Univerzita Hradec Králové
Fakulta informatiky a managementu
katedra informatiky a kvantitativních metod

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Vert.x jako platforma pro distribuované webové aplikace

Autor: Michael Kutý

Vedoucí práce: doc. Ing. Filip Malý, Ph.D.

Hradec Králové, 2014

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci vypracoval samostatně a uvedl jsem všechny použité prameny a literaturu.

V Kroměříži dne 14. srpna 2014 Michael Kutý

Poděkování

Rád bych zde poděkoval doc. Ing. Filipu Malému, Ph.D. za odborné vedení práce, podnětné rady a čas, který mi věnoval.

Anotace

Cílem bakalářské práce je představit principy a terminologii platformy na teoretické úrovni a následně je ověřit na praktickém příkladu. Teoretická část se zaměřuje na popis architektury a její hlavní výhody pro distribuované webové aplikace. V praktické části bude vytvořena aplikace pro správu myšlenkových map. Aplikace se nasadí do dvou referenčních instalací. První do prostředí VirtualBox a druhá v prostředí privátního cloudu OpenStack v sítové laboratoři CEPSOS při UHK.

Annotation

The goal of this bachelor thesis, called Vert.x as a platform for distributed web applications is to introduce the principles and terminology platform on a theoretical level and subsequently verified on a practical example. The theoretical part focuses on the description of the architecture and its main advantages for distributed web applications. The practical part will be created by management mind map. Applications are inserted in the two reference installations. First in VirtualBox environment. The second installation will take place at OpenStack private cloud in the CEPSOS network laboratory at UHK FIM.

Obsah

1 Úvod

V současné době existuje nespočet frameworků[1]) pro vývoj webových aplikací v celé řadě programovacích jazyků. Výběr takového nástroje je pro danou aplikaci klíčový, protože je s aplikací po celý životní cyklus, může se s časem stát svazujícím a nedostačujícím. Na reimplementaci však již nemusí být čas nebo peníze. Většina webových aplikací tak dříve nebo později narazí na na problematiku škálování, kdy je třeba rozložit aplikaci na více serverů ať už pro zajištění vysoké dostupnosti nebo kvůli velké výpočetní náročnosti. Dnes také není nic neobvyklého, že aplikaci najednou začnou navštěvovat řádově tisíce klientů za minutu. Z dříve rychlé a spolehlivé aplikace se tak může stát nestabilní aplikace s nepřiměřenou odezvou.

Právě proto, jsem se rozhodl pro hlubší zkoumání v dané oblasti webových aplikací. V první části bakalářské práce popisuji architekturu a jednotlivé technologie, které mě motivovaly k hlubšímu studiu platformy Vert.x. V hlavní části práce následuje návrh, implementace a nasazení jednostránkové webové aplikace. V závěru je pak shrnutí kladů a záporů platformy.

1.1 Cíl a metodika práce

Hlavním cílem mé práce je zjištění zda-li se platforma Vert.x hodí pro vývoj distribuovaných webových aplikací. Vytvoření jednoduchého webového editoru pro správu myšlenkových map. Na této jednoduché aplikaci bude demonstrována architektura a nasazení aplikace na více serverů pro zajištění vysoké dostupnosti. Zdrojové kódy včetně návodu na spuštění aplikace jsou umístěny veřejně na serveru Github[2] a na přiloženém médiu.

Je nutné uchopit problematiku platformy Vert.x v širších souvislostech, proto se práce snaží neopomenout všechny technologie, které s Vert.x souvisí, z kterých Vert.x vychází nebo které přímo integruje. V teoretické části bude čtenář seznámen s důležitými filozofiemi, které platforma nabízí.

Cílem teoretické části je tedy popsat jednotlivé architektonické prvky a komponenty platformy, jejich účel či problém, který řeší. V závěru teoretické části bude platforma

[1] jeho cílem je převzetí typických problémů dané oblasti, čímž se usnadní vývoj tak, aby se návrháři a vývojáři mohli soustředit pouze na své zadání

[2] www.github.com/michaelkuty

srovnána s nástrojem Node.js. Srovnání bude obsahovat test výkonnosti a porovnání vlastností.

Praktickou část tvoří implementace editoru pro správu a tvorbu myšlenkových map. Tyto mapy bude moci spravovat více uživatelů najednou v reálném čase. Budou popsány a vysvětleny aspekty komunikace v reálném čase včetně samotného nasazení webové aplikace na jednotlivé servery, kde bude prověřena funkčnost distribuovaného provozu aplikace v režimu vysoké dostupnosti.

1.2 Postup a předpoklady práce

Práce předpokládá základní znalost programovacího jazyku Java a JavaScript. Teoretická část se neomezuje pouze na nezbytný popis technologií potřebných k realizaci malé jednostránkové webové aplikace. Představuje stručný pohled na celou platformu Vert.x. Teoretická část může být použita jako odraz k hlubšímu studiu daných technologií a konceptů. Praktická část bude prokládáná ukázkami kódu nebo příkazy souvisejícími s vývojem webových aplikací. Práce předpokládá znalost základní terminologie související s programováním obecně. Méně zažité pojmy budou vysvětleny poznámkou pod čarou.

Při vývoji webové aplikace budou použity následující softwarové technologie:

- Vert.x 2.1.2: platforma pro vývoj webových aplikací
- MongoDB: dokumentově orientovaná NoSQL[3] databáze
- D3.js: framework pro práci s grafy
- JQuery framework pro práci s GUI[4]

[3] databázový koncept, ve kterém datové úložiště i zpracování dat používají jiné prostředky než tabulková schémata tradiční relační databáze

[4] Graphical User Interface

2 Platforma Vert.x

Dnešním trendem internetu jsou aplikace, kde klienti komunikují v reálném čase, proto se také často označují jako kolaborativní aplikace. Tyto aplikace s sebou přinesly drastickou změnu potřeb programátorů na jednotlivé nástroje. Často programátor zjistí, zda-li se mu výběr podařil až v pokročilé fázi vývoje, kdy už nevede cesta zpět. Objevilo se několik nástrojů, které přinesli revoluci na poli webových aplikací. Mezi ně patří například Node.js, Akka nebo Ruby Event Machine. Tyto nástroje si vydobyly své místo nejen pro možnost škálování na desítky tisíc klientů, což není v dnešní době nic neobvyklého.

Vert.x je projekt vycházející z Node.js, který podnítil závod o pokoření C10K[1] problému. Obě platformy poskytují asynchronní API, které si je co do zaměření velice podobné. Node.js, jak již název napovídá je napsán v jazyce JavaScript, zatímco Vert.x je implementován v Javě. Vert.x ale není pouhá reimplementace Node.js do jazyka Java. Platforma má svou vlastní unikátní filozofii a terminologii, která je diametrálně odlišná od Node.js.

2.1 Historie

Začátek vývoje projektu Vert.x je datován do roku 2011. Tedy rok poté co spatřil světlo světa framework Node.js. Vert.x si za pouhý rok vydobyl své místo u komunity, která si jej velmi oblíbila.

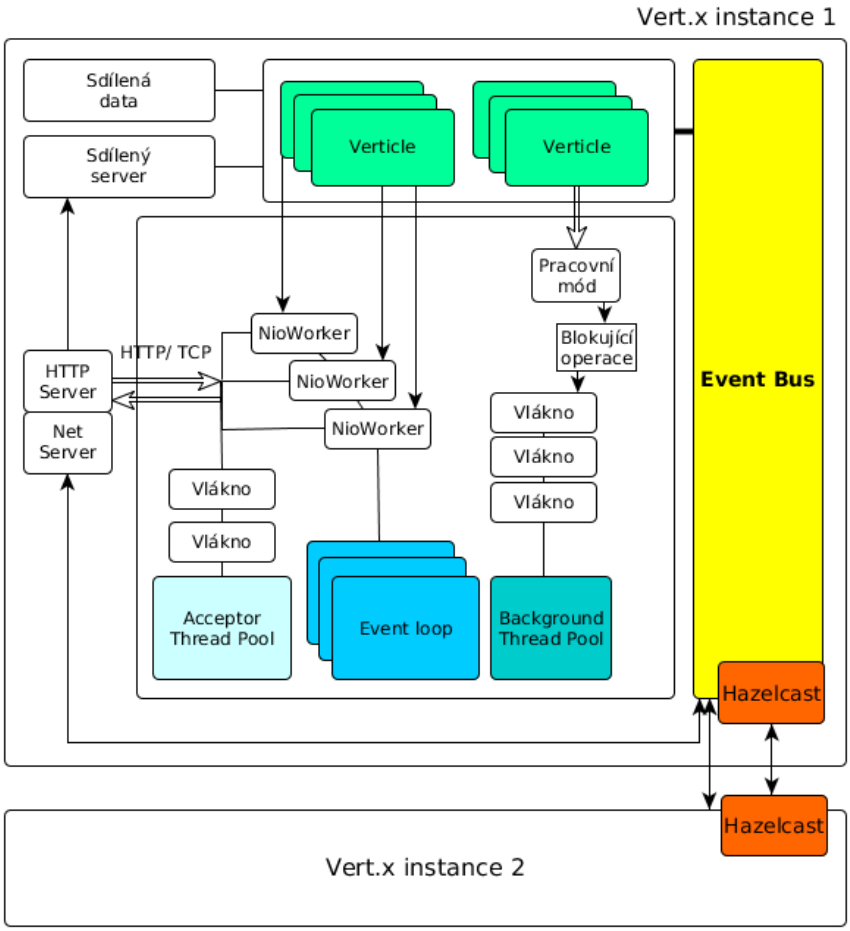
Hlavním autorem platformy je Tim Fox, který v době začátku vývoje platformy pracoval ve společnosti VMWare. Tato společnost si vzápětí nárokovala všechny zásluhy Tima Foxe na Vert.x platformu. Právníci společnosti vydaly výzvu, ve které požadovali mimo jiné doménu, veškerý zdrojový kód a účet Tima Foxe na Githubu. Z toho důvodu Tim Fox odešel od společnosti v roce 2012. V témže roce projevila o platformu zájem firma RedHat, která nabídla Timovi nejen pracovní místo, ale i absolutně volnou ruku ve vývoji a vedení projektu [1].

Po několika debatách jak s představiteli společnosti RedHat tak i komunitou, došel Tim Fox k názoru, že nejlepší pro budoucnost a zdravý rozvoj platformy bude přesu-

[1] C10K problém řeší otázku: „Jak je možné obsloužit deset tisíc klientů za pomocí jednoho serveru, a to s co možná nejnižším zatížením serveru

nutí celé platformy pod nadaci Eclipse Foundation, k čemuž došlo na konci roku 2013. V dnešní době se platforma těší velkému vývoji, který čítá desítky pravidelných přispěvatelů mezi něž patří mimo Tima například Norman Maurer, který se řadí mezi přední inženýry vyvíjející framework Netty.io[2] a zodpovídá za integraci Netty.io frameworku do platformy Vert.x [2]. Letos Vert.x vyhrál prestižní cenu "Most Innovative Java Technology"v soutěži JAX Innovation awards [4].

2.2 Architektura



Obrázek 2.1: Architektura Vert.x převzato a upraveno z [10]

Na obrázku 2.1 jsou znázorněny dvě nezávislé Vert.x instance, které spolu komunikují pomocí zpráv. V levé části je blíže zobrazena jedna Vert.x instance, která bude blíže rozebrána v následujících kapitolách.

[2]framework pro práci se vstupy a výstupy

2.2.1 Jádro

Velikost samotného jádra aplikace nepřekračuje 10Mb kódu v jazyce Java. V současné verzi je jádro platformy koherentní, dobře čitelné a poskytuje malé, ale za to stabilní API. Jak je popsáno v kapitole 2.3, Vert.x se nesnaží umět vše, ale specializuje se na určitou oblast. Díky těmto faktům je snadno rozšiřitelný a integrovatelný. Lze jej rozšířit o novou funkčnost pomocí balíčků, které lze naleznout v oficiálním repozitáři. Pravděpodobnou inspirací byl již zmíněný Node.js, který se svým výkonem vydobyl své místo. Samotnou inspirací byly podle Tima Foxe Node.js a ERLang [2].
Zásadní technologie, které integruje Vert.x.

Netty.io framework pro práci se vstupy a výstupy

Hazelcast In-memory data grid [9]

Netty.io samotný, lze použít pro vývoj webových aplikací stejně dobře jako kterýkoliv jiný nástroj. Jeho specializací však je práce se vstupy a výstupy tzv. IO. V této oblasti poskytuje nízkoúrovňové API, nad kterým Vert.x přidává vyšší míru abstrakce. Druhou technologií, která je pro Vert.x klíčová je popsána v samostatné kapitole 2.2.4.

