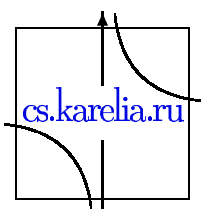


WEB-SYNDIC SYSTEM FOR
DEMONSTRATION AND RESEARCH
OF NOVEL SYNTACTIC ALGORITHMS
FOR SOLVING LINEAR DIOPHANTINE
EQUATIONS

СИСТЕМА WEB-SYNDIC ДЛЯ
ДЕМОНСТРАЦИИ И ИССЛЕДОВАНИЯ
НОВЫХ СИНТАКСИЧЕСКИХ
АЛГОРИТМОВ РЕШЕНИЯ ЛИНЕЙНЫХ
ДИОФАНТОВЫХ УРАВНЕНИЙ



Department of Computer Science

Кафедра информатики и математического обеспечения

Petrozavodsk State University

Петрозаводский государственный университет



Customer:

Y. A. Bogoyavlenskiy

Project management:

D. G. Korzun

Developers:

K. A. Kulakov,
M. A. Kryshen,
A. Y. Salo,
A. V. Ananin



Заказчик:

Ю. А. Богоявленский

Руководство проектом:

Д. Ж. Корзун

Разработчики:

К. А. Кулаков,
М. А. Крышень,
А. Ю. Сало,
А. В. Ананьин

PROBLEM DOMAIN

Nonnegative Linear Diophantine Equation (NLDE), n equations, m unknowns

$$Ax = b, \quad A \in \mathbb{Z}^{n \times m}, \quad b \in \mathbb{Z}^n, \quad x \in \mathbb{Z}_+^m$$

Hilbert basis (minimal solutions)

$$\mathcal{N} = \{x^{(1)}, x^{(2)}, \dots, x^{(p)}\}, \quad \mathcal{H} = \{h^{(1)}, h^{(2)}, \dots, h^{(q)}\}$$

$$x = x^{(l)} + \alpha_1 h^{(1)} + \dots + \alpha_q h^{(q)} = x^{(l)} + \sum_{s=1}^q \alpha_s h^{(s)}, \quad x^{(l)} \in \mathcal{N}$$

