Національна академія наук України
Інститут кібернетики ім. В.М.Глушкова

На правах рукопису

ЗАХАРІЯ Любов Михайлівна

УДК 51.681.3

ДЕЯКІ ПИТАННЯ БАГАТОРІВНЕВОГО ПРОЕКТУВАННЯ СПЕЦІАЛІЗОВАНИХ ЕКСПЕРТНИХ СИСТЕМ.

01.05.03 - математичне та програмне забезпечення обчислювальних машин та систем.

Автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня кандидата фізико-математичних наук.

Київ 1997

АС. 38.522

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана у відділі автоматизації програмування Інституту кібернетики ім. В. М. Глушкова НАН України.

Науковий керівник: доктор технічних наук,
професор Цейтлін Георгій Овсійович.

Офіційні опоненти: доктор технічних наук,
Стукало Олександр Семенович,

кандидат фізико-математичних наук,
Дерецький Валентин Олександрович.

Провідна організація: Київський національний університет
ім. Т.Г.Шевченка.

ЛННБ України ім.В.Стефаника
00751455 (R)

Захист відбудеться "24" вересня 1997 р. об 11 год.
на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 01.39.02 при Інституті Кібернетики ім.Глушкова НАН України за адресою:

252022 Київ 22, проспект Академіка Глушкова, 40.

З дисертацією можна ознайомитись в науково-технічному архіві інституту.

Автореферат розіслано "19" вересня 1997 року

Учений секретар
спеціалізованої вченої ради СИНЯВСЬКИЙ В.Ф.

Актуальність

Розширення сфери використання комп'ютерної техніки вимагає створення засобів проектування алгоритмів та синтезу прикладних програмних продуктів в різних предметних областях. Відомі класичні алгоритмічні системи були спрямовані в основному на доведення базових фундаментальних положень теорії алгоритмів. В якості алгоритмічних систем, орієнтованих на проектування та опис алгоритмів, виступали мови програмування. При цьому задачі проектування поєднувались зі специфікою мов програмування, орієнтованих в кінцевому підсумку на машинне виконання. Крім того, на рівні мов програмування проблеми еквівалентності, перетворення програм, їх верифікації і т.п. стають достатньо нетривіальними. Проблеми проектування класів алгоритмів природньо вирішувати засобами алгоритмічних систем надвисокого рівня. Серед таких підходів відмітимо метод формалізованих технічних завдань і алгебраїчне програмування, функціональне і композиційне програмування, R-технологію, методи синтезу і управління в пакетах прикладних програм. У цьому зв'язку особливо важливою є розробка метаалгебр - систем, за допомогою яких породжуються алгебро-граматичні формалізми, пов'язані з різними методами проектування. Дана дисертаційна робота присвячена дослідженню метаалгебри, орієнтованої на породження таких формалізмів, що пов'язані з методом багаторівневого структурного проектування класів алгоритмів і програм. Специфіка вказанного підходу полягає в його орієнтації на формування алгоритмічних знань, по яким синтезуються як окремі алгоритми, так і цілі їх класи, пов'язані з конкретними предметними областями. При цьому встановлюються взаємозв'язки не тільки між різними алгоритмами одного і того ж класу алгоритмів, але й між самими класами алгоритмів споріднених предметних областей (ПрО). Такий підхід дозволяє отримувати більш ефективні по тим чи іншим характеристикам алгоритми, генерувати цілі класи нових алгоритмів, здійснювати автоматизований, а при певних умовах і автоматичний, синтез програм по їх алгоритмічним специфікаціям. Дана робота виконана в рамках перспективного напрямку досліджень, започаткованого фундаментальними працями В.М.Глушкова в області систем алгоритмічних алгебр (САА). Цей напрямок поєднує цикл робіт по створенню математичних та інструментальних засобів методу багаторівневого структурного проектування програм (БСПП) та його впровадження.

ІК ім. В. Стефаника
АН України

Мета дисертаційної роботи

– створення формалізованих засобів конструювання алгоритмічних знань з урахуванням різних типів відношень між ними: *абстрагування, конкретизації, трансформації*;

– розробка інструментальних засобів побудови баз знань та їх адекватного відображення в спеціалізованих експертних системах;

– апробація запропонованих засобів шляхом створення спеціалізованої експертної системи сортування масивів.

Наукова новизна

1. В рамках запропонованої метаалгебри вперше створені формалізовані засоби проектування та синтезу алгоритмічних знань, асоційованих із вибраними предметними областями. Проаналізована функціональна повнота запропонованих мовних засобів представлення знань.

2. На єдиній концептуальній основі розроблені інструментальні засоби підтримки всіх рівнів проектування: від схем класів алгоритмів до їх окремих представників і абстрактних типів даних (АТД), які описують базові поняття предметної області.

3. Створена база знань алгоритмів сортування масивів засобами запропонованого математичного апарату.

4. З метою апробації, що підтверджує новизну та ефективність запропонованого підходу, створена спеціалізована експертна система сортування масивів СОРТ.

