

UNIVERZITA HRADEC KRÁLOVÉ
FAKULTA INFORMATIKY A MANAGEMENTU
KATEDRA INFORMATIKY A KVANTITATIVNÍCH METOD



BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Vert.x jako platforma pro 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 31. července 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

Bakalářská práce se zaměřuje na problematiku vývoje distribuovaných webových aplikací. Teoretická část práce popisuje architekturu platformy Vert.x a problémy, které tato platforma řeší. V praktické části bude implementovaná malá jednostránková kolaborativní aplikace jejíž jednotlivé části budou roz distribuované na více instancí aby byla zajištěna vysoká dostupnost. Aplikace se nasadí do dvou referenčních instalací. První do prostředí VirtualBox a druhá v prostředí laboratoře CEPSOS při UHK.

Annotation

EN verze

Obsah

1	Úvod	1
1.1	Cíl a metodika práce	1
1.2	Postup a předpoklady práce	2
2	Platforma Vert.x	3
2.1	Historie	3
2.2	Architektura	4
2.2.1	Jádro	5
2.2.2	Asynchronní model	5
2.2.3	Terminologie	8
2.2.4	Event Bus	10
2.3	API	13
2.3.1	Základní API	13
2.3.2	Kontainer API	13
2.3.3	Polyglot	14
2.4	Clustering	14
2.4.1	Vysoká dostupnost	15
2.5	Porovnání s Node.js	17
2.5.1	Výkon	17
2.5.2	Vlastnosti	19
2.5.3	Závěr srovnání	19
3	Praktická část	21
3.1	Návrh	21
3.1.1	Cíle aplikace	22
3.1.2	Architektura	22
3.2	Řídící verticle	22
3.3	Integrace s databází MongoDB	23
3.4	Komunikace v reálném čase	23
3.4.1	Akce	23
3.4.2	Události	25
3.5	Polyglot vývoj a moduly	25
3.6	Nasazení	27
3.6.1	Server	27
3.6.2	Java	27
3.6.3	Vert.x	27

3.6.4	MongoDB	27
3.6.5	Nasazení produkční služby	27
3.7	Škálování a vysoká dostupnost	28
3.7.1	Počet Verticlů	28
3.7.2	Interakce s Vert.x	28
3.7.3	Vert.x v clusteru	28
3.7.4	Vysoká dostupnost	29
4	Závěr	31
	Literatura	33
	Přílohy	I

1 Úvod

V současné době existuje nespočet nástrojů (framework¹) pro vývoj webových aplikací ve spoustě programovacích jazycích. Výběr takového nástroje pak může být pro danou aplikaci klíčový. Vzhledem k faktu, že je s aplikací po celý životní cyklus, může se s časem stát svazujícím a nedostačujícím. Na reimplementaci však již není čas nebo peníze. Většina webových aplikací tak dříve nebo později narazí 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 tisíce klientů za minutu. Z rychlé a stabilní aplikace se tak může stát často padající aplikace s nepřiměřenou odezvou.

Právě proto, jsem se rozhodl k hlubšímu zkoumání v dané oblasti webových aplikací. V první části bakalářské práce je popsána architektura a jednotlivé technologie, které mě motivovali k hlubšímu studiu platformy Vert.x. V hlavní části práce následuje návrh a vlastní implementace jednostránkové aplikace. V závěru je pak shrnutí kladů a záporů platformy.

1.1 Cíl a metodika práce

Hlavním cílem práce bude zjištění zda-li se platforma Vert.x hodí pro vývoj distribuovaných jednostránkových aplikací dále jen SPA. Vytvoření jednoduchého webového editoru myšlenkových map. Na této jednoduché aplikaci bude demonstrován proces vývoje a nasazení webové aplikace pod platformou Vert.x. Vzhledem k rozsahu práce budou popsány spíše principy a architektura daného řešení než implementační detaily. Zdrojové kódy včetně návodu na spuštění aplikace jsou pak na serveru Github² a na příloženém 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.

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

²www.github.com/michaelkutty

Cílem teoretické části je tedy popsat jednotlivé části platformy a jejich účel či problém, který řeší. V závěru teoretické části bude platforma srovnána s nástrojem Node.js. Srovnání bude obsahovat test výkonnosti a porovnání vlastností.

V praktické části bude vytvořen editor pro správu a tvorbu myšlenkových map. Tyto mapy bude moci upravovat 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. Pro realizaci webové aplikace budou použity pokročilé techniky, které učiní aplikaci ještě více znovupoužitelnou a škálovatelnou. Tyto techniky budou čtenáři vysvětleny podrobným způsobem s použitím ukázek. 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:

- Java Development Kit 7: soubor základních nástrojů a knihoven pro běh a vývoj Java aplikací.
- Ubuntu 12.04: operační systém vhodný pro běh Vert.x aplikací
- Vert.x 2.1M3+: platforma pro vývoj webových aplikací
- MongoDB: dokumentové orientovaná NoSQL³ databáze
- D3.js: framework pro práci s grafy
- JQuery framework pro práci s GUI(Graphical user interface)

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

2 Platforma Vert.x

Dnešním trendem internetu jsou real-time kolaborativní aplikace, které drasticky změnily potřeby programátorů, na jednotlivé nástroje. Programátor tak má možnost zvolit si z velké řádky nástrojů mezi než patří například Node.js, Akka či ruby EventMachine. Problémem těchto jinak časem a komunitou prověřených platforem může být fakt, že jsou úzce spjaté s konkrétním programovacím jazykem či velmi náročná integrace do již stávající aplikace.

Vert.x je projekt vycházející z Node.js, který jako první framework, pokořil v roce 2010 C10K¹ problém. 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 a za pouhý rok si vydobyl své místo u komunity, která si jej velmi oblíbila. Pravděpodobně největší motivací pro vývoj nové platformy podobné Node.js byla právě oblíbenost Node.js.

Hlavním autorem platformy byl a 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 pracovní místo, 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 budoucí zdravý rozvoj platformy bude přesunutí celé platformy pod nadaci Eclipse Foundation, k čemuž došlo na konci roku 2013. V dnešní

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

Na tomto místě by bylo vhodné uvést, že platforma Vert.x letos vyhrála prestižní cenu "Most Innovative Java Technology" v soutěži JAX Innovation awards[2].

2.2.1 Jádno

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 činnost.

Lze jej následně rozšířit o novou funkčnost dokompilováním balíčků, které lze nalézt v oficiálním repositáři. Pravděpodobnou inspirací byl již zmíněný Node.js respektive NPM² u kterého se takováto forma vývoje velice oblíbila. Od doby vzniku této platformy vzniklo nespočet rozšíření, které udělaly z Node.js silný nástroj pro rychlý vývoj webových aplikací. Klíčové jsou aspekty jako událostmi řízené programování a neblokující asynchronní model.

Zásadní technologie, které integruje Vert.x.