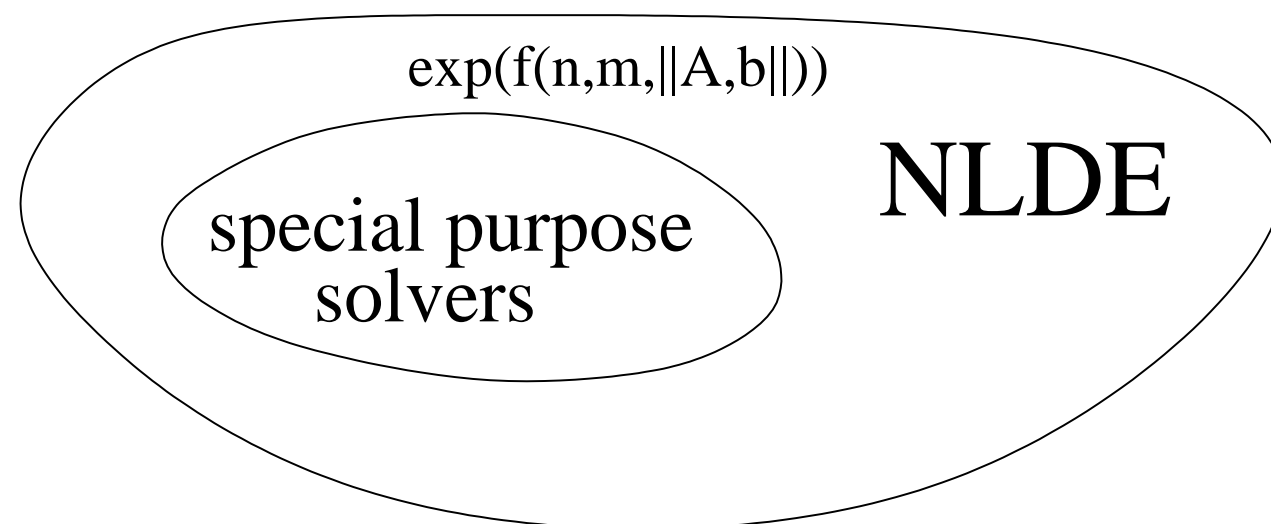
Complexity: NP-complete, overNP

ПРЕДМЕТНАЯ ОБЛАСТЬ

Неотрицательное линейное диофантово уравнение (НЛДУ), n уравнений, m неизвестных

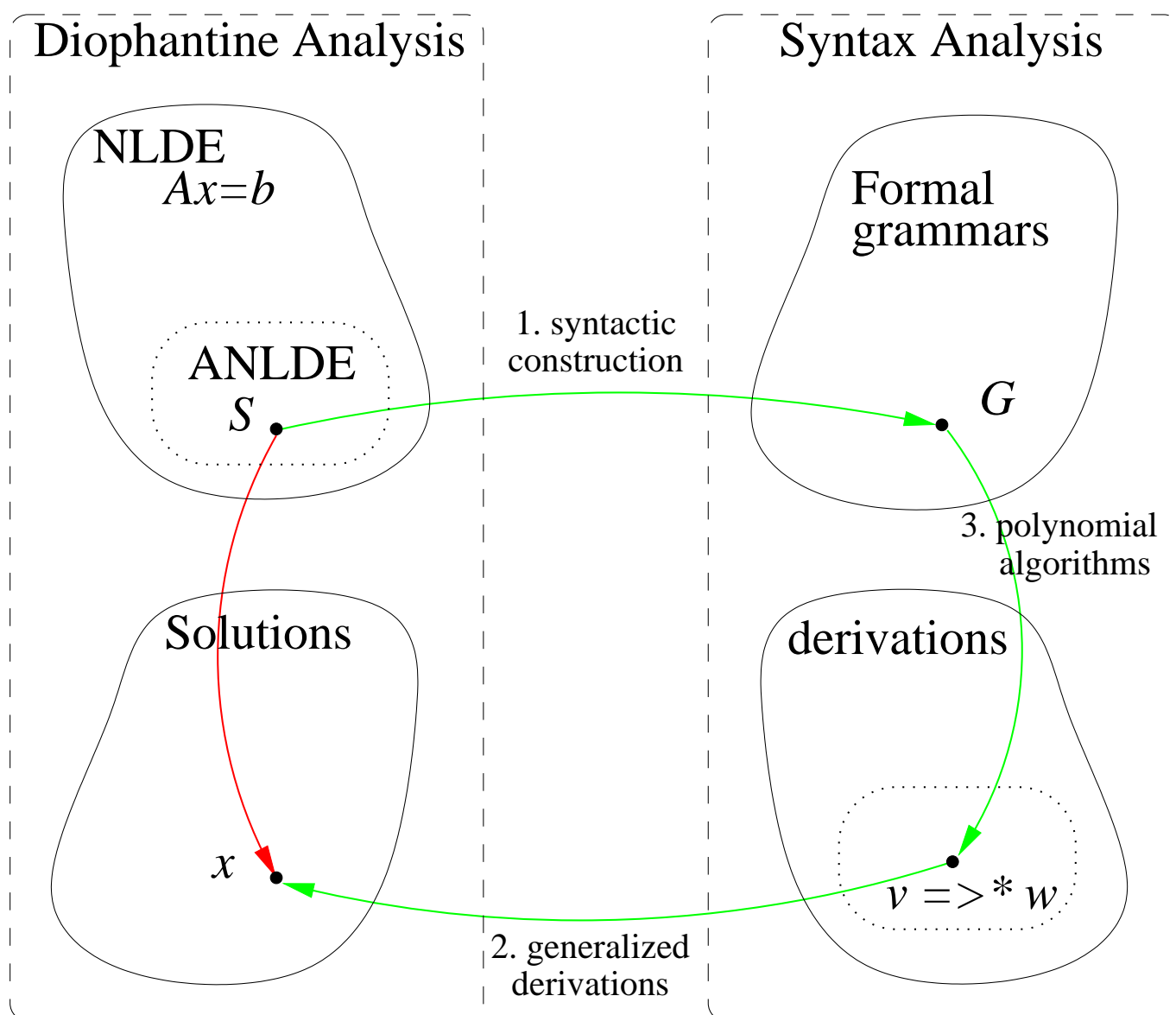
Базис Гильберта (минимальные решения)

