OMO

8 - MapReduce v NoSQL světě

- Principy MapReduce
- Motivační příklady
- Vybrané patterny: Sumarizační, filtrační, organizační, join patterny

Ing. David Kadleček, PhD
kadlecd@fel.cvut.cz, david.kadlecek@cz.ibm.com

Formulace problému

Úloha: Máme historická data o počasí mezi lety 2000 a 2015. Tato data obsahují průměrné teploty za jednotlivé dny a jednotlivé oblasti. Jsou uloženy v místech, kde se tato data sbírají. Chceme najít nejvyšší teplotu v každém roce z dat přes celou zeměkouli.

!

- **Problém kritické cesty:** Zpoždění stroje při řešení pod-úlohy by nemělo zpozdit následující milník nebo celou úlohu.
- **Spolehlivost jednotlivých částí systému:** Co kdyby vypadla některá komponenta systému
- **Rovnoměrné rozdělení úlohy:** Jak rozdělit úlohu na menší bloky tak, aby komplexita a časová náročnost byla odpovídající výkonnosti stroje => žádná samostatný stroj by neměl být přetížen nebo nevyužíván.
- **Jedna podčást úlohy se nespočítá:** Pokud některý ze strojů nespočítá výstup, tak nebudeme schopni vypočítat finální výsledek. Musí existovat mechanismus, který je schopný sestavit řešení i v této situaci.
- **Agregace výsledku:** Měl by existovat mechanismus pro agregaci výsledku, který generuje každý stroj do finálního výstupu.

=> ***MapReduce framework*** řeší tyto výzvy
=> Nutnou podmínkou je řešitelnost úlohy principem ***Rozděl a panuj***
=> Relaxuji řešení tak, že se spokojím i se **suboptimálním výsledkem**

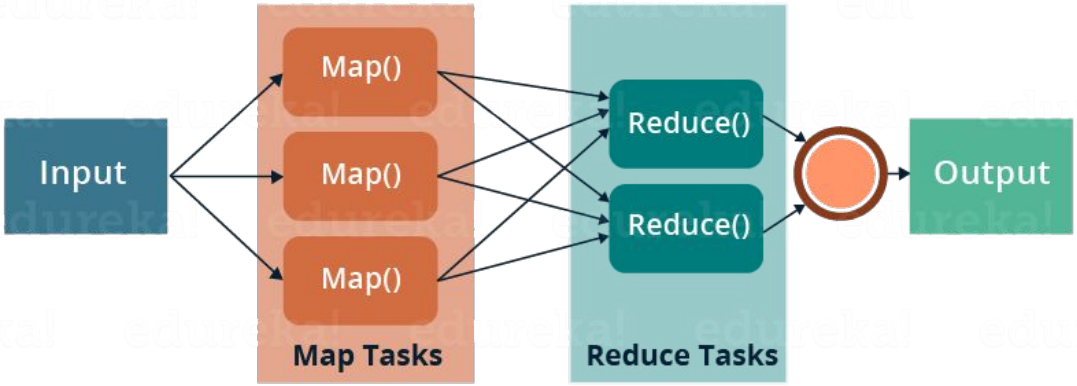
MapReduce framework

MapReduce je programovací framework, který umožňuje řešit úlohy, ve kterých se paralelně počítají úlohy nad obrovským množstvím dat, která se nacházejí v různých lokalitách. Pro řešitele je fyzické uložení dat, jejich distribuovanost, stejně jako distribuovanost výpočetního výkonu plně transparentní.

Funguje v následující sekvenci:

1. Input - načtení a preprocessing dat
2. **Map** - přemapování vstupních dat do key-value párů
3. Shuffle - kombinování (přeskládání) mezivýstupů pro reduce fázi
4. **Reduce** - redukce ~ agregace dat do menších key-value párů
5. Output - postprocessing a zápis dat

MapReduce is not a feature, but rather a constraint.



