

УДК 519.8

DOI: 10.31474/2415-7902-2019-1(2)-2(3)-5-11

В.А. Святний, С.О. Ковальов, О.М. Мірошкін

КОНЦЕПЦІЯ СТВОРЕННЯ Й ІМПЛЕМЕНТАЦІЇ УКРАЇНСЬКОГО ДОСЛІДНИЦЬКО-НАВЧАЛЬНОГО ЦЕНТРУ ТЕХНОЛОГІЙ ПАРАЛЕЛЬНОГО МОДЕЛЮВАННЯ

Стаття присвячена висвітленню задач щодо створення центру технологій паралельного моделювання (ParSimTech) на базі обчислювального MIMD-кластера ДонНТУ. У переліку факторів успішного вирішення проблеми гарантування новизни, якості, надійності та конкурентоспроможності проектних рішень провідну роль відіграють методи та засоби моделювання, що підтримують всі етапи науково-технічних проектів. Паралельні комп'ютерні системи відкривають нові можливості в вирішенні цих задач.

Факультет КНТ ДонНТУ з 1992 року співпрацює з інститутом паралельних і розподілених систем (IPVS) і обчислювальним центром (HLRS/HPCC) Штутгартського університету по проблемі системної організації ефективного використання паралельних обчислювальних ресурсів при моделюванні динамічних систем. Як узагальнення набутого досвіду сформовано нову інтердисциплінарну область досліджень – «Технології паралельного моделювання» (Parallel Simulation Technologies, ParSimTech). Центральною ParSimTech-проблемою є побудова розподілених паралельних моделюючих середовищ. РПМС-концепція передбачає повнофункціональну розробку паралельних методів та алгоритмів функціонування моделюючого програмного забезпечення для паралельних комп'ютерних систем. Для подальшого розвитку ParSimTech-тематики в Україні Штутгартський університет передав ДонНТУ MIMD-кластер і, таким чином, в ДонНТУ створено всі передумови для розробки й імплементації українського дослідницько-навчального центру технологій паралельного моделювання.

Пропонуються 2 складові діяльності центру – дослідницька та освітня. До першої віднесено дослідження та розробку проблемно орієнтованих розподілених паралельних моделюючих середовищ, паралельних алгоритмів та мов моделювання, відповідних архітектурних рішень. Освітня складова включає розробку і реалізацію ParSimTech-орієнтованої частини навчальних планів IT-спеціальностей технічних університетів; ParSimTech-навчання студентів і молодих науковців технологічних спеціальностей; зацікавлених представників промисловості й бізнесу

Ключові слова: паралельні комп'ютерні системи, обчислювальний MIMD-кластер, розподілені паралельні моделюючі середовища, кібер-фізичні системи, технології паралельного моделювання.

Вступ. Науково-технічний прогрес в усіх без винятку предметних областях – від видобувних і технологічних галузей промисловості, машинобудування, електротехніки й електроніки, інформаційно-вимірювальної та військової техніки, хімічних технологій, охорони довкілля до процесів клітинної й молекулярної динаміки в біотехнологіях, в медицині, в біомеханіці живих організмів – залежить від досягнутого рівня теорії й математичного опису динамічних процесів різної фізичної природи та втілення теорій в практичну реалізацію методів проектування автоматизованих технічних об'єктів, технологічних установок та ліній, що визначаються як кібер-фізичні системи (КФС) Індустрії-4.0 та складні динамічні системи з зосередженими (СДСЗП) і розподіленими (СДСРП) параметрами. У переліку факторів успішного вирішення проблеми гарантування новизни, якості, надійності та конкурентоспроможності проектних рішень провідну роль відіграють методи та засоби моделювання, що підтримують всі етапи науково-технічних проектів. Паралельні комп'ютерні системи (ПКС) відкривають нові можливості в вирішенні цих задач. В останні роки в США, Японії та Європі побудовано надпотужні обчислювальні центри (HPCC – High Performance Computer Center), засновано університетські кафедри паралельних та розподілених обчислень, інтенсивно розвивається апаратно-програмна база центрів – MIMD-ПКС, мови, бібліотеки й стандарти паралельного та розподіленого програмування [1, 2].