2.2.2 Asynchronní model

Událostmi řízené programování je podle Tomáše Pitnera [11] základním principem tvorby aplikací s GUI. Netýká se však pouze GUI, je to obecnější pojem označující typ asynchronního programování, kdy je tok programu řízen událostmi, na které navěšuje tzv. event handlery[3]. Typy událostí na které lze reagovat:

- Událost přes GUI
- Chyba
- Zatížení

Události nastávají obvykle určitou uživatelskou akcí (klik či pohyb myši, stisk tlačítka). Událostmi řízené aplikace musí být většinou programovány jako vícevláknové (i když spouštění vláken obvykle explicitně programovat nemusíme). Asynchronní někdy také paralelní model je přímo závislý na způsobu implementace samotným programovacím jazykem. Základním pojmem je zde proces, který je vnímán jako jedna instance programu, který je plánován pro nezávislé vykonávání. Naproti tomu Vlákno[4] je

[3] obslužná rutina události

[4] Označuje v informatice odlehčený proces, pomocí něhož se snižuje režie operačního systému při změně kontextu, které je nutné pro zajištění multitaskingu

posloupnost po sobě jdoucích událostí. V dřívější době nebylo potřeba rozlišovat proces a vlákno, protože proces se dále v aplikaci nedělil. Vytvoření vlákna je poměrně drahá a pomalá operace. Což se často obchází vytvořením zásoby uspaných vláken dopředu s nějakým managementem, který vlákna přidává a ubírá dle potřeby. Základním principem Vert.x a jemu podobných frameworků je hlavní vlákno, obvykle pro každý procesor jedno. Takové vlákno si samo řídí vytváření a přidělování vláken.

Tento model bývá často kritizován, že nutí programátory psát špatně udržovatelný kód, především v situacích, kdy je potřeba koordinovat výsledky mezi více handlery. Pro tyhle situace ovšem vznikla řada nástrojů, které se liší podle použitého jazyka.

Samotné jádro Vert.x je implementováno v jazyce Java a pro Vert.x je tedy důležité, jak moc je dobrá implementace paralélního modelu v tomto jazyce. Neznamená to však, že se celá aplikace musí implementovat výhradně v jazyce Java. Jediný požadavek pro běh Vert.x instancí je přítomnost Java development Kitu ve verzi 1.7 a novější. Tato verze přinesla nespočet vylepšení, pro jejichž výpis zde není místo. Došlo také na reimplementaci či úpravy v několika zásadních třídách z balíčku java.util.concurrent, což je třída zabývající se prací s multitaskingem a konkurencí.

ExecutorService z balíčku java.util.concurrent

CyclicBarrier[5] z balíčku java.util.concurrent

CountDownLatch z balíčku java.util.concurrent

File z balíčku java.nio

Vylepšený ClassLoader[6] lepší odolnost vůči deadlockům[7]

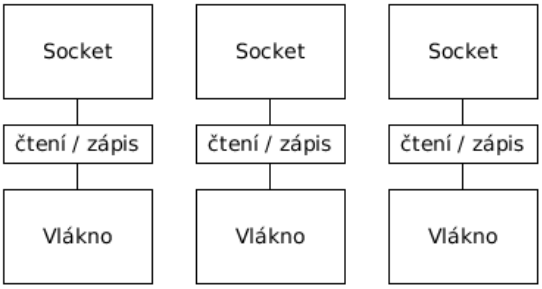
Více o java.concurrent [8]

Ed Gardoh v roce 2011 ve svém jednoduchém testu [5] prověřil práci s paralelizací úkonů. Z jeho testů vyplývá, že Java 1.7 je až o 40% rychlejší při práci s vlákny nejenom díky nové metodě Fork/Join [7].

Návrhový vzor Reactor

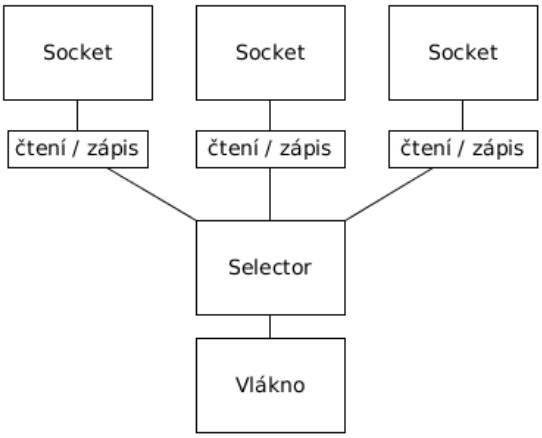
„Tradiční"aplikační serverové kontainery rezervují jedno vlákno pro každou I/O operaci. To v praxi znamená jedno vlákno pro jedno spojení. Jak je vidět z obrázku 2.2, takové vlákno čeká na odpověď každého řádku volání a prakticky využívá zdroje, které k ničemu nepotřebuje. Což je velice neefektivní přístup. Vert.x využívá návrhového vzoru *Reactor*, který implementuje Netty.io. Vert.x tuto knihovnu využívá jako vestavěný systém. Jeden z hlavních vývojařů Netty.io, Norman Maurer a autor knihy Netty

[7] je odborný výraz pro situaci, kdy úspěšné dokončení první akce je podmíněno předchozím dokončením druhé akce, přičemž druhá akce může být dokončena až po dokončení první akce.



Obrázek 2.2: Blokující přístup *převzato a upraveno z [3]*

in action [3] pracuje na integraci s Vert.x platformou. Z obrázku 2.3 je patrné, že vzor spočívá v běhu jednoho vlákna, kterému tzv. „Selector"podává požadavky.



Obrázek 2.3: Neblokující přístup pomocí Netty.io *převzato a upraveno z [3]*

Event loop

Event loop využívá Netty.io NioWorkery. Každý verticle[8] má vlastního NioWorkera, díky tomu je zaručeno, že každé verticle je jedno vláknové. Základem asynchronního modelu je vlákno, které se stará o všechny události. Když událost dorazí vlákno se postará o to aby byla zavolána ta správná obslužná rutina. Každá Vert.x instance interně obsluhuje malý počet těchto vláken, zpravidla jedno na každé procesorové jádro. Těmto vláknům se ve Vert.x komunitě říká *Event Loop*. V komunitách Nginx nebo Node.js se ovšem setkáme spíše s pojmem *Run Loop*. Přeloženo volně do češtiny „událostní smyčka". Obrovská nevýhoda takového přístupu je, že nikdy nesmí dojít k blokování hlavního vlákna. Jakmile k tomu dojde, celá aplikace tzv. zamrzne. Při startu verticlu

[8] nejmenší jednotka Vert.x více v kapitole Terminologie 2.2.3

2.2.3 je vybrán jeden event loop, který ho obsluhuje po celý životní cyklus. Event loop je schopný obsloužit tisíce verticlů v ten samý čas. Příklady blokujících volání:

- tradiční API (JDBC, externí systémy)
- dlouhotrvající operace (generování apod.)

Návrhový vzor Multi-reactor

Základ jádra je postaven na tzv. Multi-reactor pattern [13], který vychází z Reactor patternu [6]. Ten lze charakterizovat několika body:

- aplikace je řízena událostmi
- na události se registrují handlery
- vlákno zpracovává události a spouští registrované handlery
- toto vlákno nesmí být blokováno[9]

Multi-reactor pattern [13] se od Reactor patternu liší pouze tím, že může mít více hlavních vláken. Tím přináší Vert.x možnost pohodlně škálovat instance na více procesorových jader. Jak je vidět z obrázku 2.4 na následující straně Vert.x platforma poskytuje více hlavních vláken, zpravidla však jedno hlavní vlákno na jeden procesor. Toho lze snadno docílit pomocí *Runtime.getRuntime().availableProcessors()*, o kterém se dozvíte více v kapitole 3.6. Na obrázku 2.5 na straně 10 lze vidět situaci čtyř hlavních vláken na čtyři procesorová jádra.

Hybridní model vláken

Platforma Vert.x přišla s inovací v oblasti hlavních vláken a to takovou, že k hlavním *Event loops* přidala další sadu vláken *Background thread pool*, které jsou vyčleněny z hlavní architektury a poskytují samostatnou kapitolu pro škálování aplikace. To lze ostatně vidět na obrázku 2.1 na straně 4. Díky tomu, lze psát specializované moduly nebo verticle tzv. *workery* pro blokující volání či dlouhotrvající operace aniž by nějak omezovaly běh celé aplikace. Více o *workerech* v kapitole 2.2.3.

2.2.3 Terminologie

Vert.x definuje svou vlastní terminologii, která je specifická jen pro tuto platformu. Před dalším výkladem je tak nutné porozumět jednotlivým pojmům, které budou vysvětleny v následujících podkapitolách.

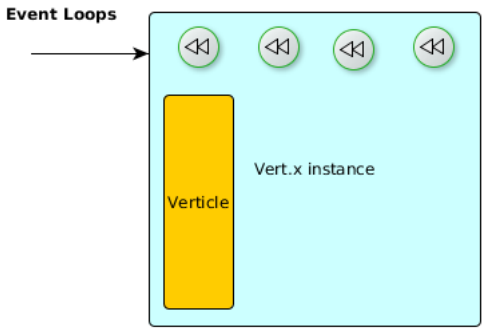
[9] pokud dojde k zablokování hlavního vlákna dojde k zablokování celé aplikace např.*Thread.sleep(), a další z java.util.concurrent*

Verticle

Verticle je základní jednotka vývoje a nasazení, lze si ji představit jako kus kódu nebo třídu s hlavní metodou. Verticle je tak nejmenší funkční jednotkou Vert.x. Verticle lze spouštět samostatně přímo z příkazové řádky podobně jako skript. Každý verticle běží ve vlastním vlákně z čehož plynou výhody, ale také nevýhody. Vzhledem k tomu, že každý verticle má svůj vlastní classloader nemůže, tak sdílet statické metody ani hodnoty proměnných s ostatními. Naopak výhodou je, že programátorovi odpadnou starosti s nejrůznější synchronizací vláken či zámky nad proměnnýma. V případě jedno vláknového modelu také odpadají nepříjemné deadlocky. Výzvou je sdílení dat mezi jednotlivými komponentami aplikace, které lze v případě Vert.x sdílet dvěma způsoby:

- pomocí Message Queue [15] dále jen MQ
- SharedData object a SharedSet *vertx.sharedData()*

Objekty v SharedData musí být immutable[10]. V dnešní době je řada MQ frameworků přes které lze vést komunikaci. U platformy Vert.x však není potřeba externí služba, protože má vlastní Event Bus, o kterém pojednává kapitola 2.2.4. Na obrázku 2.4 je vidět jeden verticle v kontextu jedné Vert.x instance. Následuje sumarizace vlastností verticlu:



Obrázek 2.4: Vert.x instance

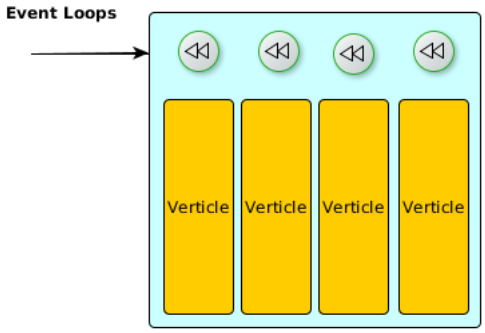
- nejmenší spustitelná jednotka
- třída / skript
- vykonává neblokující operace
- běží vždy v jednom vlákně
- přímý přístup k API, registrace handlerů, nasazení dalších verticlů

[10] jakmile jednou takovýto objekt vznikne nejde dále měnit jeho proměnné

Worker verticle

V standardním verticlu by nemělo nikdy dojít k blokování hlavního vlákna. V dnešní době se bez klasického synchronního volání pravděpodobně neobejdeme, protože většina knihoven a modulů je napsána jako blokující kód. Z toho důvodu je v platformě Vert.x možnost označit verticle jako workera, respektive pustit jej jako worker verticle metodou *deployWorkerVerticle* namísto *deployVerticle*. Tím dojde k vyčlenění verticle z asociace na hlavní vlákna a takovému vláknu bude přiděleno vlákno z Background thread poolu. Uvnitř takového verticle lze vykonávat blokující volání bez blokování celé aplikace. To v praxi rozšířilo možnosti uplatnění celé platformy. Bohužel tímto ztrácíme efektivní možnost škálování pro velký počet konkurenčních vláken. Je tedy vhodné situovat náročné výpočty na speciálně vyčleně servery. Velikost background thread poolu ve výchozím nastavení čítá 20 vláken. Jak tento počet změnit je popsáno v kapitole 3.6.3.

Vert.x instance



Obrázek 2.5: Příklad vertikálního škálování *vertx run HelloWord -instances 4*

Každý verticle běží uvnitř Vert.x instance 2.4 na předchozí straně a každá instance běží ve vlastní JVM[11] instanci. V jedné Vert.x instanci může najednou běžet nespočet verticlů. Z obrázku 2.7 je patrné, že se jedná o vertikální druh škálování. Kdy na jednom serveru běží více Vert.x instancí. Počet instancí je zpravidla roven počtu procesorů, větší počet má negativní dopady na rychlost aplikace. Nastane situace, kdy se jednotlivá vlákna přetahují o procesorový čas.