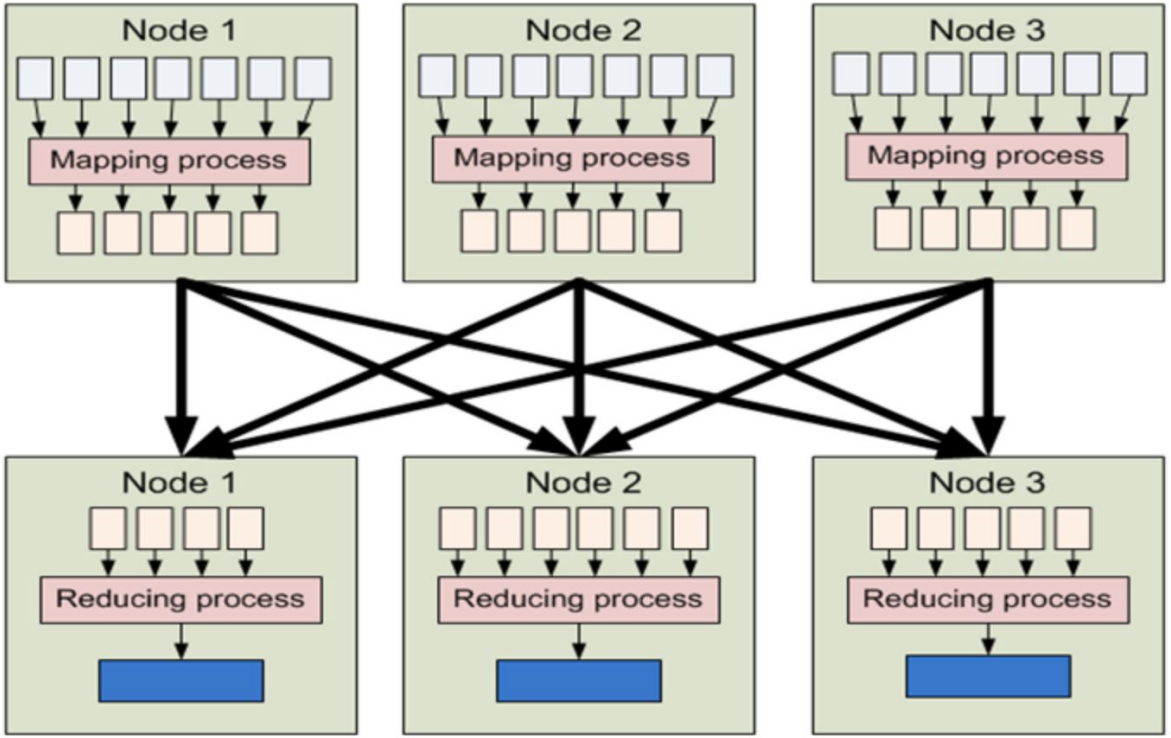
MapReduce framework

Lokálně přednačtená data

Data z mapovací fáze

Kombinační proces přesouvá data mezi mapovacím a redukčním procesem

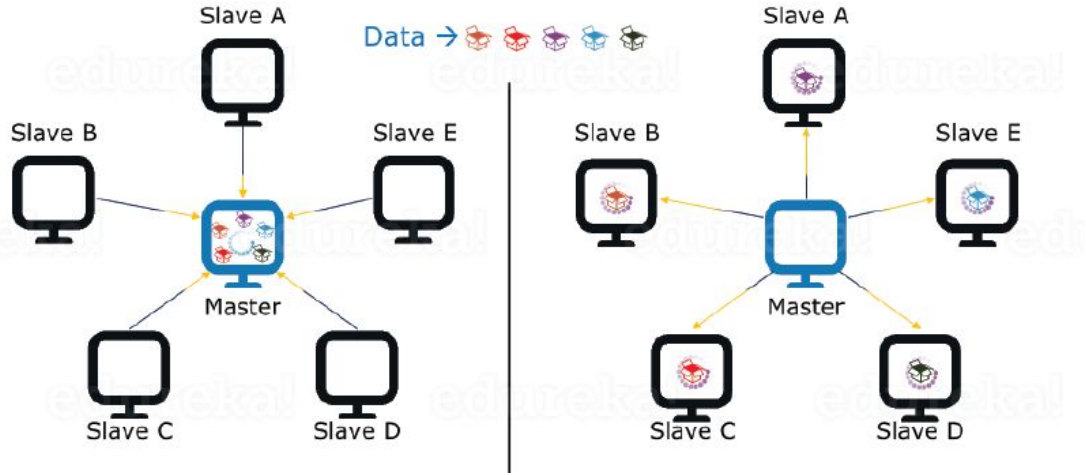
Redukční proces generuje výstuní data, která se lokálně ukládají



Výhody MapReduce

Paralelní zpracování - úloha je rozdělena na základě principu Rozděl a panuj a je řešena paralelně

Lokální zpracování - místo toho, abychom data přesouvali do centra, kde probíhá proces zpracování, tak přesouváme proces zpracování tam, kde jsou data



Map reduce framework - **mapovací** fáze

Mapovací fáze (probíhá na zdrojových/lokálních strojích):

1. **record reader** - parsuje vstupní data do jednotlivých záznamů (records). Nejčastěji do formy **<key, value>**, kde key kontextová data a value je vlastní obsah záznamu. Pozn. Klíč je později použit pro grupování, value je zpracovávána reducerem

2. **map** - mapuje *<key, value>* páry na jiné *<key, value>* páry.

3. ***combiner*** - je optional a jedná se o ***lokálně běžící reducer***, který je ale proveden v map fázi (důvod je performance)

4. **partitioner** - vezme *<key, value>* páry a rozdělí je do skupin, kde každá skupina je určena pro jeden reducer

Map reduce framework - **reduce** fáze

Reduce fáze (probíhá na cílových strojích):

- **shuffle and sort** - tato fáze probíhá automaticky na pozadí a programátor ji nemůže ovlivnit. Posbírá si připravené skupiny a přenese je na stroje, kde běží pro ně určené reducery.

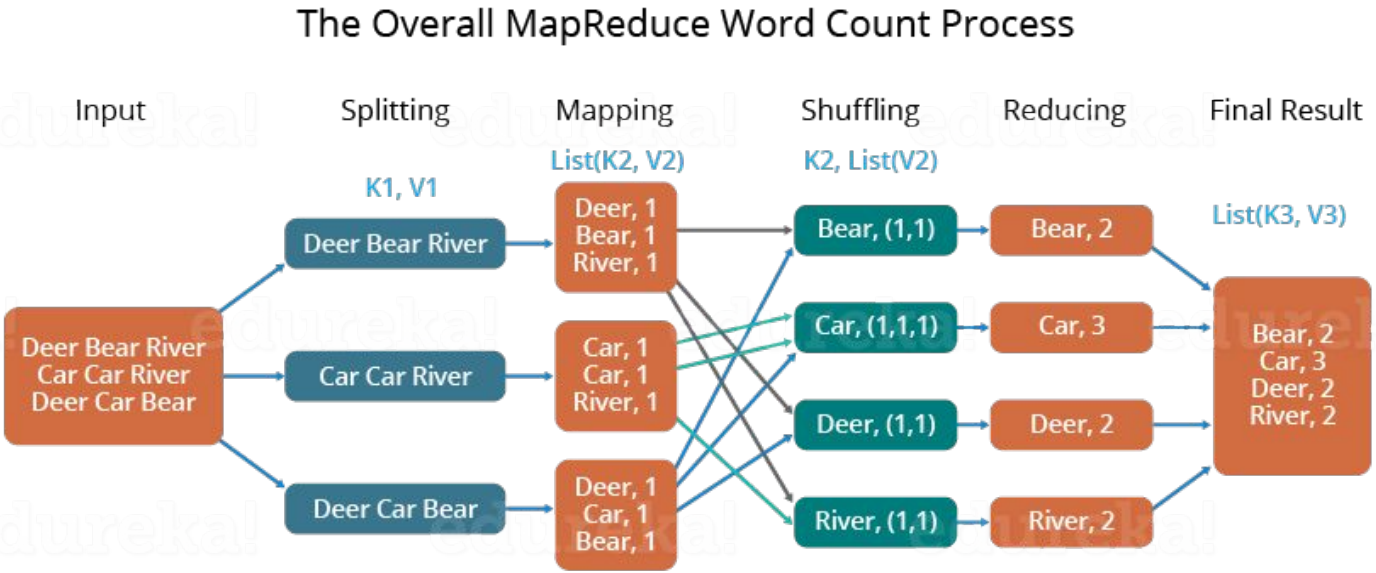
- **reducer** - provádí redukční operaci nad připravenými daty.

- **output format** - něco jako collector, který posbírá data z reduceru, zformátuje a zapíše n výstup (např. file)

MapReduce framework - příklad

Máme velké množství souborů uložených na různých strojích v různých lokalitách. Pro zjednodušení uvažujme jeden soubor *example.txt*, který má následující obsah: *Dear, Bear, River, Car, Car, River, Deer, Car, Bear*

Cílem je spočítat výskyty jednotlivých slov a ty zapsat na výstup



MapReduce framework - příklad

1. Nejprve rozdělíme vstup na tři kusy (může odpovídat i tomu, že máme soubory v různých lokalitách). Toto dělení rozkládá práci na více strojů.
2. Poté každý kus projdeme a přepíšeme do mapy key-value párů, kde klíč je slovo a value je hodnota 1 (výskyt)
3. Dále se data přeskládají tak, aby každý reducer zpracovával stejné slovo... a pošlou do reduceru.
4. Po fázi mapování a míchání bude mít každý reducer jedinečný klíč a seznam hodnot odpovídajících tomuto klíči. Například Bear, [1,1]; Auto, [1,1,1], atd.
5. Každý reducer nyní počítá hodnoty, které jsou v tomto seznamu hodnot přítomny. Reducer dostane seznam hodnot, které jsou pro klíč Bear [1,1]. Poté počítá počet těch v samotném seznamu a dává konečný výstup jako - Bear, 2.
6. Na závěr jsou všechny výstupní páry key-value posbírány a zapsány do výstupního souboru.

MapReduce framework - příklad

```
import org.apache.hadoop...
public class WordCount {
   public static class Map extends Mapper<LongWritable, Text, Text, IntWritable> {
       public void map(LongWritable key, Text value, Context context) throws IOException, InterruptedException {
           String line = value.toString();
           StringTokenizer tokenizer = new StringTokenizer(line);
           while (tokenizer.hasMoreTokens()) {
               value.set(tokenizer.nextToken());
               context.write(value, new IntWritable(1));
           }
       }
   }
   public static class Reduce extends Reducer<Text, IntWritable, Text, IntWritable> {
       public void reduce(Text key,Iterable<IntWritable> values,Context context) throws IOException,InterruptedException{
           int sum = 0;
           for (IntWritable x : values) {
               sum += x.get();
           }
           context.write(key, new IntWritable(sum));
       }
   }
```

Q: Co je proboha *static class*? A: Vnořené třídy se používají, pro lepší organizaci kódu. Static může být pouze vnořená třída. Taková třída nemá přístup k instančním proměnným obalující classy.

