotou A (relativní)
    - Hodnota blízká 1 znamená, že je objekt srovnatelmý se sousedy (není odchylka)
    - Hodnota pod 1 indikuje hustší oblast (inliner), hodnota hodně nad 1 indikují odchylky
  + Výhody:
    - LOF umí identifikovat anomálie v části datasetu takové, které by v jiné části stejného datasetu nebyly považovány za anomálie
    - Dobrá geometrická intuice pro málo rozměrné vektorové prostory
    - Mnoho variant a odvětví použitelnosti
  + Nevýhody:
    - Výsledné hodnoty se těžko interpretují
* Další metody detekce – **Isolation forest**, metody používající meta-learning (MetaOD)

**Vyvažování skupin dat**

* **Baseline metody**
  + Random over-sampling
    - Náhodná replikace příkladů z menšinových tříd
    - Zvyšuje pravděpodobnost overfittingu
  + Random under-sampling
    - Náhodná eliminace příkladů z většinových tříd
    - Může zničit potenciálně užitečná data, která by mohla být důležitá pro indukční proces
* **Under-sampling metody**
  + **Tomek links**
    - Odstranění šumu i hraničních případů
    - patří do jiných tříd, je vzdálenost mezi nimi
    - je Tomkův spoj, pokud neexistuje takové , že nebo
  + **Condensed Nearest Neighbour Rule** (CNN) – výběr bodů blízko hranice mezi třídami
    - Algoritmus:
      * E je původní trénovací množina
      * E´ obsahuje všechny pozitivní vzorky z S a jeden náhodně vybraný negativní vzorek
      * Klasifikace E s 1-NN pravidlem za použití vzorků z E´
      * Přesun všech špatně klasifikovaných vzorků z E do E´
    - Citlivý na šum – šumové vzorky se pravděpodobně špatně klasifikují a hodně jich bude přidáno do trénovací množiny
  + **One-Sided Selection (OSS)**
    - Tomek links + CNN (v tomto pořadí)
  + **CNN + Tomek links**
    - Nalezení Tomkových spojů je výpočetně náročné, bylo by levnější, kdyby se provádělo na redukovaném datasetu
  + **NCL = neighborhood cleaning rule**
    - Pro odstranění vzorků z většinové třídy
    - Více k čištění dat než redukci
    - Algoritmus:
      * Nalezení 3 nejbližších sousedů pro každý vzorek Ei z trénovací množiny
      * Pokud Ei patří do většinové třídy a 3 nejbližší sousedi do menšinové, Ei se odstraní
      * Pokud Ei patří do menšinové třídy a 3 nejbližší sousedi do většinové, odstraní se ti sousedi
* **Over-sampling – SMOTE** = Synthetic Minority Over-Samling Technique
  + Tvorba nových vzorků z menšinové třídy interpolací mezi několika vzorky z minoritní třídy které jsou si blízko
  + V prostoru příznaků spíš než v prostoru dat
  + Algoritmus:
    - Pro každý vzorek z minoritní třídy:
    - Vytvoř syntetické vzorky podél úseček spojujících nějaké/všechny z  nejbližších sousedů z menšinové třídy
  + V závislosti na množství over-samplingu se sousedi z  vybírají náhodně
  + **Generování syntetických vzorků**:
    - Vezme se rozdíl mezi vektorem příznaků, který se zvažuje a jeho nejbližší soused
    - Rozdíl se vynásobí náhodným číslem od 0 do 1
    - Toto se přičte k uvažovanému vektoru příznaků
* **Kombinace under-samplingu a over-samplingu**
  + **Smote + Tomek links**
    - Problém se Smote – může vyrobit umělou minoritní třídu moc hluboko v prostoru většinové třídy
    - Tomek links: čištění dat
    - Namísto odstranění pouze vzorků z většinové třídy které formují Tomek links, vzorky z obou tříd jsou odstraněny
  + **Smote + ENN**
    - ENN – extended nearest neighbour – odstraní vzorky, jejichž label se liěí od třídy alespoň dvou z jeho tří nejblížších sousedů
    - ENN odstraní víc vzorků než Tomek links
    - ENN odstraňuje vzorky z obou tříd
  + Over-sampling bývá lepší než under-sampling, ale kombinace může být ještě výhodnější

**6. Lineární projekce dat do prostoru o méně dimenzích: metoda hlavních komponent (PCA), lineární diskriminační analýza (LDA). Nelineární metody redukce dimensionality (Sammonova projekce).**

NI-PDD

* **Projekce dat** – nalezení transformace projektující data z  dimenzního prostoru do dimenzního prostoru ( při zachování nějaké formy informace (např. vzdálenost)
  + Výhoda: vyloučení redundantní informace (korelace)
  + Nevýhoda: fyzický význam nových atributů těžké interpretovat

**Lineární projekce**

* Jednoduché na výpočet:

Obsah obrázku Písmo, text, rukopis, bílé

Popis byl vytvořen automaticky

* **Náhodná projekce** (mapování) – původní -dimenzní data se projektují do -dimenzního podprostoru ( za využití náhodné matice , jejíž sloupce mají jednotkové délky
  + Obsah obrázku Písmo, text, typografie, bílé

    Popis byl vytvořen automatickyVyužívá maticovou notaci kde je původní množina -dimenzních pozorování,

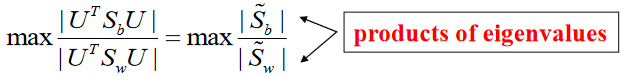
je projekce dat dov nižšího -dimenzního podprostoru

* + **Johnson-Lindenstrauss lemma**: pokud jsou body ve vektorovém prostoru projektovány na náhodně vybraný podporostor vhodně velké dimenze, pak jsou vzdálenosti mezi korespondujícími body (v originálním a novém prostoru) zhruba zachovány
  + Technicky vzato ta transformace není projekce, protože není nutně ortogonální
* Obsah obrázku text, Písmo, snímek obrazovky, řada/pruh

  Popis byl vytvořen automaticky**Metoda hlavních komponent (PCA)** – cíl je snížit dimenzionalitu dat a zároveň **zachovat co nejvíce variace** v datasetu (koresponduje množství informace)
  + **Informační ztráta** – je implikována redukcí dimenzionality
    - PCA zachovává co nejvíce informace (variace) je možno:
  + „Nejlepší“ prostor nízké dimenze má **střed** v průměru vzorku a má **směry** rozhodnuté „nejlepšími“ vektory vlastních čísel kovarianční matice dat
    - „Nejlepšími“ vektory vlastních čísel se myslí ty odpovídající **největším vlastním číslům = hlavní komponenty**
    - Protože je kovarianční matice reálná a symetrická, tyto vektory jsou ortogonální a formují množinu bázových vektorů
  + Možný výpočet – prolnutí přímky těžištěm, zkusit přímku rozovat a tím najít nejlepší úhel – PCA transdormuje osy
  + Cíl je transformace, nalezení nového souřadného systému, který zachovává max. míru rozptylu/informace
    - Hlavní komponenty = osy v cílovém prostoru
    - Pořadí hlavních komponent má význam
    - Hlavní komponenty jsou na sebe kolmé
* **Lineární diskriminační analýza (LDA)** = Fisherova projekce – snížení dimenzionality za **zachování co** **nejvíce diskriminační informace** (chyba špatné klasifikace)
  + Nalezení směrů, ve kterých jsou třídy **nejlépe separovány**
  + Bere v úvahu rozptyl uvnitř tříd, ale také rozptyl mezi třídami (= **scatter**)
  + Notace:
    - C tříd
    - průměrový vektor třídy ,
    - počet vzorků ve tříddě
    - celkový počet vzorků
    - matice velikostí obsahující vzorky z jednotlivých tříd
    - Obsah obrázku diagram, text, snímek obrazovky, origami

      Popis byl vytvořen automatickyObsah obrázku míč, design

      Popis byl vytvořen automatickyScatter matice **uvnitř třídy**:
    - Scatter matice **mezi třídami**:
      * má hodnost maximálně
      * Každá pod-matice má hodnost 1 nebo méně – vnější součin dvou vektorů
      * průměr celého datasetu
  + je projekční matice
  + LDA počítá transformaci, která **maximalizuje scatter mezi třídami** a minimalizuje scatter uvnitř tříd:



* + - … scatter matice projektovaných dat
  + **LDA lineární transformace**:
    - Řešení LDA je dáno vlastními vektory obecného problému vlastních vektorů:



* + - Lineární transformace je dána maticí , jejíž sloupce jsou vlastní vektory problému výše
      * Obsah obrázku text, Písmo, diagram, řada/pruh

        Popis byl vytvořen automatickySouřadnice v novém prostoru:
    - Jelikož má hodnost nejvýše , je maximální počet vlastních vektorů s nenulovými vlastními čísly (takže maximální dimenze podprostoru je )
* Při malé trénovací množině je PCA výhodnější než LDA, LDA zas lepší na větších a reprezentativních datech

Obsah obrázku diagram, řada/pruh, origami

Popis byl vytvořen automaticky**Nelineární redukce dimenzionality**

* **Sammonova projekce** – mapuje vysoko-dimenzní prostor na prostor nižší dimenze při **zachování mezi-bodových vzdáleností** z vysoko-dimenzního prostoru v nízko-dimenzním prostoru
  + Netransformuje souřadnice, místo toho reorganizuje pozice vzorů v novém prostoru
  + Vzdálenost mezi i-tým a j-tým objektem v původním prostoru je , a vzdálenost jejich proj. je
  + Obsah obrázku Písmo, řada/pruh, rukopis, bílé

    Popis byl vytvořen automatickySammonova projekce minimalizuje následující chybovou funkci – Sammon’s stress neboli **Sammonova chyba**:
  + Minimalizace se provádí např. gradientním sestupem

**7. Učení dopředných neuronových sítí, konvoluční neuronové sítě a jejich regularizace.**

NI-MVI

**Dopředné neuronové sítě**

* **Perceptron** –nejjednodušší neuronová sít, binární klasifikátor
  + Mapuje vstupní vektor na výstup pomocí lineární kombinace
  + 1 neuron, který vypočte lineární kombinaci vstupů a vah, přičte bias a tuto hodnotu vnitřního potenciálu prožené nelineární aktivační funkcí, jejíž výstup je zároveň výstupem celého perceptronu
  + Aktivační funkce – často step function: 1 pro ,jinak
  + Perceptron nelze použít pro problémy, které nejsou lineárně separabilní (např. XOR).
* **Perceptronový algoritmus**

1. Náhodně zvolený **vektor vah** kolmý na rovinu, která dělí 2 třídy (BINÁRNÍ klasifikátor)
2. Opakovaně se vybírá náhodný prvek z trénovacích dat
   1. Je z třídy P, ale hodnota wx je záporná – nový vektor vah w se vypočte přičtením vektoru x k vektoru vah w – posune se do pozitivní nadroviny určené vektorem w
   2. Je z třídy N, ale wx je kladná – x se od ve odečte, bod se posune do negativní poloroviny
3. **Vektor vah je operacemi 2. posouván k optimálnímu rozdělení tříd**
   * Prvotní nastavení vah – průměr všech kladných vektorů minus průměr všech záporných

* **Gradient learning** – konverguje i pro lineárně nesaparabilní data a maximalizuje rozdělení tříd
  + **Ztrátová funkce** (cost function) – např. **sum of squared errors**
  + Funkce je minimalizována krokem proti směru gradientu – ovládán ještě parametrem learning rate
    - Potřeba parciální derivace ztrátové funkce vůči každé váze vektoru w
* **Cross-entropy loss (log loss)** – ztrátová funkce používaná pro klasifikaci c tříd
  + Hodnota pro třídu Y a vektor p pravděpodobností, že bod na vstupu náleží do tříd:

* + Hodnota stoupá, čím jistější si je model klasifikací špatné třídy – nejvíc trestá predikce, kterými si je model jistý a jsou špatné
* **Multilayer perceptrony (MLP)** – více vrstev s více neurony, výstup každého neuronu vede do každého neuronu další vrstvy
  + Nelineární aktivační funkce – **sigmoida, tanh, ReLU**,… - musí být diferencovatelná
  + I na lineárně neseparabilní data
  + Vrstva MLP = funkce -> neuronová síť je složená funkce
  + A picture containing text

    Description automatically generatedPro použití gradientního sestupu pro učení vah musíme najít parciální derivaci Z.F. vůči každé váze – pomocí chain rule pro derivace složených funkcí
  + **Backpropagation** – zpětné šíření chyby

1. Pro všechna trén. Data spočítáme výstup sítě
2. Vyčíslíme hodnotu cost funkce – např. průměr cross entropy
3. **Postupně od poslední vrstvy ke vstupní** počítáme parc. Derivace vah vůči cost funkci

