

ПАРАЛЕЛЬНЕ МОДЕЛЮВАННЯ СКЛАДНИХ ДИНАМІЧНИХ СИСТЕМ

Abstract

Svjatnyj V.A. Parallel simulation of complex dynamic systems. Parallel simulation of complex lumped-parameter dynamic systems (LPDS) and distributed parameter dynamic systems (DPDS) is an interdisciplinary problem. To solve this problem the author suggests a concept of distributed parallel simulation environment (DPSE). This environment is a new form of simulation means system organization. The article considers peculiarities of SIMD and MIMD environment components. The construction of problem-oriented parallel simulation environments in different problem domains is an important progress in experience accumulation for solving engineering problems. DPSE decomposition into subsystems, development of virtual simulation models and their devirtualization speed up the using of parallel modeling and simulation in scientific, industrial, business and educational researches. The all-inclusive solution of parallel simulation problems in cooperation with foreign scientists and universities is an essential integration factor into European and global scientific and educational environment.

1 Вступ

Прогрес сучасних галузей техніки, технологій та біотехнологій, технологій довкілля залежить від рівня теорії та практичної реалізації методів проектування автоматизованих технічних об'єктів, технологічних установок та ліній, що визначаються як складні динамічні системи (СДС). Центральною проблемою проектів СДС є гарантування новизни та якості проектних рішень. У переліку факторів безумовного вирішення цієї проблеми чільне місце займають методи та засоби моделювання динамічних систем, які можуть використовуватись на всіх етапах проекту СДС від формулювання техніко-економічних вимог до випробувань та початку дослідної експлуатації. Основи такого модельного супроводження СДС-проектів були в значній мірі відпрацьовані з застосуванням аналогових та аналого-цифрових методів і засобів моделювання 2 – 5-го покоління, розробка яких велась ПМЕ [1, 2, 3], НДІ „Счетмаш” (Москва) разом з галузевою лабораторією ДонНТУ та з заводом „Счетмаш” (Кишинів) [4, 5, 6], ІК (Київ), ПУ (Москва), фірмами EAI (США), Dornier (ФРН) та іншими організаціями. Саме вимоги задач моделювання СДС визначали зміст технічних завдань на розробку аналого-цифрових обчислювальних систем АЦОС-2,-3,-4,-5. З середини 80-х років почався інтенсивний перехід до засобів цифрового моделювання: розроблено та імплементовано на всіх типах цифрових ЕОМ блоково- та рівняння-орієнтовані мови послідовного моделювання [7, 8, 9, 10], швидко розвивається апаратно-програмна база моделювання – персональні та супер-ЕОМ, паралельні обчислювальні системи SIMD- і MIMD-архітектур, мови та бібліотеки паралельного програмування [11,12,13]. Саме останні покликані компенсувати відсутність надпотужних паралельних процесорів в моделюючих комплексах, які свого часу відіграли вирішальну роль у розробці аерокосмічних та технологічних СДС. В останні роки в США, Японії та Німеччині побудовано надпотужні обчислювальні центри (НРСС – High Performance Computer Center), засновано університетські кафедри (інститути) паралельних та розподілених обчислень [12]. Розробка паралельних методів та алгоритмів належить до актуальних проблем сучасної обчислювальної математики [14]. Застосування паралельних ресурсів потребує нової системної організації засобів моделювання СДС, відкриває принципово нові можливості побудови моделей реальної складності та модельної підтримки СДС-проектів. Останнім часом формується новий напрямок розробок та досліджень – паралельне моделювання (Parallele Simulation Technology) [14,15,16]. Розглянемо проблематику паралельного моделювання складних динамічних систем.

2 Динамічні системи як об'єкти моделювання

Динамічними прийнято називати об'єкти техніки та технологій, в яких відбуваються процеси змін стану на протязі певного часу. Ці процеси можуть бути викликані природними явищами або цілеспрямованими керуючими діями з метою переведення об'єктів з деякого початкового стану в заздалегідь визначений стан. Кожна галузь техніки, кожна технологія має притаманні їй динамічні об'єкти та процеси, які в рамках технологічних схем та в поєднанні з засобами автоматизації набувають якостей складних динамічних систем (СДС): множинність та багатозв'язність характерних параметрів, нелінійність статичних і динамічних характеристик компонент, ієрахічність розташування засобів регулювання, залежність процесів від часових і просторових координат, різноманітність фізичної

природи взаємодіючих процесів, змінність структур в залежності від розвитку динамічних процесів, наявність фаз та зон параметрів, що зумовлюють межі безпечної експлуатації та ін.



