

МУЛЬТИАГЕНТНА СИСТЕМА КЕРУВАННЯ ФОНДОВИМ РИНКОМ

© Кравець П.О., Гузар В.В., 2010

Досліджується проблема використання мультиагентного підходу для прийняття рішень у сфері проведення торгів на ринку цінних паперів та інвестицій. Проведено системний аналіз досліджуваної проблемної області. Побудовано діаграми потоків даних для процесів, що відбувається на фондовому ринку. Визначено основні завдання, які потрібно вирішити в процесі створення мультиагентної системи та побудовано відповідну ієрархію задач. Запропоновано ігрову модель збалансованого керування фондовим ринком.

Ключові слова: програмний агент, мультиагентна система, фондовий ринок, трейдер, сховище даних, ігрова модель.

The issue under investigation is the problem of using multiagent approach for decision-making in bidding on the stock market and investment. The system analysis was conducted to investigate the problem area. Data flow diagrams for the processes taking place in the stock market were built. The main aims and the object matter which must be solved in the process of creating multiagent system were determined and the corresponding hierarchy of problems was constructed. The game model for the balanced management of the share market is offered.

Keywords: software agent, multiagent system, stock market, trader, data warehouse, game model.

Вступ

З появою глобальної Інтернет-економіки, частиною якої є електронний ринок цінних паперів та інвестицій, складність і динаміка бізнес-процесів почали стрімко зростати. При цьому бізнес вимагає постійного вдосконалення сервісу для клієнтів, індивідуального підходу до кожного споживача, впровадження інновацій і скорочення витрат, поширення в нові сфери діяльності та мінімізації ризиків. Прийняття рішень у цих умовах характеризується високою невизначеністю, вимогою функціонування у реальному часі, наявністю багатьох взаємно суперечливих критеріїв, необхідністю враховувати знання і досвід фахівців, які не тільки погано формалізуються, але й постійно змінюються та рядом інших нових вимог [1 – 3].

Виникла необхідність у більш потужних і гнучких інтелектуальних програмних системах, здатних безупинно здобувати нові знання та змінювати свою структуру і функції, розвиваючись та адаптуючись до розв'язуваних задач і умов зовнішнього середовища.

Одним зі шляхів вирішення подібних задач є застосування мультиагентних систем (МАС), що отримали стрімкий розвиток в останнє десятиліття. Мультиагентні технології надають нові унікальні можливості для компаній, даючи змогу вирішувати складні завдання та створювати програмні системи, що приносять високу ефективність, нову якість сервісу і ряд інших переваг над конкурентами.

Мультиагентні системи (крос-платформні розподілені інтелектуальні системи) являють собою сукупність інтелектуальних агентів. Агенти – це автономні об'єкти, які можуть самостійно реагувати на зовнішні події та приймати відповідні рішення. Сьогодні у межах мультиагентних технологій розроблені різні типи агентів, які характеризуються спеціалізованими властивостями, конкретною моделлю поведінки та сімейством архітектур і бібліотек компонентів, для яких властиві розподіленість і автономність [4].

Дійовими особами фондового ринку є трейдери, які ухвалюють рішення щодо купівлі та продажу цінних паперів. Трейдери приймають свої рішення відповідно до формалізованих або неформалізованих моделей, які формуються на основі існуючих економічних теорій.

Оскільки на реальному ринку цінних паперів та інвестицій основну роль виконують люди-торговці (брокери, трейдери та ін.), то на модельованому ринку їм відповідають інтелектуальні агенти, які можуть приймати рішення, об'єднуватися в групи та навчатися в процесі функціонування ринку, тобто виконувати майже усі дії, які виконують реальні фахівці. Саме цим і пояснюється застосування мультиагентного підходу до цієї проблемної області.

У цій роботі пропонується використання мультиагентної системи на ринку електронної комерції, пов'язаної з цінними паперами та інвестиціями. Система призначена для допомоги у прийнятті рішень торговцю для вигідного продажу або купівлі цінних паперів на фондовому ринку. Висновки системи є рекомендаційними. Торговець не зобов'язаний погоджуватися з ними, оскільки вони призначені для надання можливого варіанта вирішення проблеми. Практичне застосування системи можливе на підприємствах, робота яких тісно пов'язана з торгівлею на фондовому ринку, оскільки це допоможе швидко та якісно приймати керівні рішення. Особливо ефективним може бути використання цієї системи фірмами, що ведуть брокерську діяльність на ринку цінних паперів та інвестицій. МАС буде корисною для фірм, що лише починають розвиватися і не мають достатнього капіталу, адже вона дасть змогу спробувати свої сили на моделі фондового ринку, що не вимагатиме затрат коштів та допоможе здобути певний досвід у цій галузі.

Аналіз останніх досліджень та публікацій

Актуальною проблемою автоматизації процесів фондового ринку є забезпечення ефективного управління портфелем цінних паперів на основі агентно-орієнтованої інформаційної технології.

Моделі та методи автоматизованого управління портфелем цінних паперів на фондовому ринку розглянуто у дисертаційній роботі [3]. Метою цієї роботи є підвищення ефективності інвестиційних рішень, що приймаються на фондовому ринку за рахунок створення та розвитку ефективних методів, моделей та розробки інформаційних технологій управління портфелем цінних паперів. Об'єктом дослідження є процес управління портфелем цінних паперів. Предметом дослідження є моделі, методи та інформаційна технологія підтримки прийняття рішень на фондовому ринку. Проведені дослідження ґрунтуються на використанні методів теорії нечітких множин для проведення аналізу фінансово-економічного стану підприємства, логіко-лінгвістичних методів для розрахунку вартості активів емітентів цінних паперів, методів технічного та фундаментального аналізу для оцінки вартості акцій.