[11] Java Virtual Machine

Moduly

Moduly poskytují možnost zapouzdření a znovupoužitelnost funkcionality. V praxi se mohou moduly skládat z více modulů či verticlů ve více programovacích jazycích. Moduly mohou být uloženy v centrálním repozitáři[12] nebo může být využit jakýkoliv jiný repozitář. Repozitáře, ve kterých hledá Vert.x při startu instance dostupné moduly lze definovat v souboru *conf/repos.txt* nacházející se v kořenové složce Vert.x. Každý modul musí mít svůj deskriptor ve formátu JSON[13]. Ukázka deskriptoru je v kapitole 3.4.

Výhody plynoucí z použití modulů:

- classpath[14] je zapouzdřený a díky tomu lze moduly pouštět mnohem snáze
- všechny závislosti jsou zapouzdřeny v jediném souboru ve formátu ZIP nebo JAR[15]
- moduly mohou být umístěny v repozitářích
- Vert.x dokáže automaticky stahovat moduly, pokud je nenalezne v lokální instalaci

Typy modulů lze rozdělit do dvou základních skupin, které lze dál rozdělit podle typu určení modulu na:

spustitelné mají definovaný hlavní verticle v deskriptoru, takové moduly je možné spustit jako samostatné jednotky pomocí parametru *runmod* nebo programově *deployModule*

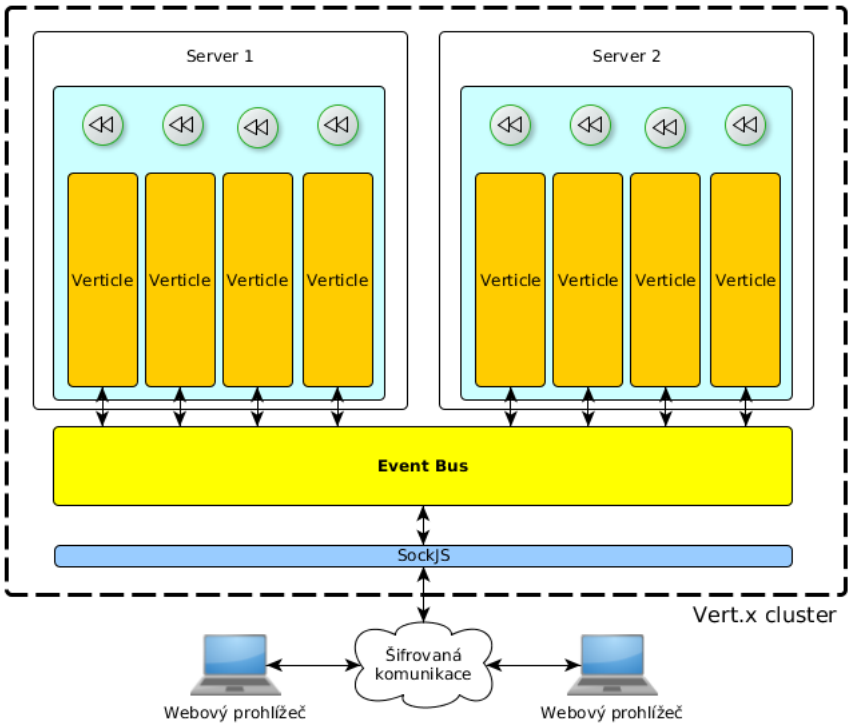
nespustitelné modul nemá specifikovaný hlavní verticle a lze jej použít v jiném modulu definováním parametru *includes* uvnitř deskriptoru modulu

Pro vyčlenění modulu z asociace na event loop stačí přidat parametr *worker: true* do deskriptoru modulu.

2.2.4 Event Bus

Nervový systém celého Vert.x, jehož název lze volně přeložit jako sběrnice událostí. Cílem EventBusu je zprostředkování komunikace mezi jednotlivými komponentami a vlákny aplikace. Podobně jako při použití externí MQ. Díky faktu, že komponenta

[12] http://modulereg.vertx.io/
[13] je odlehčený formát pro výměnu dat
[14] říká JVM, kde má hledat třídy a balíčky
[15] java formát založený na formátu ZIP



Obrázek 2.6: Event Bus distribuovaný mezi dva servery

Event Bus je implementována přímo v jádru platformy, odpadá nutnost používat další knihovny pro práci s MQ a v neposlední řadě také režijní náklady či výpočetní výkon. Jak je vidět na obrázku 2.6, komponenta Event Bus je distribuovaná přes všechny instance v clusteru. Samozřejmostí je možnost přemostění této komunikace do webového prohlížeče, což je detailněji popsáno v kapitole 3.2. Event bus nepřináší v porovnání s profesionální MQ systémy takové možnosti, jako například transakční zpracování, ale již existuje modul pro přemostění komunikace například do RabbitMQ[16]. S vývojáři RabbitMQ je Tim Fox v úzkém kontaktu [2]. Základní typy komunikace:

- Point to Point
- Publish/Subscribe

typy zpráv:

- String
- primitivní typy (int, long, short, float double, ..)
- org.vertx.java.core.json.JsonObject

[16]MQ napsaná v ERlangu

- org.vertx.java.core.buffer.Buffer

Toto je výčet pouze základních typů zpráv, které Vert.x podporuje v jádře. Není ale vůbec problém výčet stávájících typů rozšířit implementací vlastního modulu. Například modul *bson.vertx.eventbus*[17] rozšíří EventBus o možnost používat mnohem komplexnější typy zpráv:

- java.util.UUID
- java.util.List
- java.util.Map
- java.util.Date
- java.util.regex.Pattern
- java.sql.Timestamp

Mezi doporučené se ovšem řadí JSON, protože je jednoduše serializovatelný mezi jednotlivými programovacími jazyky.

Hazelcast

Jednou z nejdůležitějších architektonických součástí Vert.x je knihovna Hazelcast, kterou tvoří jenom neuvěřitelných 3,1MB kódu v jazyce Java. V platformě Vert.x zaujímá důležité postavení jako In-memory data grid, jehož vlastnosti [9] lze podle Ki Sun Song sumarizovat:

- Data jsou distribuovaná a uložená na více serverech ve více geografických lokacích
- Datový model je většinou objektově orientovaný a ne-relační
- Každý server pracuje v aktivním režimu
- Dle potřeby lze přidávat a odebírat servery

Hazelcast je tedy typ distribuovaného úložiště, které běží jako vestavěný systém, lze díky němu distribuovat celou aplikaci a zasílat zprávy mezi jednotlivými komponentami. Vert.x API využívá Hazelcast API a odstiňuje tak programátora od poměrně nízko úrovňové API Hazelcastu. Když je Vert.x spuštěn, Hazelcast je spuštěn v módu

[17] https://github.com/pmlopes/mod-bson-io

vestavěného systému. Jako nejčastější příklad užití samotného Hazelcastu bývá uváděno ukládání uživatelské session [14]. Hazelcast tedy usnadní práci v situaci, kdy budeme potřebovat uložit uživatelskou session, například pro eshop. Mohli bychom využít externí RDBMS tedy databázový server, který by obstarával komunikaci s klienty a udržoval integritu dat, díky kterému by jsme dosáhli stejného výsledku. S využitím knihovny Hazelcast ovšem odpadá nezbytná režie a monitoring, nemluvě o serverových prostředcích. Knihovnu Hazelcast lze využít v několika rolích:

- NoSQL databáze v paměti
- Cache[18]
- Data grid
- Zasílání zpráv
- Aplikační škálování
- Clustrování aplikací

2.3 API

Vert.x poskytuje malou sadu metod, kterou lze volat na přímo z jednotlivých verticlů. Funkcionalitu platformy lze jednoduše rozšířit pomocí modulů, které po zveřejnění do centrálního repozitáře může využívat kdokoliv a pomáhá tak znovu použitelnosti kódu. Samotné jádro Vert.x je tak velice malé a kompaktní. Vert.x API je rozděleno na *Základní API* a *Kontainer API*.

2.3.1 Základní API

V porovnání s většinou nástrojů se může na první pohled zdát, že je Vert.x API strohé. Při hlubším zkoumání se ukáže pravý opak.

- TCP/SSL server/klient
- HTTP/HTTPS server/klient
- Websockets server/klient, SockJS
- Distribuovaný Event Bus
- Časovače

[18] specializovaný typ paměti pro krátkodobé ukládání

- Práce s buffery
- Přístup k souborovému systému
- Přístup ke konfiguraci
- DNS Klient

2.3.2 Kontainer API

Díky této části API může programátor řídit spouštění a vypínání nových modulů a verticlů za běhu aplikace. V praxi jsme tak schopni škálovat aplikaci za běhu, či měnit funkcionalitu celé aplikace aniž by to někdo mohl zaregistrovat. Tuto API lze volat přímo z příkazové řádky dále jen CLI[19] stejně pohodlně jako z verticlu.

- Nasazení a zrušení nasazení verticlů
- Nasazení a zrušení nasazení modulů
- Získání konfigurace jednotlivých verticlů
- Logování

2.3.3 Polyglot

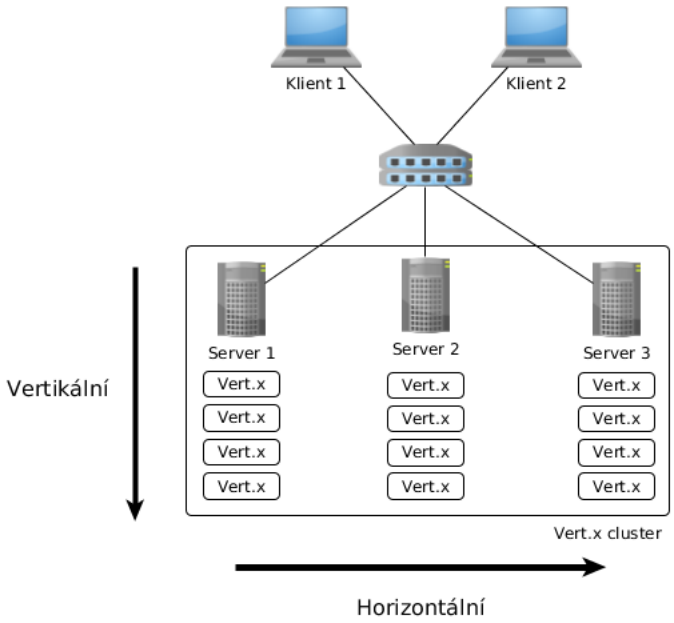
Polyglot je označován člověk, který ovládá více jazyků. V terminologii Vert.x to znamená, že API je dostupná ve více programovacích jazycích. Což v praxi znamená, že si programátor může sám zvolit v jakém jazyce bude implementovat svůj kód. Díky faktu, že spolu všechny verticly komunikují skrze zprávy, je tak možné mít část aplikace napsanou například v jazyce Java a druhou část v jazyce Python. Tento fakt hodně pomáhá celé platformě nalákat větší množství nových programátorů. Takový vývojář klientské části aplikace většinou píše v jazyce JavaScript, naproti tomu vývojář serverové části určitě píše spíše v jazyce Java nebo Scala[20]. Výčet podporovaných jazyků ve verzi 2.0. Do verze 3.0 se chystá automatické generování API pro každý jazyk.

- Java, Scala, Groovy
- Javascript, CoffeeScript
- Ruby
- Python

[19] Command Line Interface
[20] programovací jazyk, který běží na JVM

- PHP
- Clojure

2.4 Clustering



Obrázek 2.7: Horizontální a vertikální škálování

Díky integraci Hazelcastu získala platforma Vert.x řadu zajímavých vlastností, mezi které patří také možnost horizontálního škálování. Jak je vidět z obrázku 2.7, jde o typ škálování do šířky propojováním více serverových instancí dohromady. Na těchto instancích běží Vert.x platforma respektive Hazelcast, který spojuje všechny klienty dohromady. To v praxi znamená, že můžeme aplikace jednoduše škálovat přes více serverů bez nutnosti běhu dalších služeb a režijních nákladů. Přímo za běhu aplikace lze přidávat další Vert.x instance do clusterů. Samotná konfigurace clusteru není nic složitého a odehrává se v souboru *conf/cluster.xml* a spočívá v nastavení členů clusteru nebo specifikování multicastové[21] adresy a portu, na které bude Hazelcast po startu vyhledávat členy clusteru. Pro spuštění aplikace v režimu cluster ji stačí spustit s parametrem *-cluster*. Pokud se na daném serveru nachází více síťových rozhraní je potřeba specifikovat *-cluster-host*. Na tomto rozhraní bude komunikovat Hazelcast. V kapitole 3.6.2 je tato možnost využita pro běh Vert.x clusteru na odlišném rozhraní než běží webový server.

