

Na tomto místě bude oficiální zadání vaší práce

- Toto zadání je podepsané děkanem a vedoucím katedry,
- musíte si ho vyzvednout na studijním oddělení Katedry počítačů na Karlově náměstí,
- v jedné odevzdané práci bude originál tohoto zadání (originál zůstává po obhajobě na katedře),
- ve druhé bude na stejném místě neověřená kopie tohoto dokumentu (tato se vám vrátí po obhajobě).

České vysoké učení technické v Praze
Fakulta elektrotechnická
Katedra počítačů



Diplomová práce

**Centrální správa a automatická integrace byznys pravidel v
architektuře orientované na služby**

Bc. Filip Klimeš

Vedoucí práce: Ing. Karel Čemus

Studijní program: Otevřená informatika, Magisterský

Obor: Softwarové inženýrství

3. května 2018

Poděkování

Zde můžete napsat své poděkování, pokud chcete a máte komu děkovat.

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem předloženou práci vypracoval samostatně a že jsem uvedl veškeré použité informační zdroje v souladu s Metodickým pokynem o dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací.

V Praze dne 20. 5. 2018

.....

Abstract

Translation of Czech abstract into English.

Abstrakt

Abstrakt práce by měl velmi stručně vystihovat její obsah. Tedy čím se práce zabývá a co je jejím výsledkem/přínosem.

Očekávají se cca 1 – 2 odstavce, maximálně půl stránky.

Obsah

1	Úvod	1
2	Analýza	3
2.1	Byznysová pravidla	3
2.1.1	Precondition	4
2.1.2	Post-condition	4
2.1.3	Reprezentace byznysového pravidla	4
2.1.4	Byznysový kontext	5
2.2	Architektura orientovaná na služby	5
2.2.1	Common Object Request Broker Architecture	5
2.2.2	Web Services	6
2.2.3	Message Queue	6
2.2.4	Enterprise Service Bus	6
2.2.5	Microservices	7
2.2.6	Orchestrace a choreografie služeb	7
2.2.7	Shrnutí	8
2.3	Nedostatky současného přístupu	9
2.4	Identifikace požadavků na implementaci frameworku	10
2.5	Shrnutí	10
3	Rešerše	11
3.1	Modelem řízená architektura	11
3.2	Generativní programování	12
3.3	Business Process Execution Language	12
3.4	Objektově orientované programování	12
3.5	Aspektově orientované programování	13
3.5.1	Motivace	13
3.5.2	Vlastnosti	14
3.5.3	Názvosloví	14

3.6	Aspect-driven Design Approach	15
3.6.1	Vlastnosti	15
3.6.2	Možnosti aplikace	16
3.6.3	Výhody a nevýhody	17
3.7	Stávající řešení reprezentace business pravidel	17
3.7.1	Drools DSL	17
3.7.2	JetBrains MPS	18
3.8	Síťové architektury	19
3.8.1	Architektura klient-server	19
3.8.2	Architektura Peer-to-peer	20
3.8.3	Representational state transfer	21
3.8.4	Remote procedure call	21
3.9	Shrnutí	22
4	Návrh	23
4.1	Formalizace architektury orientované na služby	23
4.1.1	Join-points	23
4.1.2	Pointcuts	24
4.1.3	Advices	25
4.1.4	Weaving	26
4.2	Dědičnost byznysových kontextů	27
4.3	Logické výrazy byznysových pravidel	28
4.4	Filtrování návratových hodnot byznysové operace	30
4.5	Metamodel byznysového kontextu	30
4.6	Popis byznysových kontextů pomocí DSL	30
4.7	Organizace byznysových kontextů	32
4.7.1	Registr byznysových kontextů	32
4.7.2	Uložení kontextů	32
4.8	Inicializace byznysových kontextů	32
4.9	Centrální správa byznysových kontextů	33
4.9.1	Uložení rozšířeného pravidla	33
4.9.2	Proces úpravy kontextu	34
4.10	Architektura frameworku	34
4.10.1	Service discovery	35
4.11	Shrnutí	35
5	Implementace prototypů knihoven	37
5.1	Výběr použitých platforem	37
5.2	Sdílení byznys kontextů mezi službami	38

5.2.1	Protocol Buffers	38
5.2.2	gRPC	39
5.3	Doménově specifický jazyk pro popis byznys kontextů	40
5.4	Knihovna pro platformu Java	42
5.4.1	Popis implementace	43
5.4.2	Použité technologie	43
5.5	Knihovna pro platformu Python	44
5.5.1	Srovnání s knihovnou pro platformu Java	44
5.5.2	Použité technologie	45
5.6	Knihovna pro platformu Node.js	45
5.6.1	Srovnání s knihovnou pro platformu Java	46
5.6.2	Použité technologie	47
5.7	Systém pro centrální správu byznys pravidel	47
5.7.1	Popis implementace	48
5.7.2	Detekce a prevence potenciálních problémů	48
5.7.3	Použité technologie	49
5.8	Shrnutí	49
6	Verifikace a validace	51
6.1	Testování prototypů knihoven	51
6.1.1	Platforma Java	51
6.1.2	Platforma Python	53
6.1.3	Platforma Node.js	53
6.2	Případová studie: e-commerce systém	55
6.2.1	Use-cases	55
6.2.2	Model systému	55
6.2.3	Byznysová pravidla a kontexty	56
6.2.4	Služby	59
6.3	Srovnání s konvenčním přístupem	63
6.4	Shrnutí	64
7	Závěr	67
7.1	Analýza dopadu použití frameworku	67
7.2	Budoucí rozšiřitelnost frameworku	67
7.2.1	Kvalitní doménově specifický jazyk	67
7.2.2	Integrace frameworku s uživatelským rozhraním	68
7.2.3	Integrace frameworku s datovou vrstvou	68
7.3	Možností uplatnění navrženého frameworku	68
7.4	Další možnosti uplatnění AOP v SOA	68

7.5 Shrnutí	68
A Přehledové obrázky a snímky	75
B Přehledové tabulky	81
C Uživatelská příručka	83
D Seznam použitých zkratk	85
E Obsah přiloženého CD	87

Seznam obrázků

2.1	Komunikace služeb pomocí Message Queue	6
2.2	Komunikace služeb skrz Enterprise Service Bus	7
2.3	Porovnání struktury monolitické architektury a microservices [35]	8
2.4	Porovnání orchestrace a choreografie služeb [16]	8
2.5	Příklad zásahu jedné funkcionality do více služeb	10
3.1	Průřezové problémy v informačních systémech	13
3.2	Proces weavingu aspektů	15
3.3	Architektura klient-server	19
3.4	Architektura peer-to-peer	20
3.5	Znázornění architektury REST	21
3.6	Schéma komunikace RPC	22
4.1	Diagram životního cyklu služby a identifikovaných join-pointů	24
4.2	Diagram znázorňující dědičnost kontextů ve vztahu k join-pointům a pointcuts	25
4.3	Diagram aktivit weaverů byznysových pravidel	26
4.4	Diagram konceptu abstraktního byznysového kontextu	27
4.5	Diagram tříd popisující použití vzoru Interpreter pro vyhodnocování logických výrazů	28
4.6	Syntaktický strom jednoduchého validačního pravidla	29
4.7	Diagram tříd metamodelu byznysového kontextu	31
4.8	Diagram tříd popisující využití vzoru Visitor pro zápis logických výrazů v DSL	31
4.9	Diagram procesu inicializace byznysových kontextů	33
6.1	Diagram tříd modelu ukázkového e-commerce systému	56
6.2	Diagram komponent ukázkového e-commerce systému	59
A.1	Diagram procesu centrální správy byznysových kontextů	76
A.2	Diagram tříd zachycující architekturu navrženého frameworku	77

A.3	Formulář pro vytvoření nebo úpravu byznysového kontextu v centrální administraci	78
A.4	Detail byznysového kontextu v centrální administraci	78
A.5	Diagram hierarchie byznysových kontextů ukázkového systému	79
A.6	Propagace byznysového pravidla při přidávání produktu do košíku v ukázkovém systému	80

Seznam tabulek

6.1	Přehled use-cases ukázkového e-commerce systému	55
6.2	Přehled byznysových pravidel ukázkového e-commerce systému	57
6.3	Přehled byznysových kontextů ukázkového e-commerce systému	58
6.4	Přehled využití byznysových pravidel ve službách ukázkového systému	64
B.1	Přehled výrazů pro zápis byznysového pravidla	82

Seznam zdrojových kódů

3.1	Příklad průřezových problémů zohledněných při vytváření objednávky	14
3.2	Ukázka zápisu byznysového pravidla v jazyce Drools DSL	18
4.1	Ukázka zápisu validačních pravidel pomocí anotací v jazyku Java	24
5.1	Část definice schématu zpráv byznys kontextů v jazyce Protobuffer	38
5.2	Definice služby pro komunikaci byznys kontextů pro gRPC	40
5.3	Příklad zápisu byznys kontextu v jazyce XML	41
5.4	Označení operačního kontextu a jeho parametrů pomocí anotací Java knihovny	43
5.5	Příklad použití dekorátorů pro weaving v jazyce Python	45
5.6	Příklad dekorace funkce v JavaScriptu pro aplikaci weavingu	46
6.1	Příklad jednotkového testu knihovny pro jazyk Java s využitím nástroje JUnit 4	52
6.2	Příklad jednotkového testu knihovny pro jazyk Python s využitím nástroje Unittest	53
6.3	Příklad jednotkového testu knihovny pro platformu Node.js s využitím ná- stroje Mocha a Chai	54
6.4	Ukázka využití frameworku Spring Boot pro účely Order service	59
6.5	Ukázka využití frameworku Flask pro účely Product service	60
6.6	Ukázka využití frameworku Express.js pro účely User service	61
6.7	Ukázka zápisu Docker image obsahující knihovnu pro platformu Node.js . . .	62
6.8	Ukázka zápisu více-kontejnerové aplikace pro Docker Compose	63

Kapitola 1

Úvod

¹ Informační systémy se ve 21. století staly neodmyslitelnou součástí našich každodenních životů. Do styku s nimi přicházíme jak při výkonu našich povolání, tak ve volném čase. Usnadňují řadu aspektů našich činností. Jejich využití sahá do mnoha sektorů, od vzdělání a vědy, kde mimo jiné významně usnadňují přístup ke studijním materiálům, přes zdravotnictví, kde pomáhají zvyšovat efektivitu a úroveň péče o pacienty [22], až po sociální sítě, kde umožňují lidem globálně komunikovat a sdílet své myšlenky, pocity a zážitky. Jako budoucí profesionálové v oblasti informačních technologií máme za úkol nejen rozvíjet a vylepšovat funkcionalitu informačních systémů, ale také zkoumat možnosti, kterými bychom mohli tento proces zjednodušit a zefektivnit. Díky tomu budeme moci dostát stále rostoucímu množství požadavků na tyto systémy.

² Náročnost vývoje některých informačních systémů překračuje možnosti jednotlivců, ale i celých týmů či skupin. Tyto systémy často využívají větší počet různorodých technologií kvůli širokému spektru funkcionality, kterou nabízejí. Jedním z přístupů, který se tyto problémy snaží řešit, je použití architektury orientované na služby. Ta se zaměřuje na sestavení systému z menších, vzájemně nezávislých celků, tzv. služeb. Každá služba pak zastřešuje pouze část funkcionality systému a kooperuje s ostatními službami pomocí komunikačních protokolů. Tím je umožněno využívat teoreticky neomezené množství technologií a rozdělit práci na systému mezi více nezávislých vývojářských týmů.

³ Tato architektura bohužel nepřináší odpověď na všechny problémy, které je potřeba v informačních systémech řešit. Jak je popsáno v následujících kapitolách, jedním z těchto problémů jsou tzv. byznysová pravidla. Ta slouží k zajištění správné funkcionality systému a konzistenci uložených dat. Některá tato pravidla zasahují do celého systému, tedy i do více

¹[Intended Delivery: Informační systémy a jejich důležitost]

²[Intended Delivery: SOA]

³[Intended Delivery: Byznysová pravidla]

služeb. To při použití konvenčního přístupu přináší nutnost manuální duplikace zdrojového kódu a tím jsou zvýšeny náklady na vývoj systému a riziko lidské chyby.

⁴ Cílem této práce je prozkoumat myšlenku inovativního přístupu k centrální správě a automatické distribuci byznysových pravidel v systémech využívajících architekturu orientovanou na služby a navrhnout framework, který by umožnil tento přístup uplatnit v praxi. Tento koncept by měl díky využití aspektově orientovaného programování usnadnit práci vývojářů a doménových expertů. Díky tomu by mohl přinést snížení nákladů na vývoj a údržbu takových systémů a tím umožnit vývoj kvalitnějších a rozsáhlejších systémů.

⁵ Kapitola 2 se věnuje detailní analýze problematiky byznysových pravidel a architektury orientované na služby, včetně jejího historického vývoje až po nejnovější trendy, a v závěru identifikuje požadavky kladené na framework pro centrální správu a automatickou distribuci byznysových pravidel v této architektuře. Kapitola 3 se zabývá rešerší stávajících přístupů k vývoji informacních systému a speciálně se zaměřuje na koncepty aspektově orientovaného programování a moderního aspekty řízeného přístupu k návrhu systémů. Dále se kapitola věnuje průzkumu existujících nástrojů pro správu byznysových pravidel. Kapitola 4 formalizuje prostředí architektury orientované na služby do terminologie aspektově orientovaného programování a na základě této formalizace navrhuje koncept frameworku, který realizuje centrální správu a automatickou distribuci byznysových pravidel. V kapitole 5 je detailně probrána implementace knihoven pro navržený framework pro platformy jazyků Java a Python a frameworku Node.js. Následující kapitola 6 popisuje, jakým způsobem byly tyto knihovny otestovány a jak byla prokázána jejich funkčnost. Zároveň je zde popsána validace a vyhodnocení konceptu frameworku jeho nasazením při vývoji jednoduchého ukázkového e-commerce systému. V poslední kapitole 7 je shrnuto, jakých cílů bylo v práci dosaženo a jakým dalším směrem se může výzkum v této oblasti ubírat.

⁴[Intended Delivery: Motivace a cíle]

⁵[Intended Delivery: Popis struktury DP a obsah kapitol]

Kapitola 2

Analýza

Tato kapitola analyzuje problematiku byznysových pravidel v informačních systémech a detailně popisuje architekturu orientovanou na služby, včetně jejího historického vývoje a moderního trendu v podobě microservices. Na základě toho kapitola popisuje nedostatky současných přístupů při řešení průřezových problémů v těchto architekturách, s důrazem na byznysová pravidla. V závěru kapitoly jsou identifikovány požadavky, které by měl splňovat framework, jež bude výstupem této diplomové práce.

2.1 Byznysová pravidla

Informační systémy (IS) mají za úkol ulehčit, automatizovat či poskytovat podporu pro byznysové procesy společností, které je využívají. Tyto procesy jsou tedy stěžejním prvkem IS. Systém má také za úkol uchovávat a spravovat data společnosti a měl by zaručit, že nedojde k jejich poškození či narušení jejich integrity. Byznysové procesy, potažmo byznysové operace, proto musejí podléhat jasně definovaným byznysovým pravidlům, která zajišťují konzistenci dat informačního systému a také zabraňují nepovoleným operacím [14].

Byznysová pravidla dělíme do tří skupin [12]:

Bezkontextová pravidla jsou validační pravidla, která musejí být obecně platná v každé operaci, jinak by mohlo dojít k porušení integrity dat systému. Příkladem může být pravidlo „Adresa uživatele je platnou e-mailovou adresou“.

Kontextová pravidla jsou pravidla, která musejí být zohledněna v daném kontextu byznysové operace, například „Při přidání produktu do košíku nesmí součet položek v košíku přesahovat částku milion korun“

Průřezová pravidla jsou parametrizována stavem systému nebo uživatelského účtu a mají dopad na velkou část byznysových operací. Uvažme pravidlo „*V systému nesmí probíhat žádné změny po dobu účetní uzávěrky*“.

Dále také rozlišujeme dva typy byznysových pravidel, a těmi jsou *preconditions* a *post-conditions* [14].

2.1.1 Precondition

Aby mohla být byznysová operace vykonána, musejí být splněny předem definované podmínky, neboli předpoklady, které nazýváme *preconditions*. Pokud alespoň jedna z podmínek není splněna, byznysová operace nemůže proběhnout.

Pro lepší ilustraci uveďme příklad: aby mohla být provedena registrace uživatele s danou emailovou adresou, musí být splněna podmínka, že uživatel vyplnil svojí emailovou adresu, a zároveň dosud v systému neexistuje žádný uživatel se stejnou emailovou adresou.

2.1.2 Post-condition

Na byznysovou operaci mohou být kladeny požadavky, které musejí být splněny po jejím úspěšném vykonání. Příkladem může být anonymizace uživatelů při vytváření statistického reportu e-commerce společnosti – po vygenerování reportu post-condition zajistí, že z něj budou smazány veškeré citlivé údaje. Dalším případem může být filtrování výstupu byznysové operace. Například při výpisu objednávek pro zákazníka se chceme ujistit, že všechny vypsané objednávky patří danému zákazníkovi.

2.1.3 Reprezentace byznysového pravidla

Existuje několik možností, jak zachytit a reprezentovat byznysová pravidla [14]. Nejběžnější a nejpoužívanější metodou je jejich zachycení v programovacím jazyce. Tato metoda je snadná, protože programátor může použít stejný jazyk pro popis pravidel stejně jako pro popis celého systému. Bohužel, tato metoda nám nedává příliš možností jak provést inspekci a extrakci pravidel. Další, pokročilejší metodou, je zápis pravidel pomocí meta-instrukcí, například anotací, nebo tzv. *Expression Language* (EL). Tato metoda poskytuje dobrou možnost inspekce, ale zpravidla není typově bezpečná a může snáze způsobovat chyby v programu. Poslední, nejpokročilejší metodou, je zápis pomocí doménově specifických jazyků. Ty jsou snadno srozumitelné nejen pro programátory, ale i pro doménové experty. Nevyžadují inspekci a mohou být typově bezpečné. Mezi jejich nevýhody ale patří vysoká počáteční investice v podobě návrhu takového jazyka a nutnost jeho kompilace nebo interpretace.

2.1.4 Byznysový kontext

Informační systém zpravidla implementuje více byznysových procesů, které se vážou na jeden či více uživatelských scénářů. Uživatelský scénář se pak dělí na jednotlivé kroky, například zaslání potvrzovacího e-mailu k objednávce, či uložení objednávky do databáze. Tyto kroky nazýváme *byznysové operace* – tedy operace, které mají byznysovou hodnotu. Ke každé byznysové operaci přísluší množina byznysových pravidel, konkrétně preconditions a post-conditions.

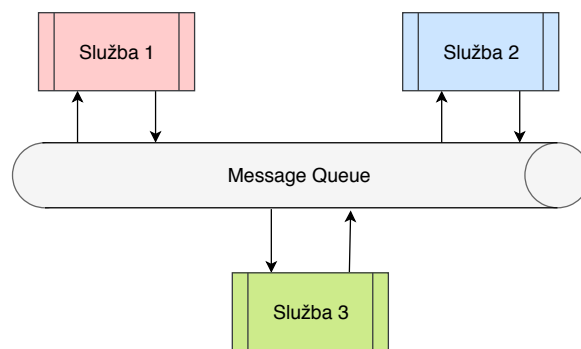
Při běhu informačního systému je v paměti držen tzv. *exekuční kontext* (z anglického *execution context*), který se skládá z několika dílčích kontextů [15]. Prvním je *aplikační kontext* (z anglického *application context*), ve kterém je uložen stav globálních proměnných systému, jako např. nastavení produkčního režimu, nebo příznak o tom, zda právě probíhá obchodní uzávěrka. Dalším je *uživatelský kontext*, který obsahuje informace o aktuálně přihlášeném uživateli. *Kontext požadavku* (z anglického *Request context*) obsahuje informace o aktuálním požadavku, jako IP adresa uživatele či jeho geolokace, a vztahuje se zejména k webovým službám. Posledním je *byznysový kontext*. Ten chápeme jako množinu preconditions a post-conditions s byznysovou hodnotou, která se váže na konkrétní byznysovou operaci [14]. Abychom mohli efektivně definovat co nejširší škálu byznysových pravidel, musejí při jejich vyhodnocování být dostupné proměnné exekučního kontextu,

2.2 Architektura orientovaná na služby

Architektura orientovaná na služby (SOA) je odpovědí na stále se zvyšující nároky na informační systémy a jejich rostoucí velikost. Na rozdíl od *monolitické architektury*, dělí SOA systém na samostatné nezávislé celky, zvané *služby*, které jsou poskytují dílčí části požadované funkcionality systému. Historicky byl termín SOA vykládán několika způsoby a představoval několik rozdílných, nekompatibilních konceptů [26]. Absence kvalitních definic služby a obecně SOA vedla k v poslední době i ke snahám o opuštění tohoto konceptu [16]. Pro lepší porozumění se tato kapitola věnuje stručnému historickému přehledu SOA a shrnuje výhody a nevýhody jednotlivých přístupů.

2.2.1 Common Object Request Broker Architecture

Prvním historickým předchůdcem architektury orientované na služby byla tzv. *Common Object Request Broker Architecture* (CORBA) [49]. Ta umožňuje vzájemnou komunikaci aplikací implementovaných v různých technologiích. Její základní komponentou je *Object Request Broker* (ORB), který emuluje objekty, na kterých může klient volat jejich metody. Při zavolání metody na objektu, který se fyzicky nachází na vzdáleném stroji, zprostředkovává



Obrázek 2.1: Komunikace služeb pomocí Message Queue

ORB veškerou komunikaci a poskytuje kompletní rozhraní volaného objektu. Komunikace se vzdáleným objektem s sebou však nese celou řadu problémů, například vyšší latenci při komunikaci nebo výjimečné stavy, které je potřeba ošetřit, či obíznou optimalizaci kódu využívající **ORB**.

2.2.2 Web Services

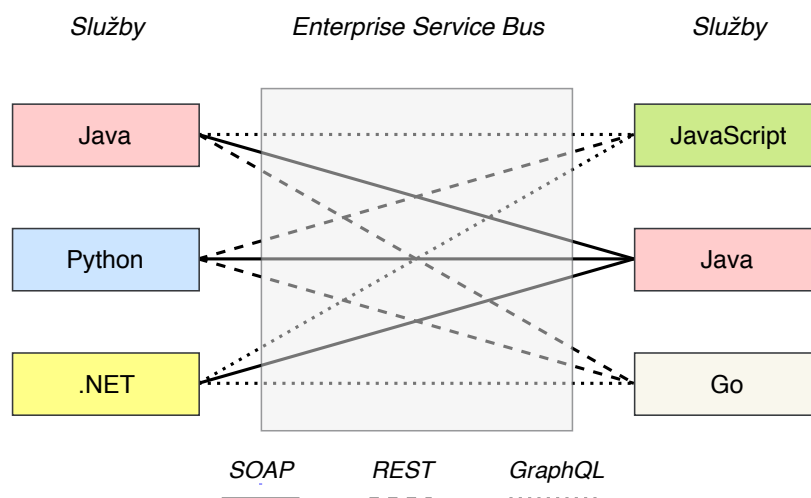
Nedostatky architektury **CORBA** vedly k vývoji jednoduššího a kvalitnějšího formátu pro popis komunikace služeb. Volání metod na vzdálených objektech bylo nahrazeno explicitním posíláním zpráv mezi službami pomocí protokolu **HTTP**. Pro popis schématu zpráv vznikl formát *Simple Object Access Protocol* (**SOAP**) [8], který v kombinaci s *Web Service Description Language* (**WSDL**) [18] umožňuje kompletní definici rozhraní pro komunikaci mezi službami.