Однак, робота [3] відбиває лише один аспект досліджуваної проблеми – управління фондовим ринком, але не показує застосування мультиагентного підходу до вирішення поставленого завдання. Використання мультиагентних моделей фондових ринків детально розглянуто у працях зарубіжних авторів. Проаналізуємо деякі з них.

Структуру мультиагентної системи для керування фондовим ринком розглянуто у роботі [5]. Описується спеціалізований модуль TrAgent – безпечне робоче середовище мультиагента, що моделює фондову біржу та процедуру її торговельної безпеки. Модель містить повний процес від ініціювання торговельного порядку до його виконання з врахуванням питань безпеки проведення операцій. Парадигма мультиагента є оболонкою для проектування системи фондового ринку. Властивості інтелектуальних агентів програмного забезпечення задовольняють характеристики акторів у торговельному залі біржі та забезпечують умови для ефективних розподілених обчислень. Ці характеристики передбачають динамічний та гнучкий вибір варіантів рішень у змінній обстановці, асинхронну та автономну поведінку, ефективне використання ресурсів у розподіленому навколишньому середовищі. Основна увага у цій праці концентрується на одному з важливих агентів модуля TrAgent – інтелектуальному агенті біржового маклера. Інтелектуальні здібності агента біржового маклера базуються на використанні експертної системи з нечіткою логікою і забезпечують прийняття ефективних рішень та підвищення прибутковості фірми.

Динаміку цін акцій та проблеми краху фондових ринків під впливом дій інвесторів на штучному мультиагентному фондовому ринку розглянуто у роботах [6, 7], які присвячені виявленню критичних факторів мікрорівня, які стимулюють поведінку інвесторів, і поясненню явищ макрорівня, які можуть бути результатом сукупної поведінки інвесторів мікрорівня. У цих працях вирішено такі завдання: опис моделі ринку, проведення експериментів моделювання, аналіз отриманих результатів, задання обмежень дослідження та визначення областей для перспективних досліджень.

Праця [8] представляє мультиагентну стохастичну модель фондового ринку. Рушійні сили ринку включають можливість вибору між фінансовими аналітиками – чартистами й фундаменталістами, а також можливість вибору за переважаючими думками (оптимістичний або песимістичний) серед чартистів. Нелінійна динамічна система створена для зображення основних механізмів розвитку фондового ринку. За різних налаштувань параметрів система демонструє чотири види динамічних режимів: фундаментальна рівновага, нефундаментальна рівновага, періодичність і хаос.

У праці [9] проаналізовано вимоги для керування портфелем продажу акцій та розроблено теоретичні основи функціонування відповідної системи. Повні завдання керування портфелем передбачають виявлення профілів користувача, збирання інформації відносно початкового стану портфеля користувача, контроль навколишнього середовища від імені користувача, вироблення пропозицій рішень, що відповідають цілям інвестиції користувача. Заснована на аналізі вимог, ця стаття представляє структуру для мультиагентної системи для продажу акцій, описує комунікації агентів та обмін інформацією і знаннями між агентами. Ключові питання адресовані збору та інтеграції інформації, отриманої від співпрацюючих агентів, забезпеченню ухвалення ефективних рішень для інвесторів на фондовому ринку. У запропонованій системі користувачі ідентифікують ролі агентів і розв'язувані агентами задачі.

У [10] описано мультиагентну модель фондового ринку SiSMar. Ця модель визначає поведінкові й пізнавальні відносини інвестора на мікрорівні й пояснює ефект їх впливу на ухвалення рішення. Мультиагентна система ґрунтується на моделюванні і використовується для затвердження спроектованої моделі та вивчення явищ фондового ринку на макрорівні.

Формулювання цілей

Метою розроблення мультиагентної системи управління ринком цінних паперів та інвестицій є створення дієздатної інтелектуальної системи з використанням “cloud-computing” технології, яка дасть змогу брокерським фірмам укладати вигідні угоди на ринку, які відповідатимуть інтересам клієнта та приносятимуть йому дохід з найменшими затратами коштів, людських та матеріальних ресурсів.

Використання технології “cloud-computing” для управління фондовим ринком є відносно новим на теренах України. Новизною її застосування є можливість побудови віртуальних організацій, для ефективного функціонування яких не потрібно мати офіс з великою кількістю працівників. Більшість з працівників можуть виконувати завдання в комфортних для них домашніх умовах, а надають їм повноважень та прав з використання web-інтерфейсів. Тобто, працівники можуть працювати за своїми стаціонарними комп'ютерами, які мають вихід у всесвітню web-павутину – Інтернет. Саме таке ефективне використання ресурсів допоможе зменшити фінансові витрати, не погіршивши при цьому якість обслуговування клієнтів.

Для досягнення поставленої мети пропонується застосування мультиагентного підходу. Використання агентів-брокерів, які спілкуються між собою з використанням наперед визначеного синтаксису, правил та онтологій, дасть змогу реалізувати концепцію “cloud-computing”, використовуючи мультиагентні технології передачі та обробки інформації.

Об'єктом досліджень є один з перспективних напрямків розвитку Інтернет-систем – проектування інтелектуальних систем прийняття рішень на основі отриманої з Інтернету інформації. Саме така спрямованість пояснюється тим, що обсяги інформації в Інтернеті такі великі, що їх практично неможливо опрацювати людині, тому необхідні комп'ютерні системи інтелектуальної обробки інформації, що забезпечують підтримку прийняття рішень. Одним з напрямків створення інтелектуальних Інтернет-систем є розроблення мультиагентних систем, що дозволяють впровадити розподілену обробку інформації.