Практична цінність

Описані інстументальні засоби реалізовані на спектрі машин: від ЄС ЕОМ, СМ ЕОМ до ПК, і використовувались при розв'язку ряду важливих прикладних задач. Вони ввійшли до складу програмного забезпечення першого вітчизняного ПК Нейрон. На базі інстументарію створена система програмування для однорідних обчислювальних середовищ. Здійснена інтеграція інструментарію з системою аналітичних перетворень САА-схем та наступним синтезом по них програм на мові Аналітик для обчислювального двохпроцесорного комплексу СМ 1410.

Запропонований математичний апарат і інструментальні засоби використовуються для конструювання, синтезу та оцінки ефективності як окремих алгоритмів, так і їх класів. Такі класи є основою для побудови відповідних баз алгоритмічних знань досліджуваних предметних областей. Створені інстументальні засоби орієнтовані на побудову спеціалізованих експертних систем предметних областей. Синтезовані в такий спосіб спеціалізовані експертні системи можуть також використовуватись як навчальні засоби у відповідних предметних областях.

Простота і наглядність запропонованих алгебраїчних, мовних та інструментальних засобів в поєднанні з достатньою математичною строгістю апарату створює передумови їх використання при навчанні формалізованим методам програмування.

Публікація та апробація роботи

Наведені в роботі результати отримані автором самостійно і доповідались на Всесоюзних семінарах "Паралельне програмування та високопродуктивні системи" (Бердянськ 1986, Планерське 1989), на семінарах відділу автоматизації програмування ІК ім.В.М.Глушкова НАН України (листопад 1993р., березень 1997р.).

По темі дисертації опубліковано 10 робіт.

Структура і об'єм роботи

Робота складається з вступу, трьох розділів, висновків, списку літератури з 33 найменуваннь. Використані 3 малюнки і 2 таблиці. Основний машинописний текст роботи складає 108 стор.

Короткий зміст роботи

У вступі обгрунтовується актуальність досліджуваних проблем, визначається мета дисертації. Дається загальна характеристика досліджень, що стали передумовою даної роботи. Сформульовані основні результати, отримані в дисертації.

Перший розділ - це огляд основних теоретичних результатів по алгоритміці - прикладній теорії алгоритмів - напрямку, сформованому та розвиненому в Київській алгебро-кібернетичній школі, створеній акад. В.М.Глушковим. В рамках алгоритміки будуються алгебри алгоритмів, покладені в основу різноманітних методів формалізованого конструювання алгоритмів і програм. Кожна з алгебр визначається сигнатурою операцій над основою (основами) алгебри, а процес формалізованого проектування алгоримів в кожній з цих алгебр зводиться до суперпозиції схем. Суперпозиція схем - це підстановка одних схем в інші, яка при низхідному проектуванні (розгортці) приводить до тексту проекту на базовій мові програмування, а при висхідному (згортці) - до порівневого узагальнення схеми програми в процесі її збору із раніше визначених підпорядкованих схем або програмних модулів. Розглянемо алгебру Дейкстри АД={$Д_0$,L(2);СИГН} структурних схем алгоритмів. Вона є двохосновною алгеброю над нескінченною множиною операторів $Д_0$ (змінні операторів позначимо A,B,C...) і булевих функцій L(2) (змінні логічних умов позначимо u_1, u_2, u_3 ...). Сигнатуру СИГН алгебри Дейкстри на множині $Д_0$ складають операції ***композиції*** A*B (послідовного виконання операторів A та B), ***альтернативи*** ([u]A,B) (розгалуження обчислювального процесу), ***циклу*** {[u]A} (багатократного виконання оператора A при хибному значенню умови

u), а на множині L(2) - операції *диз'юнкції, кон'юнкції* та *заперечення*. Побудуємо метаалгебру Дейкстри M_АД={$Д_0'$, L(2)';СИГН'}, де $Д_0'$ - множина операторних схем, L(2)' - множина булевих функцій, а СИГН' - сигнатура операцій, що складається з операцій суперпозиції елементів основ, ототожнення та перейменування операторних і логічних змінних. Множина операторних схем $Д_0'$ отримана в результаті замикання системи твірних метаалгебри, яка утворює сигнатуру операцій СИГН алгебри Дейкстри АД. Змінюючи систему твірних для множин $Д_0'$, L(2)' в рамках даної метаалгебри можна побудувати різноманітні алгебри структурних схем, наприклад, алгебру структурних схем з циклом DO-WHILE-DO та ін. Виникає питання при яких умовах довільно обрані системи операторних схем та булевих функцій є функціонально повними в побудованій метаалгебрі.

Теорема 1.2.

Критерій функціональної повноти

Функціонально повна в метаалгебрі M_АД система повинна

- задовільняти критерію функціональної повноти для алгебри логіки, тобто містити хоча б одну немонотонну, хоча б одну несамодвоїсту, хоча б одну нелінійну, хоча б одну не зберігаючу константу 0, хоча б одну не зберігаючу константу 1 функції;
- містити хоча б одну схему поза класом схем, які не зводяться до тотожнього оператору E, хоча б одну схему поза класом схем, які не зводяться до усіченої альтернативи виду ([u]A)=([u]E,A); хоча б одну схему поза класом ациклічних схем, хоча б одну схему поза класом схем, які залежать від однієї операторної змінної.

