

Київський національний університет імені Тараса Шевченка

УДК 004.7

Гломозда Дмитро Костянтинович

КООРДИНАЦІЯ В АСИНХРОННИХ ОБЧИСЛЮВАЛЬНИХ МЕРЕЖАХ

01.05.03 — Математичне та програмне забезпечення обчислювальних машин і систем

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Київ — 2011

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Національному університеті «Києво-Могилянська Академія» Міністерства освіти і науки, молоді та спорту України

Науковий керівник: доктор фізико-математичних наук, професор
Глибовець Микола Миколайович,
декан факультету інформатики,
Національний університет «Києво-Могилянська Академія» МОНМС України,
м. Київ

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, доцент
Заславський Володимир Анатолійович,
Київський національний університет імені Тараса Шевченка,
професор кафедри математичної інформатики факультету кібернетики

кандидат технічних наук, доцент
Тимашов Олександр Олександрович,
Інститут кібернетики імені В. М. Глушкова
НАН України,
провідний науковий співробітник

Захист відбудеться “__” _____ 2011 р. о __ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 26.001.09 Київського національного університету імені Тараса Шевченка за адресою: 03680, м. Київ, проспект Академіка Глушкова, 4д, ауд. 40.

З дисертацією можна ознайомитись у науковій бібліотеці Київського національного університету імені Тараса Шевченка за адресою: 01601, м. Київ, вул. Володимирська, 58.

Автореферат розісланий “__” _____ 2011 р.

**Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради**

В. П. Шевченко

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Значне поширення Інтернет-послуг, що відбулося в останні роки, змінило наше уявлення про спільну роботу в мережі. Взаємодія віддалених користувачів відіграє дедалі більшу роль в розвитку всіх сфер сучасного суспільства. Але на неформальному рівні досить складно описати асинхронне дистанційне співробітництво, яке дає змогу людям спільно використовувати і маніпулювати різноманітною інформацією в реальному часі й на різних рівнях модальності. Це сповільнює поширення технологій спільної роботи, яка ґрунтується на спеціальному програмному забезпеченні та середовищі взаємодії для спільного розв'язання конкретних задач. При проектуванні системи асинхронного дистанційного співробітництва слід враховувати поведінку користувачів, структуру мережі та небезпеку виникнення проблем з головними комп'ютерами (хостами), наприклад, через різноманітні платформи для застосувань. Користувачі прагнуть отримати середовище дистанційного співробітництва, яке має забезпечити якість взаємодії, близької до «зустрічі віч-на-віч». У цьому випадку стають необхідними *координаційні механізми досягнення консенсусу для спільного й ефективного використання ресурсів*. Наразі спостерігається стрімкий розвиток координаційних моделей та мов — від запропонованих у 1980-тих роках, таких як Linda, до більш сучасних на кшталт PCL (Probabilistic Coordination Language) та CSDL (Cooperative Systems Design Language). Концепція координації є об'єктом вивчення багатьох комп'ютерних наук, зокрема таких, як програмна інженерія та відкриті розподілені системи, Web, моделювання роботи інформаційних систем. Цій темі присвячено багато праць знаних вітчизняних вчених, зокрема П. І. Андона, А. В. Анісімова, М. М. Глибовця, Ю. В. Капітонової, О. М. Лаврищевої, О. Л. Перевозчикової, І. В. Сергієнка, а також зарубіжних дослідників, зокрема Х. Х. Гарсія-Луна-Ачевеса, Г.-П. Доммеля, К. Кандана, Н. Лінч, М. Фрідемана.

Наразі великі сподівання щодо досягнення прориву в галузі дистанційної взаємодії покладаються на агентні технології, оскільки саме вони акумулюють або можуть акумулювати в собі найпереводіші досягнення в таких сферах як інформаційні технології, розподілені системи та штучний інтелект. Серед багатьох праць з агентних технологій можна виділити роботи О. А. Летічевського, М. Вулдріджа, В. Тамма, К. Ван Аарта, Б. Гендерсона-Селлерза, П. Джиорджині, Дж. Брушталоного, В. Б. Тарасова, В. І. Городецького, М. М. Глибовця, С. С. Гороховського. Агентні технології знаходять застосування у сфері проектування складних систем та дистанційної освіти. При цьому першим кроком вирішення проблеми побудови ефективної комп'ютерної системи підтримки асинхронного середовища колаборативного типу є створення формальної моделі.

Отже, актуальність дослідження зумовлюється потребою вирішення важливої наукової проблеми — побудови адекватної формальної моделі

асинхронного колаборативного середовища та забезпечення наукового підґрунтя державної програми «Інформаційні та комунікаційні технології в освіті і науці» на 2006—2010 роки, затвердженої постановою Кабінету Міністрів України від 7.12.2005 року № 1153.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Робота виконувалася відповідно до планів наукових досліджень наукових тем і програм кафедри інформатики Національного університету «Києво-Могилянська академія»: «Розробка принципів застосування інтелектуальних агентів в інформаційних системах» (№ держ. реєстр. 0105U006983); «Комп'ютерні системи підтримки електронного навчання» (№ держ. реєстр. 0105U006982); «Методи та засоби забезпечення інтероперабельності систем електронної освіти, що базуються на технологіях ВЕБ» (№ держ. реєстр. 0105U006980); «Моделі та засоби декларативного керування ВЕБ орієнтованими інформаційними системами на основі аналізу метаданих» (№ держ. реєстр. 0105U006975); «Створення програмної платформи підтримки автоматизованої системи управління навчальним закладом» (№ держ. реєстр. 0109U000678).

Мета і задачі дослідження. Метою роботи є побудова формальної моделі програмної системи підтримки асинхронної дистанційної взаємодії в мережі Інтернет (ПСПАДВІ) та створення на її основі діючого прототипу ПСПАДВІ.

Для досягнення мети роботи розв'язано такі задачі:

- побудовано формальну модель ПСПАДВІ і досліджено властивості цієї моделі;
- побудовано прототип ПСПАДВІ на основі побудованої моделі;
- прототип ПСПАДВІ застосовано для зв'язування в єдине середовище різнорідних програмних систем, а саме системи керування навчанням (СКН) та системи керування змістом (СКЗ).

Об'єкт дослідження — програмні системи підтримки асинхронної дистанційної взаємодії в масштабах мережі Інтернет (ПСПАДВІ).

Предмет дослідження — моделі роботи ПСПАДВІ та підходи до їх розробки.

