Návrh systémů IoT

5. Ukládání dat, databáze.

Stanislav Vítek
Katedra radioelektroniky
České vysoké učení technické v Praze

Databáze

- Databáze je místo, kam lze ukládat data a definovat operace, které s nimi lze provádět.
- Zdroje dat vhodné k ukládání
  - Logy webových/emailových serverů, routerů, ...
  - Sítě senzorů
  - Internet věcí
  - Stroje ovládané počítači

Např. jeden zámořský let Boeingu 777 vygeneruje odhadem 640TB dat

Data = hodnoty + časové značky

- Data jsou neměnná.
- Nová data = nový záznam.
- Čtení souvislé posloupnosti vzorků dat, např. pro generování grafu.
- Vysoce komprimovatelná data.
- Mazání obvykle ve velkém časovém úseku.
- Vysoká přesnost pro krátké časové období.
- Jednotlivé hodnoty nejsou tak důležité.

Typy databázových systémů

- Relační databázové systémy
  - Založeny na relačním modelu dat a relační algebře
  - Pro manipulaci s daty se nejčastěji využívá jazyk SQL
    - Structured Query Language
    - behaviorální popis problému
  - Zaručená konzistence dat
- NoSQL
  - Zaměření na výkon a rychlost zpracování
  - Vysoká škálovatelnost, schéma spravovaných dat se může měnit
  - Připouští dočasnou nekonzistenci

Relační databáze

- Základem relačních databází jsou databázové **tabulky**
- Tabulky jsou na sobě určitým způsobem závislé
  - existuje mezi nimi jistá logická vazba **relace**.
- Tabulky jsou též nazývány entitami
  - jsou chápány jako prvek reálného světa.
- Každá tabulka je tvořena **sloupci** a **řádky**
  - sloupce reprezentují vlastnosti této entity.

Relační databáze poprvé definoval v roce 1970 Edgar Codd (IBM Research Lab)

Záznamy v relační databázi

- Každý sloupec musí mít jedinečný název a určený datový typ
  - typicky **INTEGER**, **FLOAT**, **VARCHAR**, **TEXT**, **BLOB**, **DATETIME**
- Řádky tabulky reprezentují samotné záznamy (objekty) v databázové tabulce
- Každý řádek by měl mít svůj jedinečný identifikátor, podle kterého bude možné určit příslušný záznam - **klíč**.
  - Primární klíče slouží jako jednoznačný (unikátní) identifikátor záznamu (řádku)
  - Cizí klíče slouží k vyjádření vztahů (relací) mezi jednotlivými tabulkami

DML - příkazy pro manipulaci s daty

- SELECT – vybírá data z databáze.
- INSERT – vkládá data do databáze.
- UPDATE – edituje data v databázi.
- DELETE – odstraňuje data odpovídající podmínce.
- CALL – volá uložené procedury.
- LOCK TABLE – zamyká celé tabulky:
  - zámky čtení (READ)
  - zápisu (WRITE)

DDL - příkazy pro definici dabázových struktur

- CREATE - vytváří objekty databáze (i databázi samotnou).
- ALTER - mění strukturu databázových objektů.
- DROP - odstraňuje objekty databáze (tabulky, indexy, databáze).
- TRUNCATE - odstraní všechny záznamy z tabulky, přičemž zachová strukturu tabulky (objekt tabulky).
- COMMENT - umožní přidávat komentáře k objektům databáze.
- RENAME - změna názvu objektu databáze

DCL - příkazy pro řízení uživatelských práv

- GRANT – nastavuje uživatelská práva k tabulkám databáze.
- REVOKE – odebírá přístupová práva přidělená příkazem GRANT.

TCL - příkazy pro řízení transakcí

- COMMIT -- potvrzení provedení transakce.
- SAVEPOINT -- definuje záchytný bod transakce, ke kterému se lze během provádění transakce vrátit.
- ROLLBACK -- ruší transakci a vrací se zpět ke stavu původnímu.
- START TRANSACTION -- zahajuje blok transakce.
- SET TRANSACTION -- umožňuje změnit level izolace transakce globálně nebo pro aktuální session.