2.2.3 Message Queue

Dalším z konceptů, který v rámci **SOA** vznikl, je tzv. *Message Queue* (**MQ**). Základní myšlenkou **MQ**, znázorněnou na obrázku 2.1, je asynchronní komunikace služeb pomocí zpráv nezávislých na platformě. Komunikaci zprostředkovává fronta, která přijímá a rozesílá zprávy mezi službami. To přináší vyšší škálovatelnost a menší provázanost mezi službami. Všechny služby ale musí používat jednotný formát zpráv.

2.2.4 Enterprise Service Bus

Ačkoliv zmíněné modely usnadňují komunikaci služeb a zvyšují jejich spolehlivost, integrace služeb může být obtížná, pokud služby používají navzájem různé komunikační protokoly a formáty. Tento problém řeší *Enterprise Service Bus* (**ESB**) [17], znázorněný na obrázku 2.2, který má za úkol propojit heterogenní služby a sestavit mezi nimi komunikační



Obrázek 2.2: Komunikace služeb skrz Enterprise Service Bus

kanály. Tím na sebe **ESB** přebírá zodpovědnost za překlad jednotlivých zpráv a centralizuje veškerou komunikaci v systému.

2.2.5 Microservices

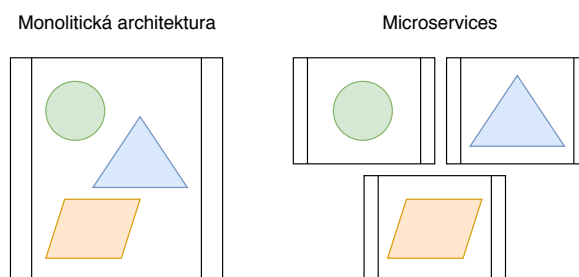
Moderní architektura *Microservices* přináší soubor konceptů, které specializují a konkretizují principy **SOA**. Microservices se tedy dá chápat jako podmnožina **SOA**, ačkoliv existují i názory, že jde o odlišné architektury [47]. Základní myšlenkou je vývoj informačního systému jako množiny malých oddělených služeb, které jsou spouštěny v samostatných procesech a komunikují spolu pomocí jednoduchých protokolů [35]. Microservices preferují decentralizaci a samostatnost služeb.

Microservices se zaměřují na organizaci služeb kolem byznysových schopností systému. Namísto horizontálního dělení systému podle jeho vrstev¹ navrhuje rozdělit systém vertikálně podle jeho byznysových schopností. Na obrázku 2.3 je toto rozdělení demonstrováno.

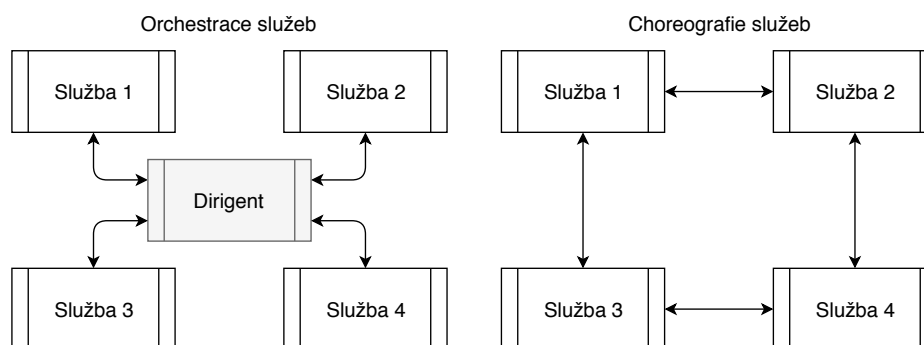
2.2.6 Orchestrace a choreografie služeb

Základní podmínkou pro správnou funkci systému stavějícímu na **SOA** je správná komunikace a spolupráce jednotlivých služeb. K tomu slouží dva odlišné přístupy – *orchestrace služeb* a *choreografie služeb*.

¹ Zde předpokládáme klasickou třívrstvou architekturu [25], rozdělující systém na *datovou vrstvu*, *aplikační vrstvu* a *prezentační vrstvu*. Tyto vrstvy mají oddělené zodpovědnosti a komunikují spolu pomocí jasně definovaných společných rozhraní.



Obrázek 2.3: Porovnání struktury monolitické architektury a microservices [35]



Obrázek 2.4: Porovnání orchestrace a choreografie služeb [16]

Orchestrace služeb *Orchestrace služeb* má za úkol zajistit, že komunikace mezi službami proběhne úspěšně a ve správném časovém sledu [55], za použití centrální komponenty – tzv. *dirigenta*. Typicky je jako dirigent využíván [ESB](#), který je pro tuto roli vhodný, protože má informace o lokaci jednotlivých služeb a zprostředkovává mezi nimi komunikační kanály.

Choreografie služeb Přímým opakem orchestrace je tzv. *choreografie služeb* a znamená vykonávání byznysových operací autonomně a asynchronně, bez centrální autority. Tento přístup je preferován zejména v rámci microservices [20], protože orchestrace vede k vyššímu provázání služeb a nerovnoměrnému rozložení zodpovědností v systémech. Porovnání obou přístupů je graficky znázorněno na obrázku 2.4.

[45]

2.2.7 Shrnutí

Z předchozího textu lze vyvodit, že [SOA](#)

2.3 Nedostatky současného přístupu

² Jelikož jedním z cílů SOA, potažmo microservices, je co nejvíce izolovat jednotlivé služby, mají tyto architektury tendenci duplikovat části kódu zajišťující funkcionalitu, která vyžaduje konzistentní zpracování ve více službách [16], tzv. *průřezových problémů* (z anglického *cross-cutting concerns*). Příkladem mohou být právě byznysová pravidla [12], která je potřeba zohlednit v rámci různých byznysových kontextů realizovaných ve více službách. Mezi další příklady se řadí logování, monitoring či sběr dat o telemetrii procesů.

³ Pro lepší představu diskutovaného problému uvažme e-commerce systém skládající se z několika služeb naprogramovaných v různých technologiích, a procesy vytváření faktury a vytváření objednávky, každý z nich implementovaný jinou službou. Systém navíc obsahuje službu poskytující webové uživatelské rozhraní. Při vytváření faktury za objednávku musí být nejprve zvalidována fakturační adresa. Protože by mohla nastat situace, kdy by v případě nevalidní adresy museli zaměstnanci společnosti kontaktovat zákazníka – pokud vůbec takovou možnost mají – musí být adresa validována již při vytváření objednávky. V ideálním případě by navíc měl zákazník být upozorněn na nevalidní fakturační adresu co nejdříve, ještě před odesláním objednávkového formuláře přímo v uživatelském rozhraní [15]. Pro lepší představu je problém znázorněn na obrázku 2.5,

⁴ Na příkladu lze pozorovat, že stejná funkcionalita se promítá do tří služeb, z nichž každá má zodpovědnost za jiné byznysové operace. Stejný kód, který realizuje validaci fakturační adresy, musí být implementován v každé ze zmiňovaných služeb, v tomto případě navíc ve třech různých programovacích jazycích. Pokud by vzešel změnový požadavek na validaci fakturační adresy, změnu by bylo nutno provést konzistentně na třech různých místech, všechny tři služby znovu sestavit a nasadit ve správném pořadí tak, aby nedošlo k nekonzistenci validaci adresy při provádění jednotlivých byznysových operací. *Změny byznysových pravidel se dějí častěji, než změny kódu a struktury samotných služeb v SOA [48]. Pokud je potřeba s každou změnou byznysového pravidla sestavit a nasadit minimálně jednu službu, dramaticky se zvyšuje náročnost na údržbu takového systému.*

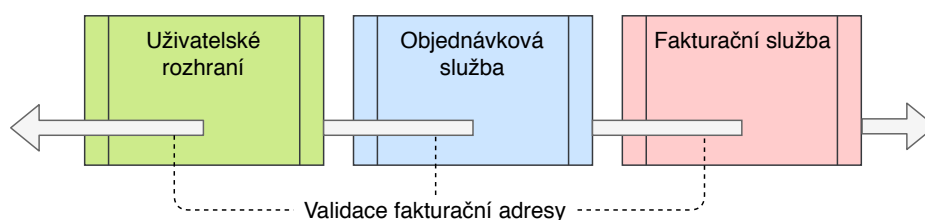
⁵ Problém validace fakturačních adres by bylo možné vyřešit vyčleněním této funkcionality do samostatné služby a vystavit její rozhraní pro ostatní služby. Pokud však služby nesou příliš málo odpovědnosti, nasazení a provoz každé služby s sebou přináší náklady navíc. S rostoucím počtem průřezových problémů by tak rychle rostl i počet služeb v systému a celkové náklady na jeho vývoj a údržbu.

²[Intended Delivery: Problémy SOA a průřezových problémů]

³[Intended Delivery: Nastínění konkrétního příkladu]

⁴[Intended Delivery: Náročná údržba a reakce na změnu požadavku]

⁵[Intended Delivery: Microservices neříká nic o tom, jak velké je mikro]



Obrázek 2.5: Příklad zásahu jedné funkcionality do více služeb

2.4 Identifikace požadavků na implementaci frameworku

Z příkladu popsaného výše lze identifikovat požadavky, které by měly být zohledněny při návrhu a implementaci frameworku pro centrální administraci a automatickou distribuci byznysových pravidel v architektuře orientované na služby.

Framework, resp. jeho knihovny, by měly umožňovat:

- Definice byznys kontextů pomocí platformně nezávislého doménově specifického jazyka srozumitelného pro doménové experty
- Zápis preconditions a post-conditions pravidla jednotlivých byznys kontextů
- Možnost jednoho kontextu rozšiřovat jiné kontexty
- Možnost centrálně spravovat byznysové kontexty, včetně úpravy stávajících a vytváření nových kontextů, to vše dynamicky za běhu systému
- Automatickou distribuci kontextů, vyhodnocování jejich preconditions a aplikaci post-conditions
- Možnost využívat framework na více platformách

2.5 Shrnutí

Tato kapitola analyzovala koncept byznysových pravidel a byznysových kontextů. Dále se věnovala architektuře orientované na služby, jejím podobám, výhodám a nevýhodám, a identifikovala nedostatky současných přístupů v řešení průřezových problémů, které zasahují do více služeb najednou. Nakonec byly identifikovány požadavky, které by měl splňovat framework, jež bude výstupem této práce.

Kapitola 3

Rešerše

Tato kapitola se věnuje rešerši existujících řešení a výzkumu relevantnímu k tématu této práce. Díky tomu bude umožněno dosáhnout kvalitního a efektivního návrhu frameworku pro centrální správu a automatickou distribuci byznysových pravidel. Kapitola zkoumá modelem řízenou architekturu, generativní programování a BPEL, jejich výhody, nevýhody a vhodnost použití. Dále se zaměřuje na aspektově orientované programování a na něm založený inovativní přístup k návrhu informačních systémů [ADDA](#). Kapitola také zkoumá existující nástroje a specializované jazyky pro vyjádření byznysových pravidel. Nakonec se věnuje i shrnutí síťových architektur, které mohou být využity pro automatickou distribuci byznysových pravidel v [SOA](#).

3.1 Modelem řízená architektura

Modelem řízená architektura ([MDA](#) z anglického *Model-Driven Architecture*) se zaměřuje na návrh [IS](#) s využitím modelů a jejich následnou transformaci do spustitelného kódu pomocí generativních nástrojů [\[50\]](#). Hlavní výhodou [MDA](#) je vysoká úroveň abstrakce, která zbavuje vývojáře nutnosti manuálně duplikovat informace. Další výhodou je nezávislost na platformě a zvýšení kvality kódu díky jeho automatickému generování.

[MDA](#) v první fázi vývoje využívá Computation Independent Model ([CIM](#)), který reprezentuje řešení nezávislé na použitých výpočetních metodách a algoritmech. Z [CIM](#) je následně model převeden do Platform Independent Model ([PIM](#)), který popisuje koncepci systému bez ohledu na implementační detaily, typicky k popisu využívá jazyk [UML](#). [PIM](#) je následně převeden do Platform Specific Model ([PSM](#)), tedy do modelu využívajícího specifických aspektů platformy, pro kterou má být systém postaven. [PIM](#) může být převeden na jeden či více [PSM](#). Nakonec je [PSM](#) transformován do spustitelného kódu.

Hlavní nevýhodou [MDA](#), která zabraňuje jejímu využití pro účel této práce, je jednosměrný dopředný proces, kterým je výsledný kód generován. Pokud dojde ke změně požadavků, která se promítne do modelu, je potřeba přegenerovat kód celého systému. Kód, který bylo nutno doplnit ručně, může snadno zastarat a je tak potřeba ho manuálně projít a opravit. Další nevýhodou tohoto přístupu je jeho závislost na [OOP](#), které samotné není schopné se efektivně vypořádat s průřezovými problémy [\[32\]\[12\]](#), jak si popíšeme v sekci [3.5](#).

3.2 Generativní programování

Generativní programování ([GP](#)) je dalším příkladem paradigmatu, který využívá vyšší úroveň abstrakce a díky tomu zvyšuje znovupoužitelnost kódu. [GP](#) se zaměřuje na maximalizaci automatizace vývoje systému skrz generování a syntézu vysoce přizpůsobitelných komponent. Vývojář popíše komponentu v abstraktním jazyce přizpůsobeném doméně řešeného problému a generátor se postará o její automatické vytvoření [\[19\]](#). Díky tomu je možné oddělit popis jednotlivých vlastností systému a dosáhnout tak jejich vysoké znovupoužitelnosti.

[GP](#) by mohlo být využito pro abstrakci byznysových pravidel a jejich automatickému začleňování do kódu služeb v systému stavějícím na [SOA](#). Statické generování komponent však nesplňuje požadavek na dynamickou správu byznysových pravidel za běhu systému.

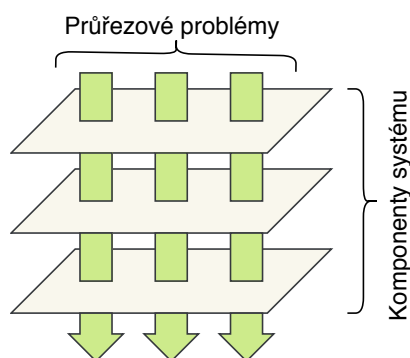
3.3 Business Process Execution Language

Tématu byznysových pravidel v [SOA](#) se již věnovali autoři technologie Business Process Execution Language ([BPEL](#)) [\[1\]](#). Ta využívá speciálního [DSL](#) k popisu byznysových procesů realizovaných webovými službami. Grafickou reprezentaci byznysových procesů v [BPEL](#) realizuje standard Business Process Model and Notation ([BPMN](#)) [\[41\]](#).

Přístup [BPEL](#) se zaměřuje na centrální správu byznysových pravidel pomocí orchestrace. K tomu využívá meta-slужby, které se starají o uložení a transformaci byznysových pravidel a také o zachycení byznysových operací a aplikaci těchto pravidel. Tento přístup přináší snažší údržbu byznysových pravidel. Nejnovější výzkum v oblasti [SOA](#) a zejména pak Microservices však od orchestrace ustupuje na úkor decentralizace a choreografie služeb.

3.4 Objektově orientované programování

Jedním z nejpoužívanějších paradigmat používaných k vývoji moderních [IS](#) je objektově orientované programování ([OOP](#)). To používá koncept tzv. objektů, které zapouzdřují data a funkcionalitu do malých funkčních celků odpovídající struktuře reálného světa [\[46\]](#). Objekty



Obrázek 3.1: Průřezové problémy v informačních systémech

se rozumí jak konkrétní koncepty, například auto nebo člověk, tak i abstraktní koncepty, jako je bankovní transakce nebo objednávka v obchodě. Podoba objektů se pak promítá do kódu programu i do reprezentace struktur v paměti počítače. Tento přístup je velmi snadný pro pochopení, vede k lepšímu návrhu a organizaci programu a snižuje tak náklady na jeho vývoj a údržbu.

Vlastnosti **OOP** jako je zapouzdření, dědičnost a polymorfismus přináší vysokou znovupoužitelnost kódu, nižší riziko lidské chyby, zjednodušení návrhu systému a nižší náklady na vývoj a údržbu software.

3.5 Aspektově orientované programování

3.5.1 Motivace

Ačkoliv je **OOP** velmi silným nástrojem, existují problémy, které nelze v jeho rámci efektivně řešit. Příkladem takového problému jsou obecné požadavky na systém, které musejí být konzistentně dodržovány na více místech systému, které spolu zdánlivě nesouvisí, tzv. *průřezové problémy* (z anglického *cross-cutting concerns*). V rámci **OOP** je programátor nucen v objektech manuálně opakovat kód, který zodpovídá za jejich realizaci. Duplikace kódu vede k větší náchylnosti na lidskou chybu a k vyšším nárokům na vývoj a údržbu daného softwarového systému [27]. Obrázek 3.1 znázorňuje vzájemné postavení průřezových problémů a komponent informačního systému.

Příkladem průřezového problému může být logování systémových akcí, optimalizace správy paměti nebo jednotné zpracování výjimek [33], ale i aplikace byznysových pravidel [12]. Ve zdrojovém kódu 3.1 je znázorněno, jak průřezové problémy zasahují do kódu imaginární třídy implementované v jazyce Java, která slouží pro vytváření objednávek v e-commerce systému popsaném v sekci 2.3. Aspekt logování je zohledněn na třech místech, stejně jako

Zdrojový kód 3.1: Příklad průřezových problémů zohledněných při vytváření objednávky

```
1 void createOrder(User user, Collection<Product> products, Address shipping,
2     Address billing) {
3     logger.info("Creating order"); // Logging aspect
4     transaction.begin(); // Transaction aspect
5     try {
6         validator.validateAddress(shipping); // Shipping business rules aspect
7         validator.validateAddress(billing); // Billing business rules aspect
8         Order order = new Order(user, product, shipping, billing);
9         database.save(order);
10        transaction.commit(); // Transaction aspect
11        logger.info("Order created successfully"); // Logging aspect
12    } catch (Exception e) {
13        transaction.rollback(); // Transaction aspect
14        logger.error("Could not create order"); // Logging aspect
15    }
16 }
```

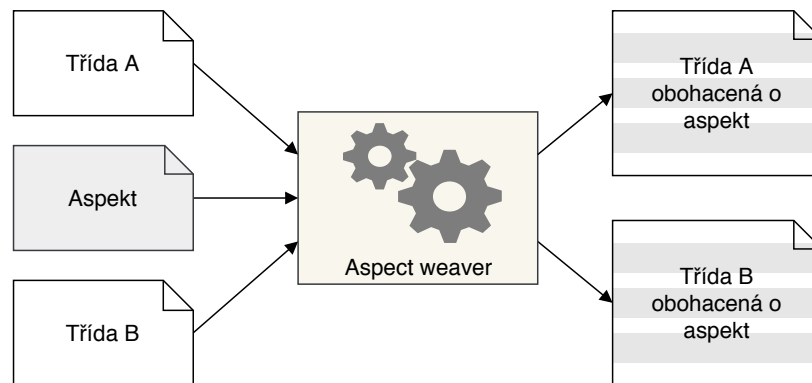
aspekt transakcí. Navíc jsou zde zohledněna i byznysová pravidla pro validaci doručovací a fakturační adresy objednávky.

3.5.2 Vlastnosti

Aspektově orientované programování (AOP) přináší řešení výše zmiňovaných problémů. Využívá k tomu *separation of concerns* – extrahuje kód zachycující průřezové problémy, tzv. *aspekty*, do jednoho bodu, tzv. (*single focal point*). Pomocí procesu zvaného *weaving* je poté tento kód automaticky distribuován. Weaving může proběhnout staticky při kompilaci programu nebo dynamicky při jeho běhu. V obou případech ale programátorovi ulehčuje práci, protože k definici i změně aspektu dochází centrálně, a tím je eliminována potřeba manuální duplikace kódu. AOP není paradigmatickým poskytovatelem kompletního frameworku pro návrh programu. V ideálním případě je tedy k návrhu systému využita kombinace AOP s jiným paradigmatickým.

3.5.3 Názvosloví

Základním pojmem v rámci AOP je *aspekt*, který zapozdřuje průřezovou funkcionalitu a zároveň adresuje místa, kde má být funkcionalita aplikována. Aspekt vždy obsahuje alespoň jeden *advice* a jeden *pointcut*.



Obrázek 3.2: Proces weavingu aspektů

Místo v kódu, na které může být aplikována funkcionalita aspektu, se nazývá *join-point*. Typů *join-pointů* je více a závisí na použitém paradigmatu, na který je [AOP](#) aplikováno, a také na programovacím jazyce. V případě kombinace s [OOP](#) a klasickým víceúčelovým jazykem jako je například Java, mohou jako *join-pointy* sloužit konstruktory tříd, volání metod, zápis a čtení z atributu objektu, inicializace třídy nebo objektu a mnoho dalších.

Ne každý aspekt je aplikován na každý *join-point*. Množina *join-pointů*, na které je jeden konkrétní aspekt aplikován, se nazývá *pointcut*. Tato množina může být určena staticky, a být tak známá při kompilaci programu, nebo dynamicky za běhu programu, což přináší výpočetní složitost navíc výměnou za vyšší flexibilitu.

Funkcionalita, kterou aspekt přidává v jeho *pointcutu*, se nazývá *advice*. Existuje více typů *advice*, podle toho, kam je daná funkcionalita přidána. Například při volání metody může být funkcionalita přidána před, za, nebo kolem metody.

Proces, kterým jsou *advice* začleňovány podle *pointcutu* do jednotlivých *join-pointů* se nazývá *weaving*. Ten může probíhat již při kompilaci nebo dynamicky za běhu programu, tzv. *run-time weaving*. Proces weavingu je ilustrován na obrázku [3.2](#). Komponenta zodpovědná za weaving se nazývá *aspect weaver*.

3.6 Aspect-driven Design Approach

3.6.1 Vlastnosti

Alternativním způsobem návrhu informačních systémů, který staví na principech [AOP](#), je Aspect-driven Design Approach¹ ([ADDA](#)) [12], představený v roce 2014. Tento přístup se zaměřuje na formalizaci jednotlivých komponent informačních systémů identifikování aspektů

¹Autoři nejprve používali termín *Aspect-Oriented Design Approach* (AODA), který byl později změněn. Oba tyto pojmy jsou vzájemně zaměnitelné.

v informačních systémech a jejich separaci do *single focal point*. Následně přístup využívá weaving pro automatickou distribuci aspektů do systému. K popisu aspektu doporučuje využití doménově specifického jazyka, který bude navržen na míru danému průřezovému problému.

3.6.2 Možnosti aplikace

Autoři ADDA aplikovali tento koncept v několika oblastech IS. Mezi tyto oblasti patří automatické začleňování byznysových pravidel do datové vrstvy informačních systémů [14], automatické generování uživatelských rozhraní citlivých na kontext uživatele [15], validaci vstupů formulářů v uživatelském rozhraní vůči byznysovým pravidlům [11][15] a automatické extrakci dokumentace [13].

Jednou z možných aplikací přístupu ADDA je automatické začleňování byznysových pravidel do datové vrstvy IS². Byznysová pravidla jsou nejprve vhodně popsána pomocí DSL a následně jsou extrahována do jednoho bodu, ze kterého jsou automaticky distribuována. Pomocí specializovaného weaveru jsou pravidla překládána do podmínek jazyka JPQL, potažmo SQL, který je využíván k získávání dat z databázových systémů. To vede ke snížení manuální duplikace byznysových pravidel.