Netty.io framework pro práci se vstupy a výstupy

Hazelcast In-memory data grid

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[9] 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 handlers³.

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 Vlákno⁴ je 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

²Node package manager

³obslužná rutina události

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

drahá a pomalá operace. Což se často obchází vytvořením zásoby uspaných vláken dopředu s nějakým managementem, co vlákna přidává a ubírá dle potřeby. Základním principem Vert.x a jemu podobných frameworků je jedno hlavní vlákno, obvykle pro každý procesor jedno. Takovéto vlákno si pak samo řídí vytváření a přidělování vláken.

Tento model bývá často kritizován, že nutí programátory psát špatně udržitelný kód, především pak v situacích, kdy je potřeba koordinovat výsledky mezi více handlers. 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 paralelního modelu v tomto jazyce. Neznamená to však, že se celá aplikace musí implementovat výhradně v jazyce Java. Jedinému 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 přepsání 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`

CyclicBarrier⁵ z balíčku `java.util.concurrent`

CountDownLatch z balíčku `java.util.concurrent`

File z balíčku `java.nio`

Vylepšený ClassLoader⁶ lepší odolnost vůči deadlockům⁷

Více o `java.concurrent`[6]

Ed Gardoh v roce 2011 ve svém jednoduchém testu[3] 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`[5].

Event loop

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 pak 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 pak „událostní smyčka“. Obrovská nevýhoda takového přístupu je, že

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.

nikdy nesmí dojít k blokování takového vlákna. Jakmile k tomu dojde, celá aplikace tzv. zamrzne. Při startu verticlu 2.2.3 je pak 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.)

Multi-reactor pattern

Základ jádra je postaven na tzv. Multi-reactor pattern[11], který vychází z Reactor patternu[4], ten lze charakterizovat několika body:

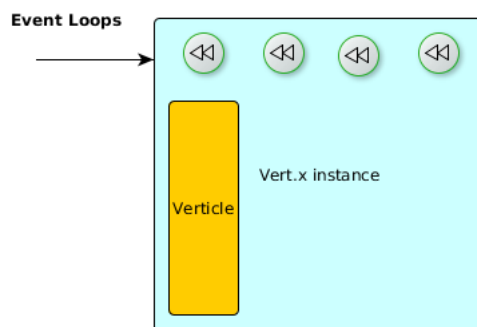
- aplikace je řízena událostmi
- na události se registrují handlers
- vlákno zpracovává události a spouští registrované handlers
- toto vlákno nesmí být blokováno⁸

Multi-reactor pattern[11] 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 2.2 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 3.7. Na obrázku 2.3 na straně 9 pak lze vidět situaci čtyř hlavních vláken na čtyři procesorové 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 poskytující 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.

⁸pokud dojde k zablokování hlavního vlákna dojde k zablokování celé aplikace např. `Thread.sleep()`, a další z `java.util.concurrent`



Obrázek 2.2: Vert.x instance

2.2.3 Terminologie

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

Verticle

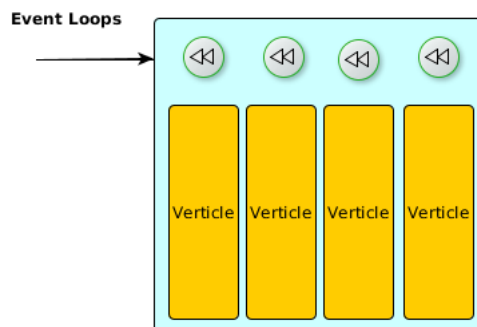
Základní jednotka vývoje a nasazení. verticle si lze představit jako kus kódu v jazyce Java pak jako třídu s hlavní metodou. verticle je tak nejmenší funkční jednotkou Vert.x. verticle lze spouštět samostatně přímo z příkazové řádky podobně jako skript. Každý verticle běží ve vlastním vlákně z čehož plynou výhody, ale také nevýhody. Díky tomu, že každý verticle běží ve vlastním vlákně odpadá nutnost zámků nad proměnnými, synchronizace vláken. V případě jedno vláknového modelu také odpadají deadlocky. Vzhledem k tomu, že každý verticle má svůj vlastní classloader nemůže tak sdílet statické metody ani hodnoty proměnných s ostatními. Sdílet data je tak možné pouze dvěma způsoby.

- pomocí Message Queue[13] dále jen MQ
- SharedData object a SharedSet *vertx.sharedData()*

Objekty v SharedData musí být immutable⁹. 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 2.2 je vidět jeden verticle v kontextu jedné Vert.x instance. Následuje sumarizace vlastností verticle.

- nejmenší spustitelná jednotka

⁹jakmile jednou takovýto objekt vznikne nejde dále měnit jeho proměnné



Obrázek 2.3: Vert.x instance *vertex run HelloWorld -instances 4*

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

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. Tím dojde k vyčlenění verticle z asociace na hlavní vlákna a takovému vlákně pak bude přiděleno vlákno z Background thread poolu. Uvnitř takového to verticle lze pak vykonávat blokující volání bez blokování celé aplikace. To se v praxi ukázalo jako velice užitečná věc. Bohužel tímto ztrácíme efektivní možnost škálování pro velký počet konkurenčních vláken.

Vert.x instance

Každý verticle běží uvnitř Vert.x instance 2.2 na předchozí straně a každá instance běží ve vlastní JVM instanci. V jedné Vert.x instanci může najednou běžet nespočet Verticlů. Všechny verticle můžou běžet souběžně na jednom serveru. Na jedno serveru může současně běžet mnoho Vert.x instancí v případě clusterování i na více serverech. verticle spolu pak komunikují pomocí distribuovaného EventBusu.

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 repozitáři¹⁰ nebo může být využit jakýkoliv jiný repozitář. Repozitáře v kterých hledá Vert.x při startu instance dostupné moduly lze definovat v hlavní konfiguraci Vert.x. Každý modul musí mít svůj deskriptor ve formátu JSON¹¹. Jak může vypadat deskriptor je více popsáno v kapitole 3.5.

Výhody plynoucí z použití modulů:

- `classpath`¹² je zapouzdřený a díky tomu lze moduly používat mnohem snáze
- všechny závislosti jsou zapouzdřeny v jediném souboru ve formátu ZIP
- 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 dále rozdělit podle typu určení modulu.