Методи дослідження. Для досягнення поставленої мети застосовано такі методи: порівняння і спостереження — під час вивчення існуючих підходів до створення ПСПАДВІ та моделювання їх роботи; абстрагування, емпіричний аналіз, ідеалізація, індукція, моделювання, системний підхід та формалізація — при побудові формальної моделі ПСПАДВІ і дослідження властивостей цієї моделі; експеримент і синтез — при побудові прототипу реалізації ПСПАДВІ і перевірці того, що вона має властивості побудованої моделі.

Наукова новизна роботи полягає у розв'язанні важливої науково-практичної задачі побудови формальної моделі ПСПАДВІ. Отримано такі нові наукові результати:

- уперше сформульовано задачу верифікації координаційного механізму ПСПАДВІ та визначено її обчислювальну складність;

— уперше доведено тотальність алгоритму координації дій учасників спільної роботи в разі виникнення помилок;

— уперше створено програмний прототип ПСПАДВІ з елементами інтелектуальності за рахунок використання мобільних агентів на основі запропонованої моделі та платформи для створення мультиагентних систем JADE;

— уперше створено програмну систему підтримки «Віртуального університету» із вбудованим координаційним механізмом, що реалізує принципи рівневого контролю;

— модифіковано формальну модель ПСПАДВІ для двох користувачів, одного сеансу і одного рівня (М. Глибовець), створену за допомогою мереж Петрі (МП), та розширено її до N користувачів, M сеансів та L рівнів.

Наукове значення роботи. Побудова узагальненої формальної моделі ПСПАДВІ є вагомим внеском в теорію комп'ютерних мереж і розподілених обчислень. Формулювання задачі верифікації координаційного механізму ПСПАДВІ, визначення її обчислювальної складності і доведення тотальності алгоритму координації дій учасників спільної роботи в разі виникнення помилок дає змогу пов'язати між собою цілу низку існуючих теоретичних концепцій і результатів, сприяючи створенню єдиної теорії мережної співпраці.

Практичне значення одержаних результатів. Узагальнена формальна модель ПСПАДВІ може використовуватися для побудови нових програмних систем, які матимуть аналогічні властивості (надійність, захищеність від тупиків та зворотність). Формулювання задачі верифікації координаційного механізму ПСПАДВІ надає в розпорядження програмістів і системних аналітиків засіб тестування вже існуючих систем, виявлення їх недоліків та знаходження шляхів їх усунення.

Програмний прототип ПСПАДВІ з елементами інтелектуальності може використовуватися для перевірки працездатності нових систем на етапі проектування, тим самим полегшуючи їх розробку. Як засвідчує впровадження результатів роботи у визнаного в Україні провайдера Інтернет-послуг СП «Інфоком», модель та програмний прототип ПСПАДВІ можна використовувати для побудови нових систем та перевірки їх працездатності на етапі проектування. Випробування програмного прототипу показали хорошу здатність до координації доступу користувачів до спільних розподілених ресурсів та каналів зв'язку. Тестування використання прототипу в реальній мережі показало вищу надійність у порівнянні з попередньо використовуваними програмними розробками, що матиме відчутний економічний ефект. Програмну систему підтримки «Віртуального університету» з вбудованим координаційним механізмом, що працює згідно принципів рівневого контролю, впроваджено у Чорноморському державному університеті ім. Петра Могили та Національному університеті «Острозька академія».

Особистий внесок здобувача. У праці [1] авторові належать розділи «Автоматна модель системи» та «Мережева модель системи», у працях [2; 7] —

доведення леми 1 та теореми 1, у праці [6] — розділи «Побудова моделі системи з одним користувачем» та «Побудова моделі системи з двома користувачами».

Апробація результатів дисертації. Результати досліджень доповідались і обговорювались на таких наукових конференціях:

— V Міжнародна науково-практична конференція з програмування (УкрПРОГ'2006). — Київ (Україна), Кібернетичний центр Національної академії наук України, 2006.

— III Міжнародна конференція «Теоретичні та прикладні аспекти побудови програмних систем» (ТАAPSD'2006). — Київ (Україна), 2006.

— IV Міжнародна конференція «Теоретичні та прикладні аспекти побудови програмних систем» (ТАAPSD'2007). — Бердянськ (Україна), 2007.

— V Міжнародна конференція «Теоретичні та прикладні аспекти побудови програмних систем» (ТАAPSD'2008). — Київ, Чернігів (Україна), 2008.

— VI Міжнародна конференція «Теоретичні та прикладні аспекти побудови програмних систем» (ТАAPSD'2009). — Київ (Україна), 2009.

Публікації. За темою дисертації опубліковано 10 статей і тез у збірках матеріалів науково-практичних конференцій, із них 4 — публікації у наукових фахових виданнях, перелік яких затверджений ВАК України.

Структура і розмір роботи. Дисертаційна робота складається зі вступу, трьох розділів, що містять 10 рисунків і 3 таблиці, висновків, трьох додатків, списку вживаних скорочень та списку використаних джерел, що містить 122 найменування. Загальний обсяг роботи становить 239 сторінок, із них 123 сторінки основного тексту і 102 сторінки додатків.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** обґрунтовано актуальність теми дисертації, сформульовано задачу, що вирішується, визначено мету та задачі дослідження, представлено наукову новизну, практичне значення та апробацію одержаних результатів.

У **першому** розділі розглянуто асинхронну дистанційну взаємодію в мережі Інтернет (АДВІ) як важливий напрям розвитку комунікаційних технологій. У підрозділі 1.1 зроблено аналіз існуючих підходів до побудови моделей АДВІ, серед яких автомат введення/виведення Н. Лінч і М. Таттла, Wiki (розробник — У. Каннінгем), базовані на даних (data-driven) та базовані на керуванні (control-driven) координаційні моделі та мови (класифікація запропонована Дж. Пападопулосом та Ф. Арбабом), парадигма MVC (Model View Controller) А. Гольдберг та її використання для проектування колаборативних DOM-застосувань (С. Цю, Б. Карпентер, Дж. Фокс). Також розглянуто концептуальні моделі систем дистанційної освіти як важливого напрямку застосування асинхронних колаборативних систем. Характерними прикладами є концептуальна модель системи дистанційної освіти, побудована на основі діаграм станів студентів (О. Третьяков, Б. Шрідхаран та Кіншук), та 32-гранна модель онлайн-навчання Чена, Ко, Кіншука та Ліна. В розділі зроблено детальний огляд та аналіз цих моделей і підходів.

