



Методи та новітні підходи до проектування, управління і застосування високопродуктивних ІТ-інфраструктур

Київ 2015



Колектив авторів

*Бойко Ю.В., Волохов В.М.,
Глибовець М.М., Єршов С.В.,
Кривий С.Л., Погорілий С.Д.,
Ролік О.І., Теленик С.Ф., Ясочка М.В.*



НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ НАУК УКРАЇНИ
ІНСТИТУТ КІБЕРНЕТИКИ ІМЕНІ В.М. ГЛУШКОВА

NetCracker®

Зміст роботи

- Розділ 1.** Теоретичні основи проектування високопродуктивних ІТ-інфраструктур.
- Розділ 2.** Проектування архітектур і алгоритмічного забезпечення високопродуктивних розподілених обчислювальних комп'ютерних систем.
- Розділ 3.** Управління високопродуктивними ІТ-інфраструктурами.
- Розділ 4.** Моделі, методи та інструментарій створення базового програмного забезпечення високопродуктивних розподілених середовищ.
- Розділ 5.** Новітні підходи до розроблення та реалізації схем обчислень для вирішення складних науково-технічних проблем на основі високопродуктивних ІТ-інфраструктур.
- Розділ 6.** Прикладні аспекти розробки та впровадження засобів високопродуктивних ІТ-інфраструктур.

Актуальність роботи

Перехід України до інформаційного суспільства передбачає формування відповідного науково-технічного базису та створення *необхідної інформаційної інфраструктури держави.*

ІТ-інфраструктура є впорядкованою сукупністю взаємопов'язаних мереж, інформаційно-обчислювальних ресурсів і обладнання кінцевих користувачів, яка забезпечує функціонування організованої структури прикладних та інформаційних послуг, взаємодія яких забезпечує користувачам збір, обробку і збереження потрібної інформації.

Концепція формування і втілення ІТ-інфраструктури утвердилася у кінці ХХ – на початку ХХІ століть. Зараз в Україні присутні розрізнені складові ІТ-інфраструктури. Однак, відсутні цілісна модель ІТ-інфраструктури та методологічні засади її створення, управління нею і її використання. Наведені аргументи визначають високу актуальність роботи.

Мета роботи

Метою дослідження є створення науково обґрунтованої цілісної методології підтримки процесів проектування, управління і використання ІТ-інфраструктури і експериментальна перевірка її працездатності шляхом розробки і впровадження технологій проектування і управління ІТ-інфраструктурою, надання різноманітних сервісів на її основі – програмних, високопродуктивних обчислень та інструментів розробки.

Об'єктом дослідження є процеси проектування і управління ІТ-інфраструктурою, розробка програмного забезпечення (ПЗ) для надання інформаційно-комунікаційних сервісів (ІКС) та процеси діяльності провайдерів зазначених сервісів.












Предметом дослідження є моделі і методи проектування і управління ІТ-інфраструктурою, методи розробки ПЗ для побудови інформаційно-комунікаційних сервісів.

Наукове значення роботи полягає в:

- розробці теоретичних засад та створення на їх основі науково обгрунтованої цілісної методології побудови ІТ-інфраструктури та її сервісів для інформаційних технологій на основі суперкомп'ютерних систем і формування Modelle-орієнтованих методів та програмно-алгоритмічних засобів трансформаційного проектування мультиагентних систем, що функціонують у високопродуктивному середовищі;
- створенні методів, способів проектування та управління ІТ-інфраструктурами з формуванням на цій основі платформ розробки базового ПЗ таких інфраструктур;
- розробці теоретичних основ надання ефективних несуперечних сервісів високопродуктивних обчислень на базі ІТ-інфраструктури.

Результати роботи використані: (1)

для створення механізмів управління функціонуванням ІТ-інфраструктури на основі запропонованих моделей та методів в системах управління провідних провайдерів інформаційно-комунікаційних сервісів **на всіх континентах:**

Австралія		<i>Powerlink</i>				
Азія		<i>Singtel</i> <i>(Сінгапур)</i>		<i>KDDI</i> <i>(Японія)</i>		
Африка		<i>TE Data</i> <i>(Єгипет)</i>				
Європа		<i>Swisscom</i> <i>(Швейцарія)</i>		<i>T-Mobile</i> <i>(Чехія)</i>		<i>Cablecom</i> <i>(Нідерланди)</i>
Америка		<i>Lightpath</i> <i>(США)</i>		<i>TIME WARNER Telecom</i> <i>(США)</i>		
		<i>Bell Canada</i> <i>(Канада)</i>		<i>Maxcom</i> <i>(Мексика)</i>		

Результати роботи використані: (2)

- для розробки ІТ-інфраструктури мультиагентних інформаційних технологій на базі суперкомп'ютера СКІТ-4;
- при створенні кластерних систем із гнучкою архітектурою в Київському національному університеті імені Тараса Шевченка, Донецькому та Вінницькому національних технічних університетах;
- для створення та впровадження інструментальних комплексів проектування об'єктно-орієнтованих баз даних з високим рівнем параметризації, який забезпечив розробку низки сервіс-орієнтованих параметризованих програмних засобів електронного урядування, зокрема у системах:
 - «Керівний склад центральних та місцевих органів виконавчої влади України» у Секретаріаті Кабінету Міністрів України;
 - «Кадри Генеральної прокуратури України»;
 - пілотне хмарне WEB-рішення системи управління персоналом у Державній службі зайнятості України.

Розділ 1. Теоретичні основи проектування ІТ-інфраструктур

- Початковими моделями на етапі проектування та розробки компонентів ІТ-інфраструктури виступають *транзиційні системи* (ТС), як одна із найзагальніших моделей обчислень.
- Створені моделі у вигляді ТС синхронізуються за допомогою операції синхронного добутку. Цей добуток дає можливість моделювати як асинхронні та синхронні способи взаємодії ТС в ІТ-інфраструктурі.
- Дослідження властивостей синхронного добутку ТС виконується шляхом моделювання створеної моделі мережею Петрі на основі інтерлівінгової семантики. Це дає можливість досліджувати структурні властивості побудованої моделі. Зокрема, властивості *обмеженості, безтупиковості, досяжності, живучості, справедливості* тощо.

На цьому етапі, в разі ідентифікації помилки, або підозрілого місця чи переходу, існують дві можливості подальшого аналізу моделі.