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

nespustitelné modul nemá specifikovaný hlavní verticle a lze jej použít v jiném modulu použitím metody *includes*

2.2.4 Event Bus

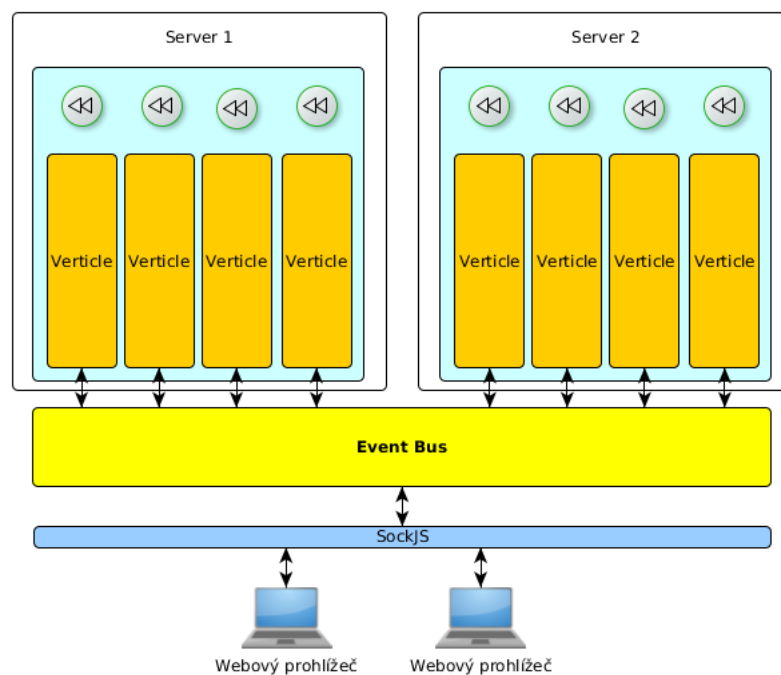
Nervový systém celého Vert.x, jehož název lze volně přeložit jako sběrnice událostí. Cílem EventBusu je zpožděkování komunikace mezi jednotlivými komponentami a vlákny aplikace. Podobně jako při použití externí MQ. Díky faktu, že komponenta Event Bus je implementována přímo v jádru platformy odpadá nutnost používat další knihovny pro práci s MQ a v neposlední řadě také režijní náklady či výpočetní výkon. Jak je vidět na obrázku, komponenta Event Bus je distribuovaná přes všechny instance v clusteru. Obrovskou výhodou oproti externí MQ je fakt, že lze takovouto komunikaci snadno přemostit ke klientovi na straně webového prohlížeče což je detailněji popsáno v kapitole 3.4.

Základní typy komunikace:

¹⁰<http://modulereg.vertx.io/>

¹¹je odlehčený formát pro výměnu dat

¹²říká JVM, kde má hledat třídy a balíčky



Obrázek 2.4: Event Bus distribuovaný mezi dva servery

- Point to Point
- Publish/Subscribe

typy zpráv:

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

Toto je výčet pouze základních typů zpráv, které Vert.x podporuje v jádře. Není ale vůbec problém výčet stávajících typů rozšířit implementací vlastního modulu. Například modul `bson.vertx.eventbus`¹³ rozšíří EventBus o možnost používat mnohem komplexnější typy zpráv jejichž výčet se nachází níže.

- `java.util.UUID`
- `java.util.List`

¹³<https://github.com/pmlopes/mod-bson-io>

- 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 [7] lze podle Ki Sun Song sumarizovat:

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

Knihovnu Hazelcast lze využít v několika rolích:

- NoSQL databáze v paměti
- Cache¹⁴
- Data grid
- Zasílání zpráv
- Aplikační škálování
- Clustrování aplikací

Hazelcast je tedy typ distribuovaného úložiště, které běží jako vestavěný systém a lze díky němu distribuovat celou aplikaci do více geografických lokací nebo zasílat zprávy mezi jednotlivými komponentami. Vert.x API využívá Hazelcast API a odstíňuje tak programátora od poměrně nízké úrovně API Hazelcastu. Když je Vert.x

¹⁴specializovaný typ paměti pro krátkodobé ukládání

spuštěn, Hazelcast je spuštěn v módu vestavěného systému. Odpadá tak režie další služby. Jako nejčastější příklad užití samotného Hazelcastu bývá uváděno ukládání uživatelské session[12]. 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.

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 kdokoli 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

Základní API, které Vert.x poskytuje programátorovi je poněkud strohé a obdobné jako u frameworku Node.js. Platforma tak poskytuje stabilní základ, který se v praxi neobejde bez modulů o kterých pojednává kapitola 2.2.3.

- TCP/SSL server/klient
- HTTP/HTTPS server/klient
- Websockets server/klient, SockJS
- Distribuovaný Event Bus
- Časovače
- Práce s buffery
- Přístup k souborovému systému
- Přístup ke konfiguraci

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 schopní škálovat aplikaci za běhu či měnit

funkcionalitu celé aplikace aniž by to někdo mohl zaregistrovat. Tuto API můžeme také volat přímo z příkazové řádky dále jen CLI¹⁵.

- 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 apod. Tento fakt hodně napomáhá celé platformě nalákat nové programátory, protože ne každý na světě umí programovací jazyk Java. Výčet podporovaných jazyků ve verzi 2.0. Do verze 3.0 se pak chystá automatické generování API pro každý jazyk.

- Java
- Javascript, CoffeeScript
- Ruby
- Python
- Groovy
- PHP
- Clojure

2.4 Clustering

Díky integraci Hazelcastu získala platforma Vert.x řadu zajímavých vlastností mezi které patří také možnost vertikálního škálování neboli clusteringu. To znamená, že můžeme aplikace jednoduše škálovat přes více serverů bez nutnosti běhu dalších služeb a režijních nákladů. Přímou za běhu aplikace lze přidávat další Vert.x instance do clusterů.

¹⁵Command Line Interface

Samotná konfigurace clusteru není pak nic složitého a odehrává se v souboru *conf/cluster.xml* a spočívá v nastavení členů clusteru nebo specifikování multicastové¹⁶ adresy a portu na které bude Hazelcast po startu vyhledávat členy clusteru. Velkou výhodou je pak možnost šifrované komunikace, díky čemuž odpadá nutnost použití nejrůznějších služeb zajišťující šifrování komunikace na síťové vrstvě v případě nasazení na veřejné síti nebo ve více geografických lokacích. 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 pak bude komunikovat Hazelcast. V kapitole 3.7.3 je pak tato možnost využita pro běh Vert.x clusteru na odlišném rozhraní než je běží webový server.

2.4.1 Vysoká dostupnost

Samostatnou kapitolou v oblasti clusteringu je HA¹⁷ 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 2.5 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.

Skupiny HA

V případě spuštění modulů v režimu HA lze pak 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 3.7.

