

Универзитет у Београду

Математички факултет



Мастер рад

Примена реактивног дистрибуираног
програмирања на примеру онлајн банкарских сервиса

Студент:

Драгутин Илић

Ментор:

др Иван Чукић

Ментор:

др Иван Чукић, доцент

Математички факултет, Универзитет у Београду

Чланови комисије:

др Александар Картељ, доцент

Математички факултет, Универзитет у Београду

Анђелка Зечевић, асистент

Математички факултет, Универзитет у Београду

Примена реактивног дистрибуираног програмирања на примеру онлајн банкарских сервиса

Апстракт – Систем онлајн банкарства *BANKX22* развијен као део овог рада је веб систем отвореног кода и нуди сервисе који се могу наћи у уобичајним финансијским апликацијама попут онлајн плаћања, размене новца из једне валуте у другу, узимања кредита, као и проверавање стања на рачуну и увид у историју трансакција. Систем је имплементиран да задовољи принципе реактивног дистрибуираног система попут добре одзивности и еластичности, поузданости, односно издржљивости, лабаве спрегнутости сервиса и транспарентне комуникације компонената. За имплементацију клијентске стране коришћене су савремене *Javascript* библиотеке *React*, *Redux* и *ReduxToolkit*. Клијентска страна комуницира са сервером преко развојног окружења *Dot Net Web API* употребом *REST* протокола. За имплементацију серверске стране искоришћено је развојно окружење *Akka Dot Net* које имплементира модел система актера, погодног за олакшану имплементацију различитих реактивно, дистрибуианих принципа. Складиштење података се врши употребом *MSSQL* сервера, док се за приступ података користи библиотека *Entity Framework Core*. Делови система који врше двосмерну комуникацију у реалном времену, попут сервиса за нотификације, користе библиотеку *SignalR*.

Application of reactive distributed programming on the example of online banking services

Abstract – The online banking system *BANKX22* developed as part of this master thesis is an open-source web system that offers popular services that can be found in common financial applications such as online payment, money exchange, taking loans, checking account balances and insight into transaction history. The system is implemented to meet the principles of reactive, distributing system such as good responsiveness and elasticity, reliability, that is durability, loose coupling of services and transparent communication of components. Modern Javascript libraries *React*, *Redux* and *ReduxToolkit* were used for implementation of client side of system. Communication between client side and server side is done through *Dot Net Web API* framework by *REST* protocol usage. Server side is implemented in *Akka Dot Net* framework which implements model of actor system, suitable for implementation of reactive distributed principles. Data is stored inside *MSSQL* server, while for data access is used *Entity Framework core* library. Some part of the system which needs two-way real-time communication, like notification service, use *SignarR* library.

Садржај

1 Увод	5
2 Реактивни манифест	6
2.1 Реаговање на корисника.....	6
2.2 Реаговање на грешке	6
2.3 Вођење порукама	7
2.4 Губитак строге конзистентности	7
3 Обрасци	9
3.1 Образац једноставне компоненте	9
3.2 Образац језгра грешке	10
3.3 Образац “пусти-да-се-сруши”	10
3.4 Образац прекидач кола	11
3.5 Активни-пасивни образац копирања	12
3.6 Обрасци комуникације	13
3.7 Обрасци контроле тока	15
3.8 Обрасци управљања и чувања стања.....	16
4 Технологије	18
4.1 Библиотека <i>React</i>	18
4.2 Библиотека <i>Redux</i>	19
4.3 <i>Redux</i> -ов скуп алата	21
4.4 Модел актера.....	23
4.5 .Net Web API интерфејс за програмирање апликација	25
5 Архитектура система	27
5.1 Опис система	27
5.2 Клијентска страна	29
5.2.1 Страна за пријављивање.....	29
5.2.2 Страна за регистраовање	29
5.2.3 Почетна страна.....	30
5.2.4 Старна историје	31
5.2.5 Страна за размену валута.....	32
5.2.6 Страна за плаћање.....	33
5.2.7 Страна за узмање кредитита	34
5.2.8 Опције у заглављу	35
5.3 Серверска страна	37

5.3.1	Хијерархијски приказ архитектуре сервиса за ауторизацију и аутентификацију корисника.....	40
5.3.2	Хијерархијски приказ архитектуре сервиса за обраду рачуна	41
5.3.3	Хијерархијски приказ архитектуре сервиса за обраду трансакција	42
5.3.4	Хијерархијски приказ архитектуре сервиса за добијање валута.....	43
5.3.5	Архитектура сервиса за пребацивање средства из једне валуте у другу.....	43
5.3.6	Хијерархијски приказ архитектуре сервиса за плаћање.....	45
5.3.7	Хијерархијски приказ архитектуре сервиса за позајмице.....	46
5.3.8	Хијерархијски приказ архитектуре профилног сервиса	47
5.3.9	Хијерархијски приказ архитектуре сервиса за помоћ	47
5.3.10	Хијерархијски приказ архитектуре сервиса за нотификације	48
6	Имплементација апликације	49
6.1	Имплементација ауторизације и аутентификације корисника.....	49
6.2	Имплементација конфигурација .NET Web API слоја и система актера	57
6.3	Имплементација сервиса за извршавање плаћања корисника	63
7	Закључак	69
8	Референце	70

1 Увод

Потреба за програмирањем на реактиван начин се посебно јавља у финансијским системима. Поред потребе ових система да осигурају корисницима сигурност при обављању финансијских трансакција неопходно је да буду и поуздани. Поузданост треба остварити и уколико неки делови, било хардверски или софтверски, откажу. Могућност динамичког додавања и уклањања ресурса у случају повећаних односно смањених захтева је такође важна одлика једног финансијског система.

Банке и друге финансијске институције имају жељу да привуку и опслуже што већи број корисника. Да бисмо тако нешто остварили систем мора да настави са радом чак иако има огроман број корисника који треба да опслужи. Систем би требало да има добар одзив према свим тим корисницима, односно да одговори захтевима корисника благовремено, под било којим околностима. Пошто свака машина може отказати у било ком тренутку, такав систем би требало расподелити на више машина. Овај фундаментални захтев за расподелом има као последицу потребу за препознавање нових архитектуалних образца. Коришћењем ових образца постижемо да систем реагује благовремено ка својим корисницима тј. буде одзиван (*eng. responsive*), да реагује на отказ и остане доступан тј. буде издржљив (*eng. resilient*), да може реаговати на променљиве услове оптерећења односно да буде еластичан (*eng. elastic*), да реагује на улаз тако што ће бити вођен порукама (*eng. message-driven*) [2]. Још две карактеристике које бисмо желели да остваримо код имплементације оваквог система су одрживост и проширивост.

У овом раду је представљен систем онлајн банкарства *BANKX22* који се хвата у коштац са свим поменутим изазовима. Коришћењем адекватних, у наставку описаних технологија, систем имплементира одређене архитектуалне обрасце помоћу којих су остварене већи број наведених карактеристика једног таквог реактивног система. Рад је концептиран тако да у првом поглављу читаоцу пружи елементарна знања, дефиниције и особине којима се треба водити при пројектовању и имплементацији једног реактивног дистрибуираног система. У следећем поглављу су описаны обрасци пројектовања који се најчешће користе да би била остварена својства из првог поглавља. Потом се помињу и укратко објашњавају технологије коришћене за имплементацију система онлајн банкарства *BANKX22*. Последња два поглавља се тичу описа архитектуре, односно имплементације самог система где се на делу могу видети претходно описане карактеристике и обрасци реактивног дистрибуираног система.

2 Реактивни манифест

2.1 Реаговање на корисника

Када кажемо корисник мислимо како на човека који користи неки сервис посредством другог програма (рецимо претраживача) тако и на други компјутер који делује у име човека директно или индиректно. Битно својство сервиса је **благовремено слање одговора** захтев корисника уколико је то могуће [2]. Одзивни сервиси се фокусирају на пружању брзих и конзистентних времена одговора, утврђујући поуздане горње границе тако да испоруче конзистентне квалитете услуга. Ово је омогућено низом техника, алата и образца, неких описаних у овом раду. Ако је ово својство остварено онда је једноставније обрађивање грешака, веће поверење крајњег корисника сервиса па самим тим и већа вероватноћа даље интеракције корисника са сервисом.

Систем би требало да буде у стању да одговори захтевима корисника и при различитом оптерећењу [1]. Ово својство се назива **еластичност**. Оно се постиже повећањем или смањењем ресурса додељених сервису који је под оптерећењем. Такви системи не би требало да имају спорне тачке и уска грла што за последицу има дељење и реплицирање компоненти и дистрибуцију улаза међу њима.

2.2 Реаговање на грешке

Грешке које се јављају у систему могу бити софтверске, хардверске и људске. Истек времена без добијеног одговора односно тајмаут се такође може представити као грешка. Претпоставка са којом треба поћи приликом пројектовања и имплементације система није “ако се грешка јави” него “када и колико често” ће се јављати. Кориснику не интресује разлог грешке нити којег је типа, њега се тиче само то да ће морати да настави без добијеног одговора. То за последицу има да ће корисник вероватно користити други сервис. **Поузданост**, односно **издржљивост** система је још једна од кључних карактеристика која указује на то колико брзо систем може да се опорави од грешке [2]. Избегавање грешака никада неће бити потпуно могуће, зато пажњу треба усмерити на толеранцију грешака. Издржљиви системи имају могућност не само да поднесу грешке него и да опораве стање сервиса пре него што је настала грешка. Технике представљене у овом раду које се тичу решавања оваквих проблема су образац *прекидач кола* (енг. *circuit breaker*) и механизам *надзора* (енг. *supervision*).

2.3 Вођење порукама

Реактивни систем се ослања на **асинхроно прослеђивање порука** како би се успоставила граница између компонената које на тај начин осигуравају лабаву спрегнутост¹, изолованост и локацијску транспарентност². Ове границе такође омогућавају да се грешке делегирају као поруке. Употребом експлицитног прослеђивања порука омогућује се управљање оптерећења, еластичност и контрола тока формирањем и посматрањем редова порука у систему и применом техника зване “back-pressure”³ када је то потребно. Неблокирајућа комуникација допушта примаоцима да конзумирају ресурсе само док су активни што доводи до мање конзумације ресурса од стране система.

2.4 Губитак строге конзистентности

Како бисмо кренули са овом темом неопходно је изложити дефиницију теореме Ерика Бруера (енг. *Eric Brewer's CAP theorem*) која тврди да било који систем који путем мреже дели податке може имати највише два од три пожељна својства [13]:

- 1) Конзистентност (енг. *Consistency* - C) је еквивалентна поседовању једне актуелне копије података
- 2) Висока доступност (енг. *High availability* - A) подацима
- 3) Толеранција у случају дељења мреже (енг. *Network partitions* - P)

На основу ње можемо закључити да у случају да се деси дељење мреже, конзистентност или доступност мора бити жртвована. У случају да се десе промене над подацима током подељене мреже могу настати неконзистентности. Једини начин да се ово спречи је да се забране измене чиме је угрожена доступност. У дистрибуираним системима dakle не можемо применити ACID⁴ особине трансакција на којима почивају традиционалне релационе базе података јер желимо да задовољимо принципе издржљивости, скалабилности и одзивности. Ови принципи се требају применити на све делове система како бисмо добили жељене предности, али се на тај начин елиминишу строге гаранције трансакција на којима су грађени традиционални системи. Дистрибуиране системе бисмо требали пројектовати тако да задовоље скуп принципа назван *BASE*:

¹ Лабава спрегнутост (енг.. *Loosely coupled*) компоненти или сервиса је својство где свака од компоненти има мало или нема уопште знања о дефиницији и имплементацији других компоненти и омогућава лаку замену те компоненте неком другом алтернативом која пружа исте сервисе [15].

² Локацијска транспарентност (енг. *Location transparency*) представља својство да изворни код за слање порука изгледа исто без обзира на којој локацији се прималац поруке налази [2].

Компоненте комуницирају на униформан начин дефинисан експлицитним слањем порука

³ Back-pressure - могућност преоптерећене компоненте да пошаље поруку надлежним компонентама како би оне могле да смање оптерећење. На тај начин систем грациозно одговара на оптерећење, а не урушава се под њим.

⁴ ACID - Атомичност (енг. *Atomicity*), конзистентност (енг. *consistency*), изолованост (енг. *isolation*), издржљивост (енг. *durability*)

- 1) У основи доступан - операције читања и писања су доступне што год је више могуће, али без гаранције о конзистентности;
- 2) Меко стање - без гарантоване конзистентности, после неког времена, постоји одређена вероватноћа да имамо информације о стању пошто можда још увек није постигнута евентуална конзистентност;
- 3) Евентуално конзистентан - ако систем функционише и корисник чека одређено време, биће у стању евентуално да зна стање базе, тако да ће даља читања бити конзистентна са његовим очекивањима [10].

BASE је био важан корак у разумевању која својства су корисна, а која недостижна. Још једна препорука која је предложена била је ACID 2.0⁵:

- Ако се свака акција представи тако да може бити примењена у гомили (асоцијативност) и у било ком поретку (комутативност) и тако да ако је применимо више пута није штетна (идемпотентност), тада крајњи резултат не зависи од тога која реплика прихвата промене и у ком редоследу се ажурирања шире кроз мрежу- чак је и понављање слања прихватљиво ако пријем још увек није потврђен [2].

⁵ ACID 2.0 је предложен од стране Пета Хеланда на Реактовој Конференцији 2014 а односи се на својства асоцијативности, комутативности, идемпотентности и дистрибуирањости

3 Обрасци

3.1 Образац једноставне компоненте

Дефиниција овог обрасца је: **Компонента ће радити само једну ствар, али ће је радити у целости** [2]. Овај образац треба применити када систем обавља више функционалности или су функције система толико комплексне да морају бити подељене у различите компоненте. Образац је изведен из *принципа јединствене одговорности*⁶. Ако пођемо од целог система потребно је да на основу свих његових функционалности почнемо да га разбијамо на мање компоненте где ће свака да обавља једну функционалност. Ако овај процес применимо рекурзивно над добијеним компонентама можемо добити задовољавајућу грануларност и добити хијерархију компонената које задовољавају образац јединствене компоненте и које је онда лакше имплементирати, тестирати и одржавати.

Образац јединствене компоненте је један од основних постулата који је коришћен приликом пројектовања и имплементације онлајн банкарских сервиса BANKX22. Можемо за пример узети било који од сервиса система. Ако на пример погледамо сервис који враћа кориснику све расположиве валуте, можемо уочити да се сваки захтев корисника система шаље акцији на серверу која је лоцирана у контролеру валута (*eng. CurrenciesController*) и чија једина одговорност је да тај захтев прослеђује у виду поруке одговарајућем актеру модела⁷. Актер има задатак да примљену поруку обради, тако што ће на основу добијеног токена из поруке дохватити идентификацију корисника и на основу ње, добити све валуте које су расположиве кориснику. Како описани посао не одговара обрасцу јединствене компоненте, добијање идентификације корисника се као посебна одговорност прослеђује актеру чија је то једина одговорност, док се посао читања валута из базе података прослеђује посебном актеру. Оваквим приступом је постигнуто да сваки од актера који учествују у обради захтева ради једну ствар и то у целости, актер који чита идентификацију корисника из базе (*eng. UserIdRetrieverActor*), актер који чита валуте за датог корисника из базе (*eng. CurrenciesStorageActor*) и актер који врши синхронизацију комуникације између претходно поменута два актера и контролера (*eng. CurrenciesGetterActor*).

⁶ Принцип јединствене одговорности (*eng. Single Responsibility Principle*) је принцип који наводи да сваки модул, класа или функција у програму мора имати одговорност над тачно једним делом функционалности тог програма и њу треба да енкапсулира [26].

⁷ Актер представља основни консрукт модела система актер који гарантује енкапсулираност и сигурност извођења операције у вишенивршном окружењу (за више детаља погледати поглавље 4.4 Модел глумаца)

3.2 Образац језгра грешке

Дефиниција обрасца: **У хијерархији супервизије, чувати важна стања апликације или функционалности близу корена, а делегирати ризичне операције ка лишићу** [2]. Овај образац се надограђује на образац једноставне компоненте и примењив је када год су компоненте са различитим вероватноћама неуспеха и различитом поузданошћу захтева, комбиноване у истом систему. Неке функције система никада не смеју да падну, док су друге неопходно изложене неуспеху. Образац је толико значајан у реактивном програмирању да је развојно окружење Модела актера, коришћено за имплементацију серверске стране онлајн банкарског система BANKX22, названа Акка што у ствари представља палиндром од Језгра Актера (енг. Actor Kernel) и реферише на овај образац. Суштинска функција обрасца језгра грешке је да интегрише операциона ограничења система у његову декомпозицију проблема базирану на одговорношћу.

Примена овог обрасца је свеприсутна у систему онлајн банкарства BANKX22. Као добар пример можемо навести актер који комуницира са екстерним системом како би добио информације о тренутним курсу мењања из једне валуте у другу. Како услуге екстерних сервиса могу бити непоуздане и ризичне, јер одјававање и квалитет рада екстерног сервиса није у нашој надлежности, актер који комуницира са њим је лист у дрвету хијерархије актера који су надлежни за процес размене средстава из једне валуте у другу. Супервизор овог актера, актер који га је креирао и који комуницира са њим, је задужен за даљи ток уколико дође до грешке. Уколико информације о курсу нису из неког разлога добијене из екстерног система супервизор покушава да их добије из локалне базе у којој су биле сачуване приликом неког од претходних размена и уколико те информације постоје и задовољавају одређене услове биће враћене као валидне за тренутну размену. Како супервизор има већу одговорност тако је он ближи корену у дрвету структуре актера.

3.3 Образац “пусти-да-се-сруши”

Дефиниција обрасца: **Радије рестартуј целу компоненту него да обрађујеш интерне падове** [2]. Идеја овог обрасца је да су неке ретке грешке, како софтверске тако и хардверске, обично скупе за дијагнозу и поправку, тако да се преферира опоравак система рестартовањем његових делова. Отклањање грешака хијерархијским рестартовањем омогућава поједностављивање самог модела грешака и у исто време доводи до веће робустности система који онда има шансу и да преживи непредвиђене грешке. Последице овог обрасца су да свака компонента мора бити толерантна на рестарте и падове у било ком тренутку, као што рецимо нестанак струје може настати било када, да компонента мора бити енкапсулација тако да се грешке не могу проширити на друге компоненте, да мора бити толерантна на пад компоненте са којом комуницира, да сви ресурси које је компонента користила морају бити повраћени након рестарта, да сваки захтев посыпан компоненти мора бити самоописив тако да се његово обрађивање може наставити након рестартовања са што мање утрошка. Да би се одређена компонента

рестартовала након грешке, потребно је саму грешку уочити на неки начин. Једна од техника која се користи је да компонента након њеног креирања крене да шаље периодичне поруке свом супервизору да је све у реду. У случају да супервизор не добије поруку тог типа примењује “пусти-да-се-сруши” образац. У ретким случајевима може да се деси да компонента не ради исправно, али ипак шаље потврдне поруке свом супервизору. Из тог разлога се у садржај те поруке умећу информације о квалитету рада сервиса као што су стопа падова, латентност одговора итд. Ове поруке се називају “откуцаји срца”. Још један начин на који супервизор може бити информисан о грешци је да компонента сама дијагностикује неку грешку и пошаље поруку супервизору. То се може десити на пример у случају ако компонента комуницира са неком екстерном библиотеком која испаљује изузетак у случају грешке. Ова два начина регистраовања грешака се могу користити у комбинацији како би покривеност била боља.

Развојно окружење *Akka .NET* користи овај образац као један од основних механизама одбране од грешака. Сваки актер система има уgraђен механизам да приликом настанка неке непредвиђене грешке јави свом супервизору о њој [1]. Уколико супервизор одлучи да грешка нема утицаја на њега или на друге подређене актере (због пажљивог пројектовања система и употребе обрасца језгра грешке) рестартује актера од кога је стигла порука о грешци. Ово заправо значи да ће бити креирана нова инстанца актера и да ће бити додељена иста референца која је енкапсулирала стару инстанцу. Прецизнији ток догађаја који се одвија током рестартовања је да се прво врши суспендовање актера (нема више обраде порука док не добије одобрење за наставак рада) и рекурзивно се суспендују сва деца тог актера. Потом се позива предефинисани метод актера *PreRestart* који шаље поруке прекида сваком актеру детету и позива предефинисани метод *PostStop*. Затим се чека да сва деца актери прекину са радом и када последње дете пошаље поруку о престанку рада креира се нова инстанца актера. По креирању нове инстанце позива се предефинисани *PostRestart* метод на новој инстанци и шаље се захтев за рестартовање сваком актеру детету [4]. Свако дете прати исти след догађаја. На крају актер може да настави са радом. Комбинација овог обрасца са неком од техника чувања тренутног стања актера се користи у систему онлајн банкарства *BANKX22* и представља главни начин на који се систем носи са непредвиђеним понашањем неког његовог дела.

3.4 Образац прекидач кола

Дефиниција обрасца: **Штити сервисе прекидајући конекцију ка њиховим корисницима током дужих услова отказа** [2]. Овај образац описује на који начин се безбедно могу повезати други делови система тако да се грешке не рашире међу њима. У случају када је компонента претрпана захтевима или крене да пада, ток захтева до те компоненте може бити намерно прекинут. На овај начин се постиже да прималац захтева има времена да се опорави од могућег пада због оптерећења, а пошиљалац може да одлучи да је захтев неуспешан, а да не чека негативни одговор. Постеје два стандардна начина да се имплементира овај образац. Први је тај да прекидач кола врши комуникацију

са компонентом која прима захтеве. Када добије одговарајући број негативних захтева од компоненте прекидач кола прекида коло и сам креће да враћа негативне поруке пошиљаоцу. Након одређеног времена проверава стање оптерећења компоненте примаоца и уколико је повољно поново затвара коло дозвољавајући захтевима да стигну до компоненте. Овај начин је пример општег прекидача кола. Други начин је да постоји специфичан прекидач кола, рецимо за сваког корисника, и да он мери којом су брзином захтеви тог клијента упућивани компоненти која прима захтеве. Када брзина комуникације пређе одређени лимит, прекидач кола прекида коло и креће са одбијањем захтева. Постоји могућност да се одређеним клијентима забрани приступ дуготрајно уколико им константно брзина комуникације прелази лимит. На тај начин шаље се упозорење да треба погледати имплементацију компоненте пошиљаоца и лимитирати брзину којом она шаље захтеве. Имплементацијом овог обрасца обезбеђујемо да систем буде издржљивији него када бисмо сваки случај грешке обрађивали појединачно. Цена прекидача кола је та да сви позиви пролазе кроз још један корак порвре и да тајмаути морају бити планирани, стога га не бисмо требали имплементирати на високом нивоу грануларности.