Uživatelská rozhraní tvoří až 48 % kódu informačních systému a zabírají až 50 % jejich vývojového času [32]. Do UI se přitom typicky promítá mnoho aspektů, které jsou již v systému obsaženy. Například byznysová pravidla jsou promítána do UI při validaci vstupních dat formulářů na straně klienta [15]. Autoři přístupu ADDA přicházejí s řešením v podobě využití několika DSL pro popis jednotlivých aspektů a run-time weavingu, který aspekty při běhu aplikace dynamicky začlení do UI s ohledem na aktuální kontext uživatele, například na jeho geolokační polohu či velikost displeje, na kterém je rozhraní zobrazováno. Díky tomu je dosaženo významné redukce kódu [11] potřebného pro popis adaptibilního uživatelského rozhraní.

Další oblastí informačních systému, do které se promítají jeho aspekty, je dokumentace [13]. Autoři ADDA využívají data mining pro získání metainformací o byznysových operacích, datovém modelu systému a o byznysových pravidlech. Díky tomu mohou automaticky vygenerovat seznam byznysových operací, potažmo implementovaných use-cases, strukturu doménového modelu a formální popis byznysových pravidel, který může sloužit pro verifikaci jejich správnosti.

²Předpokládáme standardní třívrstvou architekturu informačních systémů [25]

3.6.3 Výhody a nevýhody

ADDA poskytuje vývojářům způsob jakým výrazně snížit náklady na vývoj a údržbu systému díky deduplikaci, která je dosažena extrakcí aspektů do *single focal point* a jejich automatickou distribucí do příslušných komponent systému. Tento přístup však nese vysokou počáteční investici v podobě vývoje specializovaných **DSL** a dynamických aspect weaverů. Ačkoliv autoři tohoto přístupu implementovali prototypy knihoven umožňující požadovanou funkcionalitu, pro nasazení do reálného systému nejsou tyto knihovny připraveny.

Přístup **ADDA** splňuje požadavky identifikované v sekci 2.4, zejména využití speciálních **DSL** pro popis aspektů a jejich automatickou distribuci za běhu systému. Pro popis byznysových pravidel využívá **ADDA** nástroj *Drools*, který je popsán v následující sekci.

3.7 Stávající řešení reprezentace business pravidel

Tato kapitola se zaměřuje i na současné možnosti zachycení byznysových pravidel ve specializovaných jazycích a vhodnost jejich použití pro účel frameworku, který bude výstupem této práce. Ačkoliv existuje relativně velké množství knihoven poskytujících **DSL** pro popis byznysových pravidel a umožňující automatickou distribuci byznys pravidel, žádný z nich neposkytuje podporu velkého množství programovacích jazyků, resp. platform, ve kterých by mohl být jazyk použit. Příkladem může být projekt *business-rules* pro jazyk Python³, projekt *FlexRule*⁴ pro platformy .NET a JavaScript nebo **BRMS** JRules⁵ od společnosti IBM pro platformu **Java EE**. Tato sekce se tedy zaměřuje zejména na framework *Drools*, který používají autoři přístupu **ADDA**, a také na moderní nástroj *JetBrains MPS*, který umožňuje vytvářet vlastní **DSL** a transformovat ho do libovolných víceúčelových jazyků.

3.7.1 Drools DSL

Framework *Drools*⁶ je open-source projekt realizující koncept *business rule management engine* (**BRMS**), tedy nástroj pro vývoj a správu byznysových pravidel. Framework umožňuje realizovat tzv. *produkční systémy* tvořené sadou *produkčních pravidel* určujících chování programu. Produkční pravidlo se skládá z levé strany (**LHS** z anglického *left-hand side*), a z pravé strany (**RHS** z anglického *right-hand side*). **LHS** popisuje situaci, při které má být pravidlo aplikováno. **RHS** popisuje akci, která má být vykonána. Pro správnou funkci systému je nutno při vyhodnocování správně určit, která produkční pravidla mají být aplikována.

³<https://pypi.org/project/business-rules/>

⁴<http://www.flexrule.com/archives/business-rule-language/>

⁵https://www.ibm.com/support/knowledgecenter/en/SSZJPZ_11.3.0/com.ibm.swg.im.iis.conn.jrules.use.doc/topics/c_

⁶<https://www.drools.org/>

Zdrojový kód 3.2: Ukázka zápisu byznysového pravidla v jazyce Drools DSL

```
1 rule "print user email"
2
3 dialect "mvel"
4 dialect "java"
5
6 when
7     $u : User( email != null )
8 then
9     System.out.println($u.name + ": " + $u.email);
10 end
```

Pro tento účel využívá framework Drools algoritmus RETE [24], který je přímo navržený pro párování pravidel produkčních systémů.

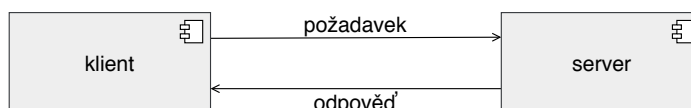
Součástí frameworku Drools je speciální doménově specifický jazyk vyvinutý přímo pro modelování produkčních pravidel. Tento jazyk umožňuje popsat **LHS** i **RHS** daného pravidla a k tomu využívá několik užitečných konstruktů. Pro popis situací i důsledků využívá dialekt MVEL umožňující komfortní zápis logických výrazů. V rámci Drools **DSL** lze využívat lokální i globální proměnné s plnou typovou podporu pramenící z jazyka Java a také podporu regulárních výrazů. Navíc je možno importovat i pomocné funkce, které lze využít v podmínkách pravidla. Ve zdrojovém kódu 3.2 je znázorněn příklad zápisu byznysového pravidla v jazyce Drools **DSL**. Kromě názvu pravidla je v hlavičce uvedeno, které dialekty jsou v pravidle využity. Dialekt **mvel** je popsán v předchozím textu. Dialekt **java** umožňuje pro **RHS** využít přímo jazyk Java. Popsané produkční pravidlo vypíše uživatelské jméno a email, pokud má uživatel email vyplněný.

Ačkoliv je jazyk Drools **DSL** vymodelovaný přímo pro zápis pravidel doménovými experty, produkčních pravidla se liší od byznysových pravidel zavedených v sekci 2.1, Využít tak lze pouze **LHS**. Zároveň jazyk Drools **DSL** postrádá nástroje pro kvalitní popis byznysového kontextu držícího byznysová pravidla, zejména pak rozšiřování jiných kontextů a popis typu jednotlivých pravidel [13]. Ze strany frameworku Drools navíc nejsou podporovány jiné platformy než Java a .NET, což nevyhovuje požadavkům na platformovou nezávislost.

3.7.2 JetBrains MPS

Moderním nástrojem pro tvorbu doménově specifických jazyků je *JetBrains MPS* (Meta Programming System)⁷. Staví na konceptu *language-oriented programming* (**LOP**) [57] za-

⁷<https://www.jetbrains.com/mps/>



Obrázek 3.3: Architektura klient-server

měřujícího se na vývoj specifického abstraktního jazyka a jeho použití pro implementaci programu. Pro překlad ze specifického jazyka do spustitelného kódu je použit automatický překladač. Příkladem jazyka, který využívá koncept [LOP](#) je \LaTeX , který byl využit pro sazbu této diplomové práce. Ten totiž pomocí maker jazyka \TeX sestavuje abstraktnější jazyk, který umožňuje autorovi soustředit se hlavně na strukturu textu, aniž by se musel příliš detailně zabírat samotnou sazbou.

MPS umožňuje uživateli nadefinovat gramatiku speciálního [DSL](#) a následně poskytuje editor pro tento jazyk včetně automatického validátoru. MPS také umožňuje transformování nadefinovaného jazyka do obecných programovacích jazyků, zejména pak do jazyka Java. Díky tomu lze nejen vytvářet libovolné [DSL](#), ale také rozšiřovat existující jazyky.

Výhoda tohoto přístupu je vysoká úroveň abstrakce a možnost zapojit do vývoje doménové experty. [DSL](#) typicky zvyšuje expresivitu kódu a díky tomu se zmenšuje jeho objem. Nižší objem kódu vede ke snížení nákladů na jeho údržbu a vývoj [36][52]. Významnou výhodou MPS, potažmo [LOP](#), je nezávislost na cílové platformě. Nástroj MPS by umožnil snadné znovupoužití pravidel a jejich transformaci do neomezeného počtu jazyků pro využití na mnoha platformách. Podobně jako u [MDA](#) je však problém v dopředném generování – editor MPS totiž neumožňuje načíst víceúčelový jazyk zpět do [DSL](#).

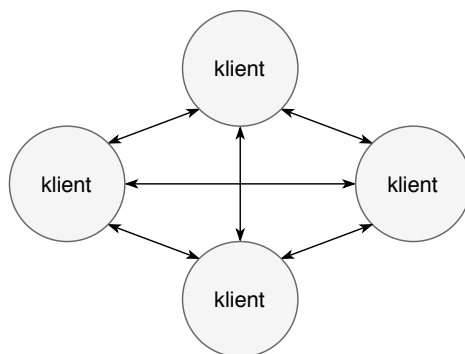
3.8 Síťové architektury

Závěrem se tato kapitola věnuje přehledu síťových architektur, které mohou být využity pro distribuci byznysových pravidel v systému stavějícímu na [SOA](#).

3.8.1 Architektura klient-server

Model klient-server popisuje vztah mezi komponentami systému, klienty a serverem. Klient zašle požadavek serveru a ten mu vrátí odpověď [5]. Schéma komunikace je znázorněno na obrázku 3.3. Tento model může být použit obecně i v rámci jednoho počítače, nejčastěji je však využíván v síťové komunikaci mezi více počítači.

Tento přístup má několik zásadních výhod, díky kterým se stal široce využívaným. Díky svojí velmi obecné myšlence je nezávislý na jakékoliv platformě. Zároveň tato architektura přesouvá byznysovou logiku a ukládání dat na server a díky tomu umožňuje snadnější kontrolu nad systémem a jeho centrální administraci. S tím je spojena i snazší škálovatelnost



Obrázek 3.4: Architektura peer-to-peer

systému. V neposlední řadě přináší model klient-server díky centralizaci i lepší zabezpečení, kdy server může jasně definovat a vynucovat přístupová pravidla.

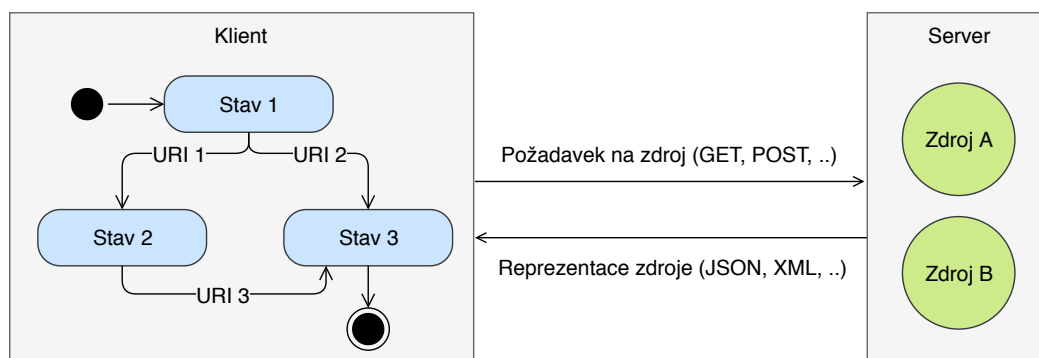
Hlavní nevýhodu této architektury je vytvoření jednoho centrálního bodu, jehož výpadek ochromí funkci celého systému (v angličtině *single point of failure*) – tímto bodem je server. Pokud na serveru nastane chyba či výpadek, žádný z klientů není schopen využívat jeho služeb.

3.8.2 Architektura Peer-to-peer

Opakem modelu klient-server je síťová architektura zvaná *Peer-to-peer* (**P2P**). Jednotlivé počítače v síti spolu komunikují přímo, bez centrální autority. Všechny počítače v síti jsou si vzájemně rovnocenné. [29] Na obrázku 3.4 je tato architektura znázorněna. Hlavním cílem **P2P** sítě je distribuce dat nebo výpočetních operací.

Výhodou architektury **P2P** rostoucí kapacita a výkon sítě s rostoucím počtem klientů, narozdíl od modelu klient-server, kdy se klienti musí dělit o výkon serveru. Navíc v takové síti neexistuje *single point of failure* a tak se zvyšuje její robustnost. Mezi nevýhody této architektury patří zvýšená bezpečnostní rizika způsobená tím, že klienti jsou otevřeni komunikaci s jakýmkoliv jiným, potenciálně nebezpečným, klientem. Další nevýhodou může být absence jakékoliv centrální správy sdílených dat.

Díky vysoké datové propustnosti a robustnosti se **P2P** může jevit jako vhodný přístup pro sdílení byznysových pravidel. Absence centrální správy by však mohla způsobit nekonzistentní stavy systému při úpravě či přidání byznysového pravidla. To je způsobeno distribucí informací mezi více uzlů sítě. Změna pravidla by se musela šířit postupně napříč systémem, přičemž některé uzly by stále využívaly starou verzi pravidla. Nad samotným šířením nelze získat přímou kontrolu.



Obrázek 3.5: Znáznornění architektury REST

3.8.3 Representational state transfer

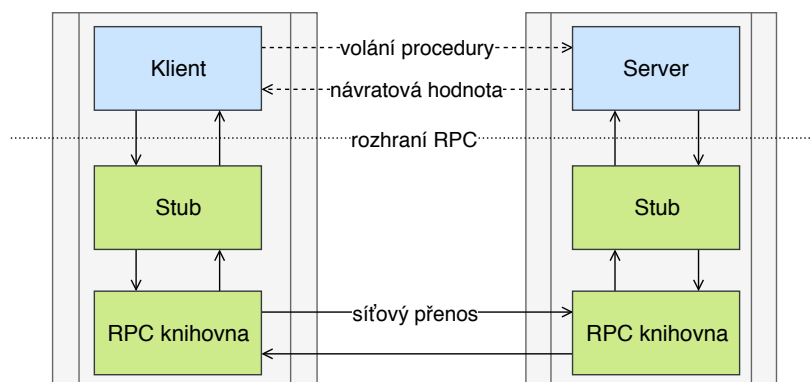
Representational state transfer [23] (REST) je architektura webových služeb, která staví na protokolu HTTP, a klade na systém několik architektonických omezení, díky kterým může systém dosáhnout lepšího výkonu, vyšší škálovatelnosti, jednoduchému používání a lepší odolnosti vůči chybám. Principy architektury REST zahrnují využití architektury klient-server, bezstavovost a kešování požadavků, vrsvení systému, zdrojový kód na vyžádání a jednotné rozhraní.

REST chápe data systému jako množinu zdrojů (z anglického *resources*), nad kterými jsou prováděny operace pomocí HTTP požadavků. K odlišení operací nad jedním zdrojem jsou využívána slovesa protokolu HTTP, zejména pak GET pro čtení, POST pro vytváření, PUT pro úpravu a DELETE pro mazání. Tím jsou zastřešeny všechny CRUD operace.

Nevýhodou architektury REST je náročná implementace transakcí, které zahrnují více zdrojů najednou. Protokol HTTP nepodporuje uzavření více požadavků do jedné atomické transakce. To může být problém v SOA zejména pokud je vyžadována kooperace více služeb najednou při vykonávání byznysové operace. Existují však koncepty, které využívají model Try-Cancel/Confirm [43], umožňující zajistit atomické transakce nad REST architekturou. Další nevýhodou je relativně náročná implementace samotné architektury kvůli absenci obecného middleware, který by zastřešoval kompletní obsluhu zdrojů jak na straně serveru tak na straně klienta.

3.8.4 Remote procedure call

Remote procedure call (RPC) je podstatně starší architekturou než REST. Tento termín byl použit již v roce 1981 Brucem Nelsonem [42]. Architektura staví na modelu klient-server a umožňuje jednomu procesu (klientovi) zavolat proceduru na druhém, vzdáleném procesu (serveru). Klient zašle serveru zprávu vyžadující zavolání specifické procedury. Server

Obrázek 3.6: Schéma komunikace [RPC](#)

proceduru provede a po jejím dokončení zašle klientovi odpověď s návratovou hodnotou. Klient poté může pokračovat ve své práci.

[RPC](#) zapouzdřuje síťovou komunikaci a v programu samotném je vzdálená procedura volána stejným způsobem jako lokální procedury. Základním prvkem architektury na klientovi i na serveru je tzv. *stub*. Tato komponenta umožňuje volat, resp. obsloužit, vzdálenou proceduru lokálně a zapouzdřuje veškerou síťovou komunikaci a serializaci či deserializaci argumentů, resp. návratových hodnot. Schéma komunikace je znázorněno na obrázku 3.6.

Nevýhodou abstrakce lokálních a vzdálených volání jsou negativní vlastnosti síťové komunikace, její zvýšená latence a nižší robustnost. Pokud programátor nemá možnost zjistit, zda volá lokální či vzdálenou proceduru, výsledný kód může být těžké optimalizovat a správně ošetřit výjimky, které mohou při jeho běhu nastat. Pro [RPC](#) však není potřeba implementovat komplexní middleware obstarávající síťovou komunikaci, serializaci a zpracování chyb. Middleware je zpravidla dodáván v podobě knihoven dané technologie. [RPC](#) stejně jako [REST](#) ani [RPC](#) nedefinuje, jakým způsobem by měly být obslouženy transakce.

3.9 Shrnutí

Tato kapitola popisuje řešerši *modelem řízené architektury*, *generativního programování*, *BPEL*, jejích výhody a nevýhody. Shrnuje existující síťové architektury, které mohou být využity pro komunikaci služeb v architektuře [SOA](#) a zvažuje vhodnost jejich použití pro účely této práce. Kapitola dále shrnuje jsme paradigma *aspektově orientovaného programování* a věnuje se inovativnímu přístupu k návrhu softwarových systémů *ADDA*. Nakonec se kapitola věnuje řešerši stávajících řešení reprezentace byznys pravidel včetně komplexního frameworku *Drools* a hodnotí jejich vhodnost pro použití v této práci.

Kapitola 4

Návrh

V této kapitole je diskutován návrh frameworku pro centrální správu a automatickou distribuci business pravidel vyhovující požadavkům identifikovaným v sekci 2.4. Tento návrh staví na znalostech získaných v předchozí kapitole 3, zejména na paradigmatu AOP a přístupu ADDA.

4.1 Formalizace architektury orientované na služby

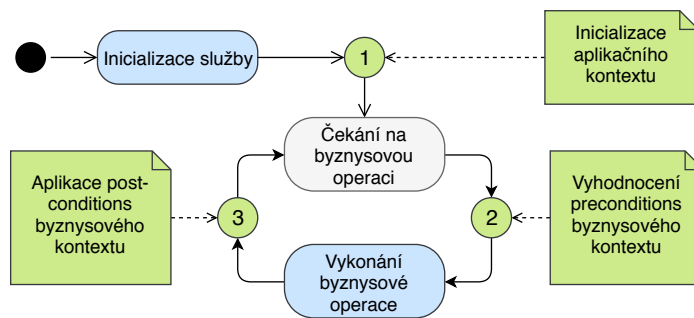
Pro formalizaci problému byznysových pravidel v SOA do termínů AOP musíme identifikovat *join-points*, určit podobu *advices*, popsat způsob jakým budou zachyceny *pointcuts* a nakonec navrhnout proces *weavingu* pravidel.

4.1.1 Join-points

Při identifikování join-points budeme vycházet ze životního cyklu služby, který je znázorněn na obrázku 4.1. První fází v životě instance služby je její inicializace, konkrétně načtení aplikačního kontextu. V tomto bodě je potřeba získat veškerá pravidla, která bude služba potřebovat ke své funkci. Po inicializaci vstupuje služba do fáze, ve které může přijímat požadavky na vykonání byznysových operací. Při přijmutí požadavku je nejprve nutno určit byznysový kontext a poté vyhodnotit veškeré *preconditions*. Pokud jsou všechny předpoklady pro spuštění operace splněny, může být vykonána. Po dokončení operace je nutno aplikovat relevantní post-conditions.

Identifikované join-points tedy jsou:

- ① Inicializace instance služby
- ② Volání byznysové operace
- ③ Dokončení byznysové operace



Obrázek 4.1: Diagram životního cyklu služby a identifikovaných join-pointů

4.1.2 Pointcuts

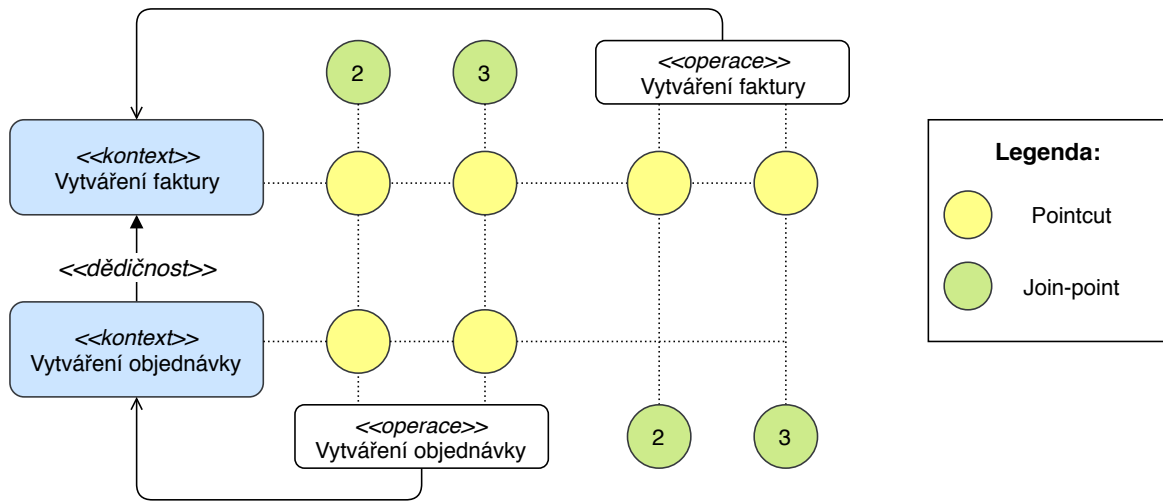
V join-pointu ① by služba měla načíst všechna byznysová pravidla, která bude potřebovat ke své činnosti, a nejsou pro ni lokálně dostupná. Služba tedy musí zjistit, která pravidla je potřeba získat, a následně si je vyžádat od ostatních služeb. V join-pointech ② a ③ musejí být aplikována byznysová pravidla každého kontextu vztahujícího se k dané operaci.

