Sem vložte zadání Vaší práce.

České vysoké učení technické v Praze
Fakulta informačních technologií
Katedra softwarového inženýrství

Diplomová práce

Obchody na kapitálové burze a jejich databázový backend

Bc. Ondřej Fremunt

Vedoucí práce: Mgr. Jan Starý, Ph.D.

6. ledna 2015

Poděkování

Na tomto místě bych chtěl poděkovat svému vedoucímu panu Janu Starému za velkou ochotu a obětavou pomoc po celou dobu práce na projektu simulátoru akciové burzy, a to především v období vánočních svátků a posledních dnů před vydáním této práce, a kolegovi studentovi Honzovi Jůnovi za úspěšnou spolupráci na projektu.

Obrovský dík patří Zuzce, máce, tátovi, babičkám a dědovi za skvělou podporu psychickou i kulinářskou. Dále bych rád poděkoval Zuzce za společnost a pomoc s korekturami v průběhu psaní textu a Makovi za půjčení ekonomické literatury a cenné připomínky k první kapitole. Nesmím zapomenout ani na Šerinku, která si také zaslouží pochvalu a poděkování, že mě o Vánocích nechala v klidu se věnovat diplomové práci.

Závěrečný dík patří mým kamarádům a kolegům z hvězdárny, kteří mi umožnili, abych se koncem minulého roku mohl soustředit pouze na diplomovou práci.

Protože závěrečné úpravy na této práci probíhaly i na Silvestra, přeji všem čtenářům všechno nejlepší do nového roku -1_{PL}.

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem předloženou práci vypracoval(a) samostatně a že jsem uvedl(a) veškeré použité informační zdroje v souladu s Metodickým pokynem o etické přípravě vysokoškolských závěrečných prací.

Beru na vědomí, že se na moji práci vztahují práva a povinnosti vyplývající ze zákona č. 121/2000 Sb., autorského zákona, ve znění pozdějších předpisů. V souladu s ust. § 46 odst. 6 tohoto zákona tímto uděluji nevýhradní oprávnění (licenci) k užití této mojí práce, a to včetně všech počítačových programů, jež jsou její součástí či přílohou, a veškeré jejich dokumentace (dále souhrnně jen „Dílo“), a to všem osobám, které si přejí Dílo užít. Tyto osoby jsou oprávněny Dílo užít jakýmkoli způsobem, který nesnižuje hodnotu Díla, a za jakýmkoli účelem (včetně užití k výdělečným účelům). Toto oprávnění je časově, teritoriálně i množstevně neomezené. Každá osoba, která využije výše uvedenou licenci, se však zavazuje udělit ke každému dílu, které vznikne (byť jen zčásti) na základě Díla, úpravou Díla, spojením Díla s jiným dílem, zařazením Díla do díla souborného či zpracováním Díla (včetně překladu), licenci alespoň ve výše uvedeném rozsahu a zároveň zpřístupnit zdrojový kód takového díla alespoň srovnatelným způsobem a ve srovnatelném rozsahu, jako je zpřístupněn zdrojový kód Díla.

V Praze dne 6. ledna 2015 .....

Odkaz na tuto práci

Fremunt, Ondřej. *Obchody na kapitálové burze a jejich databázový backend.* Diplomová práce. Praha: České vysoké učení technické v Praze, Fakulta informačních technologií, 2015.

Abstrakt

Kapitálové burzy, na kterých dochází k uzavírání obchodů s cennými papíry, umožňují podnikům získat potřebný kapitál a investorům zhodnotit vložené finanční prostředky. Hodnotu cenných papírů přitom určuje trh; závisí pouze na nabídce a poptávce. Na obchodech s cennými papíry je možné hodně získat i hodně ztratit.

Tato práce má za úkol navrhnout a vytvořit dvě klíčové součásti kapitálové burzy - databázové schéma této burzy a nástroj pro výpočet aukční ceny a párování objednávek.

Klíčová slova Akciová burza, aukční cena, párování objednávek, databázové schéma, uložené procedury, PostgreSQL.

Abstract

Capital markets, on which securities are traded, enable businesses to get money to grow and investors to assess their investments. The value of securities is determined by the market; it depends only on bids and asks. Trading securities, one can make a lot of money but one can lose out as well.

The aim of this diploma thesis is to design and implement the two key components of a stock exchange - its database schema and a tool calculating the auction price and matching orders.

Keywords Stock exchange, auction price, order matching, database schema, stored procedures, PostgreSQL.

Obsah

Seznam obrázků

Seznam tabulek

Úvod

Základní motivace

Každý podnik potřebuje ve svých začátcích počáteční kapitál. Pokud se společnosti rozjezd podaří a chce se nadále rozvíjet, musí investovat, a k tomu potřebuje další finanční prostředky. Jednou z možností, jak může tyto prostředky získat, je vstup na kapitálový trh vydáním cenných papírů - akcií nebo dluhopisů. Cenné papíry představují snadno obchodovatelné zboží, a i proto jsou mezi investory velmi oblíbené.

Burzy v minulosti sloužily k setkávání obchodníků a usnadňovaly jim uzavírání obchodů. Stejnou úlohu mají burzy i dnes, ovšem stále více možností, jež vývoj výpočetní techniky přináší, způsobuje, že se novým technologiím přizpůsobují i tradiční burzy. A tak stále více burzovních obchodů probíhá výhradně v elektronické podobě a obchodování na burze se stává dostupnější a zajímavější i pro stále širší okruh veřejnosti.

Burzy cenných papírů nabízejí investorům investujících do rizikovějších cenných papírů možnosti až pohádkového zbohatnutí. Vždyť stačí jen odhadnout změnu kurzu, ve vhodnou chvíli nakoupit a ve vhodnou chvíli zase prodat. Jenže jak to bývá u všech velkých šancí, i v případě obchodování na burze jsou značné příležitosti vykoupeny značným rizikem. Jak jednoduché je teoreticky zbohatnout, tak snadné je prakticky prodělat.

Pro zmírnění rizika při obchodování na burze je nutné k obchodování přistupovat racionálně. Investor si musí uvědomovat rizika, mít stanoveny vlastní limity, za které už nepůjde, a být při tom ochoten podstoupit ještě přijatelnou ztrátu dříve, než by mohla dorůst do likvidačních rozměrů. Klíčovým hlediskem často rozhodujícím o úspěšnosti či neúspěšnosti obchodu je dobrá orientace ve světě financí, schopnost odhadnout změny nálady investující veřejnosti a také porozumění principům, na kterých je burzovní obchodování postaveno.

Cíl této práce

Cílem této práce je analyzovat problematiku obchodování na kapitálové burze a následně ve spolupráci s kolegou Janem Jůnou vytvořit základní verzi zjednodušeného obchodního systému akciové burzy. Tato práce má v rámci projektu za úkol navrhnout a vytvořit vhodné databázové schéma včetně obslužných procedur pro potřeby vyvíjené burzy a nástroj, který nad touto databází bude provádět výpočty aukční ceny a párování objednávek.

Vyvíjené řešení by mělo být pokud možno univerzálně použitelné a mělo by umožnit případný další rozvoj projektu. Zároveň by mělo dbát na bezpečnost a rychlost prováděných úkonů.

Struktura této práce

První kapitola seznamuje čtenáře se základními ekonomickými pojmy kapitálového a burzovního trhu a zkoumá možnosti obchodování na skutečných akciových burzách. Dále popisuje projekt simulátoru akciové burzy a specifikuje požadavky na řešení vyvíjené v rámci této práce.

V *druhé kapitole* provádím analýzu požadavků kladených na databázové úložiště a identifikuji základní entity a procesy, které má zachycovat.

Třetí kapitola se věnuje analýze požadavků týkajících se nástroje pro výpočet aukční ceny a párování objednávek. Stanovuje především základní algoritmy, kterými se má nástroj řídit.

Čtvrtá kapitola předkládá detailní návrh databázového úložiště. Obsahuje fyzický model databáze a popisuje vlastnosti, které budou mít její nejdůležitější tabulky a uložené procedury.

Pátá kapitola rozpracovává poznatky plynoucí z analýzy nástroje pro výpočet aukční ceny a párování objednávek do jeho detailního návrhu, ve kterém na úrovni tříd a metod popisuje hlavní funkce nástroje.

Šestá kapitola shrnuje zkušenosti z implementace řešení a popisuje některá úskalí, se kterými jsem se musel během této fáze vypořádat.

Sedmá kapitola dává čtenáři návod, jak nainstalovat potřebné technologie třetích stran i samotné řešení vyvinuté v rámci této práce, a jak spustit výslednou aplikaci.

Osmá kapitola demonstruje použití nástroje pro výpočet aukční ceny a párování objednávek, popisuje způsoby testování prováděné v průběhu vývoje a nastiňuje, jaké testy budou prováděny v rámci pilotního provozu celé burzy.

Typografické konvence

V textu této práce je použito několik typů písma pro odlišení různých skupin informací. Kromě základního textu, jenž je napsán běžným patkovým písmem, jsou názvy proměnných, tříd, databázových tabulek apod. vytištěny

kurzívou. *Kurzíva* je též využita pro zvýraznění nově zaváděných *pojmů*. Pro části zdrojového kódu, příkazů a výstupů příkazového řádku, názvy souborů apod. používám neproporcionální písmo `Courier`.

Pro sazbu této práce bylo použito nastavení třídy `FITthesis.cls` a šablona `Sablona_DP_UTF-8.tex`.

Kapitola 1

Analýza obchodování na burze a specifikace požadavků

1.1 Základní přehled

Tato kapitola seznamuje čtenáře s principy kapitálové a zejména akciové burzy a způsoby obchodování na reálných burzách. Dále jsou v této kapitole popsány požadavky kladené na vyvíjené řešení. Následující podkapitoly 1.2 a 1.3 citují především z [1], [2], [3] a [4] (tyto zdroje dále neuvádím).

1.2 Finanční trhy

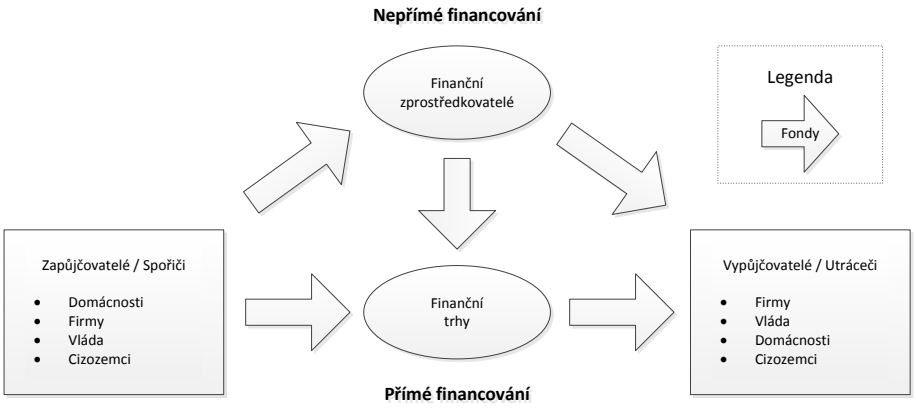
Finanční trhy jsou místem, kde dochází k obchodování finančních investičních instrumentů. Dobře fungující finanční trhy jsou klíčovou součástí ekonomiky a klíčovým faktorem hospodářského růstu.

Na finančních trzích dochází k přesunu finančních prostředků od zapůjčovatelů k vypůjčovatelům. Tento vztah je výhodný pro obě strany, protože zapůjčovatelům neboli věřitelům umožňuje zhodnotit dočasně volné nastřádané peněžní prostředky, které by jinak zůstaly nevyužity. Vypůjčovatelům neboli dlužníkům umožňuje naopak získat kapitál pro financování jejich aktivit.

Popsané financování může probíhat buď přímo, nebo za pomoci finančních zprostředkovatelů. Zprostředkovateli mohou být např. komerční banky, stavební spořitelny, pojišťovny nebo penzijní či podílové fondy.

Při přímém financování si dlužníci sami půjčují finanční prostředky od věřitelů, a to prodáváním finančních dokumentů, např. cenných papírů. Zprostředkovatelé tyto finanční toky usnadňují, kontaktují potenciální kupce a prodejce a pomáhají snížit informační a transakční náklady těchto operací. Zprostředkovatelé také mohou vykupovat od dlužníků *primární finanční instrumenty* a nabízet zapůjčovatelům *sekundární finanční instrumenty*, které sami *emitují*.

Přímé a nepřímé financování ilustruje obrázek 1.1.



Obrázek 1.1: Přímé a nepřímé financování. Převzato z [3].

1.2.1 Typy finančních trhů

Finanční trhy lze chápat různými způsoby, a proto je lze rozdělit podle různých hledisek. Níže jsou uvedená některá z nich.

1. Podle typu obchodovaného instrumentu:
   - dluhové trhy (např. obchodování s dluhopisy),
   - akciové trhy (obchodování s akciemi).
2. Podle splatnosti instrumentu:
   - peněžní trh (instrumenty se splatností do 1 roku, např. státní pokladniční poukázky),
   - kapitálový trh (instrumenty se splatností nad 1 rok, např. akcie nebo dlouhodobé dluhopisy).
3. Podle obchodovatelnosti instrumentu:
   - primární trh (instrumenty prodané prvotním investorům),
   - sekundární trh (obchodování s již vydanými instrumenty).
4. Podle organizace trhů:
   - burzovní trhy (vysoce standardizované obchody probíhající za jedinou cenu, např. NYSE nebo BCPP),
   - mimoburzovní trhy (oproti burzovním trhům nižší standardizace obchodů a cena instrumentů obvykle různá pro nákup a prodej, např. NASDAQ).

V následujících oddílech jsou popsány trhy, které mají spojitost s tématem této diplomové práce a projektu, jehož je tato práce součástí.

1.2.2 Kapitálové trhy

Podnik získává kontaktem s kapitálovým trhem možnost financovat svoji expanzi a přijímat i rizikovější projekty. Kapitálový trh charakterizuje individualizace rizika. Díky tomu je schopen financovat i podnikatelské záměry, na kterých se banky nechtějí podílet, a jejichž možný výnos současně odpovídá míře podstupovaného rizika. Kapitálový trh tedy vede k vyšší výkonnosti zúčastněných subjektů.

Na kapitálovém trhu se obchodují dlouhodobé finanční instrumenty s dobou splatnosti obvykle přesahující 1 rok. Hlavními instrumenty obchodovanými na kapitálovém trhu jsou zejména akcie a dlouhodobé dluhopisy, proto bývá tento trh někdy nazýván trhem cenných papírů, ačkoliv cenné papíry mohou být i krátkodobé.

Cenný papír představuje pohledávku vlastníka vůči tomu, kdo jej vydal, a současně k němu vytváří právní nárok. Pro investory je velkou předností cenných papírů, že jsou velmi snadno převoditelné, a proto je možné je kdykoliv v případě potřeby prodat a získat za ně peněžní prostředky.

Obchody na kapitálových trzích jsou téměř vždy realizovány s pomocí finančních zprostředkovatelů.

1.2.3 Burzovní trhy

Na burzovních trzích jsou obchody vysoce standardizovány a probíhají za jedinou cenu. Místem, kde k těmto obchodům dochází, jsou *burzy*, které organizují trh s určitými instrumenty. Na burze se setkávají zájemci o nákup a prodej daného instrumentu. Jediná cena, za kterou jsou uskutečňovány obchody, zároveň utváří jeho cenu.

Zatímco v minulosti bylo předmětem obchodu na burzách především různé zboží, později začaly vznikat specializované burzy a dnes jsou nejdůležitějšími obchodovanými instrumenty cenné papíry. [5]

Burza musí zveřejňovat informace důležité pro investory, mezi které patří vlastní výroční zprávy, kurzy obchodovaných instrumentů či objemy obchodů. Burza dále musí zveřejňovat informace o členech burzy a samozřejmě burzovní pravidla. Důležitým indikátorem o vývoji kurzů cenných papírů jsou tzv. burzovní indexy. Ty zohledňují kurzy vybrané skupiny cenných papírů podle definovaných vztahů a souhrnně charakterizují tyto cenné papíry pomocí jediného ukazatele. Mezi nejvýznamnější světové indexy patří *Dow Jones Industrial Average* či indexy *Standard&Poor's*, z domácích je to Index PX Burzy cenných papírů Praha.

1.2.4 Akciové trhy

Akcie, investiční instrument obchodovaný na akciovém trhu, je cenný papír, s nímž jsou spojena práva akcionáře na řízení společnosti, jejím zisku a na likvidačním zůstatku při jejím případném zániku. Akciová společnost získává prodejem svých akcií kapitál. K akcionáři, který se koupí akcií stává spolumajitelem akciové společnosti, naopak plynou finanční toky ze společnosti ve formě vyplácených dividend. Výše dividendy závisí na ekonomických výsledcích společnosti a na rozhodnutí valné hromady. [6]

Vydání akcií se říká *emise*. Primární emise akcií (IPO) představuje veřejnou nabídku akcií prvotním investorům, jež se odehrává při vstupu společnosti na burzu. Zvýšení počtu obchodovaných akcií na burze upsáním dalšího balíku akcií se říká sekundární emise akcií.

Hodnotu akcie udává jedině trh, vlastník nezískává žádné právo na její zaplacení. Okamžité ceně akcie na burze se říká *kurz*; závisí na skutečných i očekávaných výsledcích hospodaření společnosti, vývoji odvětví i celkovému stavu ekonomiky. Kurz akcie je vytvářen na základě nabídky a poptávky mezi investory. [7]

Kromě burzovních trhů s cennými papíry je možné obchodovat s akciemi i na mimoburzovních trzích. Standardizace obchodů je u nich podstatně nižší než v případě burzovních trhů a obvykle se na nich obchodují cenné papíry, které nesplňují přísnější podmínky burzovního obchodování. Přesto se však některé organizované mimoburzovní trhy vyvinuly natolik, že představují plnohodnotné trhy cenných papírů. Příkladem takových trhů jsou například český RM-systém nebo americký NASDAQ.

1.3 Obchodování na akciové burze

Obchody na akciových burzách probíhají prostřednictvím licencovaných obchodníků zvaných členové burzy především z řad významných bank a makléřských firem. Tito obchodníci provádějí na přání svých klientů operace na akciových trzích, za což jim náleží odměna neboli provize. [7]

Na burze může působit tzv. *tvůrce trhu*, kterým je člen burzy s platným oprávněním. Jeho účelem je zajišťovat dostatečnou *likviditu* cenných papírů v nabídce a poptávce podáváním vlastních nákupních a prodejních objednávek. Tvůrce trhu tedy na rozdíl od licencovaných obchodníků zprostředkovávajících obchody za své klienty hraje aktivní roli a obchoduje na burze svým jménem a za své peníze. [6]

1.3.1 Typy objednávek

Burzy obvykle nabízejí několik typů nákupních a prodejních objednávek, další varianty mohou nabízet svým klientům členové burzy. Dále jsou uvedeny některé obvyklé typy objednávek.

1.3.1.1 Limitní objednávky

Limitní objednávky jsou takové objednávky, které mají být provedeny za specifikovanou *limitní cenu* nebo lepší.

1.3.1.2 Tržní objednávky

Tržní objednávky jsou nákupní nebo prodejní příkazy bez uvedení ceny. Takové objednávky jsou párovány za nejlepší dostupnou cenu na trhu.

1.3.1.3 Stop objednávky

Stop objednávky jsou nadstavbou nad předchozími typy objednávek, rozeznáváme tedy stop limitní a stop tržní objednávky. Tyto příkazy obsahují cenu zvanou *stop limit*. K aktivování objednávky dojde až poté, co kurz dané akcie dosáhne zadaného stop limitu (jeho překročení u stop nákupní objednávky či pokles pod něj v případě stop prodejní objednávky).

Nejdůležitějším příkladem stop objednávky je tzv. pokyn *stop-loss* určený k prodeji akcií v případě, že jejich kurz poklesne pod stanovenou hranici. Obchodník se jeho podáním brání před rizikem, že by při náhlém poklesu kurzu jím vlastněných akcií utrpěl větší ztrátu, než je ochoten podstoupit.

1.3.1.4 Objednávky „Iceberg“

Objednávky typu Iceberg umožňují automaticky rozložit objednávku velkého objemu do většího počtu postupně prováděných objednávek menšího objemu. Tyto příkazy obsahují množství zvané *peak*, které udává maximální objem aktivní části objednávky. Jakmile je část objednávky s tímto množstvím zcela uspokojena, je automaticky vložena nová, opět s maximálním množstvím *peak*. Takto je velká objednávka *Iceberg* „rozpouštěna“, dokud není celá zobchodována.

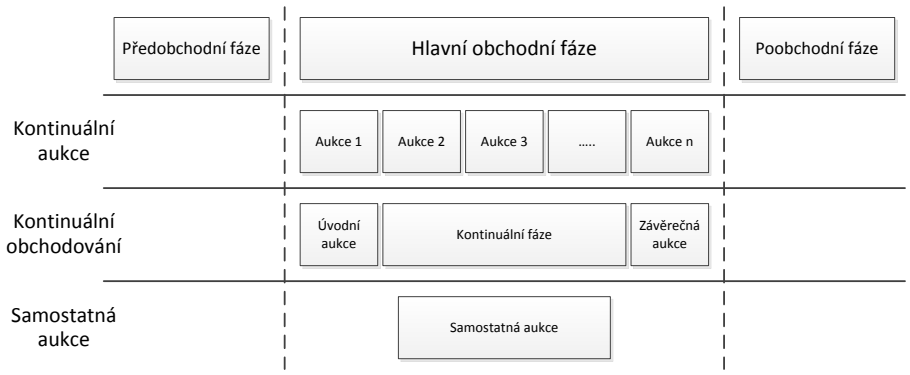
Smyslem objednávek *Iceberg* je, aby se trh nedozvěděl o jejich celkovém objemu. Z tohoto důvodu nejsou aktivní části objednávky *Iceberg* nijak rozlišeny od běžných objednávek.

1.3.2 Obchodní den burzy

Obchodní den burzy se skládá z předobchodní fáze, hlavní obchodní fáze a poobchodní fáze.