*OuterClass.NestedStaticClass printer = **new** OuterClass.NestedStaticClass();*

... versus pro non static inner class

*OuterClass outer = **new** OuterClass();*

*OuterClass.InnerClass inner = outer.**new** InnerClass();*

MapReduce framework - příklad

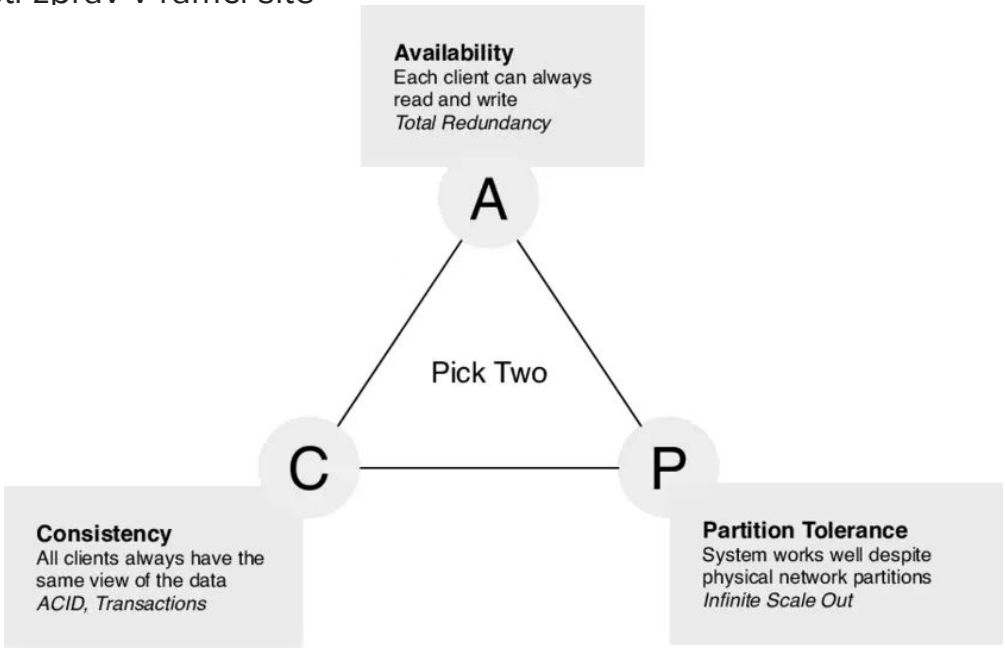
Při konfiguraci MapReduce jobu se nastaví třídy, které zpracovávají jednotlivé fáze MapReduce.

```
   public static void main(String[] args) throws Exception {
       Configuration conf = new Configuration();
       Job job = new Job(conf, "My Word Count Program");
       job.setJarByClass(WordCount.class);
       job.setMapperClass(Map.class);
       job.setReducerClass(Reduce.class);
       job.setOutputKeyClass(Text.class);
       job.setOutputValueClass(IntWritable.class);
       job.setInputFormatClass(TextInputFormat.class);
       job.setOutputFormatClass(TextOutputFormat.class);
       Path outputPath = new Path(args[1]);
//Configuring the input/output path from the filesystem into the job
       FileInputFormat.addInputPath(job, new Path(args[0]));
       FileOutputFormat.setOutputPath(job, new Path(args[1]));
//deleting the output path automatically from hdfs so that we don't have to delete it explicitly
       outputPath.getFileSystem(conf).delete(outputPath);
//exiting the job only if the flag value becomes false
       System.exit(job.waitForCompletion(true) ? 0 : 1);
   }
}
```

CAP Theorem

Tvrdí, že pro distribuované datové úložiště není možné poskytovat více jak dvě záruky z těchto tří:

- **konzistence** (Consistency): každé čtení vrátí buď výsledek posledního zápisu, nebo chybu
- **dostupnost** (Availability): na každý dotaz přijde (nechybová) odpověď
- **odolnost k přerušení** (Partition tolerance): systém funguje dál i v případě, že dojde ke zdržení či ztrátě části zpráv v rámci sítě

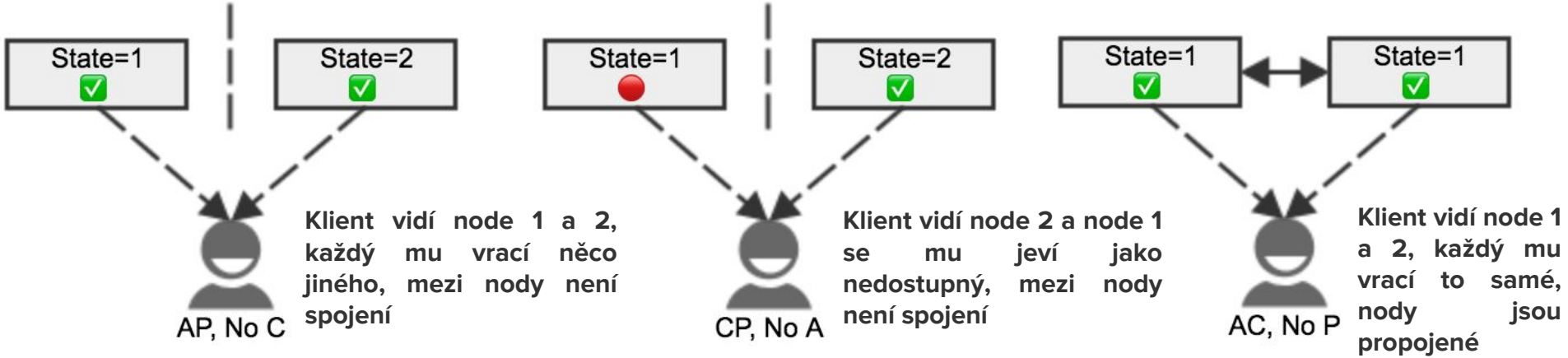


CAP Teorém

A - Availability

P - Partition Tolerance

C - Consistency



Výhody MapReduce

Mapreduce stojí na CAP theorému: pro distribuovaný systém není možné poskytovat více jak dvě záruky z těchto tří:

- **Consistency -** všechny klientské programy, které komunikují s distribuovaným systémem dostávají stejná data
- **Availability -** data lze získat z distribuovaného systému i v případě, že došlo k výpadku několika nodů
- **Partition tolerance -** distribuovaný systém funguje i když nelze komunikovat mezi některými nody

Sumarizační patterny - agregátor

Cíl: Zgrupování záznamů dohromady podle klíčového atributu a spočítání agregační funkce nad takto zgrupovanými záznamy. Pokud θ je obecná agregační funkce, tak jí aplikujeme na seznam hodnot (v1, v2, v3, ..., vn) abychom získali λ, kde λ = θ(v1, v2, v3, ..., vn). Příklady agregační funkce θ jsou *minimum, maximum, průměr, medián, standardní odchylka* a další.