Рис. 1: Динамічні системи предметних областей та їх формальний опис

Рівень розвитку всіх сучасних предметних областей (рис. 1) від гірничої справи, металургії, хімії, машинобудування, електротехніки та енергетики, аерокосмонавтики до мікроелектроніки, медицини, біо- та нанотехнологій в вирішальній мірі визначається досягнутим рівнем знань теорій, розуміння взаємодії та інтеграції різних динамічних процесів, їх практичного втілення експертами предметних областей в СДС-проекти. Теорія динамічних систем сприяє поєднанню різноманітних предметних областей (рис.1) при комплексному вирішенні технічних і технологічних проблем. З позицій моделювання динамічні системи розділяються на системи з зосередженими (ДСЗП) та розподіленими (ДСРП) параметрами. Традиційно теорія і методи моделювання ДСЗП та ДСРП являють собою самостійні наукові дисципліни. Практика показує, що ДСРП та ДСЗП часто виступають як один і той же об'єкт дослідження: його розглядають спочатку як РП-об'єкт, а потім апроксимують ЗП-об'єктом з дотриманням відповідних умов. Тому назріла проблема розгляду ДСЗП, ДСРП як об'єктів моделювання на загальних методичних засадах. Передумовою цього розгляду є формальний опис динамічних систем. Ми будемо займатися тільки системами реальної складності, тому у формальному описові виділимо дві принципово важливих частини, а саме – топологічний та математичний описи (рис.1). Аналіз показує, що попри широку фізичну різноманітність СДС різних предметних областей їх топологія задається досить обмеженою множиною засобів: технологічними схемами (ТС), структурними схемами автоматизації (ССА), графами, а також комбінаціями цих засобів. Щодо СДС з розподіленими параметрами, то вони мають, окрім базової топології, що задається названими засобами, ще й похідні модельні топології, які виникають внаслідок апроксимації ДСРП об'єктами з зосередженими параметрами. Основна мета топологічного опису – дати чітке однозначне уявлення про структуру СДС, характер складових елементів та взаємозв'язків між ними, стимулювати автоматизацію формування математичного опису СДС у вигляді систем рівнянь великої мірності як композицію опису окремих елементів топології. Для ТС- та ССА-топологій, що відображають декомпозицію системи на елементи, досить вивести рівняння для кожного елемента з урахуванням вхідних і вихідних параметрів. Правильно враховані зв'язки між елементами дають ефект композиції рівнянь елементів в систему рівнянь складної ДСЗП. В загальному випадку система включає

нелінійні та лінійні диференціальні рівняння різних порядків, алгебраїчні рівняння. Для формалізації та автоматичного генерування рівнянь ДСЗП вводяться: вектори невідомих змінних, їх похідних та нелінійних функцій від них; матриці зв'язків "входи-виходи" відповідно до ТС- та ССА-топологій; матриці параметрів та вектори відомих функцій (характеристики активних елементів ДС – генераторів, насосів, турбокомпресорів, двигунів, вентиляторів і т. ін.; детерміновані та випадкові функції впливу зовнішнього середовища); вектори допоможних змінних для визначення похідних з порядками $n > 1$. Формальними матрично-векторними операціями можна привести математичний опис ДСЗП до системи рівнянь у вигляді, придатному для чисельного вирішення:

$$\left. \begin{aligned} \dot{Y} &= AY + BX + CF(t) + DZ \\ X &= \varphi(Y) \\ Z &= \phi(Y, t) \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

Тут Y – вектор невідомих змінних; X – вектор нелінійних функцій; $F(t)$ – вектор функцій впливу зовнішнього середовища, – вектор характеристик активних елементів; A, B, C, D – матриці параметрів та зв'язків, що в явному або трансформованому виді відображають ТС- та ССА-топології (рис.1). В цих топологіях до системи (1) зазвичай додається система алгебраїчних рівнянь, яка описує статичні взаємозв'язки між параметрами, що можуть утворювати підвектор Y або бути визначеними як окремий вектор. Так, ТС сучасних хімічних технологій описуються десятками тисяч диференціальних і алгебраїчних рівнянь [17]. В динамічних системах мережної топології, що визначається графом, рівняння елементів (вузли та гілки) об'єднуються топологічними матрицями інцидентів та контурів в систему рівнянь, що визначає вектор потоків в гілках. Так, для електричної мережі маємо систему з $n-1$ рівнянь для вузлів

$$AI = 0 \quad (2)$$

та $g = m - n + 1$ рівнянь для контурів

$$SLI + SRI + SC^{-1} \int Idt = SE(I, t) \quad (3)$$

де m, n – відповідно кількість гілок та вузлів; A, S – топологічні матриці, $I, E(I, t)$ – вектори струмів в гілках та напруг генераторів, L, R, C^{-1} – діагональні матриці параметрів. Динамічні системи з розподіленими параметрами описуються диференціальними рівняннями у часткових похідних. Особливість ДСРП ТС-, ССА-топологій полягає в тому, що вони мають змішану систему рівнянь: частина елементів топологій можуть бути об'єктами з розподіленими параметрами, які функціонують разом з динамічними та безінерційними об'єктами з зосередженими параметрами. З точки зору побудови ефективних моделей ДСРП розділяють на системи параболічного, гіперболічного, еліптичного та спеціального типів (рис.1). До останнього, як правило, належить більшість систем реальної складності, де впливають такі властивості, як нелінійність, багатомірність, складність краєвих умов, тобто ті фактори, які виводять ДСРП за межі лінійних систем другого порядку [14]. Побудова моделей спеціальних ДСРП базується на фундаментальних дослідженнях систем перших трьох типів, містить у собі творчі задачі як у постановках проблем, виводах рівнянь, формулюванні краєвих умов, так і в пошуках ефективних методів чисельного вирішення рівнянь та організації функціонування моделей.