V předobchodní fázi, jíž začíná burzovní den, probíhá sběr objednávek. Obchodníci mohou vkládat objednávky do knihy objednávek, měnit je i rušit. Množství obchodních informací poskytovaných burzou v této fázi bývá omezeno, často je zveřejněn pouze závěrečný kurz daného akciového titulu z předchozího obchodního dne.

Během hlavní obchodní fáze dochází k uzavírání obchodů způsobem popsaným v následujícím oddíle.



Obrázek 1.2: Schéma obchodního dne burzy pro modely kontinuální aukce, kontinuálního obchodování a samostatné aukce.

Obchodní den končí poobchodní fází, během níž probíhá zpracování uzavřených obchodů, zveřejňování výsledků a sběr objednávek na další obchodní den.

Na obrázku 1.2 jsou znázorněny průběhy obchodního dne pro běžné modely obchodování.

1.3.3 Způsoby utváření obchodů

Existují dva základní způsoby obchodování na burze: aukce a kontinuální obchodování. Oba dva jsou níže podrobněji popsány.

1.3.3.1 Aukce

Během obchodního dne může být realizována jedna nebo více aukcí, při nichž dochází k uzavírání obchodů. V průběhu aukce dochází na základě stanovených pravidel (která mohou být pro různé burzy odlišná) ke stanovení aukční ceny pro obchodovaný akciový titul. Následně jsou spárovány vhodné nákupní a prodejní objednávky zapsané v knize objednávek, na jejichž základě jsou za aukční cenu uzavřeny možné obchody. V případě, že není možné uspokojit všechny vhodné objednávky za danou aukční cenu, řídí se výběr spárovaných objednávek pravidly dané burzy.

1.3.3.2 Kontinuální obchodování

Hlavní obchodní fáze kontinuálního obchodování začíná úvodní aukcí a končí závěrečnou aukcí, během nichž jsou obchody uzavírány již popsaným způsobem.

Mezi úvodní a závěrečnou aukcí probíhá kontinuální fáze, během níž dochází k průběžnému uzavírání obchodů na základě průběžně vkládaných objednávek podle stanovených pravidel. Každá nově vkládaná objednávka je ihned porovnána s objednávkami zapsanými v knize objednávek, a pokud to je možné, je ihned zobchodována.

1.4 Přehled vybraných akciových burz

V následujících oddílech jsou představeny některé světové burzy a platformy, na kterých jsou provozovány.

1.4.1 Xetra

Obchodní systém Xetra [8] je obchodní platforma pro uskutečňování elektronických burzovních obchodů. Původně byl tento systém, provozovaný společností Deutsche Börse AG, vytvořen pro Frankfurtskou burzu, na které je nasazen od roku 1997, a později se rozšířil i na další burzy. Dnes platformu Xetra využívá např. vídeňská Wiener Börse AG nebo Burza cenných papírů Praha.

Přednostmi systému Xetra jsou především vysoká spolehlivost, rychlost prováděných transakcí a škálovatelnost. Platforma nabízí burzám jednotný a jednoduchý způsob obchodování, přičemž je vždy přizpůsoben pro specifické potřeby konkrétní burzy a legislativy platné v dané zemi.

Mezi základní vlastnosti systému patří:

- Umožňuje obchodovat v režimech kontinuálního obchodování a samostatné a kontinuální aukce.
- Podporuje zadávání limitních, tržních a stop objednávek.
- V každém okamžiku existuje pro cenný papír pouze jedna cena.
- Obchodování je anonymní, obchodníci neznají své protistrany.
- Umožňuje působení tvůrce trhu.
- Při vypořádávání objednávek zohledňuje cenová a časová priorita.
- Kniha objednávek je během předobchodní fáze otevřená, v poobchodní fázi zavřená.
- Soubory s výsledky obchodování jsou vytvářeny každý den po ukončení poobchodní fáze.

Aukční cena je při aukci v systému Xetra stanovena podle následujících pravidel:

1. Aukční cenou je cena, při níž dojde k uspokojení největšího objemu objednávek.

2. Aukční cenou je cena, s nejmenším *převisem* (rozdílem mezi nabízeným a poptávaným množstvím).

3. Je-li převis ve všech případech na straně poptávky, je aukční cenou nejvyšší z potenciálně vyhovujících cen. Je-li převis ve všech případech na straně nabídky, je aukční cenou nejnižší z potenciálně vyhovujících cen.

4. Aukční cenou je aritmetický průměr nejvyšší a nejnižší potenciálně vyhovující ceny.

5. Je-li potřeba cenu vzniklou průměrováním zaokrouhlit, volí se nejbližší možná cena směrem k ceně *referenční* (ceně, za kterou byl cenný papír obchodován naposledy).

1.4.2 Euronext

Burza Euronext [9] vznikla v roce 2000 sloučením několika západoevropských burz s cílem využít jednotného trhu Evropské unie a stát se celoevropskou burzou, jež by zároveň byla jednou z největších burz na světě. Euronext dnes působí v Belgii, Francii, Nizozemsku, Portugalsku a Velké Británii. V roce 2007 se Euronext sloučil s americkou burzou NYSE a společně s dalšími menšími burzami tvoří skupinu NYSE Euronext. Od roku 2013 jsou tyto společnosti součástí Intercontinental Exchange [10].

Podobně jako u systému Xetra, i burza Euronext definuje základní pravidla [11], přičemž jednotlivé pobočky mají své vlastní upřesňující a doplňující soubory pravidel. Podporované jsou limitní, tržní i stop objednávky a jejich další modifikace. Provádění obchodů je možné v režimech kontinuálního obchodování a aukcí a taktéž mimo obchodovací období. Při vypořádávání objednávek se zohledňuje striktní cenová priorita, avšak časová priorita už striktní není - někteří obchodníci v průběhu kontinuálního obchodování mohou mít při stejné limitní ceně vyšší prioritu než jiní.

Burza Euronext stanovuje aukční cenu při aukci podle následujících pravidel:

1. Aukční cenou je cena, při níž dojde k uspokojení největšího objemu objednávek.

2. Je-li takových potenciálně vyhovujících cen více, je aukční cenou cena, jež je z nich nejblíže k ceně referenční (ceně, za kterou byl cenný papír obchodován naposledy).

1.4.3 NYSE

Newyorská burza NYSE [12], jejíž počátky sahají až do roku 1792, je dnes z hlediska celkové tržní kapitalizace největší burzou obchodující s akciemi a deriváty na světě. Obchodování probíhá kombinovaným prezenčním způsobem s podporou elektronického systému. Kvůli tomu je kontrola uzavíraných obchodů značně problematická a zahrnuje několik úrovní dohlížitelů. Na burze působí kromě řadových obchodníků i tvůrci trhu, kteří udržují likviditu podáváním vlastních nákupních a prodejních objednávek.

Burza NYSE podporuje kromě limitních, tržních a stop objednávek značné množství dalších odvozených typů. Zároveň zavádí množství různých „statusů“ pro obchodníky, kterým na jejich základě přísluší různé pravomoci a povinnosti. Objednávky jsou párovány s ohledem na cenovou a časovou prioritu a prioritu danou jejich typem. Žádná z těchto priorit však není striktní a pravidla vypořádání obchodů jsou značně složitá.

V roce 2007 došlo ke spojení NYSE s evropskou burzou Euronext, od roku 2013 jsou tyto společnosti součástí sítě Intercontinental Exchange [10].

1.5 Projekt simulátoru akciové burzy

Cílem projektu, jehož je tato diplomová práce součástí, je vývoj zjednodušeného simulátoru akciové burzy, na kterém bude možné provádět základní burzovní příkazy a sledovat vývoj kurzu obchodovaných akcií.

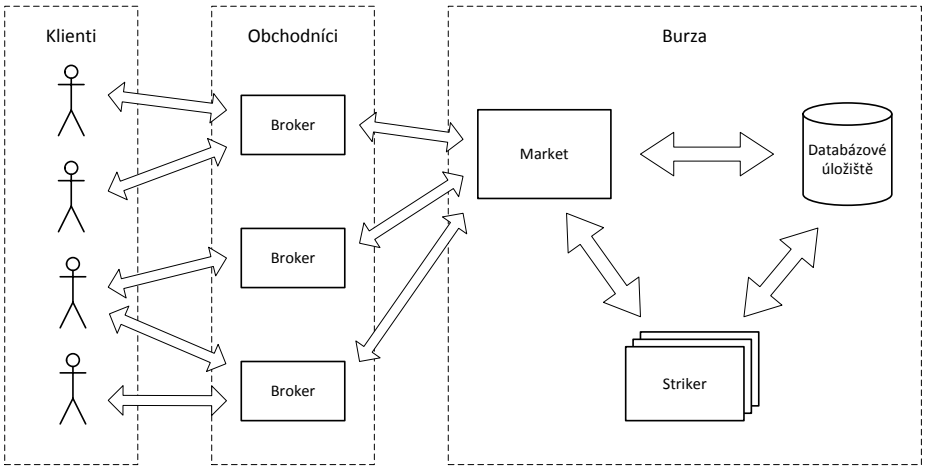
1.5.1 Součásti projektu

Burza jako taková v našem případě sestává ze tří základních komponent: řídící aplikace Market, nástrojů pro výpočet aukční ceny a párování objednávek Striker a databázového úložiště. Market je odpovědný za chod burzy, přijímá objednávky a další příkazy od členů burzy, informuje je o uskutečněných obchodech a odpovídá jim na dotazy. Nástroje Striker na žádost Marketu provádějí výpočet aukční ceny požadovaného akciového titulu, párují nákupní a prodejní objednávky a informují Market o uzavřených obchodech. Market i Striker komunikují s databázovým úložištěm, ve kterém jsou uloženy všechny potřebné údaje pro chod burzy.

Klienti obchodují na burze prostřednictvím členů burzy, kterými jsou licencovaní obchodníci. Ti komunikují s Marketem, kterému podávají za své klienty objednávky, a poskytují svým klientům informace o jejich obchodech a celkové statistiky obchodů s akciemi.

Celkové schéma hlavních komponent burzy a jejích účastníků je zobrazeno na obrázku 1.3.

Předmětem této práce je schéma databázového úložiště burzy včetně řídících a obslužných procedur a nástroj Striker. Kolega Jan Jůna se ve své



Obrázek 1.3: Schéma hlavních komponent burzy a jejích účastníků

diplomové práci [13] zabývá řídící aplikací burzy Marketem, obchodníky a klientským rozhraním.

1.5.2 Terminologie používaná v projektu

V následujících částech této práce budou používány pro vyvíjené komponenty projektu názvy představené již v předchozí podkapitole 1.5.1. Níže následuje jejich formální specifikace.

Striker bude nástroj pro výpočet aukční ceny a párování objednávek vyvíjený v rámci této této práce.

Databáze bude databázové úložiště vyvíjené v rámci této této práce. K databázi budou mít přístup pouze Market a nástroje Striker.

Burza bude představovat vyvíjenou burzu sestávající z Marketu, Strikerů a databáze.

Market bude řídící aplikace burzy. Bude komunikovat s databází, Strikery a obchodníky.

Obchodník bude člen burzy oprávněný přímo obchodovat na burze. Jeho prostřednictvím budou obchodovat i jeho klienti. Obchodníci budou jedinými vnějšími subjekty, které bude burza znát.

Klient v terminologii burzy nebude existovat, protože každý klient bude zastoupen svým obchodníkem. Z pohledu burzy všechny klientské příkazy bude vydávat obchodník, jemuž burza bude přisuzovat i vlastnictví všech jím spravovaných akcií. Vztah mezi obchodníkem a jeho klienty má na starosti sám obchodník (ve skutečnosti samozřejmě i kontrolní a regulační autority).

1.5.3 Akceptovatelný rozsah funkčnosti

Projekt simulátoru akciové burzy počítá s mnoha zjednodušeními oproti skutečným burzám a zaměřuje se pouze na implementaci základních burzovních funkcí a procesů.

Jedním ze zjednodušení je již samotný rozsah projektu, ve kterém vystupují tři aktéři: burza, obchodníci a jejich klienti. Ve skutečnosti je zúčastněných stran více. Na činnost burzy musí dohlížet kontroloři a vlastnictví akcií musí být evidováno patřičným úřadem (v případě České republiky jím je Centrální depozitář cenných papírů), kterému burzy musí předávat informace o uskutečněných obchodech. Na skutečných burzách také obvykle figurují tzv. *tvůrci trhu*, jejichž úkolem je zajišťovat dostatečnou likviditu podáváním nabídek a poptávek.

Další důležitou roli hraje samotné vypořádání obchodů, kdy spolu s převodem akcií musí proběhnout i jejich zaplacení prodávající straně. Kromě toho musí být zaplaceny poplatky burze i obchodníkům a taktéž daně z prodeje akcií (v případě, že dojde k naplnění podmínek, jež stanovuje platná legislativní úprava). V reálném světě navíc dochází k vyplácení dividend a při určitých okolnostech může dojít k povinnému odkupu akcií. Všechny tyto aspekty v našem projektu omezujeme pouze na samotný převod akcií.

Reálné burzy využívají několik typů objednávek, z nichž jsou nejběžnější limitní, tržní a stop objednávky. V rámci projektu simulátoru akciové burzy budeme podporovat pouze limitní objednávky. Další typy mohou být přidány v budoucích verzích.

Méně významným rozdílem bude obchodovaná jednotka. Reálné burzy obchodují v *lotech*, přičemž jeden *lot* může představovat například 1000 kusů dané akcie, a objemy všech objednávek a tedy i obchodů jsou jeho celočíselným násobkem. Jelikož pro samotnou činnost burzy není obchodovaná jednotka podstatná, budeme pro jednoduchost ignorovat velikost lotu a obchodovat přímo s akciemi. Podobně budeme v případě databáze a Strikeru postupovat při operacích s údaji o ceně, kdy nebudeme vyjadřovat žádnou měnovou jednotku, díky čemuž budou tyto komponenty využitelné pro Market obchodující v libovolné měně. Stanovili jsme, že přesnost cenových údajů budeme udávat na 3 desetinná místa.

Ačkoliv se projekt týká přímo akciové burzy, burzovní obchodování s jinými cennými papíry se velmi podobá obchodování s akciemi. Nástroj Striker i databáze tak budou moci bez zásadních úprav pracovat i s ostatními instrumenty obchodovanými na kapitálové burze. Přesto s ohledem na terminologickou konzistenci s projektem simulátoru akciové burzy se bude v této práci dále užívat pojmů obvyklých pro akciovou burzu.

1.6 Specifikace požadavků

V následujících oddílech jsou uvedeny klíčové požadavky kladené na vyvíjené řešení. Funkční požadavky zachycují nároky kladené na samotnou funkčnost aplikace, v nefunkčních požadavcích jsou shrnuty požadavky, které vymezují způsob jejího provedení a technologie, které mají být použity (v souladu s rozdělením [14]).

1.6.1 Funkční požadavky

1. Databáze umožní zaznamenávat informace o obchodnících a obchodovaných akciových titulech.
2. Databáze umožní zaznamenávat stav aktuálních nákupních a prodejních objednávek a již uzavřených obchodů.
3. Databáze umožní uchovávat příkazy obdržené od uživatelů včetně časových údajů.
4. Striker umožní Marketu zvolit akciový titul, pro který budou provedeny výpočty.
5. Striker umožní načíst z databáze nevyřízené objednávky a další informace potřebné pro následující výpočty.
6. Striker umožní spočítat aukční cenu zvoleného akciového titulu.
7. Striker umožní uzavřít obchody spárováním nákupních a prodejních objednávek.
8. Striker umožní uložit informace o uzavřených obchodech do databáze.
9. Striker umožní vyrozumět Market o uzavřených obchodech.

1.6.2 Nefunkční požadavky

1. Databáze bude využívat databázového systému PostgreSQL verze 9 nebo vyšší.
2. Všechny komponenty burzy budou komunikovat s databází výhradně přes uložené procedury (stored procedures).
3. Striker bude implementován v jazyce C++.
4. Striker bude implementován tak, aby byl kód přenosný přinejmenším mezi následujícími POSIX platformami: OpenBSD, FreeBSD, MacOSX, a Linux.

5. Striker bude s ostatními komponentami burzy komunikovat pomocí protokolu TCP/IP.

6. Striker bude navržen a implementován tak, aby jeho nároky na softwarové vybavení byly kromě požadovaných technologií minimální.

Kapitola 2

Analýza databázového úložiště

2.1 Základní přehled

V této kapitole jsou shrnuty a rozpracovány základní požadavky na vlastnosti databáze. Rozsah práci je přitom omezen na potřeby Marketu a práci nástrojů Striker.

2.2 Požadavky na databázi

Z potřeb vyvíjené burzy vychází následující požadavky na entity uložené v databázi:

1. Databáze uchová název společnosti, jejíž akcie jsou obchodovány na burze.

2. Databáze umožní editovat údaje o evidovaných společnostech a přidávat nové.

3. Databáze uchová pro obchodovaný akciový titul jeho plný a zkrácený název, společnost, jež tyto akcie vydala, datum první emise, celkový počet obchodovaných kusů a referenční cenu.

4. Databáze umožní emisi akcií. Při emisi dojde k navýšení počtu obchodovaných kusů akcií tohoto titulu, nastavení jeho referenční ceny na cenu stanovenou při emisi a k připsání emitovaných kusů emitentovi.

5. Databáze bude u registrovaných obchodníků evidovat jejich název a autentizační údaje.

6. Databáze umožní editovat údaje o registrovaných obchodnících a přidávat nové.

7. Databáze bude evidovat množství kusů jednotlivých akciových titulů ve vlastnictví (ve skutečnosti ve správě) obchodníků.
8. Databáze umožní obchodníkům vkládat objednávky podporovaného typu. Obchodník u nich musí určit objednané množství a akciový titul, jehož se objednávka týká, a v relevantních případech limitní cenu (pro limitní objednávky platí vždy). U objednávky bude evidováno, kdy ji Market přijal a kdy byl obchodník informován o jejím přijetí.
9. Databáze umožní obchodníkovi zrušit podanou objednávku.
10. Databáze umožní Marketu zamítnout nebo expirovat podanou objednávku.
11. Databáze umožní obchodníkovi a Marketu sledovat stav objednávky. V případě, že ji později obchodník zruší, budou evidovány okamžiky přijetí příkazu ke zrušení a skutečného zrušení objednávky. Pokud dojde k zamítnutí, expiraci nebo vyřízení (uskutečnění obchodu s poslední zbývající částí) objednávky, bude zaznamenán i tento okamžik. Konečně, databáze bude evidovat i okamžik, kdy byl uživatel informován o ukončení objednávky (tedy vyřízení, expiraci, zrušení nebo zamítnutí).
12. Databáze umožní zobrazit objednávky přijaté v zadaném časovém rozmezí.
13. Databáze umožní zobrazit objednávky se zvoleným způsobem ukončení.
14. Databáze umožní zobrazit objednávky, o jejichž stavu nebyl podávající obchodník informován.
15. Databáze umožní zobrazit aktivní objednávky, tj. takové, které jsou relevantní při výpočtu aukční ceny a uskutečnění obchodů (viz 3.5.2).
16. Databáze bude uchovávat uzavřené obchody. U těchto obchodů bude zaznamenávat, ze kterých objednávek pocházejí a kteří obchodníci tyto objednávky podali, aukční cenu, akciový titul, jenž je předmětem obchodu, a jeho objem. Dále budou zaznamenány okamžiky, kdy došlo k uzavření obchodu a kdy byli informováni prodávající a kupující obchodníci.
17. Databáze umožní, aby byla objednávka rozdělena do více obchodů. Každý obchod však vzejde z právě jedné nákupní a jedné prodejní objednávky.
18. Databáze umožní synchronizované provedení všech obchodů uzavřených během aukce jednoho akciového titulu. Při tom dojde k nastavení referenční ceny obchodovaného akciového titulu na aukční cenu, za níž byly obchody uskutečněny, zaznamenání uzavřených obchodů a upravení zbývajícího množství v objednávkách účastnících se obchodu. Vlastnictví zobchodovaných akcií bude převedeno z prodávajícího na kupujícího obchodníka.

Název	Popis
Společnost	Společnost mající své akcie upsané na burze.
Akciový titul	Na burze obchodovaný akciový titul.
Obchodník	Licencovaný obchodník obchodující na burze.
Typ objednávky	Číselník možných typů objednávky. Podporované typy: nákupní nebo prodejní limitní objednávka.
Objednávka	Podaná objednávka určitého typu na nákup či prodej jistého množství kusů některého akciového titulu.
Uzavřený obchod	Kontrakt mezi prodávajícím a kupujícím obchodníkem na určité množství kusů akciového titulu za určitou cenu.
Vlastnictví	Množství kusů určitého akciového titulu vlastněné určitým obchodníkem.
Statistika obchodů	Statistika uskutečněných obchodů během určitého období.
Nástroj Striker	Informace o dostupných nástrojích Striker.

Tabulka 2.1: Seznam identifikovaných entit.

19. Databáze umožní zobrazit obchody vybraného obchodníka ve stanoveném časovém rozmezí.

20. Databáze umožní Marketu uložit spočítané statistiky prodejů ve zvoleném období. Tyto statistiky budou pro každý akciový titul obsahovat objem uzavřených obchodů, hodnotu objemu uzavřených obchodů (celkové množství převedených finančních prostředků) a referenční cenu na konci tohoto období.

21. Databáze umožní evidovat IP adresu a port dostupných nástrojů Striker.

2.3 Identifikace entit

Analýzou požadavků kladených na databázi byla identifikována potřeba uchovávat entity, jež jsou společně se stručným popisem uvedeny v tabulce 2.1.

V následujících oddílech budou popsány některé méně zřejmé vlastnosti vybraných entit.

2.3.1 Objednávka

Objednávka bude po svém vložení *aktivní*, což znamená, že se ji burza bude snažit vyřídit uzavřením jednoho nebo více obchodů. V případě, že z této objednávky vzejde obchod, sníží se nabízené resp. poptávané množství akcií o zobchodované množství. Zobchodováním celého nabízeného resp. poptávaného množství je objednávka vyřízena a přestává být aktivní.