Однією з складових частин об'єкта досліджень є автоматизація процесу прийняття рішень на ринку цінних паперів та інвестицій із залученням потенціалу мережі Інтернет. Саме ця частина і є предметом досліджень цієї роботи. Нами пропонується модель системи штучних інтелектуальних організмів (агентів), які можуть ухвалювати рішення щодо купівлі-продажу акцій, беручи участь в електронних торгах на фондовому ринку.

Для створення працюючої мультиагентної системи керування ринком цінних паперів та інвестицій та досягнення виконання поставленої мети необхідно розв'язати ряд складних проблем, виявити та впорядкувати які допомагає побудова ієрархії задач [11]. Коренем ієрархії є основна задача – створення мультиагентної системи керування ринком цінних паперів та інвестицій (рис. 1).

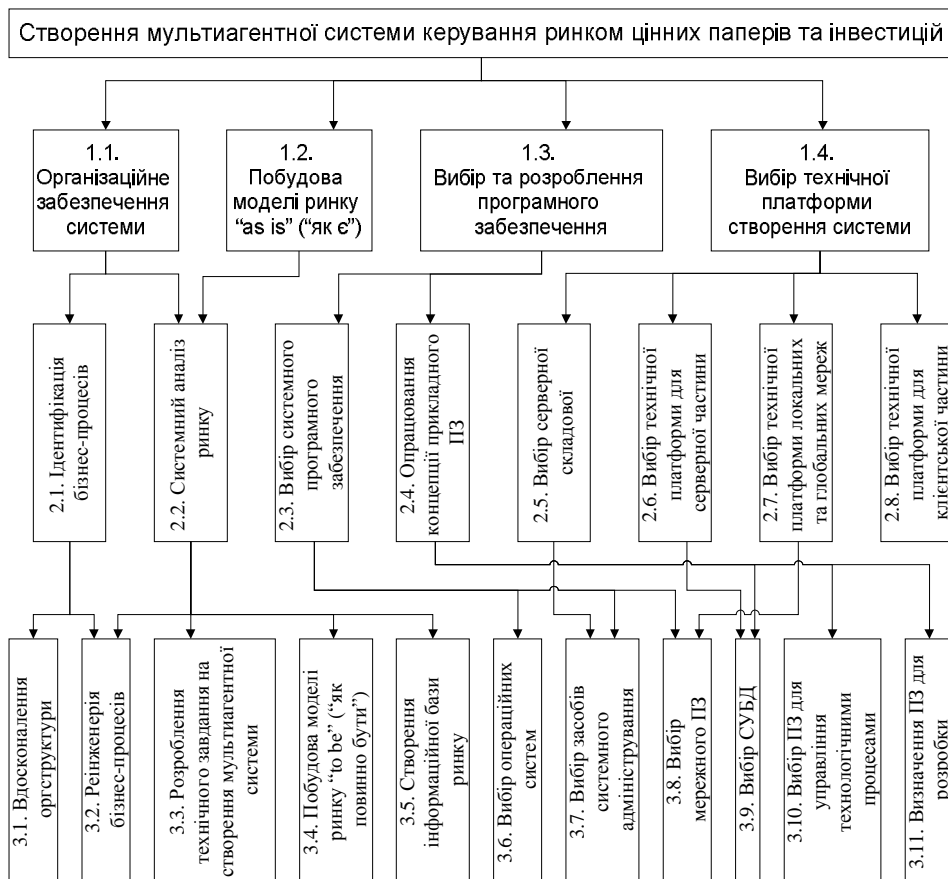


Рис. 1. Ієрархія задач системи

Як видно з ієрархії задач, початкова декомпозиція системи здійснюється за таким принципом поділу: що потрібно знати, що потрібно створити, що потрібно організувати та що потрібно використати для розв'язання поставленої проблеми. Найважливішими задачами є: 1) побудова моделі ринку цінних паперів та інвестицій, а саме побудова моделі “to be” (“як повинно бути”); 2) задача організаційного забезпечення системи; 3) вибір та розроблення програмного забезпечення; 4) вибір технічної платформи розроблення системи.

Організаційне забезпечення системи дає інформацію про організацію та структуру ринку, необхідну для побудови добре функціонуючої моделі. Необхідним етапом побудови моделі фондового ринку є проведення системного аналізу. Задача вибору та розроблення програмного забезпечення системи допомагає правильно підібрати інструментальні засоби проектування МАС, зважаючи на швидкі темпи розвитку інформаційних технологій. Решта задач більшою мірою стосуються впровадження системи керування ринком цінних паперів та інвестицій.

При обраному рівні розгляду системи метою нашого дослідження є побудова моделі “to be” (“як повинно бути”) та створення інформаційної бази ринку цінних паперів та інвестицій.

Призначення системи

Розроблена мультиагентна система передбачає присутність одного актора (“Торговець”) та чотирьох задач (задання критеріїв пошуку, пошук в базі даних пропозицій, прийняття рішення щодо купівлі/продажу, подання результату). Задачі пошуку в базі даних пропозицій та прийняття рішення щодо купівлі/продажу розв’язує множина розподілених агентів-брокерів, що дає змогу здійснити кваліфіковану оцінку прийнятого рішення та пришвидшити процес отримання результату. Перша та остання задачі співпрацюють з актором за допомогою використання віконних форм введення/виведення інформації, відповідно приймаючи від нього дані та представляючи йому результат. Взаємозв’язки між акторами та задачами зображено за допомогою діаграми прецедентів (“use case”) на рис. 2.