Tabulky

Tabulka 1: postavy

id	name	home
1	John	Winterfell
2	Tyrion	Casterly Rock
3	Daenerys	Dragon Stone

```
CREATE TABLE characters
(
    id INT PRIMARY KEY,
    name VARCHAR (255),
    home VARCHAR (255)
);
```

Tabulky

Tabulka 2: epizody

episode	char_id	appeared
1	1	10
1	2	5
1	3	7
2	1	5
2	2	6
3	3	15

```
CREATE TABLE characters
(
    episode INT,
    char_id INT,
    appeared INT
);
```

SQL - vkládání, mazání a změna řádků

```
INSERT INTO characters
VALUES (1, ’John’, ’Winterfall’);

INSERT INTO characters
VALUES (2, ’Tyrion’, ’Casterly Rock’);

INSERT INTO characters
VALUES (3, ’Daenerys’, ’Dragon Stone’);

DELETE FROM characters
WHERE name = ’John’ OR id = 3;

UPDATE characters SET
home = ’Winterfell’ WHERE id = 1
```

SQL - dotaz v jedné tabulce

```sql
SELECT id, name FROM characters WHERE id = 1;
```

id	name
1	John

```sql
SELECT * FROM characters WHERE id < 3;
```

id	name	home
1	John	Winterfell
2	Tyrion	Casterly Rock

SQL - dotaz ve více tabulkách, agregace

```
SELECT name, sum(appeared) as sum
FROM characters, appearance
WHERE id = character_id
GROUP BY id
```

name	sum
John	20
Tyrion	5
Daenerys	16

Transakce

Konzistence dat v databázi je zajištěnam pomocí transakcí. U relačních databází se jedná o princip **ACID** - **Atomicity** (atomicita), **Consistency** (konzistence), **Isolation** (nezávislost), **Durability** (trvanlivost).

- **Atomicita** Transakce musí proběhnout vcelku. Vyskytne-li se nějaká chyba v průběhu transakce, pak je celá transakce zrušena.
- **Konzistence** Transakce převede databázi z jednoho konzistentního stavu do jiného. Dojde k zápisu pouze platných dat, které dodržují integritní omezení
- **Nezávislost** Je-li spuštěno víc transakcí v jednom okamžiku, tyto transakce se navzájem neovlivňují. To znamená, že provedením částečné změny v databázi v průběhu transakce se projeví až po dokončení transakce.
- **Trvanlivost** Dokončení úspěšné transakce jsou data uložena v databázi natrvalo.

Škálování

- Škálování je schopnost systému, sítě nebo procesu zvládnout narůstající množství operací nebo objemu dat.
- Při škálování databází existují dva přístupy:
  - **vertikální**
    - Přidání dalších zdrojů v rámci stejné logické jednotky (CPU, RAM, HDD)
  - **horizontální**
    - Přidání dalších logických jednotek zdrojů - distribuované systémy
    - Tradiční model vyvažování zátěže, základ cloudu
    - Schopnost distribuovat jak data, tak zatížení jednoduchých operací na mnoha serverech bez sdílení RAM nebo diskového prostoru.
    - Horizontální škálování je považováno za modernější přístup.

Index

- Umožňují rychlejší vyhledávání v tabulce a nalezení odpovídajícího objektu (řádku)
- Tabulka může obsahovat více klíčů
- Nevýhodou je zpomalení aktualizace a místo potřebné pro strukturu indexů.
- Existují čtyři základní typy indexů:
    i. **Index** Někdy označován jako sekundární. Je vytvářen ve sloupcích, kde se nenachází primární klíč. Slouží k efektivnímu hledání záznamů, které jsou jiné než primární klíč.
    ii. **Primární** Tento index se vytváří ve sloupci, ve kterém se nachází primární klíč. V tomto sloupci je každá hodnota unikátní a žádná hodnota není neznámá.
    iii. **Unikátní** Jedinečný index zajišťuje dostupnost pouze neopakujících se hodnot, a proto je každý řádek jedinečný.
    iv. **Fulltextový** Podporuje efektivní vyhledávání slov v řetězcových datech.

Architektura databázových systémů

- Aplikační vrstva nebo vrstva UI představuje rozhraní pro všechny uživatele
- Logická vrstva obsahuje základní funkce řídicího systému relační databáze (RDBMS). Tato část systému obsahuje celou řadu implementací specifických pro dodavatele. Vztahuje se ke konkrétnímu databázovému modelu a používá jeho konstrukční dotazovací a manipulační prostředek.
- Datové soubory, které uchovávají uživatelská data.
  - Indexy pro rychlý přístup k datovým položkám, které obsahují určité hodnoty.
  - Statistické údaje s informacemi o datech v databázi. Jsou používány dotazovacím procesorem k výběru efektivních způsobů provedení dotazu.
  - Logy, které se používají ke sledování provedených dotazů. Tyto data mohou být využita třeba při obnovení databáze v případě selhání systému.