[21] logický identifikátor skupiny sítových hostů

Velkou nevýhodou je nemožnost nasadit cluster na veřejné síti. V současné době Event Bus nepodporuje šifrované zprávy a jediná možnost, jak toho dosáhnout, je pomocí nejrůznějších privátních tunelů. Ve verzi 3.0 má být plně implementována šifrovaná komunikace a nebude již nic bránit nasazení na veřejné síti.

2.4.1 Vysoká dostupnost

Samostatnou kapitolou v oblasti clusteringu je HA[22] česky tedy vysoká dostupnost. Díky Hazelcastu ji lze řešit již na aplikační úrovni, a není potřeba dalších služeb, které řeší vysokou dostupnost.

Automatické zotavení z havárie

Pokud je modul spuštěn s argumentem *-ha* a dojde k pádu Vert.x instance. Modul bude automaticky nasazen na jiné instanci v clusteru. V takovém případě již není potřeba spouštět modul s parametrem *-cluster*. Jak je vidět na obrázku 2.8, v případě pádu Serveru 2 tedy části aplikace, která komunikuje s databází dojde automaticky k novému nasazení této části do nové instance, která je taky členem Vert.x clusteru. Výpadek tak bude pro uživatele skoro nepostřehnutelný.

HA skupiny

V případě spuštění modulů v režimu HA lze specifikovat logické skupiny. Pro spuštění instance v určité HA skupině stačí přidat parametr *-hagroup <jméno skupiny>*. Díky tomu lze přesně určit, kde se mají moduly v případě pádu nasadit. To je v praxi vhodné především v situacích, kdy je do internetu vystavena pouze část clusteru. Například jako na obrázku 3.8.

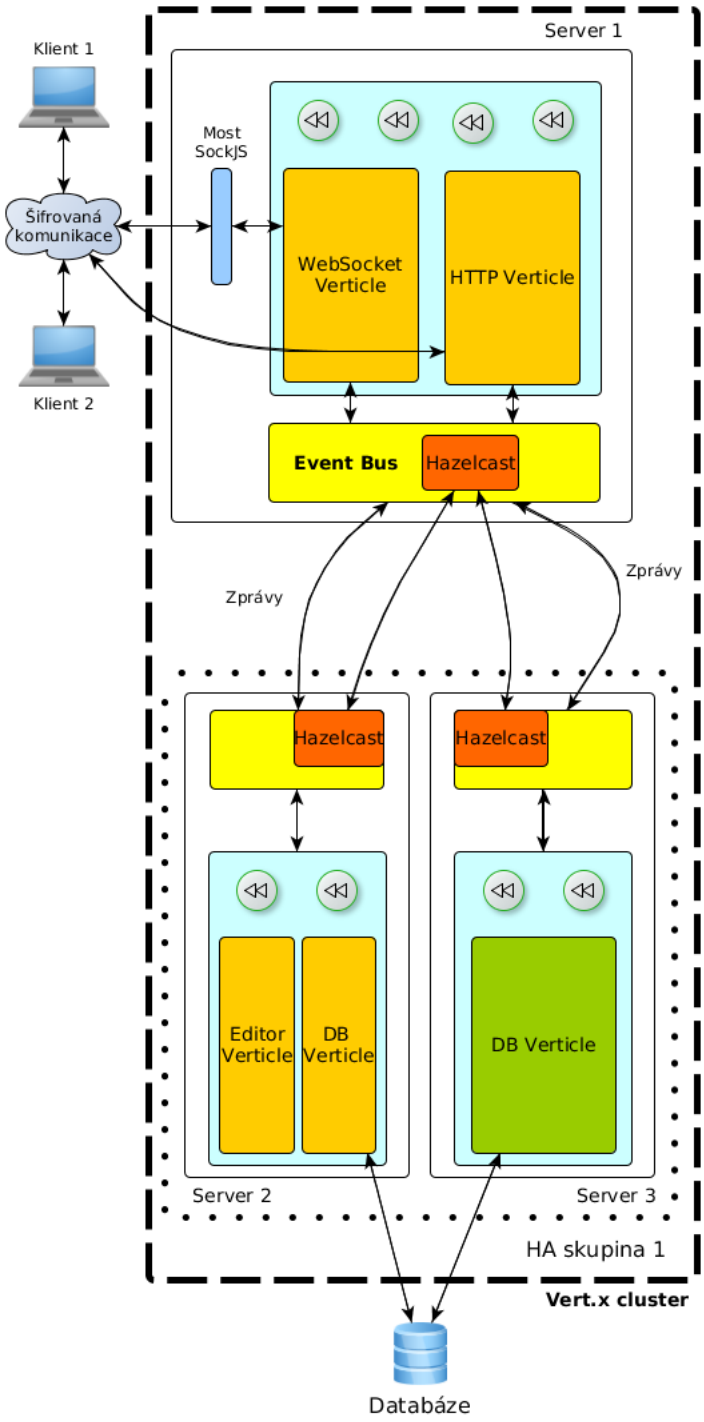
Kvorum

Při spuštění Vert.x instance lze specifikovat kvorum[23]. Pokud nebude splněno kvorum, nebude instance nasazena v režimu HA. Kvorum lze snadno spočítat ze vzorce
$Q = 1 + N/2$, kde N je počet serverů. Pokud dojde při běhu aplikace k porušení kvora bude režim HA automaticky vysazen.

2.4.2 Vertigo cluster

Důkazem jak dobrá je architektura, je rozšíření samotné funkcionality clusteru. Modul Vertigo [19], obohacuje platformu o značné možnosti v oblasti clusterování. Jak píše

[22] HA - High Availability
[23] minimální počet serverů pro zajištění vysoké dostupnosti



Obrázek 2.8: Clustering mezi třemi Vert.x instancemi

sám autor projektu *„Vertigo kombinuje koncept real-time systémů a Flow-based programování."*. Architektura Vertigo by vydala sama na celou bakalářskou práci. Proto jen ve stručnosti. Vertigo podporuje dávkování zpráv mezi komponentami. Umožňuje vytváření a monitorování sítí mezi clustery a podporuje živou změnu bez restartu těchto sítí. Usnadňuje distribuci modulů přes celý cluster pro snadné nasazení v kterémkoliv jeho koutě z kteréhokoliv jeho místa.

2.5 Porovnání s Node.js

V následující kapitole bude porovnána platforma Vert.x s již zmíněnou platformou Node.js. Výkonnostní test [17] je převzat od samotného autora projektu a jsou v něm zahrnuty jazyky, které v té době platforma podporovala. V druhé části kapitoly 2.5.1 je tabulka 2.1, srovnání odezev s vybranými webovými platformami s daty ze zdroje [16].

2.5.1 Výkon

Tato kapitola se zabývá výkonnostními testy jednotlivých platforem. V prvním testu je obsaženo více programovacích jazyků, ve kterých byla implementována stejná logika pod platformou Vert.x. Rychlost aplikace implementované v jiném jazyce než Javě je závislá na konkrétním adaptéru.

Metody testování

V obou testech je testovaná aplikace škálovaná na šest procesorových jader, tedy byla spuštěna s parametrem *-instances 6*, oproti tomu je spuštěna aplikace Node.js ve dvou variantách. Samostatná a šest procesů v jednom clusteru. V legendě grafů je to odlišeno příponou *cl*.

1. Triviální dotazování serveru a návrat statusu 200[24]
2. Dotaz na statický soubor o velikosti 72 bytů

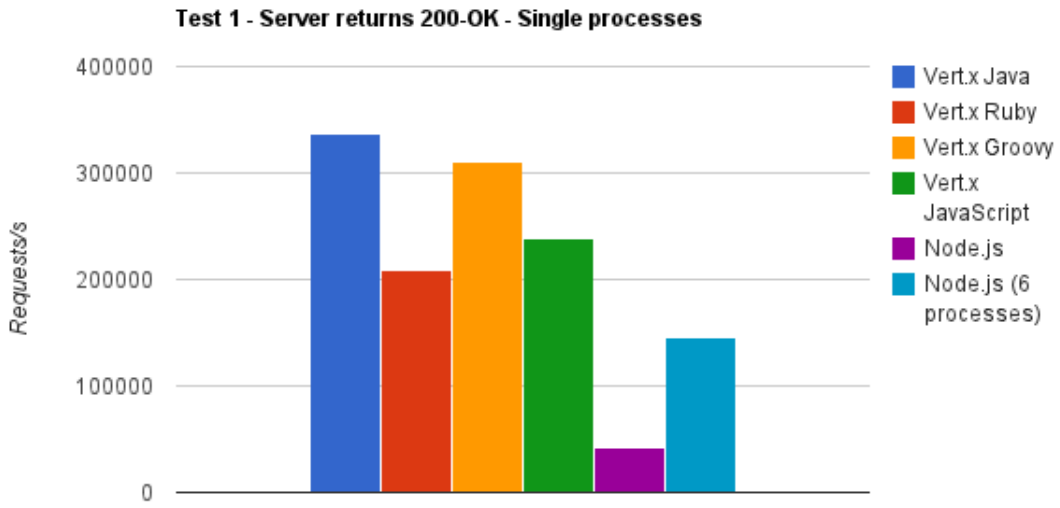
Hardware

V prvním testu od Tima Foxe je požit AMD Phenom II X6, 8GB RAM a systém Ubuntu 11.04. Tento procesor se 6 jádry není úplně běžný, proto je výklad doplněn o druhý test, který proběhl na Sandy Bridge Core i7-2600K, 8GB RAM a SSD disku a systému Ubuntu 12.04.

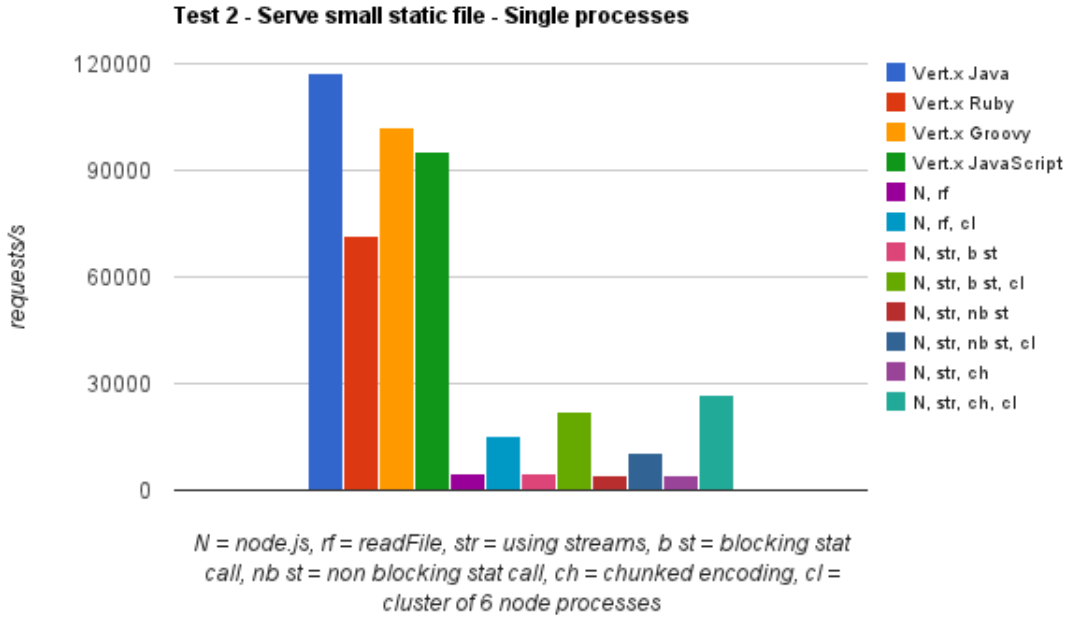
[24] HTTP status - OK

Výsledky

Jak lze vidět na obrázku 2.9 a 2.10 výsledky obou testů lze shrnout do jedné věty. Vert.x zvládá řádově o desítky tisíc více odpovědí než platforma Node.js, a to i v případě režimu clusteru.



Obrázek 2.9: Výsledky prvního testu *Tim Fox* [17]



Obrázek 2.10: Výsledek druhého testu *Tim Fox* [17]

Srovnání s vybranými platformami

Metoda srovnání s ostatními platformami je založená na podobném principu jako předchozí testy, s tím rozdílem, že místo statického souboru vrací odpověď ve formátu JSON. Na straně serveru tedy musí dojít k JSON serializaci.

Tabulka 2.1: Srovnání odezvy, *převzato a upraveno z* [16]

Platforma	Průměrná odezva	Maximální
Vert.x	1,2ms	18,7ms
Netty	1,3ms	24,0ms
Ruby on Rails	1.8ms	241.6
Node.js	3.7ms	12,5

2.5.2 Vlastnosti

Následující tabulka ukazuje srovnání důležitých vlastností jednotlivých platforem, jejichž důležitost byla popsána v předchozích kapitolách.