Рис. 2. Діаграма прецедентів системи

Обґрунтування розроблення та впровадження системи

У галузі ринку цінних паперів та інвестицій можна виділити такі типи проблем, що потребують вирішення:

- виявлення, формулювання й групування класифікаційних ознак цінних паперів;
- виявлення і формулювання стану за кожною ознакою;
- індексація (числове шифрування) ознак вивчення стану;
- розроблення глобального (наскрізного) класифікатора цінних паперів;
- розроблення розширених класифікаторів цінних паперів;
- розроблення класифікаторів за видами цінних паперів;
- розроблення блочних класифікаторів цінних паперів;
- розроблення пошукових систем;
- розроблення аналітичних систем;
- комп’ютеризація класифікаторів і систем;
- оцінювання ризиків інвесторів.

Для вирішення цих проблем необхідно орієнтуватися на цілі, яких належить досягти в процесі систематизації цінних паперів. Їх варто розподілити на дві групи: цілі, пов’язані з обслуговуванням законодавчих органів країни, і цілі, зв’язані з обслуговуванням учасників фондового ринку [2]. Під час виконання цієї роботи за основу беруть другу групу цілей для вирішення проблеми комп’ютеризації, а саме, – підбір певного об’єкта для інвестування та його рекомендація для інвестора.

Вирішення даної проблеми тісно пов'язане з іншими наведеними проблемами, оскільки воно здебільшого залежить від результату їх вирішення. Своєю чергою, для вирішення поставленої проблеми необхідно використати готові напрацювання супутніх проблем, зокрема щодо розроблення аналітичних систем, індексації ознак цінних паперів та інших.

Аналізуючи поставлену проблему, можна побачити, що для впровадження її комп'ютеризованого вирішення необхідно розглянути нові проблеми: зміну організації документообігу, спосіб збереження інформації про цінні папери та інвестиції, навчання персоналу тощо. Очевидно, що для забезпечення машинного збереження наявної інформації необхідно виконати її оцифрування і систематизацію відповідно до наперед визначених критеріїв. Для зміни організації документообігу необхідно побудувати захищену мережу, по якій передаватимуться ці документи, та створити робочу групу, яка б змогла ефективно навчити людей користуватися розробкою задля зменшення випадків виключних ситуацій, що можуть призвести до збою роботи системи.

Сьогодні для вирішення проблеми підбору об'єкта для інвестування використовують системи, що дають змогу працювати з однією базою даних про цінні папери та інвестиції, яка розміщена в одному конкретному місці і тому потребує наявності дорогого серверного обладнання та відповідного приміщення для організації офісу, що призводить до великих затрат на їх утримання. Розроблення МАС фондового ринку дасть змогу розподілити навантаження між агентами, які не потребуватимуть потужних апаратних засобів завдяки тому, що можуть бути розміщені на віддалених відстанях та зв'язуватись між собою через захищену мережу Інтернет. МАС дасть змогу використовувати декілька невеликих баз даних, що в загальному являтимуть собою спеціалізоване сховище даних, яке не потребуватиме великих затрат на серверну частину. Використовуючи віртуальний офіс, ця система дасть змогу ефективно виконувати замовлення від інвесторів через мережу Інтернет.

Отже, можна виділити такі переваги проєктованої системи порівняно з існуючими сьогодні системами:

- зменшення витрат на оренду офісів;
- зменшення витрат на апаратні засоби;
- продуктивність прийняття рішень завдяки розподіленості джерел інформації.

Новизною запропонованого вирішення проблеми є застосування технології “cloud-computing”, яка передбачає об'єднання комп'ютерів працівників у віртуальний офіс, що дасть змогу зменшити витрати на оренду приміщень та дорогі серверні частини.

Використання такої технології спричиняє ускладнення функціонування системи, а саме, збільшення кількості функцій, які повинні виконувати синхронізацію між базами даних, ідентифікацію працівників та клієнтів. Проте орієнтованість на web-мережу, яка сьогодні швидко розвивається, робить систему більш зручною та доступною для користувачів.

Найскладнішими для розв'язання задачами є розроблення моделі “як є”, моделі “як повинно бути” та системний аналіз ринку цінних паперів та інвестицій, тому на них виділяється близько 80% від загального часу виконання проєкту. Під час виконання цих завдань можливе паралельне розв'язування задач реінженерії бізнес-процесів та створення інформаційної бази ринку, що дозволяє скоротити час виконання проєкту.

Структура системи

У моделі керування ринком цінних паперів та інвестицій доцільно виділити такі модулі: модуль, який керує діями покупця, продавця та модулі брокерів. Ці модулі взаємодіють між собою і в результаті їх взаємодії досягається поставлена мета.

Модуль брокерів має свою дворівневу ієрархію. У корені цієї ієрархії знаходиться агент-брокер, який отримуючи певну інформацію від інших агентів, що збирають інформацію по конкретних параметрах ринку цінних паперів та інвестицій, приймає остаточне рішення щодо можливості укладення угоди.

Функціональна структура даної системи – це розподіл функціональних завдань між агентами-брокерами, кожне з яких орієнтоване на певну область питань, структуру та зміст яких визначено у меті даної системи.

Система також враховує зміни функціонування системи у часі. З часом деякі з параметрів ринку стануть неактуальними, і їх вибір не відіграватиме важливої ролі. Модель даної системи повинна відреагувати так, що деякі з агентів призупинять свою діяльність і тим самим зменшать завантаженість системи. Також система здатна реагувати на збільшення чи зменшення учасників фондового ринку.