Entita	Atribut	Vlastnost (atribut musí být schopen uložit)
Společnost	identifikátor	Minimálně 1000 unikátních hodnot.
Akciový titul	identifikátor	Minimálně 1000 unikátních hodnot.
Obchodník	identifikátor	Minimálně 100 unikátních hodnot.
Objednávka	identifikátor	Minimálně miliardy unikátních hodnot.
Obchod	identifikátor	Minimálně miliardy unikátních hodnot.
(všechny)	cena	10 platných cifer, přesnost 3 desetinná místa.
Objednávka	přijata	Přesnost 0,001 sekundy nebo menší.

Tabulka 2.2: Požadované vlastnosti vybraných atributů.

Objednávce, která není aktivní, budeme říkat *ukončená*. Objednávku je možné ukončit některým z těchto způsobů:

- vyřízení,
- zrušení,
- expirování,
- zamítnutí.

Vyřízení objednávky jsme popsali výše. *Zrušení objednávky* iniciuje obchodník, zatímco *zamítnutí* Market. V případě, že objednávka nebude do předem stanovené doby ukončena žádným jiným způsobem, dojde k její *expiraci*.

O ukončení objednávky je obchodník Marketem informován a odeslání tohoto oznámení je zaznamenáno.

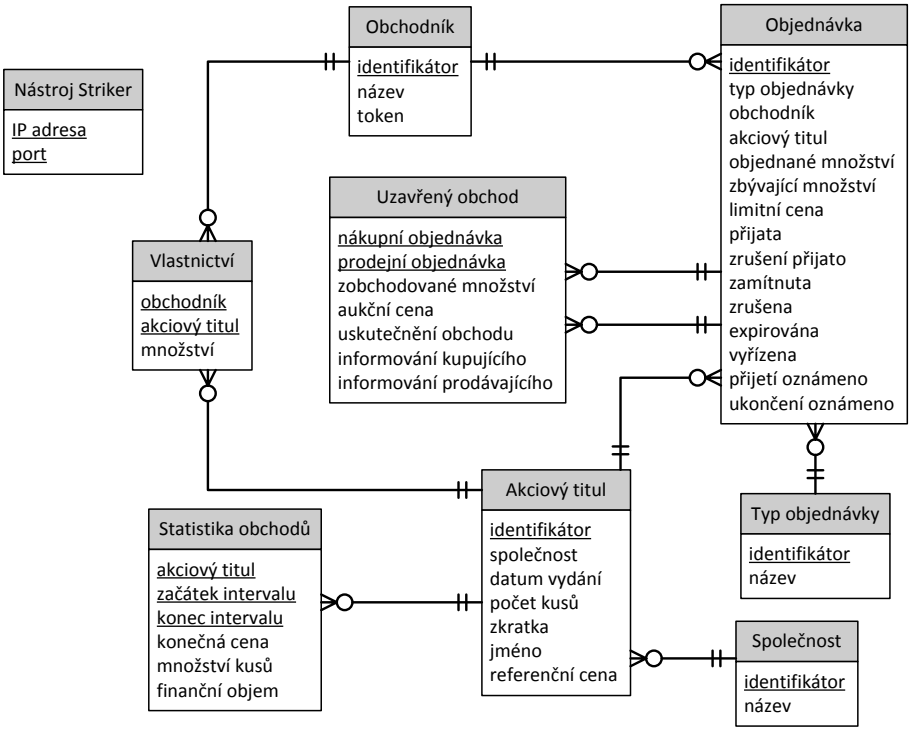
2.3.2 Uzavřený obchod

Uzavřený obchod vznikne na základě jedné nákupní a jedné prodejní objednávky. V rámci obchodu dojde k převodu určitého množství kusů dané akcie z vlastnictví prodávajícího obchodníka do vlastnictví kupujícího. Obchody budou vždy uzavřeny na maximální možné množství kusů, takže vždy alespoň jedna z objednávek účastnících se obchodu se stane jeho provedením vyřízenou.

Díky této skutečnosti bude možné jednoznačně identifikovat uzavřený obchod pomocí dvojice objednávek, jež se ho zúčastnily.

2.4 Vlastnosti atributů

Na základě vlastností reálných kapitálových burz (NYSE, Euronext, BCPP) jsme stanovili minimální požadavky na některé atributy identifikovaných entit. Tyto požadavky jsou uvedeny v tabulce 2.2.



Obrázek 2.1: Logický model databáze

2.5 Logický model

Na obrázku 2.1 je zobrazen logický model vycházející z požadavků kladených na databázi. V modelu jsou zobrazeny identifikované entity se svými atributy (podtrženy jsou primární klíče) a naznačeny vztahy mezi nimi pomocí notace Crow's Foot. [14, 15]

2.6 Uložené procedury

Uložené procedury (*stored procedures*) jsou databázové objekty, které umožňují obohatit databázi o vrstvu základní aplikační logiky a vlastní datové typy. Jedná se o metody vytvořené pomocí rozšířeného jazyka SQL nebo jiného programovacího jazyka podporovaného danou databází. S jejich pomocí je možné provádět všechny standardní databázové příkazy (např. *SELECT* či *INSERT INTO*) i složitější výpočty a operace.

Jedním z požadavků kladených na tuto práci je eliminace přímého přístupu ostatních součástí systému k datům uloženým v databázových tabulkách. Tento požadavek je podložen snahou o jednotný přístup k uloženým

datům a zejména zapouzdření s nimi prováděných operací. Tím, že databáze nabídne ucelené rozhraní pro všechny procesy spojené s činností burzy, bude snazší zajistit zachování datové integrity a taktéž usnadní využití vyvíjeného databázového řešení i pro jiné burzy a jiné aplikace.

Potřebné uložené procedury je možné rozdělit do následujících kategorií podle jejich účelu:

- provozní (vložit objednávku, zrušit objednávku),
- vyhledávací (zobrazit všechny aktivní objednávky),
- organizační (přidat společnost, upravit informace o obchodníkovi),
- archivační (zadat, že obchodník byl informován o ukončení objednávky),
- prováděcí (provést obchody, provést emisi),
- pomocné (volané výhradně z jiných procedur).

Podrobnější popis vyžadují zejména prováděcí uložené procedury, jejichž oba zástupci jsou uvedeni v následujících oddílech.

2.6.1 Provedení obchodů

Vstupem procedury provádějící obchody bude seznam obchodů, které připravil Striker. Všechny tyto obchody se týkají jediného akciového titulu, proběhly tedy za stejnou aukční cenu a bude jim nastaven stejný okamžik zobchodování, totiž začátek běhu této funkce.

Celá procedura probíhá v jediné transakci, neboť v žádném případě nesmí nastat situace, že by byly provedeny některé obchody a jiné nikoliv. Díky tomu zároveň nezáleží na pořadí provedených úkonů.

V průběhu provádění obchodů bude nastavena referenční cena akciového titulu na hodnotu aukční ceny obchodů (v případě, že není uzavřen žádný obchod a vstupní seznam obchodů je tedy prázdný, ke změně referenční ceny nedojde) a pro každý obchod proběhnou následující úkony:

- zaznamenání obchodu,
- odečtení zobchodovaného množství akcií ze zbývajícího množství nákupní objednávky,
- odečtení zobchodovaného množství akcií ze zbývajícího množství prodejní objednávky,
- připsání zobchodovaného množství akcií do vlastnictví kupujícího obchodníka,

- odečtení zobchodovaného množství akcií z vlastnictví prodávajícího obchodníka.

Výstupem je pořízené časové razítko, a to i v případech, kdy není uzavřen žádný obchod.

2.6.2 Emise akcií

Emisi akcií bude možné provést dvojím způsobem: buď jako primární emisi akcií [6] nebo upsáním dalšího balíku akcií.

V případě primární emise dojde nejprve k vytvoření záznamu o akciovém titulu vydaném emitující společností. Výstupem bude vygenerovaný identifikátor akciového titulu. Druhým krokem bude postup identický s upsáním akciového titulu.

Úpis akciového titulu spočívá v navýšení již obchodovaného množství akcií o upisované kusy, nastavení referenční ceny na cenu úpisu a převodu těchto akcií emitentovi, který je v den emise nabídne k prodeji.

2.7 Komunikace s ostatními komponentami burzy

V následujících oddílech jsou popsány nejdůležitější operace z hlediska komunikace jednotlivých komponent.

2.7.1 Vložení objednávky

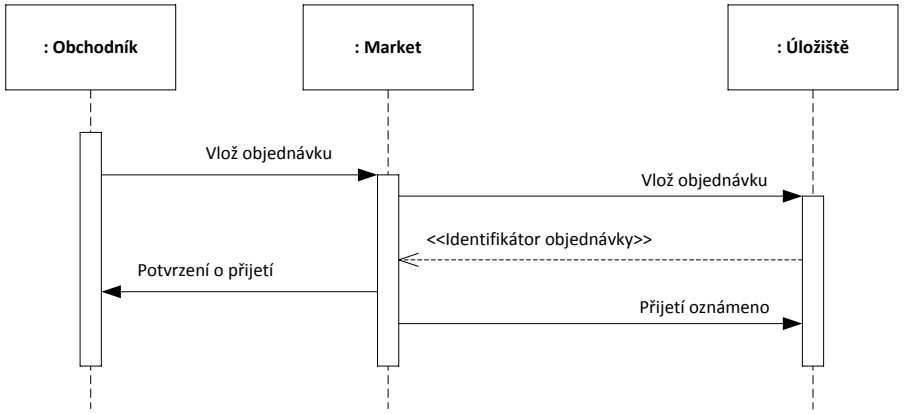
Postup vložení objednávky je znázorněn na obrázku 2.2. Obchodník pošle svoji objednávku Marketu, který ji bez zbytečného prodlení předá databázi. V případě, že se podaří objednávku uložit, je jí přidělen jednoznačný identifikátor a ten je vrácen Marketu. Market pak informuje obchodníka o přijetí objednávky a vyplní atribut *Přijetí oznámeno* objednávky zaznamenané v databázi aktuálním časovým razítkem.

Market se může kdykoliv dotázat databáze na objednávky, které byly přijaty, ale jejich přijetí nebylo oznámeno. Obchodníkům, kteří tyto objednávky vložili, pak může odeslat chybějící oznámení a toto oznámení zaznamenat v databázi.

Na rozdíl od rušení a expirace, které jsou popsány v dalších oddílech, je vložení objednávky možné i ve chvíli, kdy probíhá výpočet aukční ceny a párování objednávek, neboť na prováděné operace nemá vložená objednávka, jež se těchto operací neúčastní, žádný vliv.

2.7.2 Zrušení objednávky

Obchodník může požadovat zrušení vložené objednávky, jež dosud nebyla ukončena. Market ihned po obdržení takového příkazu zaznamená požadavek zavoláním uložené procedury, která vyplní atribut *Zrušení přijato* dané



Obrázek 2.2: Sekvenční diagram znázorňující vložení objednávky

objednávky časovým razítkem a vrátí množství kusů, které z této objednávky dosud nebyly zobchodovány (a jichž se má zrušení týkat). Pokud zrovna Striker neprovádí výpočet aukční ceny a párování objednávek pro daný akciový titul, může být přistoupeno k samotnému zrušení (zbytku) objednávky. V opačném případě se musí počkat, až skončí výpočet, a teprve potom ji zrušit, pokud nebyla mezitím vyřízena.

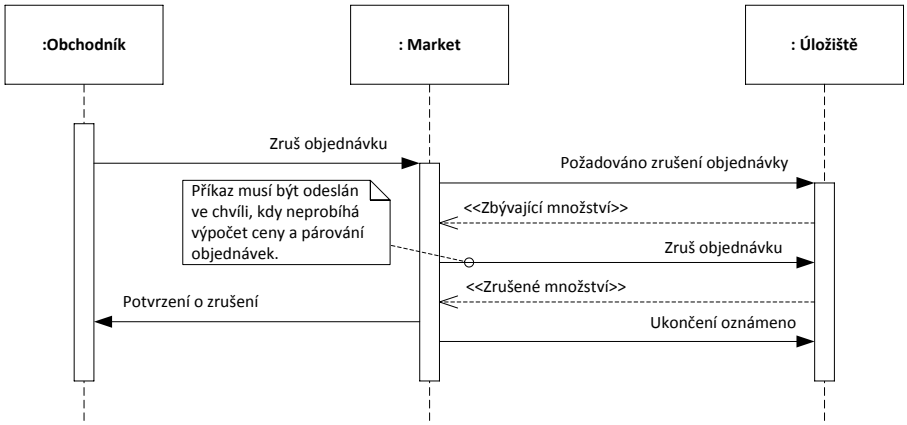
Skutečné zrušení objednávky proběhne zavoláním patřičné uložené procedury, která objednávce vynuluje atribut *Zbývající množství*, vloží časové razítko k atributu *Zrušena* a jako výsledek vrátí počet kusů akcií, který u této objednávky zbýval do vyřízení. Market poté informuje obchodníka a vloží časové razítko k atributu *Ukončení oznámeno*.

Komunikace mezi obchodníkem, Marketem a databází při rušení objednávky je znázorněna na obrázku 2.3.

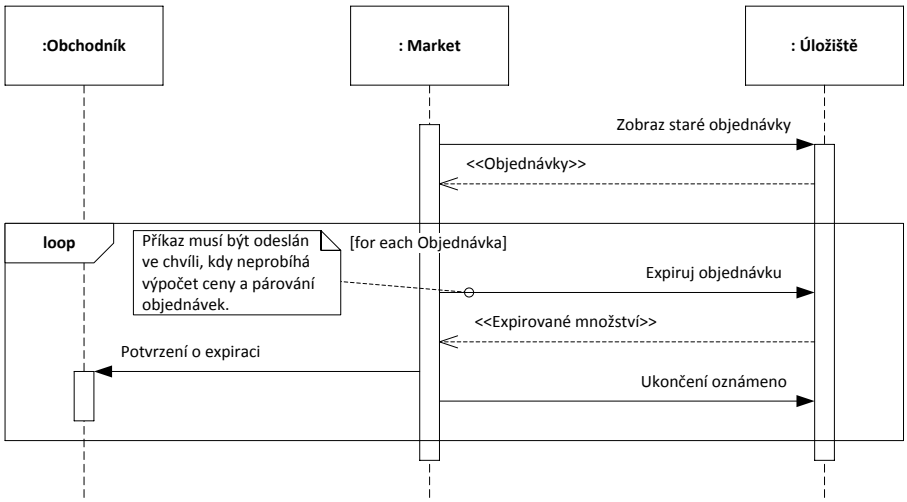
2.7.3 Expirace objednávky

Market by se měl v pravidelných intervalech dotazovat databáze na „prošlé“ objednávky, tedy takové, které byly vloženy před delší dobou, než je životnost objednávky, stanovená při jejím zadání. Tyto objednávky postupně *expirují*, což má stejné důsledky jako zrušení objednávky, pouze se nastavuje jiný atribut pro odlišení příčiny. Stejně jako pro rušení objednávky i zde platí, že objednávky mohou expirovat pouze v okamžiku, kdy pro daný akciový titul neprobíhá výpočet aukční ceny a párování objednávek.

Komunikace mezi obchodníkem, Marketem a databází při expiraci objednávky je znázorněna na obrázku 2.4.



Obrázek 2.3: Sekvenční diagram znázorňující zrušení objednávky



Obrázek 2.4: Sekvenční diagram znázorňující expiraci objednávky

2.7.4 Výpočet a provedení obchodu

Komunikace mezi Strikerem a databází je popsána v kapitole Analýza nástroje Striker 3.4.

Kapitola 3

Analýza nástroje Striker

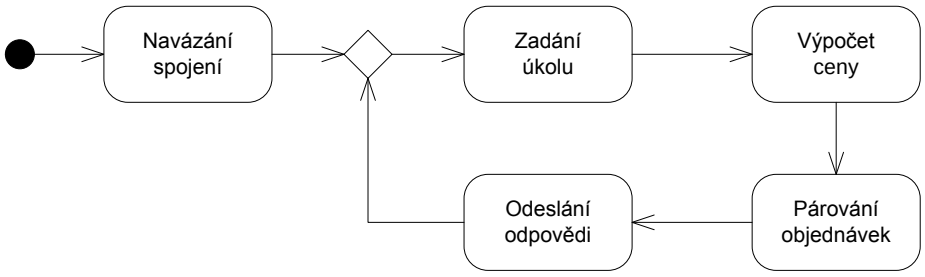
3.1 Základní přehled

V této kapitole jsou shrnuty a rozpracovány základní požadavky na funkčnost nástroje Striker a identifikovány základní procesy umožňující řešení požadované problematiky.

3.2 Činnost nástroje

Hlavním úkolem nástroje Striker je určování aukční ceny a párování objednávek pro akciový titul zadaný Marketem. Market může zadávat úkoly více Strikerům, jeden akciový titul však v daném okamžiku vždy počítá právě jeden Striker.

Jednotlivé činnosti Strikeru jsou zobrazeny na obrázku 3.1. Tyto aktivity jsou dále podrobněji rozpracovány.



Obrázek 3.1: Sled činností Strikeru. Striker sám nikdy neukončuje svoji činnost.

3.3 Komunikace s Marketem

Komunikace mezi Strikerem a Marketem bude probíhat asynchronně pomocí protokolu TCP/IP.

3.3.1 Navázání spojení a autentizace

Striker se po svém spuštění nejprve zaregistruje do databáze, z níž Market může vybírat mezi dostupnými Strikery. Striker pak ve vztahu k Marketu funguje jako služba, kterou může Market využívat. Market požádá Striker o spojení, Striker provede autentizaci a v případě, že proběhne úspěšně, bude od něj dále přijímat úkoly. V případě neúspěšné autentizace bude spojení odmítnuto.

3.3.2 Zadání úkolu

Market zadá úkol Strikeru posláním zprávy obsahující identifikační údaj akciového titulu, pro nějž má být spočítána aukční cena a spárovány objednávky.

3.3.3 Odeslání výsledku

Striker po ukončení výpočtu a uložení změn v databázi vyrozumí Market o provedených operacích. Zpráva bude obsahovat informace o aukční ceně a jednotlivých uzavřených obchodech tak, aby Market nemusel pro vyrozumění obchodníků o této aukci získávat žádné další informace z databáze.

Zpráva bude ve vhodném formátu obsahovat tyto položky:

- identifikátor akciového titulu,
- aukční cenu,
- objem uzavřených obchodů,
- nejvyšší cenu nákupní objednávky po uzavření obchodů,
- nejnižší cenu prodejní objednávky po uzavření obchodů,
- časové razítko uzavření obchodů,
- dále pro jednotlivé obchody:
  - identifikátor nákupní objednávky,
  - identifikátor prodejní objednávky,
  - identifikátor kupujícího obchodníka,
  - identifikátor prodávajícího obchodníka,
  - objem uzavřeného obchodu.

Tato zpráva bude odeslána i v případě, že nedojde k uzavření žádných obchodů.

Jestliže identifikátor akciového titulu nebude existovat nebo nebude platný, Striker místo standardní zprávy odešle Marketu chybovou zprávu.

3.3.4 Ztráta spojení

V případě, že selže spojení mezi Strikerem a Marketem, Striker bude znovu čekat na spojení (které opět proběhne včetně autentizace). Pokud se spojení přeruší v průběhu výpočtu, Striker nejprve dokončí výpočet aukční ceny a párování objednávek.

3.4 Komunikace s databází

V pravidelných časových intervalech Market provádí aukci, během níž je z došlých objednávek pro jednotlivé akciové tituly vypočítána aukční cena a jsou uzavřeny obchody. Tyto výpočty provádí nástroje Striker na žádost Marketu, předanou pomocí zprávy obsahující identifikátor akciového titulu.

Striker z databáze přečte potřebné informace o akciovém titulu a relevantních objednávkách pro výpočet (více o jejich výběru pojednává oddíl 3.5.2). Po provedení výpočtu Striker předá databázi seznam spočítaných obchodů, která je v jediné transakci provede způsobem popsaným v oddílu 2.6.1 a vrátí časové razítko, jež uzavřené obchody obdržely jako čas uskutečnění obchodu. V posledním kroku Striker pošle Marketu zprávu obsahující vypočítané obchody doplněné o časové razítko.

Postup při provedení obchodu z hlediska komunikace mezi zúčastněnými subjekty je znázorněn na obrázku 3.2.

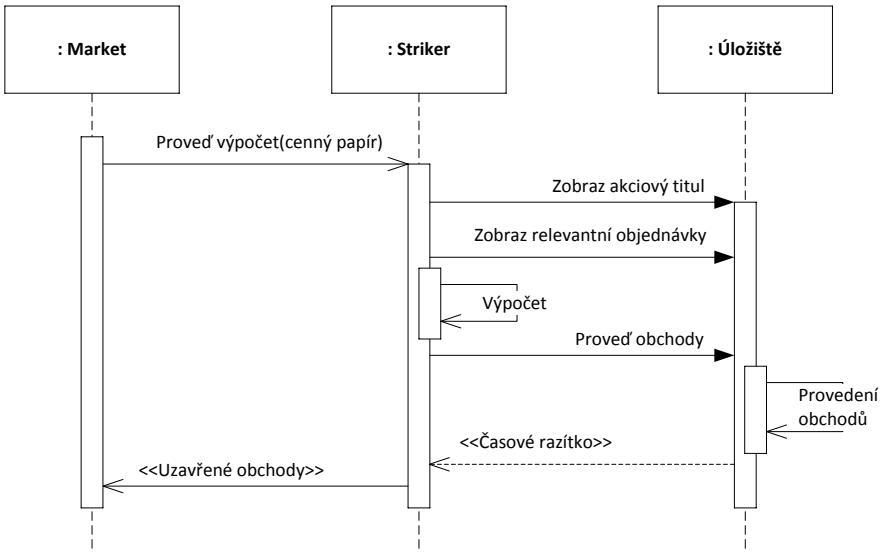
3.5 Výpočet aukční ceny

V následujících oddílech je podrobně rozebrán způsob stanovení aukční ceny akciového titulu na základě došlých objednávek.