3 Вимоги до методів і засобів моделювання складних динамічних систем

Аналіз досвіду розробки та застосування моделей динамічних систем [1,4,6], наявних мов моделювання [7,8,9], тенденцій та історії розвитку цифрових [10] та аналого-цифрових (гібридних) [2,5] засобів моделювання безперервних та безперервно-дискретних систем, врахування можливостей сучасних обчислювальних систем та їх програмного забезпечення показують, що на сьогодні та найближчу перспективу можна сформулювати такі основні вимоги до методів і засобів моделювання ДСЗП, ДСРП:

- Дружність та запобігливість до користувача – спеціаліста предметної області, що розробляє та досліджує моделі динамічних систем. Ця вимога означає певний стиль розроблення засобів моделювання: вони повинні бути такими, щоб користувач міг зосереджуватись на проблемах моделювання в своїй галузі знань, а не на необхідності опанувати апаратно-програмні ресурси, складність яких адекватна складності формального опису об'єктів моделювання.
- Високоінтелектуальна діалогова підтримка користувача (розробника) на всіх етапах моделювання СДС:

- специфікація об'єктів моделювання мовними засобами, зрозумілими експертам предметних областей; мінімізація обсягів рутинної ручної праці на етапі первинної специфікації та кодування топологій;
- топологічний аналіз специфікацій і автоматичне генерування формальних відображень структури та параметрів СДС – фрагментів графів, ТС, ССА, матриць зв'язків, векторів змінних та матриць параметрів тощо;
- автоматичне генерування рівнянь СДС за даними топологічного аналізу та придання їм форми, придатної для чисельного вирішення;
- вирішення рівнянь чисельними методами, що вибираються розробником моделі;
- проведення модельних експериментів за програмою дослідження СДС;
- візуалізація та документування результатів моделювання;
- архівація моделей СДС з метою їх повторного використання.
- Спроможність моделювати системи, складність яких задається науковим або індустріальним проектом, та вирішувати при цьому задачі реального часу, включаючи напівнатурне моделювання.
- Об'єктно-орієнтована реалізація моделюючого програмного забезпечення.
- Можливість інтеграції з САПР предметних областей на рівні мов специфікацій об'єктів проектування та їх моделей, модельна підтримка всіх етапів розробки складних динамічних систем.
- Сучасна системна організація на основі нових інформаційних технологій.
- Моделювання ДСЗП, ДСРП на загальній методичній основі, можливість побудови об'єктно- та проблемно-орієнтованих засобів моделювання.
- Наявність засобів навчання користувачів, застосування моделей в режимі тренажерів.

Спроби задовольнити ці вимоги визначають зміст сучасних досліджень у галузі моделювання складних динамічних систем.

4 Концепція розподіленого паралельного моделюючого середовища СДС

Паралельним моделюючим середовищем (ПМС, рис.2) для складних динамічних систем з зосередженими та розподіленими параметрами будемо називати таку системну організацію сумісного функціонування паралельних апаратних ресурсів, системного та моделюючого програмного забезпечення, яка підтримує всі етапи побудови та використання паралельних моделей СДС відповідно до сформульованих вище вимог. До апаратних ресурсів (ПМС-Hardware) залучено обчислювальні системи SIMD-, MIMD-архітектур та кластери персональних ЕОМ. Доступ до апаратних ресурсів відбувається з робочих місць, що є також потужними ПЕОМ, за мережною технологією. Апаратура периферійних систем призначена для побудови тренажерів, засобів взаємодії ресурсів напівнатурних симуляторів, візуалізації та документування результатів моделювання ДСЗП, ДСРП. Системне програмне забезпечення (System Software) ПМС складається з паралельних операційних систем SIMD- та MIMD-орієнтації, паралельних систем програмування, розподілених операційних систем мережної підтримки та системних засобів забезпечення роботи периферійного устаткування. Моделююче програмне забезпечення (Modeling and Simulation Software) має три основних складових частини – для моделювання ДСЗП, ДСРП та забезпечення візуалізації. В середовищі пропонується виділити підсистему діалогу, яка має системно- та модельно-орієнтовану частини. Паралельне моделююче середовище має реалізуватись відповідно до наступних концептуальних положень. Розробки мають бути направлені на максимально можливе задоволення всіх вимог, які були сформульовані вище. Це потребує різномірних апаратних ресурсів та відповідних їм програмних рішень. Сьогодні та в найближчій перспективі розробники та користувачі моделей ДСЗП, ДСРП зможуть одержати апаратні ресурси за структурою рис. 3, що має чітко виражений простірно розподілений характер: доступ можливо мати як з робочих місць, територіально наближених до надпотужних обчислювальних систем (суперSISD, SIMD, MIMD), так і з суттєво віддалених. В останньому випадку має використовуватись INTERNET-технологія доступу. Передбачені структурою локальні сервери можуть мати