Останні дослідження. Факультет КНТ ДонНТУ з 1992 року співпрацює з інститутом паралельних і розподілених систем (IPVS) і обчислювальним центром

(HLRS/HPCC) Штутгартського університету (ШУ) по проблемі системної організації ефективного використання паралельних обчислювальних ресурсів при моделюванні СДСЗП/ПП. Як узагальнення набутого досвіду сформовано нову інтердисциплінарну область досліджень – «Технології паралельного моделювання» (Parallel Simulation Technologies, ParSimTech). Центральною ParSimTech-проблемою є побудова розподілених паралельних моделюючих середовищ (РПМС) [4].

Концепція створення центру технологій паралельного моделювання

РПМС-концепція, що запропонована ДонНТУ і ШУ, передбачає повнофункціональну розробку паралельних методів та алгоритмів функціонування моделюючого програмного забезпечення (Modeling and Simulation Software). Розробка РПМС належить і до актуальних пріоритетів побудови європейської дослідницької інфраструктури за програмою «Горизонт-2020». Для подальшого розвитку ParSimTech-тематики в Україні ШУ передав ДонНТУ MIMD-кластер і, таким чином, в ДонНТУ створено всі передумови для розробки й імплементації українського дослідницько-навчального центру (ДНЦ) технологій паралельного моделювання. Центр буде працювати в двох напрямках:

- ParSimTech-Research: дослідження та розробка проблемно орієнтованих РПМС, паралельних вирішувачів рівнянь на основі нових блокових обчислювальних методів, паралельних алгоритмів моделювання, архітектурно релевантних ієрархічних підходів до розпаралелювання, паралельних мов моделювання, методів модельної підтримки промислових проектів, зокрема Індустрії-4.0.
- ParSimTech-Training: розробка й реалізація ParSimTech-орієнтованої частини навчальних планів ІТ-спеціальностей технічних університетів; ParSimTech-навчання студентів і молодих науковців технологічних спеціальностей; ParSimTech-навчання зацікавлених представників промисловості й бізнесу, співробітництво з фірмами Німеччини й України.

Структура надпродуктивної обчислювальної системи на базі MIMD-кластера. В серпні 2017 р. Донецький національний технічний університет отримав комплект обчислювального обладнання японської фірми NEC для побудови паралельного MIMD-кластера (системні блоки, комутатори Ethernet та InfiniBand, монтажні матеріали). Обладнання передано кафедрі надпотужним обчислювальним центром (HLRS – Höchstleistungsrechenzentrum Stuttgart, <http://www.hlrs.de>) Штутгартського університету в рамках угоди про наукове співробітництво по проблемі «Технології паралельного моделювання: розробка і впровадження розподіленого паралельного моделюючого середовища (Parallele Simulationstechnik: Entwicklung und Einsatz der verteilten parallelen Simulationsumgebung)». На базі цього обладнання співробітниками кафедри й аспірантами скомпоновано і введено в експлуатацію паралельний MIMD-кластер з розподіленим адресним простором та структурою, показаною на рис. 1.

До складу MIMD-кластера входять:

- 1 FrontEnd вузол;
- 1 Admin вузол;
- 1 Backup вузол;
- 1 Reserved вузол;
- 5 Data вузлів;
- 80 обчислювальних вузлів;
- 1 InfiniBand;
- 2 Ethernet switch.

Кожен із 80 обчислювальних вузлів являє собою двопроцесорний, багатоядерний комп'ютер з базовою частотою 2.8 GHz, на якому виконуються завдання (задачі)

користувачів. Задача користувача може займати як один, так і всі обчислювальні вузли кластера.