Оскільки ринок цінних паперів та інвестицій є складовою частиною ринкової економіки (економіки з досконалою конкуренцією), яка є повністю децентралізованою системою, то відповідно і фондовий ринок також є децентралізованою системою.

Розподілену систему управління ринком цінних паперів та інвестицій можна розглядати як цілісний комплекс взаємопов'язаних елементів. До множини елементів системи можна віднести продавців, покупців та брокерів. Зв'язки між продавцями і покупцями здійснюються через брокерів. Система є залежною від зовнішніх чинників, зокрема від економічного та політичного стану країн, на які поширюється фондовий ринок. Система може розвиватись з часом відповідно до змін у технологічному процесі функціонування фондового ринку.

Діаграми потоків даних системи

Середовище системи функціонування фондового ринку можна описати за допомогою діаграм потоків даних (DFD). При створенні мультиагентної системи керування ринком цінних паперів та інвестицій розглядаються три сутності, які беруть участь у керуванні цим ринком, а саме:

- торговець цінними паперами, який займається купівлею/продажем акцій на ринку задля одержання прибутку;
- емітент, який розміщує свої акційні папери на ринку та регулює їхню кількість;
- органи регулювання, які задають певні правила торгів на ринку, яких повинні дотримуватися його учасники.

Контекстну діаграму такої системи зображено на рис. 3.

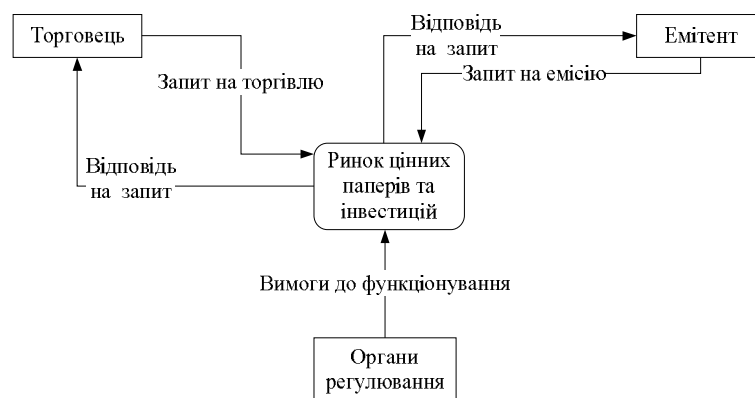


Рис. 3. Контекстна DFD-діаграма функціонування фондового ринку

У ролі органів регулювання може виступати як держава, якщо це загальнодержавна фондова біржа, або ж керуюча структура ринку, на якому проводяться торги [2]. У нашому випадку будемо розглядати державні органи регулювання.

Органи регулювання задають правила організації та функціонування ринку. Торговці мають змогу торгувати акціями, а емітенти – розміщувати свої акції з метою отримання прибутку для всіх трьох сторін. Крім того, органи регулювання можуть забороняти проведення операцій емісії чи торгів на ринку [2].

На рис. 4 зображено DFD-діаграму нульового рівня, яка деталізує контекстну діаграму та докладніше показує процеси, що відбуваються на фондовому ринку.

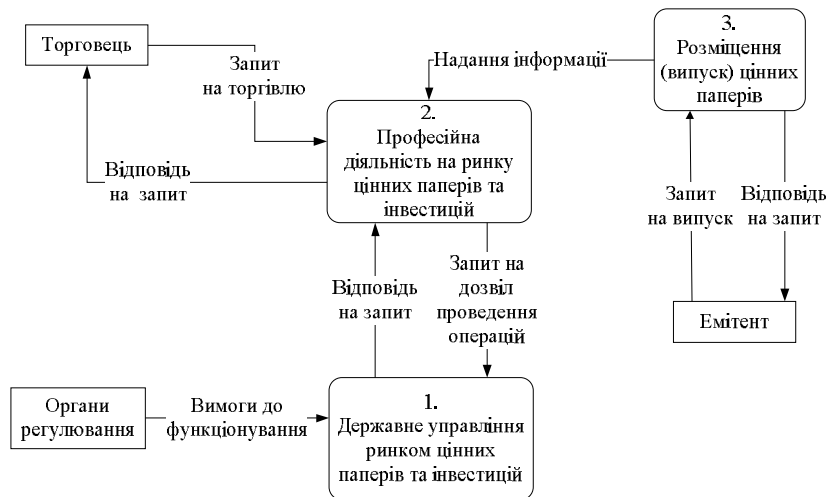


Рис. 4. DFD-діаграма функціонування фондового ринку

DFD-діаграму першого рівня зображено на рис. 5. Вона відображає процес опрацювання запиту на дозвіл проведення операцій на ринку цінних паперів та інвестицій. На ній можна побачити, що для підтвердження дозволу операції запит повинен пройти всі інстанції органів державного регулювання. Усі закони та нормативно-правові акти, які стосуються функціонування фондового ринку, зберігаються у сховищі даних А.