Теорема 1.2.

Послаблений критерій функціональної повноти.

Нехай задана система σ логічних та операторних функцій, яка містить логічні константи 0,1 та тотожній оператор E. Для того, щоб система була функціонально повною в M_АД, необхідно та достатньо

- щоб вона містила хоча б одну немонотонну і хоча б одну нелінійну булеві функції;
- хоча б одну схему поза класом схем, що не зводяться до усіченої альтернативи виду ([u]A)=([u]E,A); хоча б одну схему поза класом ациклічних схем, хоча б одну схему поза класом схем, які залежать від однієї операторної змінної.

Наслідок 1.

M_АД має дев'ять предповних замкнених класів.

Наслідок 2.
М_АД з логічними константами 0,1 та тотожнім оператором Е має п'ять предповних замкнених класів.

Визначимо алгебру схематології як метаалгебру АС=<{ОС,L(2)};СУПЕР>, де ОС - сукупність різних операторних схем, залежних від операторних і предикатних змінних; L(2) - сукупність булевих функцій, залежних від предикатних змінних, СУПЕР - сигнатура операцій, що складається з суперпозиції елементів основ ОС і L(2), а також операцій ототожнення та перейменування логічних і операторних змінних. АС задає механізм породження різноманітних алгебр алгоритмів в рамках даної метасистеми. Якщо для побудови ОС, L(2) використовуються операції СИГН - отримаємо М_АД. Розглянемо процес побудови метаалгебри граф-схем Калужніна в рамках визначеної таким чином АС.

Відома алгебра алгоритмів Калужніна (АК) задає процес проектування алгоритмів в термінах граф-схем. Граф-схеми задаються бінарним відношенням на множині $V=A\cup U$, де $v\in V$ - відмітка вузла. Вузел називається операторним, якщо $v\in A$ - множині операторів, і розпізнавачем, якщо $v\in U$ - множині умов. Бінарне відношення (v,v') задає наявність орієнтованого зв'язку між вузлами з відмітками v,v'. Множину вузлів доповнено вузлами ВХІД та ВИХІД, де ВХІД приєднаний до всіх вузлів, в які не входить жодна дуга, а в ВИХІД входять зв'язки від всіх вузлів, що не мають вихідних дуг. В граф-схемі алгоритму з вхідного та кожного операторного вузлів виходить одна дуга, з кожного розпізнавача - дві дуги, відмічені відповідно знаками + та –. Операція суперпозиції для граф-схем алгоритмів не є коректною в тому плані, що розпізнавач може бути замінений граф-схемою, що містить операторні вузли і тому може змінювати оброблювані дані. Дана проблема може бути вирішена шляхом введення заборони на здійснення заміни розпізнавачів граф-схемами, що містять операторні вузли, або побудовою двохосновної метаалгебри граф-схем, в рамках якої буде знята проблема некоректності суперпозиції. Побудуємо металгебру АК={ОС,СР;Супер}, де ОС - множина граф-схем алгоритмів, в склад яких входять операторні вузли та вузли-розпізнавачі, СР - граф- схеми, що складаються тільки з вузлів-розпізнавачів, а Супер - сигнатура операцій суперпозиції, ототожнення та перейменування вузлів. Замикання по суперпозиції, яка у випадку розпізнавачів не виводить поза межі СР, забезпечує її коректність.

Введення в сигнатуру алгебри Дейкстри АД операції прогнозування приводить до системи алгоритмічних алгебр (САА) Глушкова. Сигнатура СИГН'' САА включає в себе всі операції, що

входять до сигнатури СИГН АД , а також операцію лівого множення оператора на умову u=A·u′, яка задає прогнозування обчислювального процесу. Дана операція визначає предикат u, що дорівнює предикату u′ в такому стані m′ інформаційної множини IM (множини оброблюваних даних), який міг бути отриманий у випадку виконання оператора A (m′=A(m), u(m)=u′(m′)). Аналогічно до АД може бути побудована метаалгебра M_CAA={Д₀″, L(2)″;СИГН″}, систему твірних якої складає СИГН′ ∪ <операція прогнозування>.

Змінюючи набір твірних та замикаючи їх по операції суперпозиції, ми можемо отримати нескінченну множину різноманітних алгебр алгоритмів, що, зокрема, реалізують різні методи проектування їх класів. Надалі нас будуть цікавити механізми побудови алгебр алгоритмів, асоційованих з методом структурного програмування.