Пример примене овог обрасца на систему онлајн банкарства *BANKX22* можемо видети у актеру који врши добијање информација о размени валута са екстерног система. Овај актер користи прекидач кола као вид заштите у случају да је екстерни систем преоптерећен и да му је време одзива поште или ако је недоступан. У тим случајевима прекидач је конфигурисан тако да уколико добије пет неуспешних одговора од екстерног система улази у затворено стање и уместо да и даље шаље захтеве екстерном систему сам враћа негативне одговоре. Прекидач кола ће бити у затвореном стању један минут након чега прелази у полу отворено стање. Када следећи захтев стигне биће прослеђен екстерном систему и уколико је захтев успешан прекидач кола прелази у отворено стање и наставља са уобичајним радом. Уколико је захтев неуспешан прекидач се враћа у затворено стање још један минут и потом опет проверава доступност екстерног система. Овим приступом је систем онлајн банкарства *BANKX22* у знатној мери заштићен од рада екстерног система за добијање информација о конверзији валута.

3.5 Активни-пасивни образац копирања

Дефиниција обрасца: *Чувај више копија сервиса који се извршава на различитим локацијама, али дозволи измене стања на једној локацији у једном тренутку* [2]. Образац је добио овај назив како би означио да за опоравак једног сервиса, ако у потпуности престане са радом, укључујући и губитак његовог складишта података, потребно је расподелити његову функционалност и скуп података са којима ради на више физичких локација. Како би оваква имплементација могла да ради потребан је одређен вид координације, поготово за операције које мењају трајна стања сервиса. Циљ овог обрасца је да у једном тренутку дозволи промену стања на само једној копији. Тиме постижемо да измене стања не захтевају консензус између копија. Битан је консензус у одабиру активне реплике. Како би било могуће знати локације свих копија сервиса потребно је имплементирати регистар сервиса који чува адресу сваке копије и коме друге компоненте

могу приступити. При подзају система, компонента која има више копија уписује њихове адресе у регистар. На овај начин је олакшано новим репликама да буду додаване, а старе замењивање динамички. Механизам избора активне копије може бити доступан клијентима који га ослушкују и имају благовремене информације о промени активне реплике. Мана оваквог приступа је што су клијент и сервис уско спретнути у смислу дељења протокола. Други начин би могао да буде да свака копија има могућност прослеђивања захтева активној копији. Тиме избегавамо строгу спретност, али постоји могућност да редослед пристизања захтева буде нарушен ако су захтеви прослеђени од различитих реплика па губимо детерминизам код обраде захтева. Постоје два типа отказа која се могу јавити код овог обрасца. Може се десити да дође до отказа пасивне копије и тада обично долази до повећања мрежног саобраћаја како би ова копија која је рестартована добила најновије стање у којем се налазе остале копије. Други случај који може да се догоди је да дође до отказа активне копије. Тада ће постојати период у коме неће бити активне копије, зато што је потребно време да се установи губитак активне копије и да се прошири знање да ће нова инстанца бити потребна. Ова координација задатака мора бити обављена пажљиво како бисмо били сигурни да се стара инстанца не може умешати са будућим операцијама ако постане доступна поново након дељења мреже. Због поменутих ситуација могу постојати периоди када ће овај сервис бити недоступан, све док се не изабере нова активна реплика која је у конзистентном стању и при томе пазећи да се не дође у ситуацију постојања две активне реплике. Овај образац је одличан када нам је потребно очување конзистентности по цену доступности сервиса у случајевима отказа. Систем онлајн банкарства *BANKX22*, помоћу развојног окружења *Akka .NET*, користи модул који се зове *Cluster* и који дозвољава репликацију како сервиса тако и целог система. Ове реплике, назване чворови, се могу сместити на различите физичке локације и употребом функционалности које нам пружа *Cluster* модул се лако имплементира активни-пасивни образац копирања.

3.6 Обрасци комуникације

У реактивним дистрибуираним системима посебну пажњу треба издвојити на пројектовању добре комуникације међу компонентама система на свим нивоима грануларности.

Образац који је доста заступљен и примењен у свим доменима је **образац захтева и одговора** (енг. *Request-response pattern*) који наводи да сваки захтев треба да садржи адресу пошиљаоца захтева, како би прималац могао да одговори на захтев. Овај образац је нашао своју примену у бројним протоколима као што је рецимо *HTTP*⁸ где је адреса пошиљаоца захтева уградњена у механизме протокола. Образац се користи експлицитно у Моделу актера где је приликом комуникације између актера потребно укључити и референцу актера у састав поруке која саджи адресу актера који шаље захтев.

⁸ *HTTP* (енг.. *Hypertext Transfer Protocol*) апликациони слој веб протокола за слање документа хипермедије као што је *HTML*

Још један образац који треба примењивати је **образац самосталне поруке** (енг. *Self-Contained Message pattern*) који наглашава да свака порука треба да саджи све информације потребне за обраду захтева као и да се разуме његов одговор [2]. То заправо значи да ако је могуће, најбоље је у поруци укључити све информације као што су адреса пошиљаоца, јединствени број поруке, коме је порука намењена и сам садржај поруке. На тај начин пошиљалац и прималац би били ослобођени од чувања стања о процесу комуникације што би значајно допринело одзивности као и издржљивости система. Систем онлајн банкарских сервиса *BANKX22* користи *HTTP* како би корисник посредством корисничког интерфејса комуницирао са слојем *.NET Web API* система (за више детаља погледати 4.5.Net Web API интерфејс за програмирање апликација), док слој *Web API* комуницира са осталим сервисима система употребом обрасца самосталне поруке. У неким случајевима када је садржај поруке превелики, рецимо ако су укључени неки медији као на пример слике или фајлови, тада није пожељно послати све у једној поруци због могућег застоја у мрежи. У тим случајевима се одржавање стања комуникације треба свести на минимум. То се постиже слањем метаинформација у првој поруци, а затим, ако се добије потврдан одговор од примаоца, шаље се садржај поруке.

Образац који је постао златни стандард у *Akki* се назива **упитни образац** (енг. *Ask pattern*). Образац наводи да обрађивање одговора треба делегирати додељеној компоненти која је креирана са тим разлогом [1]. Након што се обави циклус “захтев-одговор” често се дешава да тренутни процес мора да настави са наредним коракима. Да бисмо ово омогућили Актер би могао да чува мапу корелација индентификација са информацијама које се тичу процеса наставка или би могао да створи новог актера чији би задатак био да настави са процесом по пристизању одговора. Овај приступ је уgraђен у развојно оркужење модела актера где је додељена одговарајућа синтакса овом обрасцу. Након пристизања одговора дете актер које је одређено за обраду одговора може да пошаље родитељу поруку успеха, поруку неуспеха или поруку истека тајмаута. Ова информација се смешта у објекат који се назива **будућа бредност** (енг. *Future*). Будуће вредности омогућавају имплементацију родитеља без блокирања током чекања резултата.

У систему онлајн банкарских сервиса *BANKX22* образац комуникације је нашао своју примену у комуникацији контролера и актера. Како је контролеру неопходно да сачека на одговор и проследи га корисничком интерфејсју он путем упитног обрасца шаље захтев у виду поруке актера на даљу обраду и добија објекат будућност који након разрешавања у конкретан одговор враћа корисничком интерфејсју. Морамо водити рачуна да не претерамо са коришћењем горе поменутих образаца јер се то може одразити на перформансе система. Рецимо ако се строго придржавамо обрасца захтева и одговора, тада ће одговори увек стизати са сервиса коме је захтев упућен. Ако у комуникацији са клијентом постоји сервис који представља посредника у комуникацији са другим сервисима, који је контролор захтева и прослеђивач захтева на праву адресу, тада ако се придржавамо обрасца захтева и одговора, сваки одговор ће бити прослеђиван клијенту такође преко посредника. Ово може да изазове ефекат “уског грла” поготово ако су одговори неки мултимедијални садржаји.

Да до овога не бисмо довели можемо применити **образац тока напред** који наглашава да ток порука треба да буде директан према одредишту тамо где је то могуће [3]. То би значило да одговори различитих сервиса не иду преко посредника него директно

клијенту који је упутио захтев. Образац тока напред је примењен у делу система онлајн банкарских сервиса *BANKX22* који је имплементиран коришћењем модела актера. Тако да након што је контролер послao иницијалну поруку систему моделу актера референца контролера се пропагира унапред све до актера који врши финалну обраду захтева и резултат шаље директно контролеру, а не актера од кога је добио делимично обрађен захтев.

У систему као што је систем онлајн банкарства *BANKX22* морамо водити рачуна на који начин обављамо трансакције. Како је систем дистрибуиран тако стандардни механизми попут закључавања података којима се постиже атомичност трансакције неће бити могући, поготово ако се деси дељење мреже. Трансакција као што је пребацивање новца са једног рачуна на други може захтевати улазне податке из више различитих компоненти и такође утицати на модификацију више компоненти. У оваквој ситуацији погодан је **сага образац**. Дефиниција сага обрасца је да треба поделити дистрибуиране трансакције које имају дуги животни век у више брзих локалних са одговарајућим акцијама у случају неуспеха [27]. Другим речима, треба извршити креирање компоненти са кратким животним веком које би обавиле извршавање низа акција дистрибуираних преко више компоненти. Оваква компонента служи као оркестратор у преносу новца и обезбеђује одговарајуће акције у случају да из неког разлога до трансфера не може доћи. Она обезбеђује да се трансакција изврши или да се прекине обезбеђујући атомичност и евентуалну конзистентност, а не блокирајући компоненте које учествују у преносу. Још једна карактеристика саге је да она садржи сво знање о процесу преноса, тј. компонете које учествују у преносу су ослобођене те одговорности. У случају промена ово је пожељна карактеристика јер се обављају на једном месту. Сва стања која има сага компонента требају бити сачувана, тако да ако дође до отказа саге могу лако да буду повраћена приликом рестартовања.

Приликом комуникације између сага компоненте и компоненте на којој се налазе одговарајућа средства може доћи из неких разлога до губитка порука. Како бисмо обезбедили поузданје извршавање трансакције потребно је да сага понавља слање иницијалне поруке све док не стигне потврдан одговор, да у ту поруку укључи информацију о идентификацији самог захтева како би компонента могла да га искористи и спречи вишеструко скидање средстава за исти захтев и да компонента мора увек да врати одговор чак и за поновно послате поруке. Овакав вид комуникације се назива **образац пословног руковања** (енг. *Business Handshake pattern*) зато што је круцијално да одговор компоненте имплицира успешно процесиран захтев [3].

3.7 Обрасци контроле тока

Како би дистрибуирани реактивни систем био отпоран на променљива оптерећења потребни су механизми који би спречили отказ компоненте због превеликог броја захтева који су јој упућени. Један такав механизам се назива **образац вучења** (енг. *Pull pattern*). Образац вучења наводи како потрошач захтева треба да тражи од произвођача већи скуп

података [2]. На тај начин потрошач има контролу над количином захтева коју је у стању да обради без преоптеређивања. Број тражених захтева може бити прилагодљив динамички како би се постигао оптималан рад потрошача захтева у било ком окружењу, како приликом развоја и тестирања, тако и у самој продукцији. У моделу актера, актер произвођач може креирати одређен број актера потрошача и тај број прилагођавати у односу на укупан број захтева и ресурса како бисмо постигли оптималне перформансе и како актер произвођач не би морао узалудно да чека док му не стигне захтев од актера потрошача за новим скупом захтева.

Постоје ситуације када није могуће контролисати брзину слања, односно примања података, па самим тим није могуће применити образац вучења. Рецимо ако постоји комуникација система са неким екстерним сервисом над којим немамо контролу. Тада се може применити **образац управљивих редова** (енг. The Managed Queue pattern). Дефиниција обрасца управљивих редова је да треба управљати улазним редовима и реаговати складно њиховом нивоу испуњености. Идеја је да се структура података која се назива ред имплементира између компоненте која прима захтеве и екстерне компоненте која их шаље. Они онда могу да врше надгледање и вођење перформанси система порука. Иако овакав механизам претставља одличну линију одбране од преоптерећења, може се десити да је брзина захтева коју шаље екстерна компонента толико велика да ће доћи до пуњења меморије реда. У једном тренутку систем више неће имати расположиву меморију коју може да додели реду па би морао да угаси неку другу компоненту или да падне.

У таквој ситуацији боље је применити **образац одбацивања** (енг. Drop pattern) који наводи да захтев боље одбацити него пустити да неконтролисано неуспе. Тако да је боље да компонента где је ред имплементиран има могућност одбацивања захтева када дође до попуњености меморије реда него пустити систему да се носи са неконтролисано неуспешним захтевом. Како бисмо контролисали одбацивање захтева добро решење је имплементирати алгоритам одбацивања на основу односа уноса и вађења из реда. На основу тог односа се може израчунати вероватноћа одбацивања захтева. Што је ред више попуњен, то значи да је брзина пристизања захтева већа од брзине вађења захтева из реда, то је вероватноћа одбацивања већа. Овим се постиже да ће доћи до уједначавања захтева убачених у ред и обрађиваних захтева, а такође се брзина слања може прилагодити или перформансе обраде захтева.

3.8 Обрасци управљања и чувања стања

Већина компонената система ће морати на неки начин да управљају својим стањима. Та стања је у многим случајевима потребно чувати ради опоравка у случају отказа. Како би управљање стањима било ефикасније пожељно је одвојити га од домена бизнис логике и комуникације. За ову сврху можемо користити **образац објекта домена** (енг. The Domain Object pattern) који описује начин на који можемо одржати јасну границу између интереса пословне логике, управљања стања и комуникације [2].

Ако користимо образац објекта домена тада је свака промена стања упарена са догађајем који се шаље клијенту који је затражио промену. Ови догађаји садрже целу историју на који начин је објекат домена еволуирао па их можемо искористити као метод очувања промене стања. То постижемо тако што изводимо промену стања применом одређеног догађаја, и правимо их трајним чувајући те догађаје у логу. Овакав приступ се назива **образац догађаја као извора** (енг.*Event-Sourcing pattern*). Име је добио зато што саме догађаје правимо изворима истине за сачуване објекте домена, а не трансформишемо их у ажурирања једног складишта [1]. Како су догађаји чувани у уређеном поретку у логове, доволно је њихово надовезивање након пада како би се компонента вратила у одговарајуће стање.

Систем онлајн банкарства BANKX22 користи погодности развојног окружења *Akka .NET* у виду *UntypedPersistedActor* актера који пружа имплементиране механизме за управљање и чување стања. Више детаља о употреби ће бити пружени у наставку текста.

4 Технологије

4.1 Библиотека *React*

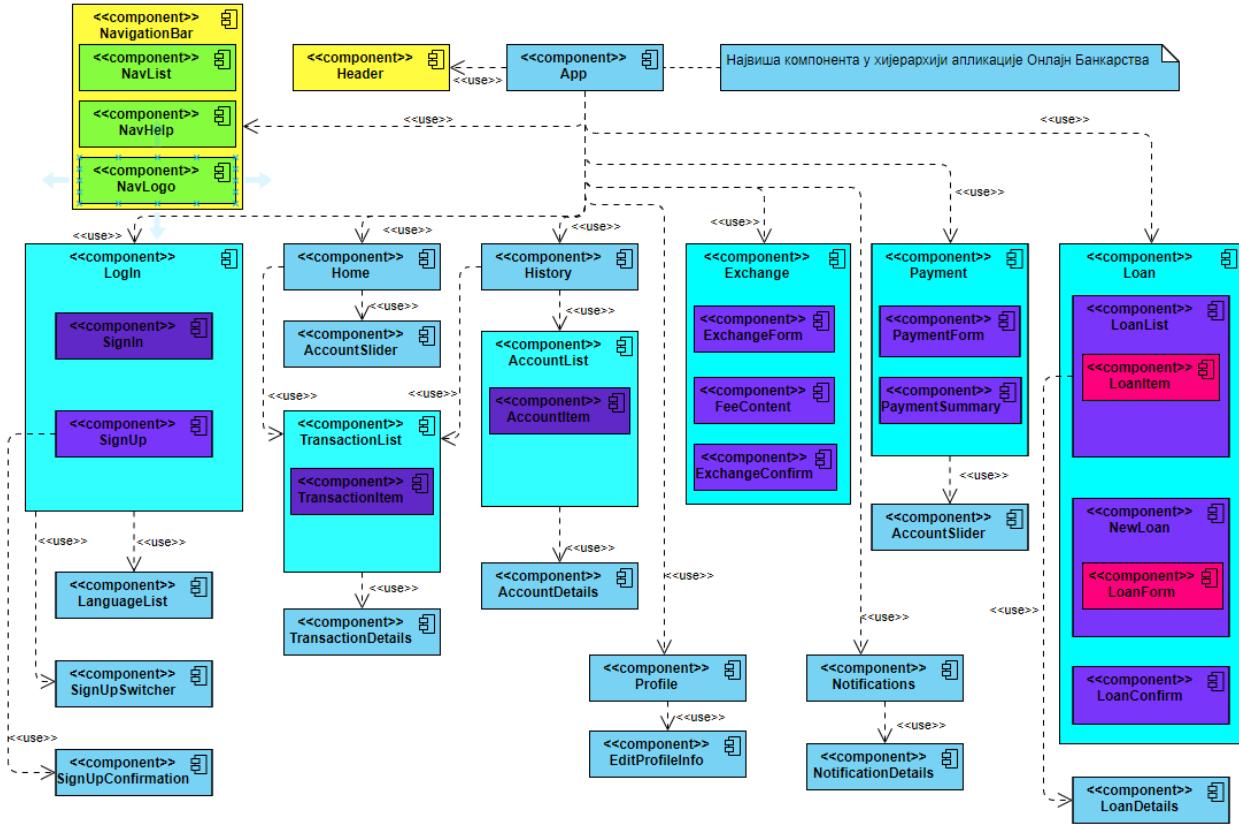
React је библиотека написана у *Javascript* програмском језику која служи за прављење корисничког интерфејса. *React* је декларативна библиотека која је базирана на писању компоненти коришћењем реактивних принципа [7]. Због ових карактеристика коришћена је приликом израде клијентског дела система онлајн банкарства *BANKX22*.

Када правимо апикацију користећи библиотеку *React* ми у ствари апликацију замишљамо као хијерархију компоненти. На врху хијерархије се налази компонента која представља целу апликацију, а потом се она дели на основу својих функционалности на друге компоненте. Тако понављајући рекурзивно процес долазимо до компоненти на дну хијерархије код којих свака компонента представља једну функционалност апликације. Овим поступком је у ствари праћен образац једноставне компоненте (3.1 Образац једноставне компоненте) и образац језгра грешке (3.2 Образац језгра грешке).

Свака компонента има два објекта која су неизоставна и представљају суштину имплементације компоненте. Први је објекат стања у коме се чува и ажурира локално стање компоненте и на основу кога библиотека врши поновни приказ те компоненте. Објекат стања се иницијализује у циклусу креирања компоненте и на основу њега се врши иницијални приказ, а затим, када се неки део стања промени врши се поновно исцртавање те компоненте са ажурираним стањем. Други објекат се користи као начин комуникације између компоненте на различитим нивоима хијерархије и назива се *props*. Када родитељ компонента жeli да обавести дете компоненту, она у *props* објекат додаје одговарајуће својство са жељеном вредношћу. Сваки пут када дете компоненте прими нову вредност она се поново приказује кориснику. Уколико бисмо желели да се комуникација одвија у супротном смеру, да дете иницира комуникацију са родитељем, тада је потребно да дете компонента испали догађај који је прослеђен од стране родитеља кроз *props* објекат при креирању компоненте.

Видимо да овакав начин комуникације одудара од принципа комуникације заснованог на порукама који нам налаже реактивни манифесто. Ипак ако узмемо у обзир, чињеницу да се клијентска страна апликације углавном налази на једној машини, тако да локална транспарентност није толико битна карактеристика па самим тим и комуникација заснована на порукама није значајна у овом случају.

На Слици 4.1 дат је хијерархијски приказ клијентског дела апликације онлајн банкарства *BANKX22*. За овакву структуру апликације идеално је коришћење библиотеке *React*. *App* компонента представља „корен“ стабла у дрвету компоненти. Како функционалност апликације разлажемо на одговарајуће сервисе тако добијамо следећи ниво хијерархије стабла. Ако гледамо појединачно сваки сервис можемо опет применити образац једноставне компоненте и добити компоненте које представљају појединачне функционалности сваког сервиса. Рецимо ако погледамо *Payment* компоненту на слици можемо приметити да је она разложена на компоненте *PaymentForm* и *PaymentSummary*.



Слика 4.1 Дијаграм компоненти апликације онлајн банкарства BANKX22 имплементираних у библиотеци Риакт

Понављајући поступак компоненте можемо у *react*-у врло ефикасно и лако разлагати до оптималног нивоа грануларности. На слици 4.1 видимо да компонента *Payment* користи компоненту *AccountSlider* како би у слайдеру приказала списак свих рачуна којима корисник тренутно располаже. Ова компонента је такође коришћена од стране *Home* сервиса. *React* у овим ситуацијама прави две одвојене копије компоненти, тако да промена стања код једне компоненте неће утицати на промену стања код друге. Овим је обезбеђено својство **непормењивости објекта** које је једно од централних концепата како у функционалном тако и у реактивном програмирању.