3.5.1 Kritéria

Pro stanovení aukční ceny akcie používáme algoritmus rozšířeného obchodního systému Xetra, jenž je popsaný např. v Pravidlech kontinuální aukce pražské burzy [16].

1. Maximalizace zobchodovaného objemu
2. Minimalizace převisu
3. Směr převisu



Obrázek 3.2: Sekvenční diagram znázorňující provedení obchodů

4. Průměrná cena

5. Zaokrouhlení s přihlédnutím k referenční ceně

3.5.2 Výběr objednávek

Během aukce je dočasně pozastaven příjem objednávek, jakož i úpravy stávajících. Z knihy objednávek pro řešený akciový titul jsou vybrány všechny nákupní objednávky, jejichž limitní cena je vyšší nebo rovna nejnižší limitní ceně z prodejních objednávek, a všechny prodejní objednávky, jejichž limitní cena je nižší nebo rovna nejvyšší limitní ceně z nákupních objednávek.

Těmto objednávkám říkejme „relevantní“. Pouze tyto relevantní objednávky totiž mají vliv na stanovení aukční ceny akciového titulu a pouze tyto objednávky mohou být během probíhající aukce zobchodovány. Objednávky, které nejsou relevantní, zůstávají v knize objednávek a mohou být zobchodovány při následujících aukcích.

Jestliže kniha objednávek neobsahuje žádnou relevantní objednávku, nedojde k uzavření žádného obchodu a za aukční cenu je prohlášena cena referenční.

3.5.2.1 Příklad výběru objednávek

Předpokládejme, že burza přijala objednávky uvedené v tabulce 3.1. Tyto objednávky jsou rozděleny na nákupní a prodejní, přičemž nákupní objednávky

Nákup			Prodej		
Pořadí	Množství	Cena	Pořadí	Množství	Cena
5	20	98	3	10	92
4	10	95	6	15	98
7	2	95	*1*	*25*	*100*
2	*20*	*90*			

Tabulka 3.1: Příklad obdržených objednávek. Kurzívou jsou označeny objednávky, které nejsou relevantní, neboť jejich limitní cena je v případě nákupních objednávek příliš nízká a v případě prodejních objednávek příliš vysoká.

Cena	Nákup	Prodej	Obchod	Převis
98	20	25	**20**	5
95	32	10	10	22
92	32	10	10	22

Tabulka 3.2: Příklad kumulativní tabulky pro určení aukční ceny. V této tabulce rozhodne o aukční ceně 1. kritérium. Aukční cena a rozhodující maximální zobchodovaný objem jsou zvýrazněny tučně.

jsou řazeny podle limitní ceny sestupně a prodejní vzestupně. Jestliže má více objednávek stejnou limitní cenu, je druhým kritériem při řazení v obou případech časový okamžik, kdy je burza přijala, a podle něj jsou řazeny od nejstarších po nejmladší.

V tabulce je pro lepší názornost místo časového razítka uvedeno pořadí, ve kterém byly přijaty. Objednávky, které podle výše popsaného způsobu nejsou relevantní (nemají vliv na stanovení aukční ceny akciového titulu), jsou označeny kurzívou.

3.5.3 Sestavení tabulky

Relevantní nákupní i prodejní objednávky vybrané způsobem popsaným v předchozím bodě jsou využity k sestavení *kumulativní tabulky*, s jejíž pomocí bude podle kritérií stanovena aukční cena.

První sloupec této tabulky tvoří jednotlivé limitní ceny obsažené v relevantních objednávkách. Pro každou cenovou hladinu je v dalších sloupcích uvedeno nabízené a poptávané souhrnné množství kusů akcií. Pro nákupní objednávky platí, že se jimi poptávané množství započítává všem cenovým hladinám nižším nebo rovné limitní ceně dané objednávky. Analogicky pro prodejní objednávky platí, že se jimi nabízené množství započítává všem cenovým hladinám vyšším nebo rovné limitní ceně takové objednávky.

Z relevantních objednávek uvedených v předchozím případě bude sestavena kumulativní tabulka 3.2.

Cena	Nákup	Prodej	Obchod	Převis
98	20	35	20	15
95	32	20	20	**12**
92	*32*	*10*	*10*	

Tabulka 3.3: Příklad kumulativní tabulky pro určení aukční ceny. V této tabulce rozhodne o aukční ceně 2. kritérium. Řádek, který neprojde prvním kritériem, je označen kurzívou. Aukční cena a rozhodující minimální převis jsou zvýrazněny tučně.

3.5.4 Kritérium Maximalizace zobchodovaného objemu

Prvním kritériem je maximalizace zobchodovaného objemu, tedy menší z poptávaného a nabízeného souhrnného množství akcií při zvolené aukční ceně. S pomocí kumulativní tabulky jej pro každou cenovou hladinu spočítáme podle vzorce:

$$obchod = \min(nákup, prodej).$$

Jestliže je pro jedinou cenovou hladinu zobchodovatelný objem maximální, je tato cenová hladina prohlášena za aukční cenu. V opačném případě se použije druhé kritérium k výběru z těch cenových hladin, pro něž je zobchodovatelný objem maximální.

Tabulka 3.2 ukazuje příklad, kdy je pro jedinou cenovou hladinu zobchodovatelný objem maximální (20), a proto se stává aukční cenou. Všechny uskutečněné obchody v této aukci tedy proběhnou za cenu 98 (zvýrazněna tučně). O tom, které z relevantních objednávek budou zobchodovány, pojednává podkapitola 3.6.

3.5.5 Kritérium Minimalizace převisu

V případě, že se nepodaří rozhodnout o aukční ceně na základě prvního kritéria, je na nejlepší kandidáty aplikováno kritérium druhé, které upřednostňuje cenovou hladinu, při níž je převis minimální. Převisem se v tomto případě rozumí absolutní hodnota rozdílu mezi poptávaným a nabízeným množstvím akcií:

$$převis = |nákup - prodej|\,.$$

Jestliže je převis minimální pro jedinou cenovou hladinu z dříve vybraných, je tato cenová hladina prohlášena za aukční cenu. V opačném případě se přistupuje ke třetímu kritériu.

Tabulka 3.3 je příkladem situace, kdy z prvního kritéria vzejdou dvě cenové hladiny: 98 a 95. Mezi nimi rozhodne druhé kritérium, protože převis odpovídající ceně 95 je menší než v případě, kdy by aukční cenou byla cena 98. Cenová hladina 92 nepostoupila k vyhodnocení druhým kritériem, a proto pro ni převis není uveden.

Cena	Nákup	Prodej	Obchod	Převis
98	*15*	*35*	*15*	
95	32	20	20	12
92	32	20	20	12

Tabulka 3.4: Příklad kumulativní tabulky pro určení aukční ceny. V této tabulce rozhodne o aukční ceně 3. kritérium. Řádek, který neprojde prvním kritériem, je označen kurzívou. Mezi cenami 95 a 92 rozhodne převaha poptávky nad nabídkou (Nákup > Prodej), proto bude aukční cena 95 (zvýrazněna tučně).

3.5.6 Směr převisu

Pokud ani druhé kritérium nerozhodlo o aukční ceně, přistupuje se k porovnání „směru“ převisu finančního objemu cenových hladin, jejichž převis byl podle minulého kritéria minimální. Pokud je převis na straně poptávky u všech zkoumaných cenových hladin (tedy pokud ve všech případech převažuje poptávka nad nabídkou), je aukční cena rovna nejvyšší z těchto hladin. Pokud je naopak převis na straně nabídky u všech zkoumaných cenových hladin (tedy ve všech případech převažuje nabídka nad poptávkou), je aukční cena rovna nejnižší z těchto cenových hladin.

V případě, že pro některé cenové hladiny je převis na straně poptávky a pro jiné na straně nabídky, nelze podle tohoto kritéria rozhodnout a přistupuje se k dalšímu kritériu.

V tabulce 3.4 je ilustrován příklad, kdy ani druhé kritérium nerozhodne. z prvního kritéria vzejdou cenové hladiny 95 a 92. Jejich převis je stejný, a tak dojde k porovnání poptávky a nabídky podle třetího kritéria. V obou případech poptávka převažuje nabídku, a proto je za aukční cenu zvolena větší z nich: 95.

3.5.7 Kritérium Průměrná cena

Čtvrtým kritériem, které se může uplatnit v rozhodovacím procesu, je průměrná cena z nejvyšší a nejnižší cenové hladiny vzešlé z předchozího kritéria. Jestliže tato průměrná cena je validní (je násobkem nejmenší měnové jednotky), je prohlášena za aukční cenu; v opačném případě rozhodne poslední, páté kritérium.

V tabulce 3.5 je ilustrován příklad, kdy ani třetí kritérium nerozhodne. Z prvního kritéria vzejdou cenové hladiny 95 a 98. Jejich převis je stejně velký, ale opačného směru, proto se podle čtvrtého kritéria spočítá jejich aritmetický průměr. V případě, že je cena 96,5 možná (například pokud je nejmenší jednotka 0,1), stane se aukční cenou. (Na tomto místě je vhodné poznamenat, že za libovolnou cenu ležící uvnitř intervalu cenových hladin vzešlých ze třetího kritéria je možné uzavřít stejný objem obchodů.)

Cena	Nákup	Prodej	Obchod	Převis
98	20	35	20	15
95	35	20	20	15
92	*35*	*10*	*10*	

Tabulka 3.5: Příklad kumulativní tabulky pro určení aukční ceny. V této tabulce o aukční ceně nedokáže rozhodnout ani 3. kritérium, ze kterého postupují cenové hladiny 98 a 95. Jejich průměrná hodnota je 96,5. V případě, že taková cena je možná (např. pokud nejmenší jednotka je 0,1 nebo 0,5), stává se tato cena aukční cenou. V opačném případě je podle 5. kritéria zaokrouhlena podle referenční ceny.

3.5.8 Kritérium Zaokrouhlení s přihlédnutím k referenční ceně

Jestliže cena vzniklá průměrováním podle předchozího kritéria není násobkem nejmenší měnové jednotky, rozhodne o aukční ceně cena referenční (cena, za kterou se daný akciový titul obchodoval naposledy).

- Je-li referenční cena vyšší než cena vzniklá průměrováním, je za aukční cenu prohlášena nejbližší vyšší validní cena.
- Jinak je za aukční cenu prohlášena nejbližší nižší validní cena.

Pokud by v příkladu uvedeném v tabulce 3.5 byla nejmenší jednotka 1 a referenční cena by byla vyšší než 96,5 (uvažujme např. 99), bude za aukční cenu zvolena cena 97. Pokud by ve stejné situaci byla referenční cena nižší (např. 95), aukční cena bude 96.

3.6 Párování objednávek

V následujících oddílech je podrobně rozebrán způsob, jakým dochází k párování nabídek a poptávek a realizování obchodů.

3.6.1 Zobchodované objednávky

Zobchodovány mohou být pouze objednávky, jimž budeme říkat *vyhovující*. Jsou to všechny nákupní objednávky, jejichž limitní cena je vyšší nebo rovna aukční ceně, a prodejní objednávky, jejichž limitní cena je nižší nebo rovna aukční ceně. Jsou možné tři případy:

- Celkové objemy vyhovujících nákupních a prodejních objednávek jsou shodné. Zobchodovány budou všechny vyhovující objednávky.

- Celkový objem vyhovujících nákupních objednávek je menší než prodejních. Zobchodovány budou všechny vyhovující nákupní objednávky, některé prodejní objednávky nebudou (zcela) zobchodovány.

- Celkový objem vyhovujících prodejních objednávek je menší než nákupních. Zobchodovány budou všechny vyhovující prodejní objednávky, některé nákupní objednávky nebudou (zcela) zobchodovány.

V případě, že není možné zobchodovat všechny vyhovující objednávky, je potřeba stanovit kritéria, podle kterých dojde k výběru těch, které budou vyřízeny. Posuzovány jsou zvlášť nákupní a prodejní objednávky. Těmito kritérii jsou:

1. Limitní cena:

   - V případě nákupních objednávek mají nejvyšší prioritu ty s nejvyšší limitní cenou.
   - V případě prodejních objednávek mají nejvyšší prioritu ty s nejnižší limitní cenou.

2. Okamžik přijetí objednávky: V případě shodné limitní ceny mají vyšší prioritu dříve přijaté objednávky.

3. Náhodný výběr: Shodují-li se dvě nebo více objednávek v limitní ceně i okamžiku přijetí, o jejich vzájemném pořadí rozhodne náhodný výběr.

3.6.2 Možný způsob párování

Párování je možné provést tak, že nejprve budou zvlášť seřazeny vyhovující nákupní a zvlášť prodejní objednávky podle výše uvedených kritérií. Objem obchodu, který je vždy uzavřen na základě jedné nákupní a jedné prodejní objednávky, bude roven menšímu množství kusů z obou nejlepších objednávek a obě objednávky účastnící se tohoto obchodu budou zmenšeny o toto množství. Objednávky, jejichž zbývající množství kleslo na 0, nazveme vyřízené a budou odebrány z fronty objednávek. Párovací cyklus se opakuje do té doby, než jsou vyřízeny všechny nákupní nebo prodejní objednávky.

Uvedeným způsobem dojde k uzavření následujícího počtu objednávek t:

$$t \in \langle \max(b, s), b + s - 1 \rangle,$$

kde b je počet zobchodovaných nákupních objednávek a s je počet zobchodovaných prodejních objednávek.

Tabulka 3.6 znázorňuje obchody uzavřené tímto párováním z objednávek uvedených v tabulce 3.1.

Nákupní objednávka	Prodejní objednávka	Množství
5	3	10
5	6	10

Tabulka 3.6: Příklad uzavřených obchodů na základě objednávek uvedených v tabulce 3.1. Jako číslo objednávky bylo použito pořadí přijetí dané objednávky.

Nákup			Prodej		
Pořadí	Množství	Cena	Pořadí	Množství	Cena
4	10	95	6	5	98
7	2	95	1	25	100
2	20	90			

Tabulka 3.7: Příklad knihy objednávek po uzavření možných obchodů za cenu 98. Je patrné, že v tuto chvíli není možné uzavřít žádný další obchod.

3.6.3 Nevyřízené objednávky

Vyhovující objednávky, které nebylo možné spárovat, zůstávají společně s „irelevantními“ objednávkami v knize objednávek a mohou se v budoucnu po přijetí dalších objednávek účastnit určení nové aukční ceny a být zobchodovány.

Po uzavření objednávek dle předchozího bodu by kniha objednávek obsahovala objednávky uvedené v tabulce 3.7.

3.7 Datová analýza

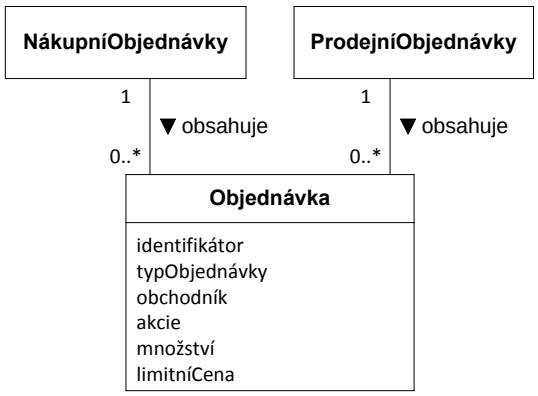
V následujících oddílech jsou uvedeny a rozebrány požadavky na zaznamenání specifických datových struktur, s nimiž bude nástroj pracovat.

3.7.1 Zaznamenání objednávek

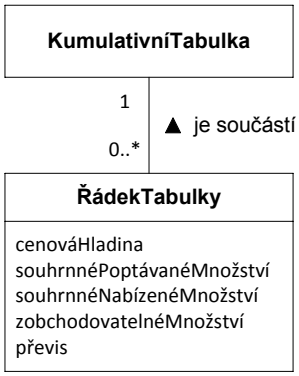
Pro potřeby vyhodnocení a zpracování objednávek bude potřeba načíst nákupní a prodejní objednávky do vhodného datového úložiště. Jeho vhodná podoba je naznačena na obrázku 3.3.

Základním prvkem bude objednávka obsahující všechny potřebné informace pro výpočet aukční ceny a párování objednávek. Jak bylo objasněno v průběhu analýzy, mezi tyto informace nepatří okamžik jejího přijetí, neboť Striker získá tyto objednávky již seřazené a jejich pořadí zachová.

Nákupní a prodejní objednávky budou dvě samostatné kolekce obsahující seřazené objednávky odpovídajícího typu.



Obrázek 3.3: Statická struktura tříd pro zaznamenání objednávek

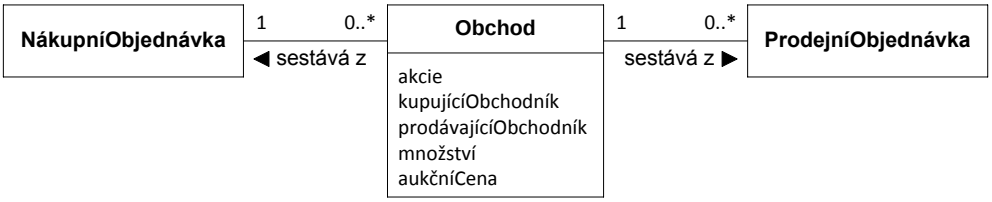


Obrázek 3.4: Statická struktura tříd pro uložení výpočet aukční ceny

3.7.2 Uchování informací pro výpočet ceny

Aukční cena bude určena pomocí kumulativní tabulky, jejímž základním prvkem je řádek charakterizovaný limitní cenou (v této práci se v kontextu kumulativní tabulky užívá pojmu *cenová hladina*). Vhodná podoba této struktury je zobrazena na obrázku 3.4.

Řádek tabulky obsahuje cenovou hladinu odpovídající limitní ceně některé objednávky a spočítané parametry potenciálního obchodu uzavřeného při této ceně.



Obrázek 3.5: Statická struktura tříd pro uložení obchodů

3.7.3 Zaznamenání obchodů

Třída reprezentující uzavřené obchody musí obsahovat všechny potřebné informace pro provedení těchto obchodů. Na obrázku 3.5 je znázorněno, že každý obchod sestává z jedné nákupní a jedné prodejní objednávky, přičemž každá z těchto objednávek může být rozložena do více samostatných obchodů.

Kapitola 4

Návrh databázového úložiště

4.1 Základní přehled

Tato kapitola logicky navazuje na analýzu databázového úložiště a zjištěné poznatky dále rozpracovává v jeho návrh.

Databáze bude postavena na objektově-relačním databázovém systému PostgreSQL [17] verze 9.3.5; nebude-li to však na úkor efektivity, měl by být systém navržen tak, aby byl kompatibilní i se staršími verzemi.

4.2 Archivní a živé objednávky

Analýza ukázala, že u přijatých objednávek bude potřeba evidovat značné množství informativních údajů z důvodů archivace historie, především různá časová razítka. Přitom bude potřeba provádět rychlé výpočty aukční ceny a následného párování objednávek, pro které bude potřeba napřed z databáze získat knihu objednávek.

Vzhledem k očekávanému obrovskému množství uchovávaných objednávek, jejichž počet bude navíc neustále narůstat, by toto vyhledávání bylo značně neefektivní. Proto budeme objednávky evidovat ve dvou databázových tabulkách, a to jako objednávky archivní a živé.

Archivní objednávky budou obsahovat „archivační“ údaje, což jsou všechny atributy identifikované v analýze (viz obrázek 2.1) kromě údaje *zbývající množství* závislého na uskutečněných obchodech.

Živé objednávky budou reprezentovat pouze aktivní objednávky, jež se mohou účastnit aukce, a pro tyto účely budou obsahovat pouze informace nutné k výpočtům a vytvoření obchodů. V okamžiku, kdy dojde k ukončení objednávky, bude tato objednávka smazána z tabulky živých objednávek.

Z výše uvedeného je zřejmé, že tabulka obchodů musí jako cizí klíč pro nákupní a prodejní objednávku používat tabulku archivních objednávek. Obchody se však vytvářejí z živých objednávek, a tak je nezbytně nutné, aby

identifikátor jedné objednávky byl identický v tabulce archivních i živých objednávek.

Rozdělení objednávek na archivní a živé je dobře patrné porovnáním patřičné části logického 2.1 a fyzického 4.1 modelu.

4.3 Tabulka obchodů

V předchozí podkapitole již bylo konstatováno, že sloupce *buy_order_id* a *sell_order_id* představující nákupní resp. prodejní objednávku v tabulce obchodů musí odkazovat na tabulku archivních objednávek.

Další změnou, kterou je oproti modelu vzešlého z analýzy vhodné provést, je přidání údajů o akciovém titulu a kupujícím a prodávajícím obchodníkovi. Tyto údaje jsou sice dostupné v odkazované tabulce archivních objednávek, ovšem z výše popsaných důvodů bude efektivnější vyhnout se pokud možno operacím s touto obří tabulkou.

Pro snazší přístup k uzavřeným obchodům bude též každému obchodu přidělen jako jednoduchý primární klíč vlastní identifikátor, ačkoliv by principiálně bylo možné použít kompozitní klíč složený z nákupní a prodejní objednávky, jak vzešlo z analýzy.

4.4 Fyzický model

V návrhu databázového úložiště byl vytvořen fyzický model databáze obsahující konkrétní tabulky včetně jejich sloupců s uvedenými datovými typy a informací, zda může obsahovat hodnotu *NULL*, a dále primární a cizí klíče. Názvy tabulek i sloupců již odráží uvažované jmenné konvence. [14]

Fyzický model navrhované databáze je zobrazen na obrázku 4.1.