Сложность: NP-полная, сверхNP



SYNTACTIC METHODS IN SOLVING NLDE

Associated with a formal grammar an NLDE system (ANLDE system)



СИНТАКСИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ РЕШЕНИЯ НЛДУ

Ассоциированная с формальной грамматикой система НЛДУ (система АНЛДУ)

Grammar/Грамматика G

strings/строки v, w

m rules/правила (r_i)

n nonterminals/нетерминалы (A_k)

t terminals/терминалы (a_k)

ANLDE system/система АНЛДУ $Ax = b$

m unknowns/неизвестные (x_i)

$n + t$ equations/уравнения (k)

$$\sum_{i=1}^m \text{occ}(U, \text{lhs}(r_i))x_i - \sum_{i=1}^m \text{occ}(U, \text{rhs}(r_i))x_i = \text{occ}(U, v) - \text{occ}(U, w), \quad U \in \{A_k\}_{k=1}^n \cup \{a_k\}_{k=1}^t$$

CF-grammars without terminals / КС-грамматики без терминалов

$$\sum_{i \in I_k} x_i - \sum_{i=1}^m \gamma_{ki} x_i = b_k, \quad k = 1, 2, \dots, n, \quad I_1 \cup \dots \cup I_n = \{1, 2, \dots, m\}, \quad I_k \cap I_j = \emptyset$$

ANLDE SYSTEM EXAMPLE

Inhomogeneous & homogeneous NLDE systems

$$\begin{cases} x_1 - x_2 + 3x_3 = 1 \\ x_1 + 2x_2 - x_4 = -1 \end{cases}$$

ANLDE system

$$\begin{aligned} r_1 : A &\rightarrow AAB & m = 4, n = 2, t = 0 \\ r_2 : A &\rightarrow BB & v = B, w = A \\ r_3 : B &\rightarrow AAAB & B \Rightarrow^* A ? \\ r_4 : B &\rightarrow \varepsilon & (\text{hom: } A \Rightarrow^+ A \text{ and } B \Rightarrow^+ B) \end{aligned}$$

Hilbert basis

$$\mathcal{N} = \left\{ \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \\ 2 \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} 0 \\ 2 \\ 1 \\ 5 \end{pmatrix} \right\}, \quad \mathcal{H} = \left\{ \begin{pmatrix} 1 \\ 1 \\ 0 \\ 3 \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} 0 \\ 3 \\ 1 \\ 6 \end{pmatrix} \right\}$$

Integer linear programming

$$\begin{aligned} x_1 + x_2 + 2x_4 &\rightarrow \min \\ x_1 - x_2 + 3x_3 &= 0 \\ x_1 + 2x_2 - x_4 &= 0 \\ \sum x_i &\geq 1, i \in \overline{1,4} \\ x_i &\in \mathbb{Z}, i \in \overline{1,4} \end{aligned}$$

ПРИМЕР СИСТЕМЫ АНЛДУ

Неоднородная и однородная системы НЛДУ

$$\begin{cases} x_1 - x_2 + 3x_3 = 0 \\ x_1 + 2x_2 - x_4 = 0 \end{cases}$$

Система АНЛДУ

$$\begin{aligned} A : (x_1 + x_2) - (2x_1 + 3x_3) &= -1 \\ B : (x_3 + x_4) - (x_1 + x_2 + x_3) &= 1 \end{aligned}$$