-> gradient

1. Gradientní sestup regulovaný learning ratem
2. Opakování do splnění terminálního kritéria

* **Momentum setrvačnosti** – Při updatu vah kromě aktuálního momentu přičítáme část gradientu z předchozího kroku
  + Urychlení konvergence, únik lokálním optimům, zamezení přehnané reakce na vzorek
* **ADAM** – **Adaptive moment estimation**
  + **Optimizátor** využívající exponentially decaying moving average gradientu akožto momentum
  + Adaptivní learning rate parametry pro jednotlivé váhy – penalizace vah způsobujících velké oscilace – zamezení přeučení
* **Kohonen’s self-organizing maps (SOM)** – typ neuronové sítě trénované nesupervizovaným učením
  + Produkce méně dimenzionální (2D) diskretizované reprezentace vstupního prostoru = mapa -> pro **redukci dimenzionality**
  + **Neighbourhood funkce** – snaha zachovat topologické vlastnosti prostoru

1. Inicializace vah na malé hodnoty
2. Vybrán vstup a neuron, který je mu nejblíže (např. euklidovsky, manhattansky)
3. Neuron s jeho okolím jsou updatovány a posunuty směrem ke vstupu
4. A picture containing athletic game

   Description automatically generatedOpakování 2-3 a neurony a okolí updatovány a posunovány k datovým bodům, dokud nejsou rozprostřeny tak, že zachycují nějakou strukturu
5. Váhy neuronů – pro popis dané oblasti

**Konvoluční neuronové sítě**

* Kromě fully connected vrstev konvoluční a pooling vrstvy
* **Fully connected vrstvy** – všechny neurony spojeny se všemi neurony v předchozí vrstvě
  + Každý neuron má vlastní váhu
  + Nepředpokládá nic o povaze dat, funguje zcela obecně, ale velmi výpočetně náročné
* **Konvoluční vrstvy** – neurony spojeny jen s hrstkou neuronů v předchozí vrstvě, které patří do nějakého okolí
  + Stejná sada vah použita pro všechny neurony ve vrstvě
  + Každý neuron si ze svého regionu (např. 3x3 grid) **extrahuje příznak** podle stejného předpisu (bo stejné váhy)
    - Dává smysl jen v případě, že data jsou prostorová a příznaky se vyskytují lokálně, a ne na jakékoliv pozici
  + **Konvoluční neuron** – má **filtr** definovaný váhami, ten aplikuje konvolucí na svůj region
    - **Padding** – pro místa, kde filter zasahuje mimo rozsah konvoluce
    - **Stride** – pro délku kroku při přechodech konvoluce
    - Aktivace = vizuální stimulace
    - Extrakce nejdřív obecných příznaků – rohy, hrany, čáry, později textury atd
  + **Pooling vrstvy** – Následují konvoluční vrstvy – **redukce dimenzionality**
    - Sjednocení extrahovaných příznaků (max pooling, average pooling, …)
* **Regularizace**
  + **Dropout** – během trénování **vypíná náhodné neurony** (= nastavuje váhy na 0) = regularizace
    - Síť se nenaučí spoléhat na malou sadu důležitých neuronů
  + Další forma regularizace například L1 a L2, augmentace dat, batch normalizace (standardizace vstupů do vrstvy).
* Typy předurčených konvolučních sítí
  + **AlexNet** – stackované konvoluční vrstvy
  + **GoogLeNet** – později Inception sítě – inception moduly s méně parametry, místo poslední FC vrstvy average pooling
  + **VGG** – velmi hluboká a velká síť
  + **ResNet** – reziduální skip connections – pomoc s vanishing gradient problémem, zajištění information flow, batch normalization
  + DenseNet
  + MobileNet

**8. Autoencodery a generativní neuronové sítě.**

NI-MVI

**Autoenkodéry**

* Feedworward NN, **na výstupu se snaží napodobit vstup**, který je v průběhu dopředného chodu propuštěn malým bottleneckem
* Kódovací část do malé dimenze = **encoder**
* Část rekonstruující vstup = **decoder**
* Vizualizace v menší dimenzi, učení abstraktních příznaků, komprese, rekonstrukce zašuměných či porušených dat
* **Stacked AE**
  + Řada sparse autoencodérů jdoucích po sobě – každý bere na vstupu výstup předchozího
  + U posledního encodéru odstranění decodéru – výstup jde do klasifikátoru/prediktoru
    - Poslední vrstva trénovaná supervizovaně na nějakou úlohu
  + Každá vrstva naučena na greedy extrakci nejlepších příznaků – víme, že extrahujeme smysluplné příznaky
* Porovnání s PCA
  + PCA je lineární transformace kdežto AE umí modelovat i komplexní nelineární funkce.
  + Příznaky nalezené PCA jsou lineárně nekorelované, protože jsou ortogonální. Autoencoded příznaky mohou být korelované.
  + PCA je rychlejší a výpočetně levnější.
  + Jednovrstvý AE s lineární aktivační funkcí funguje velmi podobně jako PCA.
  + AE je náchylnější na overfitting kvůli velkému množství parametrů.
* **Regularizace**
  + **Dropout, L1 regularizace**
  + Reprezentace nižší dimenze se musí naučit extrahovat důležité příznaky
  + Přidání regularizačního termu – podpora hledání smysluplných příznaků
    - **Sparsity regularisation** – k loss funkci přičteme počet aktivních neuronů
  + **Denoising AE** – vstupní data zašuměny, takže se AE musí naučit podstatné příznaky pro rekonstrukci vstupu

**Generativní neuronové sítě**

* Snaha **namodelovat distribuci** trénovacích dat a **generování dat** ze stejného rozdělení, aby nebylo poznat, že jsou syntetická
  + Generování obrázků, textu, dogenerování dat pro jiné metody
* **Gaussian mixture models (GMM)**
  + **Modelování distribuce** – vážený součet Gaussovských distribucí
  + Trénink váh a parametrů rozdělení pomocí expectation maximization algoritmu
    - EM algoritmy – nejdřív náhodně zvolíme parametry modelu, pak upřesňujeme – k-means
    - Odhad parametrů jednotlivých rozdělení
  + Využití autoenkodéru – zakódujeme jím vstupy do latentního prostoru nízké dimenze, tam použití GMM k naučení distribuce a pomocí naučeného rozdělení generujeme nová data -> dekodérem převod do původních dimenzí
* **Autoregresivní generativní modely**
  + **Predikce budoucího chování** na základě známých historických dat
  + **Forecasting časových řad**
  + Trénovací data musí obsahovat **autokorelaci** – pravidlo určující korelaci signálu a jeho časového zpoždění (např. obrázek – přechod pozadí – pixely se postupně mění – pozvolný přechod = vysoká autokorelace) – můžeme pozorovat **postupné změny**
  + **PixelRNN** – predikce **pixelů** jako časových řad
    - V obr. Jdeme od rohu a predikujeme, nebo jdeme proti sobě ze dvou směrů
    - Díky paměti lze hledat i netriviální sekvence
    - Pomalé, nelze paralelizovat
  + **PixelCNN** – pomocí **konvolučních filtrů** výběr oblastí obrázků, podle kterých se dopočítávají pixely
    - Lze více paralelizovat
    - Postupné generování částí obrázku a konvolucí extrakce příznaků, podle ní pak dobarvení dalších pixelů
    - Super-resolution – nejdřív modelování obecných tvarů a postupně doplnění detailů
* **Variational autoencoders (VAE)**
  + **Autoenkodér**, jehož **rozdělení** latentního prostoru (embeddingů) je **regularizováno** tak, aby mělo **dobré vlastnosti pro generování** nových dat
  + Text

    Description automatically generatedNedělají encoding vstupu na jeden bod latentního prostoru, ale **encodují ho jako distribuci** na latentním prostoru, ze které je pak vzorkován bod – dekódován a porovnán se vstupem.
  + VAE loss zakomponuje dva typy chyb:
    - Reconstruction error původního vstupu (least squares stejně jako AE)
    - Také jak moc se latentní distribuce liší od jednotkového normálního rozdělení
  + Graphical user interface, application

    Description automatically generated with medium confidenceReparametrizace – pro propagaci chyby sítí – samplujeme jednotkové normální rozdělení
* **Generative Adversarial Network (GAN)**
  + Dvě komponety – **Generátor a Diskriminátor** – hrají spolu **zero-sum hru**, kde mají společný loss a jeden se ho snaží minimalizovat a druhý maximalizovat.
  + **Generátor** – z náhodného vektoru v latentním prostoru **generuje upsamplingem** (dekonvoluce) obrázek
  + **Diskriminátor** se snaží **rozeznat skutečné obrázky** od těch uměle vygenerovaných
  + Postupně se takhle navzájem vylepšují ve svých činnostech.
  + Nestabilní trénování, často problém, že jeden model se moc rychle zlepší a druhý ho nemá šanci dohnat.
  + Problém v počtu vygenerovaných objektů, problém s perspektivou,... Protože diskriminátor může hledat jen nějaké featury ale je mu jedno kolik jich je.
  + Problémy:
    - Výstupy generují z náhodného šumu, takže pokud bychom chtěli generovat na základě nějakých konkrétních příznaků, tak nelze jednoduše určit zdrojový šum
    - Diskriminátor se učí jen rozpoznat skutečné a vygenerované vstupy, ale už neřeší, jestli ty vstupy vypadají tak jak mají

**9. Rekurentní neuronové sítě a jejich učení, neuroevoluce.**

NI-MVI

**Rekurentní neuronové sítě**

* **NN s pamětí** – alespoň 1 cyklus, mezi časovými kroky předáván vstup – zachování dřívější informace, větší důraz na nedávné vstupy
  + Aktivace neuronu i v případě, že v daném časovém kroku není žádný vstup
* Překlad, NLP, speech recognition, image captioning
* Diagram

  Description automatically generatedVstupy (např. slova) různé délky, které se vždy zakódují na stejnou velikost pro zpracování stejnou architekturou
* Sdílení parametrů mezi časovými kroky – lze předpokládat, že určité příznaky se mohou vyskytovat v různých částech sekvence
* Trénovací data pro RNN mají podobu sekvence k input-output párů , přičemž výchozí hodnota vnitřního stavu x0 musí být explicitně nastavena (typicky nulový vektor)
* **Backpropagation through time** – BPTT
  + Způsob trénování RNN – podobný backpropagaci, ale **chyby se napříč časovými kroky sčítají** (protože sdílejí parametry)
    - Exploding/vanishing gradient problém
  + Síť se rozbalí do časových kroků (unroll), chyba kumulativně sečtena pro každý krok, poté složení sítě a aktualizace vah
    - Může vést k exploding/vanishing gradient problému
  + Truncated Backpropagation in Time – kumulativní chyby pro podsekvence k kroků, prováděno postupně pro všechny podsekvence
* Diagram

  Description automatically generated**Elmanova síť** – Vanilla RNN
  + Feedforward síť s částečnou rekurencí
  + Architektura – 4 vrstvy – vstup, skrytá vrstva, kontextová vrstva, výstup
  + **Kontextová vrstva** – krátkodobě pamatuje výstupy skryté vrstvy – každý neuron má paměťovou buňku – detekce časově proměnlivých příznaků
  + Využití BPTT – rekurence se rozbalí a počítá se jako dopředná síť
* **Hopfieldova síť** – 1 vrstva n fully connected rekurentních neuronů (každý vstupem každého dalšího, vrstva je zároveň kontext)
  + **Content-addressable memory** – asociativní paměť – do HS si lze ukládat data
    - Asociace– jsou referenční vzory
  + **Hebbovské nesupervizované učení** – když se 2 neurony aktivují spolu, posilují se mezi nimi synapse
    - Pro dvojici neuronů součet násobku vstupů – váha synapse
  + Lze modelovat jako energetickou funkci – pohyb v prostoru chyby sítě
    - Stabilní stavy – vyšší váhy
    - Snaha o minimalizaci energie
  + Omezená kapacita
  + Optimalizace, auto-asociace
* **Echo state networks** (reservoires)
  + Modelování složitých nelineárních dynamických systémů pomocí rekurentního modulu
  + Signál vstupuje do RNN, tam se šíří a způsobuje oscilace
  + Predikce časových řad
  + Různé reakce neuronů na excitaci – nehomogenní, výstupní neurony tuto dynamiku převádí na cílový model dynamiky
  + Minimalizace čtverců chyb
  + A picture containing text, clock

    Description automatically generatedProblém s krátkodobou pamětí (short term memory – způsobeno vanishing gradientem) – při zpracování vstupů problém udržovat informace z dřívějších (proto LSTM a GRU)
* Čisté RNN rychlejší, vhodné pro krátké sekvence a krátkodobé vztahy
* **Hradla** – tensor operace, které se učí, jaké informace přidávat/odebírat ze skrytého stavu
  + Umožňují dlouhodobé závislosti u GRU a LSTM
* Diagram

  Description automatically generated**LSTM** – long short term memory
  + Informace z prvotních časových kroků se může projevit výrazně později
  + **Forget gate** – **které** informace **ponechat a které zahodit**
    - Diagram