- Перша з них - *використання скінченних автоматів для визначення шляху, який веде до помилки* (тут використовуються алгоритми аналізу скінченних автоматів, які дають можливість знайти цей шлях).
- Друга можливість – *використання методів перевірки на моделі (model checking) в мовах модальних темпоральних логік*, які дозволяють верифікувати наявність неочікуваної поведінки системи з побудовою шляху, що спричиняє таку поведінку.

Важливим моментом при розробці і додавання сервісів до ІТ-інфраструктури є те, що сервіси можуть конфліктувати між собою – один з сервісів може блокувати роботу іншого сервісу, або взаємно блокувати один одного.

- Для перевірки наявності такого типу конфліктів використовується *поняття інваріантності властивостей базової моделі*. Це означає, що при додаванні нового сервісу до існуючої структури (яка називається базовою), всі властивості існуючої структури повинні зберігатися. В разі порушення властивостей якого-небудь з сервісів базової системи, встановлюються причини можливого конфлікту, корекція структури, повторна перевірка та налагодження. Ця ситуація характерна для систем телекомунікації.

Розділ 2. Проектування архітектур і алгоритмічного забезпечення високопродуктивних розподілених обчислювальних комп'ютерних систем

Проектування і управління IT-інфраструктурою передбачає розв'язання першочергової задачі створення високопродуктивних суперкомп'ютерних розподілених обчислювальних ресурсів. Вони налічують сотні і тисячі комп'ютерів, що пов'язані у єдиний складний комплекс зв'язками. Розглянуті системи спроможні надати такі сервіси, що притаманні IT-інфраструктурам, як IaaS, PaaS та HPCaaS.

Зокрема:

- запропонована концепція створення гнучких гомогенних архітектур кластерних систем (КлС) і різні методи її реалізації;
- викладена сформована гетерогенна архітектура КлС з використанням новітніх відеоадаптерів і методи проектування алгоритмічного забезпечення та застосувань для неї, які ґрунтуються на створених в роботі моделях обчислень в технології GPGPU із застосуванням КМП;
- запропоновані методи забезпечення функціональної цілісності грид-інфраструктур;
- створені методи та засоби інтеграції віртуальних організацій (ВО) в грид-інфраструктури.

Моделі етапів виконання

Аналіз сучасних підходів до проектування гетерогенних архітектур вказує на те, що вектор розвитку змінює свій напрямок і подальший приріст продуктивності слід очікувати саме від симбіозу графічних процесорів (GPU) та CPU при використанні кожного у специфічних для нього завданнях.

Подання алгоритму в технології GPGPU потребує розробки моделей представлення виконання (на відміну від алгоритмів, що не використовують відеоадаптер), оскільки лише вони містять особливості архітектури і надають можливість розробляти більш продуктивні реалізації. Окрім того, актуальною є редукція моделі MapReduce як основного шаблону GPU-коду. В роботі створено ряд таких моделей.

Інфраструктура для розв'язання складних наукових задач

Розв'язання актуальних задач науки і техніки на сьогодні неможливе без використання потужних обчислювальних ресурсів. Для найбільш масштабних досліджень ресурси визначаються масштабами обчислювальних систем всього світу. Технологія, в рамках якої досліджуються та створюються методи об'єднання географічно розподілених комп'ютерних систем, дістала назву грід. Означення грід висвітлює множину характеристик, які формують концепцію системи:

- масштабованість в широких межах;
- географічний розподіл;
- гетерогенність;
- розподіл управління;
- координування ресурсів;
- прозорий доступ;
- адаптивний доступ.

Методи та засоби інтеграції віртуальних організацій в грид-інфраструктури

Одним з ключових понять в грид, яким оперують методи та їх реалізації в сервісах програмного забезпечення, є віртуальна організація (ВО), що відображає *об'єднання дослідників, які використовують грид-інфраструктуру як фундамент для розв'язання ресурсоємних задач*. Питання інтеграції ВО з грид-інфраструктурами є актуальним для побудови ефективних методів розподілу та використання існуючих грид-ресурсів. Це зумовлює необхідність розробки методів, що забезпечать інтероперабельність, цілісність та відмовостійкість роботи ВО в грид-інфраструктурах.

Інтеграція ВО в грид-інфраструктури включає три етапи:

- формування конфігурації провайдерів ресурсів для відображення структури ВО на систему керування завданнями;
- керування учасниками ВО;
- керування розрахунком задач ВО в грид-інфраструктурах.

Інструментальні засоби автоматизованої трансформації схем алгоритмів

Для автоматизації процесу проектування паралельних алгоритмів для розподілених комп'ютерних систем створено систему автоматизованого проектування програм (САПП), яка реалізує всі етапи проектування паралельних алгоритмів від розробки схем послідовного алгоритму до автоматизованого отримання паралельних версій, моделювання їх роботи та генерації відповідного ПЗ. САПП ґрунтується на методах, реалізованих в технологічному процесі.