Zdrojový kód 4.1: Ukázka zápisu validačních pravidel pomocí anotací v jazyku Java

```

1  class BillingAddress {
2
3      @NotBlank(message = "country is compulsory")
4      private String country;
5
6      @NotBlank(message = "city is compulsory")
7      private String city;
8
9      @NotBlank(message = "street is compulsory")
10     private String street;
11
12     @NotBlank(message = "postalCode is compulsory")
13     private String postalCode;
14
15     /* ... */
16
17 }
```

Pro zápis selektoru pointcutu byznysového pravidla se lze inspirovat standardem JSR 303 [3], který umožňuje validovat data byznysových objektů vstupujících do byznysových operací pomocí anotací atributů těchto objektů. Příklad validačních anotací je znázorněn ve zdrojovém kódu 4.1, kde je pomocí anotace `@NotNull` zajištěno, že fakturační adresa



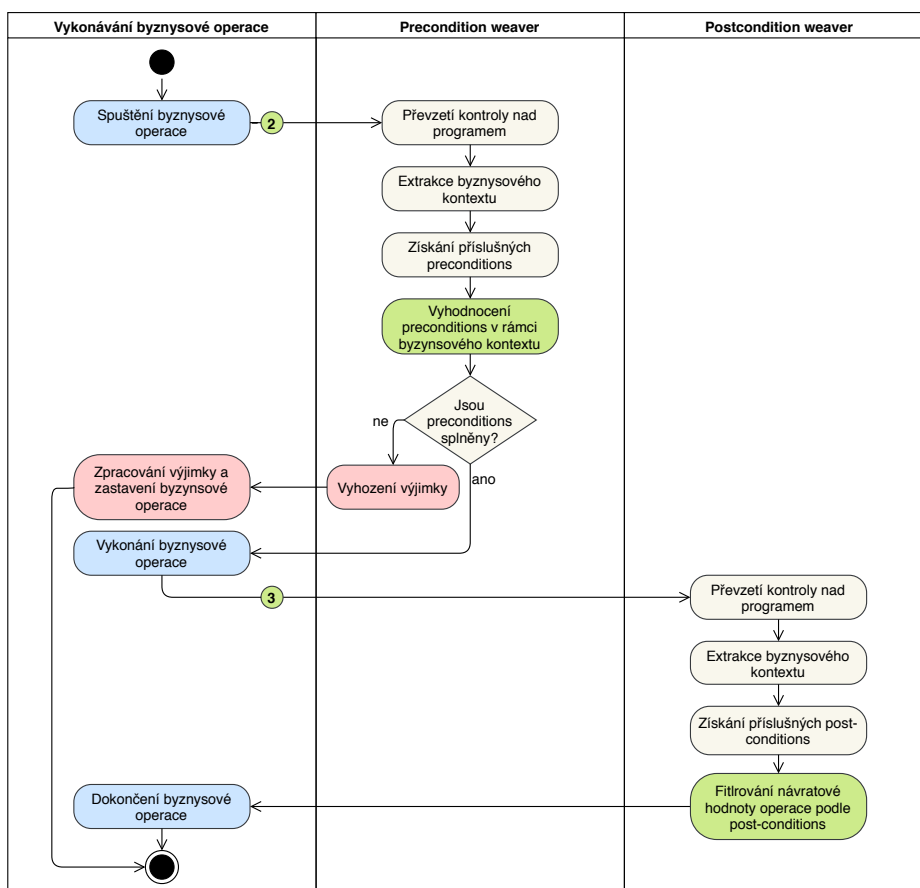
Obrázek 4.2: Diagram znázorňující dědičnost kontextů ve vztahu k join-pointům a pointcuts

bude mít vyplněna všechna pole (v kontextu našeho frameworku se jedná o paralelu preconditions). Podobným způsobem by každá byznysová operace mohla pomocí metainstrukcí specifikovat, která byznysová pravidla bude využívat. Toto řešení však neposkytuje možnost dynamicky při běhu programu změnit sadu byznysových pravidel. Tento problém lze řešit zavedením konceptu byznysového kontextu, který zapouzdřuje byznysová pravidla, a byznysová operace se na něj může explicitně odkázat. Obsah byznysového kontextu by přitom mohl být dynamicky změněn za běhu programu.

Sdílení pravidel mezi byznysovými kontexty, potažmo byznysovými operacemi a mezi jednotlivými službami, by lze realizovat pomocí dědičnosti kontextů. Každý kontext, který by potřeboval validovat fakturační adresu, by tak mohl pouze dědit od kontextu vytváření faktury. Na obrázku 4.2 je dědičnost kontextů znázorněna. Kontext vytváření objednávky dědí od kontextu vytváření faktury a znovupoužívá jeho byznysová pravidla. Byznysově operace se odkazují na byznysové kontexty, které mají být při jejich vykonávání použity. Před spuštěním a po dokončení operace vytváření objednávky jsou aplikována pravidla obou kontextů, zatímco při vytváření faktury jsou zohledněna pouze pravidla jednoho kontextu.

4.1.3 Advices

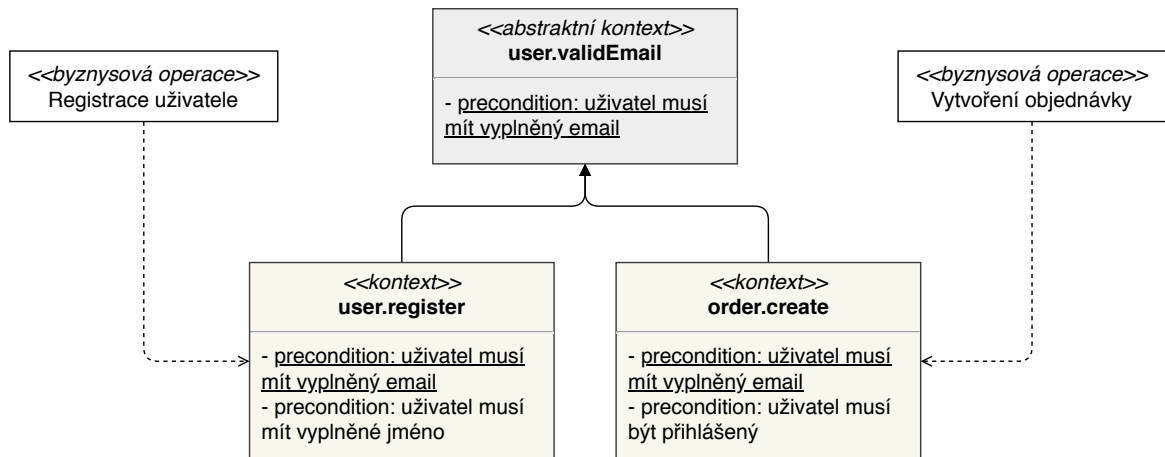
V případě join-pointu ① se za advice dá považovat reprezentace byznysového kontextu přenášeného mezi službami. Naopak v join-pointech ② a ③ je přidanou funkcionalitou vyhodnocování preconditions nad aplikačním kontextem, resp. aplikování post-conditions na návratovou hodnotu operace.



Obrázek 4.3: Diagram aktivit weaverů byznysových pravidel

4.1.4 Weaving

Weaving v případě join-pointu ① bude provádět komponenta frameworku, která analyzuje lokálně dostupná pravidla služby, vyhodnotí, která pravidla je potřeba stáhnout, a vyžádá tato pravidla od příslušných služeb. V případě join-pointů ② a ③ je k weavingu potřeba využít speciální aspect weaver. Ten zachytí volání byznysové operace a získá informace o aktuálním stavu aplikačního kontextu. Následně zjistí, který byznysový kontext má být aplikován, shromáždí všechny preconditions a každou z nich vyhodnotí. Pokud některá precondition není splněna, byznysová operace je zastavena a je vyhozena výjimka, kterou služba zpracuje. V opačném případě je kontrola vrácena zpět službě, která vykoná byznysovou operaci. Po dokončení operace aspect weaver zachytí výstup byznysové operace a aplikuje post-conditions daného byznysového kontextu. Proces weavingu je zachycen na obrázku 4.3.



Obrázek 4.4: Diagram konceptu abstraktního byznysového kontextu

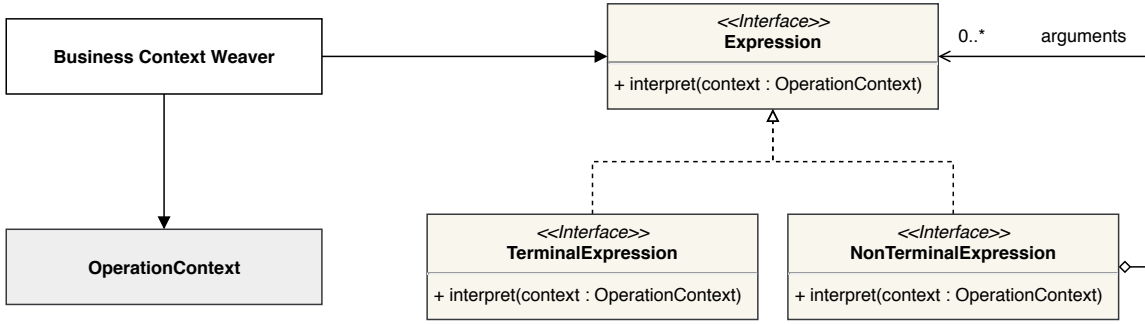
4.2 Dědičnost byznysových kontextů

V předchozím textu byl představen koncept dědičnosti byznysových kontextů. Každý kontext díky němu může rozšiřovat libovolné množství jiných kontextů, a sdílet jejich byznysová pravidla. Byznysové operace pak mohou samy určit, který byznysový kontext se k ním váže. Tento kontext však přináší několik problémů, které jsou rozebrány v následujících odstavcích.

Mapování byznysových kontextů a byznysových operací jedna ku jedné by mohlo vést k situaci, kdy chceme využít pouze nějaká byznysová pravidla jiného kontextu, ale ne všechna. K řešení tohoto problému budou využity tzv. *abstraktní kontexty* – takové kontexty, které přímo nevyužívá žádná byznysová operace. Příklad znázorněný na obrázku 4.4 popisuje situaci, kdy je nežádoucí, aby kontext `user.register` zdědil pravidlo vyžadující přihlášení uživatele.

Kvůli dědičnosti může vzniknout v grafu závislostí kontextů cyklus, který by způsobil zacyklení procesu inicializace v ①. Tuto situaci nelze z hlediska frameworku vyřešit, ale dá se jí předejít. K prevenci by mohl sloužit validátor vestavěný do nástroje pro správu byznysových kontextů.

Vícenásobná dědičnost může přinést problém, kdy jeden kontext zdědí více stejných pravidel z různých zdrojů, tzv. *diamond problem* [9]. Tomu lze předejít tak, že každé pravidlo bude mít unikátní identifikátor v rámci celého systému a při dědění budou zohledněna pouze unikátní pravidla. Zajištění unikátního identifikátoru můžeme vynutit díky nástroji pro centrální administraci byznysových pravidel.



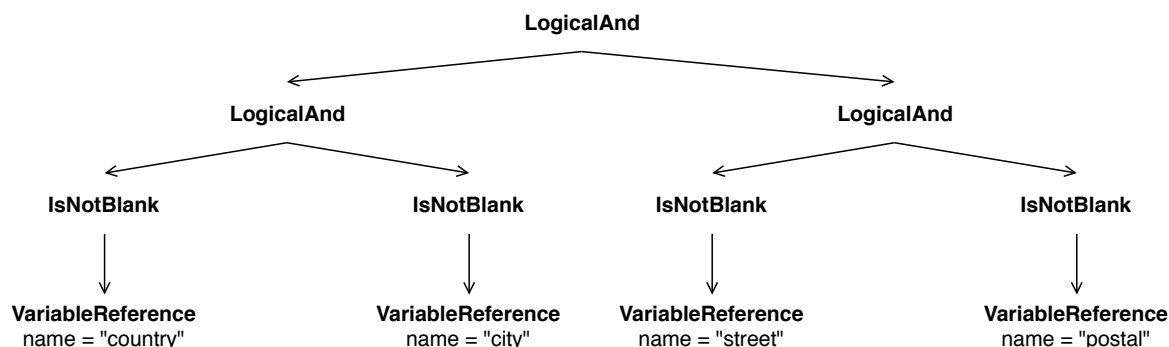
Obrázek 4.5: Diagram tříd popisující použití vzoru Interpreter pro vyhodnocování logických výrazů

4.3 Logické výrazy byznysových pravidel

Sekce 2.1 uvádí, že pravidla obsahují logické podmínky. V případě preconditions je to ověření podmínky, která musí být platná před spuštěním byznysové operace v ②. V případě post-condition může filtrování návratové hodnoty podléhat splnění určité podmínky, která musí být vyhodnocena v ③.

Podmínky byznysových pravidel se skládají z jednotlivých výrazů, které tvoří orientovaný acyklický graf (DAG), tzv. *derivační strom*. Výrazy se dělí na *terminály* a *neterminály* [39]. Terminál znamená, že z daného výrazu již nevychází žádná hrana do jiného výrazu. Neterminál je opak terminálu. Pro reprezentaci stromu bude využit návrhový vzor *Composite* [25]. K vyhodnocování podmínek popsaných v byznysovém pravidle je vhodný návrhový vzor *Interpreter* [25], jehož použití je demonstrováno na obrázku 4.5.

Framework bude disponovat základní sadou výrazů pro zápis byznysových pravidel. Mezi ně budou patřit logické operace **and**, **or**, **equals** a **negate**. Dále výraz **VariableReference**, který získá hodnotu proměnné či konstanty z kontextu. Pokud bude v kontextu uložen objekt, je potřeba přistupovat i k jeho veřejným atributům, což bude zajišťovat výraz **ObjectPropertyReference**. K ověření přítomnosti hodnoty v proměnné bude sloužit výraz **IsNull**. Výraz **IsNotBlank** ověří, zda je v proměnné řetězec nenulové délky. Pro vložení konstantní hodnoty přímo do byznysového pravidla bude sloužit terminál **Constant**. Pro zvýšený komfort budou přidány i výrazi realizující základní matematické operace sčítání, odečítání, násobení a dělení. Pro volání uživatelských funkcí definovaných v operačním kontextu bude sloužit speciální výraz **FunctionCall**. V jeho případě je nutno zohlednit skutečnost, že funkce může přijímat libovolný počet argumentů. Protože volaná funkce může potřebovat přistupovat k operačnímu kontextu, musejí být argumenty také interpretovány. Bohužel nelze u uživatelem definovaných funkcí ověřit, že bude při jejich volání odpovídat počet a typ argumentů. Přehled všech výrazů, které bude framework podporovat, je v tabulce B.1,



Obrázek 4.6: Syntaktický strom jednoduchého validačního pravidla

¹ Pro snazší implementaci na více platformách a prevenci sémantických chyb v pravidlech budou výrazy obsahovat i explicitní definici svého návratového typu. Výraz byznysového pravidla může nabývat logických hodnot, může vrátet číslo, textový řetězec a také objekt. Je potřeba počítat také s tím, že výraz nevrací žádnou hodnotu.

- **BOOL** je logický typ, který nabývá hodnoty **true** a **false**.
- **NUMBER** je reálné číslo zapsáno ve tvaru s desetinnou tečkou a neomezeným počtem číslic.
- **OBJECT** je objekt libovolného typu.
- **STRING** je textový řetězec.
- **VOID** je pseudotyp značící, že výraz nemá návratovou hodnotu.

² Kromě argumentů neterminálů je v některých případech potřeba k výrazu uložit i dodatečné informace – *atributy*. Jedním z atributů je typ návratové hodnoty výrazu, pokud není přímo implikována. V případě výrazu **Constant** je potřeba uložit hodnotu a typ konstanty. Reference na proměnnou musí obsahovat její název a typ, reference na pole objektu navíc musí obsahovat název odkazovaného pole. Volání funkce musí obsahovat její název a návratový typ.

³ Na obrázku 4.6 je znázorněn syntaktický strom, který zachycuje jednoduché validační pravidlo validující fakturační adresu. Jedná se o ekvivalent validačních pravidel zachycených ve zdrojovém kódu 4.1 pomocí anotací standardu JSR 303. Pravidlo je tvořeno čtyřmi terminály, které se odkazují na proměnné operačního kontextu. Hodnoty proměnných jsou

¹[Intended Delivery: Typované výrazy]

²[Intended Delivery: Atributy pravidel]

³[Intended Delivery: Příklad AST pravidla]

validovány výrazem `IsNotBlank` a jednotlivé validace jsou spojeny pomocí binárních výrazu `LogicalAnd` odpovídajících logické konjunkci.

4.4 Filtrování návratových hodnot byznysové operace

Při aplikování post-conditions je filtrována návratová hodnota byznysové operace. Tou může být proměnná obsahující číslo, text, objekt, či jejich kolekce. Filtrování jednoduchých hodnot nemá pro byznysová pravidla reálný přínos. V případě objektu lze filtrovat jeho atributy, například skrýt e-mailovou adresu uživatele. V případě kolekce lze filtrovat jejich prvky, například skrýt objednávky, které uživateli nepatří. Pokud se v kolekci nachází objekty, lze požadovat, aby byly zakryty atributy jednotlivých objektů, například filtrování e-mailových adres v kolekci více uživatelů. Identifikovanými typy post-conditions tedy jsou:

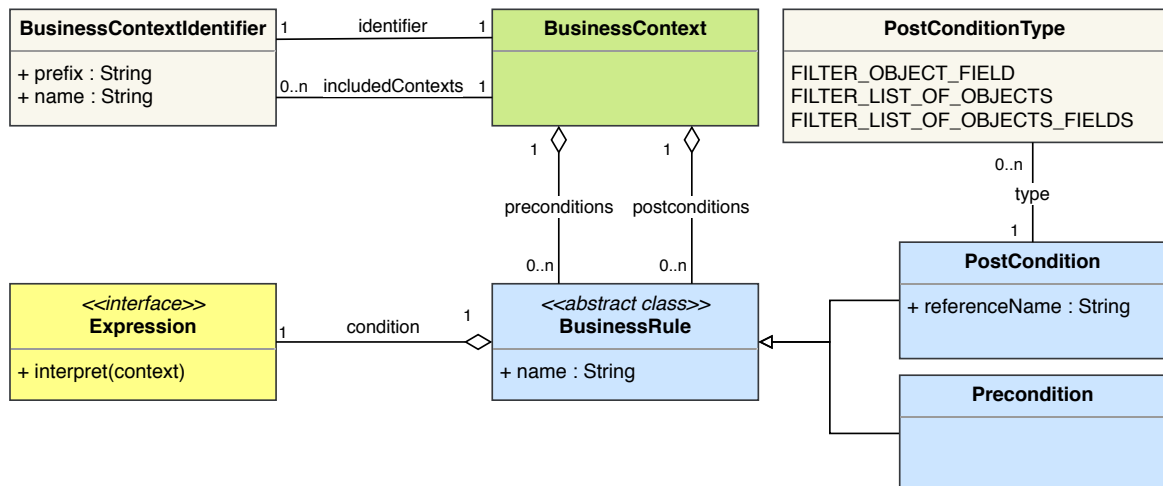
- `FILTER_OBJECT_FIELD` filtruje atribut objektu, který je výstupem operace.
- `FILTER_LIST_OF_OBJECTS` filtruje objekty v kolekci, která je výstupem operace.
- `FILTER_LIST_OF_OBJECTS_FIELDS` filtruje atributy objektů v kolekci, která je výstupem operace.

4.5 Metamodel byznysového kontextu

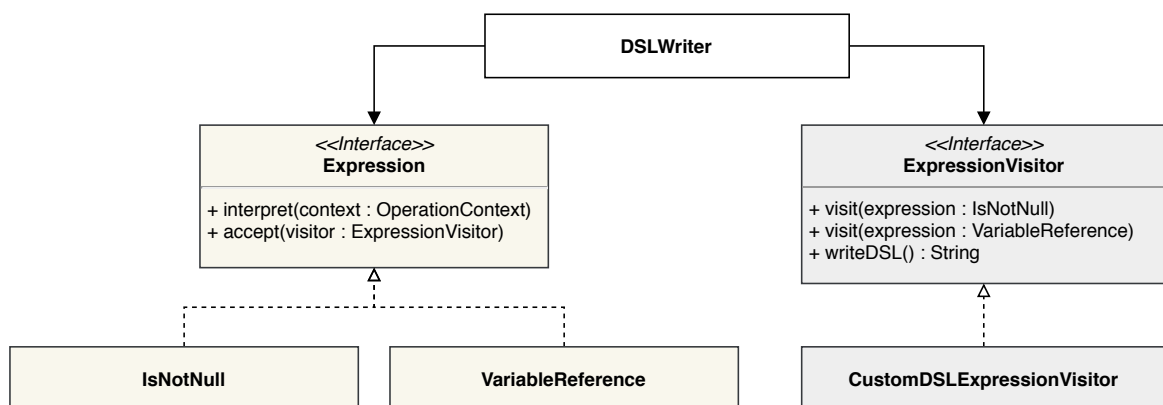
Z předchozího textu vyplývá podoba metamodelu byznysových pravidel, resp. byznysových kontextů. Kromě samotných logických výrazů musí pravidlo nést informace o tom, zda se jedná o precondition nebo post-condition, a také jeho identifikátor. Post-condition navíc potřebuje uložit informaci o jejím typu a názvu. Pravidla jsou uskupována do byznysových kontextů, z nichž každý má svůj unikátní identifikátor skládající se z prefixu a samotného jména a seznam rozšířených kontextů. Diagram tříd navrženého kontextu je znázorněn na obrázku 4.7.

4.6 Popis byznysových kontextů pomocí DSL

Přístup [ADDA](#) doporučuje popsat byznysová pravidla pomocí vlastního, na míru šitého, doménově specifického jazyka [14]. Pro účely frameworku bude popsán pomocí [DSL](#) celý byznysový kontext. Jak bylo popsáno v sekci 3.7, vlastnosti nástrojů Drools a JetBrains MPS, nejsou optimální pro dosažení vytyčených cílů. Pro účely frameworku je tedy nutné specifikovat vlastnosti, které by [DSL](#) mělo nést. Konkrétní podoba DSL bude přenechána na implementaci frameworku.



Obrázek 4.7: Diagram tříd metamodelu byznysového kontextu



Obrázek 4.8: Diagram tříd popisující využití vzoru Visitor pro zápis logických výrazů v *DSL*

Pro uložení kontextu z metamodelu do DSL, aby ho mohl vývojář či administrátor systému upravovat, je vzhledem k reprezentaci logických výrazů vhodný návrhový vzor *Visitor* [25]. Ten umožní převádět libovolně složité logické výrazy pomocí metody *double-dispatch*. Jeho volbou je zároveň zajištěna rozšiřitelnost frameworku pro libovolné DSL – bude stačit implementovat konkrétní visitor pro zvolený jazyk, aniž by bylo nutno zasahovat přímo do implementace frameworku. Princip použití vzoru Visitor je znázorněn na obrázku 4.8.

4.7 Organizace byznysových kontextů

Každá služba bude mít lokálně uložen popis byznysových kontextů, které se sémanticky vztahují k její doméně. Pro snazší přidělení byznysových kontextů ke službám bude v identifikátoru kontextu sloužit tzv. *prefix*. Kontexty se stejným prefixem pak budou spravovány výhradně jednou službou. Například kontexty služby spravující objednávky budou označeny prefixem *order*, zatímco kontexty služby zajišťující fakturaci budou označeny prefixem *billing*. Může nastat i situace, kdy jedna služba bude spravovat více prefixů.