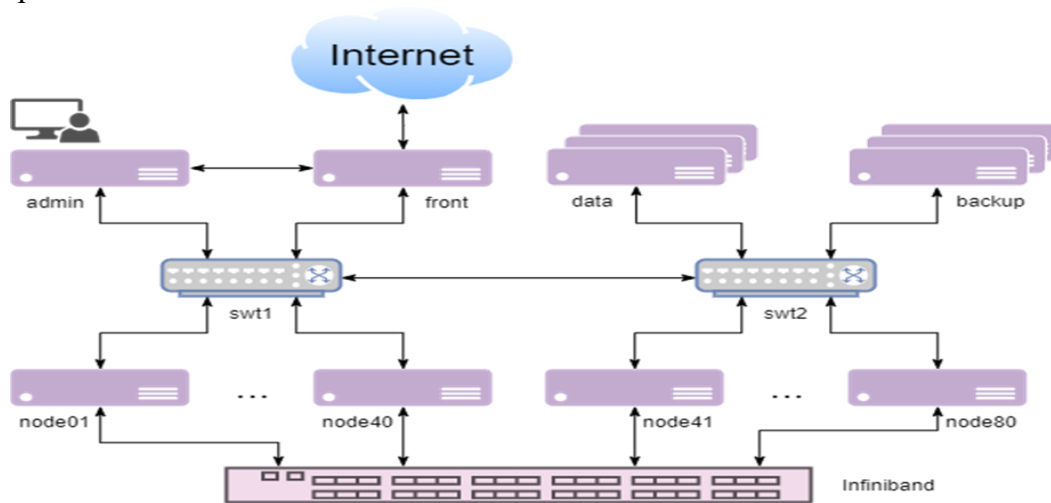


Рисунок 1 – Структура кластера

Керуючий вузол FrontEnd node – це багатопроцесорний комп’ютер, який керує ресурсами обчислювального кластеру, організовує роботу черг завдань, виконує моніторинг компонентів обчислювального кластеру та ряд інших допоміжних функцій.

Для адміністрування та доступу до ресурсів кластеру використовується також багатопроцесорний комп’ютер. На вузлі Admin node здійснюється підготовка завдань для кластеру, робота з вхідними даними та результатами обчислень. Вузол Backup відповідає за резервне копіювання даних з Data-вузлів в режимі реального часу. Дані використовуються під час відновлення системи. Data-вузли служать для організованого зберігання даних та забезпечення швидкісного паралельного доступу до них.

Два маршрутизатори Ethernet switch забезпечують міжпроцесорний зв’язок в кластері, вузол Infiniband дає можливість покращити швидкість обміну даними при виконанні паралельних обчислень.

Організація системного програмного забезпечення. До складу системного програмного забезпечення (ПЗ), яке використовується в кластері, належить CentOS (Community Enterprise Operating System), що є вільно доступним дистрибутивом Лінукс на основі комерційного дистрибутиву Red Hat Enterprise Linux компанії Red Hat. CentOS здебільшого використовується як серверна операційна система для веб-хостингу. В операційній системі (ОС) CentOS діалоговим засобом є командний рядок. Інтерфейс командного рядка – різновид текстового інтерфейсу (CUI) між людиною і комп’ютером, в якому інструкції комп’ютера даються в основному шляхом введення з клавіатури текстових рядків (команд). Інтерфейс командного рядка є альтернативою системам управління програмою на основі меню, а також різним реалізаціям графічного інтерфейсу. Формат виведення інформації в інтерфейсі командного рядка не регламентується; зазвичай це також простий текстовий формат, але може бути й графічним, звуковим і т.д.

Для запуску паралельних програм на кластері використовується бібліотека MPICH (Message Passing Interface Chameleon) – одна з реалізацій MPI, яка підтримує роботу на великому числі платформ із різними комунікаційними інтерфейсами, у тому числі й з TCP/IP. До особливостей бібліотеки відносяться:

- наявність інтерфейсу для підтримки Fortran-77/90;
- підтримка великої кількості архітектур обчислювальних систем, включаючи кластери;

- часткова підтримка паралельного вводу/виводу;
- наявність засобів трасування та протоколювання;
- наявність засобів відображення працездатності паралельних програм;
- наявність функціональності для тестування системи.