      Description automatically generatedVstup v daném kroce a vnitřní stav předchozího projdou sigmoidou, pokud je hodnota blízko 0, informace bude zapomenuta
  + **Input gate** – určuje, **které informace ze současného vstupu budou uloženy** do LSTM paměťové buňky
    - Vnitřní stav a vstup do sigmoidy a tanh, výstupy vynásobeny
  + **Cell state** – **stav** LSTM paměťové buňky
    - A picture containing text, clock

      Description automatically generatedPodle výsledku Forget gate **stav buňky buď zapomenut nebo ponechán**
    - Výsledek sečten s výstupem Input gate – aktuální vstup ovlivněný předchozím stavem
    - Stav buňky přenášen jako kontext do příštího kroku + použit v aktuálním kroku pro výstup
  + **Output gate** – rozhodne **hodnotu následujícího vnitřního stavu**
    - A picture containing text, clock

      Description automatically generatedSoučasný vstup a předchozí vnitřní stav do sigmoidy, nově pozměněný stav buňky do tanh, pak vynásobení – rozh., která část se přenese do příštího vnitřního stavu
* **GRU** – Gated recurrent unit
  + Méně parametrů, než LSTM
  + Nemá stav buňky – používá vnitřní stav k přenosu informací
  + **Update gate** – rozhoduje, **jak moc** předchozí informace **předat** do budoucna
    - Co z minulých informací předávat dál, co ze současného vstupu
  + **Reset gate** – rozhoduje, **jaké** informace už **můžeme zapomenout**
* **Stack RNN** – realizace dlouhodobé paměti pomocí externí paměti – **zásobník, fronta**
  + Elmanova síť, ale místo kontextuálních buněk je zásobník
  + Může být i více paralelních zásobníků

**Neuroevoluce**

* **Neuroevoluce** – užití evolučních algoritmů ke generování neuronových sítí
  + Kombinuje spojitý a diskrétní prostor – váhy a topologie
  + Síť může mít hodně ekvivalentních stavů, třeba prořezávat SP
  + Topology and Weight Evolving Artifical Neural Networks.
* GNARL rozděloval mutace na parametrickou (váhy mutucí gaussovským šumem) a strukturální (přidávání a odebírání neuronů a spojů).
* **SANE** = **Symbiotic, Adaptive Neuro-Evolution**
  + Princip **koevoluce** – v jedné populaci se šlechtí váhy, v další neurony – **společná fitness** funkce
  + Vývoj neuronů jakožto vah spojů vstupujících do neuronu
  + Fitness = fitness 5 nejlepších sítí, ve kterých se daný neuron objevil
  + Blueprint se vyvíjí formou spojování neuronů do sítě – fitness se počítá jako fitness celé sítě
* **NEAT** = **Neuro-Evolution of Augmenting Topologies**
  + **Komplexifikace** – začíná se z malých topologií, evolucí se komplikují a propojují
  + Param. mutace (Gaussovské zašumění) a strukturální (přidávání neuronů a spojů, vypínání s., …)
  + Chromozom = objekt, který má v sobě neurony a spoje
  + Text, letter

    Description automatically generatedProměnlivá délka genomu
  + **Mutace**:
    - **Přidáme spoj** mezi dva nespojené neurony
    - **Rozpojíme spoj a přidáme tam neuron** – propojuje původní dva sousedy
  + Při tvorbě nových neuronů se změna označuje inovačním číslem – pořadí genetických změn
  + **Křížení** – seřadíme genotypy rodičů podle inovačních čísel a postupně slučujeme do potomka
    - Potomek strukturálně komplexnější
* **Niching –** Populace je rozdělena na druhy – sítě **podobných vlastností** se **vyvíjí zvlášť** od jiných druhů
  + Protože v populaci je spoustu sítí různých velikostí, menší se učí rychleji – přidáním genu dočasně snížíme fitness, ale kdybychom pořád chtěli jen vyšší fitness, nebudeme zvětšovat sítě a hledat komplexnější topologie
  + Výpočet podobnosti sítí přes vzdálenostní metriku
  + Dostatečně odlišný jedinec zakládá nový niche
  + **Fitness sharing** – fitness vydělen počtem jedinců v nichi – šance pro zajímavé slabší jedince se vyvinout – zabraňuje přemnožení zatím dobrých řešení
* **Přímé kódování** – všechny linky (spoje) jsou reprezentovány dedikovaným genem
* **Nepřímé kódování** – optimalizuje nějaké DNA (předpis), ze kterého se síť pak postaví
  + HyperNEAT, HyperGP
  + Stavění sítí, které mají nějaké symetrie
* **HyperNEAT**
  + NEAT není použit k vývinu topologie, ale k **vývinu jejího nepřímého kódování** stylem CPPN
    - **CPPN** – síť, která **přiřazuje neuronům váhy**
  + A picture containing text, crossword puzzle

    Description automatically generated**Substrate** – prostor, ve kterém jsou rozmístěny neurony – např. rovina (neurony mají souřadnice) – CPPN dostane souřadnice, podle nějaké funkce určí váhu
    - Definuje možnosti propojování neuronů
    - Lze škálovat substrate density – hustota systému souřadnic
  + Jiný druh – HyperGP – místo neuronové sítě se nepřímo kóduje genetickým programováním
* **Novelty search =** místo abychom hledali něco konkrétního, co už známe, dáme šanci věcem zcela jiným
  + Prostor bývá plný lokálních minim, proto je vhodné se občas vydat zdánlivě odlišnou cestou, abychom dosáhli skutečného optima
  + Každé individuum při evoluci **odměněno**, pokud **objeví něco nového**
  + **Curiosity driven learning** – agent v prostředí získává **odměnu** za to, že se dostane do bodu, **kde předtím nebyl**
* **Covarience Matrix Adaptation Evolution Strategy (CMA-ES)**
  + **Strategie** pro složitou numerickou nelineární nekonvexní **black box optimalizaci**
  + Kombinuje vlastnosti evolučních algoritmů i gradient. technik – dobré překonávání lokálních minim
* **Ant Colony Optimization (ACO)**
  + Mravenci komunikují pomocí **feromonů** – algoritmus se toto snaží napodobit – agenti nanášejí v prostoru tolik „feromonu“, jak dobré je současné řešení
    - Čím více feromonu je někde naneseno, tím více agentů tudy bude chodit.
    - Často uvázne v lokálním minimu, takže často kombinováno s tabu searchem.
    - Často používáno pro **hledání cest v grafech** – nejvíce feromonu se na hrany nanáší, když je daná cesta dlouhá.
* **Particle Swarm Optimization (PSO)**
  + Částice mají **rychlostní vektor** udávající směr pohybu
  + Každý jedinec si pamatuje svoje lokální nejlepší řešení a snaží se k němu vrátit
  + Zároveň si celé **hejno** pamatuje globální nejlepší řešení a všichni míří k tomuto řešení.
  + Lokální a globální optima se balancují pomocí parametrů, postupně tak prohledávají prostor řešení
  + Záleží na počáteční rychlosti (možná oscilace)

**10. Transformery, pozornostní mechanismy, transfer a meta learning.**

NI-MVI

**Transformery**

* Diagram

  Description automatically generated Zpracovávají vstup ve formě sekvenčních dat, ale všechny najednou – mohou být paralelizovány
* Machine translation, text summarization, image description generation, …
* Na rozdíl od RNN taky není tak problematický vanishing gradient.
* **Query** – jeden pro daný attention block
* Pro každou value se query vynásobí odpovídajícím klíčem key – tak získáme hodnotu parametru, kterým value násobíme -> získáme attention
* Poziční kódování – kvůli tomu, že jsou modelu předložena všechna data najednou – není info o pořadí slov
  + Přičte ke každému vektorovému embeddingu **časový vektor**
    - Stejná slova budou zakódována jinak kvůli jiné pozici
* **Self-attention** – porovnání tokenů všech slov ve větě mezi sebou a převážení těchto embeddingů tak, že reprezentace zachycuje kontext
  + **Keys = queries = values**
  + Proces nezávislý na velikosti vstupu, nevyžaduje učení
  + Skalární součin query a key, normalizace výsledku -> váhy pro daný query, 1 váha odpovídá 1 value – pronásobíme, sečteme -> kontextový vektor pro slovo použité jako query
    - Zopakování tak, že se jako query vystřídají všechna slova
  + Parametrizované matice z keys, values a queries – trénovatelný attention
* **Multi head attention** – v rámci vstupů může být několik kontextů (jedno slovo má kontexty s více slovy) – je potřeba zachytit víc pozorností
  + Několik vrstev lineárních vstupů k, v, q, každý má vliv na nezávislé trénování jednoho attentionu
  + Natrénuje několik kontextových vektorů – spojení pomocí concatetation a napojení do dense vrstev
* **Masked attention**
  + Při použití **maskingu** má model přístup jen ke vstupům, které byly před bodem, který se snaží predikovat
  + Aby model **nemohl podvádět** a použít budoucí slova k predikci současného
  + V dekodéru
* **Cross attention** – keys a values generovány z jiného výstupu než queries
  + U dekodéru, keys a values se berou z enkodéru a queries z předchozího výstupu stackovaného dekodéru
* Transformer má enkodér a dekodér které oba používají multi head attention a mohou být stackovány
* V dekodéru se používá ještě masked attention a cross attention
* Z návrhu lze vidět hodně reziduálních spojení aby se potlačil gradient vanishing, takže před vstupem do attentionu se embeddingy ještě odpojí a znovu připojí po výstupu attentionu.
* Na výstupu decoder je pak Linera vrstva, která z výstupu dekóduje vektor velikosti slovníku a softmaxem určí, které slovo je nejpravděpodobnější.
* **BERT**
  + **Masked language model** – self-supervizovaně se učí **doplňovat zamaskovaná (chybějící) slova** do textu
  + **Next sentence prediction** – predikuje, **zda věta B následuje za větou A** v daném kontextu
  + BERT trénován, aby minimalizoval loss obou úkolů
  + 340M parametrů
  + Seq2seq model využívající transformer architekturu se stackem enkodérů
  + Použitelný jako jazykový základ, lze fine-tunovat na konkrétní úkoly
* Problém transformerů – vysoké paměťové nároky, rozšiřitelnost na dlouhé sekvence, složitá implementace, složitost attention vrstev (kvadratická vzhledem k délce sekvence)
* **Performer** – Obchází problém se škálovatelností attention vrstev – místo query a key matice dosazuje **aproximované matice**
  + Lineární složitost vzhledem k délce sekvence
* **Synthesizer** – query a key nahrazeny a attention matice sestavena trénovatelnou sítí, až pak pronásobena values
  + Random synthesizer – náhodná matice
* **Reformer** – lokální sémantické hashování – sousedé z podobných kontextů skončí s podobným hashem -> předpočítání podobností
  + Rychlejší, ale náročnější na paměť

**Pozornostní mechanismy**

* **Attention** mechanismus **napodobuje kognitivní pozornost** – důležité části dat zvýrazněny, méně důležité potlačeny
* **Zpracování textu** – důraz na důležitá a více vypovídající slova
* **Zpracování obrazu** – zaměření na regiony v obraze, které obsahují důležité příznaky – nedůležité je např. pozadí
* Postup:
  + Graphical user interface, text

    Description automatically generated with medium confidenceVstup = hodnoty (values v) – zakódováním slov nebo příznaků v obraze
  + Výstup attentionu – lineární kombinace values s parametry alfa
    - Alfy normalizované na součet 1
  + A dog wearing a garment

    Description automatically generated with medium confidencePro získání alfy – key a query
    - Každá value má s sebou spojený klíč **key**
    - **Query** je jeden pro daný attention mechanismus
  + Funkce, která zkombinuje i-tý key a query tak, že výsledkem je alfa pro i-tou value
    - Dot-product attention – skalární součin query a key, na výsledek aplikace nelineární transformace (třeba tanh), potom normalizace přes softmax
  + **Alfa udává důležitost vstupu**
  + **Attention** mechanismus je třeba trénovat – matice trénovatelných vah, které se lineárně kombinují s values, keys a queries
* **Attention block v dekodéru** – vnitřní stav enkodéru se pošle do attention bloku, projde FC vrstvou a softmax výstup určuje důležitost vstupů do dekodéru
* Pro seq2seq překlady – alignment model – tvorba **kontextového vektoru** – větší kontext = větší alfa
* Případ, kdy values = keys
  + Hledáme **relevanci různých pozic** jedné sekvence
  + Pokud v rámci jedné věty hledáme slova, která odkazují na stejný objekt
* **Table

  Description automatically generated**Qr code

  Description automatically generated**Global/Soft attention** – Bere v potaz celý vstupní prostor, všechny attentiony se předají dál
* **Local/Hard attention** – Bere v potaz jen lokální region (např. patch v obrázku), pravděpodobnost že se zaměří na konkrétní část může být dána její relevancí (attention score)
* Výhoda: model se může soustředit na části vstupu, které nejlépe pomohou splnit úkol
* Nevýhoda: výpočetní složitost