паралельні ресурси, модельно орієнтоване периферійне обладнання та засоби побудови напівнатурних моделюючих комплексів. Структура рис.3 реалізується в рамках функціонуючих надпотужних

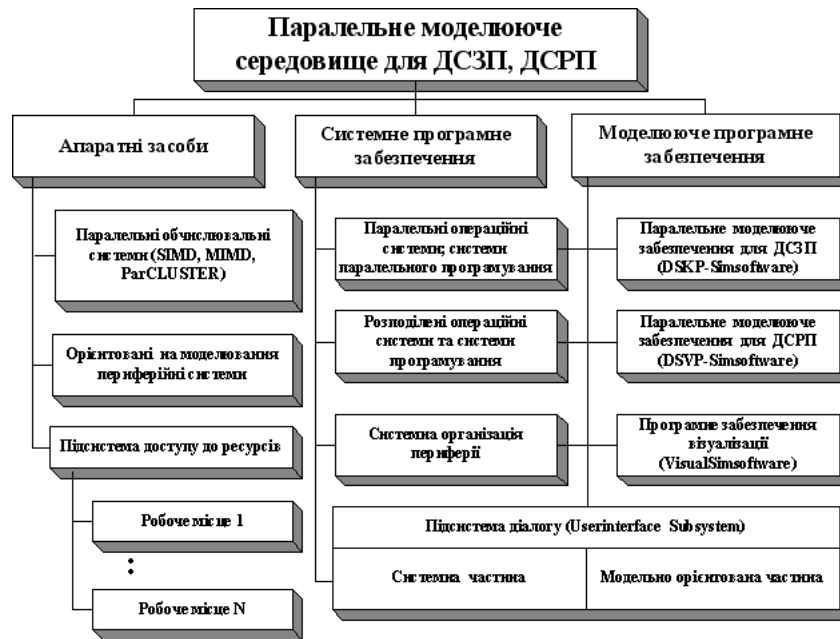


Рис. 2: Структурна організація паралельного моделюючого середовища.

обчислювальних центрів (НРСС) та осередків INTERNET. Таким чином, мова йде про територіально розподілене паралельне моделююче середовище (РПМС). Головною проблемою є те, що програмне забезпечення паралельного моделювання ДСЗП, ДСРП потребує повнофункціональної розробки. Аналіз показує, що паралельні системи SIMD- та MIMD-структур 90-х років мали фірмові мови паралельного програмування, що базуються на мовах Fortran, C, C++, Modula-2 та ін. [11]. Інтенсивний розвиток паралельних обчислювальних систем MIMD-архітектури, об'єктно-орієнтованих підходів стимулював стандартизацію засобів паралельного та розподіленого програмування. Так, ANSI та ISO визначили C++-станданти з бібліотеками MPI, PVM та Pthreads [12,13]. Необхідність будувати паралельні моделі ДСЗП, ДСРП вимушує розробників працювати на рівні наявних мов паралельного, послідовного програмування та їх бібліотек, а це означає, що програмні засоби побудови паралельних моделей знаходяться на рівні систем моделювання не вище другого покоління за класифікацією, запропонованою в [10]. Концепція повнофункціональної розробки Modeling and Simulation Software РПМС передбачає забезпечити користувачів та розробників паралельних моделей мовними та системно-організаційними засобами, які за рівнем сервісу будуть перевершувати системи та мови моделювання п'ятого покоління [10]. В РПМС має бути забезпечена спадкоємність з засобами моделювання попередніх поколінь, що на сьогодні реалізовані в EOM SISD-структури. Тим самим паралельне розподілене моделююче середовище буде максимально дружнім до користувача, дасть йому

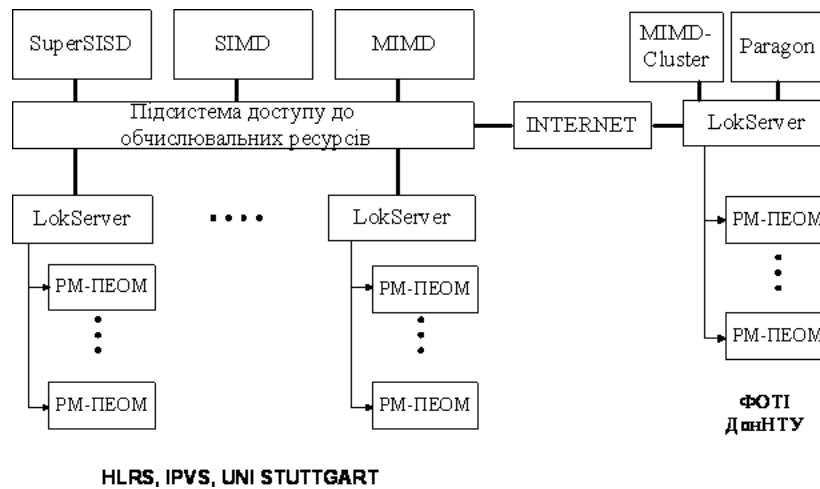


Рис. 3: Територіальна розподіленість паралельного моделюючого середовища.