Message Passing Interface (MPI, інтерфейс передачі повідомлень) – це програмний інтерфейс (API) для передачі інформації, який дозволяє обмінюватися повідомленнями між процесами, що виконують одну задачу. Інтерфейс MPI призначений для забезпечення важливої віртуальної топології, синхронізації та функціональності зв'язку між набором процесів (які були віднесені до вузлів / серверів) незалежно від мови, з синтаксисом мови (прив'язки), плюс кілька специфічних для мови функцій. Програми MPI завжди працюють з процесами, але програмісти зазвичай відносяться до процесів як процесорів. Як правило, для максимальної продуктивності кожен процесор (або ядро в багатоядерній машині) буде навантажено лише одним процесом. Це завдання відбувається під час виконання через агента, який запускає програму MPI, що зазвичай називається *mpirun* або *mpiexec*.

Скомпонований на базі цього обладнання MIMD - кластер являє собою достатньо потужний обчислювальний ресурс для реалізації як науково-дослідницьких задач, так і вирішення проблем освітньої діяльності в галузі технологій паралельного моделювання.

Напрями роботи та організація ДНЦ технологій паралельного моделювання. Пропонуються наступні напрями роботи дослідницько-навчального центру технологій паралельного моделювання.

1. ParSimTech-Research - розробка та дослідження:

- Проблемно орієнтованих РПМС, зокрема: функціональність та структури середовищ; вхідні мови специфікації СДСЗП, СДСРП; формальне описування топологій та динамічних процесів; топологічні аналізатори; генератори рівнянь; підходи до розпаралелювання та віртуальні паралельні Simulation-моделі; девіртуалізація; вибір та обґрунтування методів паралельного рішення рівнянь; декомпозиція РПМС на підсистеми, побудова підсистем з використанням хмарних технологій; балансування завантаження ресурсів в РПМС; перспективи побудови моделюючих сервісних центрів для предметних областей [1, 4].
- Вирішувачів рівнянь на основі блокових обчислювальних методів (БОМ), зокрема систем рівнянь у частинних похідних, що описують динамічні процеси в об'єктах різних топологій; аналіз ефективності БОМ-вирішувачів в порівнянні з результатами, отриманими з застосуванням звичайних методів [2, 5].
- Паралельних алгоритмів моделювання для СДСЗП/РП предметних областей «Шахтні вентиляційні мережі, що критичні за умовами безпеки» та «Системна біологія», зокрема паралельних генетичних алгоритмів (ПГА) для ідентифікації параметрів біологічних моделей на основі структуризації популяції.
- Архітектурно релевантних ієрархічних підходів до розпаралелювання математичних моделей автоматизованих СДСЗП/РП з врахуванням виду топологій, розташування засобів автоматизації на різних рівнях ієрархії, можливості відображення на наявні й перспективні MIMD-архітектури, включення SIMD-компонент до паралельних ресурсів РПМС.
- Паралельних мов моделювання як основних засобів підвищення рівня сервісу і дружності ресурсів РПМС до розробників і користувачів паралельних симуляторів. Розробка ведеться на основі аналогії між принципами функціонування послідовних блоково-, рівняння- та об'єктно-орієнтованих (БО, РО, ОО) мов моделювання і MIMD-паралельністю. Розв'язання систем рівнянь послідовною мовою відповідає MIMD-паралелізму і може інтерпретуватися як віртуальне призначення «Функціональний

елемент мови – MIMD-процес» [7]. Підлягають розробці трансформація специфікацій БО-, РО- та ОО-симуляторів в віртуальні паралельні MIMD-симулятори, віртуальна матриця комутацій, яка формально описує всі зв'язки між процесами MIMD-симулятора, девіртуалізація як процес перетворення специфікацій віртуальних MIMD-симуляторів [8], що однозначно забезпечує реалізацію симуляторів на заданій цільовій паралельній обчислювальній системі.

- Засобів модельної підтримки промислових проектів, зокрема Індустрії-4.0: методика побудови паралельних симуляторів кібер-фізичних систем; постановка задач реінженерінгу; модельне забезпечення розробки автоматизованої системи для об'єкта, що критичний за умовами безпеки.