Теоретичний фундамент проведених в даній роботі досліджень на предмет представлення алгоритмічних знань складають алгебри алгоритмів і структур даних CAA/M=<A,U,O;Ω>, (A,U,O - основи алгебри, A - множина операторів, U- множина логічних умов, O - множина об'єктів, які визначають структури оброблюваних даних). Сигнатуру Ω складають

1. логічні операції *диз'юнкції*, *кон'юнкції*, *заперечення*, що породжують логічні умови;

2.операції *композиції*, *альтернативи*, *циклу*, що породжують оператори;

3.операція *лівого множення* оператора на умову, що задає прогнозування обчислювального процесу;

4. операція *правого множення* оператора на умову, яка задає ретроспективу обчислювального процесу;

5. операції *синхронної* та *асинхронної диз'юнкції*, операції *синхронізації* та *фільтрації*, що визначають паралельне виконання операторів;

6. відповідним чином проінтерпретовані операції композиції, альтернативи, циклу породжують об'єкти - сукупності розмічених послідовностей даних, наділених спеціальними розділювачами (квазівниками та маркерами), які фіксують стан обробки інформації. Таким чином формалізована концепція Хоара опису структур даних з використанням керуючих алгоритмічних конструкцій, що забезпечує цілісність запропонованого підходу і компактність мовних засобів.

Регулярна схема (РС) отримується внаслідок суперпозиції операцій 1-5 і елементарних операторів та логічних умов, об'єктна регулярна схема (ОРС) - внаслідок суперпозиції логічних операцій та відповідним чином проінтерпретованих керуючих алгоритмічних конструкцій над елементарними об'єктами і умовами.

Замикання по даним операціям множини A (елементарних операторів), U (елементарних умов), O (елементарних об'єктів) призводить до представлення деякого класу алгоритмів. Розглядаючи A, U, O як набір елементарних знань, що характеризує певну предметну область, можна стверджувати, що утворений таким чином клас алгоритмів та даних містить в собі алгоритмічні знання даної ПрО. Задавши множину предикатів, які б визначали відношення приналежності алгоритмів і даних до цієї предметної області, ми отримаємо формалізовану модель ПрО. Одним з фундаментальних понять сучасного програмування є поняття АТД, яке використовується при проектуванні та синтезі програм, а також при побудові алгоритмічних баз знань в спеціалізованих експертних системах.

В рамках запропонованого формалізму під АТД будемо розуміти алгебраїчну систему

СД=<O,A,U>,

де O - основа алгебраїчної системи, утворена сукупністю елементарних об'єктів,

A, U - її сигнатура (A - скінчений набір елементарних операторів, U - елементарних умов).

Сигнатура АТД фіксує засоби доступу до даних, приналежних його основі. Алгоритми описуються як РС, що визначаються над сигнатурою АТД. Таким чином приходимо до АТД як засобу формалізованого представлення алгоритмічних знань ПрО. Нарощуючи рівень, A , U, O з точки зору багаторівневості проектування (згідно із стратегією висхідного проектування) ми розширюємо клас алгоритмів, що представляються даним АТД. Заміна базису АТД приводить до нових класів алгоритмів, що мають різний степінь спорідненості в залежності від рівня проектування, представленого таким АТД. Наприклад, в даній роботі визначено АТД алгоритмів сортування числових масивів. Якщо замінити в ньому ОРС числового масиву на ОРС символьного масиву, отримаємо клас алгоритмів сортування символьних масивів, а замінивши деякі елементарні оператори та умови сигнатури АТД сортування числових масивів на такі, що визначають особливості пошуку в файлах отримаємо клас алгоритмів пошуку.

Отже, визначивши АТД як багатоосновну алгебраїчну систему, ми отримали не тільки засіб представлення алгоритмічних знань, але й засіб породження нових знань та встановлення зв'язку між спорідненими предметними областями.

Метою розділу 2 є розвиток математичних, лінгвістичних та інструментальних засобів в напрямку їх використання для формалізованого проектування класів алгоритмів ПрО та створення

спеціалізованих експертних систем. Прототипом виконаних досліджень є система Мультипроцесист, в розробці якої автор приймала безпосередню участь. Мовне забезпечення складає мова структурних схем САА/1. САА-схема в цій мові - набір рівностей, праві частини яких представляють складені оператори, умови, об'єкти у вигляді виразів в САА. При конструюванні САА- схем використовуються наступні метаправила конструювання - абстрагування, конкретизація, трансформація. В залежності від ступеня конкретизації змінних операторів, умов чи об'єктів, схеми можуть бути *неінтерпретованими, частково-інтерпретованими та інтерпретованими.* Інтерпретація РС- однозначно визначена дія оператору чи умови над конкретними даними. Неінтерпретовані РС схеми не містять інтерпретацій змінних операторів чи умов і задають цілий клас алгоритмів із спільною послідовністю операцій алгебри. Перехід від неінтерпретованої схеми класу алгоритмів до конкретного алгоритму пов'язаний з інтерпретацією операторних і логічних змінних, що передбачає задання структур даних алгоритму. При цьому інтерпретації операторів та умов визначаються як операції доступу до цих структур даних. В процесі такого переходу різні етапи проектування алгоритму задаються частково-інтерпретованими схемами, які містять одночасно як проінтерпретовані, так і непроінтерпретовані змінні операторів, умов, та об'єктів. Частково-інтерпретовані схеми, що називаються ще *стратегіями обробки*, задають клас алгоритмів з однаковою послідовністю операцій алгебри, деякими спільними структурами даних та операціями доступу до них. Таким чином, процесс проектування алгоритму задає поетапну побудову АТД даного класу алгоритмів.