Для асинхронних колаборативних систем, заснованих на спільному доступі кількох користувачів до одних і тих самих ресурсів, велике значення має проблема синхронізації та керування цим доступом. Тому окрему увагу приділено парадигмі рівневого контролю (floor-control paradigm), описаній у працях Х.-Х. Гарсія-Луна-Ачевеса та Г.-П. Доммеля. Вони подають середовище підтримки дистанційної взаємодії користувачів у мережі Інтернет як набір $\Gamma = \langle S, U, R, F \rangle$, де S — множина сеансів, U — множина користувачів, R — набір спільних ресурсів, F — множина рівнів, що керують ресурсами. Якщо користувач володіє рівнем, це означає, що він має ексклюзивний доступ до відповідного ресурсу. Контролери цих елементів покликані забезпечувати взаємовиключність доступу до ресурсів системи і сукупно утворюють координаційний механізм (КМ). Спираючись на цю модель, М. Глибовець побудував моделі окремих складових колаборативної системи мовою скінчених автоматів та мереж Петрі, після чого побудував та проаналізував мережні моделі часткових випадків таких систем з одним сеансом, одним ресурсом, одним рівнем та одним або двома користувачами і довів, що ці мережні моделі обмежені та активні. Таким чином було закладено базис для побудови узагальненої моделі програмної системи підтримки АДВІ.

У підрозділі 1.2 зроблено огляд інструментальних засобів підтримки АДВІ на прикладі двох популярних програмних платформ для організації дистанційної освіти, MOODLE та ILIAS. Наведено загальну характеристику обох систем, проаналізовано їхні сильні та слабкі сторони. Розглянуто автоматизовану систему керування «Вищий навчальний заклад» як зразок діючої системи керування навчальним та робочим процесом у вищих

навчальних закладах усіх рівнів акредитації. Обґрунтовано необхідність створення систем, які б поєднували функції керування процесом викладання дисциплін та керування роботою навчального закладу в цілому. На прикладі системи навчання IDEAL розглянуто мультиагентні системи (МАС) та використання їх для побудови ПСПАДВІ.

У підрозділі 1.3 наведено загальну характеристику агентних технологій та зроблено огляд середовища розробки агентів JADE. Обґрунтовано вибір середовища JADE в якості платформи для побудови прототипу ПСПАДВІ з елементами інтелектуальності на основі запропонованої в дисертації моделі.

У другому розділі дисертації розглянуто запропоновану модель ПСПАДВІ. У підрозділі 2.1 представлено модель ПСПАДВІ мовою мереж Петрі, що базується на автоматних і мережних моделях складових колаборативного середовища та його часткових випадків з одним і двома користувачами (М. Глибовець). Описано узагальнену модель такої системи та визначено її властивості. В загальному випадку до складу ПСПАДВІ входять N користувачів, M сеансів, L ресурсів та координаційний механізм (КМ). У мережній моделі КМ є сукупністю позицій та переходів мережі Петрі, що зв'язує користувачів, сеанси та ресурси. Схематично структуру мережної моделі ПСПАДВІ можна зобразити таким чином (рис. 1):

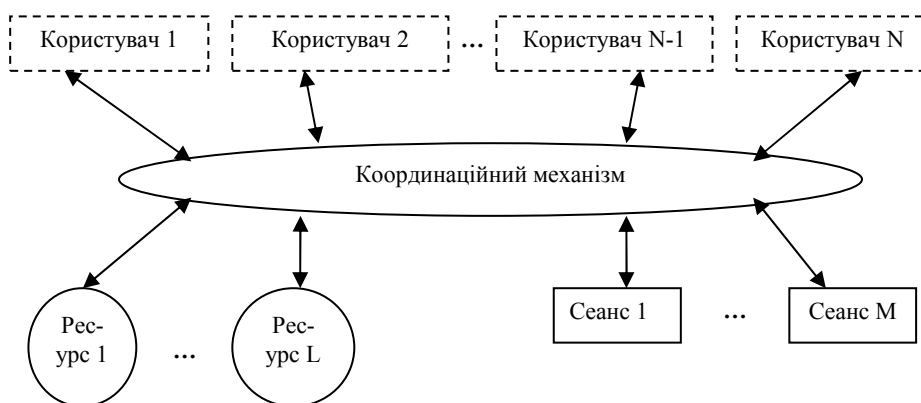


Рис. 1. Структура мережної моделі ПСПАДВІ

Мережа Петрі, яка моделює роботу ПСПАДВІ, до складу якої входять N користувачів (позначимо їх U), M сеансів (S) та L рівнів (F), складатиметься з:

- $3 * N$ позицій та $4 * N$ переходів, що описують поведінку користувачів;
- $N * L$ переходів типу « U_i хоче створити ресурс R_k » ($i \in 1 \dots N$; $k \in 1 \dots L$);
- $4 * M$ позицій та M переходів, що описують роботу контролера сеансу;
- $9 * L$ позицій, що відповідають контролерам рівнів;
- $3 * L$ позицій та $3 * L$ переходів, що описують роботу контролера рівня та ресурсу, що йому відповідає;

- $3 * N * M$ позицій та $4 * N * M$ переходів, що регламентують взаємовиключне створення сеансів;
- $5 * N * L$ позицій та $10 * N * L$ переходів, що відповідають зв'язкам між контролерами рівнів та користувачами.

Так, наприклад, у випадку із 2 користувачами, 1 сеансом і 1 ресурсом матимемо мережу, що складатиметься з 38 позицій та 42 переходів.

Означення 2.1.1 КМ ПСПАДВІ — це блок, що включає контролери рівнів (кожному рівню відповідає один ресурс) та механізм забезпечення взаємовиключення при створенні сеансу. Складається він з таких позицій мережі Петрі, яка моделює ПСПАДВІ:

- а) Позиції «Користувач U_i не є керівником сеансу S_j », «Користувач U_i є керівником сеансу S_j », «Користувач U_i запитує дозвіл на створення сеансу S_j » та переходи, «користувач U_i хоче розпочати сеанс S_j », «користувач U_i хоче завершити сеанс S_j », «користувачу U_i дозволено створити сеанс S_j », «користувачу U_i не дозволено створити сеанс S_j ». Ці позиції відповідають механізму забезпечення взаємовиключного створення сеансу для кожного з користувачів та для кожного сеансу.
- б) Позиції: «Рівень F_k вільний», «Рівень F_k обробляє запит», «Рівень F_k в стані очікування», «Надати ресурс R_k », «Ресурс R_k надано», «Звільнити ресурс R_k », «Ресурс R_k звільнено», «Видалити ресурс R_k », «Ресурс R_k видалено». Ці позиції відповідають контролеру рівня.
- в) Позиції: «Користувач U_i не є утримувачем рівня F_k », «Користувач U_i запитує доступ до рівня F_k », «Користувач U_i є утримувачем рівня F_k », «Рівень F_k активно використовується користувачем X », «Рівень F_k пасивно використовується користувачем U_i ». Переходи: «користувач U_i хоче отримати доступ до рівня F_k », «користувачеві U_i відмовлено у доступі до рівня F_k », «користувачеві U_i дозволено доступ до рівня F_k », «рівень F_k зайнято користувачем U_i », «користувач U_i хоче створити ресурс R_k », «користувач U_i призупиняє використання рівня F_k », «користувач U_i поновлює використання рівня F_k », «користувач U_i хоче видалити ресурс R_k », «ресурс R_k видалено користувачем U_i », «користувач U_i хоче звільнити рівень F_k », «користувач U_i звільнив рівень F_k ». Ці позиції складають механізм забезпечення взаємовиключного доступу кожного з користувачів до кожного з рівнів.