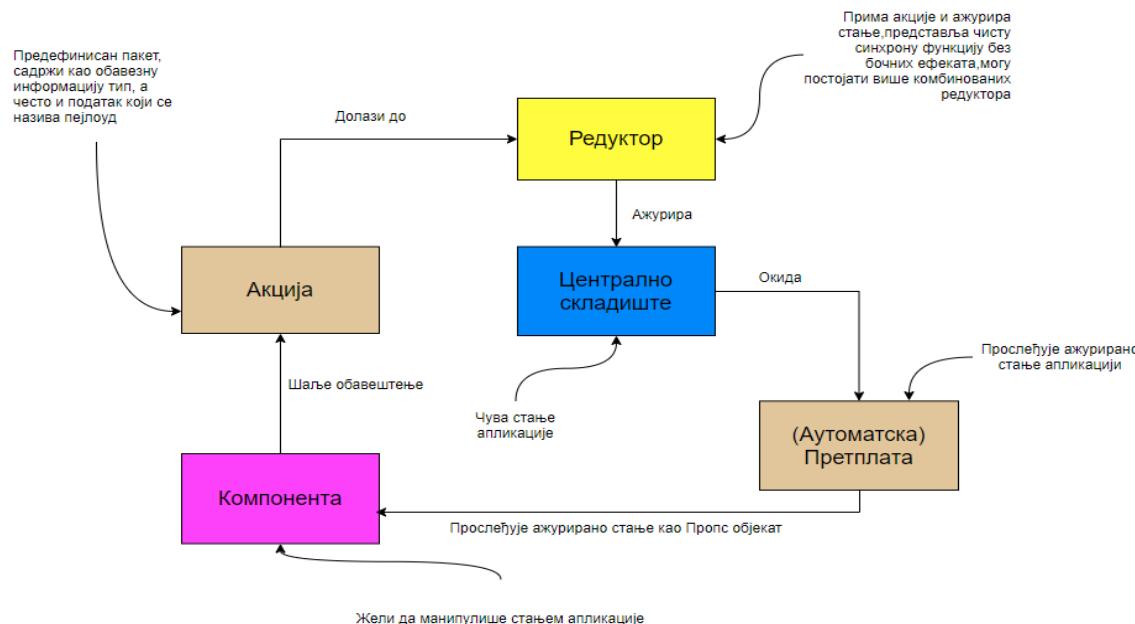
4.2 Библиотека *Redux*

Redux представља библиотеку написану у *Javascript* језику која помаже у одржавању глобалног стања апликације, односно стања које је потребно у многим деловима апликације. Састоји се од скупа образца и алата који олакшавају разумевање о томе када, како и зашто је стање у апликацији ажурирано и како се сама апликација понаша када је стање промењено [8].

Систем онлајн банкарства BANKX22 садржи одређен број података који се требају одржавати на глобалном нивоу. За податке као што су кориснички идентитет, рачуни

корисника и обављене трансакције није доволјно локално стање које нам пружа *React*-ова компонента јер се ови подаци користе у више различитих сервиса. Такође, константно довлачење ових компонената са серверског дела апликације би било прескупо и непотребно. За податке оваквог типа идеална је употреба библиотеке *Redux*.

Напоменули смо да је главни значај ове библиотеке олакшавање одржавања глобалног стања. Сходно томе једна од главних компоненти библиотеке *Redux* је централно складиште у коме се то стање чува. Стање може бити промењено само посредством специјалне функције која се назива *редуктор* (енг. *reducer*). *Редуктор* добија као параметар специјално дефинисан пакет података који се зове акција и на основу типа акције ажурира одређен део стања централног складишта⁹. Акција је *JavaScript* објекат који се састоји од типа, а често и од података по конвенцији названих *payload*). Сваку акцију одашиље *redux*-ова компонента након потребе за променом глобалног стања апликације. Приморавањем да свака промена буде описана акцијом омогућава се јасно разумевање о томе шта се догађа унутар апликације. Како бисмо приликом писања апликације одржавали добре принципе програмирања као што су енкапсулација, одвајање брига и свели дуплирање кода на минимум пожељно је акције одашиљати из компоненти посредством специјалних функција које се зову креатори акције (енг. *action creator*). Као што само име функције каже, њен циљ је да креира и врати одређену акцију која ће бити послата редуктору. Описан процес је приказан на Слици 4.2.



Слика 4.2 Процес ажурирања глобалног стања клијентског дела апликације коришћењем библиотеке *Redux*

⁹Библиотека *Redux* прати концепте функционалне парадигме тако да не постоји директно мењање података. Када се у тексту наводи да се стање ажурира мисли се да се креира потпуно нов објеката који представља стање тако што се непромењени делови стања копирају, а додају промењени и ново стање се ставља на врх складишта као тренутно стање апликације.

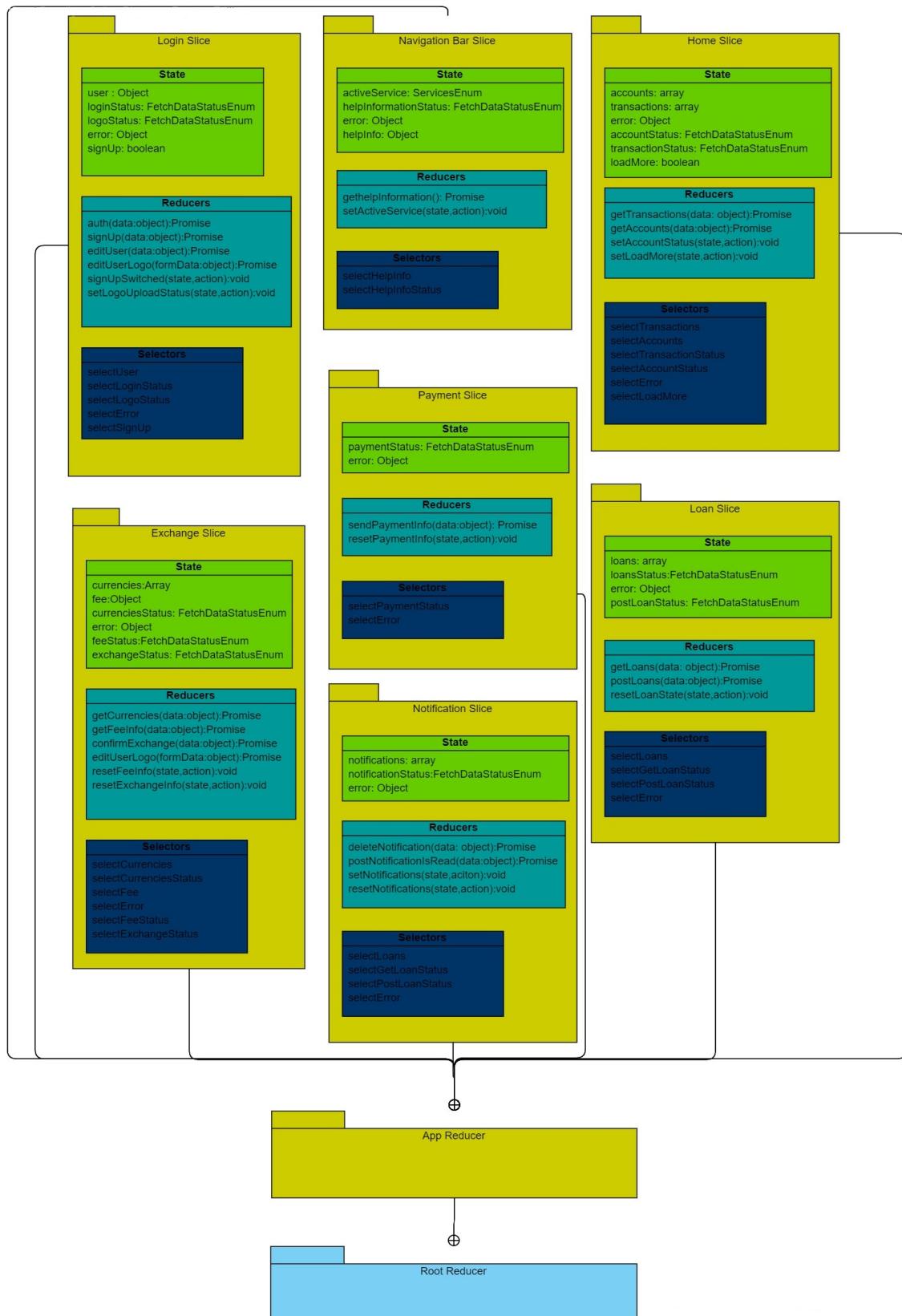
4.3 Redux-ов скуп алата

Redux-ов скуп алата (*eng. Redux Toolkit*) представља вишу апстракцију која помаже да се поједноставе најчешћи случајеви употребе који се јављају у библиотеци *Redux* [9]. Коришћењем овог алата добијамо читкији код јер користимо предефинисана правила и уграђене функције овог скупа. Такође долази и до елеминисања кода који се бави конфигурацијом *redux*-овог складишта и *посредника* - (*eng. Middleware-a*). *Redux*-ов скуп алата нам пружа неколико функција које можемо користити и додаје зависности неких пакета који се често користе заједно са *redux*-ом. Оваквим приступом осигуравамо да ће захтев бити извршен тачно једном.

Када желимо да *redux* повежемо са апликацијом први корак би требао бити креирање и конфигурисање складишта. Том прилоком се функција која врши креирање прослеђује као параметар редуктору који ће ажурирати стања и скуп опција као што су на пример *посредници*¹⁰ који ће бити коришћени, алати за лакши развој и праћење стања апликације и многи други. Веома често се за многе апликације користи исти скуп опција. Да би се развијалац апликације ослободио обавезе ручног конфигурисања *redux*-ов скуп алата укључује функцију *configureStore* која врши аутоматско иницијално конфигурисање и тиме ослобађа програмера да пише конфигурације које се најчешће употребљавају у апликацијама.

Систем онлајн банкарства *BANKX22* користи концепт *парчића* (*енг. slice*) који је главна карактеристика *redux*-овог скупа алата. Сваки *парчић* представља део стања главног складишта који има своје име, иницијално стање и скуп редуктора којим се манипулише тај део стања. Такође сваком *парчићу* можемо придржити и скуп селектора помоћу којег *react* компонента лакше приступа неком сегменту стања. На овај начин је извршена јасна подела и организација кода на основу бизнис логике апликације и програмер је приморан да се придржава добирх образца при самом развоју. Ови *парчићи* се спајају у једну целину коришћењем комбинованог редуктора који се назива *AppReducer*. *AppReducer* редуктор би се могао проследити као такав функцији која конфигурише централно складиште. Ипак у систему онлајн банкарство *BANKX22* се јавља потреба за враћањем глобалног стања на иницијалне вредности у одређеним случајевима. Рецимо један случај би био одјављивање корисника из апликације. Како приликом поновног пријављивања корисник не би затекао неке сервисе у неконзистентном стању редуктор *AppReducer* "обмотавамо" са кореним редуктором који има функционалност ресетовања стања и њега шаљемо складишту. На Слици 4.3 можемо видети скуп свих *парчића* који се користе у систему онлајн банкарство *BANKX22*.

¹⁰ Неизоставни посредник сваке апликације која комуницира са сервером је "thunk middleware" који служи за асинхроно извршавање неких акција прослеђених редуктору од стране компоненте.



Слика 4.3 Приказ свих парчића као и скуп редуктора, селектора и иницијалних стања коришћених у систему онлајн банкарства BANKX22

4.4 Модел актера

Модел актера(енг. *Actor model*) је модел истовремених израчунавања у којима се свака комуникација јавља између ентитета који се називају *актери*, путем прослеђивања порука стране која шаље и редова који су сандучићи за пошту на страни примаоца [1][4]. Овакав концепт се први пут јавља у Ерланг програмском језику. *актери* задовољавају сва три постулата Реактивног стања, вођени су порукама, асинхрони су и неблокирајући. Организација актера је таква да задовољавају супервизовану хијерархију за управљање неуспесима на различитим нивоима важности. Када се изузетак јави унутар актера та инстанца може бити настављена, рестартована, стопирана чак иако се грешка јавила унутар друге асинхроне нити. Корисничко окружење *Akka .NET* која је базирано на концепту модела актера обезбеђује проксије кроз које интеракција свих актера мора да тече. Тај прокси се зове референца актер (енг. *ActorRef*). То за последицу има да сам актер нема потребе да зна физичку локацију актер коме шаље поруку. Ово својство се назива локацијска транспарентност (енг. *location transparency*). Локацијска транспарентност нам омогућава да рецимо стартујемо новог актера и прерутирамо све поруке ка њему у случају да тренутни актер престане са радом у сред конверзације без потребе за мењањем кода саме поруке. Мана оваквог приступа је та да актер који шаље поруку мора имати референцу актера који прима ту поруку, односно произвођач поруке и потрошач су уско спрегнути. Предност оваквог приступа је та да отказ једног актер не утиче на рад другог зато што је једина тачка приступа референца актера. Извршавање унутар актера је синхроно зато што се обавља са једном нити и друга нит не може да изврши позив унутар актера директно. Овим приступом је обезбеђена енкапсулација променљивог стања унутар инстанце актера тако да нема захтевања катанаца како би се лимитирао истовремени приступ променљивој. Модел актера подржава како вертикално скалирање (коришћење више језгара унутар једне машине), тако и хоризонтално скалирање (коришћење других ресурса који су на мрежи). Пружају механизме супервизије у подршци толеранције грешака. Због наведених својстава имају све карактеристике за изградњу реактивног дистрибуираног система.

Развојно окружење *Akka .NET* дозвољава да се развијаоци система усредсреде на бизнис процесе уместо да сами пишу код који пружа поуздано понашање, толеранцију грешака и високе перформансе. Акка нам пружа вишенитно понашање без потребе коришћења констурктата конкурентности као што су атомичност, закључавања и проблема који се тичу видљивости меморије. Самим тим омогућава писање конкурентних, паралелних и дистрибуираних система лакшим.

Механизам рада актера је следећи:

- 1) Актер додаје примљену поруку на крај низа,
- 2) У случају да није већ заказан за извршавање, означава да је спреман за извршавање
- 3) Специјална компонента звана *Планер* узима тог актера и почиње да га извршава,

- 4) Актер узима поруку са почетка реда,
- 5) Врши модификовање унутрашњег стања и шаље поруку другом актеру
- 6) Након тога *Планер* отказује актера [4].

Како бисмо постигли овакав начин рада сваки актер има *сандуче* (ред где се поруке стављају), *понашање* (стање актера), *поруке* (делови података који репрезентују сигнал), *извршно окружење* (машинерија која узима актера код кога постоје поруке на које може да реагује и позива код који обрађује поруке) и *адресу*. Овако изграђен актер може решити изазове као што је направити апликацију високих перформанси и са конкурентношћу, како решавати грешке у срединама са више нити, тако и заштитити апликацију од замки које носи конкурентност.

Развојно окружење *Akka .NET* поред основног градивног елемента апликације који представља актер пружа још много погодности да се развије један систем какав бисмо желели да буде *BANKX22*. Једна од погодности је и систем рутирања који је имплементиран на овом развојном окружењу. *Рутери* су специјални актери чији је главни циљ да пристиглу поруку проследе једном или више других актера на што ефикаснији начин. Постоји дosta различитих типова рутера имплементираних у овом развојном окружењу. Њиховим коришћењем се значајно повећава пропусност система као и брзина обраде и добијања одговора. Рутер може да исту поруку пошаље већем броју актера, лоцираних на различитим машинама, и рецимо да чека док најбржи не пошаље одговор. На тај начин и ако откаже нека машина, одговор може стићи од актера лоцираног на машини која је функционална.

Веома битна погодност која је имплементирана у развојном окружењу *Akka .NET* јесте транспарентно слање порука између актера на различитим физичким локацијама. Ово је остварено *Akka.Remoting* и *Akka.Clustering* модулима. Ови модули омогућавају да се ништа у имплементацији кода не мења, ако желимо да комуницирамо са актерима на другим системима. Довољно је правилно подесити конфигурацију система. *Akka.Clustering* је модул који се надограђује на *Akka.Remoting* и који омогућава поделу система по групама који се зову кластери и који има уграђене механизме откривања отказа неког система унутар кластера, као и ком актеру унутар неког система треба да стигне порука која је послата ван тог кластера. Чињеница која значајно олакшава употребу ових модула је та да је већина ствари могућа конфигурацијом. Тако је могуће преконфигурисати начин комуникације и начин рада самог кластера у зависности од окружења у којем се апликација налази као и у зависности од тренутне оптерећености апликације. Употребом ових модула наша апликација добија могућност аутоматског скалирања у случајевима смањене, односно повећане оптерећености.

Многи актери које имплементирају систем онлајн банкарства *BANKX22* тако и било који други систем који је имплементиран развојно окружење *Akka .NET* мора имати могућност чувања свог стања и у случајевима отказа. Уобичајено се стање актера чува у меморији. У случајевима престанка рада овако чувано стање се губи и након поновног покретања актер опет креће од иницијалног стања. У неким случајевима је ово недопустиво понашање. Развојно окружење *Akka .NET* нам пружа модул *Akka.Persistence* која се бави чувањем стања техником која се назива *извор догађаја* (енг. *event sourcing* описаног у поглављу 3.8 Обрасци управљања и чувања стања). Овим приступом се сваки догађај који се деси у актеру записује у одговарајуће складиште, а када актер жели да поврати жељено

стање догађаји се из базе читају секвенцијално и долази до реконструкције стања поновним извршавањем догађаја [17]. Овакав приступ користи популарани програми за контроле верзија као што је Гит. Предности оваквог начина чувања података је што се избегава проблем *неподударања објектно релационе импеденце*¹¹ и олакшавају способности провере и праћења који су поготово битни у финансијским системима где је битна историја и порекло трансакција. У случају да неки актер чува огромну количину догађаја може се начинити временски снимак (енг. *snapshot*) где се након одређеног броја догађаја чува само стање актер па приликом реконструкције стања почиње се од снимљеног стања, а не од иницијалног. Тиме се могу повећати перформансе система. Детаљнији приказ употребе развојног окружења *Akka .NET* ће бити описан у поглављу 6 Имплементација апликације.

4.5 .Net Web API интерфејс за програмирање апликација

Приликом пројектовања система онлајн банкарство *BANKX22* дошло се до питања комуникације између корисничког дела система који се налази у претраживачу и серверског дела који је базиран актер. Природно решење би било да се комуникација обавља путем ХТТП протокола неким архитектуалним стилом као што је *REST* (енг. *REST-Representational state transfer*) [18]. Проблем је што модел актера на високом нивоу апстракције зна да комуницира само путем порука које се не придржавају ХТТП протокола и *REST* смерница. Из тог разлога је као мост између клијентског дела и развојног окружења *Akka .NET* постављено развојно окружење које се зове *.NET Web API* интерфејс за програмирање апликација (енг. *Web API .NET Core*) написана у C# програмском језику [6].

Када клијент пошаље захтев за неким ресурсом, тај захтев пролази кроз неки од комуникационих канала који се зове крајња тачка (енг. *endpoint*). Крајње тачке су имплементиране у веб интерфејсу за програмирање апликација путем специјалних класа који се зову контролори. У сваком контролору се налазе методи који се називају акције и који представљају крајње тачке [5]. Када захтев стигне развојно окружење зна коју од акција да позове уз помоћ система за рутирање. Постоји конфигурациони део развојног окружења где се врши конфигурација система за рутирање и бројних других подешавања. На овом развојном окружењу сва конфигурисања и подешавања се остварују **принципом уметања зависности**¹². На тај начин можемо извршити уметање и конфигурисање система актера развојног окружења *Akka .NET*. Пошто смо овим приступом омогућили повезивање веб интерфејса за програмирање апликација и система актера, потребно је још да се захтев који је пристигао са корисничког дела проследи систему актера. Већ је напоменуто да ће захтев обрађивати акција одговарајућег контролера, па је могуће и врло једноставно да та акција пошаље поруку актеру из система који је задужен за сервисирање захтева.

¹¹ Неподударање објектно релационе импеденце (енг. object-relational impedance mismatch) – објекти у меморији се не пресликавају директно у табеле релационе базе [16].

¹² Принцип уметања зависности (енг. dependency injection principle) – техника у којој један објекат прима друге објекте од којих зависи и који представља једну од форми технике која се назива инверзуја контроле [19].

Уколико дође до повећане оптерећености система услед повећаног броја захтева, треба применити технику скалирања. У таквим ситуацијама се показало да је боље и изводљивије применити хоризонтално скалирање, односно креирање више инстанци сервера. Проблем који се ту јавља је да ће сваки нови сервер додати и нову инстанцу система актера које су међусобно независне. Срећом, применом *Akka.Cluster* модула из развојног окружења *Akka .NET* можемо комбиновати више система актера заједно. Добра пракса је да се постави један централни систем актера који је задужен за најзахтевније процесе, а да други системи актера који настају скалирањем буду лаке категорије (понашају се као нека врста чувара (енг. *proxy*)) и да порслеђују захтеве централном систему.

5 Архитектура система

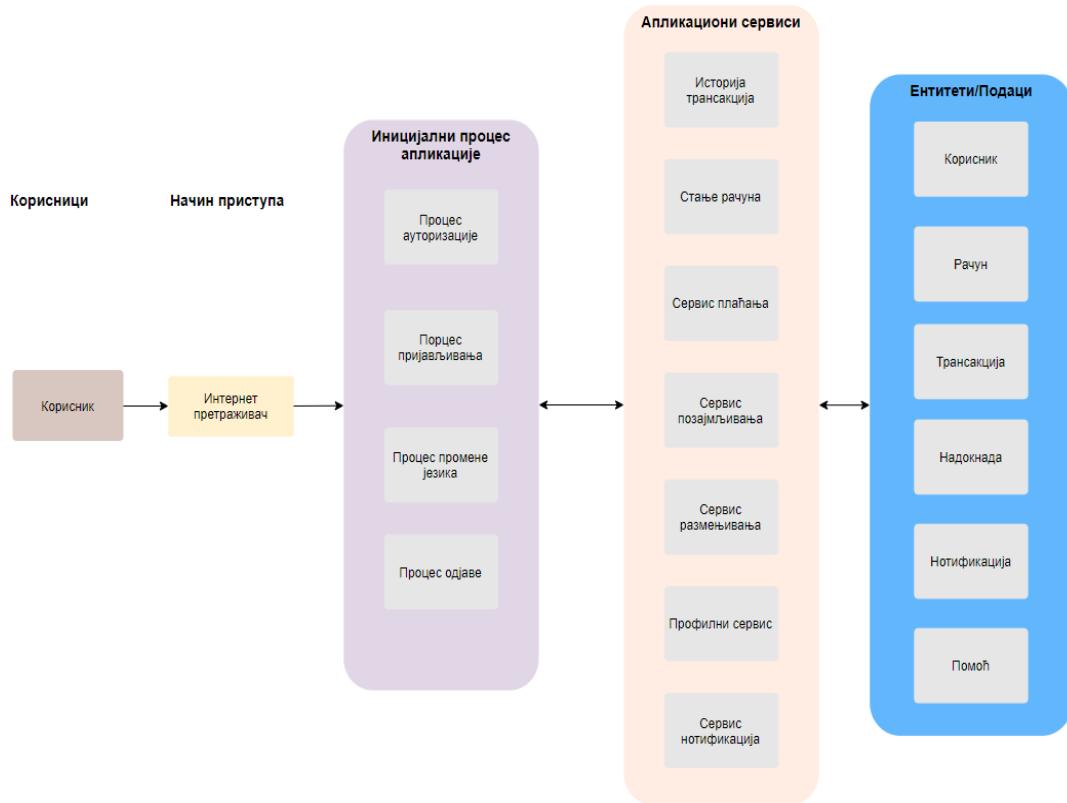
5.1 Опис система

Систем је намењена корисницима који желе да обављају услуге банкарства путем мреже. Систем је отвореног кода и доступан је на *GitHub* репозиторијуму на адреси <https://github.com/Dragutinllic88/Master.git>. Корисник има могућност регистрације у случају да апликацију користи први пут, односно пријављивања уколико је већ раније извршио пријаву. Након пријављивања кориснику се нуде могућности преглда тренутног стања на свим рачунима које поседује, приказ историје свих трансакција које је обавио на неком од рачуна, могућност вршења жељене уплате, конверзије средстава из једне валуте у другу, као и могућност узимања кредита. Поред ових основних сервиса систем шаље разне нотификационе поруке кориснику које се тичу промоција и погодности које банка нуди као и обавештења и упозорења о неплаћеним обавезама. Сваки корисник има приступ свом профилу на коме може поставити, односно изменити информације које се тичу адресе становаша, корисничког имена, слике профила, броја телефона и имејла. Уколико се јави потреба да се потражи помоћ приликом обављања неког сервиса или пријављивања неке грешке постоји секција где се може видети контакт телефон и имејл службе.