Базис Гильберта

$$\begin{aligned} B &\stackrel{3}{\Rightarrow} AAAB \stackrel{4}{\Rightarrow} AAA \stackrel{2,2}{\Rightarrow} ABVVV \stackrel{4,4,4,4}{\Rightarrow} A \\ A &\stackrel{1}{\Rightarrow} AAB \stackrel{2}{\Rightarrow} ABVV \stackrel{4,4,4}{\Rightarrow} A \end{aligned}$$

Целочисленное линейное программирование

ALGORITHMS

I. Solvers of ANLDE systems

1. Novel syntactic (polynomial):

	Hilbert basis/Базис Гильберта	Particular solution/Частное решение
Time/Время	$O(q^3 m^2 n^2) = O(q^3 m^4)$	$O(m^2 n^2) = O(m^4)$
Space/Память	$O(qmn) = O(qm^2)$	$O(mn^2) = O(m^3)$

2. Analogs: slopes (enumeration), lp_solve (ILP)

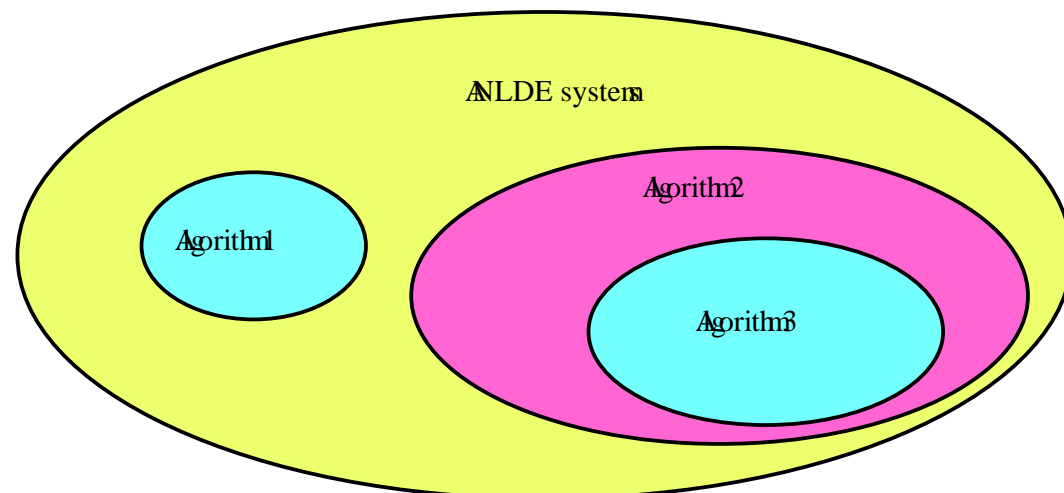
II. Generators of ANLDE systems

1. Gauss (implemented)

2. Jordano (implemented)

3. Extended Gauss (in testing)

4. Full class of homogenous ANLDE systems



АЛГОРИТМЫ

I. Решатели систем АНЛДУ

1. Новые синтаксические (полиномиальные):

	Базис Гильберта	Частное решение
Время	$O(q^3 m^2 n^2) = O(q^3 m^4)$	$O(m^2 n^2) = O(m^4)$
Память	$O(qmn) = O(qm^2)$	$O(mn^2) = O(m^3)$

2. Аналоги: slopes (перебор), lp_solve (ЦЛП)