Інтерпретації змінних схеми в сукупності з засобами мови САА/1 утворюють сімейство мов інтепретованих САА-схем для представлення знань різних ПрО. Обмежимося вивченням алгоритмічних знань, що відносяться до методів символьної обробки даних (сортування, пошук, мовне процесування). Наведемо обгрунтування повноти сімейства мов інтерпретації САА-схем, що базується на послабленому критерії функціональної повноти М_АД(теорема 1.2).

Теорема 2.1

Достатніми умовами повноти М_АД з логічними константами 0,1, та тотожнім оператором Е є:

- для того, щоб схема не належала до класу схем, які не зводяться до усіченої альтернативи, достатньо щоб вона трансформаційно зводилась до схеми виду ([u]A)=([u]E,A);

• для того, щоб схема не належала до класу ациклічних схем, достатньо щоб вона трансформаційно зводилась до циклу {[u]A}, де u≠1, A≠E;

• для того щоб схема не належала до класу схем, що залежать від однієї операторної змінної, достатньо щоб вона містила хоча б дві операторні змінні.

Наслідок 1. Конструкції мови САА/1 задовільняють сформульованому критерію повноти. Ці конструкції містять булеві операції *диз'юнкції*, *кон'юнкції*, *заперечення*, що утворюють повну систему в алгебрі логіки, та операції *композиції*, *альтернативи* та *циклу*. Остання задовільняє першим двом положенням теореми, тоді як *композиція* та *альтернатива* - третьому положенню.

Наслідок 2. Конструкції сімейства інтерпретованих САА-мов, асоційованих з методами символьної обробки, утворюють функціонально повні набори.

Об'єктами мов інтепретованих РС та ОРС є абстракції умов, операторів та об'єктів, які діляться на елементарні та складені. Елементарні складають базис ПрО, складені - будуються з елементарних шляхом суперпозиції операцій мови і задають рівні проектування алгоритму. Вони можуть бути представлені у вигляді стандартних ідентифікаторів (із зарезервованою першою буквою під їх тип), або у вигляді змістовних ідентифікаторів (обмежених з обох боків символом " для операторів, і символом ' - для умов, { - для об'єктів). Змістовні ідентифікатори задають текстову семантику виконуваних ними дій, завдяки чому текст САА- схем в описуваних мовах служить документацією на створену програму. Зв'язок між операторами та даними здійснюється через параметри, що вказуються в тексті змістовного ідентифікатора. Параметри можуть бути іменами ОРС, іменами реалізацій структур даних в цільовій мові програмування або константами. Таким чином через змістовні оператори чи об'єкти задається зв'язок між даними та операторами.

В склад сімейства мов, що підтримують процеси проектування, входить також мова САА-машини. САА-машина - це механізм, реалізований програмно, що забезпечує інтерпретацію команд САА-програми. Командами САА-машини є:

- команди сигнатури операцій САА/М;
- команди виклику та виконання елементарних операторів та умов;
- команда реалізації операції суперпозиції при виконанні складених операторів та умов;
- команди роботи з вхідним потоком даних та формування вихідного потоку результатів.

САА-машина - це механізм інтерпретації САА схем, який надає пакет засобів відладки. Додатково САА-машина має набір стандартних процедур роботи з символьними потоками вхідних і вихідних даних (вводу, розпізнання входжень по зразку, трансляції одних входжень в інші) і тому реалізує процес синтаксичного аналізу та трансляції по довільній LL(1)- граматиці. Система Мультипроцесист була створена засобами САА- машини з наборів LL(1)- граматик різних компонент системи та набору процедур базису ПрО синтаксичної трансляції та обробки символьних послідовностей, тобто при створенні системи Мультипроцесист використаний запропонований в даній роботі підхід до проектування класів алгоритмів. Заміна або модифікація LL(1)-граматики опису різних мов, ми тим самим підключаємо їх в якості вхідних мов системи Мультипроцесист і отримуємо засоби представлення різних алгебр структурних алгоритмів, сигнатура яких задовільняє критеріям функціональної повноти, сформульованим в теоремах 1.2 та 2.1. Мова САА-програм і сама САА-машина були розроблені автором на мові Паскаль при реалізації системи Мультипроцесист на машинах класу СМ (в середовищі операційних систем РАФОС і ОС РВ) та на персональних комп'ютерах, а також при розробці програмного забезпечення однорідних обчислювальних середовищ.