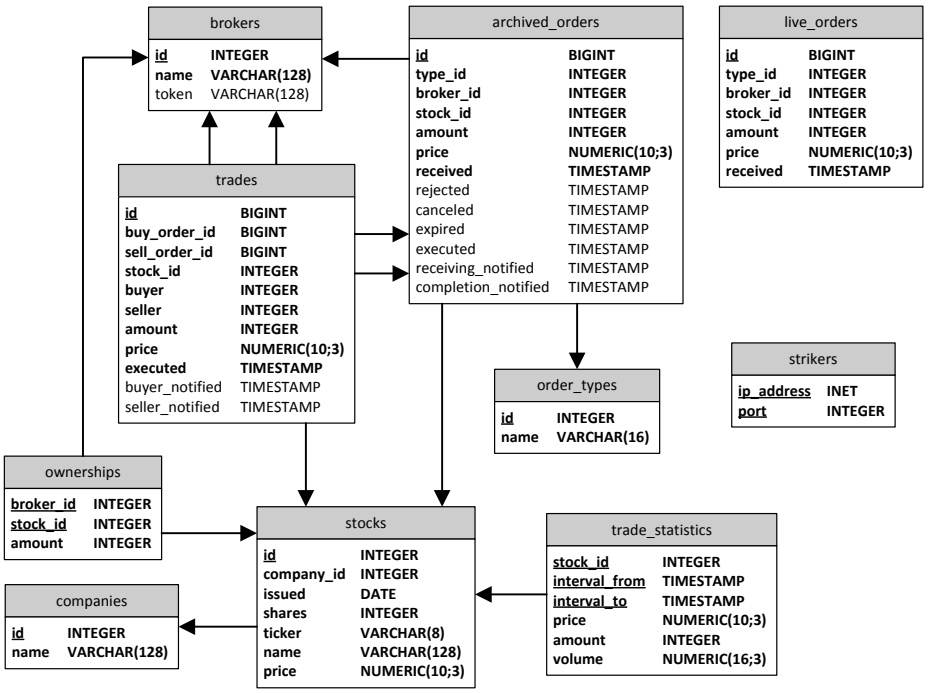
4.5 Datové typy

Datové typy jednotlivých sloupců databázových tabulek byly voleny s ohledem na požadovaný charakter ukládaných dat a jejich předpokládaný rozsah.

4.5.1 Celočíselné hodnoty

Jelikož databázový systém PostgreSQL nepodporuje klasické bezznaménkové celočíselné datové typy [18], bude základním typem pro celočíselné hodnoty 32bitový datový typ *integer*, jehož rozsah by měl být dostačující pro všechny uvažované sloupce s výjimkou identifikátorů objednávek a obchodů, pro něž bude použit 64bitový *bigint*.

Identifikátory společností, akciových titulů, obchodníků, objednávek a obchodů budou využívat automatického přidělování čísla, v termonologii systému



Obrázek 4.1: Fyzický model databáze. Podtržené názvy sloupců představují primární klíče tabulky, tučně jsou označeny ty, jejichž hodnota nesmí být *NULL*. Vazby cizích klíčů tabulky *live_orders* nejsou pro lepší přehlednost vyznačeny.

PostgreSQL nazývaného *serial types* [18]. Tyto datové typy jsou ve skutečnosti normálními celočíselnými typy, jimž je automaticky přidělováno pořadové číslo počínaje číslem 1, a proto jejich maximální hodnota je i přes jejich „bezznaménkovost“ stejná jako u mateřských datových typů. Pro identifikátor objednávek a obchodů bude použit typ *bigserial*, v ostatních zmíněných případech *serial*.

4.5.2 Desetinná čísla

Pro přesné vyjádření desetinných čísel lze v systému PostgreSQL využít datového typu *numeric*, případně alternativního názvu *decimal* [18]. Pro zaznamenání ceny akcií bude ve všech případech využit *numeric* s maximálním rozsahem 10 číslic, z toho 3 desetinných míst, a pro uchování údajů o hodnotě objemu obchodů v tabulce *trade_statistics* bude využit s rozsahem 16 platných cifer při 3 desetinných místech.

4.5.3 Řetězce

Pro reprezentaci údajů ve formě čistého textu bude použit datový typ řetězce znaků proměnné délky *varchar*. Maximální délka zkratky akciového titulu *ticker* bude 8 znaků a název typu objednávky z číselníkové tabulky *order_types* bude omezen maximálně na 16 znaků. Délky ostatních řetězců vyskytujících se v databázi budou shodně omezeny na 128 znaků.

4.5.4 Datum a čas

S potřebou zaznamenávat časové údaje v databázi se setkáme u archivních i živých objednávek, u uzavřených objednávek a dále u statistik obchodů. Ve všech těchto případech je potřeba evidovat datum a čas s co největší přesností. Systém PostgreSQL pro tyto účely poskytuje datový typ *timestamp* ve variantách s nebo bez specifikování časového pásma [18]. Pro jednoznačnou a přehlednou interpretaci uloženého údaje bude vyžadována ve všech případech varianta včetně časového pásma.

V tabulce *stocks* bude dále nutné evidovat datum primární emise akcií (tzv. IPO). Pro tyto účely bude nejvhodnější datový typ *date*.

4.5.5 Internetová adresa

Databázový systém PostgreSQL definuje též několik speciálních datových typů pro reprezentaci síťových adres (viz [18]). Pro zaznamenání IP adresy verze IPv4 nebo IPv6 v tabulce *Strikers* bude použit datový typ *inet*.

4.6 Vložení objednávky

Obchodníkovu objednávku vloží Market do databáze zavoláním uložené procedury *insert_order*. Tato funkce nejprve pořídí časové razítko, aby mohla nastavit shodný čas přijetí objednávky *received* u živých i archivních objednávek, a ověří, že zadávané množství i limitní cena jsou kladná čísla. V případě prodejních objednávek je taktéž potřeba ověřit, že obchodník skutečně vlastní alespoň nabízené množství akcií daného titulu.

Poté již může být objednávka vložena do tabulky *archived_orders*, jež objednávce přiřadí identifikátor *id*, nastaví okamžik vložení objednávky *received* podle pořízeného časového razítka a hodnoty ostatních „časových sloupců“ ponechá *NULL*.

Databázový systém PostgreSQL využívá nadstavbu jazyka SQL, jež mimo jiné umožňuje vrátit hodnotu použitou v příkazu *INSERT INTO* pomocí klíčového slova *RETURNING* [18]. S využitím této konstrukce bude možné efektivně použít identifikátor objednávky přidělený tabulkou *archived_orders* při následném vložení objednávky do tabulky živých objednávek *live_orders*.

Prvek	Název	Datový typ
ID nákupní objednávky	buy_order_id	bigint
ID prodejní objednávky	sell_order_id	bigint
ID akciového titulu	stock_id	integer
ID kupujícího obchodníka	buyer_id	integer
ID prodávajícího obchodníka	seller_id	integer
Obchodované množství	amount	integer
Aukční cena	price	numeric(10, 3)

Tabulka 4.1: Struktura datového typu *t_trade*. ID značí identifikátor.

Celá operace vložení objednávky bude probíhat v jediné transakci, čímž bude zaručeno správné zpracování objednávky. V případě, že objednávka bude přijata, vrátí metoda kladné číslo reprezentující identifikátor vložené objednávky. V opačném případě vrátí číslo 0 značící, že vložení objednávky selhalo.

4.7 Provedení obchodů

Algoritmus provedení obchodů je podrobně popsán v analýze databázového úložiště 2.6.1. V této podkapitole bude dále rozpracován z hlediska návrhu provádějící metody *process_trades*.

Požadavek na provedení všech obchodů, nebo v případě selhání k neuskutečnění žádného, vede opět na nutnost provést celou operaci v rámci jediné transakce.

Vstupem metody bude seznam spočítaných obchodů, jež je třeba provést. Pro tento účel bude potřeba vytvořit datovou strukturu *t_trade* reprezentující každý jednotlivý obchod, jež musí obsahovat prvky uvedené v tabulce 4.1. Metoda *process_trades* pak bude přijímat parametr typu *t_trade[]*.

Pro každý obchod typu *t_trade* bude vytvořen záznam v tabulce *trades*, jenž bude dále obsahovat automaticky přidělený identifikátor a pro všechny obchody jednotné časové razítko pořízené metodou *process_trades* před začátkem zaznamenávání obchodů. Dále bude pro každý obchod aktualizován stav nákupní i prodejní objednávky voláním pomocné metody *update_order* a v případě, že kupující a prodávající obchodník budou rozdílní (jeden obchodník totiž může zastupovat prodávajícího i kupujícího klienta), bude upraveno vlastnictví kupujícího a prodávajícího obchodníka pomocí metody *increase_ownership* resp. *decrease_ownership*.

Posledním krokem, který proběhne v případě, že byl uzavřen alespoň jeden obchod, bude aktualizování referenční ceny *price* v tabulce akciových titulů *stocks*.

Metoda *update_order* sníží zbývající množství *amount* aktivní objednávky uložené v tabulce *live_orders* o zobchodované množství. Pokud tímto obchodem byla objednávka vyřízena, bude daný záznam z tabulky *live_orders* sma-

zán a odpovídajícímu záznamu v tabulce *archived_orders* (mají totožný identifikátor *id*) bude nastaven parametr *executed* na hodnotu okamžiku pořízení časového razítka uzavření obchodů.

Metody *increase_ownership* a *decrease_ownership* upraví vlastnictví akcií po uzavření obchodu. Jelikož tabulka *ownerships* bude obsahovat z důvodu snížení množství ukládaných údajů pouze záznamy s nenulovým množstvím vlastněných akcií, mohou nastat tři různé situace.

1. Záznam v tabulce *ownerships* pro daného obchodníka a akciový titul před provedením obchodu neexistoval. V takovém případě bude záznam vytvořen a množství vlastněných akcií *amount* v tabulce *ownerships* bude rovno nakoupenému množství *_traded_amount*.

2. V tabulce *ownerships* před provedením obchodu již existuje záznam pro daného obchodníka a akciový titul a po jeho provedení množství vlastněných akcií *amount* v tabulce *ownerships* bude nenulové. Pak vztah vlastněného množství *amount* a zobchodovaného množství *_traded_amount* bude následující:

   - $amount = amount + \_traded\_amount$ pro zvýšení vlastnictví a
   - $amount = amount - \_traded\_amount$ pro snížení vlastnictví.

3. Po provedení obchodu bude množství vlastněných akcií *amount* v tabulce *ownerships* nulové. V takovém případě dojde ke smazání záznamu z tabulky *ownerships*.

4.8 Emise akcií

Vlastnosti emise akcií již byly rozebrány v průběhu analýzy 2.6.2. Při jejím provádění bude potřeba rozlišit tzv. primární emisi (IPO), při které dojde k vytvoření záznamu v tabulce akciových titulů *stocks*, a úpisu dalšího balíku akcií, kdy dojde k navýšení počtu již obchodovaných akcií.

Úpis bude proveden pomocí uložené procedury *emit*, jež v tabulce *stocks* navýší počet obchodovaných kusů akcií *shares* o počet upsaných kusů a nastaví referenční cenu *price* na cenu úpisu. Dále dojde k navýšení vlastnictví *ownerships* speciálního obchodníka *Emitor* pomocí metody *increase_ownership* popsané v předchozí podkapitole (vzhledem k tomu, že databáze PostgreSQL nepodporují globální proměnné, bude pro přístup k obchodníkovi *Emitor* využíváno volání metody *emitor_id()*, jež bude vracet jeho identifikátor).

Primární emise akcií bude sestávat ze dvou kroků. V prvním kroku dojde k vytvoření záznamu v tabulce *stocks*, ve kterém budou vyplněny všechny údaje podle požadavku s výjimkou sloupce počtu obchodovaných kusů *shares*, který bude nastaven na 0. Ve druhém kroku pak dojde k jeho navýšení

na požadovaný počet a připsání akcií emitujícímu obchodníkovi voláním metody *emit* jako při úpisu akcií. Primární emisi akcií bude provádět uložená procedura *create_stock*.

4.9 Indexy

4.9.1 Základní vlastnosti indexů v systému PostgreSQL

Indexy v databázových systémech slouží k urychlení vyhledání záznamů pomocí indexovaných sloupců při použití příkazů *SELECT*, *UPDATE* a *DELETE*. Nevýhodou, kterou používání indexů obnáší, je větší režie při vytváření záznamů, kvůli níž nevhodně zvolený index nad málo používaným sloupcem může vést až k celkovému zpomalení práce s danou databází.

Indexy v databázovém systému PostgreSQL mohou být vytvořeny pro jednotlivé sloupce nebo (v případě některých typů indexů) pro více sloupců zároveň. Vícesloupcový index může být využit i pro vyhledávání s použitím jen některých sloupců daného indexu, ovšem jsou efektivní jen tehdy, pokud se daný výběr týká „levých“ sloupců uvedených v definici indexu. Je možná i opačná situace, tedy využití více jednosloupcových indexů při dotazu zahrnujícím několik sloupců.

Index je databází automaticky vytvořen pro všechny sloupce tvořící primární klíč a též omezení *UNIQUE*. Obecně platí, že nebývá příliš výhodné používat indexy nad sloupci, které obsahují jen malou množinu různých hodnot.

O tom, zda bude index pro vyhledávání při konkrétním dotazu využit, nakonec rozhoduje vždy plánovač. Využití indexů v databázovém systému PostgreSQL je podrobně popsáno v dokumentaci. [18]

4.9.2 Identifikace častých dotazů

Z vlastností indexů vyplývá, že pro správný výběr indexovaných sloupců je potřeba zjistit, které dotazy budou často prováděny. V tuto chvíli je možné na základě analýzy vytipovat možné kandidáty, ovšem správnost výběru se ověří až na základě statistik získaných při pilotním provozu s reálnými daty.

Kromě vyhledávání pomocí sloupců primárních klíčů a omezení *UNIQUE*, pro které jsou indexy vytvořeny automaticky, lze očekávat, že kandidáty na vhodný index už budou pouze některé sloupce živých a archivních objednávek.

4.9.2.1 Živé objednávky

Tabulka *live_orders* bude nejčastěji využívána k výpočtu aukční ceny a párování objednávek. Pro tyto výpočty bude potřeba vybírat zvlášť nákupní a prodejní objednávky jednoho akciového titulu a určité limitní ceny, přičemž

pro určení maximální resp. minimální požadované ceny bude zapotřebí dotazu za účasti typu objednávky a akciového titulu.

Jelikož navrhovaný systém alespoň zpočátku bude využívat pouze dva typy podobně četných objednávek, nedá se očekávat, že by indexace sloupce *type_id* byla přínosná. Naopak index složený ze sloupců *stock_id* a *price* (v tomto pořadí) najde uplatnění při výběru objednávek pro výpočet i při výpočtu ceny pro uskutečnění tohoto výběru.

Dalším častým dotazem může být vyhledání všech živých objednávek zadaného obchodníka. Pokud budou tyto dotazy dostatečně využívány, bude vhodné indexovat i sloupec *broker_id*.

4.9.2.2 Archivní objednávky

Tabulka *archived_orders* bude sloužit především k archivaci údajů o přijatých objednávkách a nejčastěji k jejím údajům bude přistupováno pomocí identifikátoru indexovaného pomocí primárního klíče. Přesto se však dá očekávat nezanedbatelné množství dotazů týkajících se vyhledání určité podmnožiny objednávek podané jedním obchodníkem nebo týkajících se jednoho akciového titulu.

Proto je navrženo využití jednoduchých indexů nad sloupci *broker_id* a *stock_id*.

4.9.2.3 Uzavřené obchody

Market umožní obchodníkům sledovat vývoj kurzu akcií v zadaném časovém intervalu. Pro tyto účely může být využita tabulka *trade_statistics* umožňující v době malého provozu (například po skončení obchodního dne) spočítat agregované statistiky obchodů ve zvolených časových intervalech.

Tyto statistiky však budou plnit svůj účel pouze tehdy, pokud bude zvolený interval dostatečně široký. Pokud bude Market chtít znát tyto údaje v podrobnějším měřítku, bude je muset spočítat z uzavřených obchodů v tabulce *trades*. Spočítané statistiky pravděpodobně nebude možné použít ani pro sledování kurzu v průběu aktuálního obchodního dne (tedy pokud se budou počítat až po jeho skončení), což jsou pro investory nejdůležitější informace.

Z uvedených důvodů se dá očekávat značné množství dotazů na tabulku *trades*, ve které se bude vyhledávat pomocí sloupců *stock_id* a *executed*. Proto bude vhodné použít složený index i na tuto dvojici sloupců.

4.9.3 Navržené indexy

V tabulce 4.2 jsou uvedeny indexy, které budou využity v databázi. Tabulka obsahuje i automaticky vytvářené indexy při využití primárních klíčů a omezení *UNIQUE*.

Tabulka	Sloupec	Poznámka
companies	id	Primární klíč
companies	name	Unique
stocks	id	Primární klíč
stocks	ticker	Unique
stocks	name	Unique
brokers	id	Primární klíč
brokers	name	Unique
order_types	id	Primární klíč
archived_orders	id	Primární klíč
archived_orders	broker_id	Index
archived_orders	stock_id	Index
live_orders	id	Primární klíč
live_orders	stock_id price	Index
live_orders	broker_id	Index
trades	id	Primární klíč
trades	buy_order_id sell_order_id	Unique
trades	stock_id executed	Index
ownerships	broker_id stock_id	Primární klíč
trade_statistics	stock_id interval_from interval_to	Primární klíč
strikers	ip_address port	Primární klíč

Tabulka 4.2: Návrh na využití indexů v databázi. V poznámce je uveden způsob vytvoření indexu. Každý řádek tabulky představuje jeden index. V případě, že je v jednom řádku uvedeno více databázových sloupců, jedná se o vícesloupcový index.

Kapitola 5

Návrh nástroje Striker

5.1 Základní přehled

Tato kapitola logicky navazuje na analýzu nástroje Striker a zjištěné poznatky dále rozpracovává v jeho návrh. Nástroj bude implementován v jazyce C++ jako program `striker`.

5.2 Základní komponenty

Vstupním bodem programu `striker` bude metoda *main* nacházející se v souboru `Striker.cpp`. Tato metoda přečte dva parametry příkazového řádku, a to IP adresu a port, na kterých bude `striker` dostupný, a předá je konstruktoru třídy *Striker*, jejíž vytvořená instance bude dál zodpovědná za řízení programu.

Nejdůležitější třídy podílející se na chodu programu jsou uvedeny v tabulce 5.1, třídy reprezentující využité datové struktury jsou uvedeny v tabulce 5.2.

Třída	Úkol
Striker	Hlavní třída řídící chod programu.
TcpServer	TCP server pro komunikaci s Marketem.
PgsqlDataProvider	Výměna dat s databází.
JsonDataProvider	Konverze dat do formátu JSON.
PriceCalculator	Výpočet aukční ceny.
OrderMatcher	Vytvoření obchodů spárováním objednávek.

Tabulka 5.1: Nejdůležitější třídy podílející se na chodu nástroje Striker.

Třída	Reprezentace
Decimal	Desetinné číslo
Stock	Akciový titul
Order	Aktivní objednávka
Trade	Obchod
PriceCalculationRow	Řádek kumulativní tabulky

Tabulka 5.2: Nejdůležitější třídy reprezentující datové struktury nástroje Striker.

5.3 Datové typy

Datové typy proměnných využívaných nástrojem Striker by obecně měly co nejvíce odpovídat datovým typům svých protějšků v databázi. Následující body se zaměřují na speciální případy.

5.3.1 Desetinná čísla

Standard jazyka C++ neobsahuje datový typ reprezentující přesná desetinná čísla (obdoba *numeric* v jazyce SQL). Přesnost datových typů *float*, *double* a *long double* je implementačně závislá. Počet platných cifer čísla vyjádřeného v desítkové soustavě, které lze uložit do těchto datových typů bez jejich pozměnění vlivem zaokrouhlovací chyby, vyjadřují pro tyto datové typy makra `FLT_DIG`, `DBL_DIG` a `LDBL_DIG` (v tomto pořadí) definované v hlavičkovém souboru `<cfloat>`. Hodnota posledních dvou jmenovaných je vždy nejméně 10. [19]

Pro uložení ceny akciového titulu je potřeba 10 platných cifer, takže by pro tento účel měla být dostačující přesnost datových typů *double* a *long double*, ovšem v případě aritmetických operací při výpočtu aukční ceny by toto již nemuselo být dostačující. Dalším zásadním argumentem je požadavek na garantovanou výpočetní bezchybnost Strikeru, jíž by s nepřesným datovým typem principiálně nešlo dosáhnout.

Vhodným řešením se zdá být rodina datových typů *decNumber* [20], konkrétně typ *decDouble*, odpovídající standardu IEEE 754-2008 [21]. Datový typ *decDouble* je vyjádřen pomocí desítkového základu a přesně reprezentuje 16 platných cifer.

Jelikož je provádění numerických operací s těmito datovými typy poměrně těžkopádné, bude vhodné vytvořit obalující třídu *Decimal*, jež bude využívat pro uložení desetinného čísla datového typu *decDouble* a navenek bude možno s její pomocí reprezentovanými čísly zacházet podobným způsobem jako například s datovým typem *double*.

```
// Predani hodnotou
int getVector()
{
  vector<int> v;
  for (int i = 0; i < 1000; i++)
    v.push_back(i);
  return v;
}
vector<int> v1 = getVector();

// Predani referenci
void getVector(vector<int>& v)
{
  for (int i = 0; i < 1000; i++)
    v.push_back(i);
}
vector<int> v2;
getVector(v2);
```

Obrázek 5.1: Příklad metod, z nichž první využívá předání parametru hodnotou a druhá referencí.

5.3.2 Datum a čas

Analýza ukázala, že Striker při určování aukční ceny ani při párování objednávek nepotřebuje zacházet přímo s časovými údaji, pokud jsou již objednávky seřazeny potřebným způsobem. Z tohoto důvodu se jeví mnohem výhodnější ukládat časová razítka ve formě textu tak, jak byla přijata z databáze, neboť odpadne nutnost zbytečných konverzí datových typů.

5.3.3 Složitější struktury a seznamy

Rychlost výpočtu je důležitá pro fungování celého systému akciové burzy, a proto musí být Striker navržen tak, aby výpočty probíhaly co nejefektivněji. Jednou z oblastí, na kterou je potřeba dávat pozor, je zacházení s velkými datovými strukturami a seznamy.

Jazyk C++ umožňuje manipulaci s proměnnými několika způsoby:

- předání referencí,
- předání hodnotou a
- předání pomocí ukazatele.