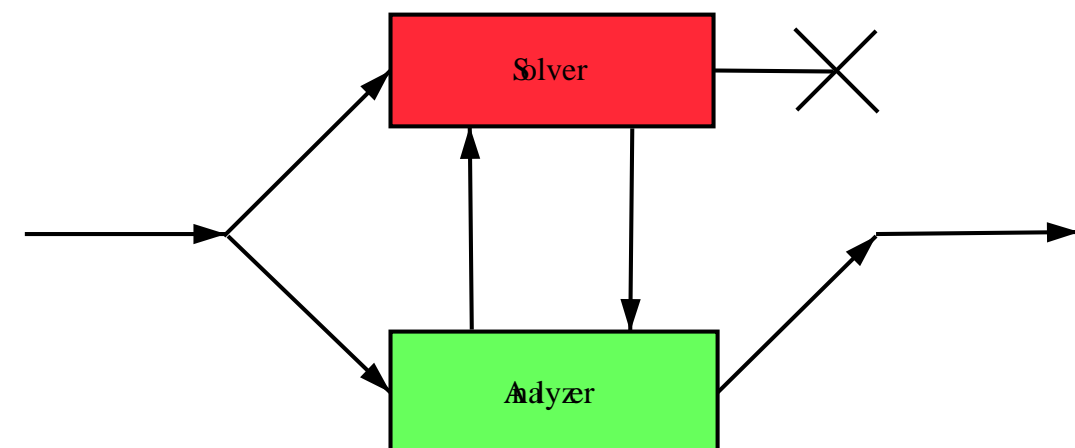
II. Генераторы систем АНЛДУ

1. Гаусс (реализован)

2. Жордано (реализован)

3. Расширенный Гаусс (в тестировании)

4. Полный класс однородных систем АНЛДУ



Customer requirements

Functions:

- solving an ANLDE system (user input or generated),
- solving a set of ANLDE systems (txt file or generated),
- user feedback (notes),
- user registration,
- user activity statistics.

Usability:

- traditional mathematical style,
- standard Internet browser.

Security:

- no access to external algorithms (solvers and generators),
- restricted access to activity statistics,
- overall limits on solving process (time, space, coefficients, dimensions of systems and sets, etc.)
- user limits on solving process.

Performance:

- at least 5 user sessions must work concurrently, without performance degradation
- reporting to a user on a state of progress (solving, generating).

Требования заказчика

Функции системы:

- решение системы АНЛДУ (ввод или генерация),
- решение набора систем АНЛДУ (из файла или генерация),
- наличие обратной связи (заметки пользователей),
- регистрация пользователей,
- сбор статистики использования системы.

Удобство использования:

- традиционный математический стиль,
- стандартный интернет-обозреватель.

Безопасность:

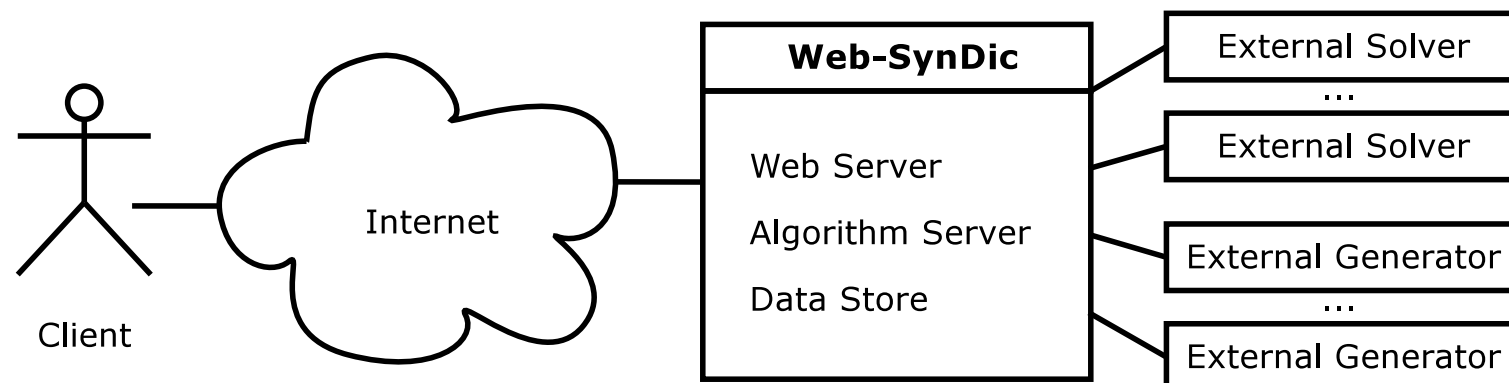
- отсутствие доступа пользователей к внешним алгоритмам (решателям и генераторам),
- ограниченный доступ к статистике использования,
- общие ограничения на процесс решения (время, память, коэффициенты, размеры систем и множеств систем и др.)
- пользовательские ограничения на процесс решения.