**Meta learning**

* Stavba high-level **systému, který je přenositelný** na různé bottom-level AI problémy
* Ovlivňuje, jak vypadá daný podproblém, aplikovatelný na řadu úloh
* Modely se automatizovaně **učí se učit**
* Neuroevoluce je meta learning:
  + meta-level = evoluční algoritmus modelující topologii sítě
  + bottom-level = samotná neuronová síť
* Hyper Networks:
  + Meta-level = malá síť
  + Bottom-level = velká síť
* Použití LSTM k zapamatování sekvence updatů vah v neur. sítě – určuje nastavování vah bottom-level sítě
* **Optimalizace hyperparametrů (HPO)**
  + Bottom-level AI = model, jehož hyperparametry optimalizujeme
  + Meta-level = algoritmus, který provádí optimalizaci hyperparametrů
  + **Grid search** – systematické prohledávání parameter grid (tabulka parametrů) – kombinace všech povolených hodnot
  + **Random search** – náhodně prohledává parameter grid, překvapivě funkční
  + **Bayesovská optimalizace** hyperparametrů – informované prohledávání, bere v potaz minulé ohodnocení pro vyzkoušené kombinace hyperparametrů
    - Funkce hodnotící výběr hyperparametrů podle přínosnosti
  + **HyperBand = bandit-based** přístup k optimalizaci hyperparametrů
    - Kombinace **alokace zdrojů** a brzkého zastavení k prohledávání parameter gridu

1. Volba většího množství n-tic hyperparametrů
2. Přiřazení n-ticím budget několik iterací
3. Po iteracích ohodnocení n-tic (trénink a ohodnocení modelu), zahození horší poloviny
4. Opět rozdělí budget na iterace mezi n-tice, po doběhnutí zase zahodí – tak iteruje a realokuje prostředky na trénování, dokud nepřežije jen jeden

* **Metadatabáze = databáze pro uchování metadat** o trénování různých problémů
  + Informace, jaké metody se používají na jaké podproblémy a s jakými výsledky – může pak **doporučovat** vhodné algoritmy
  + Podle extrahovaných atributů vypočteme podobné problémy, podle toho volba algoritmu
  + Problém s kompatibilitou algoritmů a problémů – šum, neinformativita
* I pro rekomendační systémy – postupné upřesňování nastavení
* **Model Agnostic Meta Learning (MAML)**
  + Meta learning přístup k **nastavování parametrů nezávisle na modelu a problému**.
  + vybere vzorek ze sady problémů, problémy ohodnotí a provede update parametrů modelu pomocí gradientního sestupu
* **Neural architecture search (NAS)**
  + Automatické učení a evoluce topologií neuronových sítí.
  + **Prohledávání stavového prostoru** – přechody mezi stavy = různé operace jako konvoluční vrstvy, fully connected, pooling, ..., hyperparametry a propojování tak, aby tvořily validní neuronovou síť
  + Stavový prostor bývá velmi velký a ohodnocení stavů (fitness) je výpočetně náročné
  + Příklad – neuroevoluce
* Automated Machine Learning (AutoML)
  + Předzpracování dat – extrakce a předzpracování příznaků
  + Kritéria AutoML: Performance, speed, explainability, simplicity.
* **Few-shot learning**
  + Učení na velmi **malých datasetech**
  + Trénovací data = support set, podle kterého se model musí naučit se učit
  + Využití předchozích znalostí o podobných případech, které už model zná
  + Využití znalostí o samotném učení – pomocí omezení nutíme model generalizovat
  + Využití znalostí o samotných datech a jejich distribuci a variabilitě

**11. Ensemble metody: rozdíl mezi základními metodami (např. Bagging, Boosting, XGBoost).**

NI-ADM

* **Ensemble metody** – více modelů použito k dosažení lepšího prediktivního výkonu v porovnání s použitím jednoho modelu
  + Bagging snižuje rozptyl, boosting snižuje bias

**Bagging**

* **Bagging** = bootstrap aggregating – trénování **několika modelů nezávisle** na sobě a potom **kombinování** jejich predikcí
  + Každý model natrénován na jiné podmnožině dat vytvořené **samplingem s nahrazením** (bootstrapping) z originálního datasetu
  + Výhody:
    - Snižuje rozptyl – průměrováním predikcí z několika modelů
    - Snižuje overfitting – použitím několika modelů trénovaných na různých podmnožinách dat
  + Nevýhody:
    - Zvyšuje složitost – využitím více algoritmů se zvyšuje složitost a výpočetní náročnost
    - Malý vliv na bias
* **Náhodné lesy** – algoritmus, který konstruuje množinu rozhodovacích stromů při tréninku a vyhodí třídu, která je **modus tříd** (klasifikace) nebo **průměr predikce** (regrese) jednotlivých stromů
  + Každý **rozhodovací strom** stavěn na různé podmnožině originálních dat
    - Konstrukce např. pomocí ID3 algoritmu – pro každý příznak se spočítá kritérium (entropie/gini index), pak se zkusí rozdělit podle těch příznaků a počítá se kritérium, vybere se nejlepší rozdělení a opakuje se
  + V každém uzlu stromu se k dělení používá pouze **náhodná podmnožina** příznaků
  + Konečná predikce je **průměr (regrese) nebo většinový hlas (klasifikace)** napříč stromy
  + Zvyšují prediktivní přesnost a kontrolují over-fitting zavedením náhody do ensemblu
    - Rozptyl se sníží bez zvýšení biasu
  + **Hyperparametry**:
    - Počet stromů
    - Velikost bootstrapu
    - Počet příznaků

**Boosting**

* Kombinuje několik weak learnerů, které vytvoří strong learner
  + **Weak learner** – algoritmus strojového učení, který klasifikuje s přesností o něco málo lepší než náhodné hádání
    - Decision stumps, naivní bayes, k-nejbližších sousedů
  + **Strong learner** – má nízkou míru chyby
  + Weak learneři se trénují v sekvenci, každá se snaží napravit předchůdce
* **AdaBoost** = Adaptive boosting
  + Speciální případ Gradient boostingu
  + Přiřazuje stejné váhy všem vzorkům a vybírá slabý klasifikátor, který minimalizuje chybu
  + Pro evaluaci prvního learnera AdaBoost zvýší váhy špatně klasifikovaným vzorkům, aby tvořily větší část trénovací množiny pro následující klasifikátor
  + Proces se opakuje, pokaždé přiřadí větší váhy špatně klasifikovaným vzorkům
  + Závěrečná predikce je **vážený hlas** (v klasifikaci) nebo **vážená suma** (v regresi) predikcí tvořených jednotlivými learnery
  + AdaBoost je **adaptivní** ve smyslu že následující weak lerneři jsou upravování ve prospěch instancí špatně klasifikovaných předchozími kroky
    - Cíl je nastavit váhy a trénovat data tak, aby správně předpovídali neobvyklé pozorování
  + Někdy se používají **Decision stumps** – jako stromy v rozhodovacím lese, ale mají jen jeden uzel a dva listy
  + Algoritmus:
    - **Inicializace vah** (stejné hodnoty)
    - **Postaví se weak learner** – trénink základního modelu
    - **Výpočet chyby** – suma vah špatně klasifikovaných bodů
    - **Výpočet důležitosti** learneru – na základě chyby – menší chyba značí větší důležitost
    - **Update vah** – zvětší se váhy špatně klasifikovaným bodům
    - To se **opakuje** dokud se chyba nepřestane zlepšovat
    - **Formace finálního klasifikátoru** – vážený hlas mezi slabými klasifikátory
  + Výhody:
    - **Všestrannost** – je robustní a všestranná metoda, pro mnoho praktických aplikací
    - **Komplexní klasifikace** – dobře zvládá špatně klasifikovatelné body z komplexních problémů
    - **Přesnost**
  + Nevýhody
    - Riziko **přeučení** – hlavně na datasetech s vysokým šumem, ale dá se zlepšit regularizací
    - **Složitost** výběru a ladění – výběr slabého klasifikatorů a ladění hyperparametrů vyžaduje expertízu
* **XGBoost**
  + **Spojitá cílová proměnná** – může být pravděpodobnost, že Y patří do třídy (podobně jako v logistické regresi)
  + Závěrečná predikce dána **weak learnery**– hyperparametr je dané číslo a weak learneři rozhodovací stromy
  + Během trénovací fáze se weak learneři postupně konstruují, aby se zlepšil ensemble model:

pro

* + Závěrečný model je
  + **Ztrátová funkce**  – měří kvalitu predikce
    - Pro gradient boosting obecně musí mít všude první derivace, a v **XGBoostu musí mít všude druhé derivace**
    - Derivace existují pro obvyklou volbu čtverce reziuí:
  + Obsah obrázku text, Písmo, bílé, kaligrafie

    Popis byl vytvořen automatickyCíl trénovacího procesu je minimalizovat **objective funkci**

Obsah obrázku Písmo, bílé, text, typografie

Popis byl vytvořen automatickyje predikce pro i-tý datový bod a N počet trénovacích datových bodl

* + **Regularizace** – pro předejití overfittingu – s ní je objective funkce:
    - je rostoucí **funkce složitosti stromu**
      * Složitost se dá měrit hloubkou, počtem listů, součtem vah listů, …
  + Obsah obrázku Písmo, text, rukopis, bílé

    Popis byl vytvořen automatickyMinimalizujeme
    - Podle volby ztrátové funkce to nemusí být možné
    - Zjednodušení – **aproximace** pomocí **Taylorova polynomu**
      * V XGBoostu polynom druhého stupně – aproximace v bodě



* + - Cílem je **minimalizace** ne , ale **„délky kroku“ ve směru daného derivací** – gradientu, kvůli tomu jsou to gradientové metody duh
    - Dalšími úpravami můžeme dostat míru kvality stromu a předpis pro váhy
      * Stále NP-těžké konstruování stromů, lze použít greedy algoritmus jako ID3

**12. Jádrové metody: jádrová regrese, bázové funkce, Support Vector Machine (SVM): separabilní a neseparabilní případ.**

NI-ADM

**Linear regression**

* Supervised machine learning algorithm where the predicted output is continuous and has a constant slope. It is used to predict values within a continuous range, (for instance, predicting house prices based on various features like area, number of rooms, etc.) rather than trying to classify them into categories.
* The linear regression model is represented as:
  + *Y …* target variable,
  + *x*1,...,*xp* are features,
  + *w*0,...,*wp* are weights or coefficients,
  + *ε* is the error term.
* Our aim is to estimate the unknown vector *w*
* The training model is written in a matrix form as

**Ordinary Least Squares**

* Method for estimating the unknown parameters in a linear regression model. OLS chooses the parameters of a linear function of a set of explanatory variables by the principle of least squares: minimizing the sum of the squares of the differences between the observed dependent variable in the given dataset and those predicted by the linear function.
* The solution of the normal equations , which correspond to the gradient of the residual sum of squares is

**Ridge Regression**

* Regularization technique used when the predictors in a regression are highly correlated (multicollinearity). By shrinking the coefficients of the predictors, Ridge regression reduces model complexity and multicollinearity. This is commonly used in situations where we have many variables contributing to a prediction, like predicting consumer behavior based on various characteristics.
* The Ridge regression minimizes the regularized residual sum of squares given by:
  + … complexity parameter controlling the amount of shrinkage: the larger the value of *λ*, the greater the amount of shrinkage.

**Linear Expansion into Basis Functions**

* In the context of kernel regression, the relationship between *x* and *y* is modelled through basis functions, *ϕ*(*x*), which transform the input data *x* into a higher dimensional feature space. This allows the model to capture more complex, nonlinear relationships. For example, this concept can be used in image recognition where the features extracted from an image are transformed into a higher-dimensional space.
* Obsah obrázku Písmo, bílé, rukopis, text

  Popis byl vytvořen automatickyThe transformation looks like this:
  + Here, are the basis functions and are the weights for each basis function.