Rozdíl mezi předáváním referencí a hodnotou ilustruje příklad na obrázku 5.1. Řekněme, že chceme, aby metoda *getVector* vrátila seznam čísel od 0 do 999. V prvním případě budeme postupovat „intuitivně“. Metoda *getVector* vytvoří seznam, naplní jej požadovaným obsahem a nakonec ho vrátí. Takovému postupu se říká předání *hodnotou*. Jeho nevýhodou je, že v paměti musíme

vytvořit nový seznam, do kterého je následně zkopírován obsah seznamu vytvořeného v metodě *getVector*, zatímco ten na jejím konci zanikne. Předání parametru referencí tomu předchází tím, že nejprve vytvoříme seznam *v2* a ten předáme metodě *referencí* (to je zajištěno symbolem `&` za datovým typem argumentu této metody). V takovém případě metoda přistupuje k objektu, který existuje vně jejího těla, a proto po jejím skončení nedojde k jeho zániku a bude naplněn požadovaným obsahem.

Zatímco standard C++03 preferuje v obecném případě z důvodu efektivity předávání argumentu pomocí reference (a to konstantní, pokud ho není potřeba měnit), novější standard C++11 již ve většině případů upřednostňuje předání hodnotou a zároveň téměř v žádném případě nedoporučuje využívat pro tyto účely ukazatele.

Tento výrazný posun byl umožněn přidáním nových technologií do standardní knihovny jazyka C++. Tyto technologie dokáží detekovat a efektivně pracovat s tzv. *rvalue* referencemi. Zjednodušeně řečeno jde o to, že kompilátor podle standardu C++11 dokáže rozpoznat situaci, při které metoda vrací objekt, na který nejsou z vnějšku žádné reference, a tak místo toho, aby v paměti vytvořila jeho kopii a původní objekt zničila, pouze vlastnictví tohoto objektu „přesune“. Tato operace je navíc přitom zcela bezpečná. Díky tomu může být kód využívající této vlastnosti standardu C++11 efektivní a zároveň mnohem přehlednější než při předávání referencí. Více o této problematice pojednává např. [22].

Při návrhu nástroje Striker jsme zvažovali využití tohoto nového standardu a výhod, které přináší. Nakonec jsme se však rozhodli, že vyšší prioritu bude mít požadavek, aby byla aplikace spustitelná i na zařízeních, která tento standard nepodporují, a aby i na nich pracovala dostatečně rychle a efektivně. Protože by předávání hodnotou v případě seznamů obsahujících velké množství objednávek či obchodů bylo značně neefektivní, rozhodli jsme, že v těchto případech budeme volit předání referencí.

5.3.4 Srovnání s databází

Tabulka 5.3 přiřazuje datovým typům použitým v databázi jejich předpokládané odpovídající protějšky použité v programu `striker`.

5.4 Výpočet aukční ceny

Jelikož se v průběhu analýzy uvažovalo o možnosti využít jinou sadu kritérií pro stanovení aukční ceny a do budoucna není vyloučena jejich změna, je vhodné navrhnout výpočetní modul tak, aby taková změna byla implementačně co možná nejjednodušší. V úvahu přichází zejména tyto alternativy:

- Zvolení cenové hladiny, která je z uvažovaných nejbilíže k referenční ceně, namísto současných kritérií č. 4 a 5 (tuto variantu dříve využívala

Databáze	Striker
serial	uint32_t
bigserial	uint64_t
integer	uint32_t int
numeric	Decimal
varchar	string
timestamp	string

Tabulka 5.3: Obecná převodní tabulka mezi datovými typy použitými v databázi a Strikeru.

například Pražská burza [4]).

- Zvolení cenové hladiny, která je z uvažovaných nejbilíže k referenční ceně, již jako druhé a poslední kritérium (tuto vatiantu využívá burza Euronext [11]).

- Maximalizace hodnoty objemu obchodu namísto prvního kritéria a minimalizace převisu hodnoty místo druhého kritéria (nebo-li v obou případech nahradit *množství* součinem *množství* a *cena*).

Za výpočet aukční ceny bude odpovědná instance třídy *PriceCalculator*, která bude mít jedinou veřejnou metodu *getPrice* přebírající jako parametry setříděné seznamy relevantních nákupních a prodejních objednávek (*buyList* a *sellList*) a referenční cenu počítaného akciového titulu.

Metoda *getPrice* bude sestávat ze tří kroků:

1. Kontrola triviálního řešení: pokud je seznam nákupních nebo prodejních objednávek prázdný, bude aukční cenou cena referenční.

2. Vytvoření kumulativní tabulky: z nákupních a prodejních objednávek bude sestavena kumulativní tabulka.

3. Spočítání aukční ceny: kumulativní tabulka bude předána řetězci metod hodnotících ji z hlediska nastavených kritérií.

Tyto kroky jsou v následujících oddílech podrobněji rozebrány.

Vzhledem k tomu, že výsledná zpráva pro Market má obsahovat i objem uzavřených obchodů, tedy údaj, který bude spočítán a využit při určování aukční ceny, bude výhodné, aby metoda *getPrice* vracela celý řádek typu *PriceCalculationRow* obsahující stanovenou aukční cenu.

5.4.1 Kontrola triviálního řešení

V případě, že některý z předaných seznamů objednávek bude prázdný, může metoda *getPrice* rovnou vrátit řešení, kterým je řádek typu *PriceCalculationRow* obsahující referenční cenu a nulové hodnoty zobchodovatelného objemu a převisu.

5.4.2 Vytvoření kumulativní tabulky

Kumulativní tabulka bude uspořádanou množinou řádků třídy *PriceCalculationRow*, jež budou v tabulce seřazeny sestupně podle ceny *price*. Každý řádek bude dále obsahovat kumulativní nákupní množství *aggregateBuyQuantity* a kumulativní prodejní množství *aggregateSellQuantity* představující celkový poptávaný resp. nabízený objem při dané ceně.

5.4.2.1 Vložení nákupních objednávek

Nejprve budou do tabulky vloženy relevantní nákupní objednávky ze sestupně seřazeného seznamu *buyList*. Díky kontrole triviálního řešení navíc víme, že obsahují alespoň jednu objednávku. Účelem je co nejvíce omezit množství zápisů do tabulky.

Přímočarý postup spočívá v procházení jednotlivých objednávek a přidávání řádků s odpovídající cenou, pokud se cena objednávky liší od předcházející. Při tom kumulativní nákupní množství každého nově vytvořeného řádku je rovné kumulativnímu nákupnímu množství jeho předchůdce a každá objednávka zvětší kumulativní nákupní množství řádku o odpovídající ceně. Tím, že jsou objednávky seřazené podle ceny, stačí jednoduché dopředné procházení.

Výše uvedený přímočarý postup má však nevýhodu, kterou je nadbytečné množství zásahů do řádků tabulky. Nabízí se proto vylepšená varianta, kdy se do pomocné proměnné zaznamenává „nastřádané“ množství pro danou cenu a k vytvoření nového řádku kumulativní tabulky dojde až ve chvíli, kdy se objeví objednávka s jinou limitní cenou nebo dojde k vyčerpání objednávek. Jediné, co zbývá zajistit, je samotný začátek, kdy je potřeba zadržet zápis ceny první objednávky; toho lze dosáhnout například tak, že ještě před začátkem iterace objednávek bude nastavena cena budoucího řádku na cenu první objednávky.

5.4.2.2 Vložení prodejních objednávek

Vložení prodejních objednávek seřazených vzestupně v seznamu *sellList* do kumulativní tabulky bude obtížnější než v případě objednávek nákupních, neboť nyní již tabulka může obsahovat cenové hladiny, které mezi prodejními objednávkami zastoupeny nejsou, a naopak nemusí obsahovat některé hladiny, které prodejní objednávky obsahují. Komplikací naopak nebude opačné řazení; pouze bude potřeba vkládat prodejní objednávky do tabulky odspoda.

Postup při vkládání prodejních objednávek bude následující. Budeme postupně procházet jednotlivé objednávky a porovnávat jejich limitní cenu s cenou uvedenou v aktuálním řádku kumulativní tabulky, jíž budeme postupovat od konce. Opět budeme zapisovat kumulativní množství (tentokrát prodejní) z pomocné proměnné až při nalezení další cenové hladiny; v tomto případě k takové situaci dojde, když cena objednávky bude vyšší než cenová hladina řádku nebo narazíme na začátek tabulky. Jelikož takových řádků v tabulce již může být víc, je potřeba zapsat kumulativní prodejní množství do všech takových řádků.

Obsahuje-li limitní cena uvedená v prodejní objednávce hodnotu, pro kterou neexistuje cenová hladina v tabulce (cena objednávky bude menší než cena aktuálního řádku), je potřeba tuto cenovou hladinu vytvořit vložením nového řádku pod aktuální. Kumulativní nákupní množství nového řádku se bude rovnat kumulativnímu nákupnímu množství aktuálního řádku, zápis prodejního množství opět odložíme až na přechod na novou cenovou hladinu. Protože jsme při průchodu tabulkou „předběhli“ objednávky, musíme se v tabulce posunout o jedno místo níž, na nově vložený řádek.

Posledním úkolem, který musíme s danou objednávkou vykonat, je zvýšit kumulované prodejní množství v pomocné proměnné o množství kusů uvedené v objednávce.

Po projití celého seznamu prodejních objednávek může nastat situace, kdy v několika horních řádcích kumulativní tabulky nebude vyplněno prodejní množství, protože prodejní objednávky neobsahovaly dostatečně vysoké ceny. Všem těmto řádkům musíme tento údaj vyplnit; bude roven kumulativnímu prodejnímu množství předchozího (nižšího) řádku.

5.4.3 Určení aukční ceny

Aukční cena bude určena pomocí již vytvořené kumulativní tabulky podle kritérií popsaných v analýze (viz 3.5.1). Pokud z prvního kritéria vzejde jediný řádek, pak bude tento řádek výsledkem a aukční cenou jeho cenová hladina, v opačném případě budou nejlepší řádky postoupeny dalšímu kritériu. Takto lze řetězit postup až k poslednímu kritériu, které již musí rozhodnout o jediné ceně.

Aukční cena bude stanovena pomocí řetězce metod uvedených v tabulce 5.4.

První dvě metody řetězce, *getPriceByMaximumTradeableQuantity* a *getPriceByMinimumQuantityImbalance*, nejprve zjistí maximální hodnotu zobchodovatelného objemu resp. minimální hodnotu převisu a poté z tabulky vyberou řádky odpovídající tomuto parametru. Bude-li vybrán jediný, vrátí rovnou výsledek, v případě více řádků je postoupí dál. Zejména v prvním případě se dá očekávat velká „úmrtnost“ řádků, a proto bude pro případné předání další metodě řetězce výhodnější vytvořit novou tabulku, než z původní odebírat

Kritérium	Metoda
1	getPriceByMaximumTradeableQuantity
2	getPriceByMinimumQuantityImbalance
3	getPriceByQuantityImbalanceDirection
4, 5	getPriceByAverage

Tabulka 5.4: Řetězec metod představující jednotlivá kritéria pro stanovení aukční ceny.

nevyhovující řádky. Při předávání řádově jednotek řádků je též možné bez újmy na efektivitě výpočtu předávat řádky hodnotou.

Metoda *getPriceByQuantityImbalanceDirection* posuzující předané řádky podle třetího kritéria zkoumá, zda všechny tyto řádky mají stejný směr převisu. Pokud ve všech případech převažuje nabídka nad poptávkou, bude za aukční cenu stanovena nejnižší cenová hladina z těchto řádků; pokud ve všech případech převažuje poptávka nad nabídkou, bude aukční cenou nejvyšší z uvažovaných hladin. V ostatních případech bude rozhodnutí postoupeno dále.

Posouzení podle čtvrtého a pátého kritéria bude sloučeno do jediné metody *getPriceByAverage*, která spočítá průměrnou cenu z nejvyšší a nejnižší nabízené cenové hladiny. Pokud je taková cena validní, pak bude prohlášena za aukční cenu (4. kritérium), jinak bude aukční cenou od ní nejbližší validní cena směrem k ceně referenční (5. kritérium). V obou případech však bude potřeba dopočítat ostatní údaje řádku: jeho kumulativní nákupní množství bude stejné jako kumulativní nákupní množství řádku s nejbližší vyšší cenou a jeho kumulativní prodejní množství bude stejné jako kumulativní prodejní množství řádku s nejbližší nižší cenou.

5.5 Párování objednávek

Párování objednávek bude zajišťovat třída *OrderMatcher*, která bude mít jedinou veřejnou metodu *matchOrders*. Jejím úkolem bude z předaných seznamů nákupních a prodejních objednávek a spočítané aukční ceny vytvořit seznam obchodů.

Oba seznamy objednávek budou metodě předány referencí. Aby se předešlo nutnosti vracet výsledný seznam obchodů hodnotou, bude tento seznam vytvořen řídící třídou *Striker* a taktéž předán referencí, aby byl „naplněn“.

Algoritmus párování popsaný v analýze 3.6 je velmi snadno implementovatelný, protože seznamy nákupních i prodejních objednávek jsou již seřazeny podle priority, s jakou mohou být spárovány. Dojde-li k uzavření obchodu, jehož objem bude vždy maximální možný, tedy roven menšímu množství z nákupní a prodejní objednávky s nejvyšší prioritou, bude zbývající množství účastnících se objednávek sníženo o objem obchodu; vyřízené objednávky bu-

dou ze seznamu odebrány. Takový postup bude odrážet reprezentaci živých objednávek v databázi a navíc je bude možné přímo využít pro určení tzv. ceny *bid* a *ask* vyžadovaných v závěrečné zprávě pro Market (*bid* představuje nejvyšší cenu nákupní a *ask* nejnižší cenu prodejní objednávky po uzavření obchodů).

Párování bude probíhat tak dlouho, dokud každý z obou seznamů bude obsahovat vhodné objednávky. Z nákupních objednávek to jsou ty, jejichž limitní cena je větší nebo rovna aukční ceně, a z prodejních objednávek takové, jejichž prodejní cena je menší nebo rovna aukční ceně.

5.6 Komunikace s Marketem

Nástroj Striker bude s Marketem komunikovat pomocí protokolu TCP/IP. Aplikace `striker` bude v rámci této komunikace zastávat roli TCP serveru, zatímco Market bude jejím klientem. Jelikož architektura projektu počítá s jediným Marketem, bude i počet současně připojených klientů omezen na jediný. V případě přerušení spojení (ať již úmyslného ze strany Marketu, nebo neúmyslného), bude Striker naslouchat dalším žádostem o spojení. Striker nikdy nebude spojení s Marketem přerušovat. Za komunikaci s Marketem bude zodpovědná třída *TcpServer*.

5.6.1 Navázání spojení

Instance třídy *TcpServer* musí být nejprve inicializována zavoláním metody *initialize* s parametry IP adresy a portu, na kterých má být `striker` dostupný. Tato metoda vytvoří socket voláním funkce *socket*, definované v hlavičkovém souboru `<sys/socket.h>`, a přiřadí mu lokální adresu zavoláním metody *bind*, definované tamtéž. Pro uchování informací o socketu bude vhodná struktura *addrinfo* definovaná v hlavičkovém souboru `<netdb.h>`.

Nepodaří-li se vytvořit socket, není možná správná funkce aplikace. V takovém případě tedy napíše chybové hlášení na standardní chybový výstup a ukončí se.

Po úspěšné inicializaci socketu bude `striker` čekat na připojení klienta zavoláním metody *makeConnection* třídy *TcpServer*. Tato metoda bude ve smyčce volat funkci *listenForConnection*, dokud nebude spojení úspěšně navázáno. Příchozí požadavek o spojení bude vyslyšen pomocí dvojice metod *listen* a *accept* definovaných taktéž v hlavičkovém souboru `<sys/socket.h>`. Metoda *listenForConnection* v případě navázání spojení zkontroluje, zda IP adresa připojeného klienta odpovídá adrese, z níž se smí připojovat Market, a podle toho spojení buď přijme, nebo odmítne.

Klíč	Popis
stockId	Identifikátor obchodovaného akciového titulu
price	Aukční cena
totalAmount	Objem uzavřených obchodů
bid	Nejvyšší cena nákupní objednávky po uzavření obchodů
ask	Nejnižší cena prodejní objednávky po uzavření obchodů
strikeTime	Časové razítko přidělené uzavřeným obchodům

Tabulka 5.5: Struktura objektu *info* v závěrečné zprávě pro Market.

5.6.2 Příjem požadavku

Poté, co dojde k připojení Marketu, vstoupí běh programu do nekonečné smyčky. V každém cyklu nejprve přijme příchozí zprávu od Marketu, provede výpočet a odešle Marketu odpověď.

Metoda *receiveMessage* třídy *TcpServer* bude přijímat zprávu pomocí standardní socketové metody třídy *recv*. Vzhledem k tomu, že přijímanou zprávou má být identifikátor akciového titulu, jehož délka v textové reprezentaci může dosáhnout maximálně 10 znaků, stačí pro příjem takové zprávy zakončené nulou buffer o velikosti 11 znaků.

V případě selhání spojení dojde k zavření socketu a pokusu o navázání nového spojení dle postupu popsaného v předcházejícím oddílu.

5.6.3 Odeslání výsledku

Odeslání zprávy Marketu, ať již výsledku nebo chybové zprávy, bude zajišťovat metoda *sendMessage* třídy *TcpServer*. Tato metoda zapouzdří volání standardní socketové metody třídy *send*, jež předá deskriptor socketu k odeslání zadané zprávy.

Zpráva může obsahovat buď hlášení o chybě, nebo výsledek výpočtu ve formátu JSON. Možné typy zpráv jsou dále podrobněji diskutovány.

5.6.3.1 Výsledek výpočtu

Zpráva o výpočtu aukční ceny a provedených obchodech bude odeslána ve formátu JSON (specifikace viz např. [23]). Tato zpráva bude obsahovat dva objekty: *info* a *trades*.

Objekt *info* ponese univerzální informace o uzavřených obchodech. Jejich soupis se stručným vysvětlením je uveden v tabulce 5.5.

Objekt *trades* bude obsahovat pole jednotlivých uzavřených obchodů. Každý obchod bude obsahovat informace uvedené v tabulce 5.6.

Časové razítko přidělené uzavřeným obchodům *strikeTime* bude vráceno databází po úspěšném zpracování obchodů. Parametry *bid* a *ask* budou určeny podle prvních objednávek zbylých po uzavření obchodů v seznamu *buy-*

Klíč	Popis
buyOrderId	Identifikátor nákupní objednávky
sellOrderId	Identifikátor prodejní objednávky
buyerId	Identifikátor kupujícího obchodníka
sellerId	Identifikátor prodávajícího obchodníka
amount	Objem obchodu

Tabulka 5.6: Struktura objektu představujícího obchod v závěrečné zprávě pro Market.

List resp. *sellList*. V případě, že pro uzavření obchodů budou využity všechny nákupní nebo prodejní objednávky, je nutné patřičný údaj zjistit z databáze, neboť pro sestavení těchto seznamů byla využita jen podmnožina relevantních objednávek. Je však možné, že ani databáze neobsahuje žádnou vhodnou objednávku; pak danou cenu nelze určit a jako hodnota použitá ve zprávě bude `null`.

5.6.3.2 Chybný formát požadavku

Nepodaří-li se převést přijatou zprávu na číselný identifikátor akciového titulu, Striker napíše chybovou zprávu na standardní chybový výstup a odešle Marketu zprávu: `wrong input`.

5.6.3.3 Chyba v průběhu výpočtu

Dojde-li k vyvolání výjimky v průběhu výpočtu (mezi možné příčiny patří například dotaz na neexistující akciový titul), Striker napíše chybovou zprávu na standardní chybový výstup a odešle Marketu zprávu: `null`.

5.7 Komunikace s databází

Čtení a zápis dat do databáze bude mít na starosti třída *PgsqlDataProvider*, jež pro tyto účely využívá knihovnu `libpqxx` ([24], tutoriál viz [25]).

5.7.1 Inicializace

Instance třídy *PgsqlDataProvider* zodpovědná za komunikaci s databází naváže spojení ihned po spuštění aplikace, přičemž tato inicializace probíhá v metodě *initialize* volané z jejího konstruktoru. Nepodaří-li se navázat spojení s databází, dojde k vyvolání výjimky, vypsání chybové zprávy na standardní chybový výstup a ukončení běhu aplikace `striker`.

Připojení k databázi je provedeno vytvořením instance třídy *connection* s připojovacím řetězcem předaným jako parametr konstruktoru. Tento řetězec

obsahuje IP adresu a port, na kterém databáze naslouchá, její název, uživatelské jméno a heslo. Všechny tyto parametry budou uloženy v konfiguračním souboru nástroje.

Protože by navazování spojení s databází při potřebě každého přístupu k jejím datům bylo časově velmi náročné a přitom připojený klient neomezuje její zdroje, bude s ní Striker udržovat perzistentní spojení po celou dobu běhu aplikace.

5.7.2 Registrace

Nástroj Striker se musí po svém spuštění registrovat zapsáním do tabulky aktivních Strikerů. Tuto úlohu vykoná metoda *registerStriker*, jež provede zápis pomocí databázové uložené procedury *register_striker*.

5.7.3 Získání údajů pro výpočet

Pro výpočet aukční ceny a párování objednávek je potřeba získat informace o daném akciovém titulu a seřazené relevantní nákupní a prodejní objednávky. Tyto údaje dodají metody *getStock*, *getCrossedBuyOrders* a *getCrossedSellOrders* volající odpovídající databázové uložené procedury.

5.7.4 Odeslání výsledku

Provedení spočítaných obchodů bude provedeno voláním metody *processTrades* se seznamem obchodů jako argumentem. Tato metoda ho serializuje do podoby textového řetězce obsahujícího v databázi definovaný datový typ třídy *t_trade* a předá jej jako parametr volané databázové metodě *process_trades*.

Kapitola 6

Implementace řešení

6.1 Základní přehled

V následujících podkapitolách jsou popsány některé poznatky z vývoje řešení nástroje Striker a vytváření schématu databáze.