Быстродействие:

- одновременная работа до 5 пользователей без значительного уменьшения производительности,
- уведомление пользователей о прогрессе выполнения.

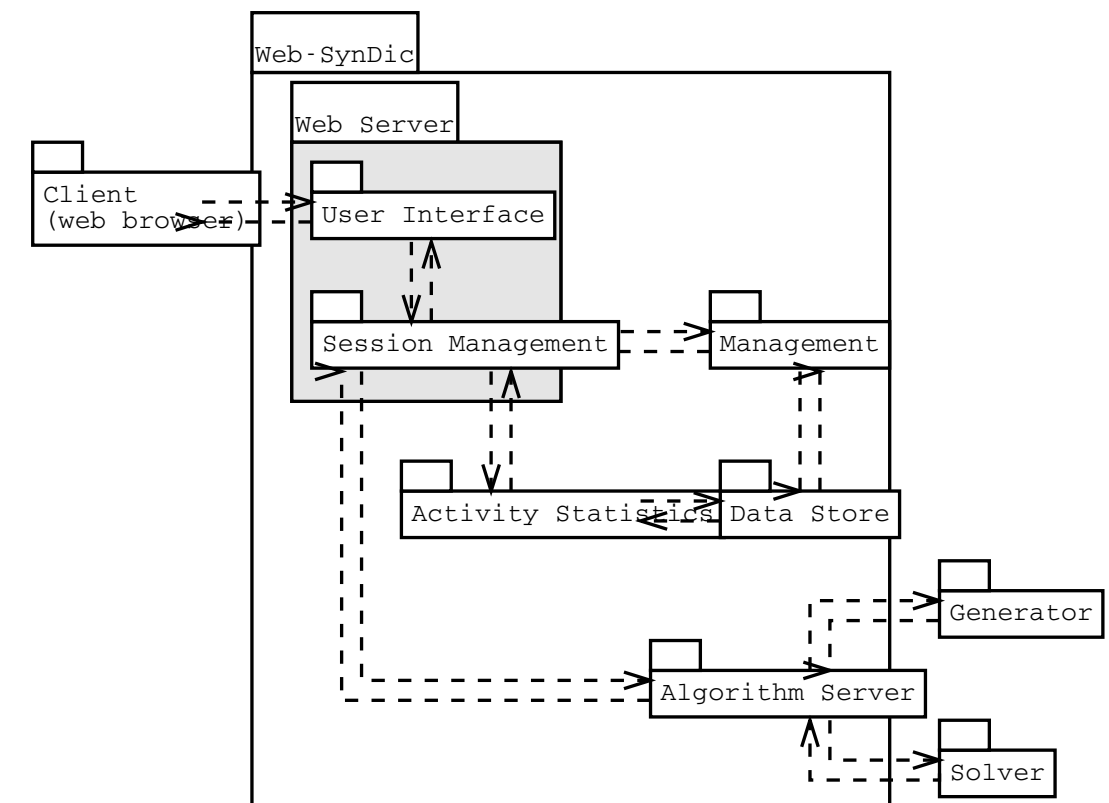
Principles of the Web-SynDic system

- Client part visualizes objects of the problem domain
- Internet browser interacts with the web-server
- Problem domain objects processing is responsibility of the algorithm server
- The web-server is responsible for overall management, control and activity statistics
- Data store contains all data about users
- Solvers and generators are external entities



Принципы системы Web-SynDic

- Клиентская часть визуализирует объекты предметной области
- Интернет-обозреватель взаимодействует с web-сервером системы
- Обработка объектов предметной области выполняется на сервере алгоритмов
- На web-сервере — управление, контроль и статистика активности пользователей
- Единое хранилище — данные о пользователях
- Решатели и генераторы — внешние сущности