Архитектура апликације прати принципе дистрибуираног реактивног пројектовања система омогућавајући кориснику добру одзивност, толеранцију на грешке и кварове који се могу јавити, добру еластичност и скалабилност апликације у случају повећане, односно смањене употребе апликације. Више о поменутим својствима можете прочитати у поглављу 2. Реактивни манифест. Ако се деси да неки од сервиса није доступан, а није кључан за тренутну жељену услугу, корисник неће бити ометен у обављању те услуге. Рецимо ако је из неког разлога недоступан сервис профила корисника или сервис који испоручује нотификације, корисник ће и даље моћи да изврши плаћање, преглед трансакција, конверзију валута или подизање кредита. Може се наравно десити да дође до отказивања оног сервиса који би корисник хтeo да искористи. Тада систем може преусмерити извршавање на другу реплику сервиса која се може налазити како на истој тако и на другој машини и тиме омогућити несметано обављање жељене услуге.

Према описаним сервисима, односно посматрајући бизнис логику апликације, природно се намећу неколико битних ентитета који ће се користити. Први битан ентитет је корисник. Ентитет корисника ће бити креиран првим пријављивањем. Том приликом ће садржати све податке који су били неопходни да буду унети приликом процеса пријаве и мора бити сачуван у бази. Одређени подаци садржани у њему ће бити коришћени приликом поступка ауторизације, односно провере могућности корисника да ли је могуће да изврши одговарајућу акцију. Неки подаци могу бити изменјени путем профилног сервиса. Рецимо уколико је корисник променио број мобилног или адресу становаша, тај податак би требало изменити ради валидности. Следећи битан ентитет је рачун. Он се провлачи кроз све сервисе. Рецимо уколико се проверава баланс, потребно је изабрати рачун са кога желимо да проверимо стање. Ако се врши уплата, конверзија валута или се жели дићи кредит потребно је одабрати рачун са кога ће се скинути средства односно на

коме ће лећи средства. Неизоставан ентитет сваког финансијског система представља трансакција. Трансакција се користи у сервисима прегледа историје трансакција где се могу видети детаљи свих обављених трансакција, приликом конверзије валута, плаћања и подизања кредита где се формирају та три типа трансакција. Приликом размене новца се користи ентитет надокнаде. Он садржи курсну листу за тај датум, односно провизију коју ће банка наплатити од корисника. Још два ентитета која се користе у апликацији су нотификација и помоћ који се користе у нотификационом сервису и пружају детаље поруке која је стигла, односно контакт информације сервисне службе. Описани ентитети и процесни ток се могу видети на Слици 5.1.

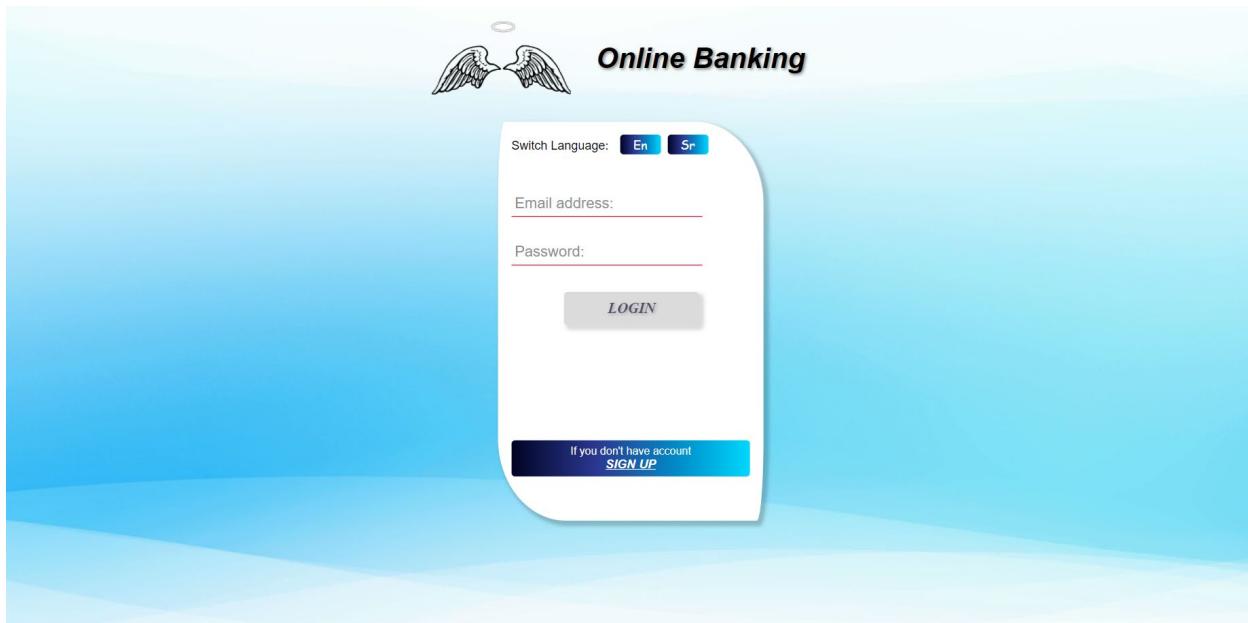


Слика 5.1 Приказ бизнис архитектуре и порцеса приступа онлајн банкарском систему BANKX22

5.2 Клијентска страна

5.2.1 Страна за пријављивање

Када корисник оде на адресу где је постављена апликација биће му приказана страна за пријављивање (Слика 5.2 Страница за пријављивање).



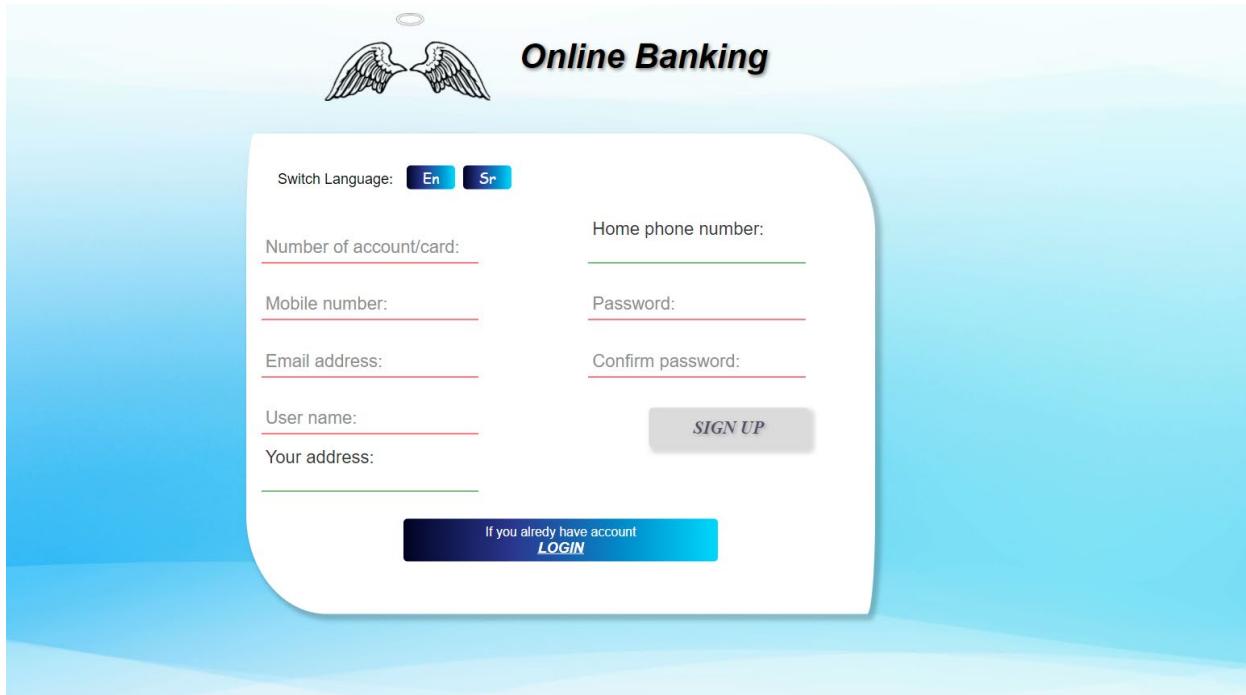
Слика 5.2 Страница за пријављивање

На овој страници корисник може извршити пријаву уношењем имејл адресе и шифре. Одавде корисник може такође извршити избор језика притиском на једну од понуђених опција. Тренутно је подржан српски и енглески језик, али апликација је пројектована тако да се доста једноставно могу додати нови језици. Довољно је додати нови JSON фајл у фолдер са именом језици (енг. *languages*).

5.2.2 Страна за регистраовање

Уколико корисник не поседује налог има опцију да креира нови. Притиском на ту опцију приказана му је форма са подацима које је потребно да унесе како би регистрација била успешна (Слика 5.3 Страница за регистрацију). Обавезно поље је број рачуна или картице. Корисник мора имати постојећи рачун или картицу већ регистровану у банци како би могао да користи систем онлајн банкарских сервиса *BANKX22*. Остале обавезна поља

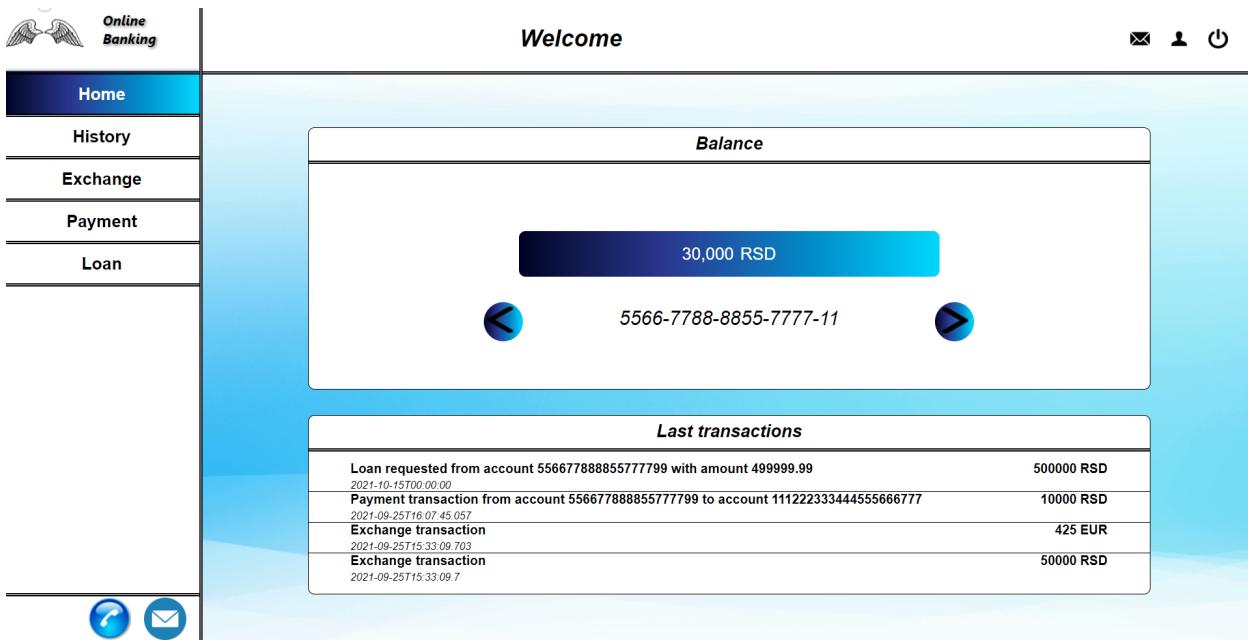
су број мобилног, имејл адреса, корисничко име, шифра и поље за потврду шифре. Поред обавезних поља корисник има опцију да унесе и адресу становања и број кућног телефона. Ове информације ће бити сачуване као део профиле корисника и на основу њих оператор или лични саветник банке ће имати алтернативни начин како може контактирати корисника или где му може послати потребна средства. Уколико је корисник завршио регистрацију успешно биће враћен на страницу за пријављивање.



Слика 5.3 Страница за регистрацију

5.2.3 Почетна страна

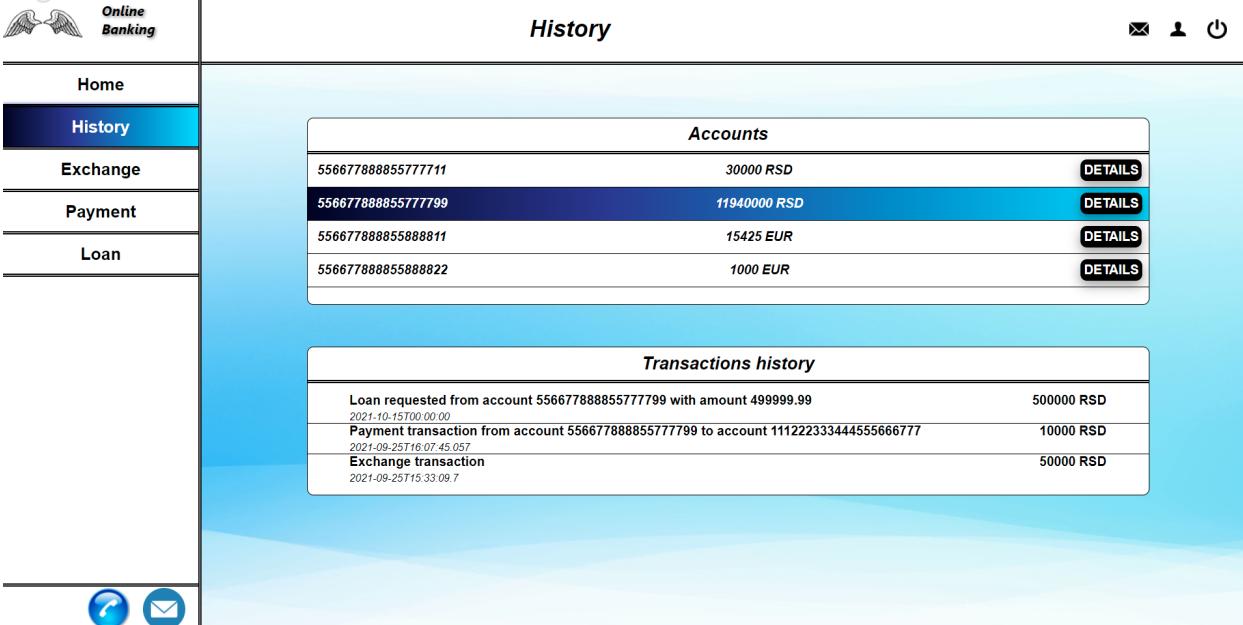
Када се корисник успешно пријави на систем онлајн банкарства *BANKX22* прво му је приказана почетна страница (Слика 5.4 Почетна страна). Са леве стране екрана постоји навигација помоћу које корисник може одабрати сервис који жели да изврши на систему. Навигација је глобална компонента која је видљива у сваком сервису и корисник може да промени сервис у било ком тренутку. У доњем левом углу су дате опције којима корисник има могућност да види информације на који број може да добије помоћ оператора или на коју адресу може да пошаље мејл како би добио помоћ. На почетној страни корисник има информације о стању на сваком од рачуна које поседује и може видети списак последњих трансакција које је извршио на систему.



Слика 5.4 Почетна страна

5.2.4 Страна историје

Уколико корисник изабере опцију „Историја“ из навигације биће му приказана листа рачуна које поседује (Слика 5.5 Историја трансакција). Ако притисне опцију „Детаљи“ која се налази на сваком од рачуна кориснику се отвара модал са детаљима рачуна. Ту се могу видети информације о броју рачуна, типу рачуна, датуму отварања рачуна, детаљима рачуна као и тренутним расположивим средствима на том рачуну. Притиском на било који рачун из листе добија се листа свих извршених трансакција за тај рачун у табели испод. За сваку трансакцију се могу видети њени детаљи у које спадају име трансакције, детаљи трансакције, тип трансакције, време обраде трансакције, статус у коме је трансакција тренутно као и износ који је обрађен трансакцијом.



Слика 5.5 Историја трансакција

5.2.5 Страна за размену валута

Притиском на опцију „Мењачница“ у навигацији корисник има могућност да изврши пребацивање средстава са рачуна који је у одређеној валути у рачун са неком другом валутом. На самом почетку у сервису „Мењачница“ се види приказ форме на којој се може изабрати рачун са кога ће бити скинута средства за размену, поље у коме се може унети количина средстава која ће бити замењена као и селектор где се може изабрати циљна валута размене. Добијена листа валута у коју корисник може да изврши замену ће бити променљива за сваког корисника у зависности од нивоа привилегија као и од валута самих рачуна које корисник поседује. Након уноса свих неопходних информација и притиском на дугме „Настави“ добија се информација о курсу за тадашњи датум из валуте рачуна у циљну валуту као и поље где корисник може унети рачун на коме ће бити пребачена размењена средства. Уписани рачун мора имати валуту коју је корисник изабрао, иначе размена неће бити успешна (Слика 5.6 Страна "Мењачница"). Уколико је размена извршена успешно биће приказан модал детаља о размени као што су рачун са кога су скинута средства, количина скинутих средстава, рачун на коме су уплаћена средства, количина средстава у циљној валути као и курс који је коришћен приликом конверзије.

Слика 5.6 Страна "Мењачница"

5.2.6 Страна за плаћање

Корисник може искористити погодности сервиса „Плаћање“ уколико притисне истоимену опцију из навигације. Прво што корисник треба да уради је да изабере рачун са кога жели да изврши плаћање. Слајдер са листом рачуна је исти као на почетној страни. Потом је потребно да попуни форму која представља уплатницу и потврди плаћање (Слика 5.7 Страна "Плаћање").

Слика 5.7 Страна "Плаћање"

Притиском дугмета „Потврди“ појављује се модал који показује детаље плаћања и кориснику се пружа могућност да прекине трансакцију или да је изврши. Уколико је изврши на екрану се приказује потврда о успешном плаћању а детаљи плаћања се могу видети у секцији „Историја“.

5.2.7 Страна за узмање кредита

Секција „Позајмица“ којој се приступа притиском на опцију из навигације има два приказа. Први приказ је листа свих текућих позајмица које је корисник склопио са банком. Кликом на неку од ставки из листе могу се добити детаљи те позајмице (Слика 5.8 Страница са приказом свих текућих позајмица).

Loans History		
Loan requested from account 55667788885577799 with amount 49999.99	200000 RSD	Waiting for authorisation
Loan requested from account 55667788885577799 with amount 200000	200000 RSD	Waiting for authorisation

Слика 5.8 Страница са приказом свих текућих позајмица

Други приказ је форма помоћу које корисник може да поднесе захтев за позајмицу. Потребне информације које је потребне да буду унете су: рачун са кога би се скинула средства за отплату рате позајмице, рачун на коме би био уплаћен износ позајмице, износ позајмице, валута у којој ће позајмица бити исплаћена, опционо партиципација помоћу које ће бити смањен износ камате и брзина отплате, датум када би позајмица била уплаћена, датум до када би корисник желео да отплати позајмицу, сврха узимања позајмице и опционо хипотека коју корисник може да приложи. Након уноса података и притиском на дугме потврди на екрану се приказује модал са детаљима информација позајмице. Корисник има могућност да прекине са процесом или да потврди захтев. Уколико потврди захтев корисник ће бити пребачен на приказ са листом позајмица на коме ће моћи да види да је захтев поднет и да се чека на ауторизацију. Такође кориснику ће бити послата и

нотификација о подношењу захтева и секција са нотификацијама у горњем десном углу екрана ће означити да постоји нотификација која није прочитана.

The screenshot shows the 'Loan' section of the online banking application. On the left, there's a vertical menu with 'Home', 'History', 'Exchange', 'Payment', and 'Loan' (which is highlighted). At the top right, there are icons for messaging, user profile, and power. The main content area is titled 'Loan form'. It contains several input fields: 'Enter account from which rate will be charged' (with value '556677888855777799'), 'Choose date when loan should be received' (with value '10/05/2021'), 'Enter account on which loan will be paid' (with value '556677888855777799'), 'Choose date when loan should be paid off' (with value '10/05/2022'), 'Taken amount' (with value '200000'), 'Type purpose of loan' (with value 'Бокаларина за факултет'), 'Enter amount for participation' (with value '0'), 'Insert collateral/mortgage if you want to pledge for loan' (empty), and 'Choose currency' (set to 'RSD'). A 'SUBMIT' button is at the bottom.