При цьому $i \in 1 \dots N$; $j \in 1 \dots M$; $k \in 1 \dots L$.

Отже, в загальному випадку мережа Петрі, що моделює роботу КМ ПСПАДВІ, складатиметься з:

- $3 * N * M$ позицій та $4 * N * M$ переходів, що регламентують взаємовиключне створення сеансів;
- $9 * L$ позицій, що відповідають контролерам рівнів;

- $5 * N * L$ позицій та $11 * N * L$ переходів, що відповідають зв'язкам між контролерами рівнів та користувачами,

де N — кількість користувачів, M — кількість сеансів, L — кількість ресурсів (кожному ресурсу відповідає точно один рівень).

У праці [2] було проаналізовано дві моделі асинхронної колаборативної системи. Модель $M1$, що відповідала системі з одним користувачем, одним сеансом, одним рівнем та одним ресурсом, та модель $M2$, в якій діяли два користувачі. Було доведено, що обидві мережні моделі обмежені, тобто кількість фішок мережі Петрі не перевищує певного максимального значення, та активні, бо немає тупикових ситуацій. Постало питання, чи зможе модель, побудована за цими принципами, зберегти ці властивості, якщо в системі буде як завгодно багато користувачів, сеансів та/або ресурсів. Для вирішення цього питання в підрозділі 2.2 дисертації сформульовано задачу координації для ПСПАДВІ.

Означення 2.2.1. Задача координації для ПСПАДВІ полягає в забезпеченні взаємовиключного доступу до спільних ресурсів та взаємовиключного контролю спільних сеансів для довільної кількості користувачів, сеансів та ресурсів.

У цьому ж підрозділі доведено такі теореми:

Теорема 2.2.1. КМ розв'язує задачу координації для ПСПАДВІ з якою завгодно кількістю користувачів, одним сеансом та одним ресурсом, доступ до якого регламентується одним рівнем.

Теорема 2.2.2. КМ розв'язує задачу координації для ПСПАДВІ з якою завгодно кількістю користувачів, сеансів та ресурсів, доступ до яких регламентується своїм рівнем для кожного з них.

Доведення цих теорем засвідчило, що запропонована модель здатна коректно відобразити процес роботи як завгодно складної та багатоелементної колаборативної системи.

Підрозділ 2.3 присвячено задачі верифікації КМ ПСПАДВІ і визначенню її обчислювальної складності. Дано означення недопустимого стану ПСПАДВІ.

Означення 2.3.1. *Недопустимий стан ПСПАДВІ* — такий стан ПСПАДВІ, в якому два або більше користувачів одночасно є керівниками одного й того самого сеансу та/або утримувачами одного й того самого рівня.

Всі інші стани називатимемо *допустимими*.

Сформульовано задачу верифікації КМ ПСПАДВІ.

Означення 2.3.2. Задача верифікації КМ ПСПАДВІ полягає в наступному:

Дано: N користувачів, L рівнів (кожному рівню відповідає один окремий ресурс), M сеансів, координаційний механізм.

Відповісти: «Так», якщо за будь-якого досяжного варіанту маркування МП, що відповідає КМ, виконується умова допустимості маркування (тобто маркування відповідає допустимому стану). Інакше відповісти «Ні».

У такому вигляді задача верифікації КМ ПСПАДВІ подібна до задачі верифікації агентів, сформульованої М. Вулдріджем та П. Данном. В розділі показано, що КМ ПСПАДВІ можна представити як агента, що виконує задачу підтримки, тобто утримує середовище в одному із допустимих станів. Введено поняття пробігу КМ ПСПАДВІ та етапу пробігу КМ ПСПАДВІ.

Означення 2.3.3. *Етап пробігу КМ ПСПАДВІ* — такий стан ПСПАДВІ, в якому всі складові колаборативного середовища використовуються максимально повно.

На основі цих понять побудовано специфікацію задачі ψ як предикат над множиною пробігів. Для цього введено такі допоміжні предикати:

- $KC(i, j)$ — значення «істина» \leftrightarrow в мережі Петрі в позиції «Користувач U_i є керівником сеансу S_j » стоїть фішка, інакше «хиба»;
- $UP(i, k)$ — значення «істина» \leftrightarrow в мережі Петрі в позиції «Користувач U_i є утримувачем рівня F_k » стоїть фішка, інакше «хиба»;
- $KCBV(j) \equiv \forall i_1 \forall i_2 (\neg(KC(i_1, j) \wedge KC(i_2, j) \wedge (i_1 \neq i_2)))$, де $i_1, i_2, j \in 1 \dots n$; аббревіатура означає «Контроль сеансу взаємовиключний». Вираз без кванторів позначимо $KCBV'(j)$;
- $UPBV(k) \equiv \forall i_1 \forall i_2 (\neg(UP(i_1, k) \wedge UP(i_2, k) \wedge (i_1 \neq i_2)))$, де $i_1, i_2, k \in 1 \dots n$; аббревіатура означає «Утримування рівня взаємовиключне». Вираз без кванторів позначимо $UPBV'(k)$;
- $Доп_стан(КМ) \equiv \forall j \forall k (KCBV(j) \wedge UPBV(k)) \equiv \forall i_1 \forall i_2 \forall j \forall k (KCBV'(j) \wedge UPBV'(k))$.