6.2 Vlastnosti jazyka PL/pgSQL

Jazyk PL/pgSQL [26] je procedurálním jazykem pro databázové systémy PostgreSQL rozšiřujícím možnosti jazyka SQL. Kromě standardních příkazů jazyka SQL, jeho datových typů a databázových objektů umožňuje např. volat jiné uložené procedury, deklarovat lokální proměnné a přiřazovat jim hodnotu, využívat cyklů a větvení pomocí podmínek nebo pracovat s výjimkami. Každá funkce napsaná v jazyce PL/pgSQL zároveň celá probíhá v jediné transakci.

Zpracování uložených procedur vytvořených v tomto jazyce je však oproti stejným procedurám napsaným v jazyce SQL pomalejší, a proto tam, kde není potřeba využívat vlastností PL/pgSQL, je vhodné použít jazyk SQL.

Obrázek 6.1 představující část skriptu pro vytvoření databáze ilustruje využití jazyka PL/pgSQL na příkladu funkce provádějící primární emisi akcií. Objevuje se v ní deklarace lokální proměnné *_new_id*, uložení automaticky přidělené hodnoty při volání *INSERT INTO* do této proměnné, volání metody *emit*, vrácení lokální proměnné a zachycení výjimky.

6.3 Kompilace a instalace nástroje Striker

Pro usnadnění kompilace a instalace nástroje Striker a dalších přidružených aplikací jsem vytvořil soubor `makefile`, jenž obsahuje všechny potřebné informace pro jejich překlad, slinkování a nainstalování.

Tento soubor obvyklým způsobem definuje překladač a jeho nastavení, cesty k použitým knihovnám a adresáře, do kterých mají být instalované sou-

```
CREATE OR REPLACE FUNCTION create_stock(_company_id integer, _issued date,
        _shares integer, _ticker varchar, _name varchar, _price numeric)
        RETURNS integer AS $$
DECLARE
    _new_id integer;
BEGIN
    INSERT INTO stocks
        (id, company_id, issued, shares, ticker, name, price)
        VALUES (DEFAULT, _company_id, _issued, 0, _ticker, _name, _price)
        RETURNING id INTO _new_id;
    PERFORM emit(_new_id, _shares, _price);
    RETURN _new_id;

    EXCEPTION WHEN OTHERS THEN
        RETURN 0;
END;
$$ LANGUAGE plpgsql;
```

Obrázek 6.1: Příklad využití jazyka PL/pgSQL

Příkaz	Popis
make make all	Vytvoří aplikace `striker`, `mockmarket` a `decimal`.
make striker	Vytvoří aplikaci `striker`.
make install	Nainstaluje vytvořené aplikace, manuálové stránky a konfigurační soubor na příslušné místo adresářové struktury.
make clean	Smaže vytvořené aplikace a objektové a dočasné soubory.

Tabulka 6.1: Příklady využití souboru `makefile`.

části umístěny. Dále definuje jednotlivé objekty, které budou při kompilaci vytvořeny, a jejich závislosti. Díky tomu např. při úpravě zdrojového kódu jedné třídy není potřeba znova kompilovat součásti, jež touto změnou nebyly dotčeny.

Ke spuštění příkazů obsažených v souboru `makefile` slouží program `make`. Pokud je spuštěn samostatně, vytvoří první uvedený cíl; v tomto případě je jeho chování stejné jako při spuštění příkazu `make all`. Přehled nejdůležitějších možností při využití tohoto souboru uvádí tabulka 6.1.

Při kompilaci je využita volba optimalizace pomocí přepínače `-O2` a zobrazení všech upozornění pomocí `-Wall`. Jelikož kód třetí strany pro rodinu datových typů *decNumber* používá datového typu *long long*, jenž není součástí ISO C++, není možné použít volby `-pedantic`.

6.4 Konfigurace nástroje Striker

Striker potřebuje při spuštění znát několik údajů nutných pro svůj provoz. Jsou jimi:

- IP adresa a port, na kterém bude naslouchat;
- přihlašovací údaje do databáze: její IP adresa a port, její název, uživatelské jméno a heslo;
- IP adresa, ze které se smí připojit řídící aplikace, a nastavení, zda má taková kontrola probíhat;
- velikost nejmenší cenové jednotky.

S ohledem na to, že se předpokládá využití více současně pracujících nástrojů Striker pro jeden Market (a s jednou databází), rozhodl jsem se pro specifikování vlastní IP adresy a portu (který bude pro každý Striker různý) použít parametrů předaných při spuštění z příkazového řádku, zatímco ostatní údaje budou zaznamenány v konfiguračním souboru.

Konfigurační soubor obsahuje na každém řádku jednu dvojici klíč - hodnota oddělených znakem = a kromě výše zmíněných údajů, jež je pořeba zaznamenávat, může obsahovat i nastavení *verbose* udávající, zda má Striker vypisovat více provozních údajů.

Striker implicitně využívá konfigurační soubor `striker.conf` umístěný ve složce `etc` v domovském adresáři. Uživatel může při spuštění nástroje zadat jiný konfigurační soubor jako volitelný parametr příkazového řádku.

Syntaxe spuštění nástroje je následující:

```
$ ./striker [-c config] address port
```

V uvedeném případě je `striker` aplikací nástroje Striker, `address` představuje jeho IP adresu, `port` číslo portu, na kterém bude naslouchat, a `config` udává cestu ke konfiguračnímu souboru.

6.5 Dokumentace

Zdrojový kód nástroje Striker i skript pro vytvoření databáze burzy jsou dokumentovány běžným způsobem. Především jsem se snažil dodržovat obvyklé jmenné konvence a vhodně pojmenovávat identifikátory, aby již z jejich názvu byl zřejmý jejich účel.

Ve skriptu pro vytvoření databáze jsem opatřil stručným komentářem všechny tabulky, složitější uložené procedury a méně zřejmé části nejdůležitějších metod.

Vysvětlujících komentářů jsem využil i ve zdrojovém kódu nástroje Striker, kde jsem jimi opatřil všechny třídy a důležité metody. V některých složitějších metodách využívám komentářů i pro objasnění jejich částí, zejména to platí v klíčové oblasti výpočtu aukční ceny.

Pro aplikace `striker`, jež představuje nástroj Striker, a `mockmarket`, která umožňuje testovat funkčnost Strikeru tím, že umožňuje uživateli posílat Strikeru zadání práce a přijímat od něj výsledky, jsem vytvořil manuálové stránky.

```
decDouble a, b, c;
decContext set;
decContextDefault(&set, DEC_INIT_BASE);

decDoubleFromString(&a, "1.5", &set);
decDoubleFromString(&b, "2.6", &set);

decDoubleAdd(&c, &a, &b, &set);

char s[DECDOUBLE_String];
decDoubleToString(&c, s);

cout << s << endl;
```

Obrázek 6.2: Příklad využití třídy *decDouble*

```
Decimal a, b, c;
a = "1.5";
b = "2.6";
c = a + b;
cout << c << endl;
```

Obrázek 6.3: Příklad využití třídy *Decimal*

Tyto stránky, které jsou běžné v unixových operačních systémech, popisují účel těchto aplikací, parametry, které přijímají, jejich vlastnosti a obsahují příklad jejich spuštění. Uživatel může tyto stránky zobrazit pomocí příkazu `man` a názvu aplikace. Více o syntaxi jazyka manuálových stránek pojednává např. [27].

Ve zdrojovém kódu, dokumentaci pomocí komentářů, manuálových stránkách i výstupech programu zásadně používám anglického jazyka.

Dokumentací vývoje mojí části projektu simulátoru akciové burzy je tento dokument.

6.6 Datový typ Decimal

V návrhu nástroje Striker byla diskutována potřeba datového typu *decDouble* pro manipulaci s přesnými desetinnými čísly. Bohužel pro běžné zacházení není tento typ příliš uživatelsky přívětivý. Na obrázku 6.2 je uveden příklad sečtení dvou desetinných čísel a vytištění výsledku na standardní výstup při použití datového typu *decDouble*.

Pro usnadnění práce s desetinnými čísly reprezentovanými tímto datovým typem jsem vytvořil obalující třídu *Decimal*, která definuje všechny základní operandy a numerické operace, které je uživatel zvyklý využívat při práci s nativními číselnými typy. Obrázkek 6.3 ukazuje stejný příklad při využití třídy *Decimal*.

6.7 Reprezentace seznamů v nástroji Striker

Při implementaci nástroje Striker bylo zapotřebí vybrat vhodný datový kontejner pro uložení seznamů nákupních a prodejních objednávek, řádků kumulativní tabulky a obchodů.

Jazyk C++ pro tyto účely nabízí několik vhodných datových kontejnerů. Mezi nejvhodnější kandidáty patří *vector*, *deque* a *list*.

6.7.1 Vlastnosti vybraných datových kontejnerů

6.7.1.1 Vector

Kontejner *vector* reprezentuje jednorozměrné pole proměnné délky a stejně jako v případě klasického pole jsou jednotlivé prvky fyzicky uloženy v souvislém bloku paměti. Protože je případná realokace paměti při změně jeho délky časově velmi náročná, je pro možnost růstu obvykle alokováno více paměti, než je zrovna potřeba.

vector podporuje procházení prvků pomocí iterátorů, přímý přístup k libovolnému prvku včetně jejich vkládání a odebírání. Ve srovnání s jinými kontejnery velmi efektivně dokáže přistupovat ke svým prvkům a poměrně efektivně přidávat a odebírat poslední prvek. Naopak vkládání prvků na jiné pozice než na konec a jejich odebírání je oproti jiným kontejnerům výrazně pomalejší. [28]

6.7.1.2 Deque

Kontejner *deque* je velmi podobný *vector*u. Oproti němu je však navržen tak, aby umožňoval efektivní přidávání a odebírání prvků z obou konců. Dále *deque* již nezaručuje uložení prvků v souvislém úseku paměti, takže není možný přístup k jeho prvkům pomocí offsetu ukazatele.

Kromě přístupu k prvnímu a poslednímu prvku kontejneru a velmi efektivnímu přidávání a odebírání z obou konců umožňuje přístup i k ostatním prvkům přímo nebo pomocí iterátoru a taktéž vkládání prvků na libovolnou pozici, i když oproti kontejneru *list* méně efektivně. Kontejner *deque* je výhodný zejména při přidávání a odebírání velkého množství prvků z obou konců. [29]

6.7.1.3 List

Kontejner *list* umožňuje přidávání i odebírání prvků na libovolné pozici v konstantním čase. Toho je docíleno díky reprezentaci v podobě dvojitého spojového seznamu, a tak jeho prvky stejně jako u *deque* nemusí být uloženy v souvislém úseku paměti.

V porovnání s ostatními základními kontejnery je rychlejší při vkládání, odebírání a přesouvání prvků na libovolných pozicích pomocí iterátorů, takže

najde uplatnění zejména v třídících algoritmech. Velkou nevýhodou je však absence přímého přístupu k prvku pomocí indexu (toho lze dosáhnout jen iterací ze známé pozice). [30]

6.7.2 Nákupní a prodejní objednávky

Objednávky, z nichž jsou sestaveny seznamy relevantních objednávek *buyList* a *sellList*, již byly setříděny v databázi. Jejich vkládání tak může probíhat dopředně na konec seznamu. Stejným směrem probíhá jejich průchod při sestavování kumulativní tabulky. Dále jsou tyto seznamy využity při vytváření seznamu objednávek, kdy dochází k přístupu k prvnímu prvku obou seznamů a jejich odebírání. Čtení prvního prvku je též potřeba při určování cen *bid* resp. *ask*.

Pro tyto účely se jeví jako nejvhodnější využití datového kontejneru *deque*.

6.7.3 Kumulativní tabulka

Kumulativní tabulka je kontejnerem sestávajícím z řádků typu *PriceCalculationRow*. „Hlavní“ tabulka vzniká při průchodu seznamem podle limitní ceny seřazených nákupních objednávek, kdy je pro každou hodnotu limitní ceny vytvořen jeden řádek obsahující kromě ceny další vypočítané údaje. Tyto řádky jsou přidávány na konec tabulky a dále se k nim při vkládání nákupních objednávek nepřistupuje.

Při ukládání informací o prodejních objednávkách jsou jednotlivé řádky tabulky zkoumány od konce zpětným průchodem. Pokud limitní cena některé prodejní objednávky není obsažena v tabulce (díky seřazení obou seznamů stačí porovnávat s aktuálním řádkem), je zapotřebí tento řádek vložit na patřičné místo.

Výpočet aukční ceny podle prvního kritéria využívá dvojího dopředného průchodu tabulkou. Výsledkem je nová tabulka vzniklá zkopírováním „nejlepších“ řádků původní tabulky na konec nové. Pokud má tato tabulka více než jeden řádek, je postoupena dalšímu kritériu. Počet jejích řádků však v praxi bude ve srovnání s původní tabulkou velmi malý, a tak časová náročnost případných dalších operací s ní již bude zanedbatelná.

Pro reprezentaci kumulativní tabulky byl vybrán datový kontejner *deque*. V případě, že by se během testování ukázalo, že při průchodu prodejními objednávkami bude potřeba mezi existující řádky tabulky vkládat velké množství nových cenových hladin, může být výhodnější využít kontejneru *list*.

6.7.4 Uzavřené obchody

Seznam obchodů je vytvořen při párování objednávek, kdy jsou do něj postupně přidávány uzavírané obchody. Tento seznam je následně serializován, aby mohl být předán databázi a odeslán Marketu. Obě tyto operace probíhají pomocí jednoduché dopředné iterace.

Všechny operace prováděné se seznamem obchodů si vystačí s dopředným iterátorem a vkládáním na konec seznamu. Pro tyto účely se zdá být nejvhodnější datový kontejner *vector*.

Zdá se, že by v budoucnu mohlo být možné ještě zefektivnit použití tohoto kontejneru, pokud se podaří na základě analýzy statistik odhadnout počet provedených obchodů v závislosti na počtu nákupních a prodejních objednávek. V takovém případě by šlo efektivně využít metody *reserve*, jež kontejner *vector* požádá o alokaci paměti dostačující pro uložení alespoň zadaného počtu prvků.

6.8 Využití služby Bitbucket a verzovacího nástroje Git

Simulátor akciové burzy sestává z této práce a diplomové práce Jana Jůny. Úspěšné koordinace při vývoji obou součástí bylo dosaženo mimo jiné díky použití služby Bitbucket [31] a verzovacího nástroje Git [32].

6.8.1 Verzovací nástroj Git

Nástroj Git je distribuovaný verzovací systém vhodný pro projekty různého rozsahu. Jedná se o *open source* projekt a jeho využití je zdarma. Nabízí snadné provádění všech potřebných úkolů při správě verzí včetně příkazu pro zobrazení rozdílů mezi jednotlivými verzemi souborů a podpory větvení a jejich slučování v uživatelském rozhraní příkazového řádku. Samozřejmostí je možnost nastavit, které soubory budou sledovány a které nikoliv.

Všechny provedené změny jsou zaznamenávány na lokálním úložišti s možností synchronizace se vzdáleným úložištěm. Díky tomu je možné používat tento nástroj pro lokální operace i bez připojení k Internetu, včetně porovnávání aktuální verze projektu se staršími verzemi. [32]

6.8.2 Služba Bitbucket

Služba Bitbucket nabízí vzdálené úložiště pro repozitáře Git a Mercurial. Zřízení a využívání neomezeného soukromého repozitáře až do počtu 5 uživatelů je zdarma, v případě potřeby většího rozsahu nebo veřejného repozitáře je služba zpoplatněna.

Bitbucket kromě samotného hostování repozitáře umožňuje přes webové rozhraní přístup k uloženému kódu, jeho spravování včetně větvení a slučování větví, spravování účtu a využití dalších služeb. [31]

6.8.3 Přínosy

Využitím těchto technologií jsme mohli rychle a efektivně reagovat na přidání funkcionality i úpravy kódu svého kolegy. Repozitář nám zároveň posloužil

```
plutak@home ~
$ cd Git/stock

plutak@home ~/Git/stock (master)
$ git pull
Password for 'https://plutak@bitbucket.org':
Already up-to-date.

plutak@home ~/Git/stock (master)
$ git status
On branch master
Your branch is up-to-date with 'origin/master'.

Untracked files:
        Strike/dokumentace/TeX/desky_Fremunt_Ondrej_2015.pdf

plutak@home ~/Git/stock (master)
$ git add Strike/dokumentace/TeX/desky_Fremunt_Ondrej_2015.pdf

plutak@home ~/Git/stock (master)
$ git status
On branch master
Your branch is up-to-date with 'origin/master'.

Changes to be commited:
        new file: Strike/dokumentace/TeX/desky_Fremunt_Ondrej_2015.pdf

plutak@home ~/Git/stock (master)
$ git commit -m "Pridany desky diplomove prace."
 1 file changed, 0 insertions(+), 0 deletions(-)

plutak@home ~/Git/stock (master)
$ git pull
To https://bitbucket.org/junajan/stock
   2a5c639..c12483f  master -> master
```

Obrázek 6.4: Příklad využití nástroje Git. Textový výstup programu je na několika místech zestručněn.

jako záloha dat. Vedoucí našich prací měl navíc do repozitáře přístup, takže mohl pravidelně sledovat postup práce na projektu i psaní diplomových prací.

6.8.4 Ukázka použití nástroje Git

Na obrázku 6.4 je ukázka použití nástroje Git. Nejprve aktualizuji svou lokální verzi repozitáře příkazem `git pull` se vzdáleným úložištěm (již byla aktuální). Dále provedu kontrolu změn na lokálním úložišti příkazem `git status`, který odhalí dosud nesledovaný soubor, a příkazem `git add` jej přidám do seznamu sledovaných souborů, takže při dalším volání `git status` již bude veden jako nový soubor. Změny (v tomto případě přidání jednoho souboru) potvrdím příkazem `git commit` opatřeným stručným komentářem a příkazem `git push` uložím lokální změny také na vzdálené úložiště.

Kapitola 7

Instalace

7.1 Základní přehled

Jedním z požadavků kladených na projekt simulátoru akciové burzy bylo využití snadno dostupných technologií, které bude možné provozovat na co nejširším spektru různých platforem. Tato kapitola pojednává o technologiích potřebných pro provoz nástroje Striker a databáze burzy a jejich instalaci.

7.2 Požadavky na systém

V následujících oddílech jsou uvedeny technologie potřebné pro použití řešení vyvinutého v této práci, jež nebývají standardní součástí unixových systémů. Kromě nich a standardních knihoven nejsou pro provoz databáze a nástroje Striker potřeba žádné specifické požadavky.

7.2.1 PostgreSQL

PostgreSQL je databázový systém s otevřeným zdrojovým kódem. Aktuální verzi pro operační systémy BSD, Linux, Mac OS X, Solaris a Windows je možné zdarma stáhnout z webových stránek `http://www.postgresql.org/download/`. Použití PostgreSQL se řídí open source licencí *PostgreSQL License*.

Postup instalace je podrobně popsaný v dokumentaci [18].

7.2.2 Knihovna libpqxx

Pro přístup k databázím PostgreSQL z prostředí jazyka C++ slouží knihovna *libpqxx* [24]. Knihovna je zdarma přístupná ke stažení a používání pod licencí *BSD*. Lze ji získat např. z webových stránek `http://pqxx.org/development/libpqxx/wiki/DownloadPage`. Postup instalace je dobře popsán v [25].

Použití knihovny v kódu C++ umožňuje direktiva `#include <pqxx/pqxx>`, její namespace je `pqxx`. Při kompilaci programu používajícího `libpqxx` je potřeba vždy uvést `-lpqxx -lpq` (v tomto pořadí). Kompilace nějakého programu využívajícího tuto knihovnu pak může vypadat následovně:

```
$ c++ test.cpp -lpqxx -lpq
```

7.2.3 Datové typy decNumber

Nástroj Striker využívá pro reprezentaci desetinných čísel rodinu datových typů *decNumber*, jež je ke stažení pod licencí ICU na následující adrese: `http://speleotrove.com/decimal/`. Podmnožina využívaných souborů zdrojového kódu této rodiny je již součástí zdrojového kódu nástroje Striker ve složce `src/impl/striker/decNumber`.

7.3 Vytvoření databáze burzy

Máme-li úspěšně nainstalovaný databázový systém PostgreSQL, můžeme vytvořit databázi pomocí příkazu `createdb`. Pomocí parametrů můžeme nastavit její vlastnosti a zároveň vytvořit uživatele. Tento postup je podrobně popsán v dokumentaci [18].

Následující příklad ukazuje vytvoření databáze *market* na lokální IP adrese a poslouchající na portu 5432 s uživatelem *market*. Jako heslo bude taktéž použito *market*.

```
$ createdb -h localhost -p 5432 -U market market
password ******
```

Schéma databáze burzy včetně jejích obslužných uložených procedur vytvoříme spuštěním skriptu `market.sql`, jež se na přiloženém DVD nachází ve složce `src/impl/database`. Tento skript lze spustit např. pomocí příkazu `psql`:

```
$ psql -f market.sql market
```

7.4 Instalace nástroje Striker

Máme-li nainstalované všechny prerekvizity, tedy databázový systém PostgreSQL a knihovnu `libpqxx`, můžeme zahájit instalaci nástroje Striker. Zdrojový kód nástroje se na přiloženém DVD nachází ve složce `src/impl/striker`.

Instalace z adresáře obsahujícího zdrojový kód (v němž je umístěn soubor `makefile`) probíhá pomocí dvojice příkazů:

```
$ make
$ make install
```

První příkaz zkompiluje zdrojový kód, druhým příkazem dojde k instalaci do patřičných složek v domovském adresáři. Spustitelné soubory jsou budou nainstalovány do složky `bin`, konfigurační soubor `striker.conf` do složky `etc` a soubory dokumentace do složky `man/man1`. Toto nastavení je možné změnit úpravou souboru `makefile`.