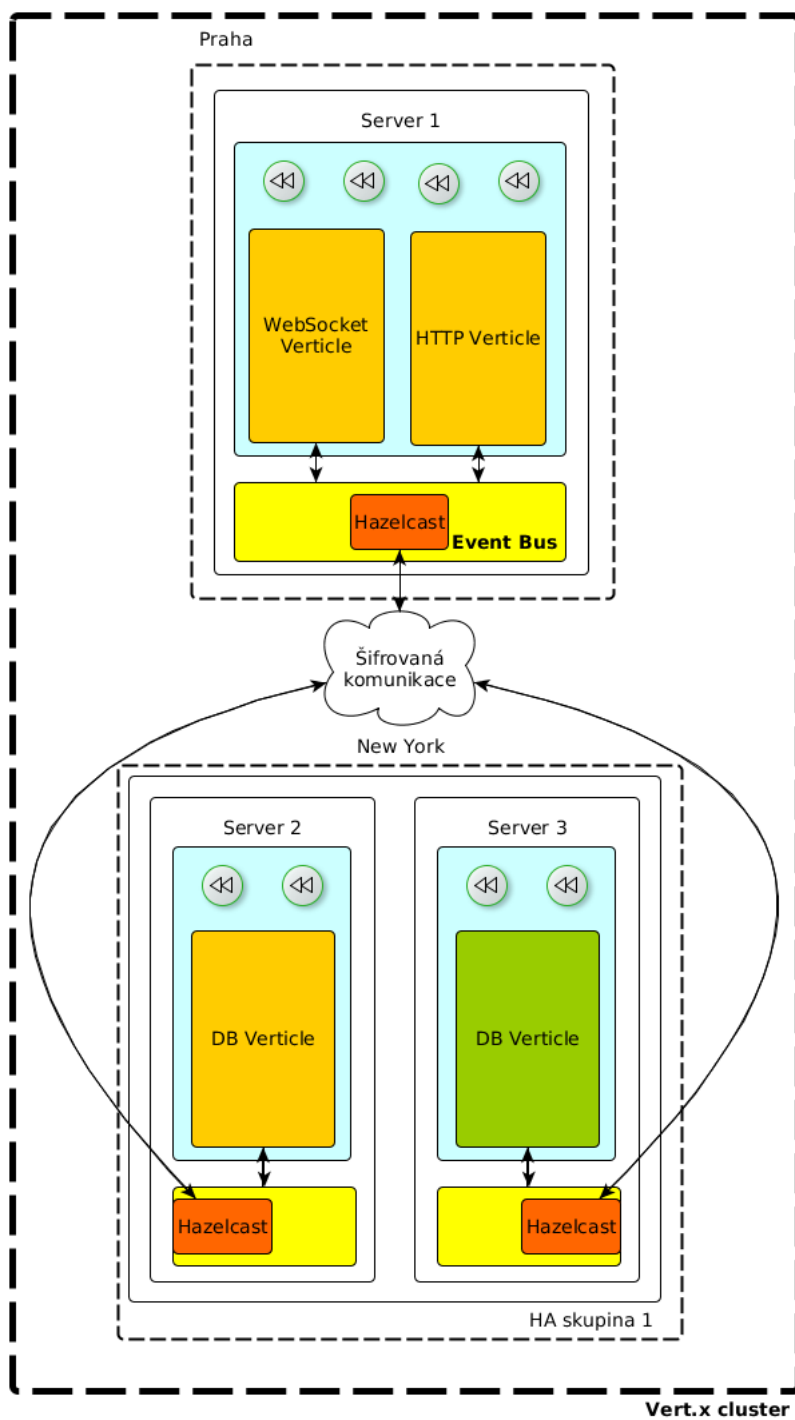
Kvorum

Při spuštění Vert.x instance lze specifikovat kvorum¹⁸. Pokud nebude splněno kvorum nebude instance nasazena v režimu HA. Kvorum lze pak snadno spočítat ze vzorce Q

¹⁶logický identifikátor skupiny síťových hostů

¹⁷HA - High Availability

¹⁸minimální počet serverů pro zajištění vysoké dostupnosti



Obrázek 2.5: Clustering mezi třemi Vert.x instancemi

$= 1 + N/2$, kde N je počet serverů. Pokud dojde při běhu aplikace k porušení kvora bude režim HA automaticky vysazen.

2.5 Porovnání s Node.js

V následující kapitole bude porovnána platforma Vert.x s již zmíněnou platformou Node.js. Výkonnostní test[15] 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 pak tabulka 2.1 srovnání odezev s vybranými webovými platformami z daty ze zdroje[14].

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 pak 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 200¹⁹
2. Dotaz na statický soubor o velikosti 72 bytů

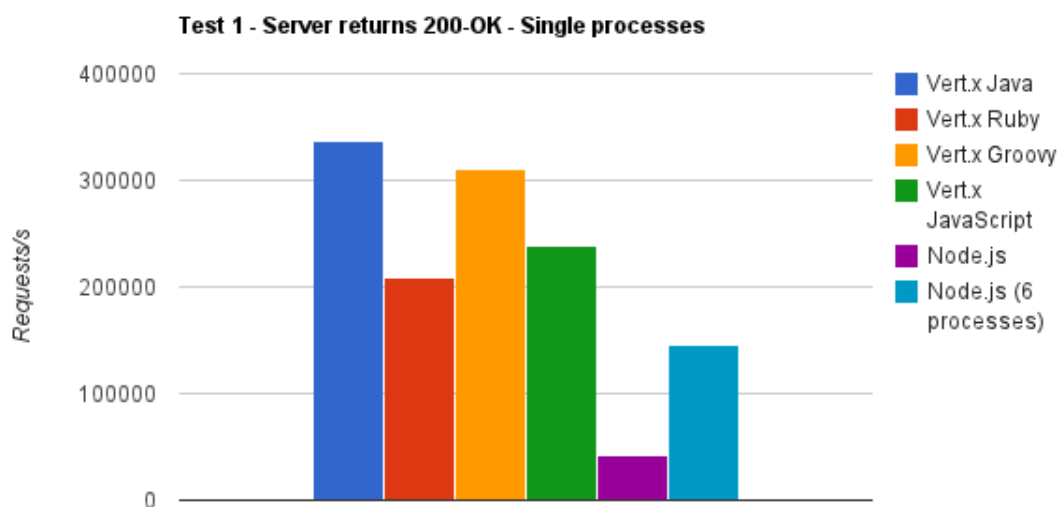
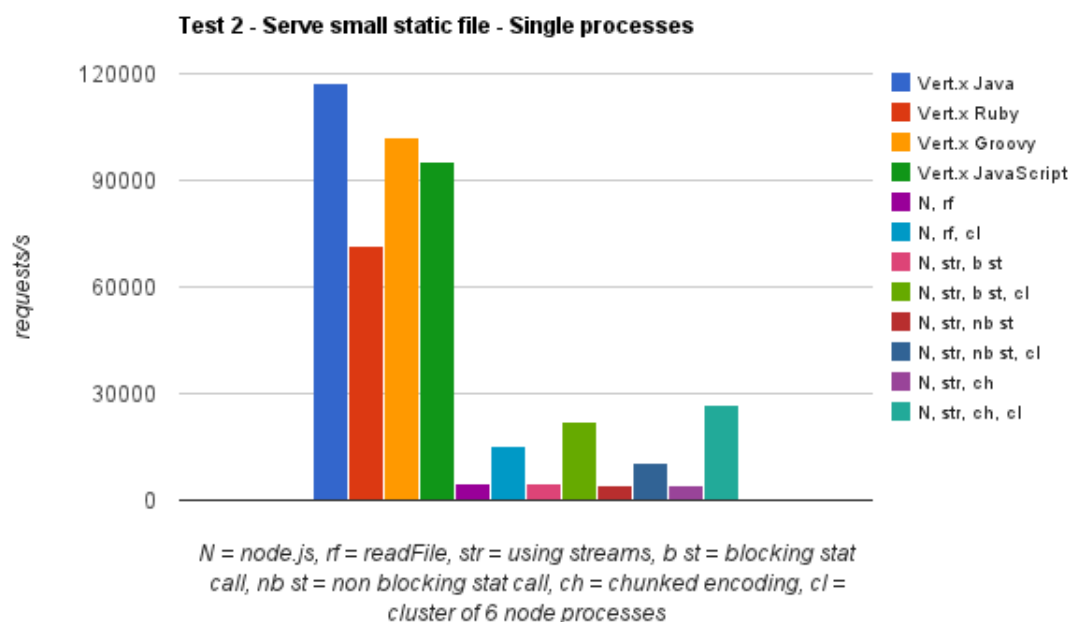
Hardware