Tabulka 2.2: Srovnání vlastností s Node.js

Vlastnost	Node.js	Vert.x
CLI	Ano	Ano
Cluster	Ano	Ano
Moduly	Ano	Ano
HA	Ne	Ano
MQ	Ne	Ano
Hybridní model vláken	Ne	Ano
In-memory data grid	Ne	Ano
Polyglot	Ne	Ano

2.5.3 Závěr srovnání

Výsledkem srovnání je tedy fakt, že pokud by se dnes někdo rozhodoval o výběru platformy pro novou real-time aplikaci, měl by určitě zvolit platformu Vert.x, která poskytuje větší výkon a počet vlastností, nehledě na fakt, že v případě Node.js lze psát aplikaci pouze v jazyce JavaScipt, který se může jevit jako naprosto nevhodný pro Enteprise aplikaci.

2.6 Budoucnost projektu

Tim Fox hlavní vedoucí projektu představil plán [26] pro budoucí rozvoj platformy. Nově tak bude šifrovaná veškerá komunikace na Event busu. API bude definováno pomocí vysoce abstraktního programovacího jazyka díky čemuž bude možné generovat API v jiných programovacích jazycích. Zveřejnění jednoduchého protokolu pro napojení na Event Bus což de v současné době pouze přes WebSocket a SockJS most. Objevit by se měla také nativní podpora pro Android a IoS. Je dobře, že vývoj jde stále dopředu a umožňuje tím rozšířit okruh programátorů.

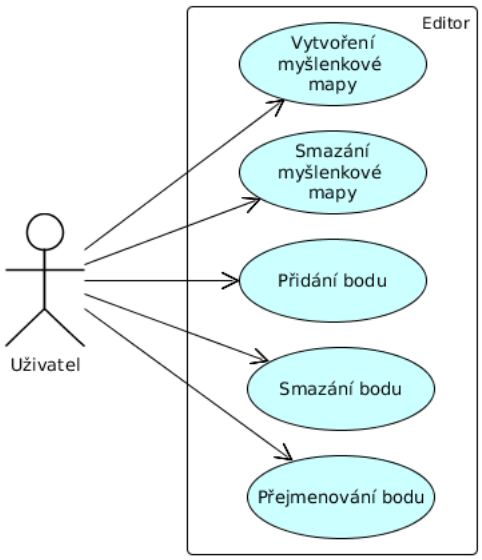
3 Praktická část

V této kapitole je popsán software a postupy použité při implementaci a distribuovaném nasazení malé Vert.x aplikace pro správu myšlenkových map.

3.1 Návrh

Aplikace bude složena ze dvou částí. Serverová část, která bude pracovat s mapami a databází. Druhá část bude obsluhovat klienty na straně webového prohlížeče, tedy část realizovaná pomocí JQuery a D3.js, která bude mít na starosti vykreslování a obsluhu iniciovaných akcí. Obě části budou realizovány převážně v jazyce JavaScript, doplněny budou o ukázky v jazyce Java.

3.1.1 Cíle aplikace



Obrázek 3.1: Případy užití

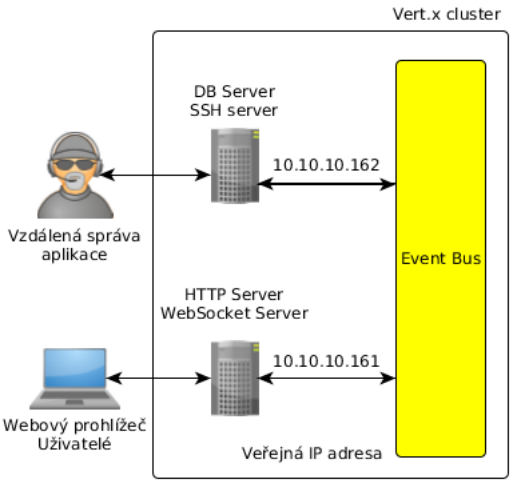
Hlavní cíle aplikace jsou:

- Přidání a odstranění myšlenkové mapy

- Přidání a odstranění bodu v myšlenkové mapě
- Přejmenování bodu v myšlenkové mapě

3.1.2 Architektura

Jak je vidět na obrázku 3.2, klienti se budou připojovat přes jeden webový server, který bude mít otevřený port 80. S druhým serverem bude spojený na úrovni Hazelcast clusteru. Vzhledem k situaci, která je blíže popsaná v kapitole 3.6.2, kdy je webový server připojen do dvou sítí není potřeba šifrování ani nejrůznějších tunelů. Druhý server bude sloužit pro komunikaci s databází a také jako *exporter* myšlenkových map do obrázků ve formátu PNG. Modul *exporter* bude implementován v jazyce Java jako demonstrace polyglot vývoje.



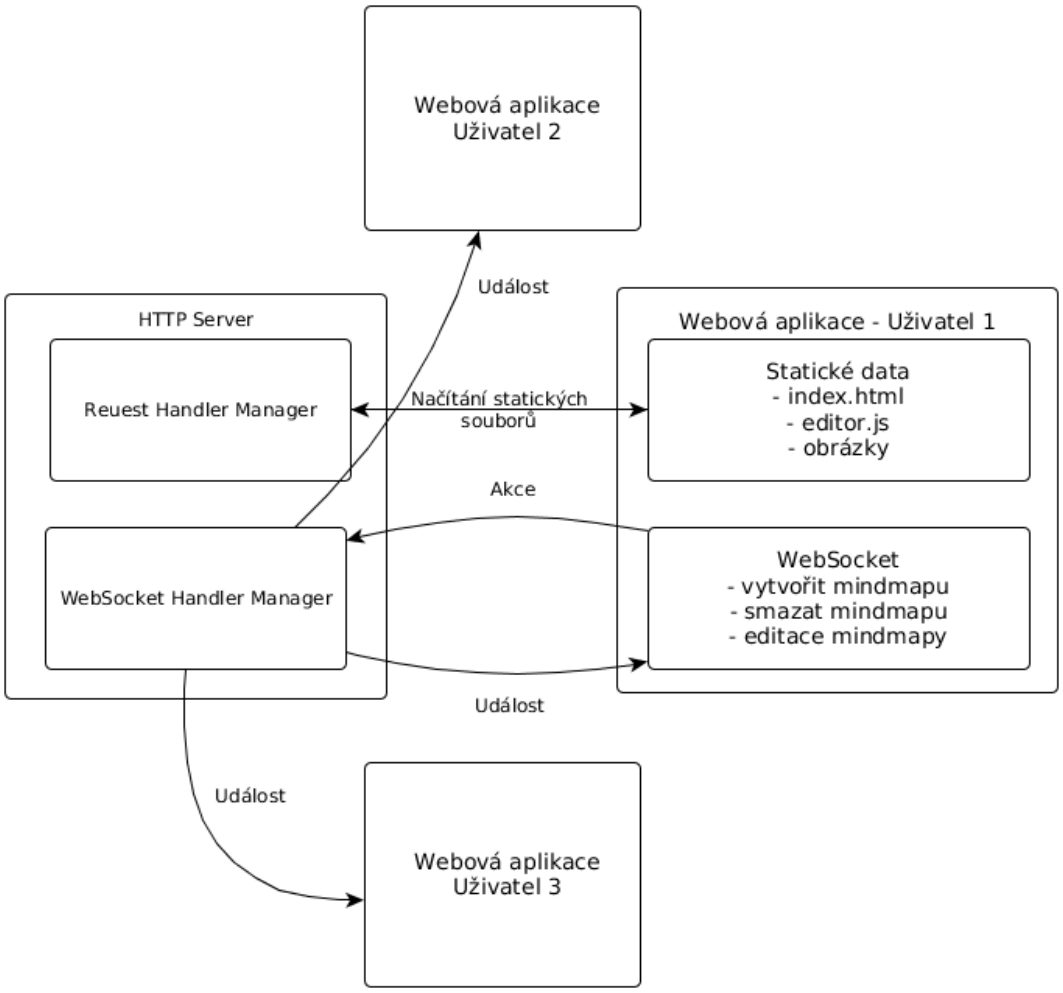
Obrázek 3.2: Architektura nasazené aplikace

3.2 Komunikace v reálném čase

Po načtení myšlenkové mapy přichází na řadu aspekty komunikace v reálném čase. V rámci editoru myšlenkových map budou implementovány tři základní operace.

- Přidání objektu do myšlenkové mapy
- Odstranění objektu z myšlenkové mapy
- Přejmenování objektu v myšlenkové mapě

V tradiční webové aplikaci by to znamenalo implementaci těchto metod typem požadavek-odpověď jako operací konkrétní API. Při přidání objektu by se zavolala API a nazpět by



Obrázek 3.3: Komunikace v reálném čase

přišla odpověď, zda-li byla akce úspěšná. Pokud bychom však chtěli mít editor, který by propagoval změny ke všem, kdo mají myšlenkovou mapu otevřenou museli bychom znát přihlášené uživatele, kterým by server poslal notifikaci o změně. Mnohem jednoduší cesta je rozdělení požadavku a odpovědi do dvou částí což odpovídá návrhovému vzoru Command. V takovém případě při otevření webového prohlížeče s danou myšlenkovou mapou dojde k zaregistrování klienta na určitou adresu. V případě jakékoli změny, kterou provede jiný uživatel, dojde k odeslání události všem zaregistrovaným klientům okamžitě v době vykonání události. Tuto situaci lze vidět na obrázku 3.3. V případě, kdy u uživatele dojde k vyvolání akce, ostatním uživatelům bude zaslána událost, která s sebou nese všechny informace o změně. Všem klientům zaregistrovaným na stejnou adresu přijde stejná událost. Tento typ zasílání zpráv je znám jako návrhový vzor Publish/Subscribe.

3.2.1 Akce

Když bude uživatel chtít změnit myšlenkovou mapu (přidat objekt, odebrat objekt nebo přejmenovat objekt), vyšle akci na server. Tato akce bude poslána přes přemostěný event bus, které jsem představil v kapitole 2.2.4. Na straně serveru je pak verticle, který má zaregistrovány metody na příchozí akce. Samotná akce nemá žádnou návratovou hodnotu, pokud tak dojde k chybě nedojde k vyslání události, která s sebou nese změny myšlenkové mapy.

3.2.2 Události

Pokud uživatel otevře webový prohlížeč s konkrétní myšlenkovou mapou, dojde tak k přihlášení odběru událostí nad touto myšlenkovou mapou. Pokud ji někdo změní, tento uživatel dostane stejnou událost s informací o změně jako každý jiný uživatel přihlášený k odběru událostí. Na straně klienta tak budou implementovány metody, které budou mít definované chování pro každou z definovaných událostí: přidání, odebrání a přejmenování objektu v myšlenkové mapě.

3.3 Vlastní implementace

Vzhledem k rozsahu práce je v následující kapitole ukázán a popsána většina implementačních částí.

3.3.1 Řídící verticle

Nasazení aplikace na více serverů s sebou přináší malé rozhodnutí. Jestli aplikaci rozdělíme do více menších modulů nebo jednu větší pustíme na více serverech ve více rolích. S přihlédnutím na rozsah aplikace je výhodnější implementovat řídící verticle, který bude mít na starost nasazovat moduly, dle dané konfigurace. Část kódu takového startéru vypadá následovně:

```
var container = require('vertx/container');
var console = require('vertx/console');

var config = container.config;

if("webserver" in config) {
   container.deployModule('io.vertx~mod-web-server~2.0.0-final',
       config.webserver, config.webserver.workers, function(err, ID){
      if (err) {
         console.log(err)
```

```
      }
   });
}
```

Ukázka kódu 3.1: Řídící verticle

Každá metoda *deploy* má jako poslední parametr obslužnou rutinu pro případ selhání. V mnoha případech se také hodí ID nasazení, díky němuž lze později toto nasazení zrušit.