4.7.1 Registr byznysových kontextů

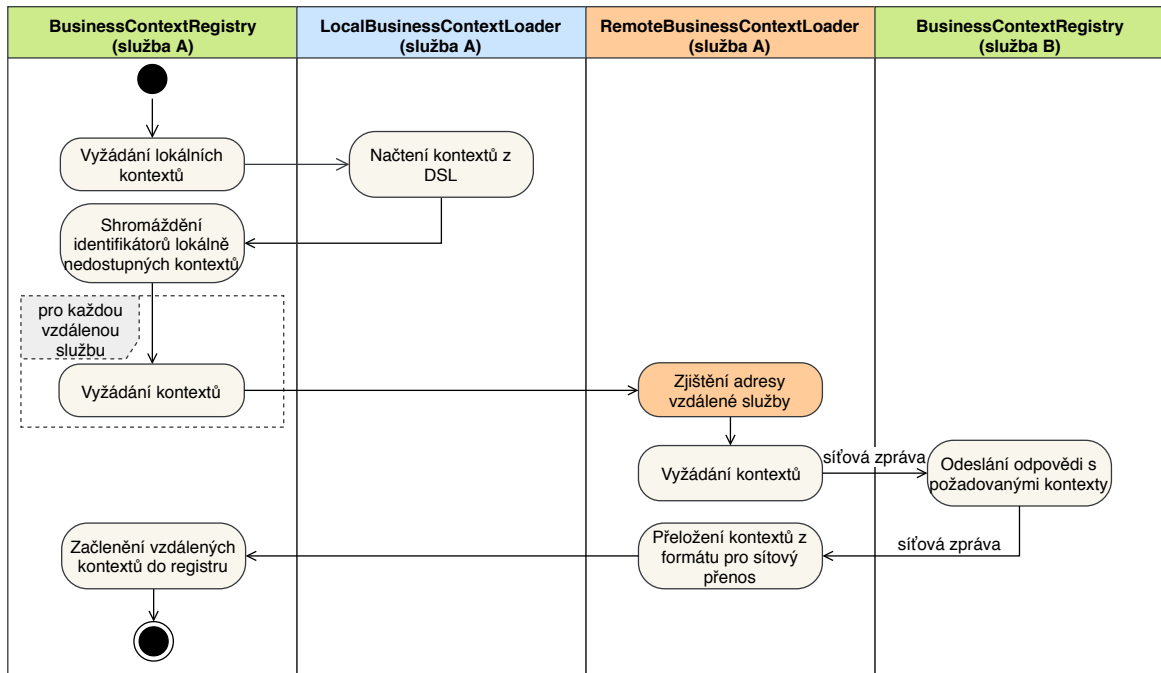
Cílem frameworku je soustředit byznysové kontexty na jedno místo, ze kterého budou automaticky distribuovány. Pro tento účel bude využit registr byznysových pravidel (*BusinessContextRegistry*), který bude mít za úkol kontexty načítat z DSL do metamodelu, stahovat lokálně nedostupné kontexty z ostatních služeb a načtené kontexty uchovávat pro použití při weavingu. Každá služba pak bude disponovat svým registrem. Při inicializaci kontextů spolu budou registry komunikovat a vyměňovat si sdílené kontexty.

4.7.2 Uložení kontextů

Byznysové kontexty popsané pomocí DSL mohou být v příslušné službě uloženy v souborech na disku či v databázi. Navrhovaný framework by na způsobu uložení neměl být závislý a o potřebné kroky pro načtení či případně uložení kontextu se postará konkrétní implementace. Pro tento účel je tedy vhodné, aby registr pracoval s nekonkrétními rozhraními, na jejichž implementaci nebude nijak záviset.

4.8 Inicializace byznysových kontextů

Při inicializaci byznysových kontextů jsou nejprve načteny lokálně dostupné kontexty popsané pomocí DSL. Po převedení kontextů z DSL do metamodelu je shromážděn seznam rozšířených kontextů a z nich jsou vybrány ty, které nejsou lokálně dostupné. Následně



Obrázek 4.9: Diagram procesu inicializace byznysových kontextů

jsou tyto vzdálené kontexty vyžádány od příslušných služeb a po obdržení jsou převedeny ze síťového formátu do metamodelu. Nakonec jsou sdílená pravidla rozšířených kontextů začleněna do kontextů, které od nich dědí. Celou inicializaci bude zastřešovat komponenta **BusinessContextRegistry**, která má znalost o všech subsystémech, které jsou k tomuto procesu potřeba. Tato komponenta implementuje návrhový vzor *Facade* [25]. Na obrázku 4.9 je znázorněn navržený proces inicializace.

4.9 Centrální správa byznysových kontextů

Vzhledem k nutnosti centralizovat správu byznysových kontextů se architektura **P2P** představená v sekci 3.8.2 nehodí. Při úpravě kontextů by totiž v systému mohly existovat najednou staré i nové verze byznysových pravidel, což je pro správnou funkci systému nepřijatelné. Framework tedy využije architektury klient-server s více servery. Byznysové kontexty budou podle prefixu přiděleny službám, které budou spravovat jejich aktuální a jediný stav a poskytovat je jiným službám.

4.9.1 Uložení rozšířeného pravidla

Při ukládání byznysového kontextu je potřeba změnu propagovat do všech ostatních kontextů, které od něj dědí. Při změně rozšířeného kontextu budou všechny služby, které ho

využívají, informovány pomocí nástroje pro centrální správu byznysových pravidel. Ten má informaci o všech závislostech v systému a zároveň zná i adresu všech služeb. Nevýhodou tohoto přístupu je zvýšená komunikační zátěž kvůli většímu objemu přenesených informací, stejný kontext je totiž potřeba rozeslat mezi více služeb. Při implementaci je nutno zvážit, zda je tato zátěž vůči absolutnímu objemu přenášených dat v systému významná. Bylo by vhodné vybrat vhodný přenosový formát, který minimalizuje dopad veškeré síťové komunikace týkající se distribuce byznysových pravidel.

4.9.2 Proces úpravy kontextu

Proces úpravy byznysového kontextu pomocí nástroje pro centrální administraci nejprve načte všechny byznysové kontexty všech služeb v systému. Následně zobrazí administrátorovi formulář pro úpravu pravidla. Pravidlo je pro účely formuláře převedeno z metamodelu do DSL. Po odeslání formuláře bude pravidlo převedeno zpět do metamodelu. Nástroj pro administraci poté analyzuje, na které služby bude mít změna pravidla dopad. Následně je s těmito službami zahájena transakce, při které v nich nesmí probíhat žádná byznysová operace. Když všechny ovlivněné služby zahájí transakci, je možno jim rozeslat novou podobu pravidla. Pokud vše proběhne v pořádku, je možno transakci dokončit a služby otevřít byznysovým transakcím. Pokud naopak některý z kroků transakce selže, je nutno informovat všechny zúčastněné služby o zrušení transakce a změnu inkriminovaného pravidla zrušit. Na obrázku A.1 je celý proces znázorněn. Proces pro uložení nového kontextu je analogický.

4.10 Architektura frameworku

V této sekci je popsána obecná architektura navrženého frameworku v rámci služby využívající klasickou třívrstvou architekturu [25], která se skládá z prezentační, aplikační a datové vrstvy. Každá z těchto vrstev může framework využívat – prezentační vrstva při validování vstupních polí formuláře, aplikační vrstva při aplikaci byznysových pravidel v byznysových operacích a datová vrstva při aplikaci post-conditions pro filtrování dat při jejich získávání z databáze.

Základem frameworku je komponenta `BusinessContextRegistry`, tedy registr byznysových kontextů, který je zodpovědný za inicializaci a uchovávání byznysových kontextů. Načítání kontextů lze rozdělit na lokální a vzdálené. Při načítání lokálně dostupných kontextů je potřeba získat DSL kontextu ze souboru či databáze a převést ho do metamodelu. K tomu bude využito rozhraní `LocalBusinessContextLoader`. Implementace rozhraní může být libovolná a záviset na použitém DSL či místu uložení pravidel. Naopak při načítání vzdálených kontextů je potřeba vyžádat kontexty od vzdálené služby. O to se postará třída `RemoteBusinessContextLoader`, která požadované kontexty zorganizuje podle prefixu a poté

pomocí rozhraní `RemoteLoaderClient` načte pravidla od jednotlivých služeb. Implementace rozhraní `RemoteLoaderClient` bude záviset na použité technologii a zajistí síťovou komunikaci a převod do a z formátu pro síťový přenos. Aby mohl framework poskytovat lokální byznysové kontexty dané služby ke stažení, musí zastřešit i serverovou funkcionalitu. K tomu slouží rozhraní `BusinessContextServer`. To bude využívat `BusinessContextRegistry`, ze kterého načte byznysové kontexty, které si vyžádá `RemoteLoaderClient`. Implementace serveru bude opět závislá na konkrétní technologii. Nakonec bude framework obsahovat sadu aspect weaverů, které umožní weaving byznysových pravidel do jednotlivých vrstev systému. Pro účely této práce bude framework poskytovat weavery pro využití v aplikační vrstvě pro weaving preconditions a post-conditions do byznysových operací. Architektura je zachycena na obrázku [A.2](#).

4.10.1 Service discovery

Aby framework mohl distribuovat byznysové kontexty mezi službami, musí služba vyžadující kontext znát adresu služby, od které ho vyžaduje. Adresy služeb mohou podléhat různým konfiguracím, které se mohou lišit systém od systému. Framework proto nesmí být závislý na způsobu, jakým se adresování služeb provádí. Nejlepším řešením je přenechat na uživateli frameworku, aby sám získal a předal adresy služeb ve chvíli, kdy je framework potřebuje – tedy ve chvíli, kdy je potřeba načíst lokálně nedostupné kontexty.

4.11 Shrnutí

V této kapitole byl popsán návrh frameworku pro centrální správu a automatickou distribuci byznysových pravidel v [SOA](#) na základě přístupu [ADDA](#). Nejprve byla formalizována doména byznysových pravidel v [SOA](#) do názvosloví [AOP](#). Dále byla diskutována podoba byznysových pravidel, jejich logických výrazů a jakým způsobem je lze zachytit v metamodelu a v [DSL](#). Kapitola dále popisuje organizaci kontextů a procesy, kterými budou distribuovány a spravovány. Nakonec byla shrnuta architektura frameworku.

Kapitola 5

Implementace prototypů knihoven

¹ Součástí zadání této práce je implementace prototypů knihoven pro framework navržený v kapitole 4 pro tři rozdílné platformy, z nichž jedna musí být *Java*. V této kapitole si popíšeme, jaké platformy jsme vybraly, a jakým způsobem byly prototypy knihoven implementovány. Součástí kapitoly je i stručná rešerše technologií, které byly použity pro dosažení vytyčených cílů.

² Jelikož vycházejí implementace knihoven pro všechny platformy ze stejného návrhu představeného v předchozí kapitole 4, popíšeme si kompletní implementaci pro jazyk Java a ostatní implementace shrneme komparativní metodou.

³ Pro splnění cílů bylo potřeba vyřešit také několik technických otázek, jako je přenos byznys kontextů mezi jednotlivými službami, výběr formátu pro zápis byznys kontextu, podpora aspektově orientovaného programování v daném programovacím jazyce a využití principu *runtime weavingu* a integrace knihoven do služeb, které je budou využívat.

5.1 Výběr použitých platform

⁴ Mimo jazyk Java, který byl určen zadáním, byla pro implementaci vybrána platforma jazyka *Python* a platforma *Node.js*, který slouží jako běhové prostředí pro jazyk *JavaScript*. Výběr byl proveden na základě aktuálních trendů ve světě softwarového inženýrství. Projekt GitHub [44] z roku 2014, který shrnuje statistiky repozitářů populární služby pro hosting a sdílení kódu GitHub⁵, určil jazyky JavaScript, Java a Python jako tři nejaktivnější. Služba GitHub následně sama zveřejnila statistiky za rok 2017 v rámci projektu Octoverse [30]

¹[Intended Delivery: Uvedení kapitoly a nastínění obsahu]

²[Intended Delivery: Nástin formátu kapitoly]

³[Intended Delivery: Technické implementační problémy]

⁴[Intended Delivery: Jaké jsme vybrali další platformy a proč]

⁵<https://github.com/>

a dospěla ke stejnému závěru, ačkoliv Python se umístil na druhé pozici na úkor jazyka Java. Podle průzkumu oblíbeného programátorského webového portálu Stack Overflow [53] se umístily tyto jazyky v první čtveřici nejpopulárnějších jazyků pro obecné použití.

5.2 Sdílení byznys kontextů mezi službami

⁶ Abychom mohli sdílet byznysové kontexty a jejich pravidla mezi jednotlivými službami, musíme mezi nimi vybudovat síťové komunikační kanály. Je tedy nutné zvolit protokol a jednotný formát, ve kterém spolu budou služby komunikovat. Tento formát musí být nezávislý na platformě a ideálně by měl být co nejefektivnější v rychlosti přenosu.

⁷ Pro síťovou komunikaci se nabízí využít architekturu *klient-server*, kterou jsme detailněji popsali v sekci 3.8.1. Při sdílení kontextů lze chápat *klienta* jako službu, která pro svou funkci vyžaduje získání kontextu definovaného v jiné službě. Jako *server* lze naopak chápat službu, která poskytne své kontexty jiné službě, která na nich závisí. Jinými slovy, klient si vyžádá potřebné kontexty od serveru a ten mu je v odpovědi zašle. Může se také stát, že některá služba bude zároveň serverem jedné služby, a zároveň klientem druhé služby.

5.2.1 Protocol Buffers

⁸ Pro přenos byznysových kontextů byl zvolen open-source formát *Protocol Buffers*⁹[56] vyvinutý společností Google¹⁰. Umožňuje explicitně definovat a vynucovat schéma dat, která jsou přenášena po síti, bez vazby na konkrétní programovací jazyk. Zároveň poskytuje obslužné knihovny pro naše vybrané platformy. Navíc je díky binární reprezentaci dat v přenosu velmi efektivní, oproti formátům jako je JSON nebo XML [38]. Tím splňujeme i požadavek ze sekce 4.9.1 na minimalizaci dopadu síťového provozu týkajícího se byznysových kontextů na výkon celého systému. Oproti protokolům *Apache Thrift*¹¹ a *Apache Avro*¹², které poskytují velmi srovnatelnou funkcionalitu, mají Protocol Buffers kvalitnější a lépe srozumitelnou dokumentaci.

Zdrojový kód 5.1: Část definice schématu zpráv byznys kontextů v jazyce Protobuffer

```
1 message PreconditionMessage {  
2     required string name = 1;
```

⁶[Intended Delivery: Formát pro přenos pravidel po síti a jeho výhody]

⁷[Intended Delivery: Architektura klient-server pro komunikaci kontextů mezi službami]

⁸[Intended Delivery: Proč jsme použili Protobuf]

⁹<https://developers.google.com/protocol-buffers/>

¹⁰<https://www.google.com/>

¹¹<https://thrift.apache.org/>

¹²<https://avro.apache.org/>

```

3     required ExpressionMessage condition = 2;
4 }
5
6 message PostConditionMessage {
7     required string name = 1;
8     required PostConditionTypeMessage type = 2;
9     required string referenceName = 3;
10    required ExpressionMessage condition = 4;
11 }
12
13 message BusinessContextMessage {
14     required string prefix = 1;
15     required string name = 2;
16     repeated string includedContexts = 3;
17     repeated PreconditionMessage preconditions = 4;
18     repeated PostConditionMessage postConditions = 5;
19 }

```

Zdrojový kód 5.1 znázorňuje část zápisu schématu zasílaných zpráv obsahující byznys kontexty ve formátu Protobuffer. Schéma zpráv pro výměnu kontextů popisuje strukturu metamodelu navrženého v sekci 4.5.

ExpressionMessage obsahuje jméno, atributy a argumenty **Expression**

ExpressionPropertyMessage je enumerace obsahující typy atributu **Expression**

PreconditionMessage obsahuje název a podmínku precondition pravidla

PostConditionMessage obsahuje název, typ, název odkazovaného pole a podmínku post-condition pravidla

PostConditionTypeMessage je enumerace obsahující typy post-condition pravidla

BusinessContextMessage obsahuje identifikátor, seznam rozšířených kontextů, seznam preconditions a post-conditions byznys kontextu

BusinessContextsMessage obaluje více byznys kontextů

5.2.2 gRPC

¹³ Pro realizaci architektury klient-server byl zvolen open-source framework gRPC¹⁴, který staví na technologii Protocol Buffers a poskytuje vývojáři možnost definovat detailní

¹³[Intended Delivery: Proč jsme použili gRPC]

¹⁴<https://grpc.io/>

schéma komunikace pomocí protokolu *RPC* [42]. Zdrojový kód 5.2 znázorňuje zápis serveru, který umožňuje svému klientovi volat metody `FetchContexts()`, `FetchAllContexts()` a `UpdateOrSaveContext()`.

Zdrojový kód 5.2: Definice služby pro komunikaci byznys kontextů pro gRPC

```
1  service BusinessContextServer {
2      rpc FetchContexts (BusinessContextRequestMessage)
3          returns (BusinessContextsResponseMessage) {}
4
5      rpc FetchAllContexts (Empty)
6          returns (BusinessContextsResponseMessage) {}
7
8      rpc UpdateOrSaveContext (BusinessContextUpdateRequestMessage)
9          returns (Empty) {}
10 }
```

FetchContexts() je metoda, která umožňuje klientovi získat kontexty, jejichž identifikátory zašle jako argument typu `BusinessContextRequestMessage`. V odpovědi pak obdrží dotazované kontexty a nebo chybovou hlášku, pokud kontexty s danými identifikátory nemá server k dispozici.

FetchAllContexts() dovoluje klientovi získat všechny dostupné kontexty serveru. Tato metoda je využívána pro administraci kontextů, kdy je potřeba získat všechny kontexty všech služeb, aby nad nimi mohly probíhat úpravy a analýzy.

UpdateOrSaveContext() slouží pro uložení nového či editovaného pravidla, které je zasláno v serializované podobě jako jediný argument typu `BusinessContextUpdateRequestMessage`.

5.3 Doménově specifický jazyk pro popis byznys kontextů

¹⁵ Ačkoliv není specifikace a vytvoření doménově specifického jazyka (*DSL*) hlavním úkolem této práce, pro ověření konceptu bylo nutné nadefinovat alespoň jeho zjednodušenou verzi a implementovat část knihovny, která bude umět jazyk zpracovat a sestavit z něj byznysový kontext v paměti programu.

¹⁶ Pro popis kontextů byl jako kompromis mezi jednoduchostí implementace a přívětivostí pro koncového uživatele zvolen univerzální formát Extensible Markup Language (*XML*) [10].

¹⁵[Intended Delivery: Popsat proč a jak jsme tvořili DSL]

¹⁶[Intended Delivery: Důvody pro výběr XML]

Tento jazyk umožňuje serializaci libovolných dat, přímočarý a formální zápis jejich struktury a také jejich snadné aplikační zpracování. Zároveň poskytuje relativně dobrou čitelnost pro člověka, ačkoliv speciálně vytvořené [DSL](#) by bylo jistě čitelnější.

¹⁷ Dokumenty [XML](#) se skládají z tzv. *entit*, které obsahují buď parsovaná nebo neparsovaná data. Parsovaná data se skládají z jednoduchých znaků reprezentujících prostý text a nebo speciálních značek, neboli *markup*, které slouží k popisu struktury dat. Naopak neparsovaná data mohou obsahovat libovolné znaky, které nenesou žádnou informaci o struktuře dat.

¹⁸ Vzhledem k tomu, že [XML](#) je volně rozšiřitelný jazyk a neklade meze v možnostech struktury dat, bylo potřeba jasně definovat a dokumentovat očekávanou strukturu dokumentu popisujícího byznys kontext. Pro jazyk [XML](#) existuje vícero možností jak schéma definovat [34], od jednoduchého formátu *DTD* až po komplexní formáty jako je *Schematron*, či *XML Schema Definition (XSD)*, který byl nakonec zvolen. Díky formálně definovanému schématu můžeme popis byznys kontextu automaticky validovat a vyvarovat se tak případných chyb.

¹⁹ Ve zdrojovém kódu 5.3 můžeme vidět příklad zápisu jednoduchého byznys kontextu s jednou precondition. Samotný zápis byznys kontextu je obsažen v kořenovém elementu `<businessContext>` a jeho název je popsán atributy `prefix` a `name`. Rozšířené kontexty jsou vyčteny v entitě `<includedContexts>`. Preconditions jsou definovány uvnitř entity `<preconditions>` a podobně jsou definovány `<postconditions>`. Obsažená data odpovídají navrženému metamodelu byznysového kontextu z kapitoly 4. Pro zápis podmínek jednotlivých preconditions a post-conditions byl zvolen opis Expression [AST](#). Toto rozhodnutí vychází z předpokladu, že lze vzhledem k povaze prototypu relaxovat podmínku na čitelnost zápisu pravidel ve prospěch jednoduššího zpracování.

²⁰ Podařilo se nám navrhnout přijatelný formát zápisu byznys kontextu a implementovat části knihoven, které umějí formát číst a zároveň vytvářet. Tím jsme dosáhli možnosti zapisovat kontexty bez ohledu na platformu služby, která je bude využívat. Zároveň tomuto formátu mohou snáze porozumět doménoví experti a mohou se tak zapojit do vývojového procesu.

Zdrojový kód 5.3: Příklad zápisu byznys kontextu v jazyce [XML](#)

```
1 <?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>
2 <businessContext prefix="user" name="createEmployee">
3   <includedContexts/>
```

¹⁷[Intended Delivery: Popis jak XML funguje]

¹⁸[Intended Delivery: Popis jaký formát jsme zvolili pro formální zápis schématu XML dokumentu]

¹⁹[Intended Delivery: Popis formátu]

²⁰[Intended Delivery: Shrnutí DSL]

```
4  <preconditions>
5    <precondition name="Cannot use hidden product">
6      <condition>
7        <logicalEquals>
8          <left>
9            <variableReference
10              objectName="product"
11              propertyName="hidden"
12              type="bool"/>
13          </left>
14          <right>
15            <constant type="bool" value="false"/>
16          </right>
17        </logicalEquals>
18      </condition>
19    </precondition>
20  </preconditions>
21  <postConditions/>
22 </businessContext>
```

5.4 Knihovna pro platformu Java

[TODO

- Popis business context registry
- Popis expression AST
- Popis tříd kolem business kontextu
- Popis XML parseru a generátoru
- Popis server a klient tříd pro obsluhu GRPC
- Popis weaveru
- Popis anotací pro AOP
- Návrhové vzory - builder pro kontexty a pravidla
- Návrhové vzory - visitor pro převod expression do xml
- Návrhové vzory - interpreter pro interpretaci pravidel

]

5.4.1 Popis implementace

Zdrojový kód 5.4: Označení operačního kontextu a jeho parametrů pomocí anotací Java knihovny

```
1 public class OrderService {
2
3     @BusinessOperation("order.create")
4     public Order create(
5         @BusinessOperationParameter("user") User user,
6         @BusinessOperationParameter("email") String email,
7         @BusinessOperationParameter("shippingAddress") Address shipping,
8         @BusinessOperationParameter("billingAddress") Address billing
9     ) { /* ... */ }
10 }
```

5.4.2 Použité technologie

Apache Maven ²¹ Pro správu závislostí a automatickou kompilaci a sestavování knihovny napsané v jazyce java byl zvolen projekt *Maven*²². Tento nástroj umožňuje vývojáři komfortně a centrálně spravovat závislosti jeho projektu včetně detailního popisu jejich verze. Dále také umožňuje definovat jakým způsobem bude projekt kompilován.

AspectJ ²³ Knihovna AspectJ přináší pro jazyk Java sadu nástrojů, díky kterým lze snadno implementovat koncepty aspektově orientovaného programování, zejména pak snadný zápis pointcuts a kompletní engine pro weaving aspektů.

[TODO

- Ukázka kódu knihovny

]

²¹[\[Intended Delivery: Správa závislostí a buildu projektu\]](#)

²²<https://maven.apache.org/>

²³[\[Intended Delivery: Proč AspectJ a co to umí\]](#)

JDOM 2 ²⁴ Knihovna JDOM 2²⁵ poskytuje kompletní sadu nástrojů pro čtení a zápis XML dokumentů. Implementuje specifikaci *Document Object Model* (DOM) [59], pomocí které lze programaticky sestavovat a číst XML dokumenty. Tuto knihovnu jsme využili pro serializaci a deserializaci DSL byznys kontextů popsaných v sekci 5.3.