Слика 5.9 Страница са формом за позајмицу

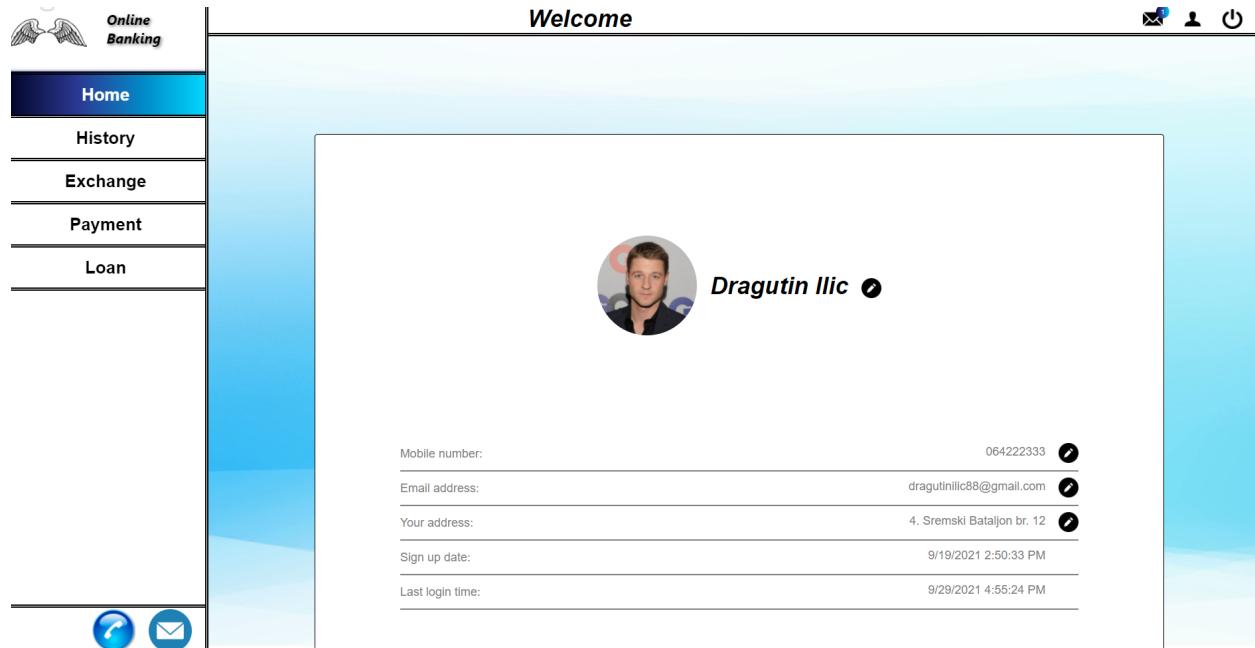
5.2.8 Опције у заглављу

У заглављу екрана са десне стране постоје три опције које корисник може да искористи и то су приказ нотификација, приказ профиле корисника и одјава корисника. Страница са нотификацијама приказује листу свих нотификација и приступа јој се ако корисник притисне икону писмо. На икони постији маркер који показује број непрочитаних нотификација уколико их има. Све непрочитане нотификације ће бити затамљене. Притиском на неку од нотификација приказују се детаљи нотификације и опција за њено брисање (Слика 5.10 Страница са приказом листе нотификација).

The screenshot shows the 'Welcome' screen of the online banking application. The left sidebar has 'Home' selected. The main content area is titled 'Welcome' and displays a list of notifications. There are two entries: 'Waiting for authorization of loan.' (date 16:58:11 09/30/2021) and 'Waiting for authorization of loan.' (date 16:20:06 09/25/2021). Both entries are in a grey box, indicating they are unread.

Слика 5.10 Страница са приказом листе нотификација

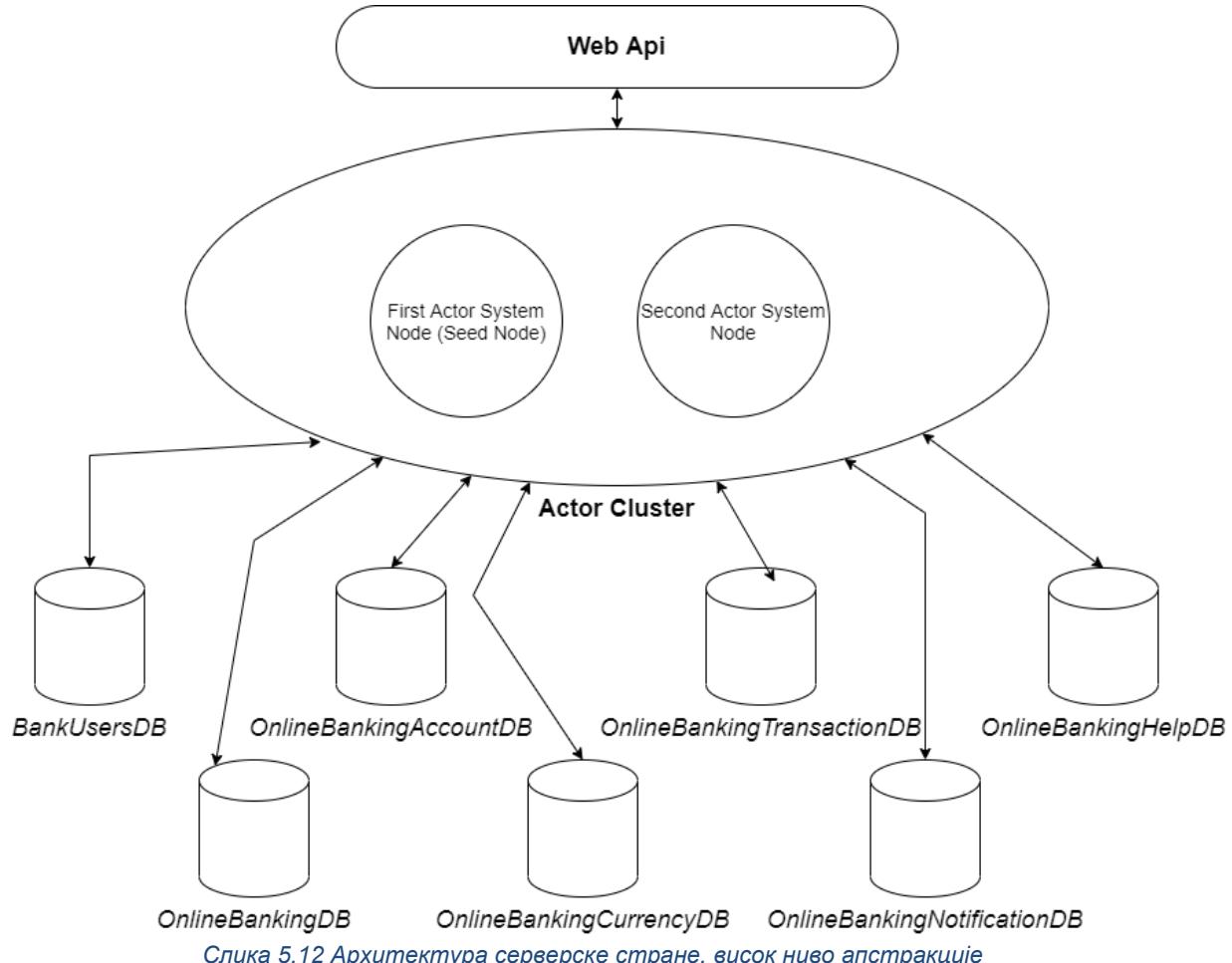
Уколико корисник изабере икону „чикица“ биће пребачен на профилну страницу. На њој се могу наћи подаци о корисничком имениу, профилној слици, имејл адреси, мобилним бројем, адресом становања, временом регистраовања и задњим временом пријављивања. Све податке осим време регистраовања и пријављивања корисник може ажурирати у било ком тренутку избором иконе „пенкало“ (Слика 5.11 Профилна страна корисника).



Слика 5.11 Профилна страна корисника

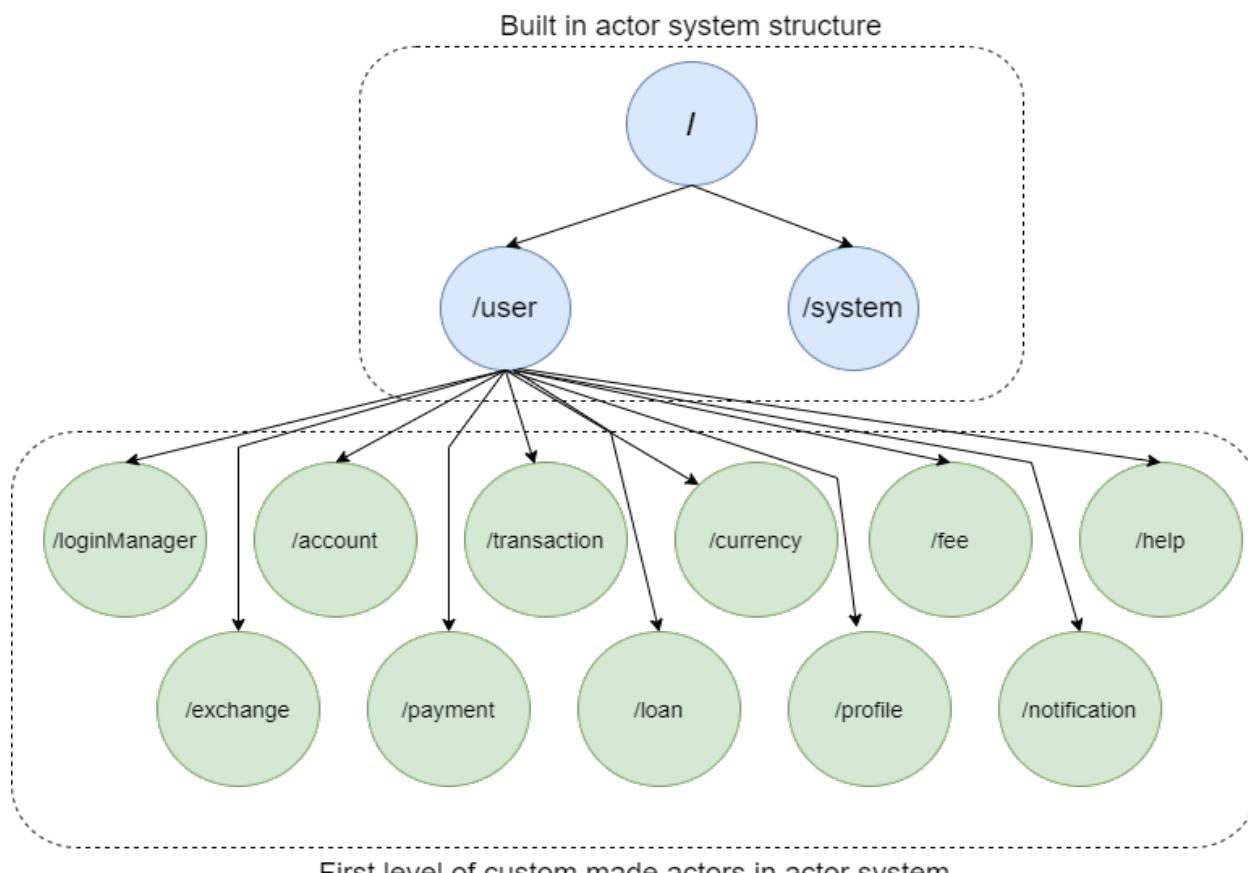
Последња опција која је понуђена кориснику је опција за одјаву са система. Она се извршава притиском иконе „гашење“. Одјавом се корисник пребацује поново на страну за пријављивање.

5.3 Серверска страна



Архитектура серверске стране приказана је на Слици 5.12 . За директну комуникацију са клијентским делом апликације се користи .NET Web API слој архитектуре. Овај слој се састоји од контролера који представљају крајње тачке (енг. *Endpoint*) којима пристижу ХТТП захтеви са клијента. Контролери врше проверавање исправности захтева и података који су послати са захтевом и уколико захтев задовољава све критеријуме провере он се конвертује у поруку и као такав шаље одговарајућем актеру који припада систему актера. Друга улога слоја .NET Web API је да изврши конфигурацију свих сервиса који се користе у систему (више о детаљима конфигурације се може прочитати у поглављу 4.5.Net Web API интерфејс за програмирање апликација).

.NET Web API комуницира са кластерима система актера. Кластер система актера представља мрежу која је отпорна на квартове, еластична, децентрализована и коју чине системи актера који немају једну тачку неуспеха нити уског грла. Онлајн систем банкарства BANKX22 поседује кластер коју чине две реплике система који се у контексту кластера означавају као чворови. Први чвор који ће припадати кластеру се назива Семе чвор (енг. *Seed Node*) и кластер не може бити оформљена ако приликом њене конфигурације није наведен бар један Семе чвор. Једино у комуникацији са овим чворма је могуће придрживање и укљањање других чвррова [1]. Комуникација између чвррова се врши протоколом који се назива Оговарање (енг. *Gossip*). Помоћу овог протокола се врши придрживање и укљањање чланова као и ажурирање стања сваког члана о доступности осталих чланова. Систем онлајн банкарства BANKX22 поред чвора семена садржи још један чвор који приликом покретања система у својој конфигурацији садржи адресу на којој се налази семе чвор и помоћу ње га контактира и тражи да се придржи групи. Семе чвор који мора бити покренут пре слања захтева од другог чвора након примања захтева означава тај чвор као део кластера и уколико би се у кластеру налазили још неки чвррови послала би информације о њима. Пошто то овде није случај формиран је кластер од два члана која комуницирају протоколом оговарања. На тај начин се постиже расподела захтева у случају преоптерећености неког од чвррова, као и боља отпорност у случају да дође до престанка рада неког од чвррова.



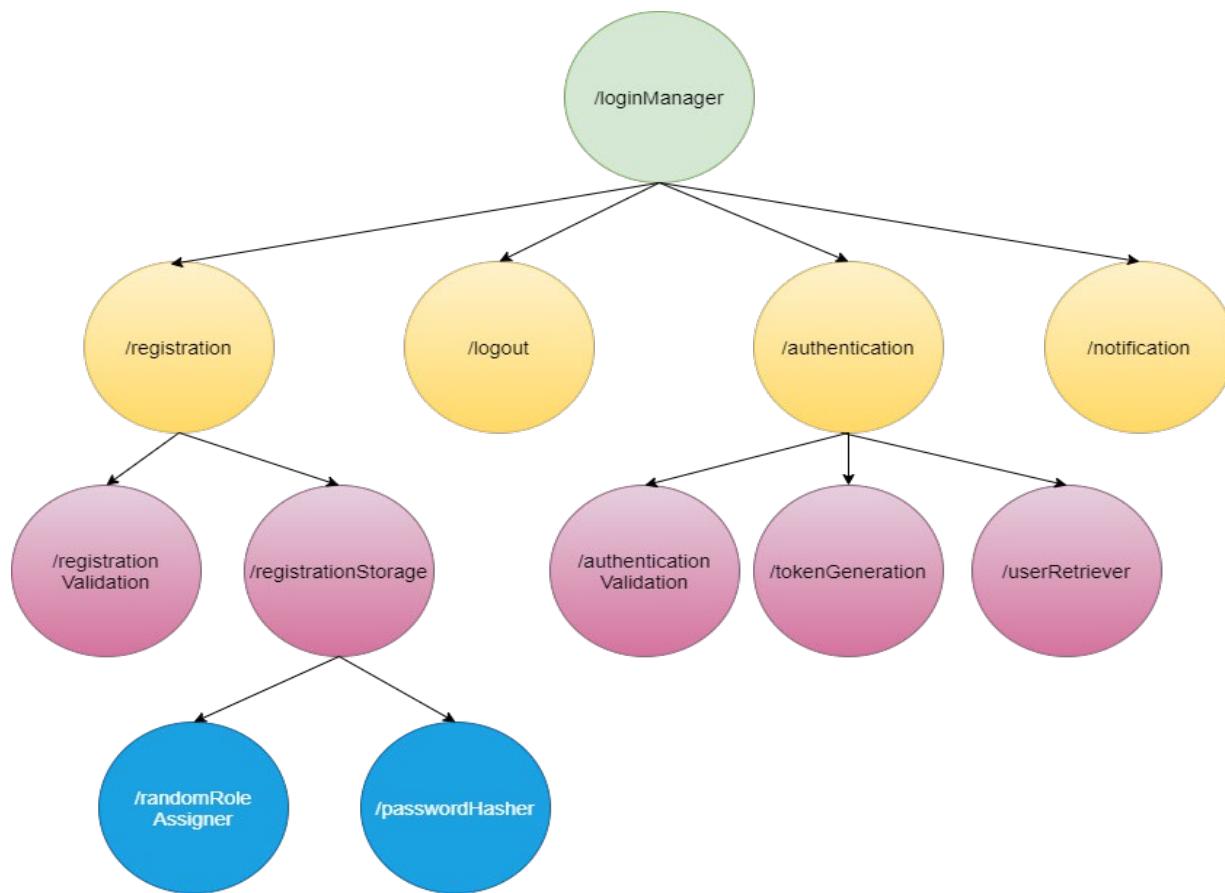
Слика 5.13 Приказ једне реплике система актера са првим нивоом актера дефинисаних од стране корисника

На Слици 5.13 дат је хијерархијски приказ једне од реплика система актера. Приликом креирања система актера, развојно окружење Акка креира почетну структуру актера коју чине:

- „актер чувар корена“ (енг. *root guardian actor*) који на слици има ознаку косе црте је једини актер који нема родитеља и представља родитеља свим другим актерима што значи да ће последњи бити прекинут,
- „актер чувар корисника“ (енг. *user guardian actor*) је родитељ свих актера који су креирани од стране корисника развојног окружења Акка,
- „актер чувар система“ (енг. *system guardian actor*) осигурава да се систем угаси по одговарајућем поретку и служи за надзор и одржавање других системских актера који су имплементирани од стране својства и алата самог развојног окружења [4].

Сви актери који су креирани од стране корисника развојног окружења ће бити креирани као деца актера чвара корисника. На Слици 5.13 су приказани кориснички дефинисани актери који представљају врх хијерархије и чија је основна намена да примају поруке од .NET Web API слоја, врше одговарајућа процесирања и шаљу поруке деци актерима на даљу обраду. Сваки од ових актера представља улаз у посебан сервис система и сваки је имплементиран коришћењем рутера који су свесни кластера система актера и који транспаренто праве одговарајући број инстанци тог актера на сваком чвиру групе и шаљу поруке инстанци у зависности од њене оптерећености.

5.3.1 Хијерархијски приказ архитектуре сервиса за ауторизацију и аутентификацију корисника

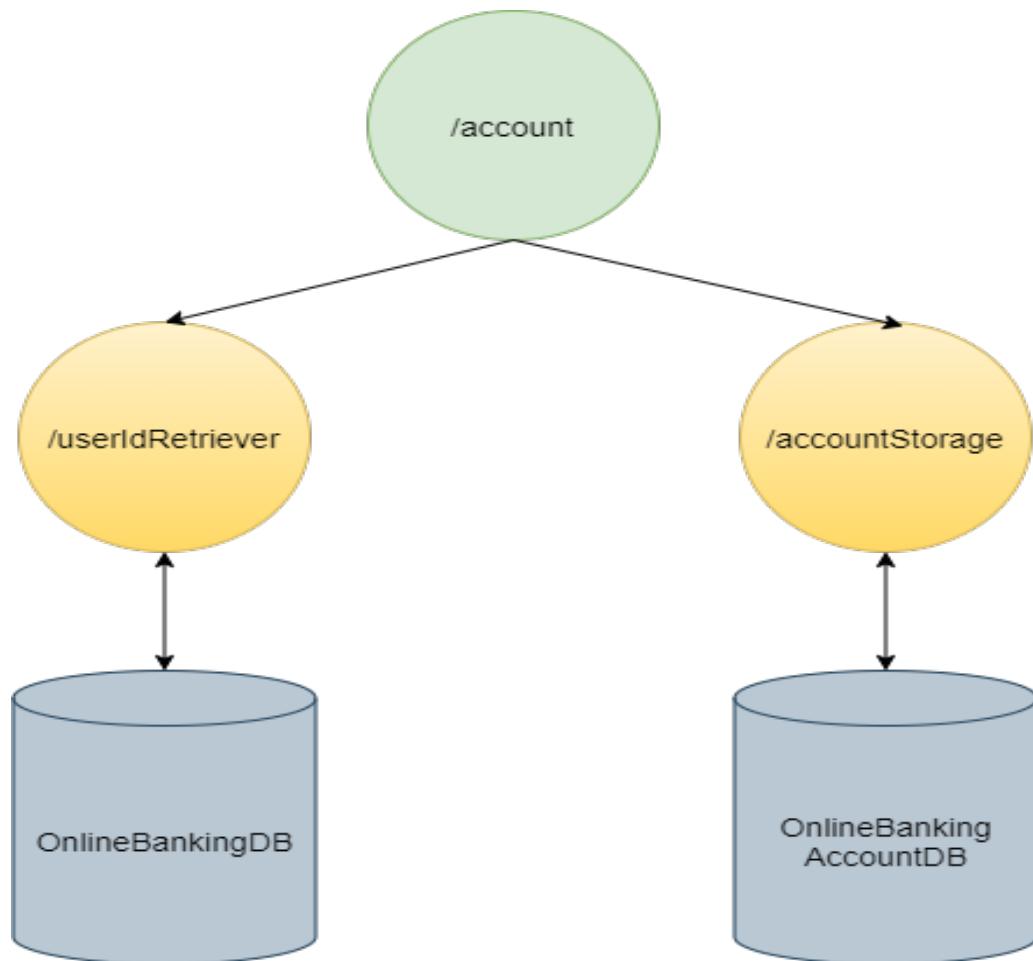


Слика 5.14 Хијерархија актера који учествују у процесу ауторизације и аутентификације корисника

На Слици 5.14 дат је хијерархијски приказ актера који учествују у ауторизацији и аутентификацији корисника система онлајн банкарства BANKX22. На врху хијерархије се налази актер који је менаџер пријављивања, регистраовања и одјављивања корисника. Он прима поруке од различитих акција контролера специјализованог за аутентификацију и ауторизацију и у зависности од типа поруке покреће одговарајући процес тако што шаље поруку неком од деце актера. Видимо да је хијерархија пројектована тако да задовољава 3.1 образац једноставне компоненте и 3.2 образац језgra грешке. Сложени процес се на сваком нивоу упрошћава, а да се при томе важна стања чувају у актру ближе корену, тако да сваки актер ради тачно један посао у потпуности. Тако на примеру регистрације постоји посебан актер који се бави одређивањем улога које ће корисници имати у систему, актер који ће хеширати шифре како би се као такве чувале у бази ради сигурности и актер чија је улога да све податке при регистраовању успешно сачува у бази. Такође постоји посебан актер који ће се бавити провером исправности података, док његов родитељ врши синхронизацију између потребних операција. Слична хијерархија је успостављена приликом пријаве корисника где се процес пријављивања дели на једноставније операције и свакој

операцији се додељује посебан актер. Тако да постоји посебан актер за валидацију аутентификације, актер за генерирање корисничког токена и актер за читање корисничких информација из базе. Процес одјаве корисника је једноставна операција која захтева једног актера који ће уклонити одређене податке из базе.