V prvním testu od Tima Foxe je použit 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.

Výsledky

Jak lze vidět na obrázku 2.6 a 2.7 výsledky obou testů lze shrnout do jedné věty. Vert.x zvládá řádově o desítky tisíc více odpovědí než platforma Node.js a i v případě režimu clusteru.

¹⁹HTTP status - OK


 Obrázek 2.6: Výsledky prvního testu *Tim Fox* [15]

 Obrázek 2.7: Výsledek druhého testu *Tim Fox* [15]

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.

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

Tabulka 2.1: Srovnání odezvy, převzato a upraveno z [14]

2.5.2 Vlastnosti

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

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
Polygnot	Ne	Ano

Tabulka 2.2: Srovnání vlastností s Node.js

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 po-

skytuje řádově větší výkon a počet vlastností, nehledě na fakt, že v případě Node.js lze psát aplikaci pouze v jazyce JavaScript, který se může jevit jako naprosto nevhodný pro Enterprise aplikaci.

3 Praktická část

popis

3.1 Návrh

Schéma myšlenkové mapy.

```
{
  "_id": "1234-5678-9012-3456",
  "name": "Berries",
  "children": [
    {
      "key": "1",
      "name": "Grapes",
      "children": [
        {
          "key": "2",
          "name": "Red grapes"
        },
        {
          "key": "3",
          "name": "Green grapes"
        }
      ]
    },
    {
      "key": "4",
      "name": "Strawberries"
    },
    {
      "key": "5",
      "name": "Blueberries"
    }
  ]
}
```

3.1.1 Cíle aplikace

- Přidání a odstranění myšlenkových map
- Přidání a odstranění jednotlivých bodů v myšlenkové mapě
- Nevim

3.1.2 Architektura

Adresářová struktura aplikace

```

README.md
mods/neco

vertx runmod io.majklk~mindmapeditor~0.0.1 -conf
    /srv/mindmap/conf/mindmajson -cluster-host 10.10.10.161 -ha

[program:vertx_mindmap]
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/exporter.json -cluster-host 10.10.10.162 -ha

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

```

3.2 Řídící verticle

Vzhledem k tomu, že bude aplikace nasazená na více serverech ve více rolích bylo by potřeba napsat několik modulů podle zaměření, které tam startovat. To lze vyřešit napsáním „startéru“, který dle konfigurace nastartuje příslušné moduly či verticly.

```

JsonObject config = new JsonObject();
config.putString("foo", "wibble");
config.putBoolean("bar", false);

```

```
container.deployVerticle("foo.ChildVerticle", config);
```

Spuštění verticle z příkazové řádky

```
vertx run foo.js -conf myconf.json
```

3.3 Integrace s databází MongoDB

databaze

3.4 Komunikace v reálném čase

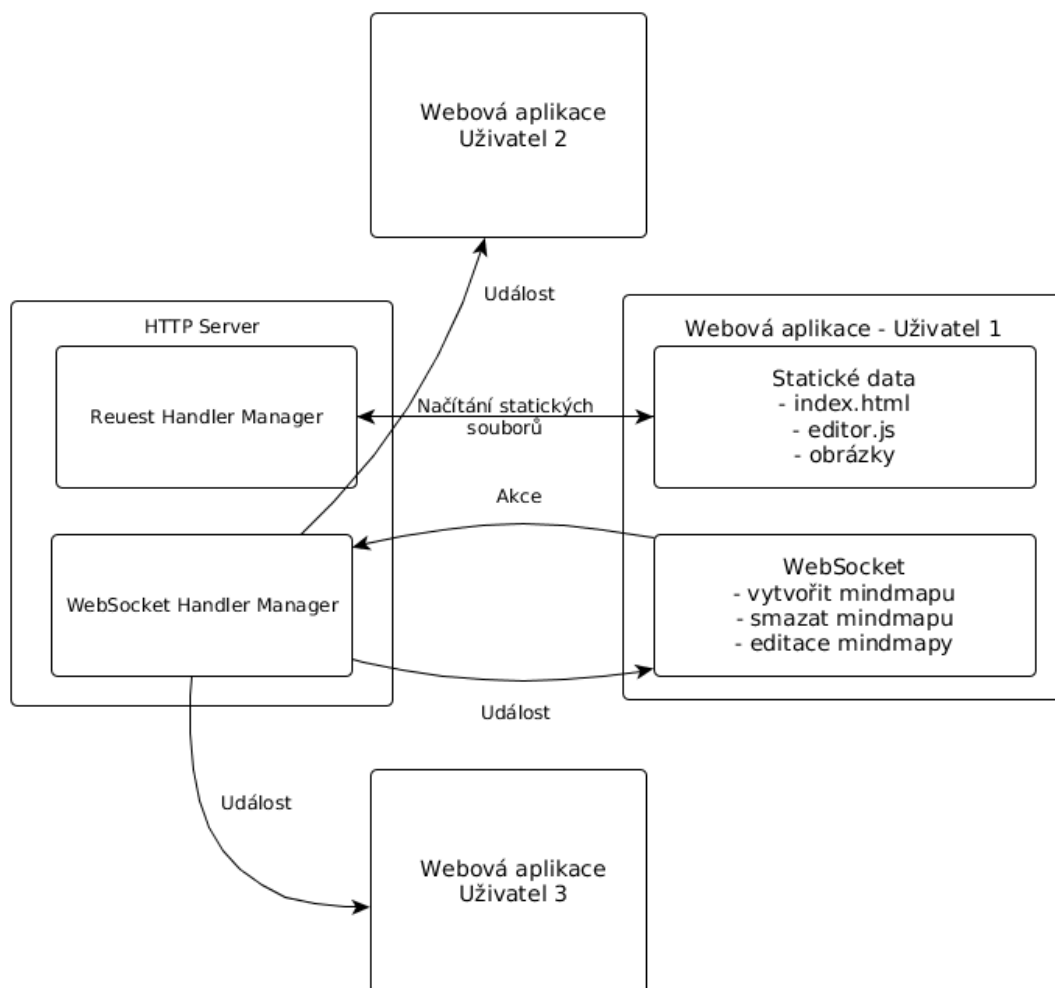
Po načtení myšlenkové mapy přichází na řadu aspekty komunikace v reálném čase. V rámci editoru myšlenkových map budou implementovány tři základní operace.