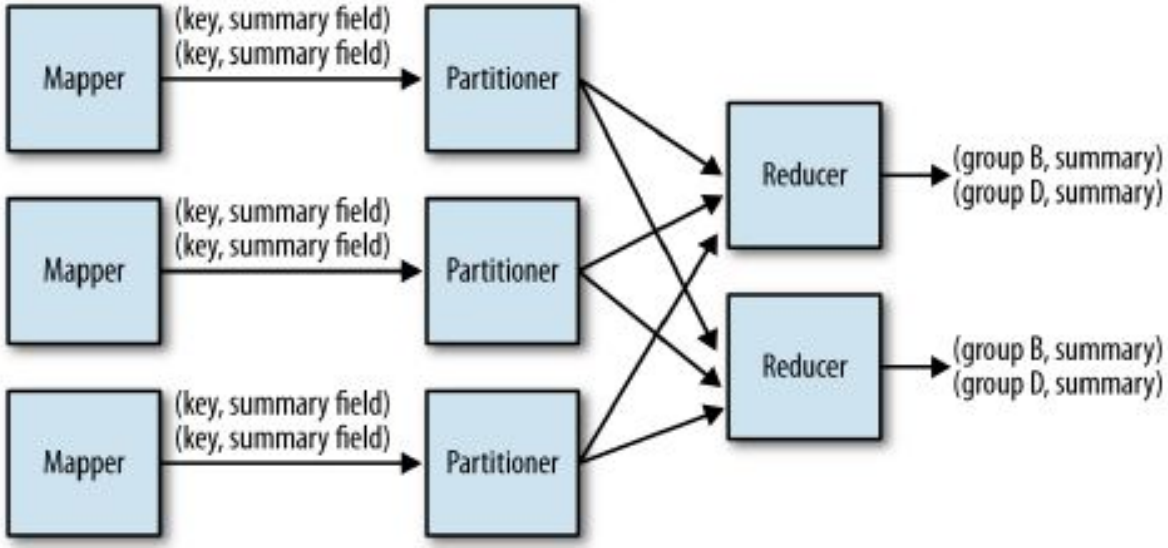
Motivace: Většina dat se kterými se člověk potkává je příliš jemná a v přílišném množství, aby z nich mohl člověk vypozorovat něco zajímavého.
Webová stránka loguje aktivity uživatele (login, uživatelské dotazy, další akce), výsledkem čehož jsou terabyty dat v log souborech.

⇒ Zgrupování aktivit podle hodiny a počtu záznamů nám umožní vytvořit histogram ze kterého vidíme, kdy je naše webová stránka aktivní

⇒ Zgrupování reklam podle typu ve spojení s aktivitou nám pomůže určit jak efektivní jsou naše reklamní bannery

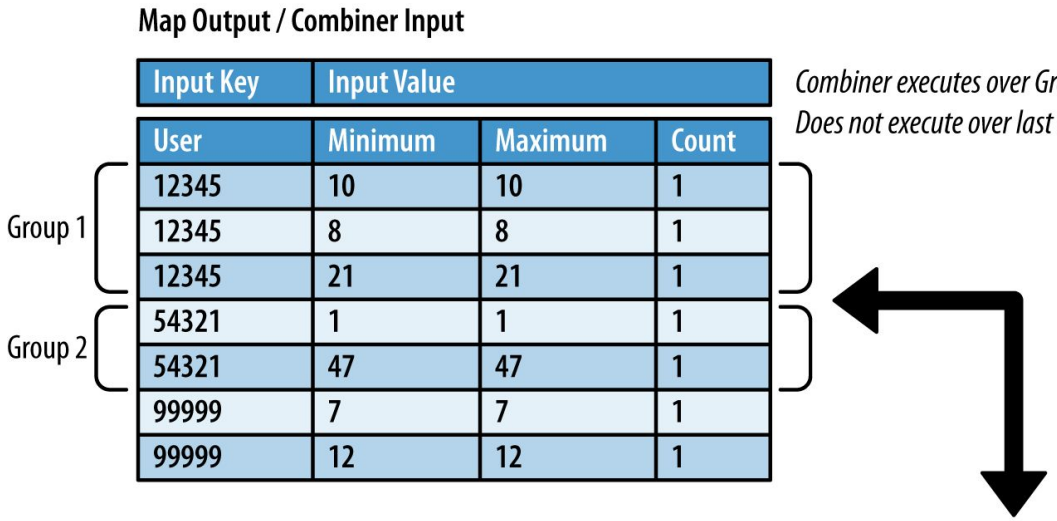
Snažíme se o něco podobného jako je SQL:
SELECT MIN(numericalcol1), MAX(numericalcol1), COUNT(*) FROM table GROUP BY groupcol2;

Sumarizační patterny – agregátor



Mapovací fáze: klíče obsahují hodnoty atributů podle kterých chceme grupovat a číslo, které budeme agregovat
Kombinační fáze: Sloučíme záznamy, které mají stejné klíče a ty pošleme do redukce
Redukční fáze: Reducer dostane skupinu a k ní seznam čísel které agreguje

Sumarizační patterny – agregátor



Např. explicitně excluded klíče nebo technický uživatel

Combiner Output / Reducer Input

Output Key	Output Value		
	Minimum	Maximum	Count
12345	8	21	3
54321	1	47	2
99999	7	7	1
99999	12	12	1

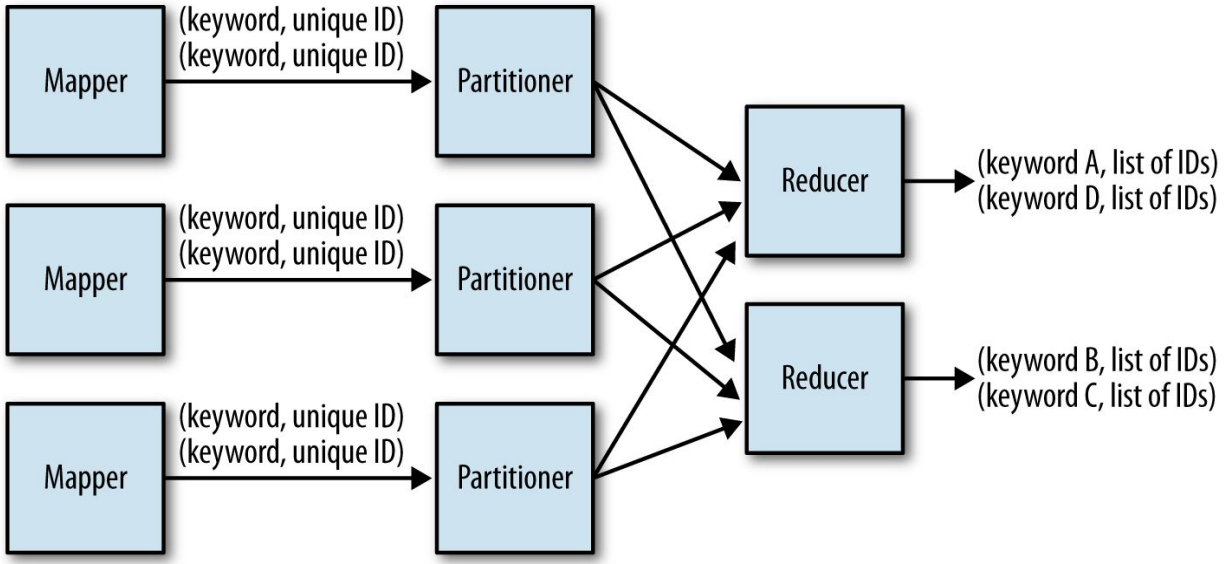
Inverzní index

Cíl: Vytvořit index k datům, abychom mohli provádět rychlejší hledání.