Python DBAPI

- https://peps.python.org/pep-0249/
- Definuje nízkoúrovňový přístup k DB z Pythonu
- Podpora hlavních SQL databází: MySQL, PostgreSQL, Oracle, ..., SQLite
- Klíčový koncept - Cursor
  - poskytuje metody pro spouštění SQL dotazů a získávání dat
  - pokud nemá databáze přímou podporu kurzorů, je kurzor emulován

Příklad relačních databáze - SQLite

- Jednoduchá databáze, která ukládá data v binární formě na lokální paměťové médium
- Podmnožina SQL jazyka
- Řádkový klient, podpora v řadě progamovacích jazyků včetně C, C++, Python, ...
- Použití: uživatelský profil v prohlížeči Mozilla, lokální storage v Androidu, ...
- Celá řada GUI nástrojů: SQLiteStudio, SQLite Database Browser

SQLite - vytvoření databáze

```
import sqlite3
from sqlite3 import Error

def create_connection(db_file):
        """ create a database connection to a SQLite database """
        conn = None
        try:
                conn = sqlite3.connect(db_file)
                print("SQLite version: ", sqlite3.version)
        except Error as e:
                print("Error: ", e)
        finally:
                if conn:
                        conn.close()

if __name__ == '__main__':
        create_connection("iot.db")
```

SQLite - vytvoření tabulky

```
def db_exec(conn, sql):
        """ execute a SQL command
        :param conn: Connection object
        :param sql:  SQL statement
        """
        try:
                c = conn.cursor()
                c.execute(sql)
        except Error as e:
                print(e)

sql_create_projects_table = """ CREATE TABLE IF NOT EXISTS values (
        id INTEGER PRIMARY KEY,
        timestamp DATETIME NOT NULL,
        temperature REAL NOT NULL,
        humidity REAL NOT NULL); """
```

SQL - dotazy nad daty

Vložení dat

```
insert into values (timestamp, temperature, humidity)
values (datetime(), 12.2, 65.5);
```

Získání dat

```
select * from values
```

Formátování dat

```
select
  strftime('%Y-%m-%d %H:%M:%S', datetime()),
  temperature,
  humidity
from values
```

SQL - vložení dat v Pythonu

```
def db_insert(conn, data):
        """ create a new record
        :param conn: the Connection object
        :param data: tuple of data
    :return: data from table
        """

        sql = """
        insert into values (timestamp, temperature, humidity)
        values (datetime(), ?, ?); """

        cur = conn.cursor()
        cur.execute(sql, data)
        conn.commit()

        return cur.lastrowid
```

SQL - získání dat v Pythonu

```
def db_fetch (conn):
        """ fetch data from table
        :param conn: the Connection object
        :return:
        """
        cur = conn.cursor()
        cur.execute("SELECT * FROM values")

        rows = cur.fetchall()

        for row in rows:
                print(row)
```

NoSQL databáze

- Vzrůstající objem a propojitelnost dat
- Ztráta předvídatelné architektury, nebo neznáme dopředu přesnou strukturu dat
- ACID zbytečně restriktivní
- Výpadek je normální a umíme na něj reagovat

- Kdy nepoužívat NoSQL
  - Potřebuji-li transakce
  - Chci mít pevnou strukturu (schéma)
  - Potřebuji spojovat tabulky

Rozdělení NoSql databází

- Dokumentové databáze (Document stored)
  - místo s řádkem pracují s dokumentem, CouchDB, MongoDB
- Databáze klíč – hodnota (Key-value)
  - důraz na rychlost, Memcached, Riak, Redis
- Time Series / Streaming Database Management Systems
  - InfluxDB
  - https://github.com/xephonhq/awesome-time-series-database

https://hostingdata.co.uk/nosql-database/

Key-value databáze

- Známé již od roku 1979
- Asociativní pole nebo hashovací tabulka s ukládáním hodnot podle unikátního klíče
- Jmenné prostory pro oddělení dat
- Serializovaná data (protokoly Apache Thrift, Protocol Buffers, ...)
- Rychlé vytvoření, rychlost práce s daty
- Základní API -- operace GET, PUT, DELETE

Dokumentové databáze

- Datový model dokument - datová struktura se samopopisným charakterem
- Dokumenty používají pro ukládání dat i pro komunikaci s klienty
- Relační i objektové mapování
- Vhodné pro úlohy, kde je vazba na reálné měnící se dokumenty