**Dual Formulation**

* Many linear models for regression and classification may be formulated in terms of a dual representation where the basis functions (*ϕ*(*x*)) are given implicitly through the so-called kernel function where kernel functions are *k*(**x***i*,**x***j*)
* **Key points** 1. The dual version of the regularized residual sum of squares is minimized, which is given by:
  + where *Gi*,*j*=*k*(**x***i*,**x***j*) and gram matrix *G*=ΦΦ*T*
  + The minimizer, for any *λ*>0, is given by:
  + Prediction of Y at any point x is then:
  + Obsah obrázku Písmo, text, bílé, kaligrafie

    Popis byl vytvořen automatickyObsah obrázku Písmo, bílé, text, kaligrafie

    Popis byl vytvořen automatickyOr in other way in the dual formulation, instead of finding a direct mapping of *x* to *Y*, we find a mapping of *x* to *Y* via a higher dimensional space *z*. This can be written as:
    - where *k*(*xi*,*x*) is a kernel function which computes the inner product of *x* and *xi* in the feature space, and *αi* are the dual coefficients. **Therefore not only the objective function RSS*λ*(*α*) but also the predictions *Y*^ might be expressed entirely in terms of the kernel function *k***

**Kernel Trick**

* Method used in machine learning to transform the input data into a high-dimensional feature space, where complex relationships can be modeled using simpler, linear models. Instead of explicitly calculating the transformation *ϕ*(*x*), we use a kernel function
* This is especially useful in problems where the data is not linearly separable in the input space but might be in a higher-dimensional space.
* **Key points**
  + The kernel trick allows the input vector to enter the model only in the form of scalar products, leading to an equivalent dual representation of the model along with the objective function.
  + By not explicitly specifying the basis functions, the kernel trick permits the implicit use of feature spaces with high, even infinite, dimensionality.
  + The computational advantage comes into play when dealing with high-dimensional spaces as the matrix inversion required in the estimation of weights and *α* has complexity *O*(*M*3) and *O*(*N*3), respectively. Where, *M* is the dimensionality of the feature space and *N* is the number of data points.
    - Obsah obrázku diagram

      Popis byl vytvořen automatickyAn application of the kernel trick would be in regression over large datasets, such as 1000 gray scale images of 32×32=1024 pixels. For instance, using a quadratic kernel *k*(**x**,**y**)=(**x***T***y**+1)2, we would expand into a 525,825 dimensional space. Despite the high dimensionality, the inversion of only a 1000×1000 matrix is required, instead of a 525,825×525,825 matrix, illustrating the power of the kernel trick.

**Key Takeaways**

* **Kernel Regression**: Kernel regression is a non-parametric technique that allows the data to determine the form of the function *f*(*x*)
* This makes it highly flexible and capable of modeling complex relationships.
* **Linear Expansion into Basis Functions**: This involves transforming the input data *x* into a higher dimensional feature space using basis functions *ϕ*(*x*). This allows the model to capture more complex, potentially non-linear relationships.
* **Dual Formulation**: In the dual formulation, we find a mapping from *x* to *y* via a higher dimensional space *z*. This is a key concept in many machine learning models.
* **Kernel Trick**: The kernel trick allows us to compute the inner products in the high-dimensional space without explicitly calculating the transformation *ϕ*(*x*), making the computation significantly simpler and more efficient.

**Kernel Functions**

* Crucial role in machine learning, enabling simpler computations in high-dimensional data spaces. In more precise terms, these functions are used to calculate the inner product of two points in an appropriate feature space, hence sometimes referred to as "generalized dot products."
* A **kernel function** is typically denoted as:
  + *x*,*y* … input data points
  + *ϕ* … feature map, responsible for mapping input data into a high-dimensional feature space.
  + is the dot product in the feature space.
  + This definition underlines an essential attribute of kernel functions: they can calculate the dot product of data points mapped into a higher-dimensional space by a feature map in the original, lower-dimensional space.
* Connection Between Kernel Functions and **Basis Functions**
  + **Basis functions** are like building blocks that are used to create other functions. They transform data into a new space, just as a kernel does.
  + A **kernel function** usually gets constructed from a set of basis functions, with each dimension in the transformed feature space corresponding to one basis function.
    - **Kernel trick** allows us to compute dot products in this feature space without explicitly calculating the coordinates of the data in this space, which can sometimes be infinite-dimensional

**General Characteristics** of Kernel Functions

* **Symmetry**: Kernel functions are symmetric for any two points x and y,
* **Positive Semidefinite**: Kernel functions are positive semi-definite. In simpler terms, for any group of points, the kernel matrix (or Gram matrix), given by the kernel evaluated at these points, is positive semi-definite.
* A function *K*(*x*,*y*) is defined as a kernel function if and only if for any set *x*1,...,*xm*, the related kernel matrix is positive semi-definite.

**Examples** of Kernel Functions

* **Linear Kernel**: This is the simplest type of kernel, used when the data can be linearly separated. It's defined as: *K*(*x*,*y*)=⟨*x*,*y*⟩
* **Polynomial Kernel**: Polynomial kernel introduces non-linearity and is often used when the data isn't linearly separable. It's defined as: *K*(*x*,*y*)=(⟨*x*,*y*⟩+*c*)*d* , where *c*≥0 is a free parameter trading off the influence of higher-order versus lower-order terms in the polynomial, and *d* is the degree of the polynomial.
* **Radial Basis Function (RBF) or Gaussian Kernel**: RBF kernel is a popular kernel for support vector machines and is also used in other kernelized models. It's defined as: *K*(*x*,*y*)=*e*(||*x*−*y*||22*o*2), where ||*x*−*y*||2 is the squared Euclidean distance between two points

**Constructing New Kernels**

* New kernel functions can be designed by merging existing kernel functions.
* Obsah obrázku text, Písmo, kaligrafie, bílé

  Popis byl vytvořen automatickyFor instance, if *K*1 and *K*2 are kernels, then the following are also kernels:

Support Vector Machines – lineárně separabilní a neseparabilní případ, diskuse řešení.

Key Concepts:

* **Discriminant Function**: responsible for assigning input feature vectors to target classes. In a binary classification scenario, it can assign vectors to either class 1 or class 2.
* **Decision Boundary**: a hypersurface that divides the space into two or more regions, each signifying a different class. The discriminant function defines this boundary. A linear discriminant function creates a hyperplane as a decision boundary, while a non-linear discriminant function could establish a more complex shape as the decision boundary. The side of the boundary on which a new data point lies determines its classification.
* **Margin**: Distance between the decision boundary and the nearest data points from each class (support vectors), in the context of specific classifiers like SVM. SVM aims to maximize this margin. A larger margin higher level of confidence in the decision boundary as it is as far away as possible from the nearest examples of each class. This often enhances the classifier's generalization, i.e., its performance on unseen data
* Here's how these concepts connect
  + The discriminant function is used to define the decision boundary: points for which *f*(*x*)=0
  + The margin is defined in relation to this decision boundary: it is the distance to the nearest points on either side of the boundary
  + In SVM, the parameters of the discriminant function are chosen to maximize this margin, helping the model to generalize better.

**Discriminant Function**

* Classification maps an input vector to one of several predetermined classes. Function takes an input vector—typically a feature vector encapsulating different characteristics or attributes of a certain item or event—and assigns it to one of *K*classes helps to divide the feature space into decision regions, with each region corresponding to a specific class.
* **Linear discriminant functions**, as used in linear classifiers (e.g., linear regression, logistic regression, and support vector machines) = simplest forms of discriminant functions:
  + *x …* feature vector
  + *w* … weight vector, responsible for determining the decision boundary's orientation
  + *wT* is the transpose of *w*
  + *w*0 is the bias term, adjusting the position of the decision boundary.
* This function delineates a hyperplane that separates the input space. In a binary classification task, points where *f*(*x*)>0 might be designated to class 1, whereas points where *f*(*x*)<0 could be classified as class 2. Learning algorithms (like SVM or logistic regression) seek to identify the optimal parameters *w* and *w*0 that allow the discriminant function to classify new inputs accurately based on the training data.
* In cases where the data is not linearly separable or the relationship between features and classes is complex, non-linear discriminant functions can be employed. These often involve transforming the feature space with a function *ϕ*(*x*) to create a higher-dimensional space where data can be separated more easily. Kernel methods, such as SVM with the kernel trick, are examples of this approach.

**Large Margin Principle**

* Aim = train the unknown parameters *w* and *w*0. Assuming that the training points in the feature space *ϕ*(*x*1),...,*ϕ*(*xN*) are linearly separable, the solution is chosen to have the largest margin—the smallest distance between the decision boundary and any of the samples. Furthermore, the principle ensures each point is on the correct side of the decision boundary, i.e., *Yif*(*xi*)>0. The corresponding optimization problem is formulated as follows:
  +  This part is the objective function we aim to minimize. The term 12||*w*||2 is used to maximize the margin between the two classes. The margin is inversely proportional to the norm of *w*, so by minimizing ||*w*||2, we effectively maximize the margin.
  +  This constraint ensures that all data points are classified correctly. Each data point *xi* should fall on the correct side of the decision boundary, as determined by the sign of the decision function The requirement that this be greater than or equal to 1 is a normalization condition, ensuring a minimum distance from the decision boundary for all points, thus maximizing the margin.
* Aim = find the values of *w* and *w*0 that satisfy the constraints and minimize the objective function hyperplane that maximizes the margin between the classes, providing the best possible separation, assuming that the data is linearly separable.

Support Vector Machines (SVMs)

* When the data is not linearly separable, SVM relaxes the hard constraints and introduces a penalty for distance from the boundary in the wrong direction. This is done through the introduction of slack variables *ξi*≥0 for *i*=1,...,*N.* The behavior of these slack variables is as follows:
  + If *ξi*=0, then *Yif*(*xi*)≥0
  + If 0<*ξi*≤0, then the point lies in the margin but on the correct side of the decision boundary, i.e., *Yif*(*xi*)>0
  + If *ξi*>1, then the point lies on the wrong side of the decision boundary and is misclassified, i.e., *Yif*(*xi*)<0
* The optimization problem incorporating these slack variables is:
  +  This part is the objective function we wish to minimize. The term is used to maximize the margin (since the margin is inversely proportional to the norm of *w*. The term *C*∑*Ni*=1*ξi*is a penalty term that penalizes misclassification or violations of the margin. The parameter *C* controls the trade-off between maximizing the margin and minimizing classification errors. A higher value of *C* places more emphasis on minimizing errors, while a lower value of *C* emphasizes maximizing the margin.
  + *ξi*≥0 … ensures that the slack variables are non-negative. The slack variables *ξi* are introduced to allow some degree of misclassification, especially in cases where the data is not linearly separable. If *ξi*=0, the *i*-th instance is correctly classified and falls outside the margin. If *ξi*>0, the instance is within the margin. If *ξi*>1, the instance is misclassified.
  +  This constraint ensures that each instance is either correctly classified or falls within the margin. It represents the conditions that each instance must fulfill with respect to the decision boundary and the margin.
* The overall goal is to find the values of *w*, *w*0, and *ξi* that satisfy these constraints and minimize the objective function. This will result in a hyperplane (and corresponding margin) that best separates the classes in the feature space, given the allowance for some misclassification defined by the slack variables

Summary:

* Discriminant functions partition the feature space into separate half-spaces.
* The large margin principle selects the solution with the greatest margin.
* Support Vector Machines (SVMs) are a binary classification technique using a hyperplane.
* SVM incorporates a regularization parameter *C* and slack variables *ξi*
* to manage non-linearly separable data.
* The resultant SVM has sparse properties.

**13. Algoritmy pro doporučování: základní přístupy a způsob vyhodnocení kvality, faktorizační metody pro doporučování.**

NI-ADM

**Základní principy**

* **Interakce uživatele a položky** – systémy berou v potaz historické interakce mezi uživateli a položkami
  + Explicitní – hodnonocení filmů, implicitní – historie nákupů
* **Hodnocení podobnosti** – založeny na principu podobnosti – uživatelé se sdílenými zájmy pravděpodobně předvádějí stejné chování, a položky, které jsou často vybírány společně jsou nejspíš nějak spojeny
* **Personalizace** – systémy nabízejí personalizované návrhy spíš než univerzální množinu doporučení, na základně jednotlivých preferencí
* Typy úloh:
  + **Kolaborativní filtrování** – predikce o uživateli na základě sběru informací od hodně uživatelů
    - Pokud se dva uživatelé shodnou na jedné věci, nejspíš se shodnou i na dalších
  + **Obsahové filtrování** – systém doporučuje položky podobné tomu, co si uživatel v minulosti oblíbil, v závislosti na vlastnostech položky
  + **Hybridní metody** – kombinace kolaborativního a obsahového filtrování
  + **Demografické doporučovací metody** – podle demografiky uživatele se doporučuje
  + **Utilitní doporučovací úlohy** – tvorba utilitní funkce pro každého uživatele
* **k nejbližších sousedů** pro doporučovací systémy
  + **User-based** kolaborativní filtrování – kNN identifikuje uživatele podobné danému uživateli
    - Hodnotí nejpodobnějších uživatelů a jejich preference použije k doporučování
  + **Item-based** kolaborativní filtrování – kNN identifikuje položky podobné těm, o které uživatel v minulosti projevil zájem
    - Systém doporučí položky nejpodobnější těm, které uživatel hodnotil kladně
    - Výběr může prudce ovlivnit kvalitu doporučování, volí se empiricky vzkledem k výkonu systému
* **Hodnocení**
  + **Precision** – kolik z doporučených ho skutečně zajímá
  + **Recall** – kolik z položek, které ho zajímají, jsme mu doporučili
  + F1 skóre, AUC (plocha pod křivkou ROC), RMSE pro spojité hodnoty
  + **Dodat detaily**