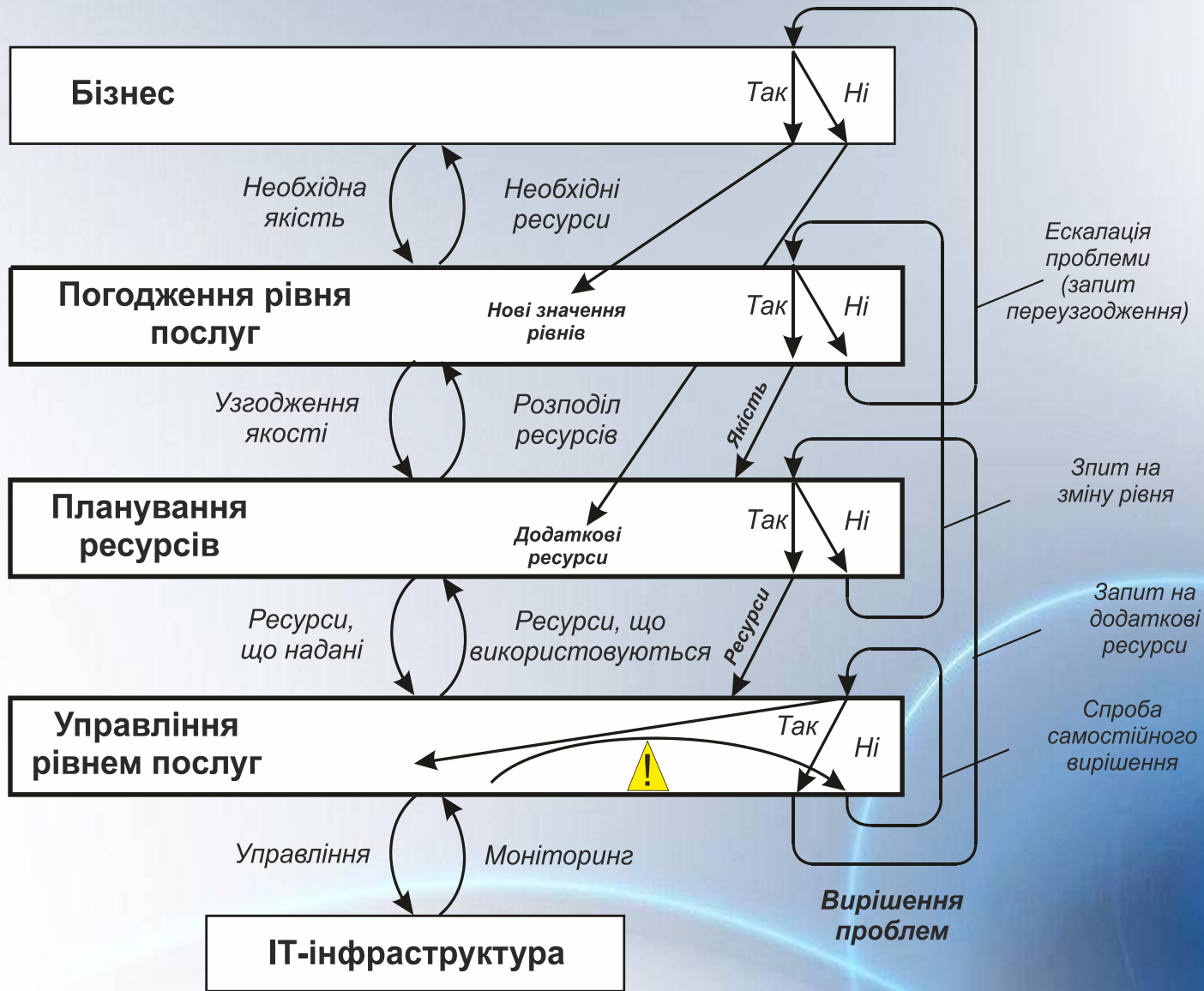
Розділ 3. Управління високопродуктивними ІТ-інфраструктурами

Авторами розроблено науково обгрунтовану цілісну методологію управління ІТ-інфраструктурою, орієнтовану на створення єдиного універсального середовища інтегрованого управління різноманітними ІТ, розподіленими застосуваннями, ресурсами і мережевим обладнанням.

Запровадження методології забезпечує підтримку узгодженого рівня ІТ-послуг з раціональним використанням ресурсів високопродуктивних ІТ-інфраструктур в умовах віртуалізації, кластеризації та консолідації ресурсів при суттєвій динаміці запитів користувачів.

Базовим для методології управління ІТ-інфраструктурою є *декомпозиційно-компенсаційний спосіб організації управління* рівнем послуг, заснований на декомпозиції задач управління і компенсації негативного впливу окремих чинників за рахунок виділення додаткових ресурсів критичним застосуванням.

Загальна схема декомпозиційно-компенсаційного способу організації управління



Управління високопродуктивними ІТ-інфраструктурами

Обґрунтовано доцільність побудови багаторівневих СУІ з використанням універсальної компоненти – дворівневої системи управління з координатором. Розроблено принципи координації, запропоновано відповідні методики синтезу.

Реалізація декомпозиційно-компенсаційного підходу базується на комплексі сервісно-ресурсних моделей. Авторами розроблена методика створення сервісно-ресурсних моделей на основі системної методології в рамках визначеного процесу управління ІТ-інфраструктурою.

Авторами розроблені математичні моделі, методи і відповідні алгоритми для підтримки усіх груп процесів управління (управління інфраструктурою, підтримки обслуговування; управління наданням послуг).

Розроблено моделі і методи для: розподілу ресурсів і навантаження; імпакт-аналізу; управління потоками в мережах; зведення метрик ІТ-інфраструктури і її складових.

Управління високопродуктивними ІТ-інфраструктурами

Авторами розроблено систему управління ІТ-інфраструктурою (СУІ), яка базується на виділенні:

- ІТ-інфраструктури як об'єкта управління, що забезпечує надання інформаційно-комунікаційних сервісів (ІКС);
- процесів, які задіюють ІТ-інфраструктуру і підтримують діяльність як основу бізнесу, уможливлючи отримувати прибуток за рахунок надання ІКС;
- організаційної структури, яка перетворює потенційні можливості в реальні результати, забезпечуючи визначення, планування, здійснення і підтримку процесів.

Управління високопродуктивними ІТ-інфраструктурами

Для створення СУІ розроблена інформаційна технологія управління ІТ-інфраструктурою, архітектура інструментальних засобів якої побудована на принципах трирівневої клієнт-серверної технології із застосуванням агентського підходу.

Технологія реалізована на платформі швидкої розробки і експлуатації застосувань SmartBase і забезпечує процеси моніторингу, аналізу, управління, оптимізації та планування.

Застосування запропонованих моделей в методів управління ІТ-інфраструктурою дозволило підвищити ефективність використання ресурсів ІТ-інфраструктури, підтримувати узгоджений рівень ІТ-послуг, збільшити обсяг послуг, що надаються користувачам.

Розділ 4. Моделі, методи та інструментарій створення і підтримки компонентів базового програмного забезпечення високопродуктивних розподілених середовищ

Розробка методів створення:

- адекватних моделей, ефективних методів і програмних засобів побудови сучасних комп'ютерних систем підтримки PСOІ;
- засобів координації в розподілених системах і обчисленнях;
- спеціалізованої інфраструктури для модель-орієнтованої розробки великих розподілених програмних систем;
- методів використання агентних технологій для побудови інтелектуальних PІС;
- програмних застосувань агентного типу для розвитку сервісів Semantic Web по автоматизації машинної обробки і аналізу інформації.

Координація в розподілених системах і обчисленнях

Дає можливість:

- використання зовнішньо керованої агентної моделі для координації у «хмарних обчисленнях (*cloud computing*)»;
- розробку та реалізацію розширення мови програмування *Scala* засобами координації *Linda*, що перетворює її на повноцінну мову паралельного та розподіленого програмування;
- скористатися перевагами масштабованості та високою адаптивністю системи.