Motivace: Chceme vyhledávat ve webových stránkách pomocí klíčových slov. Procházet všechny stránky po zadání klíčového slova je nepoužitelné, protože trvá extrémně dlouho.

⇒ Projdeme všechny webové stránky dopředu a vytvoříme si mapu klíčové slovo – seznam webových stránek ve kterých se klíčové slovo vyskytuje. Konstrukce indexu sice trvá dlouho a zabírá místo, ale po jeho vytvoření lze každý dotaz provést extrémně rychle pouze lookupem z mapy.

Sumarizační patterny – inverzní index



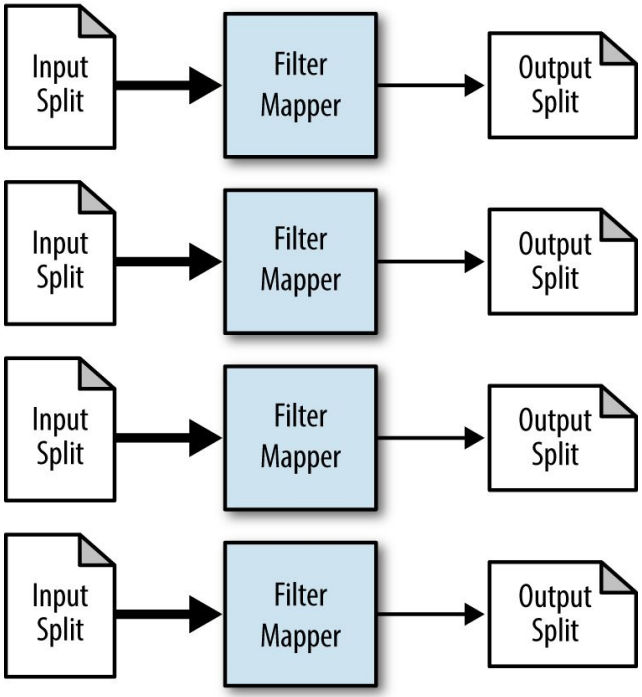
Filtrační patterny – filtr

Cíl: Profiltrovat data tak, abychom dostali ta, která jsou pro nás zajímavá a naopak se zahodila ta, která jsou nezajímavá. Jedné se vlastně o hromadnou aplikaci funkce f, která na záznam vrací true nebo false podle toho, zda je por nás záznam zajímavý

Motivace: Prohledáváme záznamy o plánovaných eventech a zajímají nás pouze takové, které mají něco společného s BigData. Slovo BigData je buď přímo v textu a nebo je event přímo otagován jako ”BigData”. Po vybrání pouze podmnožiny dat, která nás zajímá pokračujeme s analýzou pouze v této, výrazně menší množině.

Snažíme se o něco podobného jako je SQL:
SELECT * FROM table WHERE value <3;

Filtrační patterny – filtr



Příklady:

- Distribuovaný grep
- Tracking vlákna událostí – procházíme všechny logy na naše serveru a vybíráme záznamy, kde je uživatel Bobby Green
- Předčištění dat – procházíme záznamy a na výstup postupujeme pouze ty, které mají kompletní data
- Vybíráme náhodné vzorky dat z distribuovaných úložišť, abychom mohli provést prvotní analýzu –chceme méně dat, ale rovnoměrné zastoupení

Mapovací fáze: pokud nás záznam zajímá, tak ho posíláme dále na výstup, jinak ho zahazujeme
Kombinační a redukční fáze: není

Filtrační patterny – bloom filtr

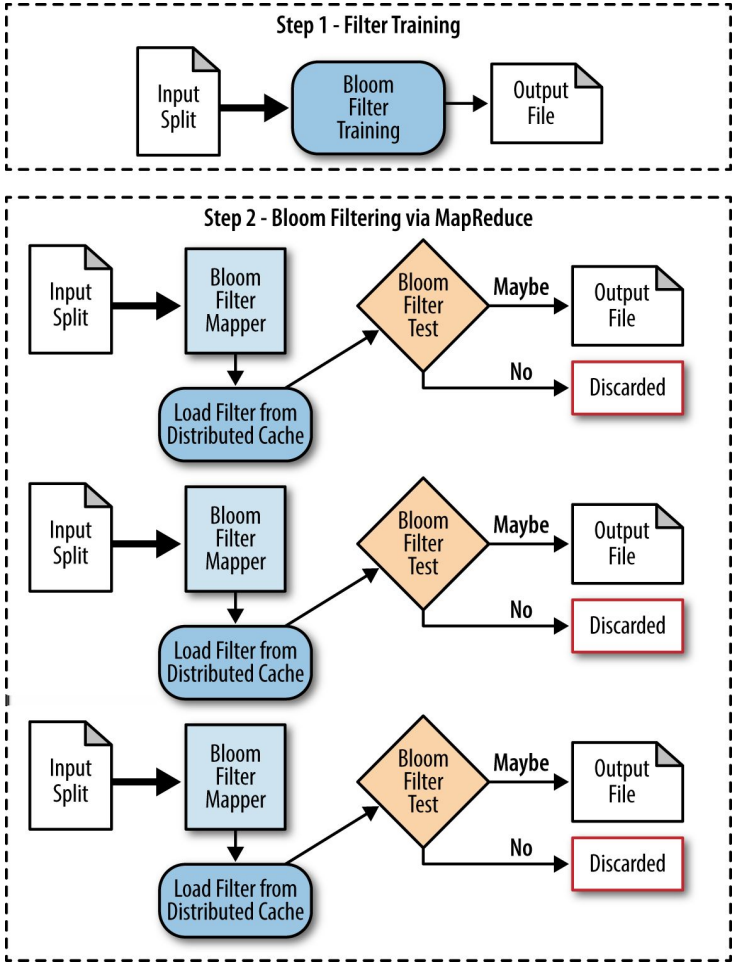
Cíl: Profiltrovat data tak, abychom dostali ta, ve kterých jsou zástupci z předem definované množiny. Ostatní se zahazují.

Motivace: Chceme vybrat pouze záznamy které se týkají předem definované skupiny uživatelů. Řešíme to tak, že ”natrénujeme” Bloom filtr na námi definované uživatele a nahrajeme ho do distribuované cache, která je dostupná z mapper jobů.
Nebo chceme realizovat systém, který bude kontrolovat chat, aby se v něm nevyskytovala vulgární slova

Filtrační patterny – bloom filtr

Mapovací fáze: Z distribuované cache se nahraje Bloom filter - v jednoduchém případě např. seznam slova a aplikace tohoto filtru na data

Kombinační a redukční fáze: není



Filtrační patterny – top ten

Cíl: Získat relativně malou skupinu K nejlepších záznamů podle nějaké ”ranking” funkce z velkého množství dat.

Motivace: Při statistické analýze dat chceme najít okrajové hodnoty (outliers) protože ty se nějakým způsobem odlišují od standardu a jsou pro nás důležité. Jestliže lze definovat ranking funkci, která je schopná porovnat dva záznamy, tak lze takto nalézt uspořádání, které funguje i přes veškeré záznamy. Tento pattern se nesnaží setřídit všechny záznamy přes všechna data, což je výpočetně extrémně náročné, ale vybrat menší množství dobře hodnocených záznamů.