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

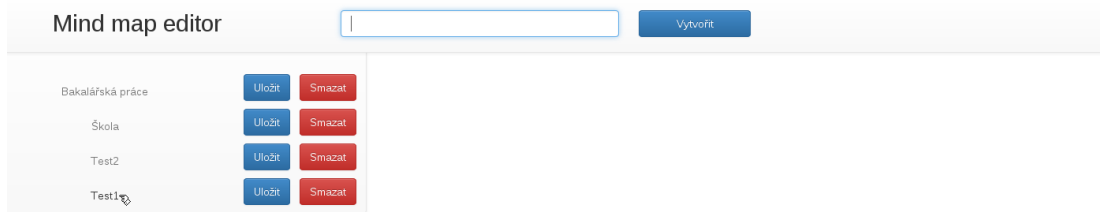
V tradiční webové aplikaci by to znamenalo implementaci těchto metod typem požadavek-odpověď jako operací konkrétní API. Při přidání objektu by se zavolala API a nazpět by přišla odpověď zda-li byla akce úspěšná. Pokud bychom však chtěli mít editor, který by propagoval změny ke všem, kdo mají myšlenkovou mapu otevřenou museli bychom znát přihlášené uživatele, kterým by server poslal notifikaci o změně. Mnohem jednodušší 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 nebo kdokoliv jiný, dojde k odeslání události všem zaregistrovaným klientům okamžitě v době vykonání události. Tuto situaci lze vidět na obrázku 3.1. 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.

3.4.1 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, který byl představen v kapitole 2.2.4. Na straně serveru je pak verticle, který



Obrázek 3.1: Komunikace v reálném čase



Obrázek 3.2: Webová aplikace

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.

3.4.2 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.

3.5 Polyglot vývoj a moduly

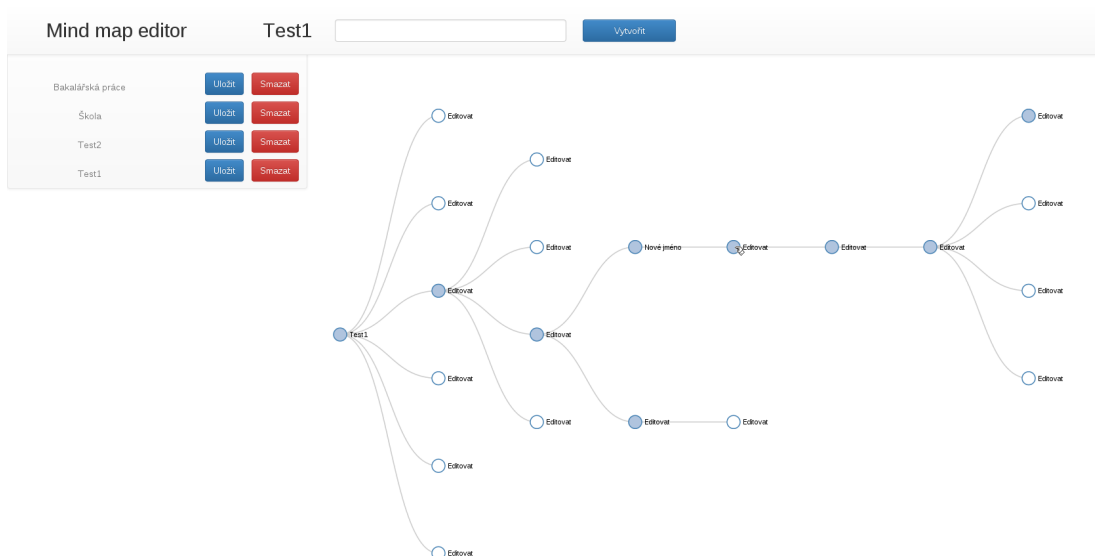
deskriptortoto je poze základní výčet parametrů všechny lze nalézt v dokumentaci Vert.x

```
{
  "main": "EchoServer.java",
  "worker": true,
  "includes": "io.vertx~some-module~1.1",
  "auto-redeploy": true
}
```

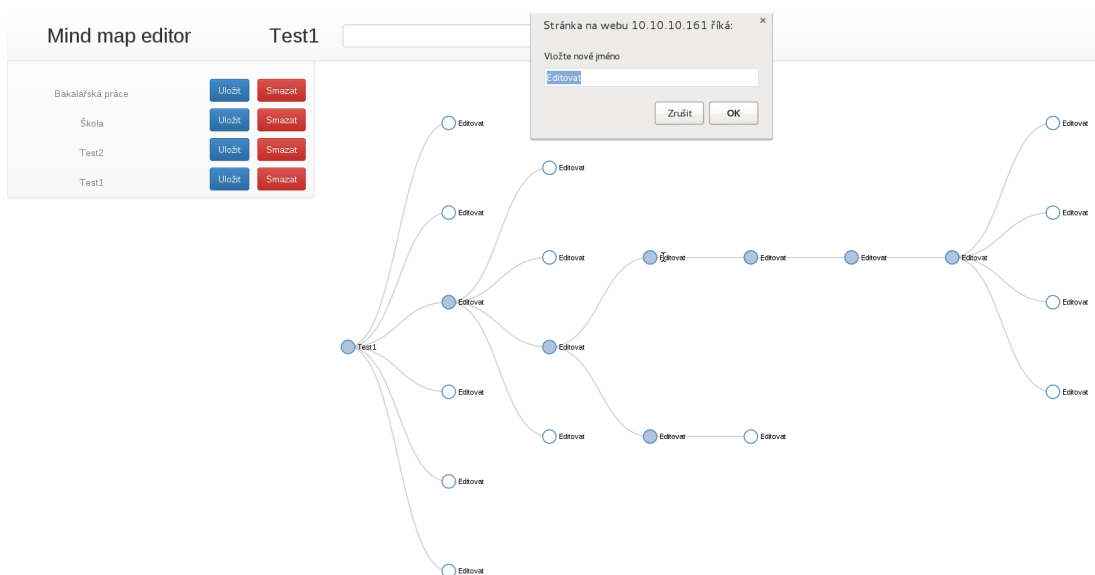
Parametr *auto-redeploy* mluví sám za sebe.

Jak bylo řečeno v 2.2.2 Vert.x instance má dvě sady vláken. Parametrem *worker* v deskriptoru modulu, lze říci Vert.x jádru aby spustil modul v *background worker poolu*.