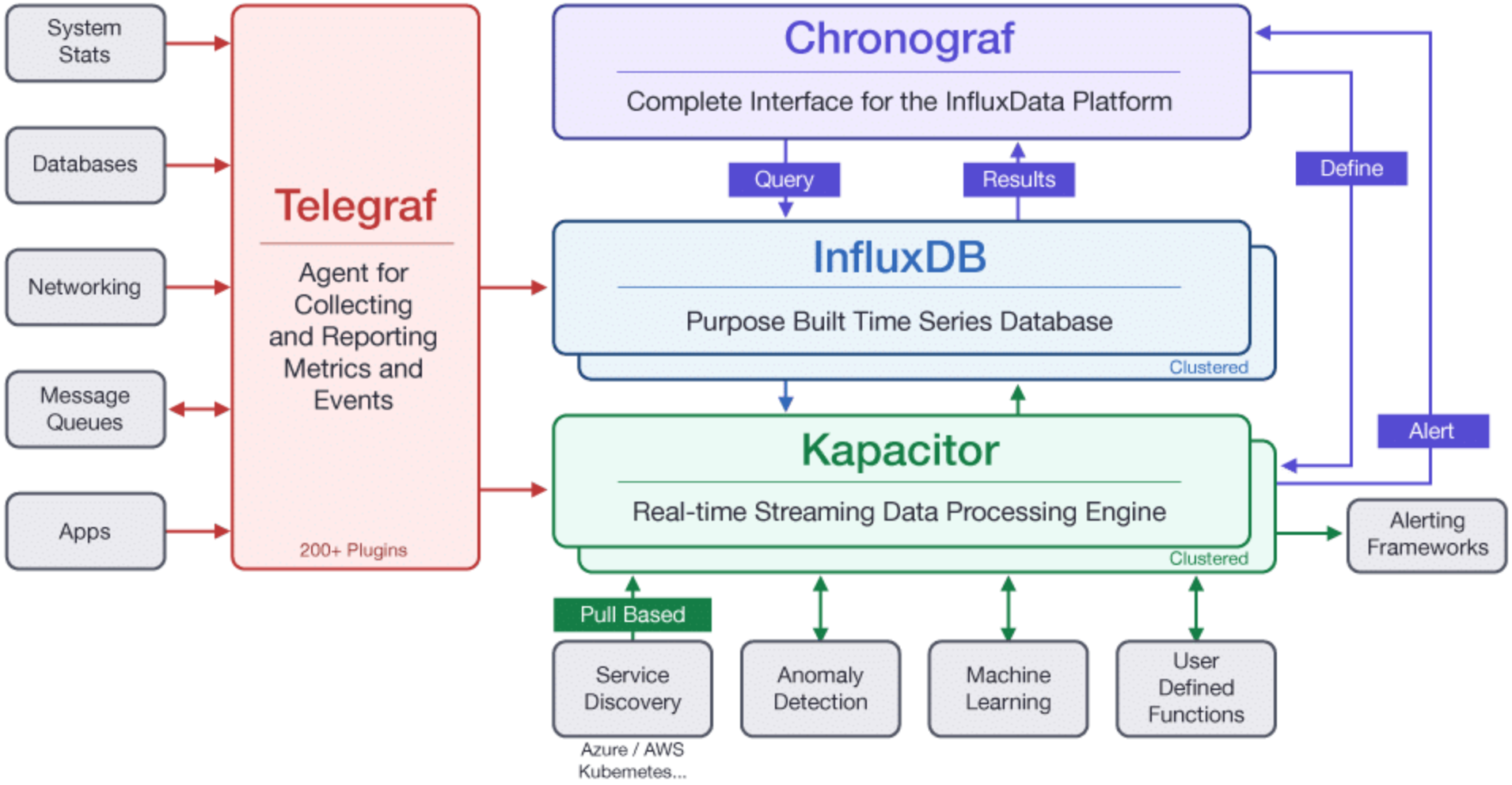
Databáze pro práci s časovými řadami

- Specializovaný DBMS optimalizovaný pro správu velkých objemů dat časových řad
- Optimalizované ukládání dat a sharding
- Podpora provozních funkcí (např. dotazy založené na rozsahu)
- Správa časové granularity
- Analýza a vytěžování časových řad

InfluxDB

- Open-source databáze časových řad (InfluxData)
- Napsáno v jazyce GO
- Dotazovací jazyk podobný SQL (InfluxQL) (<1.8)
- Dotazovací jazyk podobný JS (Flux) (>=1.8)
- Grafické rozhraní, rozhraní příkazového řádku (CLI) a rozhraní API HTTP
- Podpora distribuovaných nasazení
- Integrace s nástroji pro sběr dat v časových řadách, analytika a vizualizaci (např. Telegraf, Grafana).