зможу “рости” від моделей простих об’єктів до моделей складних ДС, що потребують паралельної реалізації. Це буде також означати відкритість середовища для користувачів та розробників моделей, що працюють як індивідуально, так і колективно, в залежності від складності проблеми моделювання. РПМС – це ще мало досліджений об’єкт розробки та реалізації. З метою систематизації розробок нами запропонована декомпозиція середовища на такі підсистеми [18]: діалогу (ПД), паралельних вирішувачів рівнянь (ППВР), обміну інформацією (ПОІ), балансування завантаження процесорів (ПБЗ), організації масивів даних (ПОМД), організації роботи в режимах теледоступу користувачів (ПОРТД). Реалізація підсистем має принципове значення у визначенні покоління засобів моделювання, до якого належить пропоноване середовище. Можливість моделювати в рамках одного середовища системи з зосередженими і розподіленими параметрами об’єднує, з одного боку, ці дві галузі моделювання, що розвивалися відносно автономно. З другого боку, це універсалізує та ускладнює РПМС. З огляду на цю обставину набувають важливої методичної ваги проблемно орієнтовані моделюючі середовища, побудова яких може розглядатись як складова частина загальної проблеми та набування досвіду паралельного моделювання СДС різної фізичної природи. Актуальною проблемою тут є об’єктно-орієнтована розробка моделюючих середовищ, яка в найбільшій мірі дозволить використати загальні системно-програмні рішення стосовно заданих предметних областей. Різні принципи дії та рівні розпаралелювання SIMD- та MIMD-систем [11] зумовлюють необхідність побудови SIMD- та MIMD-компонент РПМС, вирішення задач їх взаємодії при реалізації паралельних ДСЗП- і ДСРП-моделей та автономного використання в рамках структур рис. 2, 3.

5 SIMD- компонента РПМС

Масивно паралельна SIMD-компонента РПМС запропонована в [15]. Разом з колегами із Штуттгартського університету розроблена структура моделюючого програмного забезпечення, досліджені паралельні алгоритми моделювання ДСЗП, ДСРП, розроблена підсистема діалогу, вирішено ряд тестових задач. Імплементация алгоритмів виконана на SIMD-мові паралельного програмування Parallax, а експериментальні дослідження – на SIMD-системі MasPar. Результати цих розробок опубліковані як доповіді на симпозіумах ASIM’94, EUROSIM’95, ASIM’96-97 [14]. Роботи продовжуються в таких напрямках: узагальнення досвіду паралельного моделювання на рівні мови програмування та розробка SIMD-мови моделювання у взаємозв’язку з побудовою підсистеми діалогу; дослідження аспектів об’єктно-орієнтованого підходу; побудова бібліотек паралельного моделювання ДСЗП, ДСРП; експериментальні дослідження проблемно орієнтованих моделюючих SIMD-середовищ; застосування паралельних SIMD-моделей в гірничій галузі та навчальному процесі.