2. ParSimTech-навчання.

- Навчання студентів ІТ-спеціальностей: Розробка й реалізація ParSimTech-орієнтованої частини навчальних планів ІТ-спеціальностей технічних університетів; в умовах ФКНТ ДонНТУ це «Комп'ютерна інженерія», «Програмна інженерія», «Кібербезпека», «Комп'ютерні науки»; підготовка науково-методичного забезпечення дисциплін «Паралельні й розподілені обчислення», «Паралельне програмування», «Проектування програмного забезпечення паралельних моделюючих середовищ», «Основи паралельного моделювання складних динамічних систем», «Мови паралельного моделювання»; організація лабораторних ParSimTech-практикумів в умовах РПМС; залучення студентів до наукової роботи за ParSimTech-тематикою, виконання кваліфікаційних бакалаврських і магістерських робіт; організація й проведення олімпіади за фахом «Паралельне моделювання»; підготовка кандидатів на навчання в аспірантурі; співпраця з DAAD-програмами «Стипендії ім. Леонарда Ейлера», «Німецькомовні студії» та програмою Pro3 «Технічна кібернетика».

- Навчання студентів і молодих науковців технологічних спеціальностей основам фахово орієнтованого паралельного моделювання: підготовка дисципліни «Основи паралельного моделювання складних динамічних систем»; погодження з викладачами випускових кафедр об'єктів моделювання та сумісна розробка моделей, Simulation-моделей та алгоритмів функціонування паралельних симуляторів; організація практикуму «Паралельне програмування» на MIMD-кластері; консультації магістрантів і аспірантів щодо використання ParSimTech-ідей при виконанні тем кваліфікаційних робіт, допомога в проведенні досліджень на РПМС-ресурсах; розробка засобів проблемної орієнтації РПМС в інтересах технологічних спеціальностей.

- Навчання зацікавлених представників промисловості й бізнесу методам та засобам модельної підтримки інноваційних проектів, можливе спільне виконання робіт, надання ресурсів РПМС, співробітництво з фірмами Німеччини й України.

Організаційно центр буде університетським підрозділом з науково-методичним підпорядкуванням факультету комп'ютерних наук і технологій. Виконання робіт по проекту веде кафедра комп'ютерної інженерії (КИ): в співпраці з HLRS проведено роботу з компоновки, оформлення як гуманітарної допомоги та транспортування в Покровськ MIMD-кластера на 80 обчислювальних вузлів; за рішенням ректорату профінансовано й проведено ремонт серверного приміщення, а силами кафедри виконано монтажні й системно-програмні роботи, введено кластер в експлуатацію. ParSimTech-дослідження за тематикою проекту виконують 3 професори, один докторант та 7 аспірантів факультету, окремі задачі вирішуються в бакалаврських та магістерських роботах.

Поряд з HLRS як співзасновником центру до ParSimTech-співпраці долучилися SimTech-кластер ШУ, Ульмський університет, технічний університет Hamburg-Harburg, Max-Planck-Institut динаміки складних технічних систем (Магдебург). ФКНТ буде розширювати існуючі творчі ParSimTech-зв'язки з навчальними закладами Покровська

й Донецької області, зі спорідненими факультетами й кафедрами технічних університетів Києва, Харкова, Запоріжжя, Львова, Одеси, Дніпра та інших міст України.

Висновки. Діючий MIMD-кластер ДонНТУ є апаратно-програмною основою з усіма необхідними ресурсами для побудови дослідницько-навчального центру технологій паралельного моделювання складних динамічних систем. Центр має виконувати дослідницьку функцію, яка дозволить розробляти та досліджувати проблемно орієнтовані паралельні розподілені моделюючі середовища та їх компоненти, та освітню функцію, що надасть можливість навчання студентів і молодих науковців технологічних спеціальностей університетів, зацікавлених представників промисловості й бізнесу основам фахово орієнтованого паралельного моделювання, методам та засобам модельної підтримки інноваційних проектів з використанням сучасного високопродуктивного обчислювального обладнання.