Тоді предикат $\psi(R')$ матиме такий вигляд:

$$\psi(R') = \begin{cases} \text{"істина"} - \text{якщо предикат } Доп_стан(КМ) \\ \text{виконується для всіх маркувань пробігу;} \\ \text{"хиба"} - \text{в іншому випадку} \end{cases}$$

Для подальшої роботи здійснено перехід від предиката до квантифікованої булевої формули (КБФ). Зроблено це таким чином:

- $KC(i, j)$ замінено булевою змінною $x_{i,j}$;
- $UP(i, k)$ замінено булевою змінною $y_{i,k}$;
- $KCBV(j)$ замінено формулою:
 $\forall x_{1,1} \forall x_{1,2} \dots \forall x_{1,n} \forall x_{2,1} \dots \forall x_{n,n} [\neg(x_{1,1} \wedge x_{2,1}) \wedge \neg(x_{1,1} \wedge x_{3,1}) \wedge \dots]$;
- $UPBV(k)$ замінено формулою:
 $\forall y_{1,1} \forall y_{1,2} \dots \forall y_{1,n} \forall y_{2,1} \dots \forall y_{n,n} [\neg(y_{1,1} \wedge y_{2,1}) \wedge \neg(y_{1,1} \wedge y_{3,1}) \wedge \dots]$;
- $Доп_стан(КМ)$ замінено формулою:
 $\forall x_{1,1} \forall x_{1,2} \dots \forall x_{1,n} \forall x_{2,1} \dots \forall x_{n,n} \forall y_{1,1} \forall y_{1,2} \dots \forall y_{1,n} \forall y_{2,1} \dots \forall y_{n,n}$
 $[\neg(x_{1,1} \wedge x_{2,1}) \wedge \neg(x_{1,1} \wedge x_{3,1}) \wedge \dots] \wedge [\neg(y_{1,1} \wedge y_{2,1}) \wedge \neg(y_{1,1} \wedge y_{3,1}) \wedge \dots]$.

Для визначення складності задачі верифікації КМ ПСПАДВІ доведено лему:

Лема 2.3.1. Задача верифікації агентів для *co-NP*-повних специфікацій задачі є *co-NP*-повною.

Складність задачі верифікації КМ ПСПАДВІ визначається теоремою:

Теорема 2.3.1. Задача верифікації КМ ПСПАДВІ є *co-NP*-повною.

Доведення теореми 2.3.1 дозволило віднести задачу верифікації координаційного механізму асинхронної колаборативної системи до вже відомого і дослідженого класу *co-NP*-повних задач, що є важливим науковим результатом.

Підрозділ 2.4 присвячено моделюванню поведінки КМ ПСПАДВІ в разі виникнення помилок, викликаних як діями окремих користувачів, так і збоями обладнання чи програмного забезпечення системи. До наявної мережі було додано позиції та переходи, що моделювали реакцію системи на позаштатні ситуації, а саме нелегальні дії користувача та критичну помилку самої системи. У випадку двох користувачів, одного сеансу та одного рівня така мережа складатиметься із 40 позицій та 52 переходів. За допомогою графічного редактора РМ Editeur цю мережу було намальовано та задано її початкову розмітку, після чого за допомогою Petri Nets Toolbox переведено в матричний вигляд, що оброблявся програмою MATLAB. У результаті було отримано дерево досяжності для нашої мережі. Його аналіз дав змогу довести теорему:

Теорема 2.4.1. Мережа M обмежена, активна і зворотна.

У цьому ж підрозділі алгоритм реагування КМ ПСПАДВІ на помилку з точки зору тотальності. Тотальним називається такий алгоритм мережної взаємодії, згідно з яким ухвалення рішення потребує участі всіх процесів у мережі. Маємо такі означення (за Дж. Телем):

Означення 2.4.1. Подія a передуює події b , якщо:

- 1) $a = b$, або a та b відбуваються в одному й тому самому процесі, і a відбувається раніше за b ;
- 2) a — подія надсилання повідомлення, а b — відповідна подія отримання повідомлення;
- 3) існує така подія c , що $a \rightarrow c$ та $c \rightarrow b$.

Означення 2.4.2. Виконання алгоритму *тотальне*, якщо принаймні один процес p ухвалює рішення, і для кожного $q \in P$ і кожного p , що ухвалює рішення, $e_q \rightarrow d_p$ (де P — множина всіх процесів, e_q — перша подія процесу e , d_p — подія ухвалення рішення процесом p). Алгоритм *тотальний* тоді, коли всі можливі його виконання тотальні.

У дисертації показано, що алгоритм відкату системи після помилки в початковий стан тотальний. Таке припущення можна зробити, якщо порівняти його з алгоритмом ресинхронізації, який полягає в тому, що спершу всі процеси в мережі переводяться до стану *synch*, а потім до стану *normal*, причому процес може перейти до стану *normal* лише після того, як у певний момент часу всі процеси одночасно перебувають у стані *synch*. У нашій моделі станом *synch* для процесів-користувачів буде стан « U_i перебуває поза системою» ($i \in 1 \dots N$), для процесів-контролерів сеансу — « S_j вимкнений» ($j \in 1 \dots M$), для процесів-

контролерів рівнів — « F_k вимкнений» ($k \in 1 \dots L$), для ресурсів — « R_k відсутній» ($k \in 1 \dots L$). Стану *normal* відповідатиме стан користувача « U_i намагається увійти в систему» ($i \in 1 \dots N$). Вводити стани-аналоги *normal* для інших компонентів системи немає потреби, оскільки, згідно з нашою моделлю, вони не зможуть перейти в жоден інший стан без команд користувачів. Тому в нашому випадку точкою ухвалення системою рішення вважатимемо перехід всіх користувачів в стан *normal*.

Для доведення тотальності алгоритму роботи КМ ПСПАДВІ в разі виникнення помилки використано теорему:

Теорема 2.4.2. Нехай $a_1 \dots a_k$ — виконання деякого алгоритму A , та нехай $a_{\sigma(1)} \dots a_{\sigma(k)}$ — така перестановка подій, що з $a_{\sigma(i)} \rightarrow a_{\sigma(j)}$ випливає, що $i \leq j$. Тоді $a_{\sigma(1)} \dots a_{\sigma(k)}$ — також можливе виконання алгоритму A .

Після цього доведено такі теореми:

Теорема 2.4.3. Будь-який алгоритм роботи КМ ПСПАДВІ в разі виникнення помилки тотальний.

Теорема 2.4.4. Для реалізації поведінки КМ ПСПАДВІ в разі виникнення помилки можна застосувати будь-який тотальний алгоритм.

Поняття тотальності алгоритмів є важливим для розробки алгоритмів керування мережею, оскільки, по-перше, алгоритми розв'язання багатьох важливих задач мережної взаємодії є необхідно тотальними, а по-друге, для розв'язання цих задач можна застосувати будь-який тотальний алгоритм. Таким чином, доведення теорем 2.4.3 і 2.4.4 дало змогу пов'язати нашу модель з отриманими раніше важливими теоретичними результатами.