**Faktorizační metody pro doporučování**

* **Maticová faktorizace** – rozkládá velkou, často řídkou user-item interaction matici na dvě menší matice
  + **Odvozené matice** ukládají latentní atributy jak uživatelů, tak položek, a zjednodušují tak jejich komplexní vztah
  + Např. doporučování filmů – latentní faktory můžou být preference žánru, režiséra nebo herce a korelace filmu s těmito faktory – predikce uživatelova hodnocení filmu může být zobrazena pomocí skalárního součinu vektoru latentních faktorů pro toho uživatela a položku
  + **Optimalizace** v maticové faktorizaci
    - Chceme **minimalizovat rozpor** mezi původní a rekonstruovanou maticí hodnocení
    - Obsah obrázku Písmo, text, bílé, kaligrafie

      Popis byl vytvořen automatickyRozptyl měřen pomocí ztrátové funkce jako **MSE**:
    - Často pomocí **stochastického gradientního sestupu** a **alterujících nejmenších čtverců** (ALS) za použití regularizace pro předejití overfittingu
  + **Řešení řídkosti** – uživatel obvykle interaguje jen s malou podmnožinou položek – maticová faktorizace to řeší zobrazením uživatelského hodnocení na všechny položky, včetně těch nepřítomných v trénovacích datech, a doplní tak nepozorované preference uživatele
* **Alterující nejmenší čtverce (ALS)** – technika zaměřená na minimalizaci mezery mezi pozorovanými a predikovanými hodnoceními
  + Alteruje mezi opravami uživatelské matice a položkové matice a zároveň optimalizuje tu druhou
  + **ALS algoritmus**:
    - Inicializace uživatelské (U) a položkové (V) matice náhodně
    - Opakování do konvergence:
      * Oprava V a minimalizace ztrátové funkce U
      * Oprava U a redukce ztrátové funkce V
  + Může zahrnovat **implicitní zpětná vazba** – kliknutí, historie nákupů, historie prohlížení
    - Nutné modifikace ztrátové funkce, aby byly zahrnuty konfidenční hladiny odvozené z množství interakce mezi uživatelem a položkami
    - Implicitní feedback = informace o preferencích, které nelze získat z explicitních akcí, jako jsou třeba hodnocení nebo recenze
* **Modelování implicitní zpětné vazby**
  + Potřeba když nejsou k dispozici explicitní informace (obvykle vzácné) – použití historie prohlížení apod.
    - V maticové faktorizaci je **přítomnost interakce** interpretovaná jako pozitivní signál, zatímco absence znamená nedostatek informace, ne přítomnost nezájmu
    - Obsah obrázku text, Písmo, bílé, algebra

      Popis byl vytvořen automatickyNapř. matice P reprezentuje interakční matici a matice C indikuje konfidenční hladiny interakcí:
  + Metody kolaborativního filtrování jako **Vážená Regularizovaná Maticová Faktorizace** (WRMF) řídí implicitní feedback přiřazením různých konfidenčních hladin pozorovaným a nepozorovaným interakcím
    - Obsah obrázku Písmo, bílé, kaligrafie, rukopis

      Popis byl vytvořen automatickyOptimalizační problém:
* Omezení a výzvy ALS
  + **Cold Start** – ALS se musí potýkat s novými uživateli nebo položkami, které nemají historii dat o interakci
  + **Extrémní řídkost** – výkon ALS může klesnout, když je interakční matice příliš řídká
  + **Problém se škálováním** – příliš vysoký výkon u velkých systémů kvůli potřebě maticové inverze
  + I přesto je ALS důležitá metoda díky efektivnosti a adaptabilitě

**14. Principy bayesovského modelování – pojmy model, apriorní a aposteriorní distribuce. Exponenciální třída distribucí, konjugovaná apriorna a jejich význam v bayesovském odhadu. Příklad konjugovaného apriorna.**

NI-BML

**15. Stavové modely: rovnice pro vývoj stavu a rovnice měření, rozdíly mezi nimi. Bayesovský sekvenční odhad stavových modelůa jejich vliv na apriorní distribuci (znalost). Možnosti odhadu stavů v případě nelinearity (pouze vyjmenovat).**

NI-BML

**16. Rejection sampling (RS) a importance sampling (IS): důvody používání RS a IS, jejich základní principy a rozdíly, efektivita práce se vzorky. Stanovení vah v IS a možnosti jejich normování.**

NI-BML

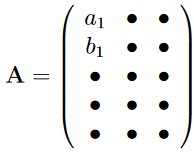
**17. QR rozklad: metody výpočtu, použití při výpočtu odhadu metodou nejmenších čtverců, QR algoritmus pro hledání vlastních čísel.**

NI-PON

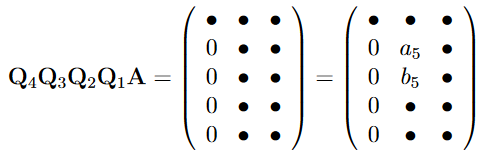
**Givensovy rotace**

* **QR rozklad** = přepis matice A na součin ortogonální matice Q a horní trojúhelníkové matice R
* **Ortogonální matice** = matice, jejíž sloupce jsou navzájem ortogonální a mají jednotkovou velikost
* Platí – matice R vznikne ze stejně velké matice A vynásobením ortogonální , která vynuluje v matici A všechny složky matice A pod diagonálou
  + Složité nacházíme ortogonální matice , které postupně zvětšují počet nul pod diagonálou A:
    - má aspoň o 1 nulu pod diagonálou víc než
    - má aspoň o 1 nulu pod diagonálou víc než
    - …
    - má pod diagonálou samé 0 a je rovna R
  + Tzn. Hledáme ortogonální matice – součin o. matic je o. matice
* **Givensovy rotace** – matice jsou jednoduché – jen na 4 místech se liší od jednotkové matice – rotace 2 složek vektoru, roztažení rotace ve 2 dimenzích
  + Hledáme ortogonální matici , která otočí nenulový vektor tak, že výsledný vektor leží na ose x 2. složka je 0
  + 1. sloupec matice S:
  + Celá matice S:
  + Platí vlastnost rotace na osu znamená, že musí pro vektor platit:
    - 1. složka je , protože výsledný vector musí mít stejnou normu jako původní
      * Otáčíme na kladnou nebo zápornou část osy x, podle toho znaménko
  + podmínka na parametry : , což vede (i z definice) na soustavu:

,

* **QR rozklad pomocí rotací** – hledáme QR rozklad a chceme matici, která vynuluje
  + Obsah obrázku přepěťová ochrana

    Popis byl vytvořen automatickyVýpočet parametrů podle vzorců výše získáme ortogonální , která vynuluje :
    - Oranžová = prvek byl vynásobením změněn
  + Obsah obrázku přepěťová ochrana

    Popis byl vytvořen automaticky se střední mírou spolehlivostiV provedeme zase stejný výpočet parametrů a podle toho zvolíme
  + Analogicky – vynulování prvků :
  + Obsah obrázku Písmo, text

    Popis byl vytvořen automaticky1. sloupec hotový – v 2. sloupci nulujeme :
    - mění jen 2. a 3. řádek – v 1. sloupci jsou 0, takže nevyrobíme ne0 tam, kde už byly
  + Obsah obrázku text, Písmo

    Popis byl vytvořen automatickyPostupně nulujeme další , dokud nedostaneme:



* + To je už ten QR rozklad:
* Celkový odhad složitosti =
* Je to vlastně jako GEM, ale s numerickou stabilitou díky ortogonálním operacím

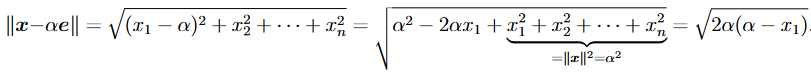
**Householderovy reflexe**

* **Zrcadlení vektoru** v zrcadle, které reprezentuje nadrovina procházející počátkem souřadnice
  + Např. - hledáme 2 rozměrné zrcadlo, které nastavíme vektoru tak, aby odraz ležel na ose x
  + Tím se vynulují všechny složky kromě 1. – rovna normě vektoru
  + Obsah obrázku Písmo, diagram, číslo, snímek obrazovky

    Popis byl vytvořen automatickyHledáme **ortogonální matice P**, pro které:
* **Zrcadlo v n-dimenzionálním prostoru** = nadrovina procházející počátkem souřadnic
  + Popsatelná pomocí normálového vektoru , který je na ni kolmý (ortogonální), předp.
  + Rovina = všechny vektory ortogonální s :
    - Lineární rovnice pro neznámých – množina řešení je podprostor dimenze
* **Zrcadlení**
  + Vzdálenost od = bod na zrcadle nejbližší vektoru = vektor
  + **Zrcadlový obraz**  získáme posunutím o stejnou vzdálenost za zrcadlo:
  + Vzdálenost
    - reprezentuje zrcadlení v zrcadle s normálovým jednotkovým vektorem
    - je rovná svojí transpozici je symetrická je ortogonální
    - Zrcadlení nemění velikost – když aplikujeme zrcadlo 2x, dostaneme se tam, kde jsme začali
* Obsah obrázku text, Písmo, snímek obrazovky, řada/pruh

  Popis byl vytvořen automatickyObsah obrázku kresba, skica, diagram, typografie

  Popis byl vytvořen automatickyVolba **vektoru , aby zrcadlil na osu** odpovídající 1. souřadnici – aby platilo
  + = vektor je násovek vektoru
  + Velikost = 1 musí platit
    - Obsah obrázku Písmo, rukopis, diagram, text

      Popis byl vytvořen automatickyMožnost vybrat si znaménko = zrcadlo má 2 opačné normálové vektory
  + složky :

Obsah obrázku Písmo, text, řada/pruh, číslo

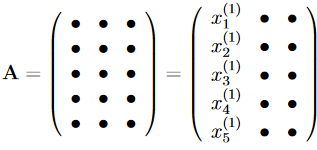
Popis byl vytvořen automaticky

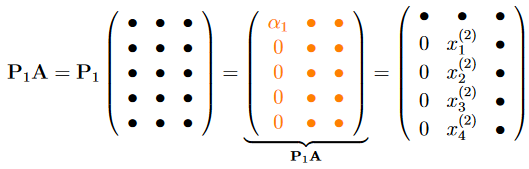
Obsah obrázku Písmo, text, řada/pruh, typografie

Popis byl vytvořen automaticky

* **QR rozklad pomocí zrcadlení** – analogický k ortogonálním rotacím

Obsah obrázku Písmo, design

Popis byl vytvořen automatickyk



* + 2. krok – vektor má jen 4 složky bude taková, aby se k 1. souřadnici chovala jako jednotková matice a zrcadlila pouze zbylé 4
  + Vektor tak, aby matice uvnitř zrcadlila na
  + Obsah obrázku text, diagram

    Popis byl vytvořen automaticky3. krok:
  + 4. krok - – vyrobí poslední 2 nuly analogicky
  + Finální QR rozklad:
  + Matic potřeba tolik, kolik je sloupců matice A =
* Složitost = (# řádků = m, # sloupců = n)

**QR algoritmus**

* **QR algoritmus** = algoritmus pro hledání vlastních čísel
  + Využití toho, že podobné matice mají stejná vlastní čísla
  + Konstruujeme posloupnost matic, které jsou podobné matici, jejíž vlastní čísla hledáme
* **Algoritmus**:
  + Máme čtvercovou a hledáme její vlastní čísla

1. Najdeme QR rozklad:

* Matice si nejsou podobné, ale podobné jsou si a
* Díky ortogonalitě a jsou podobné stejná vlastní čísla

1. Přes 2. konstruuji **posloupnost matic podobných matici** :

konstruujeme posloupnost matic , které jsou si navzájem podobné

* Často konvergence k horní trojúhelníkové matici
* **Zrychlení konvergence** pomocí Hessenbergovy formy
* **Hessenbergova forma matice** – matice je v H. formě, pokud pro platí
  + Matice je navíc **tridiagonální**, jestliže platí

Obsah obrázku kostky

Popis byl vytvořen automaticky se střední mírou spolehlivosti

* K libovolné matici existuje matice v Hessenbergově formě, která je A podobná. Matici podobnosti lze navíc volit ortogonální a symetrickou:
  + Pokud je matice A symetrická, můžeme navíc volit tridiagonální.
  + Matice vznikne součinem matic provádějících Householderovy reflexe
* **Výpočet** singulárních hodnot – vlastních čísel symetrické matice ,

1. Matici převedeme pomocí matic provádějících Householderovy reflexe na podobnou matici , která je tridiagonální.
2. Na matici aplikujeme QR algoritmus.
3. Najdeme QR rozklad , ten můžeme najít pomocí Givensových rotací, které nulují prvků pod diagonálou. Násobení maticí provádějících Givensovu rotaci vždy ovlivňuje pouze 6 prvků matice a je tedy výpočetně nenáročné
4. Posloupnost matic :