Описаний математичний та мовний апарат САА/М покладений в основу методу БСПП, що реалізує такі прийоми проектування як *інтерпретація*, *переінтерпретація* (переорієнтація) та *трансформація* при порівневому конструюванні схем алгоритмів та синтезі по них текстів програм у вибраній мові програмування. Прийоми інтерпретації, переінтерпретації та трансформації являються втіленням різних послідовностей операцій суперпозиції схем алгоритмів. БСПП підтримується інстументальною системою Мультипроцесист, що реалізує прийоми проектування класів алгоритмів, надає засоби по створенню АТД ПрО, здійснює синтез програм у вибраній мові програмування по оформлених в САА/1 проектах та бібліотеках (архівах) реалізацій операторів, умов, об'єктів; підтримує процеси трансформації, переінтепретації, переорієнтації САА-схем. Система працює з трьома видами взаємопов'язаних об'єктів: проектами, САА-схемами тв бібліотеками реалізацій понять предметної області. Проект задає АТД даного класу алгоритмів; роботу з проектами реалізує команда "Проект" із меню системи, надаючи можливість перегляду та редагування списку САА- схем проекту, вибору і розміщення потрібної схеми у вікні "Схема". Команди "Аналіз" та "Синтез" надають можливості редагування, трансляції та синтезу відповідної до схеми програми в цільовій мові програмування

(підтримуються макроасемблер, Паскаль, Аналітик, мова САА-машини). Для здійснення синтезу крім САА-схем потрібна наявність реалізацій сигнатури АТД в цільовій мові програмування. Такі реалізації можуть бути внесені наперед у бібліотеку реалізацій ПрО, або створюватись безпосередньо перед синтезом у вікні "Реалізація". Змістовні ідентифікатори операторів, умов та ОРС, назвемо поняттями ПрО. Роботу зі списком понять ПрО забезпечує команда "Поняття", надаючи засоби редагування списку понять та його реалізації. Команда "Перетворення" реалізує згортку та розгортку схем, які пов'язані з прийомами породження нових алгоритмічних знань: трансформацією, переорієтацією та інтерпретацією схем. Компонентами системи Мультипроцесист є програма управління системою меню, редактор текстів, САА-машина, що реалізує функції синтаксичного аналізу по LL(1)- граматиках та інтерпретації САА-схем, синтезатор програм, модулі згортки та розгортки схем.

Таким чином, в термінах управляючих структур можуть бути описані алгоритми управління в різних програмних системах (операційних системах, ППП та ін.). В цьому контексті доцільно нагадати про ефективне використання концепції структурованості в КСМ- середовищі розробки різних ППП.

Розділ 3 присвячений створеній на основі запропонованого математичного апарату та інструментальних засобів спеціалізованій експертній системі СОРТ алгоритмів послідовного сортування. Основу довільної експертної системи складає база знань ПрО, що представляє собою складну ієрархічну структуру, яка на нижніх рівнях ієрархії складається з реалізацій базових понять предметної області, а на верхніх - з реалізацій методів, алгоритмів прийняття рішень в даній ПрО. Формування компонент верхніх рівнів бази алгоритмічних знань пропонується здійснювати у вигляді САА-схем різних типів над базисом ПрО. Базисні поняття, реалізовані у вигляді програмних компонент на мові програмування складають архів експертної системи. Між базисними поняттями архіву, а також між САА-схемами алгоритмів ПрО визначаються відношення різних типів. Ці відношення, з одного боку, обумовлені особливостями метаправил конструювання САА-схем алгоритмів і є спільними для побудови довільної бази алгоритмічних знань експертної системи, а з другого боку, це відношення, що визначаються специфікою обраної ПрО. Відношення конкретизації, переінтерпретації та трансформації зумовлені метаправилами конструювання. Відношення, зумовлене конкретизацією, визначає підпорядкованість САА-схем з точки зору багаторівневого проектування. Відношення, зумовлене переінтерпретацією - взаємозв'язок між САА-схемами з однаковою

стратегією обчислень над різними множинами базисних змінних. Відношення, зумовлене трансформацією, визначає зв'язок між двома схемами, що можуть бути приведеними одна до одної шляхом застосування тотожностей, квазітотожностей та співвідношень, в яких втілена специфіка обраної ПрО. З цієї точки зору є природнім використання граматик структурного проектування (ГСП) для представлення бази алгоритмічних знань, оскільки термінальний алфавіт ГСП складають оператори, умови та об'єкти ПрО, нетермінальний - метазмінні складених логічних умов, операторів, об'єктів, а правила виводу -метаправила конкретизації, трансформації та переінтерпретації. Правила виводу в ГСП задають машину виводу створюваної експертної системи. Крім бази знань і машини виводу, невід'ємну частину експертної системи складають механізми реалізації зручного інтерфейсу з користувачем, а також навчаюча компонента і компонента оцінки якості прийнятого рішення в ПрО.

Інструментальними та математичними засобами, описаними в попередніх розділах, створена експертна система СОРТ алгоритмів внутрішніх сортувань масивів. База знань цієї системи складається з п'яти підкласів (проектів) алгоритмів сортувань. В основу поділу на класи покладені різні стратегії обробки масивів при сортуванні (бульбашкова, стратегія вставок, човникова , Шеловська та Хоаровська стратегії). В рамках кожного проекту алгоритми діляться на прямі, двоїсті, маятникові (відповідно зустрічний вільний, зустрічний взаємозалежний та коливний маятник). Двоїсті алгоритми мають однакові, але протилежно напрямлені стратегії обробки: якщо в прямих алгоритмах сортування напрямлене зліва направо по масиву, то в двоїстих - справа наліво. САА-схеми двоїстих алгоритмів будуються автоматично шляхом переінтепретації на основі взаємовідповідності двоїстих базисних операторів і умов та САА-схеми прямого алгоритму. Між алгоритмами встановлені відношення, зумовлені конкретизацією та трансформацією. Так, наприклад, на основі трансформаційної зведеності з бульбашкової стратегії сортування отримані Шеловська стратегія та стратегія сортування альтернативними вставками. Опис алгоритму сортування альтернативними вставками суттєво випередив аналогічні зарубіжні публікації. Зауважимо, що в обраній предметній області як правило не встановлювались зв'язки між алгоритмами (крім порівняння їх по часу виконання), не визначалась спільність різних з першого погляду алгоритмів на основі зведеності їх за метаправилами конструювання.