5.5 Knihovna pro platformu Python

Knihovna pro platformu jazyka Python využívá jeho verzi 3.6. Pomocí nástroje *pip*²⁶ lze knihovnu nainstalovat a využívat jako python modul. Implementace odpovídá navržené specifikaci.

[TODO

- Srovnání řešení s knihovnou Java
- Problémy pythonu a jak byly vyřešeny
- Ukázka kódu knihovny
- Použité technologie
- Ukázka AOP v pythonu pomocí vestavěných dekorátorů
- Knihovna pro GRPC
- Popis weaveru

]

5.5.1 Srovnání s knihovnou pro platformu Java

Weaving Největším rozdílem oproti knihovně pro jazyk Java je implementace weavingu byznys kontextů. Jazyk Python totiž díky své dynamické povaze a vestavěnému systému dekorátorů umožňuje aplikovat principy aspektově orientovaného programování bez potřeby dodatečných knihoven či technologií. Zdrojový kód 5.5 znázorňuje definici a použití dekorátoru `business_operation`. Jak můžeme vidět, je potřeba dekorátoru předat samotný weaver, narozdíl od implementace v Javě, kdy se o předání weaveru postará dependency injection container.

²⁴[Intended Delivery: Proč jdom2 a co to umí]

²⁵<http://www.jdom.org/>

²⁶<https://pip.pypa.io/en/stable/>

Zdrojový kód 5.5: Příklad použití dekorátorů pro weaving v jazyce Python

```
1 def business_operation(name, weaver):
2     def wrapper(func):
3         def func_wrapper(*args, **kwargs):
4             operation_context = OperationContext(name)
5             weaver.evaluate_preconditions(operation_context)
6             output = func(*args, **kwargs)
7             operation_context.set_output(output)
8             weaver.apply_post_conditions(operation_context)
9             return operation_context.get_output()
10
11         return func_wrapper
12
13     return wrapper
14
15
16 weaver = BusinessContextWeaver()
17
18
19 class ProductRepository:
20
21     @business_operation("product.listAll", weaver)
22     def get_all(self) -> List[Product]:
23         pass
24
25     @business_operation("product.detail", weaver)
26     def get(self, id: int) -> Optional[Product]:
27         pass
```

5.5.2 Použité technologie

5.6 Knihovna pro platformu Node.js

Knihovna pro platformu *Node.js* byla implementována v jazyce JavaScript, konkrétně jeho verzi ECMAScript 6.0 [21]. Implementace odpovídá specifikaci návrhu, umožňuje instalaci pomocí balíčkovacího nástroje a snadnou integraci do kódu výsledné služby.

5.6.1 Srovnání s knihovnou pro platformu Java

Weaving Podobně jako v knihovně pro jazyk Python, i v knihovně pro Node.js byl oproti knihovně pro jazyk Java největší rozdíl v implementaci weavingu. Platforma Node.js totiž nedisponuje žádnou kvalitní knihovnou, která by ulehčila využití konceptů aspektově orientovaného programování. Jazyk JavaScript je ale velmi flexibilní a lze tedy pro dosažení požadované funkcionality využít podobně jako pro jazyk Python princip dekorátoru jako funkce. Ačkoliv zápis dekorátoru není příliš elegantní a kvůli použití konceptu *Promise* [31] poněkud složitější, podařilo se weaving implementovat spolehlivě. Ukázku můžeme vidět ve zdrojovém kódu 5.6. Funkce `register()` obsahuje logiku pro registraci uživatele, která může obsahovat například uložení entity do databáze a odeslání registračního e-mailu. Při exportování funkce z Node.js modulu využijeme `wrapCall()`, která má za úkol dekorovat předanou funkci `func`, před jejím zavoláním vyhodnotit preconditions a po zavolání aplikovat post-conditions. Díky tomu bude každý kód, který využije modul definující funkci pro registraci uživatele, pracovat s dekorovanou funkcí.

Využití gRPC Narozdíl od implementací knihovny v jazycích Java a Python umí knihovna obsluhující gRPC fungovat i bez předgenerovaného kódu. To poněkud usnadnilo práci při serializaci byznys kontextů do přenosového formátu i při deserializaci a ukládání kontextů do paměti. Úspora kódu je ale na úkor typové kontroly a tak může být kód náchylnější na lidskou chybu.

Zdrojový kód 5.6: Příklad dekorace funkce v JavaScriptu pro aplikaci weavingu

```
1  const weaver = new BusinessContextWeaver(registry)
2
3  function register(name, email) {
4    return new Promise((resolve, reject) => {
5      // ...
6    })
7  }
8
9  function wrapCall(context, func) {
10   return new Promise((resolve, reject) => {
11     try {
12       weaver.evaluatePreconditions(context)
13       resolve()
14     } catch (error) {
15       reject(error.getMessage())
16     }
17   })
18 }
```

```

18     .then(_ => func())
19     .then(result => {
20         context.setOutput(result)
21         weaver.applyPostConditions(context)
22         return new Promise(
23             (resolve, reject) => resolve(context.getOutput())
24         )
25     })
26 }
27
28 exports.register = (name, email) => {
29     const context = new BusinessOperationContext('user.register')
30     context.setInputParameter('name', name)
31     context.setInputParameter('email', email)
32     return wrapCall(context, () => register(name, email))
33 }

```

5.6.2 Použité technologie

²⁷ Podobně jako byl použit nástroj Maven pro knihovnu v jazyce Java byl využit balíčkovací nástroj *NPM*, který je předinstalován v běhovém prostředí *Node.js*. Tento nástroj ale nedisponuje příliš silnou podporou pro správu automatických sestavení knihovny a v základním nastavení není ani příliš efektivní pro správu závislostí. Proto bylo nutné využít dodatečné knihovny, jmenovitě *Yarn*²⁸, *Babel*²⁹ a *Rimraf*³⁰.

5.7 Systém pro centrální správu byznys pravidel

[TODO

- Jak funguje systém
- Přehled, detail a úprava pravidla
- `BusinessContextEditor`
- Uložení pravidla

]

²⁷[\[Intended Delivery: Použité technologie pro vývoj knihovny\]](#)

²⁸<https://yarnpkg.com/en/>

²⁹<https://babeljs.io/>

³⁰<https://github.com/isaacs/rimraf>

5.7.1 Popis implementace

BusinessContextEditor

5.7.2 Detekce a prevence potenciálních problémů

³¹ Jak jsme již naznačili v sekci 4.2, při úpravě nebo vytváření nového byznysového kontextu je potřeba detekovat případné chyby, abychom změnou neuvedli systém do nefunkčního stavu. Kromě syntaktických chyb, které jsou detekovány automaticky pomocí definovaného schématu, je potřeba věnovat pozornost také sémantickým chybám. Závažné chyby, které mohou být způsobeny rozšiřováním kontextů, jsou

- a) Neunikátní identifikátory byznysových pravidel
- b) Závislosti na neexistujících kontextech
- c) Cyklus v grafu závislostí kontextů
- d) Vzájemná kontradikce preconditions

³² Kontexty a jejich vzájemné závislosti lze vnímat jako orientovaný graf, kde uzel grafu reprezentuje kontext a orientovaná hrana reprezentuje závislost mezi kontexty. Směr závislosti můžeme pro naše účely zvolit libovolně.

³³ Detekce závislosti na neexistujících kontextech je relativně jednoduchým úkolem. Nejprve nastavíme seznam existujících kontextů a následně procházíme jednotlivé hrany grafu kontextů a ověřujeme, zda existují oba kontexty náležící dané hraně. Při zvolení vhodných datových struktur lze dosáhnout lineární složitosti v závislosti na počtu hran grafu.

³⁴ Pokud by závislosti v orientovaném grafu vytvořily cyklus, tedy kruhovou závislost kontextů, kterou jsme představili v sekci 4.2, docházelo by při inicializaci služeb obsahující daná pravidla k zacyklení. Tomu můžeme předejít detekcí cyklů v grafu. Pro tuto detekci byl zvolen Tarjanův algoritmus [54] pro detekci souvislých komponent, který disponuje velmi dobrou lineární složitostí, závislou na součtu počtu hran a počtu uzlů grafu.

³⁵ V případě, že zápis nového či praveného kontextu obsahuje syntaktické chyby a nebo způsobuje některou z detekovaných chyb v závislostech, administrace nedovolí uživateli změnu provést a vypíše informativní chybovou hlášku.

³¹[Intended Delivery: Problémy způsobené rozšiřováním kontextů]

³²[Intended Delivery: Chápání kontextů jako grafu]

³³[Intended Delivery: Detekce závislostí na neexistujících kontextech]

³⁴[Intended Delivery: Detekce cyklů v grafu závislostí]

³⁵[Intended Delivery: Reakce na chyby]

5.7.3 Použité technologie

Uživatelské rozhraní Pro komfortní obsluhu centrální administrace bylo naprogramováno uživatelské rozhraní pomocí technologií Hypertext Markup Language [4] (HTML) a Cascading Style Sheets [7] (CSS), které jsou již několik desetiletí standardem pro tvorbu webových uživatelských rozhraní. Detail byznysového kontextu v uživatelském rozhraní můžeme vidět na snímku A.4 a formulář pro úpravu na snímku A.3.

[TODO]

- Uživatelské rozhraní v HTML + CSS
- Jak jsme použili Spring Boot a jeho MVC k nastavení základní webové aplikace
- Dependency Injection Container
- Využití knihovny pro platformu Java

]

5.8 Shrnutí

³⁶ Na základě navrženého frameworku jsme implementovali prototypy knihoven pro platformy jazyka Java, jazyka Python a frameworku Node.js. Knihovny umožňují centrální správu a automatickou distribuci byznysových kontextů, včetně vyhodnocování jejich pravidel, za použití aspektově orientovaného přístupu. Dále jsme specifikovali DSL, kterým lze popsat byznys kontext nezávisle na platformě.

³⁷ Veškerý kód je hostován v centrálním repozitáři ve službě GitHub³⁸ a je zpřístupněn pod open-source licencí MIT [58]. Knihovny pro jednotlivé platformy tedy lze libovolně využívat, modifikovat a šířit.

³⁹ Prototypy knihoven lze využít k implementaci služeb, potažmo k sestavení funkčního systému, jak si ukážeme v následující kapitole.

³⁶[Intended Delivery: Dosáhli jsme vytyčených cílů implementace]

³⁷[Intended Delivery: Hostování na GitHubu + licence]

³⁸ <https://github.com/klimesf/diploma-thesis>

³⁹[Intended Delivery: Validaci a verifikaci si ještě ukážeme]

Kapitola 6

Verifikace a validace

V této kapitole si popíšeme, jaký způsobem byla provedena verifikace naprogramovaných knihoven pomocí jednotkových a integračních testů [37] a také jak byly knihovny nasazeny při vývoji ukázkového systému. Tím zároveň zvalidujeme koncept frameworku a shrneme výhody a nevýhody jeho použití.

6.1 Testování prototypů knihoven

Prototypy knihoven, jejichž implementaci jsme popsali v kapitole 5, byly důkladně otestovány pomocí sady jednotkových a integračních testů a tím byla verifikována jejich správná funkcionálnost. Způsob testování knihoven si popíšeme zvlášť pro každou platformu.

V rámci konceptu *continuous integration* (CI) [28] byl kód po celou dobu vývoje verzován systémem Git¹, zasílán do centrálního repozitáře a s pomocí nástroje Travis CI² bylo automaticky spouštěno jeho sestavení a otestování. Systém zároveň okamžitě informoval vývojáře o výsledcích. To umožnilo v krátkém časovém horizontu identifikovat konkrétní změny v kódu, které do programu vnesly chybu. Tím byla snížena pravděpodobnost regrese a dlouhodobě se zvýšila celková kvalita kódu.

6.1.1 Platforma Java

Prototyp knihovny pro platformu jazyka Java byl testován pomocí nástroje JUnit³, který poskytuje veškerou potřebnou funkcionálnost pro jednotkové i integrační testování. Všechny testy byly spouštěny automaticky při sestavování knihovny pomocí nástroje Maven⁴.

¹<https://git-scm.com/>

²<https://travis-ci.org/>

³<https://junit.org/junit4/>

⁴<https://maven.apache.org/>

Zdrojový kód 6.1: Příklad jednotkového testu knihovny pro jazyk Java s využitím nástroje JUnit 4

```
1  import org.junit.Assert;
2  import org.junit.Test;
3
4  public class BusinessContextWeaverTest {
5
6      /* ... */
7
8      @Test
9      public void test() {
10         BusinessContextWeaver evaluator =
11             new BusinessContextWeaver(createRegistry());
12         BusinessOperationContext context =
13             new BusinessOperationContext("user.create");
14
15         context.setOutput(new User(
16             "John Doe",
17             "john.doe@example.com"
18         ));
19
20         evaluator.applyPostConditions(context);
21
22         User user = (User) context.getOutput();
23         Assert.assertEquals("John Doe", user.getName());
24         Assert.assertNull(user.getEmail());
25     }
26 }
```

Ve zdrojovém kódu 6.1 můžeme vidět jednotkový test třídy `BusinessContextWeaver` ověřující, že byly správně aplikovány post-conditions daného byznys kontextu, konkrétně že bylo správně zakryto pole `email` objektu `user`. Anotace `@Test` metody `test()` značí, že metoda obsahuje *test case* a framework JUnit zajistí, že bude spuštěna a vyhodnocena. Statické metody třídy `Assert` ověří, zda uživateli zůstalo vyplněno jméno, ale emailová adresa ne.

6.1.2 Platforma Python

Prototyp knihovny pro platformu jazyka Python byl testován pomocí nástroje `unittest`⁵, inspirovaného nástrojem JUnit. Ačkoliv jméno obou nástrojů nasvědčuje, že slouží zejména pro jednotkové testy, lze je plně využít i pro integrační testy.

Zdrojový kód 6.2: Příklad jednotkového testu knihovny pro jazyk Python s využitím nástroje Unittest

```
1 import unittest
2 from business_context.identifier import Identifier
3
4
5 class IdentifierTest(unittest.TestCase):
6     def test_split(self):
7         identifier = Identifier("auth", "loggedIn")
8         self.assertEqual("auth", identifier.prefix)
9         self.assertEqual("loggedIn", identifier.name)
10
11     def test_single(self):
12         identifier = Identifier("auth.loggedIn")
13         self.assertEqual("auth", identifier.prefix)
14         self.assertEqual("loggedIn", identifier.name)
15
16     def test_str(self):
17         identifier = Identifier("auth.loggedIn")
18         self.assertEqual('auth.loggedIn', identifier.__str__())
```

Ve zdrojovém kódu 6.2 je příklad jednotkového testu třídy `Identifier` se třemi metodami ověřujícími jeho správnou funkcionalitu. Funkce `test_split()` ověřuje, zda konstruktor správně přijímá dva argumenty, kde první z nich je prefix identifikátoru a druhý je jméno identifikátoru. Funkce `test_single()` naopak ověřuje, zda konstruktor správně přijímá jeden argument a rozdělí ho na prefix a jméno identifikátoru. Nakonec funkce `test_str()` ověřuje správnou funkcionalitu převedení identifikátoru na textový řetězec.

6.1.3 Platforma Node.js

Jelikož tendence ve světě moderního JavaScriptu je vytvářet knihovny s co nejmenším polem působnosti, které jdou kombinovat do většího celku, byl prototyp knihovny pro platformu Node.js testován pomocí kombinace několika nástrojů. Spouštění testů obstarává

⁵<https://docs.python.org/3/library/unittest.html>

knihovna *Mocha*⁶, zatímco o ověřování a zápis testů ve stylu *Behaviour Driven Development* (BDD) [51] se stará knihovna *Chai*⁷.

Zdrojový kód 6.3: Příklad jednotkového testu knihovny pro platformu Node.js s využitím nástroje Mocha a Chai

```
1  const chai = require('chai');
2
3  // Imports ...
4
5  chai.should();
6
7  describe('IsNotNull', () => {
8    describe('#interpret', () => {
9      it('evaluates if the argument is null', () => {
10        const ctx = new BusinessOperationContext('user.create')
11        let expression = new IsNotNull(new Constant(
12          true,
13          ExpressionType.BOOL
14        ))
15        let result = expression.interpret(ctx)
16        result.should.equal(true)
17
18        expression = new IsNotNull(new Constant(
19          null,
20          ExpressionType.VOID
21        ))
22        result = expression.interpret(ctx)
23        result.should.equal(false)
24      })
25    })
26
27    // Other tests ...
28  })
```

Zdrojový kód 6.3 znázorňuje použití knihoven k ověření správné funkcionality výrazu `IsNotNull`. Konkrétně je nejprve zkonstruován s konstantním argumentem typu `boolean` s hodnotou `true` a je ověřeno, že výraz se vyhodnotí jako `true`. Následně je zkonstruován výraz, kterému je předán argument `null` a je ověřeno, že výraz se vyhodnotí jako `false`.

⁶<https://mochajs.org/>

⁷<http://www.chaijs.com/>

6.2 Případová studie: e-commerce systém

Abychom mohli navržený a implementovaný framework pro centrální správu a automatickou distribuci byznys pravidel verifikovat v praxi a validovat jeho myšlenku, bylo nutné vyzkoušet jeho nasazení při vývoji aplikace. Pro tento účel vznikla v rámci této práce případová studie na fiktivním ukázkovém e-commerce systému využívající architekturu orientovanou na služby. Na tomto příkladě demonstrujeme schopnost frameworku poradit si s průřezovými problémy v rámci SOA a také jeho schopnost plnit požadavky identifikované v sekci 2.4.

6.2.1 Use-cases

Pro ukázkový systém bylo vymodelováno třináct případů užití (z anglického *Use case* (UC) [6]), jejich přehled je v tabulce 6.1.

#	Use-case
UC01	Nepřihlášený uživatel si může vytvořit zákaznický účet
UC02	Zákazník může prohlížet produkty
UC03	Zákazník může vkládat produkty do košíku
UC04	Zákazník může vytvořit objednávku
UC05	Skladník si může prohlížet produkty
UC06	Skladník může do systému zadávat nové produkty
UC07	Skladník může upravovat u produktů stav skladových zásob
UC08	Skladník si může zobrazovat objednávky
UC09	Skladník může upravovat stav objednávek
UC10	Administrátor si může prohlížet objednávky
UC11	Administrátor může upravovat cenu produktů
UC12	Administrátor může vytvářet uživatele (skladníky)
UC13	Administrátor může mazat uživatele (skladníky i zákazníky)

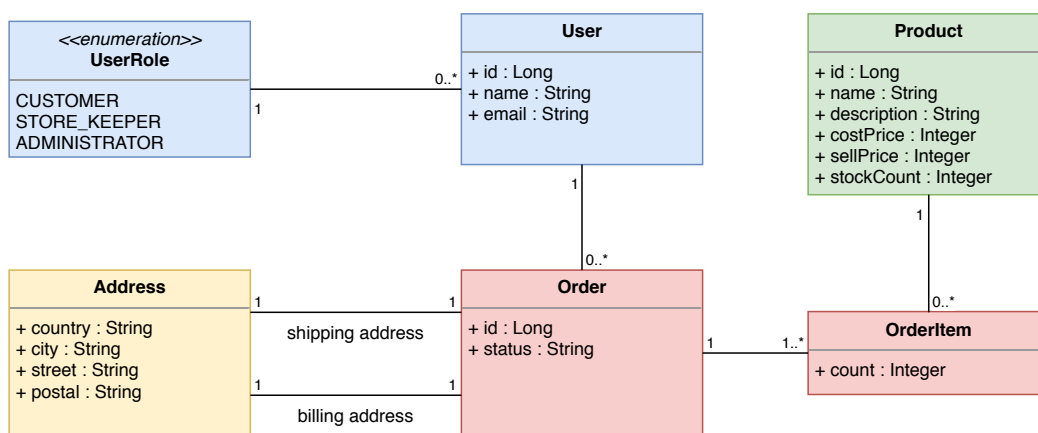
Tabulka 6.1: Přehled use-cases ukázkového e-commerce systému

6.2.2 Model systému

Na obrázku 6.1 můžeme vidět diagram tříd reprezentujících kompletní doménový model ukázkového systému.

- **UserRole** reprezentuje uživatelskou roli v systému.
- **User** je entita odpovídající uživateli, ať už zákazníkovi, či zaměstnanci.

- **Product** popisuje konkrétní produkt v nabídce společnosti a jeho nákupní a prodejní cenu.
- **Order** odpovídá objednávce, má vazbu na dodací a fakturační adresu a také na položky objednávky.
- **OrderItem** reprezentuje položku objednávky a uchovává údaje o počtu objednaných kusů produktu.
- **Address** je entita popisující dodací či fakturační adresu.



Obrázek 6.1: Diagram tříd modelu ukázkového e-commerce systému

Tento model je využíván v každé ze služeb. Nicméně, ne každá služba využije všechny jeho entity, ale pouze jejich podmnožinu, kterou potřebuje ke svojí práci.

6.2.3 Byznysová pravidla a kontexty

V tabulce 6.2 je výčet všech dvaceti byznysových pravidel, která byla vymodelována pro ukázkovou aplikaci. V tabulce kromě identifikátoru a popisu byznysového pravidla vidíme, na které užité případy se pravidlo aplikuje, a jaký je typ pravidla (*pre* pro precondition, *post* pro post-condition).

Dále jsou v tabulce 6.3 vypsány všechny byznysové kontexty v ukázkové aplikaci. Některé z nich jsou konkrétní a jsou namapovány na jeden nebo více UC, jiné jsou abstraktní a slouží ostatní kontexty je rozšiřují. Prefixy byly vybrány na základě byznysové domény, ke které se kontext vztahuje, stejně jako jsou podle domén děleny i jednotlivé služby systému.

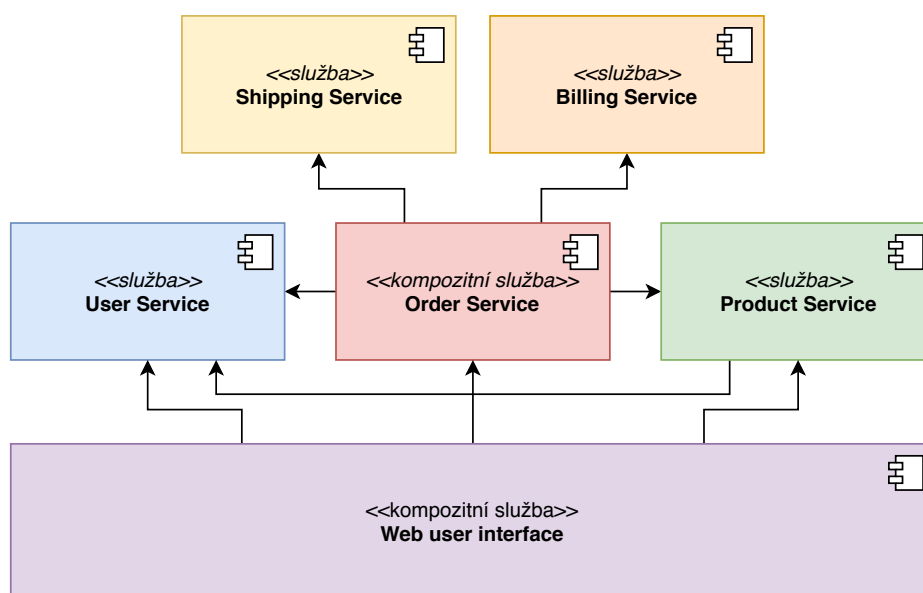
Na obrázku A.5 je vizualizována hierarchie byznysových kontextů v ukázkovém systému, jejich vazba na UC a také byznysová pravidla, která se v kontextech aplikují.