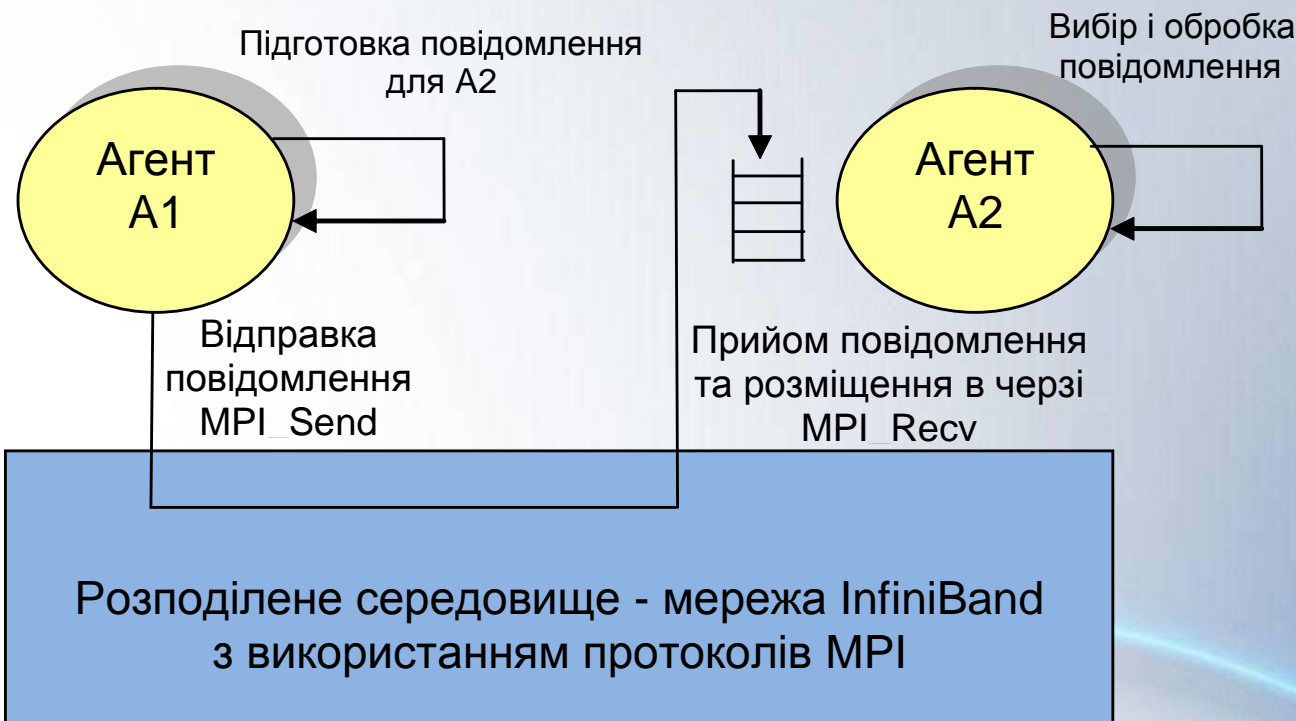
Спеціалізована підсистема для трансформації XML-моделей

- Основою є первинне представлення моделі у вигляді доменно-залежного XML-формату.
- Можливість застосовування розвинених засобів зміни та розширення, простота трансформації для перетворення створених доменно-залежних моделей в будь-які інші (стандартизовані) моделі (наприклад, UML).
- Використання XSL для трансформацій надає можливість ефективно організувати як вертикальні трансформації з довільною кількістю шарів абстракції, так і горизонтальні.
- Створює оптимальні умови для командної роботи.

Розділ 5. Новітні підходи до розробки та реалізації схем обчислень для розв'язання складних науково-технічних проблем на основі високопродуктивної ІТ-інфраструктури

Асинхронний обмін повідомленнями між агентами

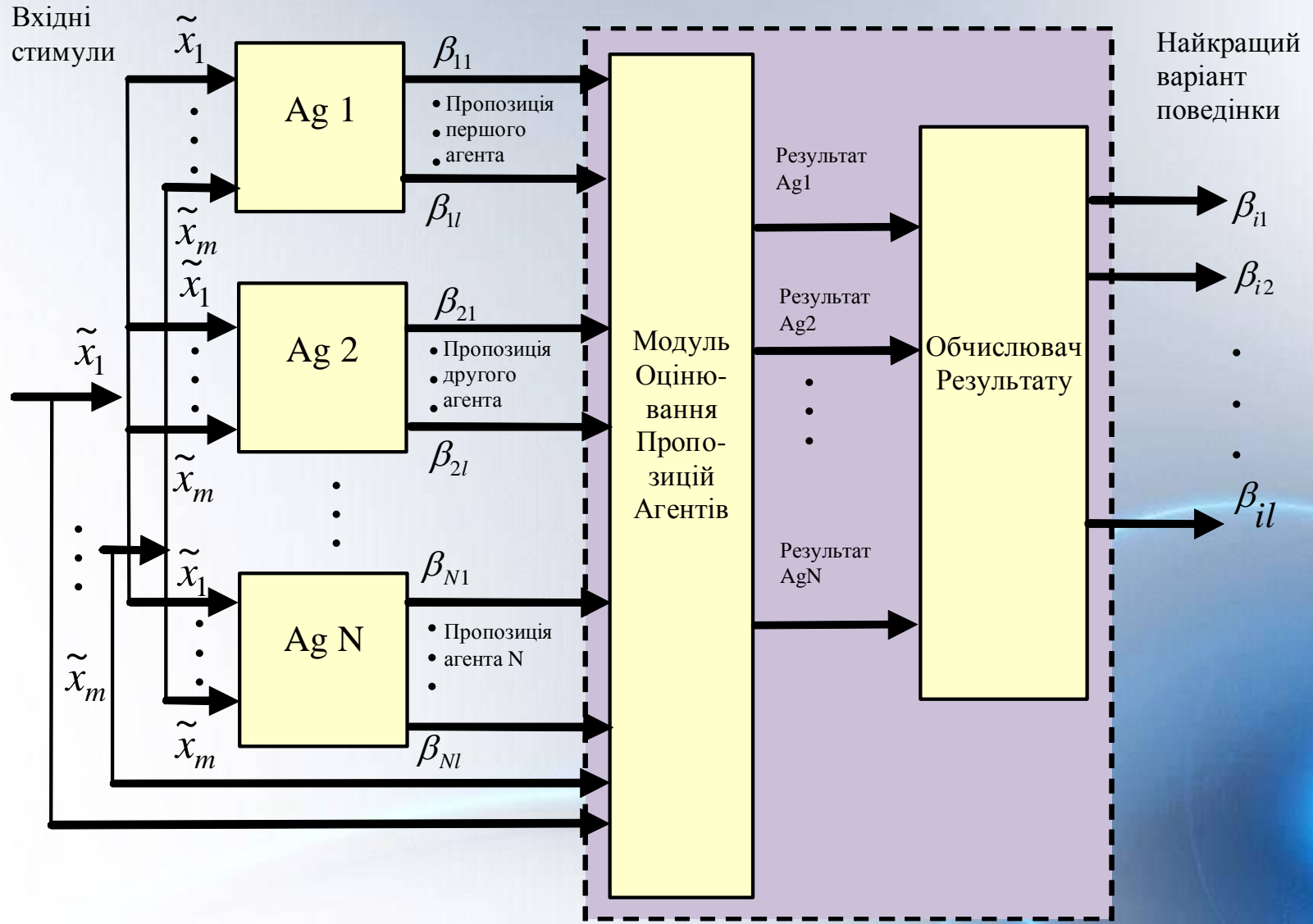
*Основна платформа:
Суперкомп'ютер СКІТ-4
Інституту кібернетики НАН України*