У **третьому** розділі дисертації розглянуто приклади практичного використання запропонованої моделі ПСПАДВІ. У підрозділі 3.1 запропоновано розроблену автором дисертаційного дослідження багатоагентну систему Collabsys, що моделює роботу КМ ПСПАДВІ. До її складу входять такі агенти:

— *User_Agent* — агент-користувач, що використовує ресурси системи для вирішення своєї чи спільної з іншими агентами задачі;

— *Session_agent* — агент, що відповідає за створення сеансу, доступ до нього та його закриття. Має стежити за тим, щоб у кожен момент часу у сеансу був один і тільки один керівник, тобто користувач, який має право його закрити. Зазвичай це той самий користувач, що створив сеанс, і його примусовий вихід із системи супроводжується закриттям сеансу. Але у випадку дуже важливих сеансів доцільно зробити так, щоб цього не траплялося, і тоді контролер сеансу має взяти на себе керівництво сеансу доти, доки всі інші користувачі не від'єднаються від нього, або доки попередній користувач не ввійшов у систему знову. Інший можливий варіант — обрання з-поміж користувачів сеансу нового керівника за одним із алгоритмів обрання лідера;

— *Floor_agent* — агент, що відповідає за надання взаємовиключного доступу до ресурсу. Також відповідає за коректне звільнення ресурсу в разі, якщо користувач, що зайняв його, аварійно від'єднується від системи. Може надавати можливість призупинення використання ресурсу без його звільнення,

в цьому разі має стежити за тим, щоб пауза не затягувалася надовго, інакше примусово звільняє ресурс. Може підтримувати черги користувачів, тоді після звільнення ресурсу надає його тому, хто чекає найдовше. Все залежить від конкретної реалізації протоколу рівневого контролю.

Схему взаємодії між об'єктами системи показано на рис. 2.

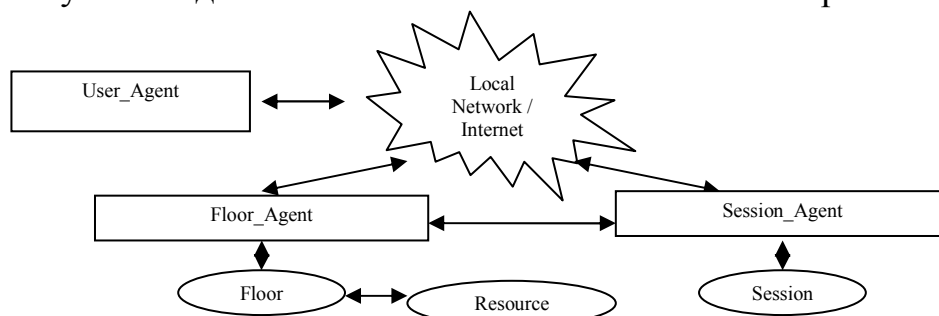


Рис. 2. Схема взаємодії об'єктів в системі

Для побудови системи було використано агентне середовище JADE. Структуру системи становлять пакети Session, Floor та User, які містять класи, що описують відповідних агентів та їх поведінки. В дисертації описано п'ять версій системи Collabsys, кожна з яких є логічним розвитком попередньої в плані уточнення правил взаємодії між складовими системи та розширення можливостей з керування роботою системи. Приміром, у четвертій версії можна наперед задавати помилковість користувачів, сеансів та рівнів, досліджуючи таким чином реакцію системи на відмову різних її компонентів. П'ята версія обладнана графічним інтерфейсом, який дає змогу дослідникові наочно бачити ситуацію в системі та керувати поведінкою кожного агента-користувача.

В підрозділі 3.2 запропоновано програмну систему підтримки «Віртуального університету». Вона складається з таких частин:

- система керування змістом (далі СКЗ);
- система керування навчанням (далі СКН);
- система забезпечення координації роботи перших двох складових.

За СКН було взято описане в першому розділі середовище Moodle. Як СКЗ виступає автоматизована система управління навчальним закладом (далі — АСУНЗ) MAMS..

Третя складова, розроблена автором дисертації EPCS (Education Process Coordination System — система координації навчального процесу), координує роботу користувачів Moodle та MAMS, запобігаючи виникненню конфліктних ситуацій. Прикладом такої конфліктної ситуації може бути випадок, коли вчитель виставляє студентам оцінки за підсумковий тест з курсу, а методист кафедри запитує підсумкову іспитово-залікову відомість для цього курсу. Якщо їхні дії не узгоджувати, методист кафедри може отримати відомість із заниженими оцінками, що призведе до неприємностей.

Для полегшення інтеграції з системою Moodle мовою програмування для написання EPCS було обрано PHP, а платформою розгортання — WampServer 2.0, до складу якого, крім HTTP-сервера Apache, входять СКБД MySQL з

програмою phpMyAdmin — веб-застосуванням для адміністрування баз даних MySQL, та інтерпретатор мови PHP з великим набором розширень, в тому числі php_mysql та php_mssql для роботи з базами даних під управлінням СКБД MySQL та Microsoft SQL Server.

Перша версія системи EPCS являє собою веб-застосування, написане мовою PHP із використанням JavaScript, яке складається із трьох модулів:

- модуль входу в систему та реєстрації нових користувачів;
- модуль викладача;
- модуль методиста кафедри.

Ще однією важливою складовою системи є база даних «epcs», яка розміщується на сервері БД, наданому WampServer. Вона складається із двох таблиць: «users» (користувачі) та «active_tasks» (активні задачі). В таблиці «users» зберігаються дані про зареєстрованих користувачів: логіни, паролі, тип користувача (адміністратор, методист чи викладач), імена в системах MAMS та Moodle, а також булевий прапорець, який показує, чи перебуває даний користувач зараз у системі. В таблиці «active_tasks» зберігаються відомості про задачі, які в даний момент виконуються в системі, а саме тип задачі, ім'я користувача-виконавця та ідентифікаційний номер задіяного при цьому ресурсу. Крім цього до складу системи входить файл data_config.inc, в якому у форматі PHP-змінних зберігаються дані, необхідні для під'єднання до баз даних систем MAMS, Moodle та власної бази даних системи, а саме адреса сервера БД, логін і пароль користувача, від чийого імені ми працюватимемо з БД, та назву потрібної нам БД. Потім цей файл додається до програм, що його використовують, за допомогою функції require(«data_config.inc»).