7.5 Spuštění nástroje Striker

Je-li nástroj Striker správně nainstalovaný a je-li spuštěná databáze burzy, můžeme spustit Striker příkazem:

```
$ ./striker 127.0.0.1 5454
```

Takto spuštěný Striker bude čekat na připojení Marketu na lokální IP adrese a portu 5454 a bude využívat nainstalovaného konfiguračního souboru `striker.conf`, ve kterém jsou mj. specifikovány vlastnosti připojení k databázi. V případě, že jsme při instalaci databáze zvolili jiný port, název, uživatelské jméno nebo heslo, je nejprve nutné tyto údaje nastavit v konfiguračním souboru. Využitý konfigurační soubor je možné specifikovat jako další parametr při spuštění nástroje.

Podrobnější popis příkazu `striker` obsahuje jeho manuálová stránka.

Funkčnost nástroje Striker lze otestovat i bez řídícího Marketu. K tomuto účelu slouží jednoduchá aplikace `mockmarket`, která naváže spojení se Strikerem běžícím na zadané IP adrese a portu a umožní uživateli zadávat identifikátory akciových titulů, pro něž má Striker provést výpočet. Podrobnější popis nabízí její manuálová stránka.

Kapitola 8

Testování

8.1 Základní přehled

Tato kapitola demonstruje použití nástroje Striker s databází a testovací aplikací `mockmarket`, popisuje způsoby testování prováděné v průběhu vývoje a nastiňuje, jaké testy budou prováděny v rámci pilotního provozu celé burzy.

8.2 Ukázka použití nástroje Striker

Pokud instalace nástroje popsaná v předchozí kapitole proběhla úspěšně a máme spuštěnou databázi *market*, jejíž schéma bylo vytvořeno pomocí skriptu `market.sql`, a konfigurační soubor Strikeru obsahuje požadovaná nastavení, můžeme spustit aplikaci `striker` s implicitním konfiguračním souborem pomocí příkazu:

```
$ striker 127.0.0.1 5454
```

Pokud se Strikeru nepodaří správně inicializovat, ohlásí chybu a ukončí se. Takový případ nastane, pokud dojde k některé z uvedených událostí:

- nebudou předány požadované parametry z příkazového řádku,
- nepodaří se otevřít konfigurační soubor,
- selže připojení k databázi,
- nepodaří se otevřít socket, na kterém bude Striker čekat na připojení řídící aplikace.

V případě, že vše proběhlo v pořádku, Striker vytiskne na standardní výstup svá nastavení a čeká na připojení řídící aplikace. Výsledkem může být následující výstup:

```
DATABASE_ADDRESS = 127.0.0.1
DATABASE_PORT = 5432
DATABASE_NAME = market
DATABASE_USER = market
DATABASE_PASSWORD = market
MARKET_ADDRESS = 127.0.0.1
MARKET_CHECK = 1
TICK_SIZE = 0.001
VERBOSE = 1
Opened database successfully: market
Striker registered.
Striker listens for Market on IP address = 127.0.0.1,
port = 5454
Listening for connections...
```

Jelikož je řídící aplikace Market součástí jiné části projektu, vytvořil jsem pro účely testování aplikaci `mockmarket`, která umožňuje uživateli navázat síťové spojení s běžícím Strikerem a posílat mu uživatelem zadané úkoly. Odpovědi poté tiskne na standardní výstup. Tuto testovací aplikaci spustíme s parametry IP adresy a portu Strikeru, ke kterému se chceme připojit:

```
$ mockmarket 127.0.0.1 5454
```

Striker dostane naši žádost o spojení, kterou po úspěšné kontrole naší IP adresy přijme. Na standardní výstup vytiskne následující informace:

```
checking IP address:
your address: 127.0.0.1, allowed address: 127.0.0.1
Connection accepted. Using new socket descriptor: 5
```

Chceme-li kromě komunikace mezi oběma aplikacemi testovat i provádění výpočtu aukční ceny a párování objednávek, musíme nejprve do databáze vložit testovací data. Pro tento účel jsem připravil jednoduchý skript `test-data.sql` napsaný v jazyce SQL, který je též součástí přiloženého DVD. Tento skript pro umožnení svého opakovaného použití nejprve smaže obsah dotčených databázových tabulek, proto nesmí být bez adekvátních úprav spouštěn nad databází obsahující záznamy, o něž uživatel nechce přijít.

Řekněme, že chceme provést aukci s akciovým titulem, jež má v databázi identifikátor 1, a proto pošleme Strikeru toto číslo.

Striker vytiskne zprávu, že přijal požadavek, z databáze získá referenční cenu zadaného akciového titulu a relevantní objednávky. Z nich následně sestaví kumulativní tabulku a nechá ji projít řetězcem vyhodnocujících kritérií. V našem případě rozhodlo o aukční ceně již první kritérium a aukční cena byla stanovena 98. Tuto část výpočtu znázorňuje zestručněný výpis:

```
getStock(1)...
Stock: id = 1, price = 100.000
getCrossedBuyOrders(1)...
3 orders.
getCrossedSellOrders(1)...
```

```
2 orders.

Inserting 3 buy orders...
Inserting 2 sell orders...
Checking Maximum Tradeable Quantity Criterion...

price   sum(b)  sum(s)  trad.   imbalance
98.000  20      25      20      5
95.000  32      10      10      22
92.000  32      10      10      22

price = 98.000
```

Striker následně spáruje objednávky a sestaví příkaz, kterým databáze tyto obchody provede. Jeho podoba bude následující:

```
SELECT process_trades((ARRAY[$$(5, 3, 1, 2, 3, 10,
98.000)$$, $$(5, 6, 1, 2, 2, 10, 98.000)$$])::t_trade[]);
```

Striker dále připraví zprávu pro Market, do které přidá přidělené časové razítko, jež databáze vrátila, a tuto zprávu odešle řídící aplikaci. *Mockmarket* nám ji zobrazí:

```
{"info": {"stockId":1, "price":98.000, "totalAmount":20,
"bid":95.000, "ask":98.000, "strikeTime":"2015-01-06
00:29:26.812547+01"}, "trades":[{"buyOrderId":5,
"sellOrderId":3, "buyerId":2, "sellerId":3, "amount":10},
{"buyOrderId":5, "sellOrderId":6, "buyerId":2,
"sellerId":2, "amount":10}]}
```

Tím úloha Strikeru v této aukci skončila a dále vyčká na další příkaz Marketu.

8.3 Testování nástroje Striker

Nástroj Striker, který je klíčovou součástí vyvíjené burzy, musí provádět výpočty zcela bezchybně, protože chybné určení aukční ceny nebo spárování objednávek by v praxi mělo závažné následky. Z toho důvodu jsem implementaci těchto algoritmů věnoval značnou pozornost a v průběhu vývoje je průběžně podroboval testování v podobě ukázkových případů.

Takto jsem důkladně ověřil správnost sestavování kumulativní tabulky a důkladně otestoval všechny stupně řetězce kritérií pro různé případy, při nichž jsem dával pozor, aby byly využity všechny rozhodovací možnosti každého kritéria. Výběrem z těchto testovacích případů je i sada příkladů představená v průběhu analýzy 3.5.1.

Již méně zásadní, přesto však důležitou oblastí, je komunikace s Marketem a databází. V této oblasti jsem se zaměřil na správné ošetření výjimek a co největší stabilitu programu poté, co dojde k navázání spojení s Marketem.

Ověřil jsem, že Striker správně reaguje na ztrátu spojení s Marketem i na přijetí chybných pokynů.

8.4 Testování databáze

Rozhodnutí, že k databázi budou ostatní komponenty přistupovat výhradně pomocí uložených procedur, je velmi příznivé pro rozsah potřebného testování. Zatímco při přímém přístupu uživatelů do databázových tabulek by bylo nutné důkladně zkoumat, jaké operace může uživatel chtít provádět, v naší koncepci je tento rozsah přesně daný poskytovanými uloženými procedurami.

V průběhu vývoje jsem tedy mohl každou nově vytvořenou proceduru otestovat, že se chová řádně, a to jak v případě velmi jednoduchých funkcí zapouzdřujících *SELECT* nad jedinou tabulkou, tak i v případě složitějších řídících procedur.

velké množství objednávek.

8.5 Testovací provoz burzy

V rámci počátků testovacího provozu celé burzy ověřil funkčnost databáze i kolega Jan Jůna, který ji využívá pro běžné burzovní operace zadávané ručně i prováděné jeho jednoduchými autonomními roboty.

V rámci těchto testů bylo zjištěno, že všechny tři komponenty pracují spolehlivě a zatím bezchybně a že odezva databáze na příchozí požadavky i rychlost výpočtu nástroje Striker jsou zatím dostatečné. Pro simulaci reálného provozu na burze, jenž je pro další fáze testování funkčnosti burzy jako celku potřebný, je však potřeba mnohem sofistikovanějších nástrojů, jejichž obtížnost může být srovnatelná s našimi pracemi.

Je možné, že by takový úkol mohl být tématem pro další diplomovou či bakalářskou práci.

Závěr

Seznámil jsem se se základními principy obchodování na kapitálové burze a analyzoval jsem veřejně dostupné soubory pravidel obchodních platforem vybraných světových burz. Následně jsem využil některé prvky obchodního systému Xetra pro návrh a implementaci své části vlastního zjednodušeného obchodního systému pro projekt simulátoru akciové burzy, na kterém jsem spolupracoval společně s kolegou Janem Jůnou.

Ve své části projektu jsem navrhl databázové schéma a vrstvu základní aplikační logiky pro databázi vyvíjené burzy a vytvořil jsem skript pro databázový systém PostgreSQL, který toto schéma vytvoří.

Dále jsem navrhl a implementoval nástroj, který dokáže komunikovat s řídící aplikací a nad databází burzy provádí základní burzovní operace: stanovení aukční ceny, párování nabídky a poptávky a zobchodování objednávek.

Při tomto úkolu jsem se soustředil zejména na to, aby vyvíjené řešení bylo bez zásadních změn použitelné i pro jiné burzy a aby umožnilo další rozvoj projektu, především přidávání dalších služeb, jež bude burza podporovat. Zároveň jsem se snažil dbát na korektnost a čistotu kódu, aby na moji práci mohli navázat další vývojáři.

V průběhu vývoje jsem jednotlivé součásti průběžně testoval, v poslední části vývoje projektu už probíhalo testování v prostředí kompletní burzy. V tomto testovacím provozu databáze i nástroj obstály, nedocházelo k chybám a rychlost provádění výpočtů a komunikace byla dostatečná.

Pro plnohodnotné zátěžové testování však bude potřeba nejprve vyvinout automatizované nástroje, které budou schopny dostatečně věrohodně simulovat běžný provoz na reálných burzách.

Toto bude jedním z úkolů pro našeho dalšího kolegu Jiřího Müllera, který bude v příštím semestru pokračovat v naší práci na tématu svojí diplomové práce *Automatické obchody na akciové burze*.

Literatura

[1] Černohorský, J.; Teplý, P.: *Základy financí*. Praha: Grada Publishing, 2011.

[2] Nývltová, R.; Režňáková, M.: *Mezinárodní kapitálové trhy*. Praha: Grada Publishing, první vydání, 2007.

[3] Mejstřík, M.; Pečená, M.; Teplý, P.: *Základní principy bankovnictví*. Praha: Karolinum, 2009.

[4] Katedra hospodářské a sociální politiky Národohospodářské fakulty VŠE v Praze: *Analýza principů fungování kapitálového trhu v ČR [online]*. [cit. 2014-12-01]. Dostupné z: `http://khp.vse.cz/wp-content/uploads/2011/04/Studie-Analýza-principů-fungování-kapitálového-trhu-v-ČR.pdf`

[5] Veselá, J.: Historický exkurz světovým a českým burzovnictvím. *Český finanční a účetní časopis*, ročník 1, č. 2, 2006.

[6] Becket, M.; Essen, Y.: *How the Stock Market Works: A Beginner's Guide to Investment*. Kogan Page, třetí vydání, 2010.

[7] Turek, L.: *První kroky na burze*. Brno: Computer Press, první vydání, 2008.

[8] Deutche Börse: *Market Model Continuous Auction [online]*. [cit. 2014-12-29]. Dostupné z: `https://xetra.com/xetra/dispatch/en/binary/gdb_content_pool/imported_files/public_files/10_downloads/31_trading_member/10_Products_and_Functionalities/20_Stocks/50_Xetra_Market_Model/market_modell_continuous_auction.pdf`

[9] Euronext Group: *Euronext [online]*. [cit. 2015-01-03]. Dostupné z: `https://www.euronext.com/en`

[10] NYSE: *Intercontinental Exchange [online]*. [cit. 2015-01-03]. Dostupné z: `https://www.theice.com/publicdocs/ICE_at_a_glance.pdf`

[11] Euronext Group: *Euronext Rule Book Book I: Harmonised Rules [online].* [cit. 2014-12-29]. Dostupné z: https://www.euronext.com/sites/www.euronext.com/files/harmonised_rulebook_en_-_6_october_2014.pdf

[12] NYSE: *The New York Stock Exchange [online].* [cit. 2015-01-03]. Dostupné z: https://www.nyse.com/index

[13] Jůna, J.: *Simulátor akciové burzy.* Diplomová práce, Praha: České vysoké učení technické v Praze, Fakulta informačních technologií, 2015.

[14] Kanisová, H.; Müller, M.: *UML srozumitelně.* Brno: Computer Press, 2006.

[15] Rob, P.; Coronel, C.; Crockett, K.: *Database systems: design, implementation & management.* Cengage Learning EMEA, 2008.

[16] Burza cenných papírů Praha: *Burzovní pravidla – část IV. KONTINUÁLNÍ AUKCE v obchodním systému Xetra® Praha [online].* [cit. 2014-12-29]. Dostupné z: http://ftp.pse.cz/Info.bas/Cz/Xetra/PSE_Pravidla_kontinualni_aukce.pdf

[17] The PostgreSQL Global Development Group: *Postgres: The world's most advanced open source database [online].* [cit. 2014-12-24]. Dostupné z: http://www.postgresql.org

[18] The PostgreSQL Global Development Group: *PostgreSQL 9.3.5 Documentation [online].* [cit. 2014-12-26]. Dostupné z: http://www.postgresql.org/docs/9.3/static/index.html

[19] Lischner, R.: *C++ In a Nutshell.* O'Reilly Media, 2003.

[20] Cowlishaw, M.: General Decimal Arithmetic [online]. [cit. 2014-10-05]. Dostupné z: http://speleotrove.com/decimal/

[21] International Organization for Standardization: *ISO/IEC/IEEE 60559:2011 - Information technology – Microprocessor Systems – Floating-Point arithmetic [online].* [cit. 2014-10-10]. Dostupné z: http://www.iso.org/iso/iso_catalogue/catalogue_tc/catalogue_detail.htm?csnumber=57469

[22] Allain, A.: Rvalue References and Move Semantics in C++11 - Cprogramming.com [online]. [cit. 2015-01-05]. Dostupné z: http://www.cprogramming.com/c++11/rvalue-references-and-move-semantics-in-c++11.html

[23] Ecma International: *The JSON Data Interchange Format [online].* [cit. 2014-12-28]. Dostupné z: http://www.ecma-international.org/publications/files/ECMA-ST/ECMA-404.pdf

[24] pqxx.org: *libpqxx [online]*. [cit. 2014-12-28]. Dostupné z: http://pqxx.org/development/libpqxx

[25] Tutorials Point: *PostgreSQL - C/C++ Interface [online]*. [cit. 2014-12-28]. Dostupné z: http://www.tutorialspoint.com/postgresql/postgresql_c_cpp.htm

[26] The PostgreSQL Global Development Group: *Postgres: Documentation: 9.3: PL/pgSQL - SQL Procedural Language [online]*. [cit. 2014-12-27]. Dostupné z: http://www.postgresql.org/docs/9.3/static/plpgsql.html

[27] Dzonsons, K.; Schwarze, I.: mdocml = mandoc | UNIX manpage compiler [online]. [cit. 2015-01-04]. Dostupné z: http://mdocml.bsd.lv/

[28] cplusplus.com: *vector - C++ Reference [online]*. [cit. 2014-12-30]. Dostupné z: http://www.cplusplus.com/reference/vector/vector/

[29] cplusplus.com: *deque - C++ Reference [online]*. [cit. 2014-12-30]. Dostupné z: http://www.cplusplus.com/reference/deque/deque/

[30] cplusplus.com: *list - C++ Reference [online]*. [cit. 2014-12-30]. Dostupné z: http://www.cplusplus.com/reference/list/list/

[31] Atlassian: *Free source code hosting - Bitbucket | Atlassian [online]*. [cit. 2014-12-30]. Dostupné z: https://www.atlassian.com/software/bitbucket/overview

[32] Git: *Git [online]*. [cit. 2014-12-30]. Dostupné z: http://git-scm.com/

[33] Scheirich, D.: comic strip MaFian liFe [online]. 2008, [cit. 2014-12-13]. Dostupné z: http://www-ucjf.troja.mff.cuni.cz/scheirich/index.php?s=4&strip=78

Příloha A

Seznam použitých zkratek a pojmů

Akcie Cenný papír, s nímž jsou spojena práva jeho držitele na podílu společnosti.

Akciová burza Burza, na níž se podle stanovených burzovních pravidel obchodují akcie.

Akciový titul Množina akcií vydaných jednou společností, jež mají stejné vlastnosti.

Aukce Fáze obchodování na burze, při které dochází k uzavření obchodů za stanovenou aukční cenu na základě přijatých objednávek.

Aukční cena Hodnota jedné akcie určitého titulu při aukci.

BCPP Burza cenných papírů Praha.

Broker V projektu Simulátoru akciové burzy běžně užívaný název pro Člena burzy.

Burza Místo, kde podle burzovních pravidel dochází k uzavírání standardizovaných obchodů na základě přijatých objednávek.

Cenný papír Listina představující pohledávku vlastníka cenného papíru vůči tomu, kdo jej vydal. Cennými papíry jsou např. akcie, dluhopisy nebo směnky.

Člen burzy Licencovaný obchodník, který má přístup na burzu a jehož prostřednictvím obchodují jeho klienti.

Databáze Databázové úložiště burzy vyvíjené v rámci této práce.

Emise akcií Vydání a prodej akcií za účelem získání kapitálu. Rozlišujeme tzv. primární emisi (IPO) při vstupu společnosti na burzu a sekundární, při které je navýšeno množství již obchodovaných akcií.

Emitent Obchodník provádějící úpis akcií.

IPO Initial public offering. Primární nabídka akcií společnosti vstupující na burzovní trh.

Kapitálová burza Burza, na které se obchodují dlouhodobé finanční instrumenty, především akcie a dluhopisy.

Kniha objednávek Seznam vložených aktivních objednávek účastnících se aukce za účelem uzavření obchodu.

Kurz akcie Hodnota akcie stanovená na základě nabídky a poptávky.

Likvidita Schopnost přeměny akcie na peněžní prostředky.

Limitní cena Cena jedné akcie, za kterou je obchodník ještě ochoten uzavřít obchod. V případě kupujícího obchodníka se jedná o maximální cenu, v případě prodávajícího o minimální cenu.

Limitní objednávka Nákupní nebo prodejní objednávka, která bude provedena za uvedenou limitní cenu nebo lépe. V projektu Simulátoru akciové burzy jsou podporovány pouze nákupní a prodejní limitní objednávky.

Lot Nejmenší obchodovaná jednotka akciového titulu. V této práci vždy představuje 1 akcii.

Market Ústřední aplikace burzy, vyvíjená v rámci diplomové práce Jana Jůny: [13].

Nabídka Množina prodejních objednávek.

Nákupní objednávka Objednávka na nákup zadaného množství kusů zvoleného akciového titulu.

NASDAQ National Association of Securities Dealers Automated Quotations.

NYSE New York Stock Exchange. Newyorská burza cenných papírů.

Obchod Převod určitého množství akcií od prodávajícího kupujícímu.

Objem obchodu Množství kusů akcií převedených z prodávajícího na kupujícího v rámci daného obchodu.

Poptávka Množina nákupních objednávek.

POSIX Portable Operating System Interface. Standard jednotného rozhraní pro zajištění přenositelnosti programů mezi různými hardwarovými platformami.

Prodejní objednávka Objednávka na prodej zadaného množství kusů zvoleného akciového titulu.

Převis Absolutní hodnota rozdílu mezi nabídkou a poptávkou. Pokud není upřesněno jinak, je vyjádřen v množství kusů akcií.

PSE Prague Stock Exchange, viz BCPP.

Referenční cena Kurz, který byl pro daný akciový titul stanoven jako zatím poslední.

Relevantní objednávka Nákupní objednávka, jejíž limitní cena je vyšší nebo rovna nejnižší limitní ceně z prodejních objednávek; prodejní objednávka, jejíž limitní cena je nižší nebo rovna nejvyšší limitní ceně z nákupních objednávek (předpokládáme, že všechny tyto objednávky jsou zapsány v knize objednávek a týkají se stejného akciového titulu).

SQL Structured Query Langure. Strukturovaný dotazovací jazyk pro komunikaci s relační databází.

Striker Nástroj určený k výpočtu aukční ceny a párování objednávek vyvíjený v rámci této práce.

TCP/IP Transmission Control Protocol/Internet Protocol. Sada protokolů pro komunikaci v počítačové síti.

Tvůrce trhu Člen burzy, který má oprávnění a zároveň povinnost zajišťovat dostatečnou likviditu v nabídce a poptávce daného akciového titulu.

Úpis akcií Viz Emise akcií.

Příloha **B**

Obsah přiloženého DVD

- `readme.txt` ..... stručný popis obsahu DVD
- `exe` ..... adresář se spustitelnou formou implementace
  - `striker` ..... spustitelný soubor nástroje Striker
  - `mockmarket` ..... aplikace pro testování nástroje Striker
  - `decimal` ..... testovací aplikace pro práci s desetinnými čísly
- `src` ..... adresář se zdrojovými kódy
  - `impl` ..... zdrojové kódy implementace
    - `striker` ..... zdrojové kódy nástroje Striker
    - `database` ..... SQL skripty vytvářející databázi burzy
  - `thesis` ..... zdrojová forma práce ve formátu LaTeX
- `text` ..... text práce
  - `thesis.pdf` ..... text práce ve formátu PDF
  - `thesis.ps` ..... text práce ve formátu PS