Samotný kód vytáhne z třídy *container* konfiguraci celého modulu a zeptá se jestli se v něm nenachází daná role. Potom už jen stačí, aby daný konfigurační soubor obsahoval klíč *webserver* s danou konfigurací, která se nachází níže. Obdobně je implementováno startování editoru, databázového modulu a exportéru. Spuštění modulu či verticle jde samozřejmě i ručně z příkazové řádky.

```
vertx runmod io.majklk~mindmapeditor~0.0.1 -conf
   /srv/mindmap/conf/webserver.json -instances 3
```

Ukázka kódu 3.2: Spuštění modulu z příkazové řádky

Spuštěním modulu z příkazového řádku se Vert.x podívá do deskriptoru modulu, v kterém by měl najít cestu k hlavnímu verticlu. Ten následně spustí a předá mu danou konfiguraci. Samotný verticle pak může pracovat s Vert.x instancí.

```
{
   "name": "MindMap editor server 1 - HTTP + WebSocket",
    "webserver": {
        "workers": 3,
        "web_root": "web",
        "host": "10.10.10.161",
        "port": 80,
        "bridge": true,
        "inbound_permitted": [
          { "address": "mindMaps.list" },
          { "address": "mindMaps.save" },
          { "address": "mindMaps.delete"},
          { "address": "mindMaps.exporter.svg2png" },
          { "address_re": "mindMaps\\.editor\\..+" }
        ],
        "outbound_permitted": [
          { "address_re": "mindMaps\\.events\\..+" }
        ]
    }
```

```
}
```

Ukázka kódu 3.3: Konfigurace serveru 1

Většina jmen parametrů mluví sami za sebe, kromě *bridge, inbound permitted a outbound permitted*. Pokud je první z nich nastaven na hodnotu *true*, tak začnou platit pravidla, která jsou nadefinována v *inbound permitted, outbound permitted*. Jde o tzv. bridge mezi webovým prohlížečem a Event busem jako takovým. *Inbound permitted* říká jaké adresy se mají pustit dovnitř, analogicky potom *outbound permitted* říká, co může jít ven. Výhodou je pak možnost specifikovat adresu pomocí regulárních výrazů.

Základní adresářová struktura

```
main.js //stará se o spouštění celé aplikace v několika rolích
editor.js //obsluha editoru
database.js //obsluha událostí
web //kořenová složka webové části
```

3.3.2 Editor

```
var eb = vertx.eventBus;

var mujHandler = function(zprava) {
  console.log('Přišla zpráva ' + zprava);
}

eb.registerHandler('test.tisk', mujHandler);
```

Ukázka kódu 3.4: Zaregistrování obslužné rutiny v jazyce JavaScript

Obdobně to pak vypadá v ostatních jazycích.

```
EventBus eb = vertx.eventBus();

Handler<Message> mujHandler = new Handler<Message>() {
    public void handle(Message zprava) {
        System.out.println("Přišla zpráva " + zprava.body);
    }
};

eb.registerHandler("test.tisk", mujHandler);
```

Ukázka kódu 3.5: Zaregistrování obslužné rutiny v jazyce Java

Na podobném principu je pak postaven zbytek serverové části. Na jednotlivé události jsou zaregistrovány podobné obslužné rutiny, které většinou dohledají konkrétní mapu a provedou nad ní nějakou změnu. Výslednou mapu uloží a pošlou událost všem klientům jako je vidět na diagramu 3.3.

```
eventBus.publish('editor.udalosti.'+mindMap._id, {"udalost":
    "bodPridan", parentKey: args.parentKey, node: newNode})
```

Ukázka kódu 3.6: Publikování zprávy v jazyce JavaScript

Díky metodě *publish*, která je samozřejmě dostupná ve všech jazycích můžeme publikovat událost všem klientům, kteří mají zaregistrovanou obslužnou rutinu na identickou adresu, která je unikátní pro každou mapu.

3.3.3 Integrace s databází MongoDB

Vzhledem k jednoduchosti aplikace nebyl vytvořen diagram tříd. V aplikaci budou pouze dva modely, a to mapa a její potomek, který se od mapy liší pouze tím, že má místo globálního unikátního identifikátoru pouze unikátní identifikátor v rámci jedné mapy.

V centrálním repozitáři již existuje modul pro komunikaci s MongoDB[1], který poskytuje jednoduchou API pro asynchronní komunikaci s databází. Zaregistrujeme tedy obslužnou rutinu pro uložení myšlenkové mapy. Obdobně pak pro každou akci z definovaných cílů.

```
var eventBus = require('vertx/event_bus');
var console = require('vertx/console');

eventBus.registerHandler('mindMaps.save', function(mindMap) {
   dotaz_do_databaze = {action: "save", collection: "mindMaps",
       document: mindMap}
   eventBus.send('vertx.mongopersistor', dotaz_do_databaze,
       function(reply) {
      if (reply.status === "ok") {
         // vše v pořádku
      } else {
         console.log(reply.message);
      }
   });
});
```

Ukázka kódu 3.7: Uložení myšlenkové mapy do databáze

[1] https://github.com/vert-x/mod-mongo-persistor

```
{
    "name": "MindMap editor server 2 databázový modul, obrazkový
       exporter",
    "exporter": {
        "workers": 5
    },
    "mongodb": {
        "address": "vertx.mongopersistor",
        "host": "localhost",
        "port": 27017,
        "db_name": "mindmap_editor",
        "pool_size": 20
    },
    "shell": {
      "crash.auth": "simple",
      "crash.auth.simple.username": "admin",
      "crash.auth.simple.password": "heslo",
      "crash.ssh.port": 2000
    }
}
```

Ukázka kódu 3.8: Konfigurace serveru 2

_id unikátní identifikátor[2]

name název samotné mapy

children potomci

```
{
   "_id": "1234-6545-5612-3456",
   "name": "Živočichové",
   "children": [
      {
         "key": "1",
         "name": "Obratolvci",
         "children": [
            {
               "key": "2",
               "name": "Ryby"
            },
```

[2]podtržítkem se běžně označující neměnné proměnné

```
            {
               "key": "3",
               "name": "Plazi"
            }
         ]
      },
      {
         "key": "4",
         "name": "Bezobratlí"
      }
   ]
}
```

Struktura webové části

```
index.html
js/client.js //obsluha editoru
js/editor.js //vykreslování grafu - D3.js
js/vertxbus.js //knihovna pro napojení na Event Bus
css //složka pro kaskádové styly
```

Event Bus v prohlížeči

Nejdůležitější částí klientské aplikace je Vert.x vrstva nad SockJS [23], která zabaluje komunikaci se serverem na protokolu WebSocket [24]. Knihovna naváže a udržuje neustálé spojení se serverem. Implementací metod *eb.onopen a eb.onclose* může patřičně reagovat na otevření a uzavření spojení. Jediným parametrem samotného EventBusu je pak URL adresa na kterou se má připojit.

```
var eb = new vertx.EventBus(window.location.protocol + '//' +
    window.location.hostname + ':' + window.location.port +
    '/eventbus');

eb.onopen = function() {
   //tato metoda se volá po úspěšném navázání komunikace
   //zde již můžeme posílat zprávy
   eb.send("mindMaps.save", mapa, function(reply){
      eb.send("mindMaps.find", mapa._id, function(mindMap){
         new MindMapEditor(mindMap, eb); //inicializace editoru
      });
   });
```

```
}
```

Ukázka kódu 3.9: Připojení Event busu z prohlížeče a inicializace editoru

D3.js

Vynikající knihovnou pro práci s grafy je D3.js, napsaná v jazyce JavaScript. Díky stovkám již hotových ukázek si stačí jen vybrat, kterou použít. Všechny jsou totiž volně dostupné. Pro vykreslení myšlenkových map tak poslouží Collapsible Tree [20], který se výborně hodí právě pro stromové struktury. Implementace webového editoru je v souboru *editor.js*

```
var tree = d3.layout.tree()
         .size([vyska, sirka]);

var diagonal = d3.svg.diagonal()
        .projection(function(d) { return [d.y, d.x]; });

d3.json(mindMap);
```

Ukázka kódu 3.10: D3.js nicializace dat

3.4 Polyglot vývoj a moduly

Pro větší znovupoužitelnost je vhodné své aplikace balit do modulů, které pak lze snadno distribuovat v různých formátech. Aby se z editoru stal modul, musí být adresářová struktura upravena následovně.

```
mods //složka pro další moduly
lib //složka pro ostatní knihovny např. další jar soubory
main.js //stará se o spouštění celé aplikace v několika rolích
editor.js //obsluha editoru
database.js //obsluha událostí
web //kořenová složka webové části
mod.json //deskriptor modulu
```

Classloader při startu modulu automaticky načte všechny knihovny nacházející se ve složce *lib*. Ručně to lze pak přes parametr *-cp*[3]. Aby byl modul spustitelný, musí deskriptor modulu obsahovat parametr *main*. Což je cesta a jméno hlavního verticle. Modul, který nemá specifikovaný parametr *main* lze pak snadno použít v jiném modulu pomocí parametru *includes*. Modul se pak musí nacházet ve složce *mods*. Nasta-

[3] ClassPath

vením parametru *worker* na *true* docílíme vyčlenění všech verticlů z asociace na Event loop jak bylo řečeno v 2.2.2. Parametr *auto-redeploy* se hodí především v časech vývoje, při každé změně kódu dojdu k novému nasazení modulu.

```
{
  "main": "main.js",
  "worker": true,
  "includes": "io.majklk~mindmapeditor~0.0.1",
  "auto-redeploy": true
}
```

Jmenná konvence modulů vychází ze Java konvence [25] pro pojmenování balíčků kterou rozšiřuje o číslo verze *com.mycompany my-mod 1.0*. Pro publikování modulu jsou pak důležité nejrůznější metadata, které je dobré specifikovat.

```
{
   "developers": ["Michael Kutý"],
   "name": "MindMap Editor",
   "version": "0.0.1",
   "description": "Jednoduchý editor myšlenkových map",
   "keywords": ["vert.x,mongodb,d3js"]
}
```

Ukázka kódu 3.11: Deskriptor modulu

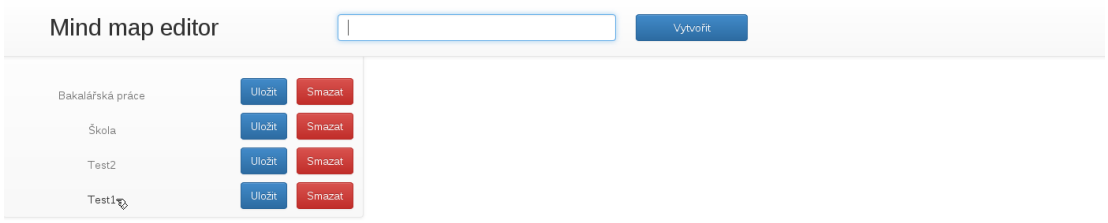
```
container.deployModule("io.majklk~mindmapeditor~0.0.1", JSONconfig);
```

Ukázka kódu 3.12: Spuštění modulu v jazyce Java

```
import org.vertx.java.core.Handler;
import org.vertx.java.core.eventbus.Message;
import org.vertx.java.core.json.JsonObject;
import org.vertx.java.platform.Verticle;

//třída musí rozšiřovat třídu Verticle
public class ImageExporter extends Verticle {

   public void start() {
      Handler<Message<JsonObject>> exportHandler = new
          Handler<Message<JsonObject>>() {
         public void handle(Message<JsonObject> message) {
            String svg = message.body().getString("svg");
            String css = message.body().getString("css");
```



Obrázek 3.4: Webová aplikace

```
            //odpověď volajícímu req/res
            message.reply(new JsonObject().putString("data",
                getPng(svg, css)));
        }
    };
    //zaregistrování obslužné rutiny
    vertx.eventBus().registerHandler("mindMaps.exporter.svg2png",
        exportHandler);
  }

  private String getPng(String svg, String css) {
    \\tělo metody
  }
}
```

Ukázka kódu 3.13: Verticle v jazyce Java

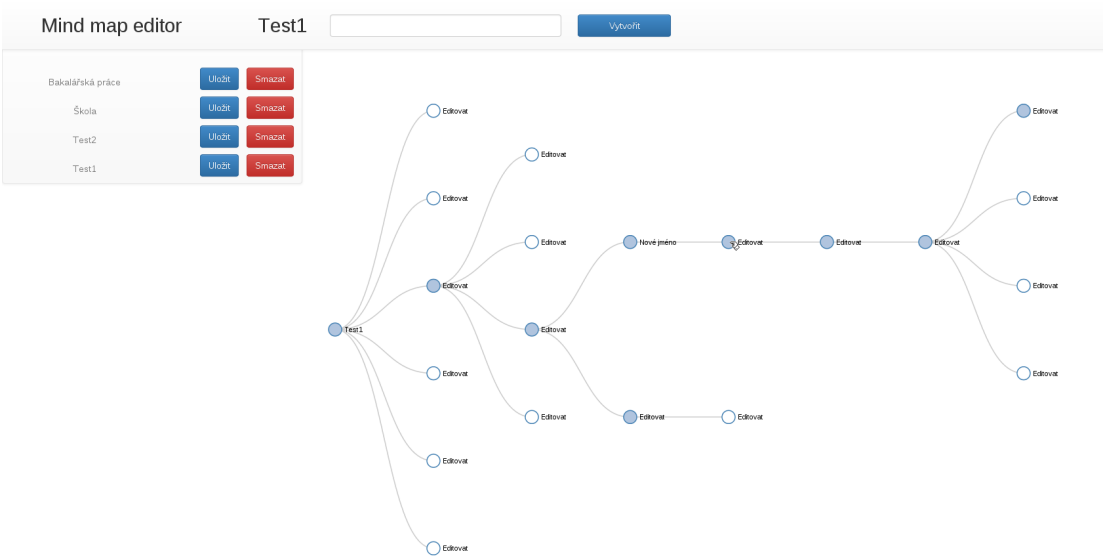
3.5 Základní software

Jádrem serveru je operační systém Ubuntu [21] 14.04 LTS[4] Server Edition s kódovým označením Trusty Tahr. Je to osvědčený systém, který bude má zaručenou podporu do roku 2019. Systém má aplikaci pro správu softwarových balíků aptitude. Všechny aplikace kromě samotného Vert.x jdou hravě nainstalovat pře tento systém.