У цьому ж розділі описується наступний крок: інтеграція модулів системи EPCS у АСУНЗ MAMS та СКН Moodle з метою об'єднання їх в єдине середовище з вбудованим координативним механізмом, який реалізує принципи рівневого контролю. Описано спосіб додавання бази даних СКН Moodle до переліку джерел даних АСУНЗ MAMS та налагодження взаємодії з нею методами, наданими каркасами Spring, Tapestry та ORM-бібліотекою Hibernate.

ВИСНОВКИ

Дисертаційна робота є теоретично обґрунтованим дослідженням, містить узагальнення і практичні рішення важливої науково-технічної задачі, яка полягає у створенні моделі програмної системи підтримки асинхронної дистанційної взаємодії в мережі Інтернет (далі ПСПАДВІ), призначеної для дослідження таких систем та формулювання рекомендацій для їх створення та відлагодження. Застосування моделі забезпечується засобами, розробленими та реалізованими в дисертації.

Основні *теоретичні* результати роботи полягають у такому:

вперше:

1. сформульовано задачу верифікації координаційного механізму ПСПАДВІ та визначено її обчислювальну складність. Доведено, що ця задача належить до класу *co-NP*-повних задач;

2. доведено тотальність алгоритму координації дій учасників спільної роботи в разі виникнення помилок;

3. **удосконалено** модель ПСПАДВІ для двох користувачів, одного сеансу і одного рівня. Розширено її до N користувачів, M сеансів та L рівнів та доповнено механізмом реагування системи на помилки. Доведено, що одержана мережа безпечна, активна та зворотна.

Основні *практичні* результати роботи полягають у такому:

вперше:

1. на основі запропонованої моделі та платформи для створення мультиагентних систем JADE створено програмний прототип ПСПАДВІ із елементами інтелектуальності за рахунок використання мобільних агентів. Створено програмні засоби для дослідження роботи протоколу рівневого контролю;

2. створено програмну систему підтримки «Віртуального університету» із вбудованим координаційним механізмом, який реалізує принципи рівневого контролю.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ АВТОРОМ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

У наукових фахових виданнях, перелік яких затверджено ВАК України:

1. Глибовець М. М. Формальна модель координаційно-орієнтованої мережі для колаборативної системи навчання / Глибовець М. М., Гломозда Д. К. // Проблеми програмування. — 2006. — № 2—3. Спец. вип. — С. 402—412.

2. Глибовець Н. Н. Сложность задачи верификации координационного механизма системы программной поддержки совместной сетевой работы / Н. Н. Глибовець, Д. К. Гломозда // Кибернетика и системный анализ. — 2008. — № 4. — С. 15—19.

3. Гломозда Д. К. Використання програмних агентів для організації ефективного управління роботою програмної системи підтримки мережної співпраці / Д. К. Гломозда // Наукові записки. Т. 86: Комп'ютерні науки / Національний університет «Києво-Могилянська академія». — К., 2008. — С. 53—56.

4. Гломозда Д. К. Координація взаємодії користувачів у колаборативній системі дистанційної освіти ВНЗ / Д. К. Гломозда // Наукові записки. Т. 99: Комп'ютерні науки / Національний університет «Києво-Могилянська академія». — К., 2009. — С. 93—97.

Інші публікації:

5. Гломозда Д. К. Про один алгоритм мінімізації булевих функцій / Гломозда Д. К. // Вісник КНУ ім. Т. Г. Шевченка. Серія «Фізико-математичні науки». Спец. вип. — К., 2004. — С. 36—39.

6. Гломозда Д. К. Формальна модель функціонування колаборативного середовища / Д. К. Гломозда, М. М. Глибовець // Третя Міжнародна конференція «Теоретичні та прикладні аспекти побудови програмних систем» (TAAPSD'2006), 5-8 груд. 2006 р. : тези доп. — Київ (Україна), 2006. — С. 225—230.

7. Глибовець М. М. Складність задачі верифікації координаційного механізму системи програмної підтримки мережної співпраці / М. М. Глибовець, Д. К. Гломозда // Четверта Міжнародна конференція «Теоретичні та прикладні аспекти побудови програмних систем» (TAAPSD'2007), 4-9 вересня 2007 р. : тези доп. — Бердянськ (Україна), 2007. — С. 58—62.

8. Гломозда Д. К. Тотальність алгоритму роботи координаційного механізму системи програмної підтримки мережної співпраці в разі виникнення помилки / Д. К. Гломозда // П'ята Міжнародна конференція «Теоретичні та прикладні аспекти побудови програмних систем» (TAAPSD'2008), 22–24 вересня 2008 р. : тези доп. — Том 2. — Київ, Чернігів (Україна), 2008. — С. 21—26.

9. Гломозда Д. К. Прототип колаборативної системи дистанційної освіти для вищого навчального закладу / Д. К. Гломозда // Шоста Міжнародна конференція «Теоретичні та прикладні аспекти побудови програмних систем» (TAAPSD'2009), 8–10 грудня 2009 р. : тези доп. — Київ (Україна), 2009. — С. 213—217.

10. Гломозда Д. К. Про один підхід до організації взаємодії між автоматизованою системою управління навчальним закладом та системою керування навчанням / Наукові записки. Т. 112: Комп'ютерні науки / Національний університет «Києво-Могилянська академія». — К., 2010. — С. 30—33.

АНОТАЦІЯ

Гломозда Д. К. Координація в асинхронних обчислювальних мережах. — Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук зі спеціальності 01.05.03 — математичне та програмне забезпечення обчислювальних машин і систем — Національний університет «Києво-Могилянська академія», Київ, 2011.

Дисертаційна робота присвячена створенню моделі програмної системи підтримки асинхронної дистанційної взаємодії в мережі Інтернет (ПСПАДВІ) та побудові на її основі діючого прототипу ПСПАДВІ.

Модель ПСПАДВІ призначена для дослідження таких систем та формулювання рекомендацій щодо принципів їх створення та відлагодження. Побудова такої моделі є актуальною задачею. Запропоновано формальну модель ПСПАДВІ мовою мереж Петрі на основі протоколу рівневого контролю та доведено її придатність для моделювання ПСПАДВІ із довільною кількістю користувачів, сеансів та ресурсів. Сформульовано задачу верифікації координаційного механізму ПСПАДВІ та показано, що вона належить класу *co-NP*-повних задач. Доведено тотальність алгоритму координації дій учасників спільної роботи в разі виникнення помилок. На основі запропонованої моделі створено прототип ПСПАДВІ із використанням агентних технологій та програмну систему підтримки «Віртуального університету» з вбудованим координаційним механізмом, який реалізує принципи рівневого контролю.