5.3.2 Хијерархијски приказ архитектуре сервиса за обраду рачуна

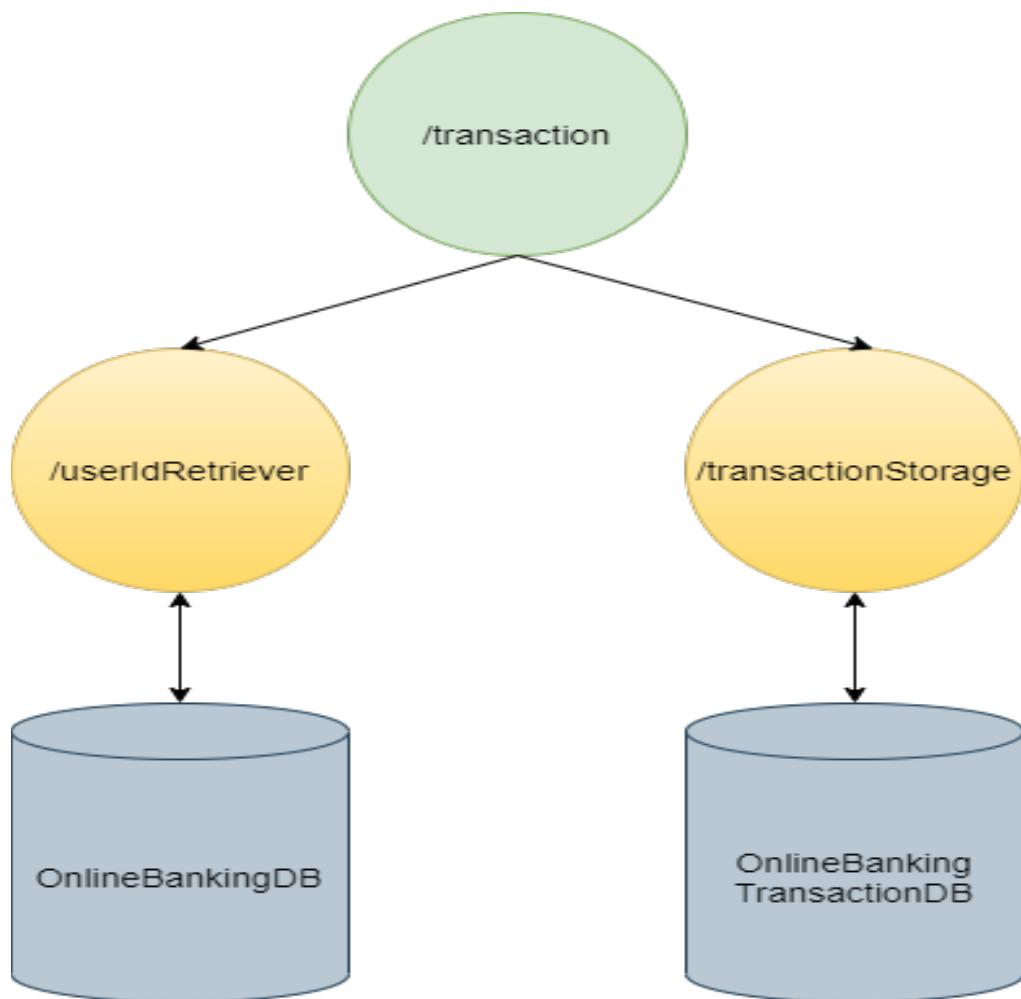


Слика 5.15 Хијерархијски приказ архитектуре сервиса за добијање рачуна кориснику

Један од основних сервиса који се користи за разне операције система је сервис обраде рачуна (Слика 5.15 Хијерархијски приказ архитектуре сервиса за добијање рачуна кориснику). Контролер слоја .NET Web API шаље поруку актеру рачуна како би добио све рачуне који су доступни пријављеном кориснику. Да би рачуни могли да буду прочитани из базе рачуна потребан је идентификациони број корисника. Актер рачуна тако шаље поруку актеру који је задужен да на основу токена пријаве достави идентификациони број корисника. По добијању идентификационог броја, актер рачуна шаље поруку актеру складишту рачуна који дохвата рачуне из базе и шаље поруку са рачунима контролеру. У

комуникацији актера коришћени су обрасци самосталне поруке и обрасци тока напред (описани у поглављу 3.6 Обрасци комуникације).

5.3.3 Хијерархијски приказ архитектуре сервиса за обраду трансакција

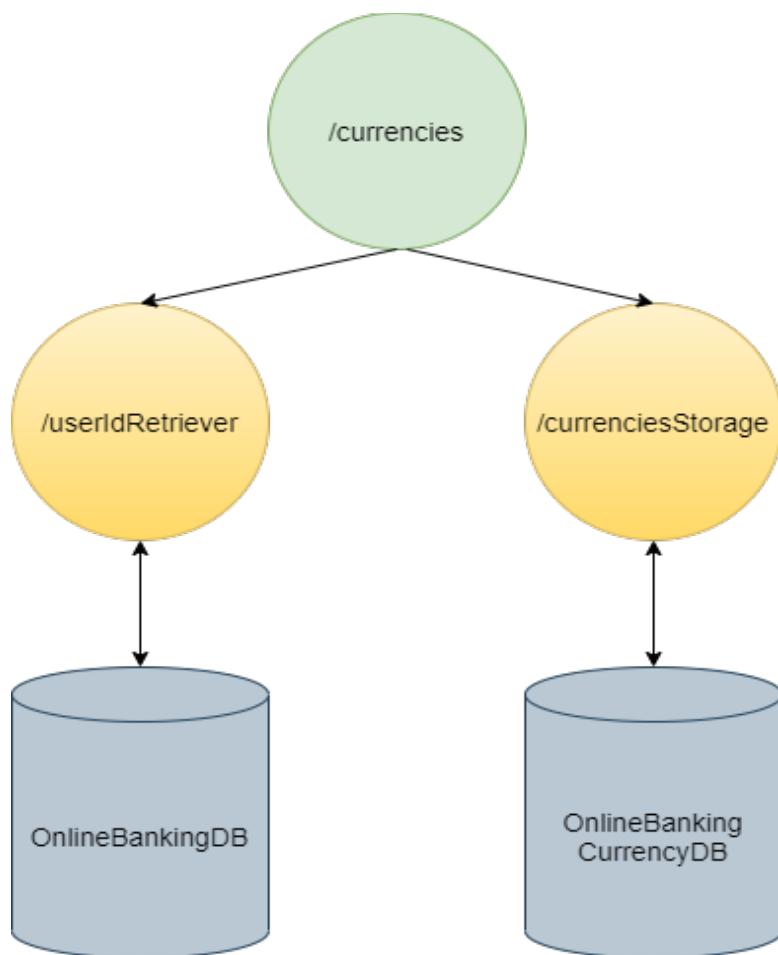


Слика 5.16 Хијерархијски приказ архитектуре сервиса за обраду трансакција

Сервис чија архитектура је доста слична сервису обраде рачуна је сервис обраде трансакција (Слика 5.16 Хијерархијски приказ архитектуре сервиса за обраду трансакција). Разлика је та што у сервису обраде трансакција учествује актер складишта трансакција који комуницира са базом у којој се налазе све обављене трансакције унутар система. Да би актер прочитао трансакције и послао их контролеру потребан му је идентификациони број корисника који преузима од актера који их чита из базе корисника онлајн банкарства BANKX22.

5.3.4 Хијерархијски приказ архитектуре сервиса за добијање валута

Сервис за добијање валута се користи приликом обављања плаћања, узимања позајмице, као и приликом трансакције размене. Хијерархијски приказ архитектуре сервиса за добијање валута се може видети на Слици 5.17. За сваког корисника постоји одређен скуп валута који му стоје на располагању у зависности од рачуна које поседује, улоге која му је додељена у систему и привилегија које има.

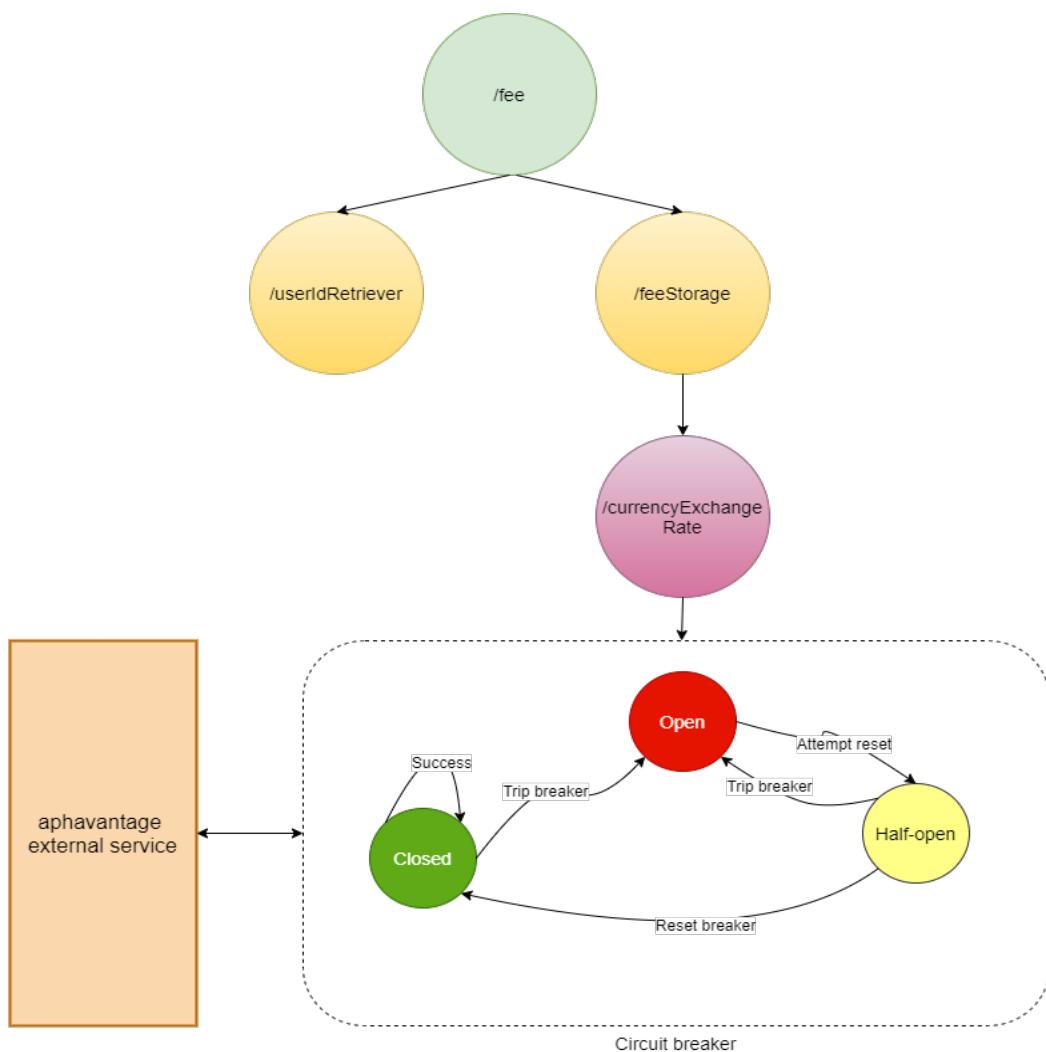


Слика 5.17 Хијерархијски приказ добијања валута за одговарајућег корисника

5.3.5 Архитектура сервиса за пребацивање средства из једне валуте у другу

Приликом обављања операција које садрже пребацивање средства из једне валуте у другу корисник је у обавези да плати одређену провизију. За одређивање провизије користи се сервис за добијање провизије (Слика 5.18 Хијерархијски приказ архитектуре сервиса за обраду провизија). Један од услова висине провизије зависи од тога које

привилегије корисник има. Зато је први корак тог сервиса добијање идентификације корисника. Потом се шаље порука актеру за складиштење провизија да добије провизију конверзије из једне валуте у другу које се шаљу у саставу поруке. Задатак овог актера је да добије провизије од посебног актера који се бави добијањем провизија за размену одговарајућих валута на дан слања захтева, потом да резултат провизије сачува у базу валута и да врати резултат контролеру који је послao захтев. Актер за добијање провизије комуницира са екстерним системом (енг. *alphavantage*) који поседује информације о односу размене валута на одређени датум [20]. Пошто се ради о екстерном сервису искоришћен је Образац прекидач кола како би се у случају недоступности сервиса спречило беспотребно чекање на одговор тако што коло прелази у отворено стање и одмах шаље поруку да сервис тренутно није доступан. Уколико се деси та ситуација актер за складиштење проверава да ли постоји у бази кеширана информација о односу размене валута и уколико постоји шаље ту информацију као одговор. То је разлог зашто се вршио упис иноформација о размени у базу након успешног добијања од екстерног сервиса.



Слика 5.18 Хијерархијски приказ архитектуре сервиса за обраду провизија

5.3.6 Хијерархијски приказ архитектуре сервиса за плаћање



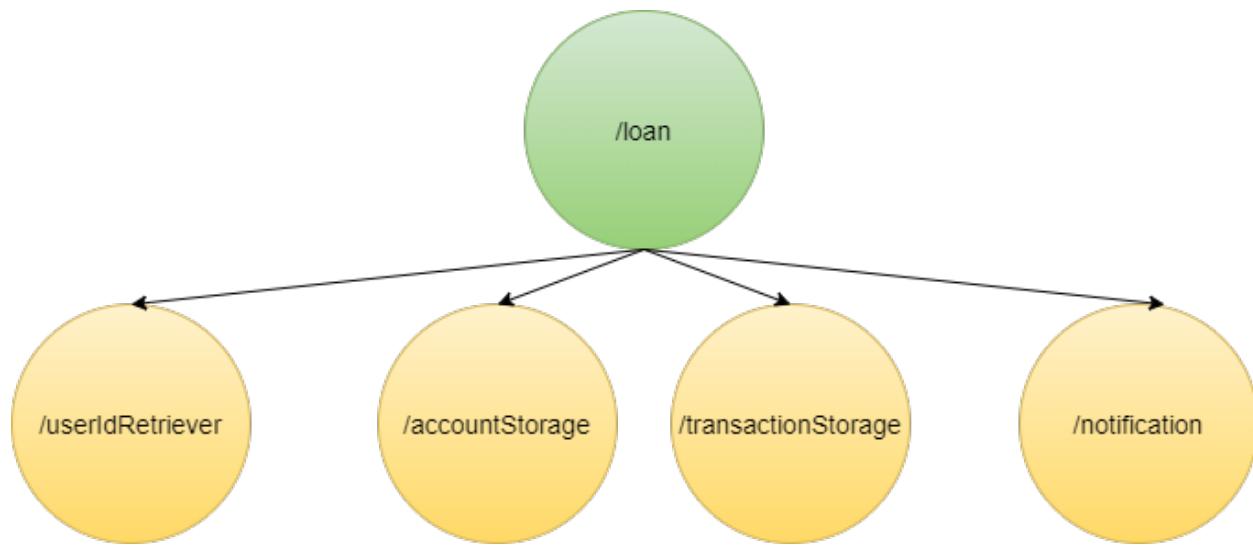
Слика 5.19 Хијерархијски приказ архитектуре сервиса за плаћање

Архитектура сервиса за плаћање се може видети на Слици 5.19. Постоје два општа случаја како се одвија ток плаћање. Уколико се плаћање врши са рачуна на рачун који имају различите валуте онда у процесу се користи и сервис за добијање провизија. Уколико то

није случај ток одвијања плаћања је једноставнији. Као и усваком претходном сервису прво је потребно добити идентификацију корисника. Актер плаћања потом шаље поруку актеру који је склadiште рачуна, да добије рачун са кога се врши плаћање, као и рачун на коме се врши уплата уколико припада систему онлајн банкарства *BANKX22*. Средства се скидају са првог рачуна уколико их има доволично на стању и додају се на рачун уплате. Информације о извршеној трансакцији се шаљу актеру склadiшту трансакција како би могао да ту трансакцију заведе. Порука се шаље и нотификационом сервису како би обавестио корисника путем нотификације о успешном плаћању. Већи број актера учествује у сервису плаћања. Постоје многи случајеви у којима може доћи до немогућности извршавања плаћања као што су недовољно стање на рачуну са кога се врши уплата или недоступност неког од сервиса које користи сервис плаћања. Због тога је потребна добра координација између комуникације актера као и осигуравање атомичности трансакције у сервису који је дистрибуиран. Како бисмо то постигли искоришћен је сага образац (за више информација погледати 3.7Обрасци контроле тока) прилоком пројектовања овог сервиса.

5.3.7 Хијерархијски приказ архитектуре сервиса за позајмице

Сервис за позајмице се бави процесирањем нових позајмица од стране корисника као и обрадом историје свих позајмица. Приказ архитектуре актера који су компоненте сервиса позајмице се може видети на Слици 5.20.

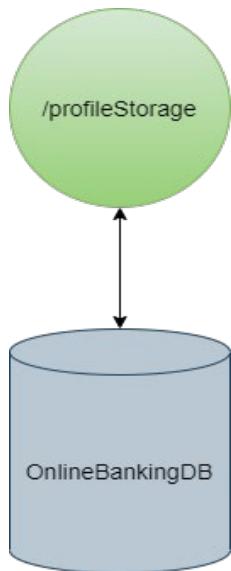


Слика 5.20 Хијерархијски приказ архитектуре актера која је примењена у сервису позајмице

У зависности да ли се процесира нова позајмица или се врши ишчитавање посотјећих, актер позајмице прелази у одговарајуће стање. Потребно је најпре да се добије идентификациони број корисника па и у овом сервису учесник је актер за добијање идентификације. Актер склadiшта трансакција се користи да бисмо уписали нову позајмицу у виду трансакције, односно да бисмо прочитали све трансакције које представљају историју позајмице. Актер склadiшта рачуна се користи како бисмо добили рачуне

корисника на коме ће бити уплаћена позајмица, односно са ког рачуна ће бити скидана месечна рата. Када се нова позајмица обради, нотификација ће бити послата кориснику па се из тог разлога користи и нотификацијски сервис.

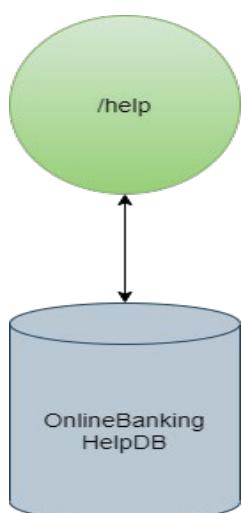
5.3.8 Хијерархијски приказ архитектуре профилног сервиса



Профилни сервис се користи за добијање и ажурирање података који се тичу корисника. За пројектовање сервиса профила довољан је актер складишта профила који комуницира са базом онлајн банкарства како би добио или ажурирао информације одређеног корисника (Слика 5.21 Архитектура сервиса профила).

Слика 5.21 Архитектура сервиса профила

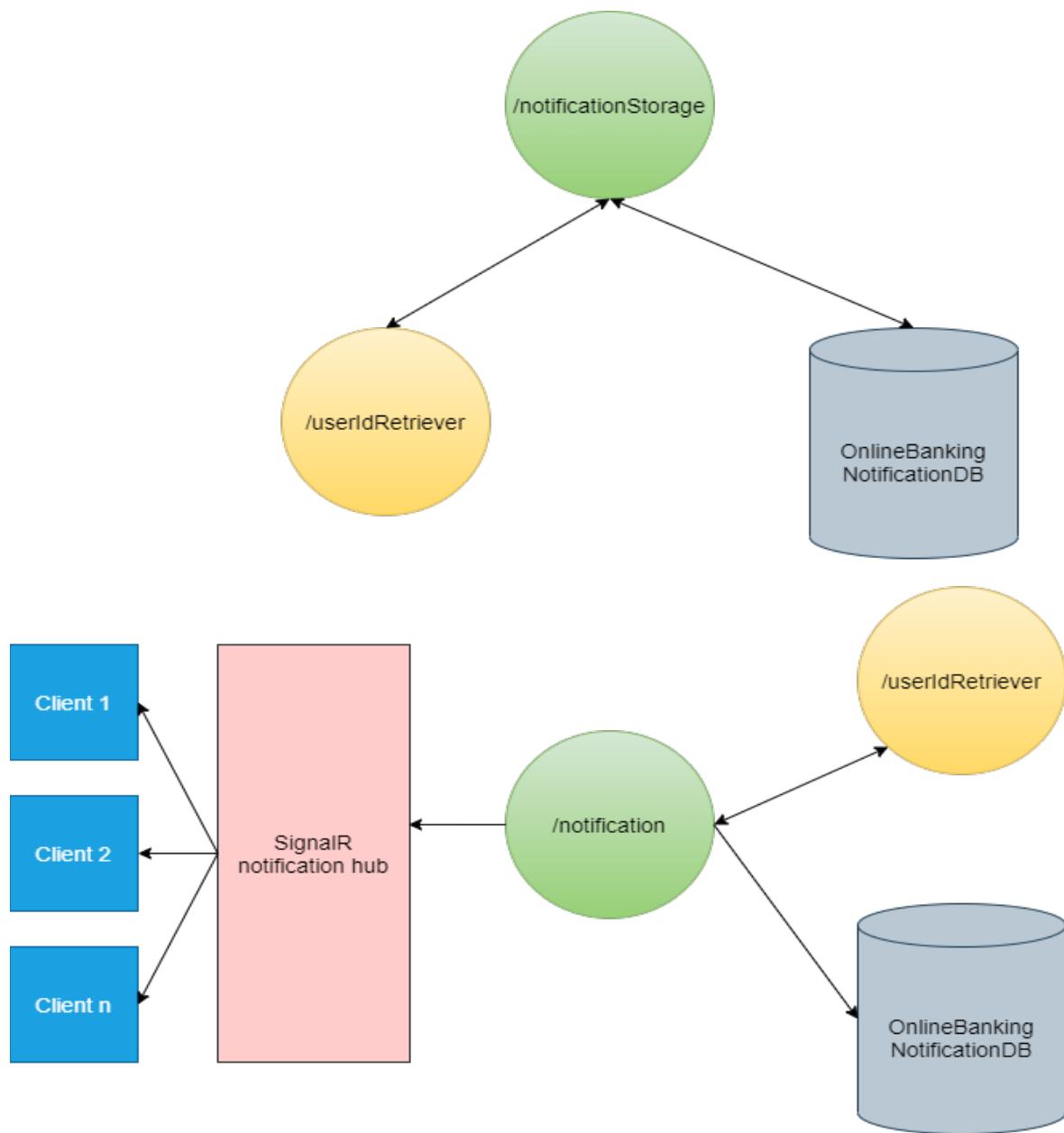
5.3.9 Хијерархијски приказ архитектуре сервиса за помоћ



Сервис за добијање информација о имејлу или броју телефона помоћу којих се може контактирати сервисер за савет или помоћ захтева једног актера који врши комуникацију са посебном базом како би добио захтеване информације (Слика 5.22 Архитектура сервиса за помоћ).

Слика 5.22 Архитектура сервиса за добијање помоћи

5.3.10 Хијерархијски приказ архитектуре сервиса за нотификације



Слика 5.23 Архитектура сервиса нотификација

Нотификациони сервис се користи за слање разних нотификација кориснику и то је једини сервис који иницира комуникацију са корисницима, а да му није упућен захтев са клијентске стране. Како бисмо ово омогућили користимо библиотеку *SignalR* која представља одређену врсту хаба и која има уgraђене механизме двосмерне комуникације помоћу којих шаље информације кориснику у реалном времену без претходне потребе за захтевањем тих информација од стране клијента (Слика 5.23 Приказ архитектуре сервиса за нотификације) [21][22]. Сервис има могућност да шаље нотификације како одређеном

кориснику тако и свим корсничима или некој групи корисника (на пример корсничима који имају одређене улоге у систему). Нотификације се чувају у бази нотификација.