Spuštění modulu programově v jazyce Java



Obrázek 3.3: Webová aplikace - otevření myšlenkové mapy



Obrázek 3.4: Webová aplikace - akce - editace

```
container.deployModule("io.vertx~mod-mailer~2.0.0-beta1",  
    JSONconfig);
```

Spuštění modulu z příkazové řádky

```
vertx runmod com.mycompany~my-mod~1.0 -conf config.json
```

moduly vice jazyku

3.6 Nasazení

deploy + scaling

3.6.1 Server

ubuntu

3.6.2 Java

java

3.6.3 Vert.x

vert.x

3.6.4 MongoDB

mongodb

3.6.5 Nasazení produkční služby

V současné verzi Vert.x nepodporuje běh v režimu daemon¹. Nasazení v režimu daemon je však nutnost pro běh v produkčním prostředí. Pro běh aplikace MindMap editoru byla využita systémová služba Supervisord², 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. V 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
```

¹je program, který běží v pozadí, čeká na události, které nastanou, reaguje na ně a poskytuje služby.

²supervisord.org

```

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/exporter.json -cluster-host 10.10.10.162 -ha
user=root
autostart=true
autorestart=true
redirect_stderr=true
stdout_logfile=/srv/mindmap/app/app.log
stderr_logfile=/srv/mindmap/app/error.log
startsecs=10
stopwaitsecs=600

```

3.7 Škálování a vysoká dostupnost

možnosti škálování a HA

3.7.1 Počet Verticlů

verticle count

3.7.2 Interakce s Vert.x

Díky modulu CrasHub Shell³ se lze protokolem SSH⁴ 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. Samotný modul pak nabízí jednoduchou možnost přidání vlastním příkazů. Na obrázku je pak vidět přehledová obrazovka. Na obrazovce je seznam všech vláken, celkové velikost zásobníku či verze použité Javy.

3.7.3 Vert.x v clusteru

Pro zajištění bezpečnosti databázového serveru, kde běží také služba pro vzdálený přístup k Vert.x instanci bude aplikace nasazena v clusteru. Webový server(HTTP Server) na obrázku 3.6 je připojen do dvou sítí.

Internet pouze webový server

Síť clusteru všechny servery

³<https://github.com/crashub/mod-shell>

⁴Secure Shell

```
Cinotti | Terminik | Needle, 20:44 | cs 41 10 10 10 map
```

```
Soubor Upravit Zobrazit Hledat Terminik Nápověda
```

```
top
```

ID	NAME	GROUP	PRIORITY	STATE	NCPU	TIME	INTERRUPTED	DAPCON
10	pool-1-thread-1	main	5	RUNNABLE	42	0:04	false	false
21	hz_hInstance_1_dev.MulticastThread	_hInstance_1_dev	5	RUNNABLE	16	0:0	false	false
23	hz_hInstance_1_dev.io.thread-2	hz_hInstance_1_dev	5	RUNNABLE	23	0:0	false	false
17	hz_hInstance_1_dev.migrationThread	hz_hInstance_1_dev	5	TIMED_WAITING	11	0:0	false	false
19	hz_hInstance_1_dev.io.thread-0	hz_hInstance_1_dev	5	RUNNABLE	3	0:0	false	false
6	Reference Handler	system	10	WAITING	0	0:0	false	true
1	Finalizer	system	8	WAITING	0	0:0	false	true
4	Signal Dispatcher	system	9	RUNNABLE	0	0:0	false	true
10	vert.x-eventloop-thread-0	main	5	RUNNABLE	0	0:1	false	true
35	vert.x-worker-thread-0	main	5	WAITING	0	0:0	false	true
17	vert.x-worker-thread-1	main	5	WAITING	0	0:0	false	true
38	vert.x-worker-thread-2	main	5	WAITING	0	0:0	false	true
39	vert.x-worker-thread-3	main	5	WAITING	0	0:0	false	true
40	vert.x-worker-thread-4	main	5	WAITING	0	0:0	false	true
11	vert.x-eventloop-thread-1	main	5	RUNNABLE	0	0:0	false	true
41	vert.x-worker-thread-5	main	5	WAITING	0	0:0	false	true
42	MongoCleaner777072540	main	5	TIMED_WAITING	0	0:0	false	true
43	vert.x-worker-thread-6	main	5	WAITING	0	0:0	false	true
44	vert.x-worker-thread-7	main	5	WAITING	0	0:0	false	true
45	vert.x-worker-thread-8	main	5	WAITING	0	0:0	false	true
46	vert.x-worker-thread-9	main	5	WAITING	0	0:0	false	true
17	MongoDockerConnector-1	main	5	WAITING	0	0:0	false	false
48	vert.x-worker-thread-10	main	5	WAITING	0	0:0	false	true