Крім бази знань основні компоненти експертної системи СОРТ представлені командами "Вивчення", "Вибір", "Аналіз". "Вивчення" передбачає демонстрацію динаміки сортування масиву вибраним

алгоритмом з динамічним показом переміщення вказівників та маркерів під час сортування; подання основних характеристик алгоритму: максимальних, мінімальных, середньостатистичних оцінок часу роботи цього алгоритму, вигляд масивів, що дають мінімальну, максимальну чи середню кількість проходів по масиву, кількість операцій порівняння, переміщення елементів при цьому; порівняльну класифікацію алгоритмів системи СОРТ по часу виконання; прогнозований час виконання алгоритмів в мікросекундах для масивів певної конфігурації та довжини. "Вибір" здійснює аналіз масиву користувача, вибраного для сортування, і видає рекомендації по найбільш оптимальним для цього масиву алгоритмам сортування; видає прогноз часу виконання вибраного алгоритму на масиві вказаної довжини. "Аналіз" надає можливість продовжити вивчення алгоритмів системи СОРТ з точки зору їх якісних характеристик, реалізує функції породження масивів заданої структури з використанням генератора випадкових чисел; дослідження кількості виконання операторів, умов САА-схеми вибраного алгоритму (компонента, подібна по можливостям команді Profile аналізу програм в Турбо Паскалі 7.0); статистична обробка основних характеристик алгоритму, отриманих на масивах різної довжини; надання апроксимаційних формул залежності цих характеристик від довжини масиву. Зокрема, для основних алгоритмів кожного класу засобами даної команди отримані наступні оцінки залежності часу виконання від довжини масиву:

Алгоритм	Оцінка складності часу виконання
Бульбашка	$7{,}565E\text{-}4 * N^2 - 3{,}754E\text{-}3 * N * \ln(N) + 23{,}768$
Човник	$2{,}688 * N^2 + 6{,}95 * N - 6{,}238$
Альтернативні вставки	$1{,}471E\text{-}4 * N^2 + 1{,}986E\text{-}2 * N + 7{,}106$
Шелла	$9{,}49E\text{-}5 * N^{1.86} + 25{,}98$
Хоара	$3{,}845E\text{-}3 * N * \ln(N) + 3{,}93.$

Побудована база алгоритмічних знань експертної системи СОРТ нараховує більше 50 алгоритмів, 10 000 стрічок Паскалю, в неї включені алгоритми послідовного сортування, що дало можливість реалізувати їх автоматизований синтез і використати при навчанні студентів прийомам проектування алгоритмів і програм на сучасній широко розповсюдженій комп"ютерній техніці. В перспективі передбачається розширити базу алгоритмічних знань системи СОРТ, а

також побудувати подібні експертні системи для інших задач символьної обробки.

Висновки

Сформулюємо основні результати дисертації:

1. Створена метаалгебра Дейкстри, призначена для породження алгебро-алгоритмічних формалізмів, пов'язаних з методом БСПП. Для цієї метаалгебри отримані достатні умови функціональної повноти системи конструкцій породжуваних формалізмів.
2. На базі апарату алгоритміки створені формалізованні засоби конструювання алгоритмічних знань, що базуються на метаправилах конкретизації, переорієнтації та трансформації.
3. Створені мовні засоби багаторівневого структурного проектування класів алгоритмів та програм, збагачені елементами об'єктної орієнтації та подання АТД.
4. Розроблені інструментальні засоби синтезу класів алгоритмів і програм, побудови баз алгоритмічних знань та їх адекватного відображення у відповідних спеціалізованих експертних системах.
5. Запропоновані засоби використовувались при розробці експертної системи СОРТ сортувань масивів.
6. Інструментальні засоби, в створенні яких автор данної дисертаційної роботи приймала безпосередню участь, ввійшли до складу програмного забезпечення вітчизняного персонального комп'ютера Нейрон.
7. На базі інструментарію створена система програмування для однорідних обчислювальних середовищ. Здійснена інтеграція інструментарію з системою аналітичних перетворень САА-схем та наступним синтезом по них програм на мові Аналітик для обчислювального двохпроцесорного комплексу СМ 1410.
8. Спеціалізована експертна система СОРТ використовується при навчанні студентів Львівської комерційної академії та факультету комп'ютерних наук Міжнародного Соломонового університету.