Ключові слова: агентні технології, моделювання, мережі Петрі, рівневий контроль, тотальні алгоритми, координаційний механізм, система керування змістом, система керування навчанням.

АННОТАЦІЯ

Гломозда Д. К. Координация в асинхронных вычислительных сетях.
— Рукопись.

Диссертация на соискание научной степени кандидата технических наук по специальности 01.05.03 — математическое и программное обеспечение вычислительных машин и систем — Национальный университет «Киево-Могилянская академия», Киев, 2011.

Диссертационная работа посвящена созданию модели программной системы поддержки асинхронного дистанционного взаимодействия в сети Интернет (далее — ПСПАДВИ) и построению на ее основе действующего прототипа ПСПАДВИ. Модель ПСПАДВИ предназначена для исследования таких систем и формулирования рекомендаций касательно принципов их создания и отладки. Построение такой модели является актуальной задачей.

В диссертации рассмотрено асинхронное дистанционное взаимодействие в сети Интернет как важное направление развития коммуникационных технологий. Рассмотрены существующие модели и инструментальные средства создания ПСПАДВИ. Проанализированы различные подходы к организации совместной работы удаленных пользователей и согласования их доступа к общим ресурсам. Отдельное внимание уделено модели коллаборативной системы, предложенной Х.-Х. Гарсиа-Луна-Ачевесом и Х.-П. Доммелем. Рассмотрены сферы, где асинхронное дистанционное взаимодействие играет значительную роль. Рассмотрена парадигма уровневого контроля, предназначенная для координирования доступа пользователей к общим мультимедийным ресурсам с учетом их ролей и прав доступа. На основании этих исследований сформулирована стратегия создания универсальной модели ПСПАДВИ. В качестве средства моделирования избраны сети Петри, давно

зарекомендовавшие себя как надежный, гибкий и удобный инструмент моделирования комплексных распределенных и недетерминированных систем.

В работе сделан обзор инструментальных средств поддержки асинхронного дистанционного взаимодействия в сети Интернет. Рассмотрены две популярные программные платформы организации электронного обучения Moodle и ILIAS. На примере системы обучения IDEAL рассмотрены мультиагентные системы и их использование для создания систем поддержки дистанционного взаимодействия. Также в работе приведена общая характеристика агентных технологий, рассмотрена среда разработки программных агентов JADE и обоснован его выбор в качестве платформы для создания прототипа программной системы поддержки дистанционного взаимодействия с элементами интеллектуальности на основании предложенной в диссертационной работе модели.

Предложена формальная модель ПСПАДВИ на языке сетей Петри на основе протокола уровневого контроля, представляющая собой модификацию модели ПСПАДВИ для одного пользователя, одного сеанса и одного уровня, предложенной Н. Н. Глибовцом. Описаны структура и функции координационного механизма такой программной системы. Доказано, что полученная сетевая модель безопасна, активна и обратима. Методом математической индукции доказана пригодность модели для моделирования ПСПАДВИ с произвольным количеством пользователей, сеансов и ресурсов.

Впервые сформулирована задача верификации координационного механизма ПСПАДВИ. Доказано ее подобие задаче верификации программных агентов. Доказана ее принадлежность классу *co-NP*-полных задач.

Смоделирована работа координационного механизма в случае возникновения ошибки. Доказана тотальность алгоритма координации действий участников совместной работы в случае возникновения ошибки.

На основе предложенной модели создан прототип ПСПАДВИ с использованием агентных технологий. Описана разработанная автором диссертационной работы многоагентная система Collabsys, агенты которой моделируют поведение элементов коллаборативной системы и координируют свои действия согласно принципам уровневого контроля.

Создана программная система поддержки «Виртуального университета» со встроенным координационным механизмом, реализующим принципы уровневого контроля. Программная система объединяет в единое целое систему управления обучением, систему управления содержанием и систему обеспечения координации их работы. В качестве первой используется платформа Moodle, второй — автоматизированная система управления учебным заведением MAMS, третьей — разработанная автором диссертации EPCS (Education Process Coordination System — система координации процесса обучения), координирующая работу пользователей систем Moodle и MAMS с целью предотвращения возникновения конфликтных ситуаций. Приведено подробное описание всех элементов и процесса их интеграции в единую систему. Работоспособность системы подтверждена экспериментально.

Теоретическая ценность диссертационной работы состоит в применении абстрактной модели коллаборативной среды Х.-П. Доммеля и Х. Х. Гарсиа-Луна-Ачевеса и автоматных и сетевых моделей составляющих этой системы, построенных Н. Н. Глибовцом, для создания обобщенной модели ПСПАДВИ, способной обеспечить согласование действий своих пользователей, а также надежное и предсказуемое реагирование на внештатные ситуации.

Практическая значимость исследования заключается в том, что предложенная в работе модель реализована и апробирована на реально действующей системе управления учебным заведением и системе управления обучением университета «Киево-Могилянская академия». Предложенная модель, программный прототип и связка системы управления содержанием и системы управления обучением могут быть использованы как базовые для реализации государственной программы развития дистанционного образования в Украине.

Ключевые слова: агентные технологии, моделирование, сети Петри, уровневый контроль, тотальные алгоритмы, координационный механизм, система управления содержанием, система управления обучением.

ABSTRACT

Dmytro K. Glomozda. Coordination in asynchronous computational networks. — Manuscript.

Thesis for a candidate's degree in technical sciences. Specialty 01.05.03 — mathematical and software support of computing machines and systems — National university of «Kyiv-Mohyla Academy», Kyiv-2010.

The thesis is devoted to creation of model of program system to support asynchronous distant collaboration in Internet scope (PSSADCI) and building a working prototype of PSSADCI on its base.

The PSSADCI model is intended to help research such systems and enunciate recommendations concerning principles of their design and debugging. The creation of such a model is of current interest. The formal Petri net model of PSSADCI based on the floor control protocol is offered in the thesis and her applicability to model PPSADCI consisting of any number of users, sessions and resources is proved. The problem of verification of PPSADCI's coordination mechanism is stated and its membership in the class of *co-NP*-complete problems is shown. Totality of the algorithm of coordinating joint work participants' actions in case of error is proved. The PPSADCI prototype is created based on the presented model using agent technologies. «Virtual University» support software system with built-in coordination mechanism implementing floor control principles is created.

Keywords: agent technologies, modelling, Petri nets, floor control, total algorithms, coordination mechanism, content management system, learning management system.