Snažíme se o něco podobného jako je SQL:

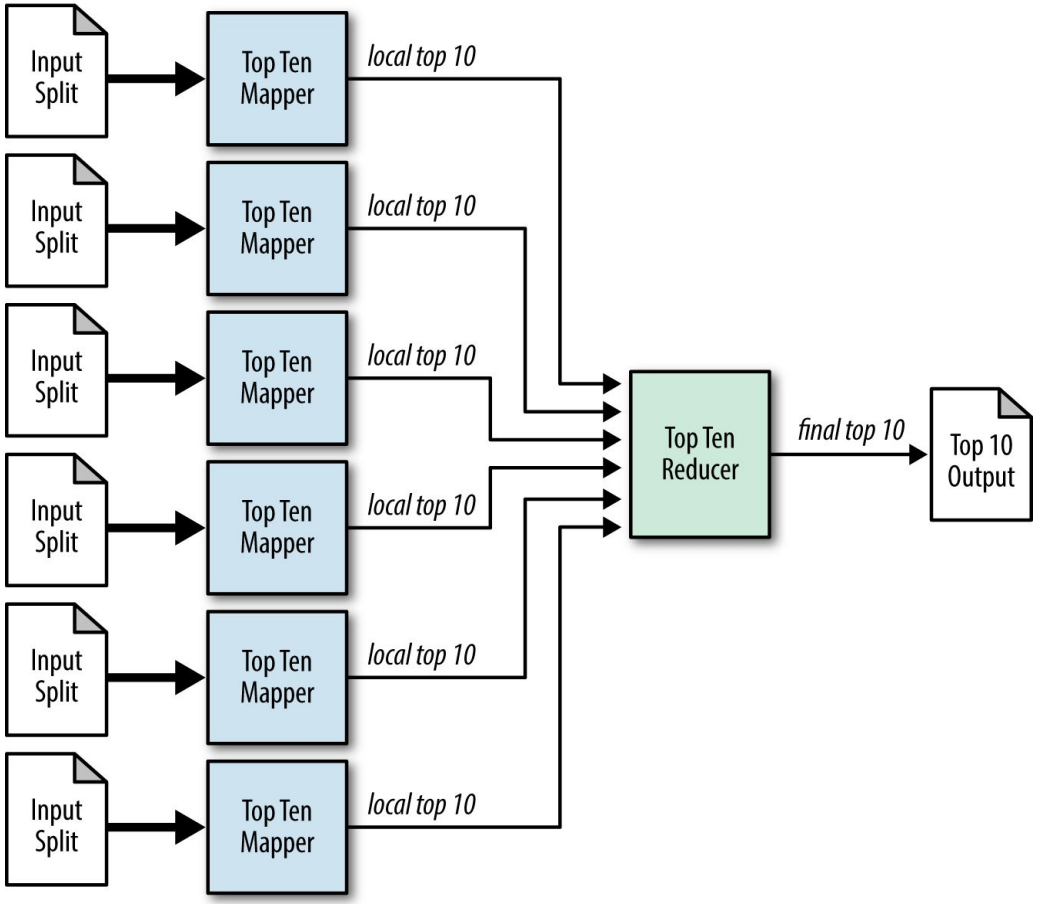
```
SELECT * FROM table ORDER BY col4 DESC LIMIT 10;
```

Filtrační patterny – top ten

Mapovací fáze: vybírá top ten lokální záznamy
Kombinační fáze: není
Redukční fáze: Reducer setřídí záznamy a vybere finální top ten skupinu

Příklady:

- Analýza okrajových hodnot (outliers)
- Výběr zajímavých dat podle value scoring funkce
- Top ten produkty



Filtrační patterny – distinct

Projde vstupní data, ale profiltruje je tak, aby výstupem byly pouze unikátní záznamy

Příklady:

- Deduplikace
- Zajímají nás typy záznamů, ale ne jejich počty

Řešení:

- Map => přemapujeme data do struktury, kde klíč jsou naše datové záznamy, které chceme mít unikátní a value je null
- Reduce => redukce spojí záznamy se stejným klíčem do jednoho páru <key, null>
- Output formatter zapíše na výstup pouze klíče

Join patterny – struktura do hierarchie

Cíl: Propojení záznamů mezi sebou podle nějakého klíče

Motivace: Chceme zmigrovat data z relační databáze do dokumentově orientovaného úložiště. Máme webové stránky s blogy na různé tématické okruhy. V rámci těchto blogů se zadávají příspěvky a k nim vznikají revize. Data jsou uložena v relační databázi.

⇒ V případě příchodu na stránku se její obsah poskládá z různých databázových tabulek, což je náročné

⇒ V rámci analýzy dat chceme korelovat délku příspěvku s délkou komentářů (komplikovaná join operace a pak extrakce dat) – jestliže bychom měli data grupovaná podle příspěvků tak, že jsou u nich komentáře a revize, tak je analýza jednodušší.

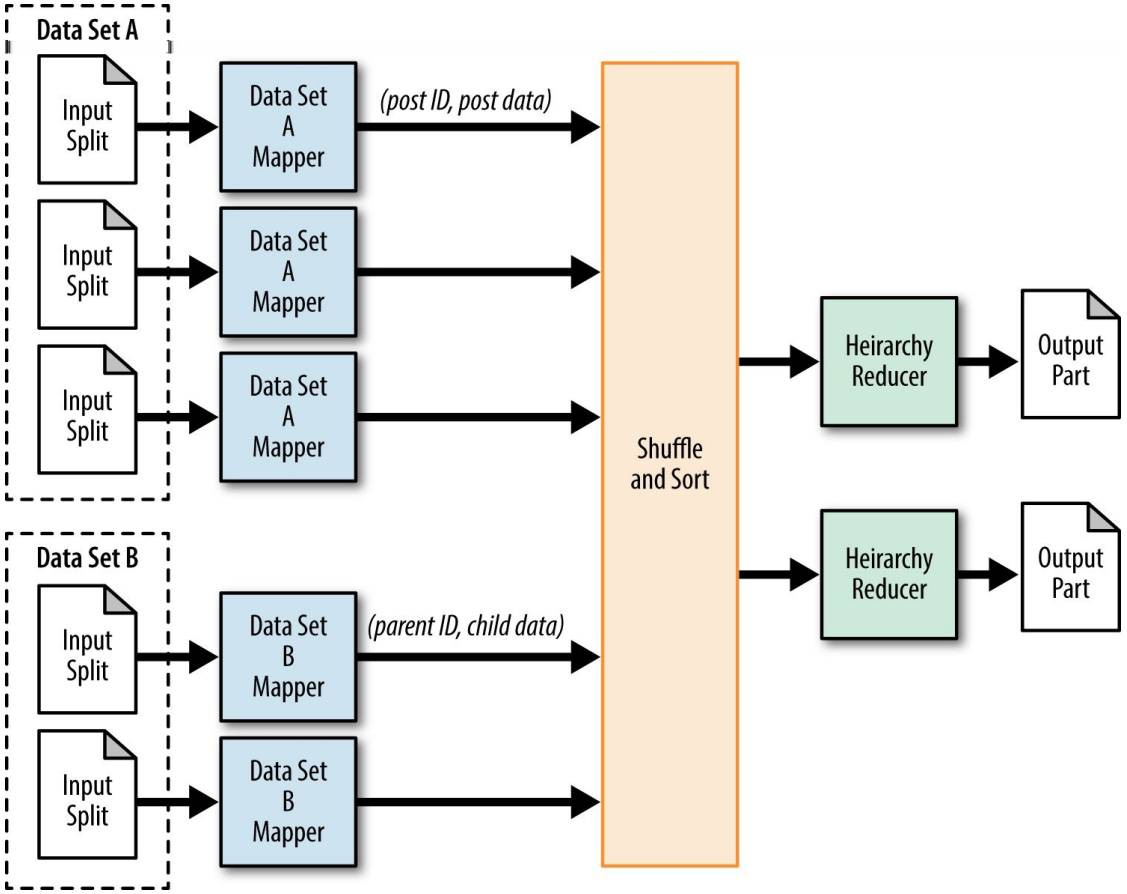
```
Posts
    Post
      Comment
      Comment
    Post
      Comment
      Comment
      Comment
```