Публікації

1. Кожевнікова Г.П., Костирко В.С., Захарія Л.М.. Про один метод машинного аналізу складності алгоритмів., 1.5 др. Л, Препринт 79-14, Київ, Ін-т кібернетики ім. В.М. Глушкова, 1979
2. Грицай В.П., Захарія Л.М., Про проект автоматизованої системи структурного паралельного програмування Мультипроцесист, 0.2 др. л, Матеріали Всесоюзної конф. "Паралельне програмування і високопродуктивні системи", Новосибірськ, 1980

3. Грицай В.П., Захарія Л.М., Мультипроцесист-автоматизована система багаторівневого проектування програм. 0.3 др. л., Тези доповідей 9-ї Всесоюзної наради з питань управління, Єреван, 1983
4. Захарія В.П., Захарія Л.М., Тимців Р.І, Про реалізацію інструментарію багаторівневого структурного проектування програм на СМ-4., 0.3 др. Л, Тези доповіді Респ. конф. "Надійність і якість програмного забезпечення", Львів, 1985
5. Захарія В.П., Захарія Л.М., Технологія синтезу і відладки програм в системі Мультипроцесист СМ-41 др. л., 1 др. л., Тези доповідей 7-ї Всесоюз. школи-семінару "Паралельні програми і високопродуктивні системи", Київ, Ін-т кібернетики, 1986
6. Захарія В.П, Захарія Л.М., Інструментарій синтезу програм для міні- і мікро ЕОМ, ,1.5 др. Л, Кібернетика, №6, 1989
7. Захарія Л.М., Формалізоване проектування баз знань, 0.2 др. л., Матеріали науково-дослідн. роботи проф.-викл. складу Львівської комерційної академії , 1996
8. Захарія Л.М., Терзян Т.К., Цейтлін Г.О., Інструментарій конструювання експертних систем символьної обробки даних, 1.5 др.л., Математичні машини та системи, №1, 1997р.
9. Захарія Л.М., Засоби конструювання алгоритмічних знань на прикладі сортування альтернативними вставками, 0.5 др.л, УСІМ, № 3, 1997р.
10. Захарія Л.М., Деякі математичні та програмні засоби створення спеціалізованих експертних систем, 1.5 др.л.,Кібернетика та системний аналіз, №4, 1997р.

У праці 1 автору належать засоби аналізу складності алгоритмів, проектованих по методу багаторівневого проектування програм.
У працях 2, 3 автору належить реалізація блоку синтеза системи Мультипроцесист.
У працях 4 та 6 автору належать архітектурні рішення та програмна реалізація інтерпретатора САА-схем.
У праці 5 автору належить реалізація САА-машини - компоненти системи Мультипроцесист.

Л.М. Захария. Некоторые вопросы многоуровневого проектирования специализированных экспертных систем. Диссертация на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.05.03 - математическое и програмное обеспечение вычислительных машин и систем, Институт кибернетики им. В.М.Глушкова НАН Украины, Киев, 1997.

Диссертация содержит исследование метаалгебры, ориентированной на порождение алгебро-алгоритмических

формализмов, связанных с методом многоуровневого структурного проектирования классов алгоритмов и программ. Для построенной метаалгебры установлены достаточные условия функциональной полноты. Процесс проектирования ориентирован на создание алгоритмических знаний, по которым синтезируются как отдельные алгоритмы, так и целые их классы. Эти знания в комплексе с определенными типами отношений между ними, которые устанавливаются во время проектирования, составляют алгоритмическую базу знаний предметной области. Полученная при реализации такого подхода база знаний сортировок массивов положена в основу созданной экспертной системы СОРТ.

Zacharia L.M. Some aspects of special expert systems multilevel design.
The dissertation is presented for receiving the candidate of physical and mathematical sciences academic degree in speciality 01.05.03 - Mathematical support and software of computers and computer systems, V.M. Glushkov Institute of Cybernetics, National Academy of Sciences, Ukraine, Kiev, 1997.
Dissertation contains investigation of metaalgebra, oriented on generation of algebraic and algorithmic formalisms connected with multilevel structured design method of algorithms and programs classes. For created metaalgebra sufficient criteria of functional completeness are established. Design process is oriented on creation of algorithmic knowledge used to generate algorithms as well as their classes. This knowledge together with definite relation types between them, which are being established at design time, puts together application domain algorithmic knowledge base. Array sortings knowledge base developed using such an approach is the basis of created SORT expert system.

Ключові слова: *метаалгебра, системи алгоритмічних алгебр, система твірних, функціональна повнота, алгебраїчна система, модель, конкретизація, переінтерпретація, трансформація, абстрактний тип даних, граматика структурного проектування.*

Підписано до друку 31. 07. 97 р.
Формат 60x84/16. Папір писальний.
Віддруковано на різографі.
1 др. арк. 0,93 ум.друк. арк. 1,15 обл-вид. арк.
Тираж 100 прим. Зам. 404. Безкоштовно.

Віддруковано в друк. в-ва "Коопосвіта" ЛКА
290008 м. Львів, вул. У. Самчука, 6. Тел. 76-07-75.

434018

Ав 38.522