InfluxDB - architektura



Telegraf

- Serverový agent řízený zásuvnými moduly pro shromažďování a vykazování metrik.
  - Pokud znáte cloudovou platformu, jako je AWS nebo Azure, jedná se v podstatě o Kinesis Data Streams nebo Stream Analytics.
- Telegraf má zásuvné moduly, které umožňují získávat různé metriky přímo ze systému, na kterém běží, stahovat metriky z rozhraní API třetích stran nebo dokonce používat statsd a Kafka.
- Telegraf má také výstupní pluginy pro odesílání metrik do různých dalších datových úložišť, služeb a front zpráv, jako jsou InfluxDB, Kafka, Graphite, OpenTSDB, Datadog a mnoho dalších.

Chronograf

- Chronograf je administrativní UI a vizualizační engine.
- Umožňuje
  - nastavení a údržbu monitorování
  - nastavení a správu alertů
  - správu databází
  - správu uživatelů a podporu organizací
- Je poměrně jednoduchý na používání a obsahuje šablony a knihovny, které umožňují rychlé vytvoření řídicího panelu s vizualizací dat v reálném čase a snadné vytváření pravidel pro upozorňování a automatizaci.

Kapacitor

- Kapacitor je nativní nástroj pro zpracování proudových dat.
- Dokáže zpracovávat proudová i dávková data z InfluxDB.
- Kapacitor umožňuje
  - zapojit vlastní logiku nebo uživatelem definovanou funkci pro zpracování výstrah s dynamickými prahovými hodnotami,
  - porovnávat metriky na základě vzorů,
  - vypočítávat statistické anomálie a provádět konkrétní akce na základě těchto výstrah, jako je dynamické vyrovnávání zátěže.

Data management a typy dat

- Časově strukturovaný strom sloučení (TSM)
  - datová struktura, která se používá k uložení setříděných, komprimovaných datových řad.
- Index časových řad (TSI)
  - adresuje miliony jedinečných časových řad bez ohledu na množství paměti na hardwaru serveru.
- Postupy automatického snižování vzorků (downsampling) a pronájmu dat (retention).

Uložení dat - bod časové řady

- Timestamp - časové razítko ve formátu RFC3339 UTC (rrrr-mm-ddThh:mm:ssZ)
- Field keys - řetězcová metadata, podobně jako název sloupce
- Field values - aktuální změřená data
- Tag sets - dodatečné informace o měřeních
  - Tag keys - řetězcová metadata, podobná klíčům polí
  - Tag values řetězcové hodnoty
- Measurement - Kontejner měření pro uložení časových značek, polí a tagy (podobně jako tabulka v RDBMS)

Organizace dat

Buckets - kolekce datových bodů, která obsahuje:

- Measurement
- Tag sets
- Retention policy
  - DURATION - pravidla pro časové oddobí, po které jsou datové body uchovávány v InfluxDB
  - REPLICATION - počet verzí, které by měly být uchovávány na clusteru

InfluxQL - základní příkazy

- CREATE DATABASE name
- USE DATABASE name
- SHOW DATABASES
- CLEAR DATABASE name
- CREATE RETENTION POLICY name ON measurement
- DURATION 1d REPLICATION 1
- INSERT treasures,captain_id=pirate_king value=2

FLUX - jazyk pro zkoumání dat

- Funkcionální přístup ke zkoumání a zpracování dat
- Inspirovaný jazykem Javascript
- Operátor pipe-forward (|>) umožňuje řetězit více dat.
  operací
- Každá datová operace manipuluje s tabulkou a vytváří novou tabulku jako výstup

```
from(bucket:"example-bucket")
|> range(start:-1h)
```

FLUX - příklady

```
from(bucket:"example-bucket")
|> range(start:-1h)
|> r._measurement == "temperature" and r.room == "kitchen"
```

```
from(bucket:"example-bucket")
|> range(start:-1h)
|> r._measurement == "temperature" and r.room == "kitchen"
|> aggregateWindow(every: 1m, fn: mean)
```