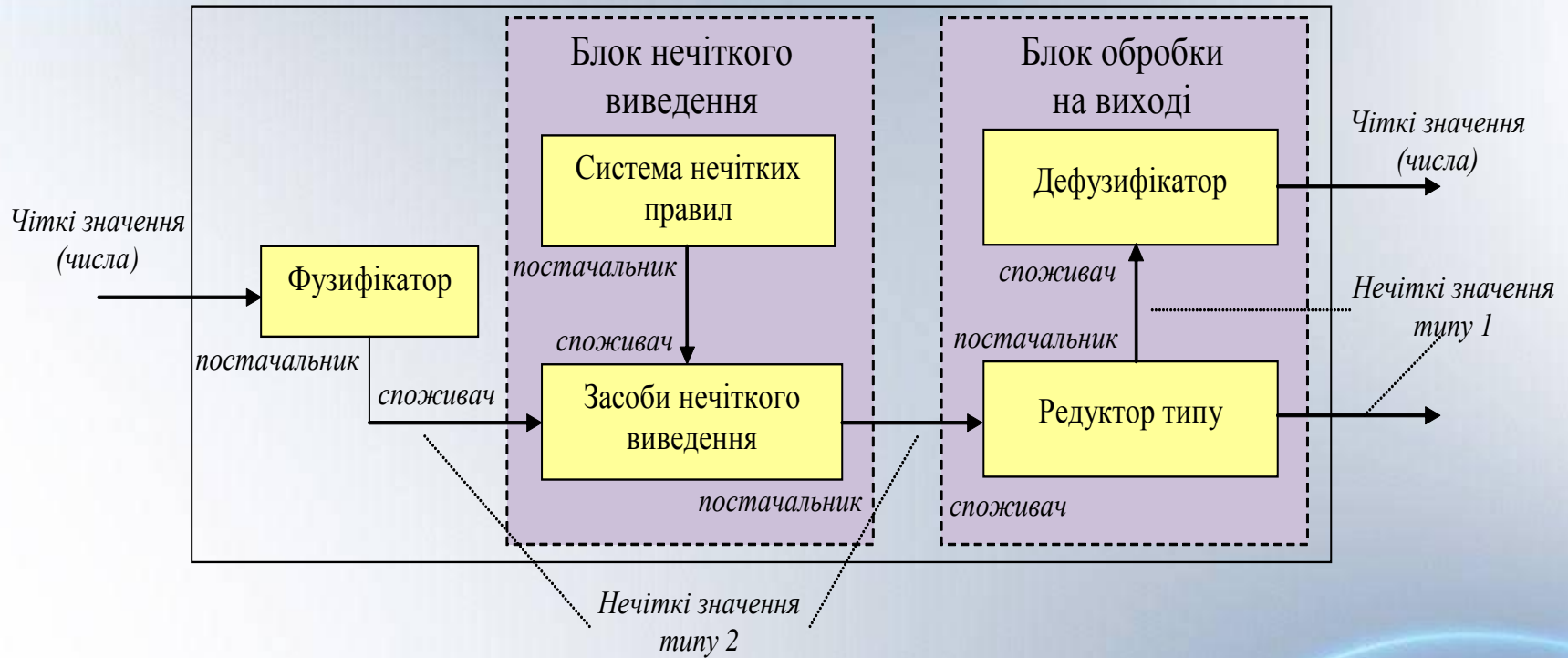
Структура нечіткої мультиагентної системи для високопродуктивного середовища

Паралельні агенти

Координатор



Модель інтелектуального агента, що ґрунтується на нечіткій логіці вищого типу



Для агента с p входами $x_1 \in X_1, \dots, x_p \in X_p$ і виходом $u \in Y$ i -е правило агента можна представити таким чином

$$R^i: \text{ЯКЩО } x_1 = \tilde{F}_1^i \text{ I } \dots \text{ I } x_p = \tilde{F}_p^i \text{ ТО } u = \tilde{G}^i, \quad i = 1, \dots, M$$