```
procs          env                      jvm
```

NAME	VALUE	Heap:
java.runtime.name	OpenJDK Runtime Environment	Non heap:
java.vm.version	24.45-b08	Code Cache:
java.vendor	Oracle Corporation	Eden Space:
java.vendor.url	http://java.oracle.com	Survivor Space:
java.util.logging.config.file	/usr/lib/jvm/java-2-jdk/conf/logging.properties	Tenured Gen:
java.vm.name	OpenJDK 64-Bit Server VM	Perm Gen:
java.specification.name	Java Virtual Machine Specification	
java.runtime.version	17.0_51-b00	
java.awt.graphicsenv	sun.awt.X11GraphicsEnvironment	
java.endorsed.dirs	/usr/lib/jvm/java-7-openjdk-amd64/jre/lib/endorsed	
java.io.tmpdir	/tmp	
java.specification.vendor	Oracle Corporation	
java.library.path	/usr/lib/jvm/packages/lib/amd64:/usr/lib/x86_64-linux-gnu/jni:/lib/x86_64-linux-gnu:/usr/lib/x86_64-linux-gnu:/usr/lib/jni:/usr/lib	
java.specification.name	Java Platform API Specification	
java.class.version	51.0	
java.awt.printerjob	sun.print.PSPrinterJob	

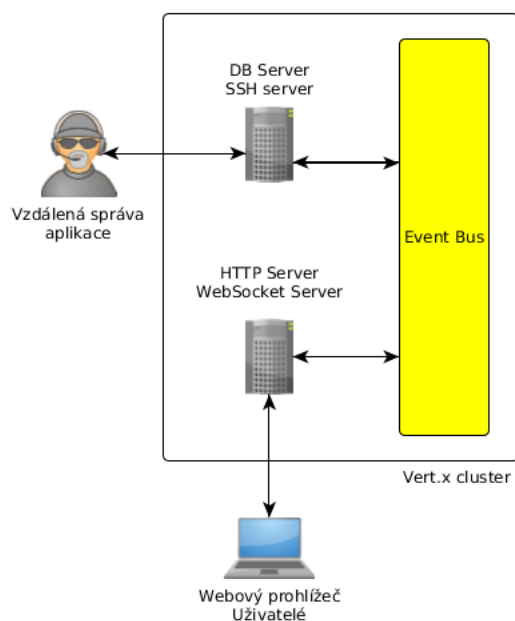
Obrázek 3.5: Modul CrasHub Shell

Pro maximální bezpečnost budou na webovém serveru otevřeny pouze porty 80 a 443. Na druhém serveru pak poběží samotná databáze a druhá část aplikace, která v sobě bude zahrnovat modul zajišťující komunikaci s databází a modul pro vzdálenou správu Vert.x instancí, který byl představen v kapitole 3.7.2.

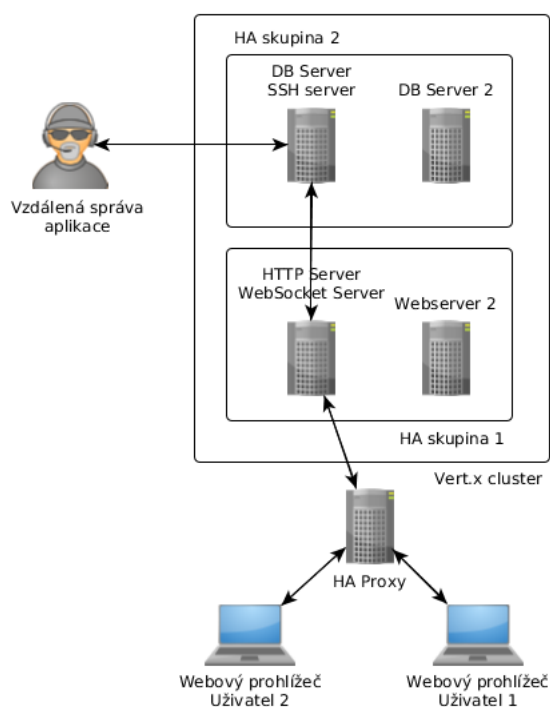
3.7.4 Vysoká dostupnost

Pro zajištění vysoké dostupnosti klíčových prvků aplikace, je potřeba upravit architekturu clusteru. Před webový server je postavená HA proxy⁵, která při úpadku jednoho z webových serverů přesměruje komunikaci na server druhý. Vert.x cluster je pak rozdělený na dvě HA skupiny(obr.3.7), které se liší svým zaměřením. První dva servery slouží jako webové a jsou napojeny na HA proxy. Další dva pak slouží pro komunikaci s databází, která na nich ležet nemusí.

⁵služba zajišťující vyrovnavání zatížení



Obrázek 3.6: Architektura nasazené aplikace



Obrázek 3.7: Ideální architektura nasazení aplikace

4 Závěr

Podářilo se vytvořit webovou aplikaci, do které jdou jednoduše přidávat a odebírat mindmapy. Pokud má stejnou mindmapu otevřeno více lidí najednou, okamžitě vidí všechny změny, ostatních klientů. Aplikace používá volně šiřitelný software, který je ve většině případů špičkové úrovni. Tento postup dovoluje, s relativně nízkými náklady, řešit velmi komplikované problémy. Možnosti pro vylepšení aplikace jsou jak na straně vizuální tak na straně funkcionální. Bylo by vhodné rozšířit aplikaci o možnost přihlášení a správy pouze svých mindmap či případné sdílení jednotlivých mindmap.

Literatura

- [1] Phipps, Simon *Who controls Vert.x: Red Hat, VMware, or neither?* [online]. [cit. 2014-06-30]. Dostupný z WWW: <http://www.infoworld.com/d/open-source-software/who-controls-vertx-red-hat-vmware-or-neither-210549>
- [2] Kamali, Masoud *The Winners of the JAX Innovation Awards 2014* [online]. [cit. 2014-06-30]. Dostupný z WWW: <http://jax.de/awards2014/>
- [3] Gardoh, Ed *Parallel Processing and Multi-Core Utilization with Java* [online]. [cit. 2014-03-22]. Dostupný z WWW: <http://embarcadero.net/2011/01/23/parallel-processing-and-multi-core-utilization-with-java/>
- [4] Merta, Zdeněk *Vert.x jOpenSpace 2013* [online]. [cit. 2014-03-22]. Dostupný z WWW: <http://jopenspace.cz/2013/presentations/zdenek-merta-vert.x.pdf>
- [5] 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>
- [6] *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
- [7] 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/>
- [8] 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/>
- [9] Pitner, Tomáš *Programování v jazyce Java* [online]. [cit. 2014-03-22]. Dostupný z WWW: <http://www.fi.muni.cz/~tomp/slides/pb162/printable.html>

-
- [10] Lažanský, J. *Procesy a vlákna* [online]. [cit. 2014-03-22]. Dostupný z WWW: <http://labe.felk.cvut.cz/vyuka/A4B33OSS/Tema-03-ProcesyVlakna.pdf>
- [11] Fox, Tim *Event loops* [online]. [cit. 2014-03-22]. Dostupný z WWW: <http://vertx.io/manual.html#event-loops>
- [12] Kosek, Jiří *Session proměnné* [online]. [cit. 2014-03-22]. Dostupný z WWW: <http://www.kosek.cz/clanky/php4/session.html>
- [13] Janssen, Cory *Message Queue* [online]. [cit. 2014-03-22]. Dostupný z WWW: <http://www.techopedia.com/definition/25971/message-queue>
- [14] Froemke, Dina *Framework Benchmarks Round 8* [online]. [cit. 2014-03-22]. Dostupný z WWW: <http://www.techempower.com/blog/2013/12/17/framework-benchmarks-round-8/>
- [15] Fox, Tim *Vert.x vs node.js simple HTTP benchmarks* [online]. [cit. 2014-03-22]. Dostupný z WWW: <http://vertxproject.wordpress.com/2012/05/09/vert-x-vs-node-js-simple-http-benchmarks/>

Přílohy

Seznam obrázků

2.1	Architektura Vert.x <i>Jaehong Kim</i> [8]	4
2.2	Vert.x instance	8
2.3	Vert.x instance <i>vertex run HelloWorld -instances 4</i>	9
2.4	Event Bus distribuovaný mezi dva servery	11
2.5	Clustering mezi třemi Vert.x instancemi	16
2.6	Výsledky prvního testu <i>Tim Fox</i> [15]	18
2.7	Výsledek druhého testu <i>Tim Fox</i> [15]	18
3.1	Komunikace v reálném čase	24
3.2	Webová aplikace	25
3.3	Webová aplikace - otevření myšlenkové mapy	26
3.4	Webová aplikace - akce - editace	26
3.5	Modul CrasHub Shell	29
3.6	Architektura nasazené aplikace	30
3.7	Ideální architektura nasazení aplikace	30

Seznam tabulek

2.1	Srovnání odezvy, převzato a upraveno z [14]	19
2.2	Srovnání vlastností s Node.js	19