Список літератури

1. Feldmann, L., Resch, M., Svjatnyj, V., Zeitz, M.: Softwarearchitektur für parallele Simulationsumgebungen. Plenarvortrag, ASIM'2014 in Berlin, Tagungsband 1, ARGESIM Report 43, Wien 2014, pp.3-7.
2. Kushnarenko, V., Resch, M., Svjatnyj, V., Wesner, S.: Zur Entwicklung des Gleichungslösersubsystems der verteilten parallelen Simulationsumgebung. ASIM'2014 in Berlin, Tagungsband 2, ARGESIM Report 43, Wien 2014, pp. 357-363.
3. Shcherbakov O., Polsterer K., Svjatnyj V.: Integration of Distributed Parallel Simulation Environment with Cloud-Infrastructures. Simulation – 2016, Tagungsband – Kyiv: Institut für Simulationsprobleme in Energetik : Інститут проблем моделювання в енергетиці ім. Г.Є. Пухова НАН України. – 2016. pp. 249-254.
4. Svjatnyj V.A., Kushnarenko V.G., Resch M., Miroshkin O.M., Wesner S.: Problematik der parallelen Simulationstechnik. In: „Informatik, Kybernetik und Rechentechnik“, Wiss. Werke DonNTU. Наукові праці ДонНТУ №2 (23), 2016 Серія “Інформатика, кібернетика та обчислювальна техніка”, ISSN 1996-1588, Pokrowsk, 2016, pp.5-20
5. Towards the simulation of dynamic network objects with distributed parameters based on block difference numerical methods/ Kushnarenko, V., Miroshkin, O., Svjatnyj, V.// Proceedings of the 2017 IEEE9 the International Conference on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications, IDAACS 2017 ,8095250, pp. 1073-1076.
6. Kushnarenko, V., Miroshkin, O., Resch, M., Svjatnyj, V., Wesner, S.: Virtuelle parallele Simulationsmodelle und ein Devirtualisierungsvorgang der Entwicklung von MIMD-Simulatoren für dynamische Netzobjekte mit verteilten Parametern. Internat. Konf. „Simulation – 2018“, Plenarvortrag, Kyiv: – 2018, pp. 30-45.
7. В.А. Святний, А.С. Любимов, О. М. Мірошкін, В. Г. Кушнарєнко: MIMD-симулятори на основі мов паралельного моделювання. Інформатика та математичні методи в моделюванні. - 2018. - т. 8, № 3. - С.189-199.

References

1. Feldmann, L., Resch, M., Svjatnyj, V., Zeitz, M.: Softwarearchitektur für parallele Simulationsumgebungen. Plenarvortrag, ASIM'2014 in Berlin, Tagungsband 1, ARGESIM Report 43, Wien 2014, pp.3-7.
2. Kushnarenko, V., Resch, M., Svjatnyj, V., Wesner, S.: Zur Entwicklung des Gleichungslösersubsystems der verteilten parallelen Simulationsumgebung. ASIM'2014 in Berlin, Tagungsband 2, ARGESIM Report 43, Wien 2014, pp. 357-363.
3. Shcherbakov O., Polsterer K., Svjatnyj V.: Integration of Distributed Parallel Simulation Environment with Cloud-Infrastructures. Simulation – 2016, Tagungsband – Kyiv: Institut für Simulationsprobleme in Energetik : Incyitup problem modeluvannia v energetike im, G.E.Pukhov NAN Ukraine. – 2016. pp. 249-254
4. Svjatnyj V.A., Kushnarenko V.G., Resch M., Miroshkin O.M., Wesner S.: Problematik der parallelen Simulationstechnik. In: „Informatik, Kybernetik und Rechentechnik“, Wiss. Werke DonNTU. Naukovi pratsi DonNTU №2 (23), 2016 Seria “Informatika, kibernetika ta obchysluvalna iechnika”, ISSN 1996-1588, Pokrowsk, 2016, pp.5-20
5. Towards the simulation of dynamic network objects with distributed parameters based on block difference numerical methods/ Kushnarenko, V., Miroshkin, O., Svjatnyj, V.// Proceedings of the 2017 IEEE9

the International Conference on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications, IDAACS 2017, 8095250, pp. 1073-1076.