У реактивним дистрибуираним системима сваки сервис мора имати могућност да буде развијан, испоручен и скалиран независно. Да бисмо то постигли за сваки сервис је коришћена независна база података, односно коришћен је приступ база података по сервису [23]. На тај начин сваки сервис може да користи тип базе који му највише одговара и омогућава да сервиси не буду тесно спретнути.

6 Имплементација апликације

У овом поглављу ће бити приказани и описани неки од занимљивих детаља имплементације сервиса онлајн банкарског система *BANKX22*.

6.1 Имплементација ауторизације и аутентификације корисника

Када корисник жели да изврши пријављивање или регистраовање на систем, најпре је потребно да унесе све неопходне податке које му приказује *Login* компонента. Притиском на дугме *Потврди* позива се функција *handleSubmitClick* која је регисторвана да се покрене када се деси догађај притиска миша на поменуто дугме. Задатак ове функције је да у зависности да ли се ради о пријави или регистрацији, обавести библиотеку *Redux*, шаљући јој одговарајуће податке, да треба да контактира *API* сервер и да му саопшти да је покушај пријаве/регистрације у току. За комуникацију између *React* компоненте и библиотеке *Redux* користи се функција *dispatch*. Пошто је у имплементацији коришћен функционални приступ писања компоненти¹³ како би функција *dispatch* била доступна компоненти искоришћен је хук¹⁴ *useDispatch*. *Dispatch* као аргумент прима објекат назван акција који се може добити и као резултат функције која се зове креатор акције (више детаља у поглављу 4.2 Библиотека *Redux*). Тада приступ је и примењен у коду испод. Функција *dispatch* је позвана са акцијом коју ће вратити креатор акције *auth* који као параметар прима објекат са мејлом и шифром уколико се ради о пријави корисника или са акцијом добијеном од креатора акције *signUp* уколико се ради о регистрацији корисника.

¹³ Приликом коришћења библиотеке *React* компоненте је могуће писати као компоненте базиране на функцијама и компоненте базиране на класама. У време писања овог рада преферира се писање компоненти базираних на функцијама у односу на конвенционални приступ компонената заснованих на класама. Предности су како краћи и концизнији код, тако и све предности које доноси функционални приступ програмирања.

¹⁴ Хук (енг. *Hook*) – буквични превод значи удица или кука али је доста популарнији Англицизам па ће у наставку текста бити тако и ословљаван је специјална врста функције која садржи логику која је потребна многим компонентама.

```

const handleSubmitClick = (infoObject, isSignUpPage) => {
  if (!isSignUpPage) {
    dispatch(
      auth({ email: infoObject.email, password: infoObject.password })
    );
  } else {
    dispatch(signUp(infoObject));
  }
};

```

Код за креаторе акција *auth* и *signUp* се може видети испод. Функција *createAsyncThunk* је део библиотеке *Redux Toolkit* (поглавље 4.3 *Redux*-ов скуп алата) која прима тип акције стринг типа и колбек функцију *payloadCreator* која би требала да врати објекат *Promise*¹⁵. *PayloadCreator* ће генерисати *Promise* од животног века типова акција које су базиране на префиксу типа акције прослеђеног као параметар и вратиће креатор акције *thunk* који ће извршити колбек *Promise*-а и обавестиће акције животног века на основу враћеног *Promise*-а [9]. *PayloadCreator* функције *auth* има задатак да пошаље податке за пријаву *Login* контролеру на серверу. То ради тако што ће искористити библиотеку *axios*, погодну за спање асинхроних позива ка неком *API*-ју, и позвати њену методу *post* са прослеђеном урл адресом и подацима за пријаву. Уколико сервер врати информације о успешној пријави оне се прослеђују као одговор, а иначе се враћа опис грешке која се јавила при пријави. Функција *createAsyncThunk* враћа креатор акције редукса *thunk*. Ова функција ће имати своје креаторе акција за случај ако се нађе у нерешеном (енг. *pending*), испуњеном (енг. *fulfilled*) или одбаченом (енг. *rejected*) стању који ће бити испаљивани како *thunk* буде прелазио из стања у стање [9]. Они су искоришћени како би *Redux* могао да ажурира одговарајуће стање апликације и на тај начин јави *React*-у да је потребно да прикаже кориснику нови садржај.

```

export const auth = createAsyncThunk(
  "login/auth",
  async (data, { rejectWithValue }) => {
    try {
      const response = await axios.post(
        API_URL + ENDPOINT_PATHS.AUTHENTICATE,
        data
      );
    }
  }
);

```

¹⁵ Promise – на српски се може превести као обећање, представља неку врсту чувара за вредност која није позната у тренутку када је Promise креиран. Он представља објекат евентуалног завршетка (како успешног тако и неуспешног) асинхроне операције и њене резултујуће вредности. Концепт је врло сличан концепту за објекат *Future* са том разликом да је *Future* само-читајући контејнер за резултат који још не постоји, док се у објекат *Promise* може вршити и упис[24].

```

        return response.data;
    } catch (err) {
        const error = extractErrorsFromResponse(
            err.response ? err.response.data : err
        );
        return rejectWithValue(error);
    }
}
);

export const signUp = createAsyncThunk(
    "login/signUp",
    async (data, { rejectWithValue }) => {
        try {
            const response = await axios.post(
                API_URL + ENDPOINT_PATHS.REGISTER,
                data
            );
            return response.data;
        } catch (err) {
            const error = extractErrorsFromResponse(
                err.response ? err.response.data : err
            );
            return rejectWithValue(error);
        }
    }
);

export const loginSlice = createSlice({
    name: "login",
    initialState,
    extraReducers: {
        [auth.pending]: (state, action) => {
            state.status = FETCH_DATA_STATUS.LOADING;
        },
        [auth.fulfilled]: (state, action) => {
            if (action.payload?.errorMessage) {
                state.status = FETCH_DATA_STATUS.FAILED;
                state.error = action.payload.errorMessage;
            } else {
                state.status = FETCH_DATA_STATUS.SUCCEEDED;
                state.token = action.payload.userToken;
            }
        },
        [auth.rejected]: (state, action) => {
    
```

```

state.status = FETCH_DATA_STATUS.FAILED;
if (action.payload) {
  if (typeof action.payload === "string") {
    state.error = action.payload;
  } else if (action.payload.errorMessage)
    state.error = action.payload.errorMessage;
  else {
    state.error = "ErrorOccurred";
  }
} else {
  if (action.error) {
    if (action.error.message) state.error = action.error.message;
    else if (typeof action.error === "string") state.error = action.error;
    else {
      state.error = "ErrorOccurred";
    }
  } else {
    state.error = "ErrorOccurred";
  }
}
},
[signUp.pending]: (state) => {
  state.registrationStatus = FETCH_DATA_STATUS.LOADING;
},
[signUp.fulfilled]: (state, action) => {
  if (action.payload.isSuccess) {
    state.registrationStatus = FETCH_DATA_STATUS.SUCCEEDED;
  } else if (action.payload?.errorMessage) {
    state.registrationStatus = FETCH_DATA_STATUS.FAILED;
    state.error = action.payload.errorMessage;
  } else {
    state.registrationStatus = FETCH_DATA_STATUS.FAILED;
  }
},
[signUp.rejected]: (state, action) => {
  state.registrationStatus = FETCH_DATA_STATUS.FAILED;
  if (action.payload) {
    if (typeof action.payload === "string") {
      state.error = action.payload;
    } else if (action.payload.errorMessage)
      state.error = action.payload.errorMessage;
    else {
      state.error = "ErrorOccurred";
    }
  } else {

```

```

        if (action.error) {
            if (action.error.message) state.error = action.error.message;
            else if (typeof action.error === "string") state.error = action.error;
            else {
                state.error = "ErrorOccurred";
            }
        } else {
            state.error = "ErrorOccurred";
        }
    }
},
},
));

```

Код за регистрацију је готово идентичан са том разликом да ће *payloadCreator* функције *signUp* генерисати *Promise* од животног века типова акција које су базиране на префикску *signUp* и послаће информације за регистровање на *Login* контролеру.

Имплементација *Login* контролера је приказана на коду испод. Контролер је декорисан са два атрибута. *ApiPrefixRoute* је кориснички дефинисан атрибут који садржи шаблон потписа контролера (шаблон изгледа “*api/[controller]*” где се све у угластим заградама мења са именом контролера, што значи “*api/login*”). *EnableCors* је атрибут којим се дозвољава да се контролеру приступа са различитог домена од домена на коме је лоциран контролер [5]. Сви помоћни сервиси попут *_logger*, *_loginManagerActor*, *_loginIncrementor* се добијају применом принципа уметања зависности приликом инстанцирања самог контролера. Тада се у конструктору они могу добити из контејнера инверзне контроле. Да би се нашли у контејнеру потребно је да буду регистровани. Регистрација ће бити приказана касније када се буде описивала конфигурација сервиса .NET Web API слоја. Контролер има имплементиране две акције *Authenticate* и *Register* које ће бити позване од стране *Redux*-а на клијентској страни када буде послат одговарајуће ХТТП захтев.

```

[ApiPrefixRoute]
[EnableCors("AllowOrigin")]
public class LoginController : ControllerBase
{
    private readonly ILoggerManager _logger;
    private readonly IActorRef _loginManagerActor;
    private readonly IIIncrement _loginIncrementor;
    public LoginController(ILoggerManager logger, LoginManagerActorProvider
        loginManagerActorProvider, IIIncrement incrementor)
    {
        _logger = logger;
        _loginManagerActor = loginManagerActorProvider();
        _loginIncrementor = incrementor;
    }
}

```

```

    }

    [HttpPost("auth/")]
    public async Task<IActionResult>
        Authenticate([FromBody] AuthenticationData authData)
    {
        var result = await _loginManagerActor.Ask(
            new Authenticate(_loginIncrementor.Increment(nameof(Authenticate)),
                authData.Email, authData.Password));
        return Ok(result);
    }

    [HttpPost("signUp/")]
    [HttpPost("register/")]
    public async Task<IActionResult>
        Register([FromBody] RegistrationData registrationData)
    {
        var registerDataMessage =
            new Register(_loginIncrementor.Increment(nameof(Register)),
                registrationData.Email, registrationData.Password,
                registrationData.ConfirmPassword, registrationData.BankId,
                registrationData.Mobile, registrationData.UserName,
                registrationData.Address, registrationData.HomePhone);
        var result = await _loginManagerActor.Ask(registerDataMessage);
        return Ok(result);
    }
}

```

Акције добијају податке као аргументе који су већ прошли одређену проверу исправности од развојног окружења стране. Провера исправности се врши тако што се типови аргумента (у коду изнад *AuthenticationData* и *RegistrationData*) декоришу са атрибутима валидаторима и приликом прихватања захтева, развојно окружење .NET Web API проверава да ли податак задовољава све услове постављене од стране валидатора. Ако је то случај креира се порука која ће бити послата *_loginManagerActor* актеру коришћењем упитног обрасца. Порука у случају пријаве је *Authenticate* док је у случају регистраовања *Register*. Свака порука има јединствени идентификатор који се одређује позивом методе *Increment* која је део *_loginIncrementator* сервиса. Идентификатор је користан у случају да рецимо дође до рестарковања актера, тада на основу њега актер може лакше да поврати пређашње стање или ако је потребна да се изврши нека врста координације различитих операција у различитим актерима [4]. Због употребе упитног обрасца који враћа објекат будућности, контролер ће резултат када буде спреман уписати у променљиву резултат и њу вратити као одговор на захтев [22].

Порука која је послата *_loginManagerActor* актеру ће бити прихваћена од стране *OnReceive* методе актера која је наслеђена метода базне класе *BaseUntypedActor* коју сваки кориснички дефинисани актер мора да наследи како би могао да има сва својства која се очекују од актера. Код *OnReceive* методе је приказан испод. Метод као параметар прима поруку која има тип *object*. Како је ово тип који је родитељ свим осталим типовима у .NET свету то значи да овај метод може примити било који тип под условом да се изврши

кастовање у њега приликом коришћења. У коду можемо видети да порука пролази кроз механизам *switch* конструкције и ако је неког од наведеног типа у *case*-вима конвертује се у тај тип и шаље даље неком актеру на обраду или се враћа контролеру од кога је стигао првобитни захтев. На пример уколико стигне порука за пријаву корисника (енг. *Authenticate*) најпре ће контролер који је послao поруку бити сачуван у речник, како би одговор могао да му буде враћен, а потом се порука шаље актеру аутентификације који је инстанциран као дете *_loginManagerActor* актера. Порука ће се наћи у сандучету актера аутентификације који такође има имплементиран метод *OnReceive* и када та порука стигне на ред да буде обрађена метод је прихвата. Пошто је потребно неколико операција да се одради пре него што актер дозволи пријаву, он инстанцира актере валидације, генерирања корисничког токена и актера који комуницира са базом података корисника како би сваки обавила одговарајућу операцију. Када су подаци прошли валидацију и након што је токен изгенерисан, дохватају се подаци корисника и шаљу се назад актеру *_loginManagerActor* који их враћа контролеру. За комуникацију између актера користи се метод *Tell* који се још и зове „Испали и заборави“ зато што након слања поруке не чека одговор као што је то случај код упитног обрасца (3.6 Обрасци комуникације) већ може да пошаље и референцу пошиљаоца поруке, па кад прималац буде спреман да одговори позива метод *Tell* дефинисан на референци пошиљаоца [1]. Овим приступом се постиже непостојање никаквог чекања унутар актера.

```

protected override void OnReceive(object message)
{
    switch (message)
    {

        case Register reg:
            logger.Info($"{ActorName}, message received: {reg}");
            controllers.TryAdd("Register" +
                reg.RequestId.ToString(), Sender);
            registrationActor.Tell(reg, Self);
            break;
        case UserSaved us:
            logger.Info($"{ActorName}, message received: {us}");
            var registerControllerRef = controllers["Register" +
                us.RequestId.ToString()];
            registerControllerRef.Tell(us, Self);
            controllers.TryRemove("Register" +
                us.RequestId.ToString(), out_);
            break;
        case CanNotRegister cantReg:
            logger.Info($"{ActorName}, message received: {cantReg}");
            registerControllerRef = controllers["Register" +
                cantReg.RequestId.ToString()];
            registerControllerRef.Tell(cantReg, Self);
            controllers.TryRemove("Register" +
                cantReg.RequestId.ToString(), out_);
            break;
        case Authenticate auth:
            logger.Info($"{ActorName}, message received: {auth}");
    }
}

```

```

        controllers.TryAdd("Authenticate" +
            auth.RequestId.ToString(), Sender);
        authenticationActor.Tell(auth, Self);
        break;
    case UserFetched userFetched:
        logger.Info($"{ActorName}, message received:
{userFetched}");
        registerControllerRef =
            controllers[$"Authenticate{userFetched.RequestId}"];
        registerControllerRef.Tell(new
            Authenticated(userFetched.RequestId,
            userFetched.Token), Self);
        controllers.TryRemove($"Authenticate
{userFetched.RequestId}", out _);
        notificationActor.Tell(new
            SendSavedNotifications(
            userFetched.RequestId,
            userFetched.UserId), Self);
        break;
    case TokenGenerationFailed genFailed:
        logger.Info($"{ActorName}, message received:
{genFailed}");
        registerControllerRef =
            controllers[$"Authenticate{genFailed.RequestId}"];
        registerControllerRef.Tell(genFailed, Self);
        controllers.TryRemove($"Authenticate{genFailed.RequestId}",
            out _);
        break;
    case FetchUserFailed fetchUserFailed:
        logger.Info($"{ActorName}, message received:
{fetchUserFailed}");
        registerControllerRef =
            controllers[
                $"Authenticate{fetchUserFailed.RequestId}"];
        registerControllerRef.Tell(fetchUserFailed, Self);
        controllers.TryRemove(
            $"Authenticate{fetchUserFailed.RequestId}", out _);
        break;
    case AuthenticationFailed authFailed:
        logger.Info($"{ActorName}, message received:
{authFailed}");
        registerControllerRef =
            controllers[$"Authenticate{authFailed.RequestId}"];
        registerControllerRef.Tell(authFailed, Self);
        controllers.TryRemove(
            $"Authenticate{authFailed.RequestId}", out _);
        break;
    }
}

```

6.2 Имплементација конфигурација .NET Web API слоја и система актера

По покретању серверске апликације најпре се покреће .NET Web API апликација (4.5. Net Web API интерфејс за програмирање апликација). У њој се креира *HostBuilder* који представља неку врсту скеле .NET Web API апликације. *HostBuilder* се при покретању конфигрушише тако што му се шаље специјална класа која се зове *Startup* и имплементира целокупну конфигурацију .NET Web API апликације. Њена имплементација је приказана испод. Класа има две методе које ће бити позване од стране развојног окружења приликом покретања .NET Web API апликације. Прва метода се зове *ConfigureService* и као параметар поседује колекцију сервиса који је контејнер инверзне контроле. У контејнер се методама *Add** додају сви сервиси неопходни за рад апликације [5]. У претходном поглављу смо видели пример како се неки од ових сервиса могу користити у *Login* контролеру. Конструктору контролера се као параметар проследи интерфејс који имплементира тај сервис, а додат је у контејнер и приликом извршавања конструктора изврши се додела у поље контролера. У коду видимо да се у контејнер додају сервис за логовање, сервис за инкрементирање порука, контексти свих база које апликација користи и њихове конфигурације, *SignalR* хаб за нотификације, две реплике система актера као чворови кластери система актера, сервис за додавање актера који комуницирају са контролерима, *cors* политику, контролере, библиотеку *SignalR* и сервис за логовање уграђене валидације захтева. Други метод који имплементира класа *Startup* је метод *Configure* који врши неке иницијалне операције апликације као и конфигурсање ланца посредника кроз који мора да прође ХТТП захтев пре него што дође до акције неког контролера. Сервис *lifetime*, који је један од параметара метода, се користи за покретање и стопирање система актера одмах после подизања, односно стопирања, .NET Web API апликације. Параметар *app* представља апстракцију .NET Web API апликације и у методи се над њом позивају метода за редирекцију ХТТП захтева на ХТТПС, метода за додавање функционалности рутирања, метода за коришћење CORS-а, метода за употребу ауторизације и метода за додавање крајњих тачака приступа.

```
public class Startup
{
    readonly string MyAllowSpecificOrigins = "_myAllowSpecificOrigins";
    public Startup(IConfiguration configuration)
    {
        LogManager.LoadConfiguration(
            Path.Combine(Directory.GetCurrentDirectory(), "nlog.config"));
        Configuration = configuration;
    }

    public IConfiguration Configuration { get; }

    public void ConfigureServices(IServiceCollection services)
    {
```

```

services.AddSingleton<ILoggerManager, LoggerManager>();

services.AddSingleton<IIcrement, Incrementor>();

services.AddDbContext<OnlineBankingContext>(options =>
    options.UseSqlServer(
        Configuration.GetConnectionString("OnlineBankingDatabase")
    , b => b.MigrationsAssembly("OnlineBankingWebApi"))
);

services.AddDbContext<OnlineBankingAccountContext>(options =>
    options.UseSqlServer(
        Configuration.GetConnectionString("OnlineBankingAccountDatabase"),
    b => b.MigrationsAssembly("OnlineBankingWebApi")));
);

services.AddDbContext<OnlineBankingTransactionContext>(options =>
    options.UseSqlServer(
        Configuration.GetConnectionString("OnlineBankingTransactionDatabase"),
    b => b.MigrationsAssembly("OnlineBankingWebApi")));
);

services.AddDbContext<OnlineBankingCurrencyContext>(options =>
    options.UseSqlServer(
        Configuration.GetConnectionString("OnlineBankingCurrencyDatabase")
    , b => b.MigrationsAssembly("OnlineBankingWebApi")));
);

services.AddDbContext<OnlineBankingHelpContext>(options =>
    options.UseSqlServer(
        Configuration.GetConnectionString("OnlineBankingHelpDatabase")
    , b => b.MigrationsAssembly("OnlineBankingWebApi")));
);

services.AddDbContext<OnlineBankingNotificationContext>(options =>
    options.UseSqlServer(
        Configuration.GetConnectionString("OnlineBankingNotificationContext")
    , b => b.MigrationsAssembly("OnlineBankingWebApi")));
);

services.AddDbContext<BankUsersContext>(options =>
    options.EnableSensitiveDataLogging()
    .UseSqlServer(
        Configuration.GetConnectionString("BankUsersDatabase")
    , b => b.MigrationsAssembly("OnlineBankingWebApi")));
);

services.AddSingleton<INotificationHubHelper, NotificationHubHelper>();
services.AddActorSystem(AkkaSystemConfiguration.SeedNode);
services.AddActorSystem(AkkaSystemConfiguration.Node);
services.AddActorProviders();

services.AddCors(options =>
{
    options.AddPolicy(name: MyAllowSpecificOrigins,
        builder =>
    {
        builder.WithOrigins("http://localhost:3000",
            "http://localhost:9000/api")
    });
});

```

```

        .AllowAnyHeader()
        .AllowAnyMethod()
        .SetIsOriginAllowed((x) => true)
        .AllowCredentials();
    });
}

services.AddControllers();

services.AddSignalR();

services.PostConfigure<ApiBehaviorOptions>(options =>
{
    var builtInFactory = options.InvalidModelStateResponseFactory;

    options.InvalidModelStateResponseFactory = context =>
    {
        var loggerManager =
            context.HttpContext
            .RequestServices
            .GetRequiredService<ILoggerManager>();
        loggerManager.LogInfo($"Request with URL
{context.HttpContext.Request.Host}
{context.HttpContext.Request.Path.Value}" +
$" reached endpoint
{context.ActionDescriptor.DisplayName}" +
$" end produce error message:
\"{context.ModelState.Values
    .First()
    .Errors.First()
    .ErrorMessage}\"");
        return builtInFactory(context);
    };
});

public void Configure(IApplicationBuilder app, IWebHostEnvironment env,
    IHostApplicationLifetime lifetime)
{
    if (env.IsDevelopment())
    {
        app.UseDeveloperExceptionPage();
    }

    lifetime.ApplicationStarted.Register(() =>
    {
        app.ApplicationServices.GetService<ActorSystem>();
    });

    lifetime.ApplicationStopping.Register(() =>
    {
        app.ApplicationServices
            .GetService<ActorSystem>().Terminate().Wait();
    });
}

app.UseStaticFiles()