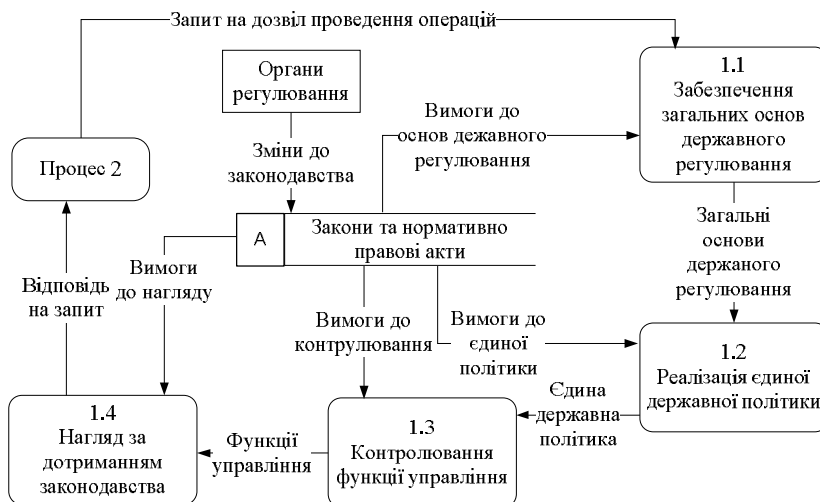


Рис. 5. DFD-діаграма державного управління фондовим ринком

Рис. 6 відображає DFD-діаграму другого рівня, що деталізує процес професійної діяльності на ринку цінних паперів та інвестицій. На ньому показано зв'язок з середовищем та з іншими процесами системи. У сховищі даних В зберігається інформація про усі цінні папери, які присутні на ринку.

Оскільки процес діяльності з торгівлі цінними паперами на фондовому ринку є одним з найважливіших і покладено в основу організації програмної реалізації, його компонент, що відповідає за діяльність з торгівлі на фондовому ринку, потребує більшої деталізації (рис. 7).

Усі дані про укладені угоди зберігаються у сховищі даних С. Після розгляду усіх процесів діяльності з торгівлі цінними паперами за основу подальших досліджень обирають брокерську діяльність як важливу проміжну ланку між продавцями та покупцями акцій, функціонування якої визначає ефективність роботи фондового ринку загалом.

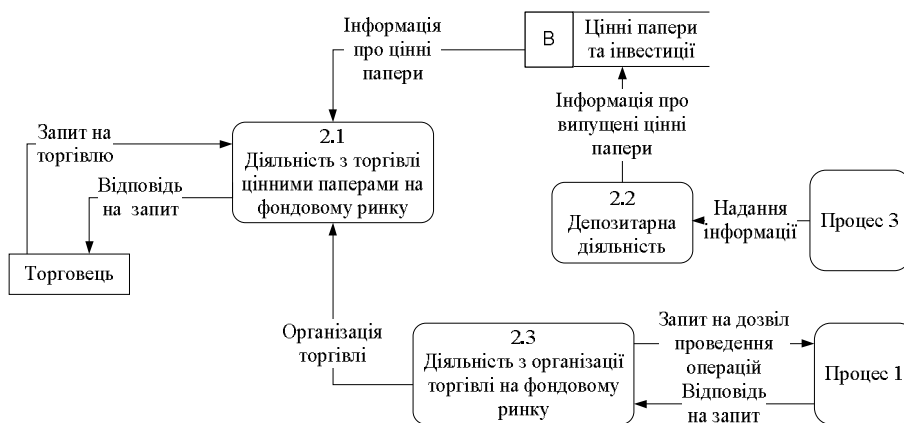


Рис. 6. DFD-діаграма процесу професійної діяльності на фондовому ринку



Рис. 7. DFD-діаграма діяльності з торгівлі цінними паперами

Функції системи

До функцій розробленої системи можна віднести прийняття вхідних значень від торговця, зіставлення цих даних з інформацією, що присутня в базі даних, прийняття рішення про можливість укладення торговельної угоди та саме укладання конкретного договору. Ці функції співіснують в певному кільцевому порядку. На початку роботи системи торговець визначає критерії, згідно з якими він би хотів укласти договір купівлі/продажу, після цього система, переглядаючи доступні ресурси, видає рішення про можливість укладення угоди. Якщо існує можливість укладення угоди, то торговцю видається найбільш прийнятний результат і він робить висновок про можливість укладання запропонованої угоди.

Зв'язки (потоки) у системі ринку цінних паперів були показані на рис. 4 – 7 у вигляді DFD-діаграм. Принципових різниць у напрямках та призначеннях інформаційних потоків для моделі фондового ринку з використанням мультиагентного підходу не передбачається.

Проблема управління ринком цінних паперів та інвестицій належить до складних проблем у зв'язку з багатофакторним впливом на процес управління. До них можна віднести як економічну, так і політичну ситуацію в країнах зі взаємопов'язаними фондовими ринками. Також важливим є ступінь втручання держави у торги, які провадяться на ринку, жорсткість контролюючої політики та можливість доступу до ринку. Усі ці фактори впливають на оперативність та ефективність рішень в управлінні фондовим ринком.

Розроблювану мультиагентну систему можна віднести до таких типів моделей:

- за ступенем невизначеності: розроблювана модель є стохастичною, оскільки характеристики стану системи представляються випадковими залежностями;
- область зміни параметрів: належить до дискретної моделі, тому що множини значень змінних та параметрів, що описують стан цінних паперів та інвестицій у ній, є дискретними;
- фактор часу: ця модель є динамічною, оскільки ринок цінних паперів та інвестицій має динамічну структуру;
- засоби описання та оцінювання: належить до нормативних моделей, оскільки вона призначена для прийняття рішення за заданим критерієм;
- природа моделей: розроблювана модель належить до знакових математичних аналітичних моделей, це пояснюється тим, що можна отримати залежність “вхід–вихід” у вигляді передатної функції, аргументами у якій є вхідні дані, а результатом – вихідні дані.

Ігрова модель фондового ринку

Модель фондового ринку є однією із різновидностей економічних моделей збалансованого обміну ресурсами [12]. При цьому важливо враховувати фактори невизначеності, стохастичної природи економічної системи, функціонування в умовах ринкової конкуренції, які значно впливають на динаміку поведінки системи.