, její rozklad označíme

* Matice zůstávají tridiagonální

**18. Maticové faktorizace pomocí SVD, její výpočet, vlastnosti a použití ve strojovém učení: souvislost s metodou hlavních komponent (PCA)**

NI-PON

**SVD rozklad**

* SVD = Singular value decomposition
* **Hlavní myšlenka** SVD rozkladu – máme matici – nehledáme její vlastní čísla, ale vl. č. matice
  + je čtvercová , **pozitivně semidefinitní, symetrická**
  + Symetrická **diagonalizovatelná**, má reálná (nezáporná) vlastní čísla a z vlastních vektorů lze vytvořit ortonormální bázi prostoru
  + , hodnost nesmí být větší než počet sloupců/řádků ().
  + má vlastních čísel. Jelikož hodnost je , je 0 vlastní číslo právě když . V takovém případě má vlastní číslo 0 násobnost .
  + Matice má tedy  **kladných vlastních čísel**, které seřadíme od největšího po nejmenší a označíme :
  + Ke každému vlastnímu číslu umíme najít lineárně nezávislých (+ ortonormálních) vlastních vektorů, kolik je násobnost daného vlastního čísla. Získáme soubor

pro všechna

* + Je-li , tvoří tento soubor bázi . Je-li , můžeme k němu připojit **vlastních vektorů**  příslušejících k vlastnímu číslu 0 a vyrobit tak ortonormální bázi i tak
* **Odvození** SVD rozkladu
  + Pro každé definujeme vektor

soubor vektorů, o kterém platí:

* Je ortonormální:
* Pro každé :

**je vlastní vektor** čtvercové, symetrické a pozitivně semidefinitní matice příslušející jejímu kladnému vlastnímu číslu

a mají stejná kladná vlastní čísla

* + Ze souborů a vyrobíme matice tak, že tyto soubory napíšeme jako jejich sloupce.
  + Jelikož jsou oba soubory ortonormální, jsou obě matice ortogonální:
  + matice, která má na **diagonále postupně vlastní čísla ,** takto seřazená podle velikosti
    - Je-li , **doplníme na diagonálu nuly** (doplnění nejmenšího vlastního čísla 0)
    - Obsah obrázku text, snímek obrazovky, číslo, Písmo

      Popis byl vytvořen automatickyNapř. Pokud (), bude matice :

s tímto značením a jelikož pro a pro dostaneme:

* **Definice SVD rozkladu** (fucking finally) – Buď s hodností . Potom existují ortogonální matice a diagonální matice , která má na diagonále kladná čísla

doplněná příslušným počtem nul, takové, že

Tomuto rozkladu říkáme **SVD rozklad** a číslům pak **singulární hodnoty** matice A.

* + Singulární hodnoty jsou odmocniny vlastních čísel matic a (proto ta nezápornost, AHA)
  + Sloupce matic jsou tvořeny příslušnými vlastními vektory tvořícími ortonormální bázi
* SVD rozklad určen jednoznačně až na:
  + Singulární hodnoty určeny jednoznačně, ale u vl. vektorů si můžeme vybrat znaménko (bo normované na jedničku)
  + Pokud má singulární hodnota více vlastních vektorů (jako vlastní číslo má vyšší násobnost než 1), můžeme libovolně měnit pořadí těchto vektorů v matici . Sloupce v  se pak dopočítají
* Supr trik – v maticích lze uvažovat jen prvních sloupců a řádků, ostatní jsou nulové

lze zrekonstruovat z těchto sloupců

* + Dokonce platí, že podprostor generovaný sloupci matice A = lineární obal souboru

**Aproximace maticí s nižší hodností**

* Když vynásobíme matice a , dostaneme matici – lze využít ke kompresi
* Mějme matici , jaké je nejmenší takové, že existují a pro které

?

* Hodnost součinu nemůže být vyšší, než hodnost jednotlivých matic, a , musí být (kdyby ne, BC by mělo nižší hodnost než A a nefungovalo by to). B a C lze najít pro :

**nejmenší je rovno**

* Máme-li zadané , jaké jsou matice a takové, že jejich **součin je co nejblíže** ?

SVD

* **Vzdálenost** 2 stejně velkých matic = norma jejich rozdílu:
  + Obsah obrázku Písmo, text, snímek obrazovky, diagram

    Popis byl vytvořen automaticky**Frobeniova norma** matice  = suma čtverců odchylek v jednotlivých složkách
    - Obsah obrázku Písmo, design, snímek obrazovky, řada/pruh

      Popis byl vytvořen automatickySouvislost s SVD – je to odmocnina ze součtu kvadrátů singulárních hodnot
* **Eckart-Young-Mirskyho** věta – Mějme matici hodnosti a buď její SVD rozklad. Označme sloupcové matice, které vznikly z  tak, že jsme vzali pouze jejich prvních sloupců. Potom pro každé kladné přirozené číslo je řešením následující úlohy s neznámou

Obsah obrázku text, Písmo, bílé, řada/pruh

Popis byl vytvořen automatickymatice

* Neboli:

největších singulárních hodnot a k nim příslušné sloupce matic definují nejlepší aproximaci maticí o hodnosti

* + Obsah obrázku Písmo, text, bílé, řada/pruh

    Popis byl vytvořen automatickyZbylých singulárních hodnot říká, jak dobrá je to aproximace:
* Obsah obrázku text, Písmo, snímek obrazovky, design

  Popis byl vytvořen automatickyMísto Frobeniovy normy můžeme použít klasickou vektorovou normu:

= **spektrální norma**

* + Rovná se největší singulární hodnotě matice :

**19. Hladká optimalizace (bez vazeb), spádové metody, volba směru a délky kroku.**

NI-PON

* **Totální derivace**
  + Obsah obrázku Písmo, text, řada/pruh, typografie

    Popis byl vytvořen automatickyMějme funkci , kde je otevřená množina. Řekneme, že je **(totálně) diferencovatelná** v bodě , pokud existuje lineární zobrazení takové, že:
  + Pokud je diferencovatelná v , pak takové lineární zobrazení existuje právě jedno **= (totální) derivace** funkce bodě =nebo .
  + **Jacobiho matice** = matice lineárního zobrazení
  + Mějme funkci , kde a . Pokud existuje a je spojitá na otevřeném okolí bodu pro všechna potom existuje

= **spojitě diferencovatelná** funkce

* **Řetězové plavidlo**
  + Obsah obrázku text, Písmo, bílé, typografie

    Popis byl vytvořen automatickyMějme funkci , kde , a , kde . Je-li funkce diferencovatelná v a funkce diferencovatelná v , potom je funkce diferencovatelná v  a platí:
  + Speciálně pro :
* Obsah obrázku Písmo, text, řada/pruh, typografie

  Popis byl vytvořen automaticky**Gradient** – směr největšího růstu – na derivaci ve směru funkce v bodě můžeme nahlížet jako na derivaci jednorozměrné funkce v bodě 0, . Pak

pro bod 0:

* Obsah obrázku Písmo, text, typografie, Grafika

  Popis byl vytvořen automaticky**Optimalizace** hledáme

pro (dvakrát) spojitě diferencovatelnou

* + Řešení iteračními metodami konstrukce posloupnosti aproximací konvergující k bodu, který je vhodným kandidátem na lokální minimum funkce (typicky nulový gradient)
  + **Trust region** přístup – na okolí bodu vytvoříme aproximaci funkce , označené , a hledáme minimum této aproximace na okolí bodu
    - Další aproximace je
  + **Line search –** aproximaci hledáme ve směru :

kde nebo nějaká aproximace řešení této podúlohy

* Line search – **směr spádu**

kde je zvolený směr a je délka kroku

* + Obecná volba směru = **směr spádu** (descent) =
  + Časté volby směru: **:**
    - Metoda největšího spádu (steepest descent)
    - Newtonova metoda
    - Kvazi-Newtonova metoda
    - Je-li pozitivně definitní, jedná se o spádový směr
* Ideální volba do je minimem funkce

= **exact** line search

* + Výpočetně složité hledání vhodné délky kroku, která zajistí dostatečný pokles funkční hodnoty

= **inexact** line search

* **Armijova podmínka**:

kde

funkční hodnota má ležet **pod zvolenou přímkou**, nalezený krok by ale neměl být příliš malý

* + Obsah obrázku text, Písmo, snímek obrazovky, bílé

    Popis byl vytvořen automatickyKlasický algoritmus:



* **Goldsteinova podmínka**:

kde

funkční hodnota má ležet **mezi zvolenými přímkami**

omezuje se nevhodná možnost, že nalezený krok bude příliš malý

* + Nevýhoda – můžeme minout optimální hodnotu pro
* **Wolfeho podmínky**:
  + Obsah obrázku Písmo, typografie, rukopis, kaligrafie

    Popis byl vytvořen automatickySlabá podmínka:

kde

* + Obsah obrázku Písmo, typografie, text, kaligrafie

    Popis byl vytvořen automatickySilná podmínka:

kde

* + Přidání absolutní hodnoty derivace nebude mít moc velké hodnoty
  + Pro spojitě diferencovatelnou a sdola omezenou vždy existuje splňující Wolfeho podmínky
* **Metoda největšího spádu**
  + a
  + **Největší spád:** (ajo my vlastně jdeme proti směru gradientu, co? PROTI SMĚRU NEJVĚTŠÍHO RŮSTU)
    - ()
  + Obsah obrázku text, Písmo, řada/pruh, snímek obrazovky

    Popis byl vytvořen automatickyPlatí
  + 
  + Obecně vyžaduje vyšší počet kroků ke konvergenci, pro hůř podmíněnou je moc pomalá – při použití nepřesné volby délky kroku nebude rychlejší
* **Newtonova metoda**
  + Obsah obrázku Písmo, text, řada/pruh, typografie

    Popis byl vytvořen automatickyMáme aproximaci a posunutí . Pro platí:
  + Obsah obrázku Písmo, text, typografie, design

    Popis byl vytvořen automatickyOptimální **minimalizace** funkce :
  + Po parciální derivaci 1. rovnice:



* + Pokud není **pozitivně definitní**, pak nemusí být spádový směr!
  + Obsah obrázku text, Písmo, řada/pruh, číslo

    Popis byl vytvořen automaticky
  + Poblíž řešení bude délka kroku splňovat Wolfeho podmínky s výchozí délkou kroku blízko 1 budou nalézat podobné kroky a kvůli výpočetní složitosti se délku nevyplatí optimalizovat
  + **Modifikace Newtonovy metody**
    - Matice (= Hessián) nemusí být pozitivně definitní nemusí existovat inverze
    - **Inverzi chceme**, abychom mohli vyřešit modifikace
    - Nastavení matice tak, aby byla **pozitivně definitní**:
      * Změna záporných vlastních čísel
      * Přičtení kladné diagonální matice
      * Modifikace nějakého rozkladu matice
    - Pokud jsou čísla podmíněnosti matice omezená, pak lze dokázat, že modifikace bude konvergovat
* **Stochastický gradientní sestup** 
  + Obsah obrázku Písmo, číslo, text, řada/pruh

    Popis byl vytvořen automatickyMinimalizovaná funkce ve tvaru sumy:

…ztrátová funkce pro -tý vzorek

… parametry modelu

* + **SGD** (Stochastic gradient descent) – začíná s aproximací a iteruje podle schématu:

… náhodné z uniformního rozdělení

… **míra učení** (learning rate)

* + Výhoda = nízká výpočetní složitost, pro konvexní funkce konvergence skoro jistá
  + **Obsah obrázku text, Písmo, řada/pruh, bílé

    Popis byl vytvořen automatickyModifikace SGD** – většinou modifikace míry učení nebo implementace setrvačnosti (vliv předchozích změn)
    - **Adagrad**:
      * Vektorové operace po složkách
      * , abychom nedělili 0
    - **Momentová metoda**:
      * … faktor zapomínání menší než 1 (typicky 0.9)

**20. Časové řady: aditivní a multiplikativní dekompozice, momenty (střední hodnota, rozptyl, autokovariance). Druhy stacionarity a rozdíl mezi nimi. Základní vlastnosti náhodné procházky a bílého šumu.**