6 MIMD-компонента РПМС

В структурах РПМС, показаних на рис.2, 3, MIMD-компонента представлена

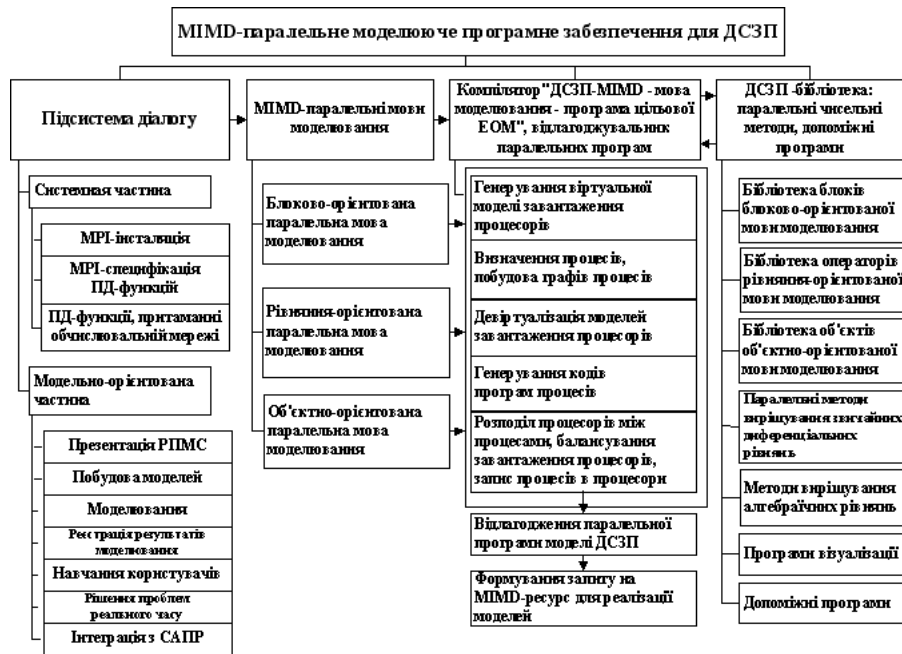


Рис. 4: Склад моделюючого програмного забезпечення MIMD-компоненти РПМС для ДСЗП.

паралельними обчислювальними системами MIMD, їх системним та моделюючим програмним забезпеченням. Доступ до ресурсів цієї компоненти забезпечується з тих же робочих місць, що і до SIMD-компоненти. Головна проблема побудови MIMD-компоненти – це повнофункціональна розробка моделюючого програмного забезпечення, структура якого представлена на рис. 4 (для ДСЗП) та на рис. 5 (для ДСРП). Підсистема діалогу (ПД) – це сукупність апаратних, програмних, мовних та візуальних засобів, що забезпечують активну взаємодію розробника та користувача паралельних моделей ДСЗП, ДСРП з ресурсами MIMD-компоненти. ПД складається із системної та моделюючої частин. При розробленні та побудові ПД важливими є групи функцій обох частин, що названі на рис. 4. Формалізація цих функцій, дослідження повноти їх складу та MIMD-компоненти РПМС як об'єкта діалогу, імплементація та експериментальна перевірка функціонування ПД – це актуальні наукові та практичні задачі реалізації РПМС.

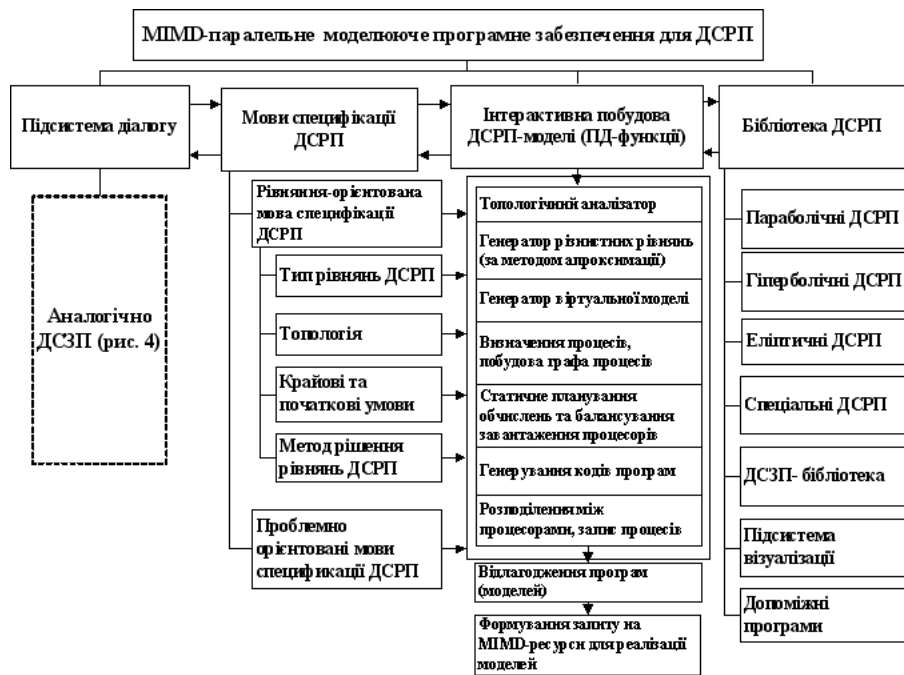


Рис. 5: Склад моделюючого програмного забезпечення MIMD-компоненти РПМС для ДСРП

Нагальною потребою проблеми паралельного моделювання ДЗКП, ДСРП є побудова мов паралельного моделювання [16], які б наблизили паралельні обчислювальні системи до рівня, що відповідає п'ятому поколінню систем та мов моделювання, реалізованих в SISD-EOM [10]. Відповідно до сформульованих вище концептуальних положень в MIMD-компоненті РПМС передбачені паралельні блоково-, рівняння-, та об'єктно-орієнтовані мови моделювання ДСЗП (рис. 4, [16]). Незалежно від типу мови компілятор виконує перетворення специфікації моделі в функціонуючу паралельну програму та формує запит на MIMD-ресурс для реалізації моделі. Для моделювання ДСРП (рис.5) пропонуються рівняння- та об'єктно-орієнтовані мови специфікації моделей, на основі яких може бути виконана інтерактивна побудова ДСРП-моделей з використанням бібліотечних конструктивів. ДСЗП-бібліотека повинна бути сумісною з ДСРП-бібліотекою.