Учасникам ринку апіорі не відомі оптимальні стратегії купівлі–продажу акцій в умовах невизначеності. Тому для зменшення ризику прийняття неефективних рішень стратегії поведінки необхідно будувати на основі самонавчальних процедур, які враховують інформацію про передісторію кон’юнктури ринку цінних паперів. Одним із таких способів є ігровий [13], побудований на основі динамічних векторів змішаних стратегій купівлі–продажу акцій.

Розглянемо L учасників ринку цінних паперів, кожен з яких володіє пакетом акцій $X^i \in R_+^m$, $i=1..L$. Елемент $x^i(j) \in X^i$, $j=1..m$ позначає кількість акцій j -го виду для i -го учасника.

Вступаючи у систему купівлі–продажу, i -й учасник може замінити свій пакет акцій з X^i на Y^i . Вважаємо, що система є збалансованою, тобто

$$\sum_{i=1}^L X^i = \sum_{i=1}^L Y^i = Z = const. \quad (1)$$

Нехай $C \in R_+^m$ – ціни на акції, які в загальному випадку можуть змінюватися залежно від кон’юнктури ринку. Тоді поточні витрати на придбання акцій дорівнюють:

$$j^i = \langle C, Y^i - X^i \rangle,$$

де $\langle \cdot, \cdot \rangle$ – скалярний добуток векторів. Якщо $j^i > 0$, то учасник торгів несе витрати на придбання акцій, а при $j^i < 0$ – отримує прибуток від їх реалізації.

Для операцій з акціями кожен учасник має капітал $K_i \geq 0$ і за необхідності може взяти у банку позику $\Delta_i > 0$ під відсоток $a \geq 0$ для придбання акцій або покласти вільну готівку $\Delta_i < 0$ у банк. Грошові операції банку з кредитним капіталом $K > 0$ повинні задовольняти умову:

$$\sum_{i=1}^L \Delta_i \leq K. \quad (2)$$

Витрати j^i не повинні перевищувати суми загального капіталу i -го учасника:

$$j^i \leq K_i + \Delta_i, \quad i=1..L. \quad (3)$$

Після завершення операцій розміщення капіталу кожен учасник отримує дивіденди $v^i(Y^i) \geq 0$, величина яких залежить від непередбачених суб’єктивних та об’єктивних факторів виробництва та збуту продукції і тому є випадковою величиною з невідомим розподілом.

Модель функціонує в дискретні моменти часу $n=1,2,\dots$. У кінці поточного кванту часу кожен учасник підраховує випадкову величину прибутку

$$x_n^i = y_n^i(Y^i) - j_n^i - (1+a)\Delta_n^i, \quad i=1..L. \quad (4)$$

Мета розв'язування задачі полягає у визначенні такої стратегії обміну $X_n^i \rightarrow Y_n^i$, щоб з імовірністю 1 виконувалась система цілей

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_n^i \rightarrow \max, \quad i=1..L \quad (5)$$

при обмеженнях (1) – (3).

Нехай акт купівлі–продажу акцій здійснюється L гравцями. Кожен i -й гравець вибирає кількість акцій j -го виду з набору чистих стратегій $x^i(j) = (x_1^i(j), x_2^i(j), \dots, x_N^i(j))$, $j=1..m$, $N \geq 2$ за допомогою імовірнісного механізму, побудованого на основі векторів змішаних стратегій $p^i(j) = (p_1^i(j), p_2^i(j), \dots, p_N^i(j)) \in S^N$, які набувають значення на N -вимірному одиничному симплексі S^N [14].

Баланс (1) забезпечується проектуванням результатів вибору X^i на гіперплощини $\sum_{i=1}^L x^i(j) = Z$, $j=1..m$, після чого отримуємо нові значення пакетів акцій Y^i , $i=1..L$. Якщо $y^i(j) > x^i(j)$, то i -й гравець купує акції j -го виду. При цьому, якщо поточні витрати на придбання акцій перевищують значення його капіталу $j^i > K_i$, то він бере кредит Δ_i у банку з дотриманням умови (3). Якщо загальна сума кредитів перевищує кредитний капітал банку $\sum_{i=1}^L \Delta_i > K$, то кожен гравець отримує тільки частину кредиту, обчислену в результаті проектування суми запитуваних кредитів на гіперплощину $\sum_{i=1}^L \Delta_i = K$.

Після обчислення поточних виграшів (4) здійснюється динамічний перерозподіл векторів змішаних стратегій за допомогою одного із рекурентних марківських методів [14]:

$$p_{n+1}^i(j) = p_{e_{n+1}}^N \{ p_n^i(j) - g_n R_n(x_n^i(j), p_n^i(j), x_n^i(j)) \} \in S^N, \quad j=1..m, \quad i=1..L, \quad (6)$$

де $p_{e_{n+1}}^N$ – проєктор на одиничний e -симплекс; $e_n \geq 0$ – крок розширення e -симплексу; $g_n \geq 0$ – крок методу; $R_n(\cdot) \in R^N$ – вектор руху методу.

Для забезпечення цілеспрямованості ігрових методів їх вектори руху R_n будуються на основі стохастичної апроксимації [15] гіпотези індикаторної поведінки, градієнта або псевдоградієнта функції середніх виграшів. Працездатність методу (6) забезпечується у класі монотонно спадних послідовностей додатних величин g_n та e_n за обмежень, визначених положеннями теорії стохастичної оптимізації.

Умовою завершення стохастичної повторювальної гри є розв'язання задачі (5) із заданою точністю. Розв'язки ігрової задачі визначаються базовими критеріями і відповідають умовам колективної оптимальності, наприклад, за Нешем, Парето та ін.