#	Use-cases	Pravidlo	Typ
BR01	UC01	Uživatel nesmí být přihlášený	pre
BR02	UC02, UC03	Uživatel nesmí zobrazovat ani manipulovat s produkty, které nejsou aktivní	post
BR03	UC02 až UC04	Uživatel nesmí u produktu vidět nákupní cenu, pouze výslednou cenu	post
BR04	UC04	Uživatel musí řádně vyplnit doručovací adresu (č.p., ulice, město, PSČ, stát)	pre
BR05	UC04	Uživatel musí řádně vyplnit fakturační adresu (č.p., ulice, město, PSČ, stát)	pre
BR06	UC01, UC04	Zákazník musí mít vyplněnou emailovou adresu	pre
BR07	UC04	Položky objednávky musí mít počet kusů větší než 0	pre
BR08	UC04	Položky objednávky musí mít počet kusů menší, než je aktuální stav skladových zásob produktu	pre
BR09	UC04	Stát musí být v seznamu zemí, do kterých firma doručuje	pre
BR10	UC04	Zákazník musí být přihlášen	pre
BR11	UC05 až UC09	Skladník musí být do systému přihlášen a mít roli "Skladník"	pre
BR12	UC05	Skladník u produktu nesmí vidět nákupní cenu, pouze výslednou cenu	post
BR13	UC06	Produkt musí mít jméno s délkou >5	pre
BR14	UC07	Stav zásob produktů musí být číslo větší nebo rovno 0	pre
BR15	UC08	Skladník nesmí vidět celkový součet cen objednávek	post
BR16	UC09	Stav objednávky musí být pouze "přijato", "expedováno" a "doručeno"	pre
BR17	UC10 až UC13	Administrátor musí být do systému přihlášen a mít roli "Administrátor"	pre
BR18	UC11	Výsledná cena produktu musí být větší než jeho nákupní cena	pre
BR19	UC12	Skladník musí mít jméno delší než 2 znaky	pre
BR20	UC12	Skladník musí mít emailovou adresu v platném formátu	pre

Tabulka 6.2: Přehled byznysových pravidel ukázkového e-commerce systému

Identifikátor	Use-cases	Byznysová pravidla
auth.adminLoggedIn	-	BR17
auth.employeeLoggedIn	-	BR11
auth.userLoggedIn	-	BR10
billing.correctAddress	-	BR05
order.addToBasket	UC03	BR02, BR08, BR10
order.changeState	UC09	BR04, BR05, BR06, BR08, BR09, BR11, BR16
order.create	UC04	BR03, BR04, BR05, BR06, BR07, BR08, BR09, BR10, BR16
order.listAll	UC08, UC10	BR11, BR15
order.valid	-	BR04, BR05, BR06, BR09, BR16
product.buyingPrice	-	BR03
product.changePrice	UC11	BR17, BR18
product.changeStock	UC07	BR08, BR11, BR14
product.create	UC06	BR10, BR11, BR13
product.hidden	-	BR02
product.listAll	UC02, UC05	BR02, BR03, BR12
product.stock	-	BR08
shipping.correctAddress	-	BR04, BR09
user.createCustomer	UC01	BR01, BR06
user.createEmployee	UC12	BR06, BR17, BR19, BR20
user.delete	UC13	BR17, BR21
user.validEmail	-	BR06

Tabulka 6.3: Přehled byznysových kontextů ukázkového e-commerce systému



Obrázek 6.2: Diagram komponent ukázkového e-commerce systému

6.2.4 Služby

Na obrázku 6.2 jsou zobrazeny komponenty systému a jejich vzájemné závislosti. Pro ověření schopnosti podporovat více platforem byly pro implementaci systému využity jazyky Java, Python a JavaScript v kombinaci s běhovým prostředím Node.js. Komunikace služeb probíhá pomocí [REST API](#) využívající formát [JSON](#). Specifikace jednotlivých rozhraní služeb není pro tuto kapitolu podstatná a proto se jí nebudeme dále věnovat. Pro demonstrativní účely byly síťové adresy nastaveny přímo v kódu jednotlivých služeb. Nicméně, navržený framework nevynucuje tento přístup, a tudíž by složitější způsob *service discovery* nebylo problém do systému integrovat.

Billing service Služba *Billing service* má na starosti funkcionalitu týkající se fakturace objednávek a byla implementována v jazyce Java s použitím frameworku Spring Boot⁸.

Order service Kompozitní služba *Order service* sloužící pro vytváření a správu objednávek byla implementována v jazyce Java a její [API](#) bylo sestaveno za použití frameworku Spring Boot, jak můžeme vidět ve zdrojovém kódu 6.4, kde je ukázka obsluhy požadavků na výpis zboží v košíku uživatele.

Zdrojový kód 6.4: Ukázka využití frameworku Spring Boot pro účely Order service

```
1 @RestController
```

⁸<https://projects.spring.io/spring-boot/>

```
2 public class ShoppingCartController {
3
4     /* ... */
5
6     @GetMapping("/shopping-cart")
7     public ResponseEntity<?> listShoppingCart() {
8         List<ShoppingCartItem> shoppingCartItems = shoppingCartFacade
9             .listShoppingCartItems();
10        return new ResponseEntity<>(
11            new ListShoppingCartItemsResponse(
12                shoppingCartItems.size(),
13                shoppingCartItems
14            ),
15            HttpStatus.OK
16        );
17    }
18
19 }
```

Product service Služba *Product service* realizuje UC týkající se prohlížení a administrací nabízených produktů a jejich skladových zásob. Služba byla implementována v jazyce Python. Pro vytvoření REST API služby byl využit populární light-weight framework *Flask*⁹. Ve zdrojovém kódu 6.5 můžeme vidět použití tohoto frameworku pro obsluhu požadavku na výpis všech produktů.

Zdrojový kód 6.5: Ukázka využití frameworku Flask pro účely Product service

```
1 from flask import Flask, jsonify
2
3 app = Flask(__name__)
4 product_repository = ProductRepository()
5
6 @app.route("/")
7 def list_all_products():
8     result = []
9     for product in product_repository.get_all():
10         result.append({
11             'id': product.id,
12             'sellPrice': product.sellPrice,
13             'name': product.name,
```

⁹<http://flask.pocoo.org/>


```

14         'description': product.description
15     })
16     return jsonify(result)

```

Shipping service Služba *Shipping service* má na starosti funkcionalitu týkající se odesílání objednávek a byla implementována v jazyce Java s použitím frameworku Spring Boot.

User service Služba *User service* realizující funkcionalitu týkající se uživatelských účtů byla implementována v jazyce JavaScript na platformě Node.js s použitím frameworku Express¹⁰. Ve zdrojovém kódu 6.6 je ukázka mapování controllerů na jednotlivé metody URL `/users`.

Zdrojový kód 6.6: Ukázka využití frameworku Express.js pro účely User service

```

1 module.exports = app => {
2     const userController = require('../controllers/userController')
3
4     app.route('/users')
5         .get(userController.listUsers)
6         .post(userController.register)
7
8     app.route('/users/:userId')
9         .get(userController.getUser)
10 }

```

Webové uživatelské rozhraní Služba, která slouží uživatelům ukázkového systému jako webové uživatelské rozhraní, byla implementována v jazyce Java s použitím frameworku Spring Boot. Na snímku A.6 je vidět UI ukázkového systému, konkrétně informování uživatele o tom, že se nepodařilo přidat produkt do košíku, protože bylo porušeno byznysové pravidlo – košík nesmí obsahovat více než 10 položek.

Centrální správa byznysových pravidel Do ukázkového systému byl nasazen také systém pro centrální správu byznysových kontextů, který je popsán v sekci 5.7. Systém byl napojen na všechny služby systému, kromě webového UI, a bylo úspěšně prokázáno, že lze za běhu systému dynamicky upravovat byznysové kontexty, resp. jejich byznysová pravidla.

¹⁰<https://expressjs.com/>

Běhové prostředí služeb Pro jednoduché spuštění celého ukázkového systému byla využita technologie Docker [40], která umožňuje vytvořit virtuální běhové prostředí pro aplikaci pomocí kontejnerizace využívající virtualizaci nad operačním systémem. Uživatel si nadefinuje tzv. *image*, který se skládá z jednotlivých vrstev. Základní vrstvou je operační systém, dalšími mohou být jednotlivé knihovny instalované do systému. Příklad definice image pomocí technologie Docker můžeme vidět ve zdrojovém kódu 6.7. Konkrétně se jedná o definici image, který rozšiřuje oficiální image `library/node:9.11.1`¹¹ stavějící nad operačním systémem *Linux*¹², a přidává vrstvy s prototypem knihovny našeho frameworku pro platformu Node.js.

Zdrojový kód 6.7: Ukázka zápisu Docker image obsahující knihovnu pro platformu Node.js

```
1 FROM library/node:9.11.1
2
3 WORKDIR /usr/src/framework
4 COPY ./nodejs/business-context ./business-context
5 COPY ./nodejs/business-context-grpc ./business-context-grpc
6 COPY ./proto ./proto
7
8 RUN cd ./business-context \
9     && yarn install \
10    && yarn link \
11    && npm run-script build \
12    && cd ../business-context-grpc \
13    && yarn install \
14    && yarn link business-context-framework \
15    && yarn link \
16    && npm run-script build
```

Spouštění služeb Pro samotné spuštění byla využita funkce *Compose*, která umožňuje definovat a spouštět více-kontejnerové aplikace. Ve zdrojovém kódu 6.8 můžeme vidět zápis Order service. Pro její image je použit `filipklimes-diploma/example-order-service`. V sekci `ports` deklarujeme, že služba má mít z vnějšku přístupný port 5501, na kterém poskytuje své **REST API**, a port 5551, na kterém poskytuje své gRPC **API** pro sdílené byzysových kontextů. Order service je závislá na Product, Billing, Shipping a User service, což explicitně specifikujeme v sekci `depends_on`, aby Docker Compose mohl spustit služby ve správném pořadí. Nakonec pomocí `links` deklarujeme, že pro kontejner, ve kterém Order Service poběží, mají být na síti přístupné služby `product`, `user`, `billing` a `shipping`. Vše

¹¹https://hub.docker.com/_/node/

¹²<https://www.linuxfoundation.org/projects/linux/>

je popsáno ve formátu [YAML](#) [2], který je dnes běžně využíván pro konfigurační soubory, kvůli jeho snadné čitelnosti pro člověka a jednoduchému používání.

Zdrojový kód 6.8: Ukázka zápisu více-kontejnerové aplikace pro Docker Compose

```
1 version: '3'
2 services:
3   order:
4     image: filipklimes-diploma/example-order-service
5     ports:
6       - "5501:5501"
7       - "5551:5551"
8     depends_on:
9       - product
10      - billing
11      - shipping
12      - user
13     links:
14       - product
15       - user
16       - billing
17       - shipping
```

6.3 Srovnání s konvenčním přístupem

¹³ Z tabulky 6.3 vidíme, že 60 % byznysových pravidel v ukázkovém systému je využíváno ve více kontextech, a polovina je využívána napříč více službami. V tabulce 6.4 je přehledně shrnuto, která pravidla jsou využívána ve kterých službách. Při použití konvenčního přístupu bychom museli tato pravidla implementovat alespoň jednou pro každou ze služeb, za předpokladu, že by nedocházelo k duplikacím ve službách samotných. Manuální duplikace navíc přináší nutnost synchronizovat podobu pravidla při každém změnovém řízení, což zvyšuje náklady na vývoj a riziko lidské chyby.

¹⁴ Díky použití naší knihovny je však možné každé pravidlo nadefinovat centrálně a framework se postará o jeho automatickou distribuci do všech míst, kde je potřeba ho aplikovat. Díky tomu je možno byznysová pravidla, resp. kontexty, spravovat pomocí nástroje pro centrální správu, který je součástí našeho frameworku. Z toho vyplývá snížení nároků na vývoj a snížené riziko lidské chyby.

¹³[Intended Delivery: Ukázka na konkrétním příkladě]

¹⁴[Intended Delivery: Výhody našeho frameworku]

#	Použito ve službách	#	Použito ve službách
BR01	user	BR11	auth, order, product
BR02	order, product	BR12	product
BR03	order, product	BR13	product
BR04	order, shipping	BR14	product
BR05	billing, order	BR15	order
BR06	order, user	BR16	order
BR07	order	BR17	(auth), product, user
BR08	order, product	BR18	product
BR09	order, shipping	BR19	user
BR10	(auth), order, product	BR20	user

Tabulka 6.4: Přehled využití byznysových pravidel ve službách ukázkového systému

¹⁵ Jako nevýhodu použití frameworku můžeme považovat počáteční investici v podobě integrace knihoven do služeb systému. Zvážit musíme i cenu popisu byznysových pravidel v [DSL](#), který se musejí vývojáři systému naučit navíc oproti programovacímu jazyku, ve kterém popisují služby. Dále je při návrhu systému potřeba identifikovat byznysové kontexty, jejich hierarchii a vzájemnou vazbu s byznysovními pravidly, aby bylo možno framework efektivně využívat. To může vyžadovat více času, než klasický návrh.

¹⁶ Navržený framework tedy oproti konvenčnímu přístupu nabízí možnost získat dlouhodobě nižší náklady na vývoj za cenu počáteční investice. Architekt softwarového systému musí případné nasazení frameworku zvážit z několika úhlů pohledu a posoudit, zda bude životnost systému dostatečně dlouhá a systém dostatečně velký. Dalším podstatným bodem ke zvážení je reálná míra znovupoužití byznysových pravidel. Mohou existovat domény, ve kterých bude nasazení frameworku jistě mnohem vhodnější, než v jiných. Díky provedené případové studii jsme zjistili, že v [SOA](#) lze efektivně řešit otázku byznysových pravidel, potažmo průřezových problémů obecně, námi navrženým způsobem.

6.4 Shrnutí

V této kapitole jsme popsali, jakým způsobem byly testovány prototypy knihoven pro platformy jazyků Java a Python a pro platformu Node.js. Tím jsme verifikovali jejich správnou funkcionální. Dále jsme naspecifikovali a popsali implementaci ukázkového systému, na kterém jsme provedli případovou studii použití našeho frameworku. Díky tomu jsme validovali, že navržený framework je funkční a splňuje požadavky identifikované v sekci [2.4](#).

¹⁵[\[Intended Delivery: Nevýhody použití\]](#)

¹⁶[\[Intended Delivery: Závěr\]](#)

Nakonec jsme na ukázkovém systému diskutovali srovnání použití našeho frameworku a konvenčního přístupu k návrhu a implementaci softwarových systému.

Kapitola 7

Závěr

7.1 Analýza dopadu použití frameworku

7.2 Budoucí rozšiřitelnost frameworku

7.2.1 Kvalitní doménově specifický jazyk

Zadáním této práce nebylo zkonstruovat vlastní [DSL](#) k účelům automatické distribuce a centrální správy byznys pravidel, nicméně v sekci [2.4](#) jsme potřebu takového jazyka jasně identifikovali a následně v kapitole [3](#) jsme došli k závěru, že momentálně neexistuje vhodné [DSL](#), které by splňovalo všechny naše požadavky a mohli bychom ho využít pro naše účely. V rámci implementace prototypu knihoven jsme navrhli a implementovali vlastní [DSL](#) v jazyce [XML](#), jak jsme popsali v sekci [5.3](#). Tento jazyk je však velmi omezený a snaží se vyhovět co nejnižším nárokům na implementaci. Sestavení kvalitního jazyka pro naše účely je tématem nejméně pro bakalářskou práci. Nicméně, námi navržený framework je schopen toto rozšíření pojmout, stačí doimplementovat plug-in, který se bude starat o převod z daného [DSL](#) do paměťové reprezentace byznysového kontextu.

Kvalitní jazyk by měl kromě výše zmíněných požadavků pro zachycení pravidla poskytovat co nejpřehlednější zápis, aby ho mohl snadno číst a zapisovat nejen vývojář, ale i doménový expert či administrátor systému. Tím by se ještě zvýšil přínos centrální administrace byznysových pravidel, kterou jsme v rámci této práce implementovali a popsali v sekci [5.7](#). Můžeme také diskutovat, že by jazyk pro popis byznysových kontextů sloužil pouze jako platforma a samotná pravidla by byla popsána v [DSL](#) vytvořeném na míru byznysové doméně, pro kterou by byl implementován systém využívající našeho frameworku.

7.2.2 Integrace frameworku s uživatelským rozhraním

V sekci 4.10 jsme nastínili způsob, jakým lze využívat náš framework. Jedním ze způsobů je integrace do uživatelského rozhraní. Autoři přístupu [ADDA](#) již vyvinuli způsob, kterým lze integrovat vyhodnocování byznysových pravidel v uživatelském rozhraní [15]. Propojení s naším frameworkem by znamenalo pouze implementovat adaptér, který by převáděl námi použitou reprezentaci byznysového pravidla do podoby, kterou je schopen využívat aspect weaver v [UI](#). Tím by se rozšířila působnost našeho frameworku a zároveň by se zvýšil uživatelský komfort [IS](#), který framework využívá, díky real-time validaci vstupních hodnot formulářů.

7.2.3 Integrace frameworku s datovou vrstvou

Jak jsme také zmínili v sekci 4.10, integrace do datové vrstvy je také jednou z možností. Podobně jako v případě [UI](#), autoři přístupu [ADDA](#) navrhují způsob, kterým lze automaticky distribuovat post-conditions do datové vrstvy transformováním jejich podmínek do výrazů v [SQL](#) jazyce `??`. Aplikováním příslušného aspect weaveru by byl zvýšen dosah frameworku a byla by pokryta další oblast, ve které může docházet k manuální duplikaci byznysových pravidel.

7.3 Možností uplatnění navrženého frameworku

7.4 Další možnosti uplatnění [AOP](#) v [SOA](#)

[TODO

- Extrakce dokumentace
- Extrakce byznysového modelu
- Konfigurace prostředí

]

7.5 Shrnutí

[TODO

- Dosáhli jsme cílů práce
- Stručné shrnutí co všechno a jak jsme udělali

]

Literatura

- [1] ANDREWS, T. et al. Business process execution language for web services, 2003.
- [2] BEN-KIKI, O. – EVANS, C. – INGERSON, B. Yaml ain't markup language (yaml™) version 1.1. *yaml.org, Tech. Rep.* 2005, s. 23.
- [3] BERNARD, E. – PETERSON, S. JSR 303: Bean validation. *Bean Validation Expert Group, March.* 2009.
- [4] BERNERS-LEE, T. – CONNOLLY, D. Hypertext markup language-2.0. Technical report, 1995.
- [5] BERSON, A. *Client-server architecture*. New York, New York, USA : McGraw-Hill, 1992.
- [6] BITTNER, K. *Use case modeling*. Boston, Massachusetts, USA : Addison-Wesley Longman Publishing Co., Inc., 2002.
- [7] BOS, B. et al. Cascading style sheets, level 2 CSS2 specification. *Available via the World Wide Web at <http://www.w3.org/TR/1998/REC-CSS2-19980512>*. 1998, s. 1472–1473.
- [8] BOX, D. et al. Simple object access protocol (SOAP) 1.1, 2000.
- [9] BOYEN, N. – LUCAS, C. – STEYAERT, P. Generalized mixin-based inheritance to support multiple inheritance. Technical report, Technical Report vub-prog-tr-94-12, Vrije Universiteit Brussel, 1994.
- [10] BRAY, T. et al. Extensible markup language (XML). *World Wide Web Journal*. 1997, 2, 4, s. 27–66.
- [11] CEMUS, K. Context-aware input validation in information systems. In *POSTER 2016-20th International Student Conference on Electrical Engineering*, 2016.
- [12] CEMUS, K. – CERNY, T. Aspect-driven design of information systems. In *International Conference on Current Trends in Theory and Practice of Informatics*, s. 174–186. Springer, 2014.

- [13] CEMUS, K. – CERNY, T. Automated extraction of business documentation in enterprise information systems. *ACM SIGAPP Applied Computing Review*. 2017, 16, 4, s. 5–13.
- [14] CEMUS, K. – CERNY, T. – DONAHOO, M. J. Automated business rules transformation into a persistence layer. *Procedia Computer Science*. 2015, 62, s. 312–318.
- [15] CEMUS, K. et al. Distributed Multi-Platform Context-Aware User Interface for Information Systems. In *IT Convergence and Security (ICITCS), 2016 6th International Conference on*, s. 1–4. IEEE, 2016.
- [16] CERNY, T. – DONAHOO, M. J. – PECHANEC, J. Disambiguation and Comparison of SOA, Microservices and Self-Contained Systems. In *Proceedings of the International Conference on Research in Adaptive and Convergent Systems*, s. 228–235. ACM, 2017.
- [17] CHAPPELL, D. *Enterprise service bus*. Newton, Massachusetts, USA : O'Reilly Media, Inc., 2004.
- [18] CHRISTENSEN, E. et al. Web services description language (WSDL) 1.1, 2001.
- [19] CZARNECKI, K. et al. Generative programming and active libraries. In *Generic Programming*. Cham, Switzerland: Springer, 2000. s. 25–39.
- [20] DRAGONI, N. et al. Microservices: yesterday, today, and tomorrow. In *Present and Ulterior Software Engineering*. Cham, Switzerland: Springer, 2017. s. 195–216.
- [21] *ECMAScript® 2015 Language Specification - Ecma-262 6th Edition* [online]. Dostupné z: <http://www.ecma-international.org/ecma-262/6.0/>.
- [22] FICHMAN, R. G. – KOHLI, R. – KRISHNAN, R. Editorial overview—the role of information systems in healthcare: current research and future trends. *Information Systems Research*. 2011, 22, 3, s. 419–428.
- [23] FIELDING, R. T. REST: architectural styles and the design of network-based software architectures. *Doctoral dissertation, University of California*. 2000.
- [24] FORGY, C. L. Rete: A fast algorithm for the many pattern/many object pattern match problem. In *Readings in Artificial Intelligence and Databases*. New York, USA: Elsevier, 1988. s. 547–559.
- [25] FOWLER, M. *Patterns of enterprise application architecture*. Boston, Massachusetts, USA : Addison-Wesley Longman Publishing Co., Inc., 2002.
- [26] FOWLER, M. ServiceOrientedAmbiguity. *Martin Fowler–Bliki*. 2005, 1.