7 Проблемно орієнтовані РПМС

Аналіз показує, що поряд з побудовою РПМС універсального призначення актуальними залишаються проблемно орієнтовані середовища, в яких акумулюється досвід моделювання в певних галузях техніки. В рамках запропонованої концепції нами виконуються розробки середовищ для динамічних мережних об'єктів з зосередженими та розподіленими параметрами [20], для хімічних технологій, для проблеми керування річковими суднами, для модельної підтримки розробок паливних елементів та їх пакетів. Наукову та практичну цінність мають розробка та дослідження наступних фрагментів середовищ та питань побудови паралельних моделей: вхідні мови специфікації об'єктів моделювання (ДСЗП, ДСРП) на технологічному рівні; формальне описування топологій та динамічних процесів; топологічні аналізатори; генератори рівнянь [18,19]; вибір, обґрунтування методів паралельного рішення рівнянь ДСЗП, ДСРП, побудова вирішувачів [19]; підходи до розпаралелювання, побудова віртуальних паралельних моделей та їх апріорний аналіз [19, 20]; девіртуалізація та відображення моделей на цільові паралельні архітектури[19,20]; декомпозиція РПМС на підсистеми, побудова підсистеми діалогу, дружньої до експерта заданої предметної області, та ефективних засобів візуалізації результатів моделювання [18]; аналіз ефективності паралельних моделей, оптимізація процесів обміну інформацією в РПМС [14,16,18,19]; інтеграція моделюючого середовища з САПР динамічних систем даної предметної області.

8 Організація розробок РПМС. Досвід міжнародного співробітництва

Проблема побудови РПМС є предметом наукового співробітництва факультету ОТІ з інститутом паралельних і розподілених систем (IPVS), федеральним центром надпотужних обчислювальних систем (HLRS) Штуттгартського університету. Вона входить також в державну програму України “Розробка конкурентоспроможних засобів моделювання складних систем”. В рамках проблеми виконуються теми дисертаційних робіт аспірантів, курсових, дипломних та магістерських робіт студентів. Аспект побудови MIMD-компоненти проблемно-орієнтованого середовища на базі кластера паралельно працюючих ПЕОМ досліджується разом з інститутом моделювання та графіки (ISG) Магдебурзького університету. Розробка проблемно орієнтованих середовищ виконується з інститутом системної динаміки та автоматичного керування (ISR) Штуттгартського університету, Макс-Планк-інститутом динаміки складних технічних систем (Магдебург) і СДПП “Азот” (м. Сіверськодонецьк). Проблема інтеграції моделюючих середовищ з САПР досліджується разом з інститутом автоматизації та програмного забезпечення (IAS) Штуттгартського університету. За сприяння міністерства освіти та науки (BMBF) ФРН та кафедри автоматичного керування Ерлангенського університету факультетом ОТІ ДонНТУ та ППМЕ НАН України виконано дослідження питань модельної підтримки проектування автоматизованих систем для ДСРП (проект PROAUT). Експериментальні дослідження виконуються на емуляторі SIMD-систем, на 10-вузловому MIMD-комп’ютері Intel Paragon та на паралельних системах IPVS, HLRS в режимі теледоступу (рис.3), який успішно функціонує з 1992 року. За цей період нами набуто практичний досвід реалізації паралельних моделей на системах MasPar (16K PE), Intel Paragon, CRAY T3E. З грудня 2005 року РПМС підключено до ресурсів системи NEC SX8 (576 вузлів). Масштабним індустріально-орієнтованим науковим проектом є розробка моделюючого і сервісного центру для вугільної промисловості України [21].

9 Висновки

Паралельне моделювання (Parallel Simulation Technology) складних динамічних систем з зосередженими (ДСЗП) та розподіленими (ДСРП) параметрами є інтердисциплінарною проблемою, над вирішенням якої активно працюють інформатики, спеціалісти з моделювання, експерти різних предметних областей. Запропонована нами концепція розподіленого паралельного моделюючого середовища (РПМС) як нової форми системної організації засобів моделювання ДСЗП, ДСРП відкриває позитивні перспективи ефективного використання наявних паралельних обчислювальних ресурсів та комплексного вирішення проблеми. Побудова проблемно орієнтованих паралельних моделюючих середовищ в різних галузях техніки є важливим методичним кроком в використанні загальної концепції, нагромадження досвіду рішення прикладних задач, його узагальнення та використання в універсальному середовищі. Декомпозиція РПМС на підсистеми та реалізація підсистем прискорять впровадження паралельного моделювання в наукових дослідженнях, в промисловості, підприємстві та в навчальному процесі вузів, зокрема, в технологіях дистантної освіти. Комплексне вирішення проблем паралельного моделювання в тісній співпраці з зарубіжними вченими та університетами відкриває перспективи наукового зростання студентів-магістрантів, аспірантів, викладачів вузів, є суттєвим чинником інтеграції України в європейський та світовий науковий і освітній простори.