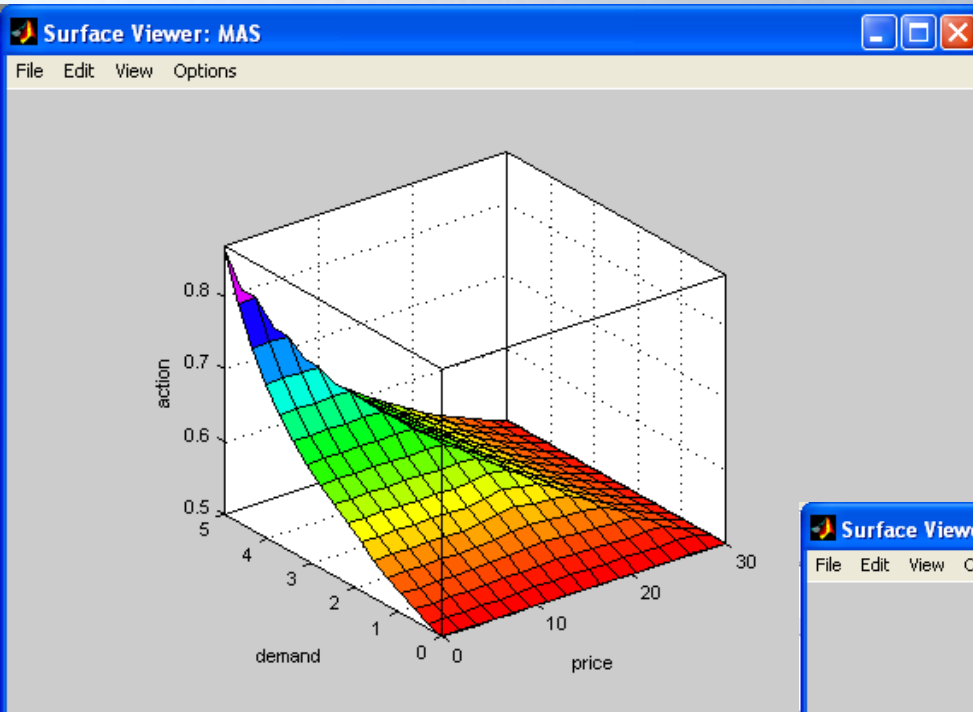
При розробці інтервальних нечітких множин типу 2 і множення як t -норми, перетин всіх множин антецедента дає в результаті інтервал спрацювання, що представлений парю значень :

$$F^i(x) = [f^i, \hat{f}^i], \text{ де}$$

$$\tilde{f}^i = \tilde{\mu}_{\tilde{F}_1^i}(x_1) * \dots * \tilde{\mu}_{\tilde{F}_p^i}(x_p) \quad - \text{нижня границя належності, а}$$

$$\hat{f}^i = \hat{\mu}_{\tilde{F}_1^i}(x_1) * \dots * \hat{\mu}_{\tilde{F}_p^i}(x_p) \quad - \text{її верхня границя.}$$

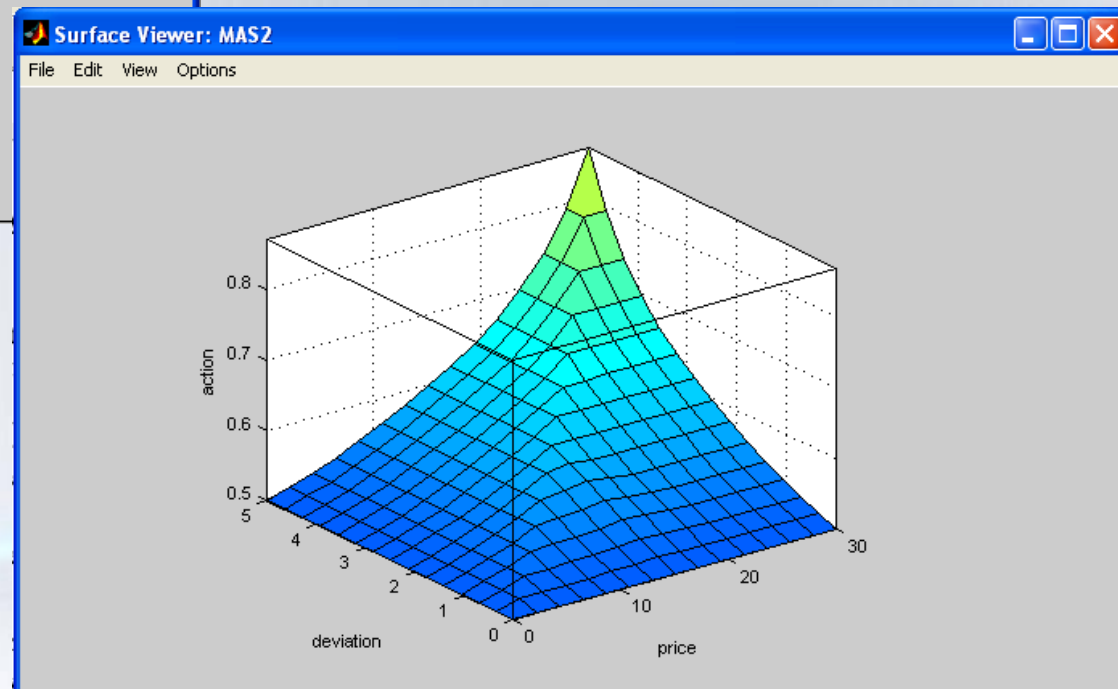
Приклад розробки мультиагентних систем на основі нечітких моделей



- **ЯКЩО** Ціна=невелика
- ТА Нестача=незначна
- **ТО** Обсяг_закупівлі=середній

- **ЯКЩО** Ціна=невелика ТА Нестача= велика
- **ТО** Обсяг_закупівлі=большой

- **ЯКЩО** Ціна=велика
- **ТО** Обсяг_закупівлі=середній



Поверхня відгуку нечіткої системи правил для програми-агента, яка купує ресурси, і програми-агента, що продає ресурси.

Розділ 6. Технології об'єктно-орієнтованих баз даних

Перевагою об'єктно-орієнтованих баз даних є можливість визначати об'єкти інструментами бази даних. Додатки одержують можливість інтерпретувати дані з опису об'єктів у контексті тієї мови програмування, на якій вони написані.