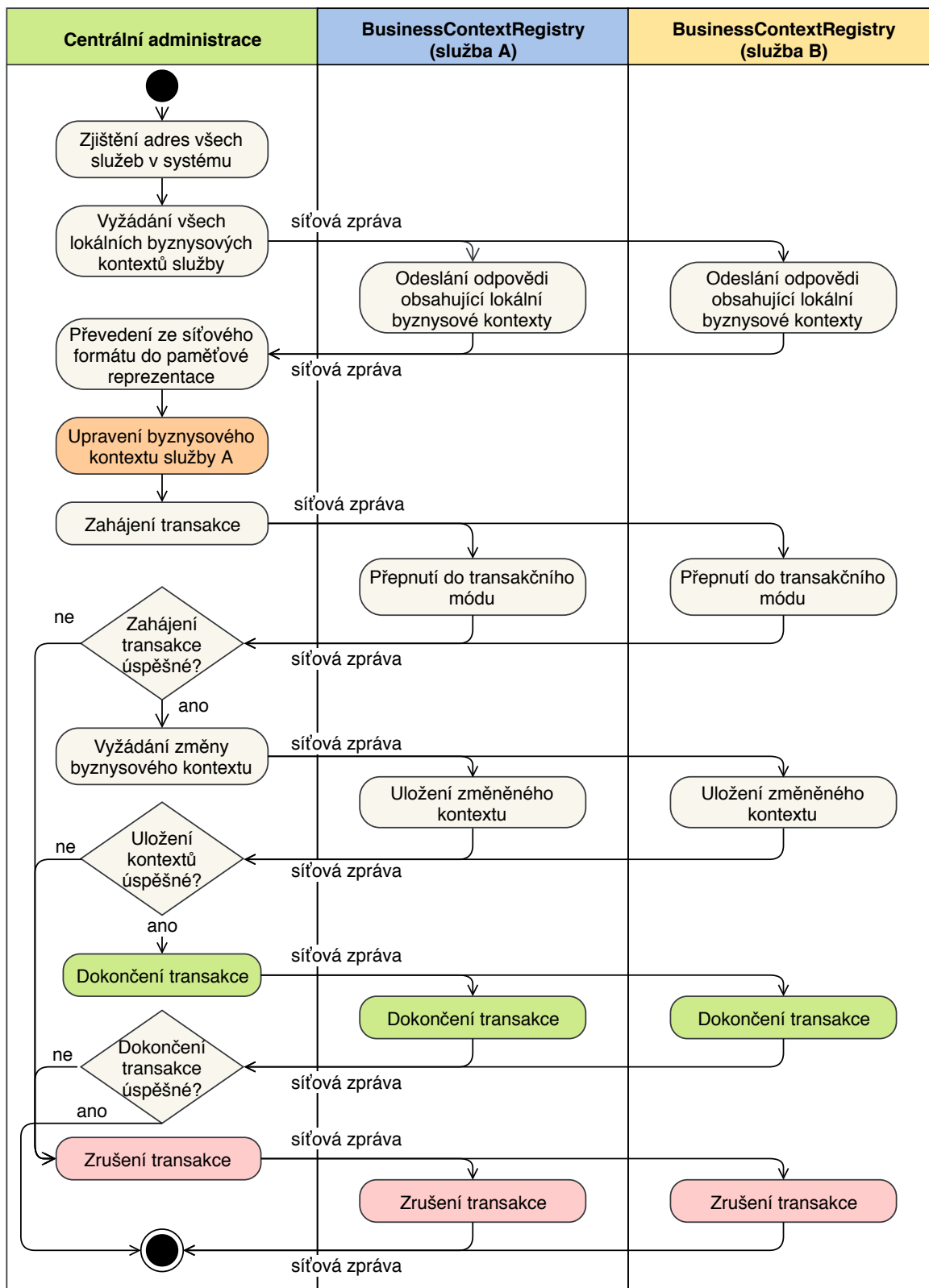
-
- [27] FOWLER, M. – BECK, K. *Refactoring: improving the design of existing code*. Boston, Massachusetts, USA : Addison-Wesley Professional, 1999.
- [28] FOWLER, M. – FOEMMEL, M. Continuous integration. *Thought-Works* <http://www.thoughtworks.com/ContinuousIntegration.pdf>. 2006, 122, s. 14.
- [29] FOX, G. Peer-to-peer networks. *Computing in Science & Engineering*. 2001, 3, 3, s. 75–77.
- [30] *GitHub Octoverse 2017* [online]. 2017. Dostupné z: <<https://octoverse.github.com/>>.
- [31] KAMBONA, K. – BOIX, E. G. – DE MEUTER, W. An evaluation of reactive programming and promises for structuring collaborative web applications. In *Proceedings of the 7th Workshop on Dynamic Languages and Applications*, s. 3. ACM, 2013.
- [32] KENNARD, R. – EDMONDS, E. – LEANEY, J. Separation anxiety: stresses of developing a modern day separable user interface. In *Human System Interactions, 2009. HSI'09. 2nd Conference on*, s. 228–235. IEEE, 2009.
- [33] KICZALES, G. et al. Aspect-oriented programming. In *European conference on object-oriented programming*, s. 220–242. Springer, 1997.
- [34] LEE, D. – CHU, W. W. Comparative analysis of six XML schema languages. *Sigmod Record*. 2000, 29, 3, s. 76–87.
- [35] LEWIS, J. – FOWLER, M. Microservices: a definition of this new architectural term. *MartinFowler. com*. 2014, 25.
- [36] LITTMAN, D. C. et al. Mental models and software maintenance. *Journal of Systems and Software*. 1987, 7, 4, s. 341–355.
- [37] LUO, L. Software testing techniques. *Institute for software research international Carnegie mellon university Pittsburgh, PA*. 2001, 15232, 1-19, s. 19.
- [38] MAEDA, K. Performance evaluation of object serialization libraries in XML, JSON and binary formats. In *Digital Information and Communication Technology and it's Applications (DICTAP), 2012 Second International Conference on*, s. 177–182. IEEE, 2012.
- [39] MELICHAR, B. v. i. *Jazyky a příklady*. Praha, Česká republika : Vydavatelství ČVUT, 2003.
- [40] MERKEL, D. Docker: lightweight linux containers for consistent development and deployment. *Linux Journal*. 2014, 2014, 239, s. 2.

- [41] MODEL, B. P. Notation (bpmn) version 2.0. *OMG Specification, Object Management Group*. 2011, s. 22–31.
- [42] NELSON, B. J. *Remote Procedure Call*. PhD thesis, Carnegie Mellon University, Pittsburgh, PA, USA, 1981. AAI8204168.
- [43] PARDON, G. – PAUTASSO, C. Towards distributed atomic transactions over RESTful services. In *REST: From Research to Practice*. Cham, Switzerland: Springer, 2011. s. 507–524.
- [44] *Programming Languages and GitHub* [online]. 2014. Dostupné z: <<http://github.info/>>.
- [45] RAO, J. – SU, X. A survey of automated web service composition methods. In *International Workshop on Semantic Web Services and Web Process Composition*, s. 43–54. Springer, 2004.
- [46] RENTSCH, T. Object oriented programming. *ACM Sigplan Notices*. 1982, 17, 9, s. 51–57.
- [47] RICHARDS, M. Microservices vs. service-oriented architecture. 2015.
- [48] ROSENBERG, F. – DUSTDAR, S. Business rules integration in BPEL-a service-oriented approach. In *E-Commerce Technology, 2005. CEC 2005. Seventh IEEE International Conference on*, s. 476–479. IEEE, 2005.
- [49] SIEGEL, J. – FRANTZ, D. *CORBA 3 fundamentals and programming*. 2. New York, NY, USA : John Wiley & Sons, 2000.
- [50] SOLEY, R. et al. Model driven architecture. *OMG white paper*. 2000, 308, 308, s. 5.
- [51] SOLIS, C. – WANG, X. A study of the characteristics of behaviour driven development. In *Software Engineering and Advanced Applications (SEAA), 2011 37th EUROMICRO Conference on*, s. 383–387. IEEE, 2011.
- [52] SOLOWAY, E. – EHRLICH, K. Empirical studies of programming knowledge. In *Readings in artificial intelligence and software engineering*. New York, USA: Elsevier, 1986. s. 507–521.
- [53] *Stack Overflow Developer Survey 2017* [online]. 2017. Dostupné z: <<https://insights.stackoverflow.com/survey/2017#technology>>.
- [54] TARJAN, R. Depth-first search and linear graph algorithms. In *12th Annual Symposium on Switching and Automata Theory (swat 1971)*, s. 114–121, Oct 1971. doi: 10.1109/SWAT.1971.10.

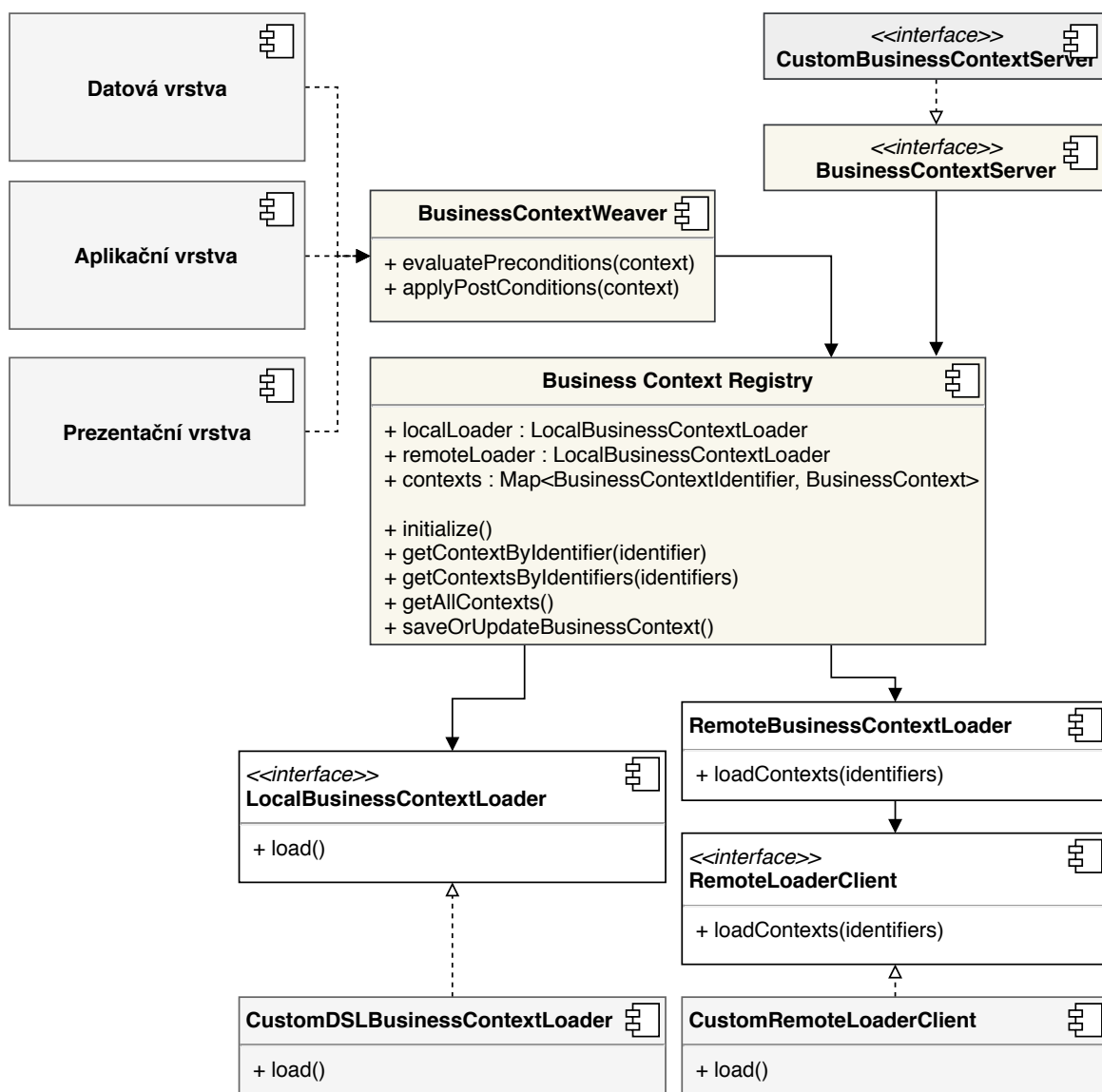
- [55] *The Role of Service Orchestration Within SOA* [online]. Dostupné z: <<https://www.nomagic.com/news/insights/the-role-of-service-orchestration-within-soa>>.
- [56] VARDA, K. Protocol buffers: Google's data interchange format. *Google Open Source Blog*, Available at least as early as Jul. 2008, 72.
- [57] WARD, M. P. Language-oriented programming. *Software-Concepts and Tools*. 1994, 15, 4, s. 147–161.
- [58] *What is the MIT license? – definition by The Linux Information Project (LINFO)* [online]. Dostupné z: <<http://www.linfo.org/mitlicense.html>>.
- [59] WOOD, L. et al. Document Object Model (DOM) level 3 core specification, 2004.

Příloha A

Přehledové obrázky a snímky



Obrázek A.1: Diagram procesu centrální správy byznysových kontextů



Obrázek A.2: Diagram tříd zachycující architekturu navrženého frameworku

Business Context Administration

Business context: shipping.correctAddress

```

1 <?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>
2 <businessContext prefix="shipping" name="correctAddress">
3   <includedContexts />
4   <preconditions>
5     <precondition name="Shipping address must contain a country, city, street and postal code">
6       <condition>
7         <logicalAnd>
8           <left>
9             <logicalAnd>
10              <left>
11                <isNotNull>
12                  <argument>
13                    <objectPropertyReference propertyName="country" objectName="shippingAddress" type="s
14                  </argument>
15                  </isNotNull>
16                </left>
17              <right>
18                <isNotNull>
19                  <argument>
20                    <objectPropertyReference propertyName="city" objectName="shippingAddress" type="stri
21                  </argument>
22                  </isNotNull>
23                </right>
24              </logicalAnd>
25            </left>
26            <right>
27              <logicalAnd>
28                <left>
29                  <isNotNull>
30                    <argument>
31                      <objectPropertyReference propertyName="street" objectName="shippingAddress" type="st
32                    </argument>
33                    </isNotNull>
34                  </left>
35                <right>
36                  <isNotNull>
37                    <argument>
38                      <objectPropertyReference propertyName="postalCode" objectName="shippingAddress" type="pos

```

Save changes

Obrázek A.3: Formulář pro vytvoření nebo úpravu byznysového kontextu v centrální administraci

Business Context Administration

Business context: auth.userLoggedIn

Included contexts

No included contexts

Preconditions

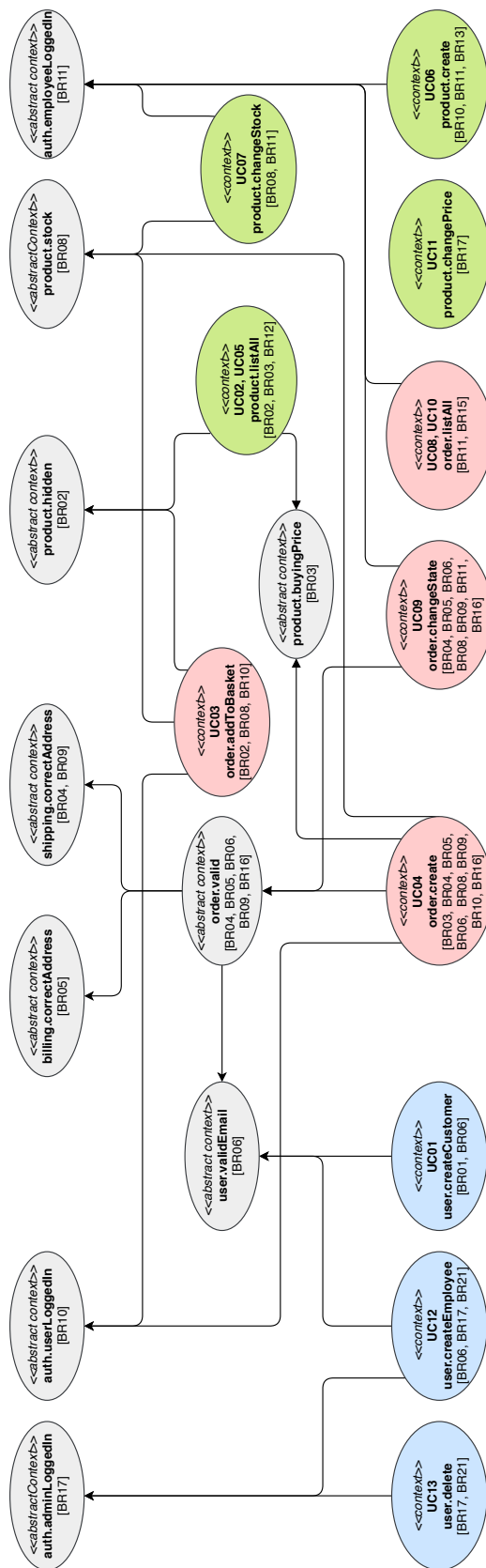
- User must be signed in:
\$user is not null

Postconditions

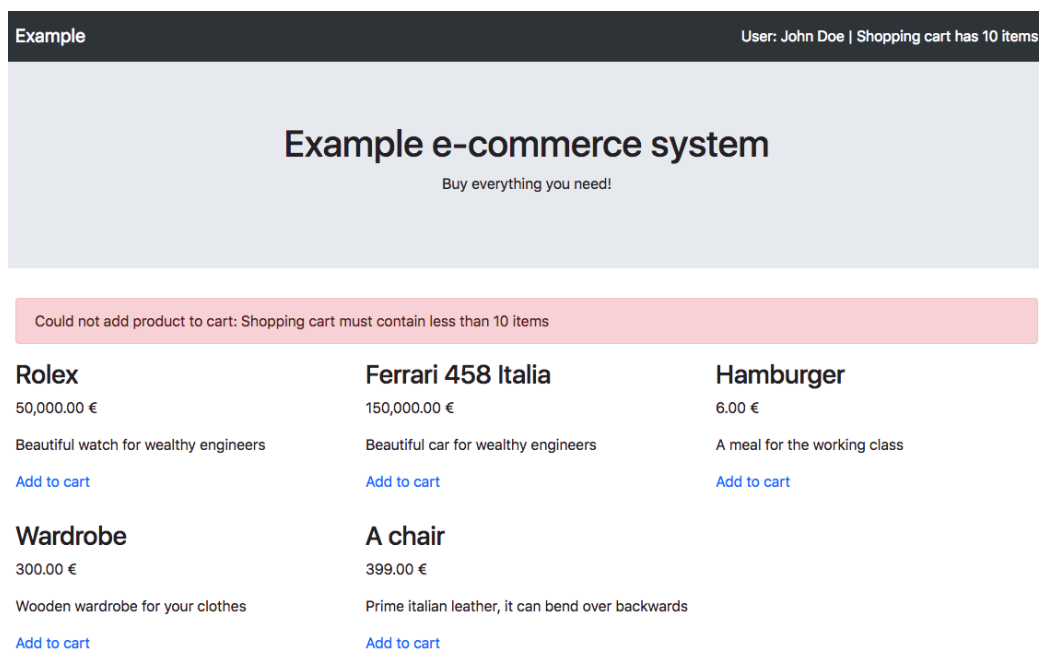
No post-conditions

Edit

Obrázek A.4: Detail byznysového kontextu v centrální administraci



Obrázek A.5: Diagram hierarchie byznysových kontextů ukázkového systému



Obrázek A.6: Propagace byznysového pravidla při přidávání produktu do košíku v ukázkovém systému

Příloha B

Přehledové tabulky

Název	Argumenty	Atributy	Návratový typ	Typ výrazu
Constant	-	Hodnota a typ konstanty	?	Terminál
FunctionCall	Libovolný počet argumentů	Návratový typ funkce	?	Terminál
IsNotNull	Jeden argument libovolného typu	-	BOOL	Neterminál
IsNotBlank	Jeden argument typu STRING	-	BOOL	Neterminál
LogicalAnd	2 argumenty typu BOOL	-	BOOL	Neterminál
LogicalEquals	2 argumenty libovolného typu	-	BOOL	Neterminál
LogicalNegate	1 argument typu BOOL	-	BOOL	Neterminál
LogicalOr	2 argumenty typu BOOL	-	BOOL	Neterminál
NumericAdd	2 argumenty typu NUMBER	-	NUMBER	Neterminál
NumericSubtract	2 argumenty typu NUMBER	-	NUMBER	Neterminál
NumericMultiply	2 argumenty typu NUMBER	-	NUMBER	Neterminál
NumericDivide	2 argumenty typu NUMBER	-	NUMBER	Neterminál
ObjectReference	-	Název objektu a název a typ proměnné	?	Terminál
VariableReference	-	Název a typ proměnné	?	Terminál

Tabulka B.1: Přehled výrazů pro zápis byznysového pravidla

Příloha C

Uživatelská příručka

[TODO

- Popsat docker
- Popsat instalaci pomocí maven
- Oblšhnout vlastně to co je v readme

]

Příloha D

Seznam použitých zkratk

ADDA	Aspect-Driven Design Approach. 11 , 15–17 , 23 , 30 , 35 , 68
AOP	Aspect Oriented Programming. xiii , 14 , 15 , 23 , 35 , 68
API	Application Programming Interface. 59 , 60 , 62
AST	Abstract Syntax Tree. 41
BDD	Behaviour Driven Development. 54
BPEL	Business Process Execution Language. 12
BPMN	Business Process Model and Notation. 12
BRMS	Business Rules Management System. 17
CI	Continuous Integration. 51
CIM	Computation Independent Model. 11
CORBA	Common Object Request Broker Architecture. 5 , 6
CRUD	Create, Read, Update, Delete. 21
CSS	Cascading Style Sheets. 49
DAG	Directed Acyclic Graph. 28
DOM	Document Object Model. 44
DSL	Domain-Specific Language. xii , xv , 12 , 16–19 , 30–32 , 34 , 35 , 40 , 41 , 44 , 49 , 64 , 67
EL	Expression Language. 4
ESB	Enterprise Service Bus. 6–8
GP	Generative Programming. 12
HTTP	Hypertext Transfer Protocol. 6 , 21
IS	Informační systém. 3 , 11 , 12 , 16 , 68
Java EE	Java Platform, Enterprise Edition. 17
JPQL	Java Persistence Query Language. 16
JSON	JavaScript Object Notation. 38 , 59
JSR	Java Specification Request. 24 , 29

LHS	Left-hand side. 17 , 18
LOP	Language-Oriented Programming. 18 , 19
MDA	Model-Driven Architecture. 11 , 12 , 19
MQ	Message Queue. 6
OOP	Object Oriented Programming. 12 , 13 , 15
ORB	Object Request Broker. 5 , 6
P2P	Peer-to-peer. 20 , 33
PIM	Platform Independent Model. 11
PSM	Platform Specific Model. 11
REST	Representational State Transfer. xv , 21 , 22 , 59 , 60 , 62
RHS	Right-hand side. 17 , 18
RPC	Remote Procedure Call. xv , 21 , 22 , 40
SOA	Service Oriented Architecture. xiii , 5–9 , 11 , 12 , 19 , 21–23 , 35 , 55 , 64 , 68
SOAP	Simple Object Access Protocol. 6
SQL	Structured English Query Language. 16 , 68
UC	Use Case. 55 , 56 , 60
UI	User Interface. 16 , 61 , 68
UML	Unified Modeling Language. 11
URL	Uniform Resource Locator. 61
WSDL	Web Service Description Language. 6
XML	Extensible Markup Language. xix , 38 , 40 , 41 , 44 , 67
XSD	XML Schema Definition. 41
YAML	YAML Ain't Markup Language. 63

Příloha E

Obsah přiloženého CD

-- nutforms-example/	Ukázkov\`y systém využ\`{\i}vaj\`{\i}c\`{\i} knihovnu
-- dist/	Zkompilované zdrojové soubory pro distribuci
-- docs/	Dokumentace
-- src/	Zdrojov\`y kód aplikace
-- nutforms-ios-client/	Klientská část knihovny pro platformu iOS
-- client/	Zdrojové soubory knihovny
-- clientTests/	Zdrojové soubory testů knihovny
-- dist/	Zkompilované zdrojové soubory pro distribuci
-- docs/	Dokumentace
-- nutforms-server/	Serverová část knihovny
-- dist/	Zkompilované zdrojové soubory pro distribuci
-- docs/	Dokumentace
-- layout/	Layout servlet
-- localization/	Localization servlet
-- meta/	Metadata servlet
-- widget/	Widget servlet
-- nutforms-web-client/	Klientská část knihovny pro webové aplikace
-- dist/	Zkompilované zdrojové soubory pro distribuci
-- docs/	Dokumentace
-- src/	Zdrojové soubory knihovny
-- test/	Zdrojové soubory testů knihovny
-- text/	Text bakalářské práce