6. Kushnarenko, V., Miroshkin, O., Resch, M., Svjatnyj, V., Wesner, S.: Virtuelle parallele Simulationsmodelle und ein Devirtualisierungsvorgang der Entwicklung von MIMD-Simulatoren für dynamische Netzobjekte mit verteilten Parametern. Internat. Konf. „Simulation – 2018“, Plenarvortrag, Kyiv: – 2018, pp. 30-45.

7. Svjatnyj V.A., Lubimov A.S., Miroshkin O. M., Kushnarenko V. G. (2018) MIMD-simulators based on parallel simulation languages, [MIMD-simulatory na osnovi mov paralelnogo modeluvannia]. Informatika ta matematychni metody v modeluvanni. – Odesskij natsionalnyj polytechnichnyj universitet, 2018. - т. 8, № 3. - pp.189-199.

Надійшла до редакції 10.09.2019

V. A. Svjatnyy, S. O. Kovalov, O. M. Miroshkin

CONCEPT OF CREATION AND IMPLEMENTATION OF UKRAINIAN PARALLEL SIMULATION TECHNOLOGIES RESEARCH AND EDUCATION CENTER

The article is devoted to the creation of the Center for Parallel Modeling Technologies (ParSimTech) based on the DonNTU computing MIMD cluster. Modeling methods and tools that support all stages of scientific and technical projects play the leading role for providing the list of factors for successful solving the problems such as: guaranteeing novelty, quality, reliability and competitiveness of design solutions. Parallel computer systems open up new possibilities for solving these problems.

Since 1992, the Faculty of CST of DonNTU has been cooperating with the Institute of Parallel and Distributed Systems (IPVS) and the Computing Center (HLRS / HPCC) of Stuttgart University on the problem of efficient use of parallel computing resources in dynamic system modeling. A new interdisciplinary field of research - Parallel Simulation Technologies (ParSimTech) - has been formed as a synthesis of the experience.

The central ParSimTech problem is the construction of distributed parallel modeling environments (DPMS). The DPMS concept provides the full development of parallel methods and algorithms of modeling the software for parallel computer systems. For further development of ParSimTech-theme in Ukraine, the University of Stuttgart provided DonNTU with a MIMD cluster and, thus, all prerequisites for development and implementation of the Ukrainian parallel-modeling technology research and training center have been created at DonNTU.

There are two components of the center's activities. They are research and education. The first is the research and development of problem oriented distributed parallel modeling environments, parallel algorithms and modeling languages, and relevant architectural solutions. The second, educational component includes the development and implementation of ParSimTech-oriented part of the curricula of IT specialties of technical universities; ParSimTech-training of students and young scientists of technological specialties; the interested industry and business representatives.

Keywords: *parallel simulation technologies, distributed parallel simulation environment, MIMD-cluster, parallel computer systems architecture, community enterprise operating system, message passing interface.*

Відомості про авторів

Святний Володимир Андрійович, д-р техн. наук, професор, зав. кафедри, ДВНЗ «Донецький національний технічний університет»; volodymyr.svyatnyy@donntu.edu.ua

Ковальов Сергій Олександрович, канд. техн. наук, доцент, ДВНЗ «Донецький національний технічний університет»; sergiy.kovalov@donntu.edu.ua

Мірошкін Олександр Миколайович, канд. техн. наук, доцент, Університет Ульма (Німеччина); miroshkinan@gmail.com

Svyatnyy Volodymyr Andriiovych, Doctor of technical sciences, Professor, SHEE “Donetsk National Technical University”; vsvjatnyj@gmail.com

Kovalov Serhii Oleksandrovych, Candidate of Technical Sciences (PhD), Associate Professor, SHEE “Donetsk National Technical University”; sergiy.kovalov@donntu.edu.ua

Miroshkin Oleksandr Mykolaiovych, Candidate of Technical Sciences, Professor, Associated Professor, Ulm University (Germany); miroshkinan@gmail.com