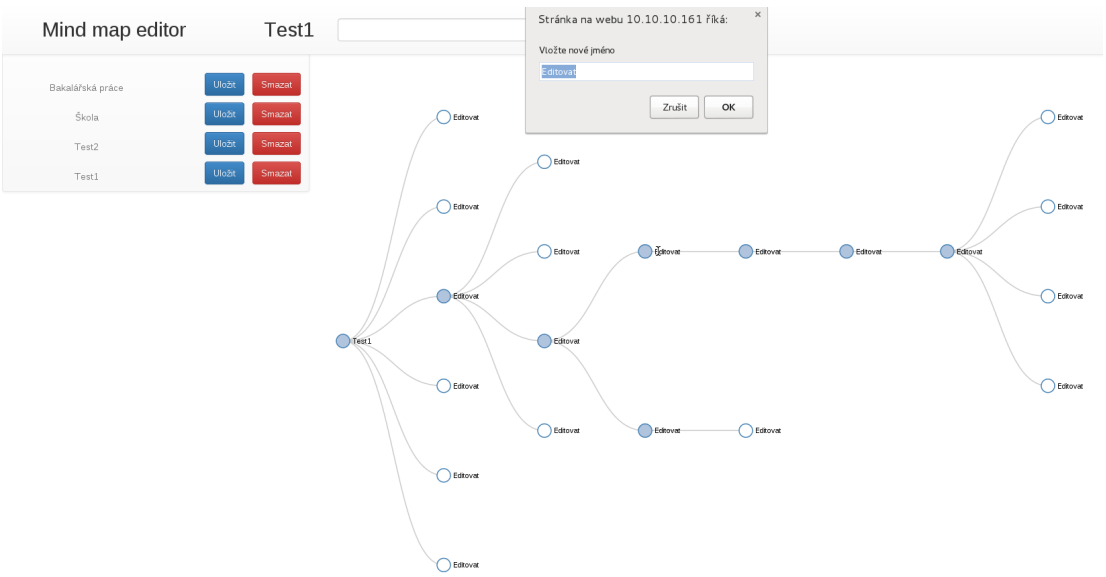
3.5.1 Java

Jako hlavní přísadou celého prostředí je otevřená implementace Java Platform, knihovna OpenJDK ve verzi 7.

[4] dlouhodobá podpora



Obrázek 3.5: Webová aplikace - otevření myšlenkové mapy



Obrázek 3.6: Webová aplikace - akce - editace

3.5.2 Vert.x

Jediná služba, která se zatím nenachází jako systémový balíček je samotný Vert.x. Pro jeho instalaci je nutné stáhnout distribuci ze stránek platformy. Tento archiv potom rozbalit do požadované lokace. Následně stačí v závislosti na konkrétním systému přidat soubor *vertx/bin/vertx* do systémové proměnné *PATH*. Poté by měla být funkční interakce s platformou pomocí příkazové řádky. Příklad proměnné *PATH* lze vidět v kapitole 3.5.4. Správné nastavení lze otestovat napsáním *vertx* do příkazové řádky. Správný výstup jsou pak pomocné informace pro komunikaci s platformou tzv. help.

3.5.3 Databázový server

Pro ukládání myšlenkových map je použita NoSQl databáze MongoDB ve verzi 2.6. MongoDB má za sebou více než pět let vývoje a několik obřích investic [22] do dalšího vývoje. V dnešní době existuje nespočet NoSQL databází, vzhledem k tomu, že již existuje Vert.x modul pro pohodlnou asynchronní spolupráci s touto databází, byla vybrána pravě tato NoSQL databáze. Pro instalaci stačí využít balíčkovací systém aptitude. Nastavení databáze lze ponechat ve výchozím stavu, kdy databáze naslouchá na portu 27017. Což lze vidět i z konfigurace aplikace v ukázce kódu 3.15.

```
apt-get install mongodb-server -y
```

3.5.4 Nasazení produkční služby

V současné verzi, (2.1.2) Vert.x nepodporuje běh v režimu daemon[5]. Nasazení v režimu daemon je však nutnost pro běh v produkčním prostředí. Pro běh aplikace MindMap editoru byla využita systémová služba Supervisord[6], která běží jako linuxový daemon a stará se o běh aplikace, v případě pádu se ji pokusí znovu nasadit. Samotná konfigurace služby pro běh v Supervisordu pak obsahuje základní parametry. Ve verzi 3.0 je však plánovaná funkce běhu v režimu daemona a nebude tak tato berlička potřeba.

```
[program:vertx_mindmap_editor]
directory=/srv/mindmap/app
environment=PATH="/srv/vert.x-2.1RC3/bin/vertx"
environment=JAVA_HOME="/usr/lib/jvm/java-7-openjdk-amd64/"
command=vertx runmod io.majklk~mindmapeditor~0.0.1 -conf
   /srv/mindmap/conf/allinone.json
user=root
autostart=true
```

[5]je program, který běží v pozadí, čeká na události, které nastanou, reaguje na ně a poskytuje služby.
[6]supervisord.org

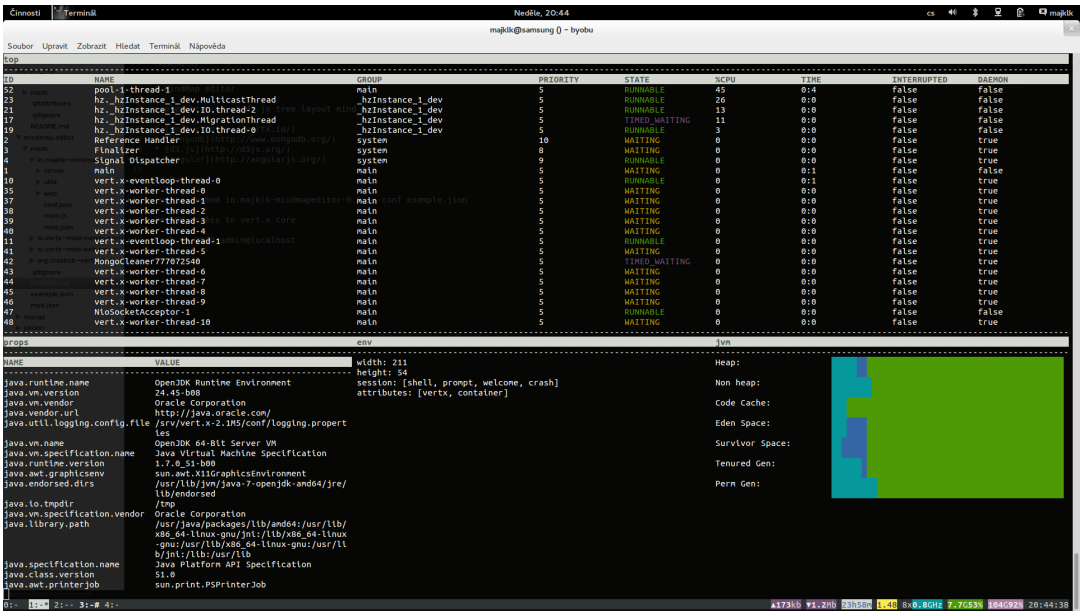
```
autorestart=true
redirect_stderr=true
stdout_logfile=/srv/mindmap/app/app.log
stderr_logfile=/srv/mindmap/app/error.log
startsecs=10
stopwaitsecs=600
```

Ukázka kódu 3.14: Konfigurace produkční služby

Nejdůležitější parametry jsou *environment* a *command*, které umožňují pohodlně spustit libovolnou aplikaci jako daemona.

3.5.5 Interakce s Vert.x

Díky modulu CrasHub Shell[7] se lze protokolem SSH[8] přihlásit přímo do Vert.x. Modul pak nabízí možnost interakce s jednotlivými komponentami samotného Vert.x. Lze například posílat zprávy přes Event Bus nebo nasazovat nové moduly za běhu celé aplikace.



Obrázek 3.7: Modul CrasHub Shell

Pro nasazení modulu stačí přidání klíče *shell* do konfigurace server 2. Po nasazení aplikace začne tento server poslouchat na portu 2000.

```
{
```

[7] https://github.com/crashub/mod-shell
[8] Secure Shell

```
    "name": "MindMap editor server 2 databázový modul, obrazkový
       exporter",
    "shell": {
      "crash.auth": "simple",
      "crash.auth.simple.username": "admin",
      "crash.auth.simple.password": "heslo",
      "crash.ssh.port": 2000
    }
}
```

Ukázka kódu 3.15: Konfigurace modulu CrasHub Shell

Samotný modul nabízí nepřeberné množství možností jak spravovat aplikace nebo ji naživo škálovat. Lze také jednoduše přidat vlastní příkazy a rozšířit tak možnosti tohoto modulu. Na obrázku 3.7 je hlavní přehledová stránka, na které lze vidět činnost vytížení a status všech vláken v celém clusteru. Dostupné jsou také informace o velikosti zásobníku, paměti či verze Javy.

3.6 Škálování

Škálování je nedílnou součástí životního cyklu aplikace. Ne zřídka dojde aplikace do situace, kdy začne být pomalá či často padat pod velkým náporem klientů. V následující kapitole proto rozebírám možnosti škálování Vert.x aplikací.

3.6.1 Vertikální

Samotné vertikální škálování lze efektivně řešit až na aplikační úrovni. Jak již bylo zmíněno v kapitole 2.2.2 voláním *Runtime.getRuntime().availableProcessors()*, lze získat počet procesorových jader a s tím dále pracovat. Upravením předchozích příkazů však docílíme shodného výsledku.

```
command=vertx runmod io.majklk~mindmapeditor~0.0.1 -instances 4
    -conf
```

3.6.2 Horizontální

Dle návrhu architektury na obrázku 3.2 bude aplikace nasazena na dva servery. První bude naslouchat na port 80 a poběží zde Webový server(HTTP Server). Tento server má vnitřní IP adresu *10.10.10.161*. Druhé rozhraní má připojené do internetu. Na druhém serveru je část aplikace, která komunikuje s databází a modul pro vzdálenou interakci s Vert.x. Jeho IP adresa je *10.10.10.162*. Pro propojení obou instancí je potřeba upravit spouštěcí příkaz v konfiguraci Supervisoru.

```
command=vertx runmod io.majklk~mindmapeditor~0.0.1 -conf
   /srv/mindmap/conf/webserver.json -cluster -cluster-host
   10.10.10.161
```

Ukázka kódu 3.16: Spuštění clusteru na Serveru 1

```
command=vertx runmod io.majklk~mindmapeditor~0.0.1 -conf
   /srv/mindmap/conf/dbserver.json -cluster -cluster-host
   10.10.10.162
```

Ukázka kódu 3.17: Spuštění clusteru na Serveru 2

3.6.3 Ladění výkonnosti

Hlavní sada vláken, tedy event loopů je ve výchozím nastavení na hodnotě odpovídající volání funkce *Runtime.getRuntime().availableProcessors()*. Tuto hodnotu lze změnit nastavením systémové proměnné *vertx.pool.eventloop.size*. Nastavením *vertx.pool.worker.size* pak lze změnit velikost poolu pro dlouhotrvající operace, která je ve výchozím nastavení na hodnotě 20.