Organizační patterny – struktura do hierarchie

Mapovací fáze: výstupní klíč odpovídá tomu jak chceme identifikovat kořen naší hierarchické struktury (např. postId, parentId=postId). Typ dat lze identifikovat např. tím, že vlastním datům dáme prefix (P pro Post, C pro Comment)
Kombinační fáze: nemá zde příliš význam
Redukční fáze: Reducer přebírá kolekci záznamů, které mají stejný klíč (tedy kolekci posts a comments se stejným postId"). Při iteraci pak přebalí data do cílového formátu - např. obalí xml tagy.

Příklady:

- Transformace dat pro MongoDB (dokumentově orientovaná databáze)
- Propojení dat přes klíč



Organizační patterny – struktura do hierarchie

```
public static void main(String[] args) throws Exception {
   Configuration conf = new Configuration();
   Job job = new Job(conf, "PostCommentHierarchy");
   job.setJarByClass(PostCommentBuildingDriver.class);
   MultipleInputs.addInputPath(job, new Path(args[0]), TextInputFormat.class, PostMapper.class);
   MultipleInputs.addInputPath(job, new Path(args[1]), TextInputFormat.class, CommentMapper.class);
   job.setReducerClass(UserJoinReducer.class);
   job.setOutputFormatClass(TextOutputFormat.class);
   TextOutputFormat.setOutputPath(job, new Path(args[2]));
   job.setOutputKeyClass(Text.class);
   job.setOutputValueClass(Text.class);
   System.exit(job.waitForCompletion(true) ? 0 : 2);
}
```

Organizační patterny – struktura do hierarchie

```
public static class PostMapper extends Mapper<Object, Text, Text, Text> {
       private Text outkey = new Text();
       private Text outvalue = new Text();
       public void map(Object key, Text value, Context context) throws IOException,InterruptedException {
           Map<String, String> parsed = MRDPUtils.transformXmlToMap(value.toString());
// The foreign join key is the post ID
           outkey.set(parsed.get("Id"));
// Flag this record for the reducer and then output
           outvalue.set("P" + value.toString());
           context.write(outkey, outvalue);
       }
   }
   public static class CommentMapper extends Mapper<Object, Text, Text, Text> {
       private Text outkey = new Text();
       private Text outvalue = new Text();
       public void map(Object key, Text value, Context context) throws IOException, InterruptedException {
           Map<String, String> parsed = MRDPUtils.transformXmlToMap(value.toString());
// The foreign join key is the post ID
           outkey.set(parsed.get("PostId"));
// Flag this record for the reducer and then output
           outvalue.set("C" + value.toString());
           context.write(outkey, outvalue);
       }
   }
```

Organizační patterny – struktura do hierarchie

```
   public static class PostCommentHierarchyReducer extends Reducer<Text, Text, Text, NullWritable> {
       private ArrayList<String> comments = new ArrayList<String>();
       private DocumentBuilderFactory dbf = DocumentBuilderFactory.newInstance();
       private String post = null;
       public void reduce(Text key, Iterable<Text> values, Context context) throws IOException, InterruptedException {
           post = null;
           comments.clear();
           for (Text t : values) {
// If this is the post record, store it, minus the flag
               if (t.charAt(0) == 'P') {
                   post = t.toString().substring(1, t.toString().length()).trim();
               } else {
// Else, it is a comment record. Add it to the list, minus the flag
                   comments.add(t.toString().substring(1, t.toString().length()).trim());
               }
           }
// If there are no comments, the comments list will simply be empty.
// If post is not null, combine post with its comments.
           if (post != null) {
// nest the comments underneath the post element
               String postWithCommentChildren = nestElements(post, comments);
               context.write(new Text(postWithCommentChildren), NullWritable.get());// write out the XML
           }
       }
   }
```

Organizační patterny – struktura do hierarchie

```
    private String nestElements(String post, List<String> comments) {
        DocumentBuilder bldr = dbf.newDocumentBuilder(); // Create the new document to build the XML
        Document doc = bldr.newDocument();
        Element postEl = getXmlElementFromString(post); // Copy parent node to document
        Element toAddPostEl = doc.createElement("post");
        copyAttributesToElement(postEl.getAttributes(), toAddPostEl); // Copy the attributes to the new element
        for (String commentXml : comments) { // For each comment, copy it to the "post" node
            Element commentEl = getXmlElementFromString(commentXml);
            Element toAddCommentEl = doc.createElement("comments");
            copyAttributesToElement(commentEl.getAttributes(), toAddCommentEl);
            toAddPostEl.appendChild(toAddCommentEl); // Add the copied comment to the post element
        }
        doc.appendChild(toAddPostEl); // Add the post element to the document
        return transformDocumentToString(doc);
    }
    private Element getXmlElementFromString(String xml) {
        DocumentBuilder bldr = dbf.newDocumentBuilder();
        return bldr.parse(new InputSource(new StringReader(xml))).getDocumentElement();
    }
    private void copyAttributesToElement(NamedNodeMap attributes, Element element) {
...
    }
    private String transformDocumentToString(Document doc) {
...
    }
}
```

Organizační patterny – struktura do hierarchie

```
    private String nestElements(String post, List<String> comments) {
        DocumentBuilder bldr = dbf.newDocumentBuilder(); // Create the new document to build the XML
        Document doc = bldr.newDocument();
        Element postEl = getXmlElementFromString(post); // Copy parent node to document
        Element toAddPostEl = doc.createElement("post");
        copyAttributesToElement(postEl.getAttributes(), toAddPostEl); // Copy the attributes to the new element
        for (String commentXml : comments) { // For each comment, copy it to the "post" node
            Element commentEl = getXmlElementFromString(commentXml);
            Element toAddCommentEl = doc.createElement("comments");
            copyAttributesToElement(commentEl.getAttributes(), toAddCommentEl);
            toAddPostEl.appendChild(toAddCommentEl); // Add the copied comment to the post element
        }
        doc.appendChild(toAddPostEl); // Add the post element to the document
        return transformDocumentToString(doc);
    }
    private Element getXmlElementFromString(String xml) {
        DocumentBuilder bldr = dbf.newDocumentBuilder();
        return bldr.parse(new InputSource(new StringReader(xml))).getDocumentElement();
    }
    private void copyAttributesToElement(NamedNodeMap attributes, Element element) {
...
    }
    private String transformDocumentToString(Document doc) {
...
    }
}
```