Література

1. Пухов Г. Е. и др. Аналого-цифровые вычислительные системы для решения краевых задач. М.: Изд-во МГИ, 1969, с. 5-12.
2. Пухов Г. Е., Евдокимов В. Ф., Синьков М. В. Разрядно-аналоговые вычислительные системы. М.: Сов. радио, 1978 – 256 с.
3. Евдокимов В. Ф., Стасюк А. И. Параллельные вычислительные структуры на основе разрядных методов вычислений. Киев: Наук. думка, 1987 – 312 с.
4. Святный В.А. Вопросы разработки и применения аналого-цифровых моделей АСУ ТП. – В кн.: Теория и методы математического моделирования. М.: Наука, 1978, с.167-169.
5. Святный В.А. Гибридные вычислительные системы. – Киев: Вища школа, 1981, 248 с.
6. Святный В.А. Подсистема аналого-цифровых моделей САПР САУ и АСУ ТП. Труды МВТУ № 407. Автоматизированное проектирование систем управления. Межвузовский сборник. Вып. 2. – М.: МВТУ, 1984, с. 137-145.

7. ISRSIM: Simulationssystem für dynamische Systeme mit graphischer Bedienoberfläche. Version 5.0. 1990 / W. Krämer, Th. Pauschinger, E. Rotfuß, M. Zeitz / - Universität Stuttgart, 1990.
8. ACSL: Advanced Continuous Simulation Language. Documentation, 1997.
9. MATLAB-SIMULINK: eine Leistungsfähige Umgebung für die Simulation nichtlinearer dynamischer Systeme. The MathWorks inc., 1996.
10. Schmidt B.: Simulationssysteme der 5. Generation. SiP, Heft 1, 1994, S. 5-6.
11. Бройнль Т. Паралельне програмування (пер. з німецької В.А.Святого), Київ: Вища школа, 1997, 358 с.
12. Nagel W. E., Jäger W., Resch M. (Eds.): High Performance Computing in Science and Engineering'05. Springer-Verlag, 2005.
13. Хьюз К., Хьюз Т. Параллельное и распределенное программирование с использованием C++. Пер. с англ. Изд.: Вильямс, 2004, 672 с.
14. Feldmann L.P., Svjatnyj V.A., Bräunl T., Reuter A., Zeitz M.: Implementierung und Effizienzanalyse der parallelen Simulationsalgorithmen für dynamische Systeme mit verteilten Parametern (Plenarvortrag). 11. Symposium ASIM'97, Tagungsband, Vieweg, 1997, S. 38-47.
15. Anoprienko A.J., Svjatnyj V.A., Bräunl T., Reuter A., Zeitz M.: Massiv parallele Simulationsumgebung für dynamische Systeme mit konzentrierten und verteilten Parametern. 9. Symposium ASIM'94, Tagungsband, Vieweg, 1994, S. 183-188.
16. Feldmann L.P., Svjatnyj V.A., Lapko V.V. Gilles E.-D., Reuter A., Rothermel K., Zeitz M.: Parallele Simulationstechnik. In: Problems of Simulation and Computer-Aided Design of Dynamic Systems. Collected Volume of Scientific Papers. Donetsk State Technical University, Donetsk 1999, 9 – 19.
17. Borchard J.: Newton-type decomposition methods in large-scale dynamic process simulation. In: Computers and Chemical Engineering, 25 (2001), 951-961.
18. Svjatnyj V.A., Nadeev D.V., Solonin O. M., Rothermel K., Zeitz M.: Subsysteme einer verteilten parallelen Simulationsumgebung für dynamische Systeme. 16. Symposium ASIM 2002, Tagungsband, 2002, S. 64 – 69.
19. Svjatnyj V.A., Moldovanova O.V., Cheptsov O.O., Rothermel K., Zeitz M. Generierung und parallele Lösung von Simulationsmodellen für Netzobjekte mit verteilten Parametern. In: R.Hohmann (Hrsg.), Tagungsband 17. ASIM-Symposium Simulationstechnik, Magdeburg 2003, SCS 2003, 193-198.
20. Svjatnyj V.A., Moldovanova O.V., Feldmann L.P.: Parallele Simulationsumgebung für dynamische Netzobjekte mit verteilten Parametern. In: F.Hülsemann u.a. (Hrsg.), Tagungsband 18. ASIM-Symposium Simulationstechnik, Erlangen 2005, SCS 2005, 416-421.
21. Svjatnyj V., Beljaev O., Lapko V., Tschepzov O., Hohmann R.: Zur Entwicklungsorganisation des Simulations- und Servicezentrums für die Kohleindustrie. In: F.Hülsemann u.a. (Hrsg.), Tagungsband 18. ASIM-Symposium Simulationstechnik, Erlangen 2005, SCS 2005, 554-559.