3.7 Vysoká dostupnost

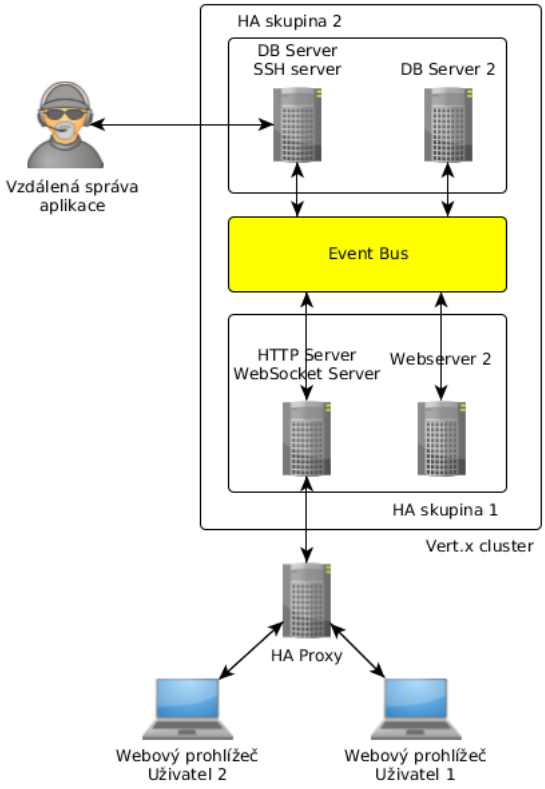
Pro zajištění vysoké dostupnosti klíčových prvků aplikace, je potřeba upravit architekturu clusteru. Před webový server je postaven load balancer[9] v tomto případě HA proxy, která při úpadku jednoho z webových serverů přesměruje komunikaci na server druhý. Vert.x cluster je rozdělený na dvě HA skupiny (obr.3.8), které se liší svým zaměřením. První dva servery slouží jako webové a jsou napojeny na HA proxy. Další dva slouží pro komunikaci s databází, která na nich, přímo běžet nemusí. V této HA skupině je dále modul pro interakci s Vert.x. Díky specifikaci HA skupiny nikdy nedojde k nasazení modulu na webovém serveru a tedy otevření SSH na portu 2000.

```
command=vertx runmod io.majklk~mindmapeditor~0.0.1 -conf
   /srv/mindmap/conf/dbserver.json -cluster-host 10.10.10.162 -ha
   -hagroup skupina-1
```

Ukázka kódu 3.18: Vysoká dostupnost na databázovém serveru 2

Když je specifikován parametr *-ha*, lze automaticky vypustit parametr *-cluster*.

[9] služba zajišťující vyrovnávání zatížení



Obrázek 3.8: Ideální architekutra nasazení aplikace

3.8 Integrace do stávající Java aplikace

Pokud je to jakkoliv jen možné, je vhodné se integraci vyhnout. Pokud však nejde jinak, existují dvě varianty jak integrovat platformu:

1. PlatformManager
2. Pomocí jar souboru

```
//díky platform managerovi lze provádět stejné úkony jako v
   příkazové řádce
PlatformManager pm = null;
pm = PlatformLocator.factory.createPlatformManager();

JsonObject conf = new JsonObject().putString("foo", "wibble");

pm.deployModule("com.mycompany~my-module~1.0", conf, 10, new
    AsyncResultHandler<String>() {
    public void handle(AsyncResult<String> asyncResult) {
        if (asyncResult.succeeded()) {
            System.out.println("Deployment ID is " +
                asyncResult.result());
        } else {
            asyncResult.cause().printStackTrace();
        }
    }
});
```

Ukázka kódu 3.19: Integrace do stávající Java aplikace

V takovém případě bude platforma hledat *cluster.xml* a *repos.txt* v proměnné classpath.

4 Shrnutí výsledků

Cílem této práce bylo představení platformy a srovnání s frameworkem Node.js. Ze srovnání vzešel jako jednoznačný vítěz právě Vert.x. A to jak v rychlostních testech, tak i v možnostech, které nabízí programátorovi pro vývoj webových aplikací. Rozdíl ve výkonnostních testech byl naprosto propastný. Platforma Vert.x zvládá řádově o desítky tisíc požadavků více. Mezi hlavní nedostatky Node.js patří absence vestavěné MQ pro pohodlnou komunikaci mezi jednotlivými aplikačními částmi, která se ukázala býti klíčovou pro distribuované aplikace.

Tato práce doporučuje použití platformy Vert.x pro vývoj distribuované webové aplikace. Jedná se o novou, výkonnou a dynamicky se rozvíjející platformu, která vývojáře nebude omezovat ani v případě velkého zatížení aplikace.

5 Závěr

Má práce představila unikátní filosofii a principy frameworku Vert.x. V práci jsem se pokusil o srovnání platformy s jejím nejčastěji zmiňovaným protikandidátem Node.js. V testu výkonů se dle mého názoru ukázalo, že framework Node.js nemůže platformě Vert.x konkurovat. A to bez ohledu na jazyk, ve kterém byly testy implementovány. Srovnání možností ukázalo, že platforma Vert.x toho může nabídnout mnohem více než její předchůdce.

V praktické části se mi podařilo vytvořit webovou aplikaci, která splňuje všechny aspekty moderní webové aplikace. Především pak komunikace v reálném čase bez náročných implementací či použití mnoha služeb a nástrojů, které by se projevily nejen zvýšením nákladů. Výhodou je, že v aplikaci je možné jednoduchým a intuitivním způsobem přidávat, přejmenovávat a odebírat její jednotlivé body. Pokud má stejnou myšlenkovou mapu otevřeno více lidí, okamžitě vidí změny, ostatních uživatelů. To zvyšuje rychlost kolaborace. Aplikace používá volně šiřitelný software, který je ve většině případů špičkové úrovně. Dle mého názoru vidím možnosti pro vylepšení aplikace na straně funkcionální. Bylo by vhodné rozšířit aplikaci o možnost přihlášení a správy pouze svých myšlenkových map nebo případné sdílení jednotlivých map s ostatními uživateli.

Z práce vyplývá, že Vert.x je vysoce modifikovatelný webový framework založený na komunikaci v reálném čase napříč všemi částmi aplikace. Vysoká modularita a otevřenost platformy Vert.x přináší značné výhody pro vývoj webových aplikací, především s dalšími nástroji usnadňujícími vývoj MVC nebo MVVM aplikací, například AngularJS. Již od počátku si kladl za cíl zjednodušit dosavadní možnosti vývoje a představit tak alternativu ke standardním nástrojům vývoje webových aplikací. Je to právě jednoduchost, univerzálnost a komplexnost řešení této platformy, které zlákalo společnost RedHat, která adoptovala tuto platformu. V současné době se velmi progresivně rozšiřuje celý ekosystém okolo Vert.x novými nástroji a možnostmi. A to je dobře. Zvyšují se tím mimo jiné i možnosti jejich využití.

Díky originálnímu spojení několika klíčových komponent přišla platforma s možností jednoduchého škálování napříč servery. Knihovna Hazelcast představuje klíčovou komponentu pro horizontální škálování. Do již běžícího clusteru lze přidávat nové servery. V režimu HA, lze zajistit vysokou dostupnost na míru celé aplikaci bez nut-

nosti běhu dalších služeb a pracné konfigurace.

5.1 Možnosti dalšího výzkumu

Tak rozsáhlé téma jako jsou distribuované webové aplikace rozhodně nelze podrobně popsat v rámci jedné bakalářské práce. Na tuto práci proto mohou navazovat kolegové z fakulty či jiných vysokých škol. V závěru si dovoluji pro ně navrhuji dvě zajímavá témata, na které již v této práci nezbyl prostor a rozhodně si zaslouží podrobnější analýzu. Já osobně se hodlám touhle problematikou dále zabývat, protože mě možnosti jejich využití doslova nadchly. Jsem rád, že existují lidé, kteří se nespokojí tzv. s málem.

5.1.1 Distribuované výpočty

V dnešní době Big Data[1] je zapotřebí tyto data efektivně a rychle zpracovávat. Velké společnosti proto investují nemále peníze do vývoje sotfwaru, který by efektivně zpracovával data napříč data centry. Představit možnosti spojení výhod platformy Vert.x s již hotovými a specializovanými nástroji.

5.1.2 Srovnání

Prostor vidím v možnosti srovnání s konkurenčními platformami, především s Akka a Jetty. Navrhnout a implementovat test, který by demonstroval deset tisíc spojení. Bylo by zajímavé vidět chování a spotřebu zdrojů aplikací pod takovým zatížením.

[1] velká data

Literatura

[1] Phipps, Simon *Who controls Vert.x: Red Hat, VMware, or neither?* [online]. [cit. 2014-02-16]. Dostupný z WWW: http://www.infoworld.com/d/open-source-software/who-controls-vertx-red-hat-vmware-or-neither-210549

[2] Verburg, Martijn *An Interview with Tim Fox – Vert.x and why it's better than NodeJS!* [online].[cit. 2014-03-22]. Dostupný z WWW:http://www.jclarity.com/topics/interviews/tim-fox

[3] Maurer, Norman *Netty in Action* [online]. [cit. 2014-03-20]. Dostupný z WWW: http://www.manning.com/maurer/netty_meap_ch1.pdf

[4] Kamali, Masoud *The Winners of the JAX Innovation Awards 2014* [online]. [cit. 2014-03-20]. Dostupný z WWW: http://jax.de/awards2014/

[5] Gardoh, Ed *Parallel Processing and Multi-Core Utilization with Java* [online]. [cit. 2014-03-22]. Dostupný z WWW: http://embarcaderos.net/2011/01/23/parallel-processing-and-multi-core-utilization-with-java/

[6] Merta, Zdeněk *Vert.x jOpenSpace 2013* [online]. [cit. 2014-03-22]. Dostupný z WWW: http://jopenspace.cz/2013/presentations/zdenek-merta-vert.x.pdf

[7] Ponge, Julien *Fork and Join: Java Can Excel at Painless Parallel Programming Too!* [online]. [cit. 2014-03-22]. Dostupný z WWW: http://www.oracle.com/technetwork/articles/java/fork-join-422606.html

[8] Oracle *Package java.util.concurrent Description* [online]. [cit. 2014-03-22]. Dostupný z WWW: http://docs.oracle.com/javase/7/docs/api/java/util/concurrent/package-summary.html#package_description

[9] Sun Song, Ki *Understanding Vert.x Architecture - Part II* [online]. [cit. 2014-03-22]. Dostupný z WWW: http://www.cubrid.org/blog/dev-platform/introduction-to-in-memory-data-grid-main-features/

[10] Jaehong, Kim *Introduction to In-Memory Data Grid: Main Features* [online]. [cit. 2014-03-22]. Dostupný z WWW: http://www.cubrid.org/blog/dev-platform/understanding-vertx-architecture-part-2/

[11] Pitner, Tomáš *Programování v jazyce Java* [online]. [cit. 2014-04-10]. Dostupný z WWW: http://www.fi.muni.cz/~tomp/slides/pb162/printable.html

[12] Lažanský, J.*Procesy a vlákna* [online]. [cit. 2014-04-15]. Dostupný z WWW: http://labe.felk.cvut.cz/vyuka/A4B33OSS/Tema-03-ProcesyVlakna.pdf

[13] Fox, Tim *Event loops* [online]. [cit. 2014-04-15]. Dostupný z WWW: http://vertx.io/manual.html#event-loops

[14] Kosek, Jiří *Session proměnné* [online]. [cit. 2014-04-15]. Dostupný z WWW: http://www.kosek.cz/clanky/php4/session.html

[15] Janssen, Cory *Message Queue* [online]. [cit. 2014-04-22]. Dostupný z WWW: http://www.techopedia.com/definition/25971/message-queue

[16] Froemke, Dina *Framework Benchmarks Round 8* [online]. [cit. 2014-04-22]. Dostupný z WWW: http://www.techempower.com/blog/2013/12/17/framework-benchmarks-round-8/

[17] Fox, Tim *Vert.x vs node.js simple HTTP benchmarks* [online]. [cit. 2014-06-22]. Dostupný z WWW: http://vertxproject.wordpress.com/2012/05/09/vert-x-vs-node-js-simple-http-benchmarks/

[18] Osuszek, Lukasz *Distributed Architecture of Enterprise Information Systems* [online]. [cit. 2014-07-31]. Dostupný z WWW http://www.soainstitute.org/resources/articles/distributed-architecture-enterprise-information-systems

[19] Halterman, Jordan *Vertigo* [online]. [cit. 2014-07-31]. Dostupný z WWW https://github.com/kuujo/vertigo

[20] Bostock, Mike *Collapsible Tree* [online]. [cit. 2014-07-31]. Dostupný z WWW http://bl.ocks.org/mbostock/4339083

[21] Canonical Ltd. *Ubuntu Server Edition* [online]. [cit. 2014-08-01]. Dostupný z WWW http://www.ubuntu.com/server

[22] Williams, Alex *MongoDB Raises 150M For NoSQL Database Technology With Salesforce Joining As Investor* [online]. [cit. 2014-08-02]. Dostupný z WWW `http://techcrunch.com/2013/10/04/mongodb-\raises-150m-for-nosql-database-technology-with-salesforce\-joining-as-investor/`

[23] Rauch, Guillermo *WebSocket emulation* [online]. [cit. 2014-08-02]. Dostupný z WWW `https://github.com/sockjs`

[24] Malý, Martin *Web sockets* [online]. [cit. 2014-08-02]. Dostupný z WWW `http://www.zdrojak.cz/clanky/web-sockets/`

[25] Oracle *Naming a Package* [online]. [cit. 2014-08-02]. Dostupný z WWW `http://docs.oracle.com/javase/tutorial/java/package/namingpkgs.html`

[26] Fox, Tim *Vert.x 3.0 Plan* [online]. [cit. 2014-08-02]. Dostupný z WWW `https://github.com/eclipse/vert.x/wiki/Vert.x-3.0-plan`

Přílohy

Seznam obrázků

Seznam tabulek

Seznam ukázek kódu