NI-SCR

**Časové řady**

* **Časová řada** = soubor pozorování zíykaných v konkrétních časových okamžicích
  + Buď pravděpodobnostní prostor a množina indexů interpretovaných jako čas. Časovou čadou nazýváme množinu , kde jsou náhodné veličiny z
  + Pokud je z celých čísel, je do řada s diskrétním časem (tyhle tu teď řešíme), jinak se spojitým
* **Variabilita vývoje**
  + **Trend** – dlouhodobý vývoj střední hodnoty
  + **Sezónnost** – periodicky se opakující pravidelný vývoj časové řady
    - Zjištění periody – autokorelační funkce (ACF)
    - Pro analýzu sezónnosti nutno odstranit trend
  + **Cyklické změny** – nepravidelné fluktuace – např. ekonomické cykly – ne pevná perioda
  + Další **nepravidelné fluktuace**
* **Rozložení časové řady na složky**
  + Sloučení cyklických změn a nepravidelných fluktuací do jednoho
    - … pozorovaná veličina v čase t
    - … hodnota trendu
    - … sezónní složka
    - … nevysvětlitelná složka
  + 2 modely:
    - **Aditivní**:
      * Amplituda sezónních složek je cca stejná
    - **Multiplikativní** =
      * S rostoucím trendem se zvyšuje i sezónní amplituda
  + **Výběr modelu** – minimalizace součtu čtverců hodnot **autokorelační funkce** reziduí – říká, jaká míra korelace v zbyla
    - Od pozorované veličiny lze pro různé aplikace odečítat složku trendu nebo sezónnosti
    - Autokorelační koeficient – lineární korelace hodnot časové řady v různých časových okamžicích
      * Umožňuje odhalit opakující se vývoj řady
      * Značení pro časy
* **Náhodný proces** = posloupnost náhodných veličin , kde je z vhodné množiny indexů
* **Momenty** – popisují časové řady
  + **Střední hodnota**:
  + **Variance**:
  + **Autokovariance**:

**Stacionarita**

* **Striktní stacionarita** (silná) – řada je striktně s., pokud sdružená distribuce je stejná, jako sdružená distribuce pro všechna
  + Libovolný posun o čas nemá vliv na sdruženou distribuci a ta tedy závisí jen na časech pro libovolná
* **Slabá stacionarita** – řada je slabě s., pokud je invariantní vůči posunům v čase pouze v rámci momentů rozdělení do druhého řádu:
* Trend řada není stacionární
* Typy procesů podle stacionarity:
  + **Stacionární** – bez trendu a jednotkových kořenů, silně či slabě
    - Pokud je slabě stacionární proces, potom autokorelace závisí pouze na zpoždění mezi časy a :
  + **Trend-stacionární** – stacionární po odstranění lineárního/nelineárního trendu
  + **Stacionární po diferencování** (=procesy s jednotkovým kořenem) – stacionární po tolika diferencích, kolik mají jednotkových kořenů, ale jen za předpokladu, že nemají jiné kořeny uvnitř jednotkové kružnice
  + **Nestacionární**
* Testy stacionarity
  + **ADF** (Augmented Dickey-Fuller)
    - Uvažuje hypotézy:
  + **KPSS** – neparametrický test
    - Hypotézy:
    - Proces je **mean-reverting** = po šoku se vrací ke střední hodnotě
  + Výsledky testů: (významný – V = zamítám)

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| ADF | KPSS | Pravděpodobná vlastnost |
| V | N | stacionární |
| N | V | Nestacionární, ex. Jednotkový kořen |
| N | N | Nedostatek evidence, možná trend-stacionární |
| V | V | Heteroskedasticita, strukturální změna, … |

**Náhodná procházka a bílý šum**

* **Bílý šum**:
  + Normální bílý šum:
  + Zvuková syntéza, generátory náhodných čísel
* **Náhodná procházka** – uvažujeme diskrétní bílý šum . Proces je náhodný proces, pokud:
  + Modelování cen akcií, odhad velikosti webu

**21. Autoregresní modely (AR) a modely klouzavých průměrů (MA): základní vlastnosti modelů/procesů, jejich stacionarita. Zápis AR a MA, včetně zápisu pomocí operátoru zpoždění. Identifikace řádů AR a MA z autokorelačních funkcí a pomocí informačních kritérií.**

NI-SCR

* **Autokorelace**
  + **Lineární korelační koeficient** – určuje míru lineární nezávislosti mezi veličinami
    - a jsou nezávislé (opačně neplatí)
    - = kovariance
  + **Výběrový korelační koeficient** – pomocí výběrových variancí
  + **Parciální korelační koeficient**
    - 2 náhodné veličiny a , mezi kterými existuje závislost
    - a ovlivněny třetí -rozměrnou náhodnou veličinou
    - Pro měření korelace a je potřeba je od vlivu očistit
    - Nalezneme regresní přímky:
      * … nejlepší lineární přiblížení k  a
      * … rezidua očištěná od vlivu
    - Jejich korelační koeficient = **parciální korelační koeficient** mezi a **při daném**  –
    - Projeví se v sezónnosti v časové řadě – vyšší hodnoty korelace v periodách sezón
  + **Autokorelační koeficient** = lineární korelace hodnot časové řady v různých časových okamžicích
    - Umožňuje odhalit opakující se vývoj řady
    - Značení pro časy a
    - Pokud je slabě stacionární proces (= existují časově invariantní první 2 momenty ), potom autokorelace závisí pouze na zpoždění mezi a :
  + **Parciální autokorelační funkce**
    - **Parciální autokorelace zpoždění**
    - (auto)korelace mezi  a s odstraněním lineárního vlivu mezilehlých hodnot
* **Informační kritéria**
  + **AIC – Akaikeho informační kritérium**
    - … počet odhadovaných parametrů
    - … maximální hodnota věrohodnosti při daném modelu
    - Asymptoticky ekvivalentní ke křížové validaci
  + **BIC – Bayesovské informační kritérium**
    - … počet pozorování
  + Hodnotu AIC/BIC chceme minimalizovat
* **Operátor zpoždění –** lag operator nebo – pro zjednodušení zápisu

( je tam -krát)

**Autoregresní modely (AR)**

* Umožňují popis náhodného procesu na základě jeho předchozích realizací
* **Autoregresní model řádu** :
  + … **bílý šum**
  + … vektor **regresních koeficientů**
  + Zápis pomocí **operátoru zpoždění**:
* může být libovolné, ale vyšší řády nemusí dávat smysl – jak hlubokou minulost potřebujeme?
* AR procesy **nemusí být slabě stacionární –** kořeny charakteristické rovnice musí **ležet vně jednotkové kružnice** (tzn. )
* **Odhad parametrů** metodou nejmenších čtverců – odhad regresních koeficientů a
  + návrhová matice, vektor měření, šum
* **Odhad řádu** AR modelu
  + **ACF** – postupně klesá k nule, popř. klesá shora i zdola
    - Má mnoho významných lagů (stacionární AR procesy lze konvertovat do )
  + **PACF** – vrcholy do hodnoty řádu modelu, pak jdou strmě k nule
  + Obecný příklad (při bílém šumu )
    - Abs. hodnoty **ACF** budou zřejmě postupně klesat, protože je přímo ovlivněno atd.
    - Absolutní hodnoty **PACF** budou indikovat silnou korelaci mezi a , ale další hodnoty už by byly 0 kvůli očištění

**Modely klouzavých průměrů (MA)**

* Předchozí hodnota je **konstanta, šumová složka se propaguje –** nebere v potaz předchozí měření
* **Model klouzavých průměrů** řádu :
  + … váha toho, jak se šum propaguje
  + Zápis pomocí operátoru zpoždění:
* Prostřednictvím **bílého šumu** vystihuje **náhodné šoky** – nezávislé a stejně rozdělené
* Veličiny a jsou pro větší než řád modelu nekorelované, korelace a pro řád nenulová
* Prohodíme-li v kovarianci pořadí, změní se znaménko u
* **Odhad** MA modelu je složitý numerická optimalizace
* **Invertibilita MA procesů** – u MA nás zajímá místo stacionarity
  + MA proces 1. Řádu je ekvivalentní AR procesu řádu
  + **Charakteristický polynom** :
  + Jsou-li kořeny char. polynomu vně jednotkové kružnice, potom je MA proces invertibilní -
* **Odhad řádu** MA modelu
  + ACF – vrcholy do hodnoty řádu modelu, pak jdou strmě k 0
  + PACF – mnoho významných lagů (kvůli invertibilitě) – jako ACF u AR modelů
  + Obecný příklad (při bílém šumu )
    - není ovlivněna
    - Absolutní hodnoty **ACF** budou vysoké pro , ostatní nulové (šum iid)
    - Absolutní hodnoty **PACF** budou klesat k 0

**22. Smíšené modely ARIMA: základní vlastnosti modelů/procesů, integrování a diferencování. Zápis ARIMA, včetně zápisu pomocí operátorů zpoždění a diference, speciální případy podle hodnot p, d, q. Problém redundance parametrů.**

NI-SCR

* **Smíšené modely ARMA (p, q)**
  + Neznámé
  + Populární – flexibilní, ale mnoho neznámých
  + Většinou předpokládána normalita šumu
  + Ekonometrie – ceny akcií – MA šokové změny + AR vývoj na základě minulých cen
  + Rozšíření NARMA, ARIMA, SARIMA, VARMA, …
  + Předpoklad = **slabá stacionarita** – co když je porušena?
    - Odstranění trendu
    - Metoda diferencí – pokud nepomůžou 1. diference, pomohou často 2.
      * ARMA model, který tohle dělá, je ARIMA
      * ARIMA (3,2,1) je ARMA (3,1) se dvěma diferencováními
  + Zápis pomocí operátoru zpoždění (bez c):
* **Box-Jenkinsův přístup** k ARMA modelům

1. **Identifikace modelu** – posouzení stacionarity a sezónnosti časové řady, odhalení přítomnosti AR a MA části a jejich řádů (ACF/PACF), popř. transformace pro zajištění stacionarity
2. **Odhad parametrů** – MLE
3. **Ověření modelu** – posouzení nekorelovanosti reziduí a jejich slabé stacionarity v čase (ACF/PACF)

**Smíšené modely ARIMA (p, d, q)**

* **Parametry**:
  + – řád **autoregresní** části (AR)
  + – řád modelu **klouzavých průměrů** (MA)
  + – řád **diferencování**
* Zápis pomocí **operátoru zpoždění** (bez konstanty ):
* **Operátor diference** :
* Diferencování řady **odstranění trendu**
  + Počítáme veličiny
  + Diferencováním náhodné procházky dostaneme gaussovský bílý šum ()
    - Gaussovská náhodná procházka:
* Časové řady s **trendem nebo náhodnou procházkou** jsou vždy **silně pozitivně autokorelované**
  + V ACF vidíme velké korelace
  + V PACF typicky v 1. lagu a blízkou 1
* Časové řady s ACF v 1. lagu s hodnotami -0.5 a méně mohou být **přediferencované**
* Modely s d=1 typicky předpokládají **konstantní průměrný trend** (náhodná procházka s driftem)
* **AR** charakteristika může značit **poddiferencovanost** časové řady, **MA** pak **přediferencovanost**
* **Volba** :
  + , 2. diference málokdy, 3. je výjimka
  + Při nepoužíváme v ARIMA modelu konstantu
* **Role konstanty** v ARIMA modelu:
  + – konstanta zavádí nenulovou střední hodnotu a vyplatí se ji zkusit
  + – konstanta zavádí nenulový „průměrný“ trend, může se vyplatit
  + – konstanta by měla význam „trendu v trendu“, obvykle nechceme
* **Běžné ARIMA modely**:

|  |  |
| --- | --- |
| ARIMA (0, 0, 0) + c | Konstantní model |
| ARIMA (0, 1, 0) | **Model náhodné procházky** |
| ARIMA (0, 1, 0) + c | **Náhodná procházka s driftem** |
| ARIMA (1, 0, 0) + c | AR (1) |
| ARIMA (2, 0, 0) + c | AR (2) |
| ARIMA (1, 1, 0) + c | AR (1) na 1x diferencovaných datech |
| ARIMA (2, 1, 0) + c | AR (2) na 1x diferencovaných datech |
| ARIMA (0, 1, 1) | Jednoduché exponenciální vyhlazování = MA (1) na 1x dif. Datech |
| ARIMA (0, 1, 1) + c | MA (1) na 1x diferencovaných datech s konstantním lineárním trendem |
| ARIMA (1, 1, 2) | Lineární exponenciální vyhlazování s tlumeným trendem |
| ARIMA (0, 2, 2) | Zobecněné lineární exponenciální vyhlazování |
| ARIMA (1, 0, 0) + c | Podle toho, jaké parametry má drift :   1. **bílý šum** 2. **náhodná procházka** 3. **náhodná procházka s driftem** 4. řada oscilující mezi klad. a záp. hodnotami |

* **Obecná pravidla**
  + nebo
  + – složitější modely jsou řídké
  + Koeficienty blízké mohou pracovat proti sobě
  + Obecně volíme co **nejjednodušší** modely
  + Modely lze porovnávat kritérii **AIC, BIC**
  + Můžou existovat i složitější modely porušující pravidla
    - I tak by měly být malé
    - Problém složitých modelů – **redundance parametrů**
      * AR a MA části modelu pracují proti sobě – zvýšíme-li řády u obou, mohou se navzájem vyrušit zvyšuje se složitost :(