```

```

        new StaticFileOptions {
            FileProvider = new PhysicalFileProvider(
                Path.Combine(
                    env.ContentRootPath, "ProfileImages")),
            RequestPath = "/ProfileImages"
        }
    );

    app.UseHttpsRedirection();

    app.UseRouting();

    app.UseCors(MyAllowSpecificOrigins);

    app.UseAuthorization();

    app.UseEndpoints(endpoints =>
    {
        endpoints.MapControllers()
            .RequireCors(MyAllowSpecificOrigins);
        endpoints.MapHub<NotificationHub>("/hubs/notificationHub");
    });
}
}

```

У наставку је приказан код за покретање и конфигурисање система актера као и за додавање актера на врху хијерархије у контејнер инверзне зависности како би им се могло приступити у *.NET Web API* апликацији.

```

public static class ServiceCollectionExtensions
{
    public static void AddActorSystem(this IServiceCollection services,
        AkkaSystemConfiguration configurationOption)
    {
        var configPath = configurationOption == AkkaSystemConfiguration.SeedNode ?
            Path.Combine(ConfigurationConstants.ProjectDirectory,
                ConfigurationConstants.SeedNodeConfigurationFile) :
            Path.Combine(ConfigurationConstants.ProjectDirectory,
                ConfigurationConstants.NodeConfigurationFile);
        var configString = File.ReadAllText(configPath);
        var config = ConfigurationFactory.ParseString(configString);
        var bootstrap = BootstrapSetup.Create().WithConfig(config);

        services.AddSingleton(provider =>
        {
            var serviceScopeFactory =
                provider.GetService<IServiceScopeFactory>();
            var di = DependencyResolverSetup.Create(provider);
            var actorSystemSetup = bootstrap.And(di);
            var actorSystem = ActorSystem.Create("OnlineBanking",
                actorSystemSetup);
            actorSystem.AddServiceScopeFactory(serviceScopeFactory);
            return actorSystem;
        });
    }
}

```

```

        });
    }

    public static void AddActorProviders(this IServiceCollection services)
    {
        services.AddSingleton<LoginManagerActorProvider>(provider =>
        {
            var actorSystem = provider.GetService<ActorSystem>();
            var loginActor = actorSystem.ActorOf(
                LoginManagerActor.Props()
                    .WithRouter(FromConfig.Instance),
                "loginManager");
            return () => loginActor;
        });

        services.AddSingleton<AccountGetterActorProvider>(provider =>
        {
            var actorSystem = provider.GetService<ActorSystem>();
            var accountGetterActor = actorSystem.ActorOf(
                AccountGetterActor.Props()
                    .WithRouter(FromConfig.Instance),
                "accountGetterActor");
            return () => accountGetterActor;
        });

        ...
    }
}

```

Класа *ServiceCollectionExtension*, описана у коду изнад представља проширење контејнера инверзне контроле. Она садржи две методе проширења¹⁶ које *services* контејнер позива у *ConfigureServices* методи *.NET Web API* апликације. Метода *AddActorSystem* најпре учитава конфигурациони фајл система актера у зависности да ли се ради о семену или обичном чвору, потом омогућава механизам уметања зависности у систем актера, креира систем актера са називом *OnlineBanking* и прослеђује му конфигурацију. Систем актера региструје у контејнер инверзне контроле као једину инстанцу у контејнеру, тако да кад год систем буде тражен из контејнера биће враћена иста инстанца система. Метода *AddActorProviders* додаје актере који су дефинисани као први ниво хијерхије (директни потомци *user* актера) у контејнер. У коду изнад је приказана логика додавања *loginManager* и *account* актера. На исти начин се додају и остали актери. Најпре је потребно добити систем актера из контејнера, који мора бити претходно регистрован. Потом се позива метод *ActorOf* на инстанци система како би се креирао потребан актер. Овој методи се прослеђује *Props* објекат који представља врсту рецепта (на који начин се актер инстанцира са одређеном конфигурацијом и информацијама испоручивања) помоћу којег систем актера инстанцира

¹⁶ Метода проширења – (енг. *extension method*) представља додавање функционалности над већ постојећим типом података и карактерише је кључна реч *this*, употребљена као префикс првог аргумента. Први параметар представља инстанцу типа којем је придржен овај метод [5].

одређеног актера. Занимљив детаљ је да се актер инстанцира са механизmom рутирања, чија подешавања се читају из конфигурационог фајла. Рутери су конфигурисани да буду свесни свих чворова у групи, тако да ће добијена порука бити рутирана најмање оптерећеној инстанци актера на мање оптерећеном чврору.

```
akka {
    loglevel = DEBUG
    loggers = ["Akka.Logger.NLog.NLogLogger, Akka.Logger.NLog"]
    actor.provider = cluster
    remote {
        dot-netty.tcp {
            port = 5002
            hostname = localhost
        }
    }

    cluster {
        seed-nodes = ["akka.tcp://OnlineBanking@localhost:5002"]
    }

    actor
    {
        debug
        {
            receive = on
            autoreceive = on
            lifecycle = on
            event-stream = on
            unhandled = on
        }

        deployment
        {
            /loginManager {
                router = smallest-mailbox-pool
                nr-of-instances = 10
                cluster {
                    enabled = on
                    allow-local-routees = on
                    max-nr-of-instances-per-node = 5
                }
            }
            /accountGetterActor {
                router = round-robin-pool
                nr-of-instances = 10
                cluster {
                    enabled = on
                    allow-local-routees = on
                    max-nr-of-instances-per-node = 5
                }
            }
        }
    }
}
```

...

Код изнад представља део конфигурационог фајла, написаног у *HOCON*¹⁷ формату, који се односи на употребу логовања унутар система, конфигурисање чворова у групи као и начина рутирања сваког од актера. Видимо да се за сваки рутер одређује политика рутирања (нпр. *smallest mailbox pool* или *round robin*), број инстанци актера који ће бити креирани од стране рутера, дозвала за употребу свих чворова у кластеру као и максималан број инстанци на једном чвиру [4]. Овај сегмент конфигурације представља конфигурацију семена чвора, што можемо видети под секцијом *cluster* и видимо да ће тај чвр бити покренут на адреси “*akka.tcp://OnlineBanking@localhost:5002*”. Овде такође можемо видети колико је једноставно извршити конфигурисање локације где ће сваки чвр бити покренут, тако да је у случају отказа сервера на некој адреси, могуће, врло једноставно, извршити преконфигурацију тако да се чвр нађе на некој другој адреси.

6.3 Имплементација сервиса за извршавање плаћања корисника

Имплементација сервиса за извршавање плаћања на корисничкој страни користи исте концепте и конструкције као и сервис за пријављивање и регистровање корисника. Корисник види на екрану садржај који му рендерује *Payment React*-ова компонента. Она садржи форму плаћања, чији подаци се након попуњавања шаљу *dispatch* методом као акцију *sendPaymentInfo Redux*-у. *Redux* помоћу, већ описане функције, *createAsyncThunk* шаље информације *Payment* контролеру .NET Web API апликације и одашиље нову акцију којом обавештава да је захтев тренутно у нерешеном стању. *React* ће све док траје нерешено стање приказивати кориснику *Loader* и на тај начин обавештавати корисника да је процес обраде у току.

На серверској страни акција контролера *Payment* ће захтев конвертовати у поруку и послати је *Payment* актеру. Битна карактеристика *Payment* актера је та што наслеђује *BaseUntypedPersistentActor* актера који омогућава да се унутрашње стање актера сачува у бази података. Чување стања омогућава његов опоравак у случајевима када је актер стартован, рестартован након пада апликације или од стране супервизора због неког другог разлога или након миграирања актера у групу. Идеја је да свака порука која стигне у сандуче актера буде обрађена методом *OnCommand*. *OnCommand* метода ће извршити чување добијене команде, тако што ће је представити као догађај и тај догађај ће бити сачуван у базу методом *Persist*. Када *Persist* сачува догађај у бази, извршиће колбек функцију у којој се наставља извршавање актера. Ако дође на пример до рестартовања актера, најпре ће се извршити *OnRecover* метода која добија редом сачуване догађаје и на основу њих може вратити стање да буде идентично стању актера пре рестарта. Чување информација као догађаје се назива „извор догађаја“ (за детаље погледати поглавље 3.8Обрасци управљања и чувања стања) и има доста предности у односу на конвенционално чување

¹⁷ HOCON (енг. *Human Optimized Configuration Object Notation*) је конвенција писања конфигурационих фајлова у облику који је погодан за человека и представља надоградњу JSON конвенције [4].

података у релационим базама, као што је на пример могућност праћења историје догађаја и проверавање историје трансакција, што је веома битан фактор у финансијским системима. Код имплементације *Payment* актера приказан је испод.

```
public class PaymentActor : BaseUntypedPersistentActor, ILogReceive
{
    public override string PersistenceId => Self.Path.ToString();
    private readonly PaymentState state = new()
        { Controllers = new(), Messages = new() };

    //Initialization of children actors
    ...

    private int _msgsSinceLastSnapshot = 0;

    public PaymentActor() :base(nameof(PaymentActor)) {}

    protected override void OnCommand(object message)
    {
        switch (message)
        {
            case Pay pay:
                logger.Info($"{ActorName}, message received : {pay}");
                state.Controllers.TryAdd(pay.RequestId, Sender);
                state.Messages.TryAdd(pay.RequestId, pay);
                Persist(new PayArrivedEvent(pay.RequestId, pay, Sender),
                    (payArrivedEvent) => {
                        if (++_msgsSinceLastSnapshot % 100 == 0)
                        {
                            SaveSnapshot(state);
                            _msgsSinceLastSnapshot = 0;
                        }
                        logger.Info($"{ActorName},
                            message persisted: {payArrivedEvent}");
                        userIdRetrieverActor.Tell(
                            new RetrieveUserId(pay.RequestId,
                                pay.UserToken), Self);
                    });
                break;
            case UserIdRetrieved userIdRetrieved:
                logger.Info($"{ActorName} ,
                    message received : {userIdRetrieved}");
                var payMessage =
                    state.Messages[userIdRetrieved.RequestId];
                accountStorageActor.Tell(
                    new GetAccountsForPayment(payMessage.RequestId,
                        userIdRetrieved.UserId, payMessage.AccountNumber,
                        payMessage.BeneficiaryCustomerAccount));
                break;
            case RetrievedAccountsForPayment retrievedAccountsForPayment:
                logger.Info($"{nameof(ActorName)},
                    message received : {retrievedAccountsForPayment}");
                state.Messages.TryRemove(
                    retrievedAccountsForPayment.RequestId,
                    out payMessage);
                state.Controllers.TryRemove(

```

```

        retrievedAccountsForPayment.RequestId,
        out controller);
Persist(
new RetrievedAccountsForPaymentEventArrived(
retrievedAccountsForPayment.RequestId),
(retrievedAccountsForPaymentEventArrived) => {
    logger.Info(${ActorName},
    message persisted
    {retrievedAccountsForPaymentEventArrived});
if(retrievedAccountsForPayment.
    BeneficiaryAccount == null)
{
    paymentPerformerActor.Tell(
    new PayOnRemoteAccount(
    payMessage.RequestId,
    retrievedAccountsForPayment.UserAccount,
    payMessage.Amount,
    payMessage.BeneficiaryCustomer,
    payMessage.BeneficiaryCustomerAccount,
    payMessage.Model,
    payMessage.Reference,
    payMessage.PaymentCode,
    payMessage.PaymentPurpose,
    controller),
    Self);
}
else
{
    paymentPerformerActor.Tell(
    new PayOnLocalAccount(
    payMessage.RequestId,
    retrievedAccountsForPayment.UserId,
    retrievedAccountsForPayment.UserAccount,
    retrievedAccountsForPayment.
        BeneficiaryAccount,
    payMessage.Amount,
    payMessage.BeneficiaryCustomer,
    payMessage.Model,
    payMessage.Reference,
    payMessage.PaymentCode,
    payMessage.PaymentPurpose,
    controller),
    Self);
}
});

break;
//other cases of commands
...
case SaveSnapshotSuccess saveSnapshotSuccess:
    DeleteMessages(
        saveSnapshotSuccess.Metadata.SequenceNr);
    break;
case SaveSnapshotFailure saveSnapshotFailure:
    logger.Error(${ActorName}, failed to save snapshot);
    break;
}
}

```

```

protected override void OnRecover(object message)
{
    switch (message)
    {
        case PayArrivedEvent payArrivedEvent:
            logger.Info(${ActorName},
                message recovered : {payArrivedEvent});
            state.Controllers.TryAdd(payArrivedEvent.RequestId,
                payArrivedEvent.Controller);
            state.Messages.TryAdd(payArrivedEvent.RequestId,
                payArrivedEvent.Pay);
            break;
        case RetrievingUserIdFailedArrivedEvent
            retrievingUserIdFailedArrivedEvent:
            logger.Info(${ActorName},
                message recovered : {retrievingUserIdFailedArrivedEvent});
            state.Controllers.TryRemove(
                retrievingUserIdFailedArrivedEvent.RequestId,
                out _);
            state.Messages.TryRemove(
                retrievingUserIdFailedArrivedEvent.RequestId,
                out _);
            break;
        //all other cases for events
        ...
        case SnapshotOffer offer:
            logger.Info(${ActorName}, snapshot offer : {offer});
            if (offer.Snapshot is PaymentState snapshotType)
            {
                state.Controllers =
                    new ConcurrentDictionary<ulong, IActorRef>
                    (state.Controllers.
                        Concat(snapshotType.Controllers));
                state.Messages =
                    new ConcurrentDictionary<ulong, Pay>
                    (state.Messages.
                        Concat(snapshotType.Messages)));
            }
            break;
    }
}

public static Props Props() => Akka.Actor.Props.Create(() => new PaymentActor());
}

```

Занимљива карактеристика код актера који чувају своје стање је да се у сваком тренутку може одрадити његов снимак стања позивањем методе `SaveSnapshot`. *Payment* актер снима своје стање након сваких сто плаћања. На тај начин се може драматично смањити опоравак актера након рестартовања јер се не мора проћи кроз целу историју догађаја, већ се може почети од последњег снимка. Развојно окружење ће послати `SnapshotOffer` тип методи `OnRecover` приликом рестартовања актера који ће га сачувати као тренутно стање и након тога само ажурирати стање на основу догађаја који су се додали након снимка.

Payment актер шаље различите поруке *PaymentPerformer* актеру у зависности од тога да ли рачун уплатиоца припада банковном систему или је у питању рачун неке друге банке или система. У случају да се ради о рачуну банковног система шаље се *PayOnLocalAccount* порука, а у супротном се шаље *PayOnRemoteAccount*. У зависности од поруке коју прими актер *PaymentPerformer* ће прећи у одговарајуће стање коришћењем методе *BecomeStacked*. *BecomeStacked* метода замењује постојеће понашање актера, понашањем дефинисаним у методи која се прослеђује *BecomeStacked* методи као аргумент. Ово ново понашање се ставља на врх стека и користи се све док се ново понашање не дода на врх стека поновним позивом *BecomeStacked* методе или се не уклони са стека позивом *UnbecomeStacked*. Уколико у сандуче актера стигне порука која не може бити обрађена тренутним понашањем актера, рецимо код *PaymentPerformer* актера ако се налази у *ProcessLocalPayment* стању, а стигне му *PayOnRemoteAccount* порука, она се може ускладишити позовом методе *Stash* и када је актер спреман да пређе у стање које може да обради ту поруку, може се доћи до ње позивањем методе *UnstashAll* која вади све ускладиштене поруке, а да при томе не губи редослед којим су пристизале у сандуче актера. Код за *OnCommand* методу *PaymentPerformer* актера где се врши прелазак у *ProcessLocalPayment* понашање уколико стигне *PayLocalAccount* порука, односно у *ProcessRemotePayment* понашање у случају да стигне *PayOnRemoteAccount* порука, је приказан испод.

```
protected override void OnCommand(object message)
{
    switch (message)
    {
        case PayOnLocalAccount payOnLocalAccount:
            logger.Info($"{ActorName} - {payOnLocalAccount} received.");
            _state.LocalAccountMessages.TryAdd(
                payOnLocalAccount.RequestId, payOnLocalAccount);
            Persist(
                new PayOnLocalAccountEventArrived(
                    payOnLocalAccount.RequestId, payOnLocalAccount)
                , (eventArrived)=> {
                    if (++_msgsSinceLastSnapshot % 100 == 0)
                    {
                        SaveSnapshot(_state);
                        _msgsSinceLastSnapshot = 0;
                    }
                    logger.Info($"{ActorName}
                        , message persisted {eventArrived}");
                    if (payOnLocalAccount.UserAccount.Amount
                        >= payOnLocalAccount.Amount)
                    {
                        currencyExchangeRateActor.Tell(
                            new PerformCurrencyExchangeRate(
                                payOnLocalAccount.RequestId,
                                payOnLocalAccount.UserId,
                                payOnLocalAccount.UserAccount.Currency,
                                payOnLocalAccount.BeneficiaryAccount.Currency),
                            Self);
                        BecomeStacked(ProcessLocalPayment);
                    }
                });
    }
}
```

```

        }
        else
        {
            logger.Warning(${ActorName},
account does not have enough funds to proceed with payment");
            payOnLocalAccount.Sender.Tell(
                new CouldNotPerformPayment(
                    payOnLocalAccount.RequestId,
                    PaymentError.NoSufficientFundsError));
        }
    });
break;
case PayOnRemoteAccount payOnRemoteAccount:
    logger.Info(${ActorName} - {payOnRemoteAccount} received.");
    _state.RemoteAccountMessages.TryAdd(
        payOnRemoteAccount.RequestId,
        payOnRemoteAccount);
    Persist(
        new PayOnRemoteAccountEventArrived(
            payOnRemoteAccount.RequestId, payOnRemoteAccount),
        (eventArrived) =>
    {
        if (++_msgsSinceLastSnapshot % 100 == 0)
        {
            SaveSnapshot(_state);
            _msgsSinceLastSnapshot = 0;
        }
        logger.Info(${ActorName},
            message persisted {eventArrived});
        var userAccount = payOnRemoteAccount.UserAccount;
        if (userAccount.Amount >= payOnRemoteAccount.Amount)
        {
            userAccount.Amount -= payOnRemoteAccount.Amount;
            accountStorageActor.Tell(
                new UpdateAccounts(
                    payOnRemoteAccount.RequestId,
                    new List<Account>() { userAccount })
                , Self);
            BecomeStacked(ProcessRemotePayment);
        }
        else {
            logger.Warning(${ActorName},
account does not have enough funds to proceed with payment");
            payOnRemoteAccount.Sender.Tell(
                new CouldNotPerformPayment(
                    payOnRemoteAccount.RequestId,
                    PaymentError.NoSufficientFundsError));
        }
    });
break;
}
}

```

7 Закључак

Систем онлајн банкарства BANKX22 представља савремен начин имплементације једног финансијског система спремног да одговори на изазове попут сигурности, доступности, одзивности и издржљивости. Сврха овог система је да покаже како се коришћењем једног модела као што је систем актера могу обављати финансијске трансакције, а да притом задовољимо све услове које један реактиван дистрибуиран систем треба да има. Циљ је био да се прикаже један од начина пројектовања финансијског система употребом система актера имплементираног корисничким окружењем *Akka* и тако, на једноставан начин, примене многобројни обрасци који омогућавају и олакшавају рад реактивно дистрибуираног система. Сваки сервис система је имплементиран тако да буде лабаво везан, тј. да може да ради као независна целина. Сваки од сервиса приказује неку занимљиву карактеристику коју пужа корисничко окружење *Akka*, као што су: образац извор догађаја имплементиран механизmom за чување догађаја *UntypedPersistentActor* актера, образац прекидач кола, механизми супервизије и надгледање актера деце од стране актера родитеља који омогућавају ефикасно решење за руковање грешкама и отказима, механизам употребе прослеђивања порука који избегава закључавање и блокирање извршавања кода, елегантан начин рада у вишенитном систему без коришћења сложених механизама синхронизације као и транспарентност без обзира да ли се цео систем извршава на једној или више машинама. На клијентској страни система онлајн банкарства BANKX22 приказани су савремени начин коришћења библиотека *React* и *Redux* употребом хукова као и правилан начин структуирања и организовања кода. Ове библиотеке омогућавају писање кода на функционалан начин коришћењем многих елемената реактивне парадигме, као што су писање функционалних *React* компоненти правећи дрволику структуру и вршењем комуникације која је вођена догађајима.

Даљи радови на систему би имали у виду унапређивање раздавања система на више локација коришћењем постојећих механизама библиотеке *Cluster*. Један од начина да се то постигне би била примена библиотеке *Cluster Sharding* која је део библиотеке *Cluster* и која омогућава да се сваки сервис актера система подели и дистрибуира на различите чврлове. На тај начин сегменти сервиса (група актера) који захтевају доста сложена израчунавања, па самим тим и доста процесорске снаге, се могу дистрибуирати на машинама прилагођеним за то и на тај начин спречити да машина која обавља те операције постане уско грло. Још једна могућност унапређења апликације је да се сваки сервис покрије тестовима који повећавају квалитет, доступност и одговорност апликације. Уколико постоји договор на нивоу сервиса (енг. *Service level agreement – SLA* [25]) између пружаоца сервиса и клијента, тестови би представљали један од основних метода гаранције да се он испоштује.

8 Референце

1. Anthony Brown “Reactive Applications with Akka.NET” Manning
2. Roland Kuhn, “Reactive Design Patterns” ISBN 9781617291807
3. Vaughn Vernon, “Reactive Messaging Patterns with the Actor Model: Applications and Integration in Scala and Akka”
4. Akka.NET
5. Mark J. Price, “C# 8.0 .NET Core 3.0 – Modern Cross-Platform Development”
6. docs.microsoft.com - Microsoft Documentation
7. reactjs.org - React Documentation
8. redux.js – Redux Documentation
9. redux-toolkit.js – Redux Toolkit Documentation
10. ACID versus BASE Date Stores
11. Amdahl's law
12. Little's law
13. Eric Brewer CAP theorem
14. CQRS in ASP .NET Core 3.1
15. Loose coupling
16. Object-relational impedance mismatch
17. Why Event Sourcing?
18. Representational state transfer
19. Martin Flower, Inversion of Control Containers and the Dependency Injection pattern
20. alphavantage.co/documentation/ - Alpha Vantage API Documentation
21. SignalR Documentation
22. Best Practices for Integrating Akka.NET with ASP.NET Core and SignalR
23. Database per service principle
24. Difference between a future and a promise
25. Service-level agreement
26. Single-responsibility principle
27. Saga pattern