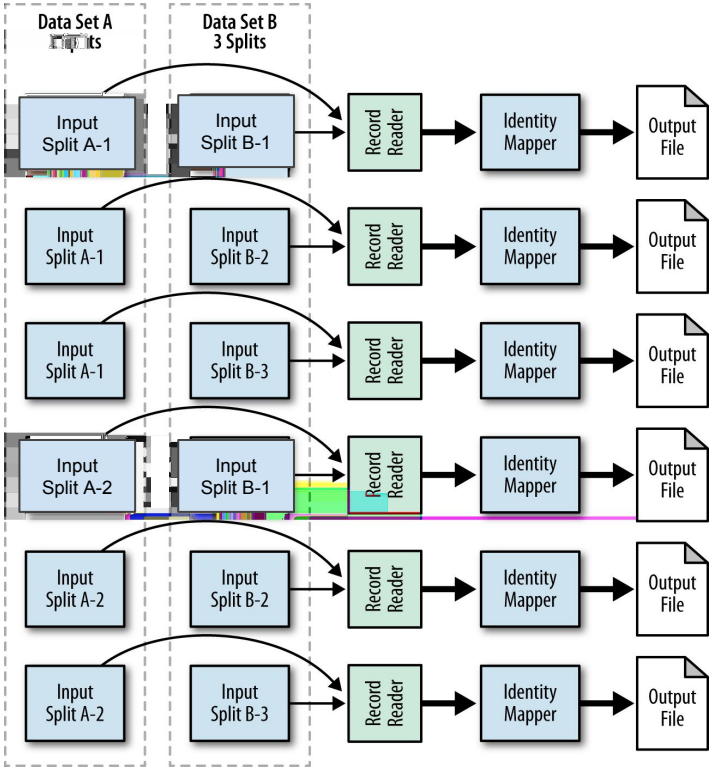
Join patterny – kartézský součin

Cíl: Propojení záznamů mezi sebou podle nějakého klíče

Motivace: Potřebujeme udělat párovou analýzu přes všechny záznamy. Tedy např. Potřebujeme spočítat vzájemnou korelaci pro všechny možné dvojice záznamů

Řešení:
Mám množiny (datové záznamy typů) A a B
s různými hodnotami:
A = { 1, 2}
B = { 1, 2, 3}

A chci prov9



Appendix (pro zajímavost)

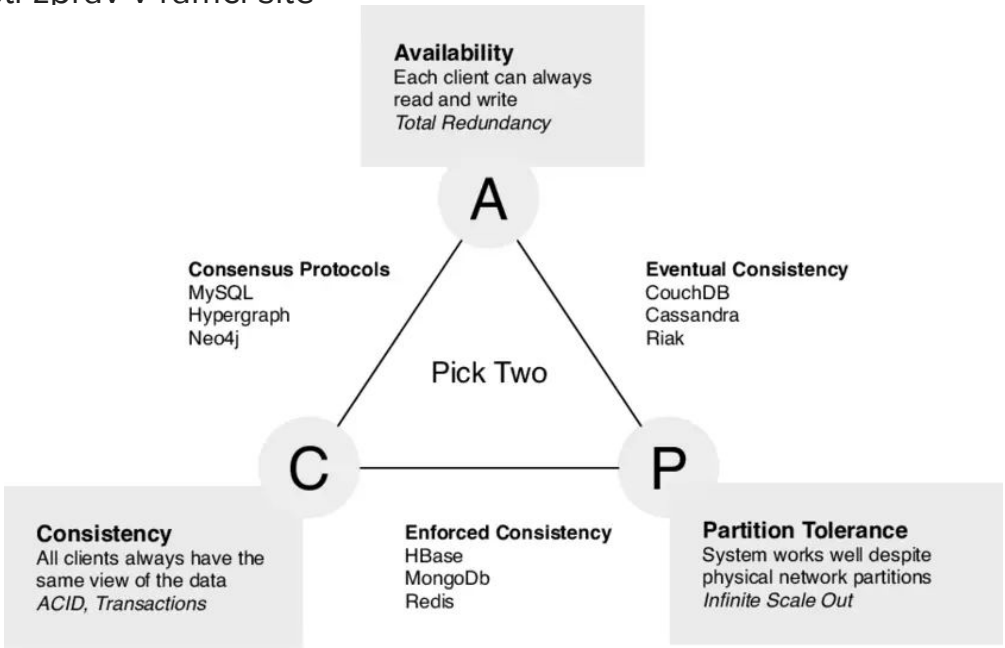
NoSQL vs SQL databáze

	NoSQL	SQL
Model	Non-relational	Relational
	Stores data in JSON documents, key/value pairs, wide column stores, or graphs	Stores data in a table
Data	Offers flexibility as not every record needs to store the same properties	Great for solutions where every record has the same properties
	New properties can be added on the fly	Adding a new property may require altering schemas or backfilling data
	Relationships are often captured by denormalizing data and presenting all data for an object in a single record	Relationships are often captured in normalized model using joins to resolve references across tables
	Good for semi-structured, complex, or nested data	Good for structured data
Schema	Dynamic or flexible schemas	Strict schema
	Database is schema-agnostic and the schema is dictated by the application. This allows for agility and highly iterative development	Schema must be maintained and kept in sync between application and database
Transactions	ACID transaction support varies per solution	Supports ACID transactions
Consistency & Availability	Eventual to strong consistency supported, depending on solution	Strong consistency enforced
	Consistency, availability, and performance can be traded to meet the needs of the application (CAP theorem)	Consistency is prioritized over availability and performance
Performance	Performance can be maximized by reducing consistency, if needed	Insert and update performance is dependent upon how fast a write is committed, as strong consistency is enforced. Performance can be maximized by using scaling up available resources and using in-memory structures.
	All information about an entity is typically in a single record, so an update can happen in one operation	Information about an entity may be spread across many tables or rows, requiring many joins to complete an update or a query
Scale	Scaling is typically achieved horizontally with data partitioned to span servers	Scaling is typically achieved vertically with more server resources

CAP Theorem

Tvrdí, že pro distribuované datové úložiště není možné poskytovat více jak dvě záruky z těchto tří:

- **konzistence** (Consistency): každé čtení vrátí buď výsledek posledního zápisu, nebo chybu
- **dostupnost** (Availability): na každý dotaz přijde (nechybová) odpověď
- **odolnost k přerušení** (Partition tolerance): systém funguje dál i v případě, že dojde ke zdržení či ztrátě části zpráv v rámci sítě



CAP Theorem

Srovnej CAP theorem s ACID!

ACID, na kterém stojí tradiční systémy jako např. Relační databáze:

- **Atomicita** - Databázová transakce je jako operace dále nedělitelná (atomární). Provede se buď jako celek, nebo se neprovede vůbec (a daný databázový systém to dá uživateli na vědomí, např. chybovým hlášením).
- **Konzistence** - Při a po provedení transakce není porušeno žádné integritní omezení.
- **Izolovanost** - Operace uvnitř transakce jsou skryty před vnějšími operacemi. Vrácením transakce (operací ROLLBACK) není zasažena jiná transakce, a když ano, i tato musí být vrácena.
- **Trvalost** - Změny, které se provedou jako výsledek úspěšných transakcí, jsou skutečně uloženy v databázi, a již nemohou být ztraceny.