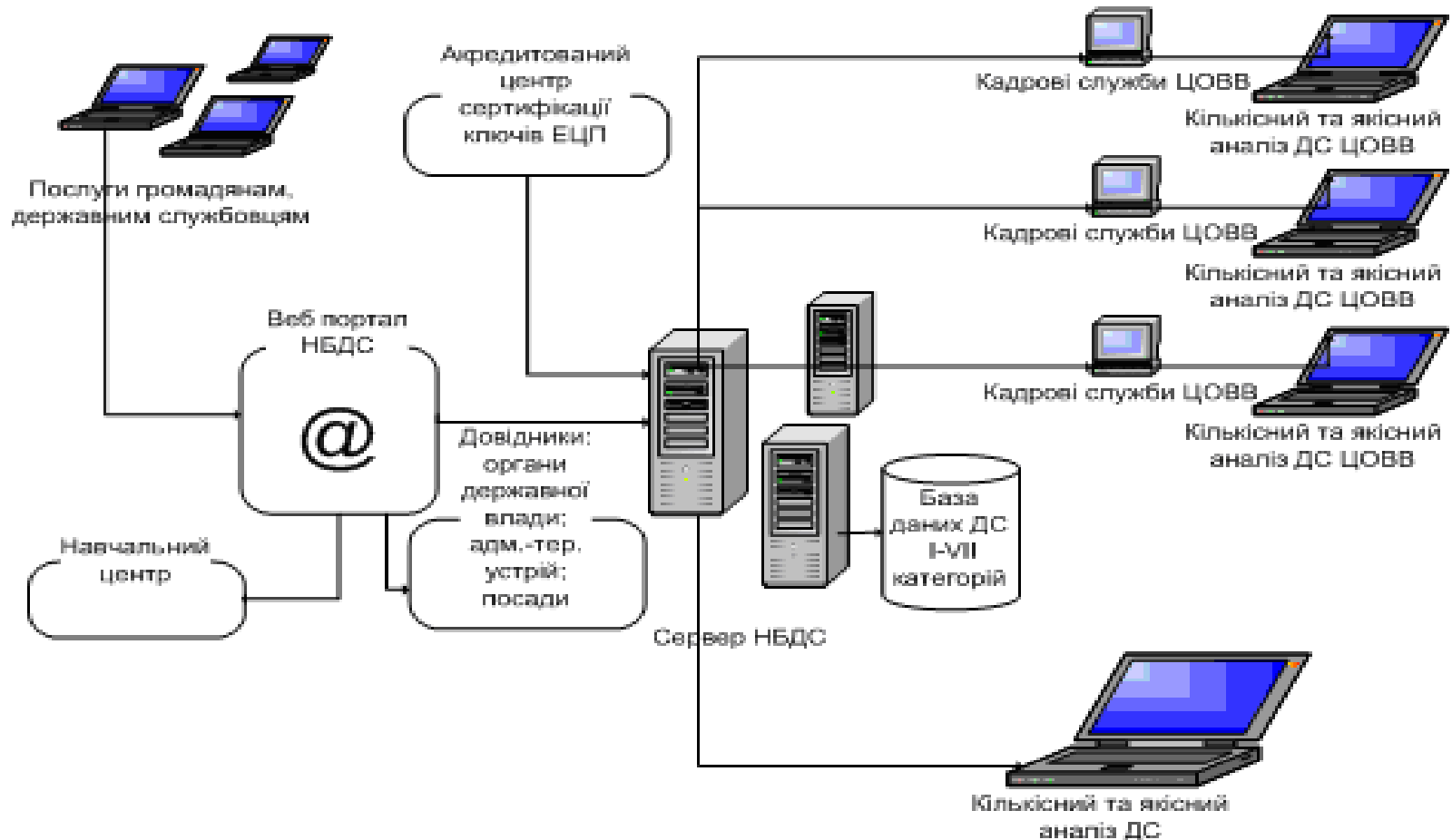
За допомогою об'єктно-орієнтованих баз даних вирішується ряд проблем. По-перше, об'єкти легко розробляти та супроводжувати на рівні опису, а по-друге, інструментальний комплекс забезпечує цілісність та портабельність опису об'єктів, по-третє, усувається необхідність транслювати дані з того формату, що підтримується в СКБД, у формати прикладної програми.

Технологічні інструменти супроводу

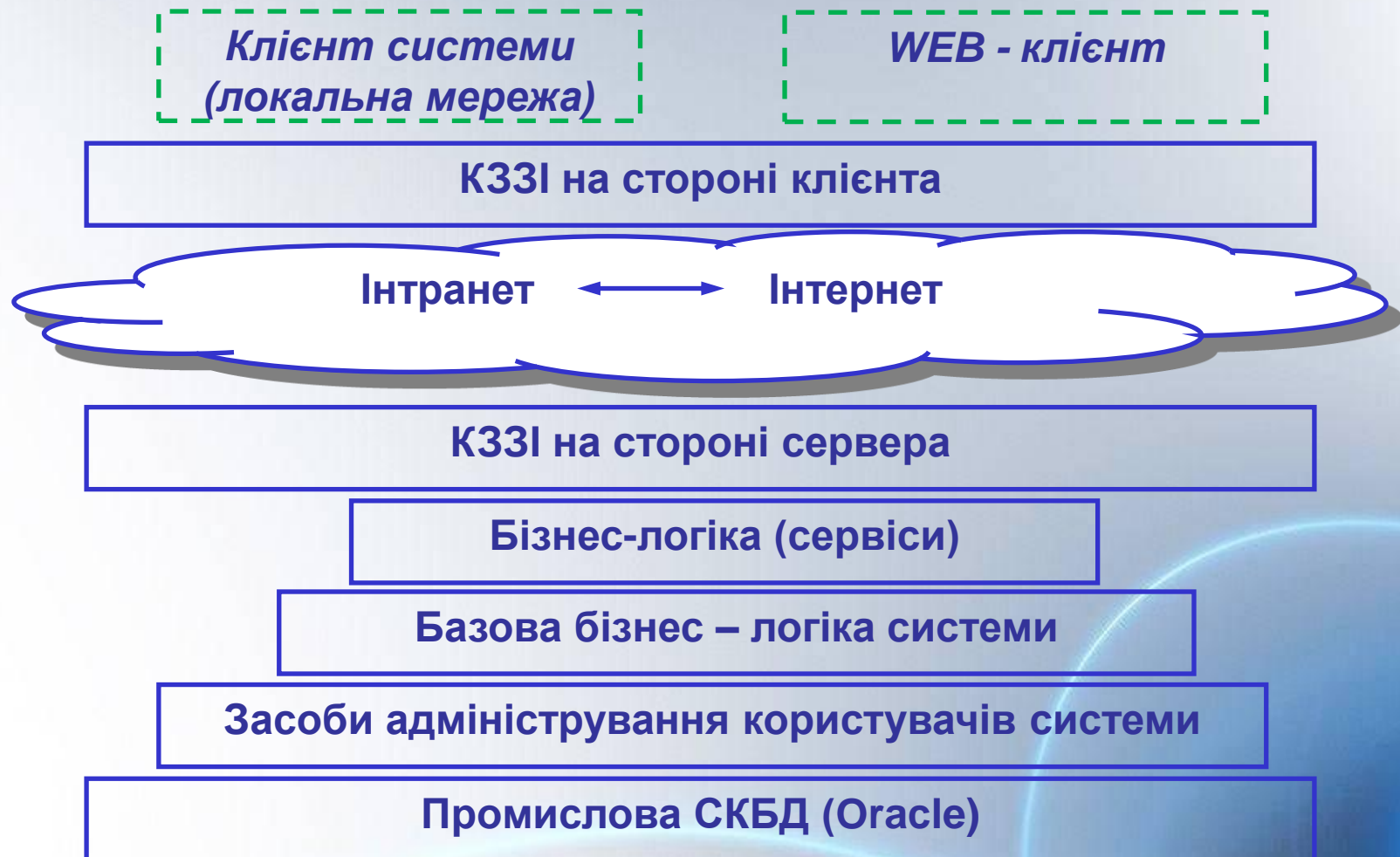
Технологічні етапи створення та підтримки описів баз даних та об'єктів предметної області:

- створення опису схеми бази даних: отримується інструментами СКБД. Головна вимога до опису бази даних – це його монотонність;
- створення опису об'єктів предметної області. Опис об'єктів предметної області зберігається у таблицях бази даних (як і опис самої бази даних);
- вивантаження (експорт) описів;
- імплементація (імпорт) опису бази даних та опису об'єктів у замовника;
- підключення об'єктної моделі до ролевої моделі бази даних;
- налаштування параметрів функціонування програмного забезпечення.

Технологічні рішення системи управління персоналом у державних органах України



Архітектура інформаційно-аналітичної системи «Кадри»



Впровадження систем

Державні органи із спеціальним статусом

- Адміністрація Президента України.
- Апарат Ради національної безпеки і оборони.
- Державне управління справами.

Рахункова палата

- Центральні органи виконавчої влади України.
- Секретаріат Кабінету Міністрів України.
- Міністерство фінансів України.
- Міністерство економічного розвитку і торгівлі України.
- Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України.
- Міністерство соціальної політики України.

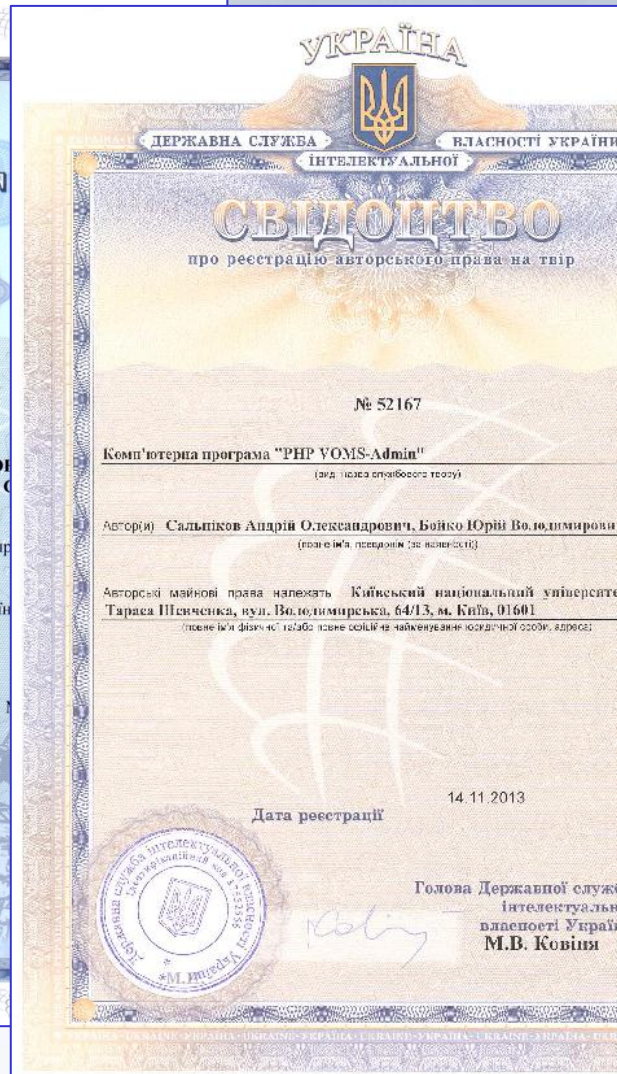
Судова система України

- Верховний суд України.
- Вищий спеціалізований суд України.
- Вищий господарський суд України.
- Вищий адміністративний суд України та ряд окружних адміністративних судів.

Органи прокуратури України

- Генеральна прокуратура України.
- 27 обласних прокуратур, спеціалізовані прокуратури.

Новизна та конкурентоспроможність програмно-технологічних рішень (3 Патенти та 15 Авторських свідоцтв)



Висновки (1)

- розроблено теоретичні засади проектування, аналізу властивостей математичних моделей ІТ-інфраструктур та їх сервісів на основі транзиційних систем, їх синхронних добутоків, мереж Петрі, скінчених автоматів, неklasичних та нечітких логік;
- створено методи побудови нечітких інтелектуальних мультиагентних систем, що функціонують в розподіленому високопродуктивному середовищі, на основі парадигми моделі-орієнтованих архітектур, що дозволяє, у порівнянні з відомими рішеннями, знизити вартість побудови, підвищити продуктивність та надійність розподілених систем;
- створено прикладну схематологію алгоритмічного забезпечення для розподілених архітектур суперкомп'ютерів, що дозволяє використовувати концепцію паралелізму обчислень на трьох рівнях абстракції: ядер відеоадаптерів, окремих вузлів кластера (системах зі спільною пам'яттю) і на кластерних системах (системах із розподіленою пам'яттю) з урахуванням наявності багатоядерних процесорів окремих вузлів;

Висновки (2)

- запропоновано процес розробки мультиагентних систем подавати у вигляді трансформацій нечітких графів, результат застосування яких дозволяє отримати ряд платформно-залежних моделей таких агентів для кластерів з гібридними обчислювальними вузлами (з використанням графічних прискорювачів);
- розроблено алгоритми узгодження поведінки нечітких агентів у розподіленому середовищі щодо нечітких атрибутів узгодження, що дозволяють зменшити витрати часу на комунікацію над ієрархією типів пам'яті розподіленої високопродуктивної системи;
- побудовано моделі та програмну архітектуру мультиагентних систем на основі нечіткої логіки вищого типу, що дозволяють більш інформативно представити ступінь лінгвістичної невизначеності системи нечітких правил при специфікації поведінки таких агентів і систем.