Висновки

Проведені дослідження показують, що розв'язування задачі керування ринком цінних паперів та інвестицій може бути ефективно виконано на основі агентно-орієнтованого підходу – одного з нових перспективних напрямків штучного інтелекту, що сформувався на основі результатів досліджень в області розподілених комп'ютерних систем, мережних технологій вирішення проблем та паралельних обчислень. Ключовим елементом МАС є програмний агент, здатний сприймати поточну ситуацію та взаємодіяти з іншими агентами у процесі вироблення варіантів рішень. Ці можливості радикально відрізняють МАС від існуючих “жорстко” організованих систем, забезпечуючи їм здатність до самоорганізації, що є дуже важливою властивістю для ринку цінних паперів та інвестицій, який функціонує в умовах багатофакторної невизначеності.

Встановлено основні внутрішні взаємозв'язки системи ринку цінних паперів та інвестицій та досліджено залежність системи від зовнішніх сутностей, що дає змогу будувати та аналізувати схеми функціонування МАС для керування фондовим ринком. Аналіз МАС виконано на основі DFD-діаграм у нотації Гейна–Сарсона, які забезпечують наочне зображення потоків даних між складовими елементами системи.

Згідно з головною метою розроблення МАС – підвищення ефективності керування фондовим ринком, побудовано ієрархію задач, у якій враховано усі деталі розробки системи, що дає можливість виконати належне планування необхідних робіт.

Запропонована ігрова модель фондового ринку дає можливість розв'язувати задачі децентралізованого збалансованого розподілу ресурсів в умовах невизначеності.

1. Аннаков Байрам. Системная динамика и агентное моделирование фондового рынка [Електронний ресурс] / Байрам Аннаков. – 2009. – 1 с. Режим доступу: <http://www.empatika.com/blog/sd-and-am-stock-market>. 2. Кузнєцова Н.С. Ринок цінних паперів в Україні: правові основи формування та функціонування / Н.С. Кузнєцова, І.Р. Назарчук – К.: Юрінком Інтер, 1998. – 526 с. 3. Сидоренко О.М. Моделі і методи автоматизованого управління портфелем цінних паперів на фондовому ринку : Дис. канд. наук: 05.13.06 / О.М. Сидоренко. – Харків, 2007. – 12 с. 4. Жмурко С.А. Основные принципы и модели построения многоагентных систем / С.А. Жмурко. – Таганрог: Технологический институт Южного федерального университета, 2008. – 11 с. 5. Rahimi Shahram. A multi-agent framework for stock trading / Shahram Rahimi, Raju Tatikunta, Raheel Ahmad, Bidyut Gupta // International Journal of Intelligent Information and Database Systems 2009. – Vol. 3, No. 2 pp. 203 – 227. 6. Hoffmann A.O.I. Artificial Multi-Agent Stock Markets: Simple Strategies, Complex Outcomes [Електронний ресурс] / A.O.I. Hoffmann, S.A. Delre, J.H. von Eije and W. Jager. – Advances in Artificial Economics: The Economy as a Complex Dynamic System, 2009. – 11 p. Режим доступу: http://www.rug.nl/staff/w.jager/Hoffmann_Delre_VonEije_Jager_2006.pdf. 7. Hoffmann A.O.I. Stock Price Dynamics in Artificial Multi-Agent Stock Markets [Електронний ресурс] / A.O.I. Hoffmann, S.A. Delre, J.H. von Eije and W. Jager. – Artificial Economics Conference, 2005. – 20 p. Режим доступу: <http://cisco.univ-lille1.fr/ae2005/proceedings/ae2005-a01-slide.pdf>. 8. Tongkui Yu. Dynamic Regimes of a Multi-agent Stock Market Model [Електронний ресурс] / Yu Tongkui, Li Honggang. – Beijing: Beijing Normal University, 2008. – 14 p. Режим доступу: <http://econpapers.repec.org/paper/pramp/14339.htm>. 9. Davis Darryl. A Multi-Agent Framework for Stock Trading [Електронний ресурс] / Darryl Davis, Yuan Luo, Kecheng Liu. – 7 p. Режим доступу: <http://www.cs.kuleuven.ac.be/~lexe/papers/wcc.pdf>. 10. SiSMar: Social Multi-agent Based Simulation of Stock Market (Extended Abstract) / Zahra Kodia, Lamjed Ben Said, Khaled Ghedira // Proc. of 8th Int. Conf. on Autonomous Agents and Multiagent Systems (AAMAS 2009), Decker, Sichman, Sierra and Castelfranchi (eds.), May, 10 – 15, 2009, Budapest, Hungary, pp. 1345 – 1346. 11. Катренко А.В. Системний аналіз об'єктів та процесів комп'ютеризації: Навчальний посібник / А.В. Катренко. – Львів: Новий світ, 2003. – 424 с. 12. Пиеничный Б.Н. О существовании равновесных цен в общей модели производства и обмена / Б.Н. Пиеничный, Н.В. Полищук // Экономика и математические методы. – 1987. – Т. XXIII, вып 2. – С. 313–319. 13. Fudenberg D. The Theory of Learning in Games / D. Fudenberg, D.K. Levine. – Cambridge, MA: MIT Press, 1998. – 292 p. 14. Назин А.В. Адаптивный выбор вариантов: Рекуррентные алгоритмы / А.В. Назин, А.С. Позняк. – М.: Наука, 1986. – 288 с. 15. Граничин О.Н. Введение в методы стохастической аппроксимации и оценивания: Учеб. пособие / О.Н. Граничин. – СПб.: Издательство С.-Петербургского университета, 2003. – 131 с.