Use-case model

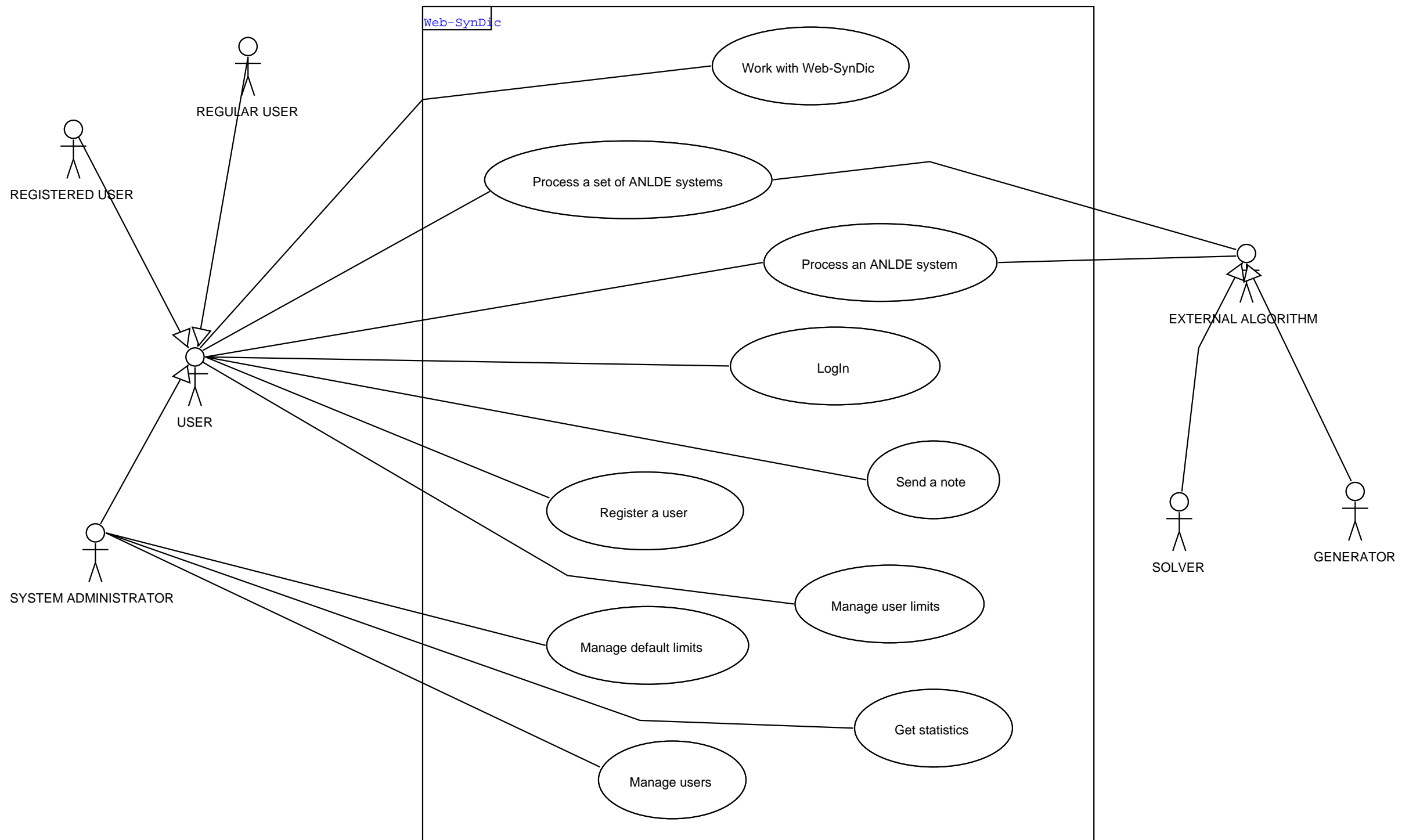
Based on expanded user requirements

System functionality

Модель прецедентов

Построена по расширенным требованиям
ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ

Функциональность системы

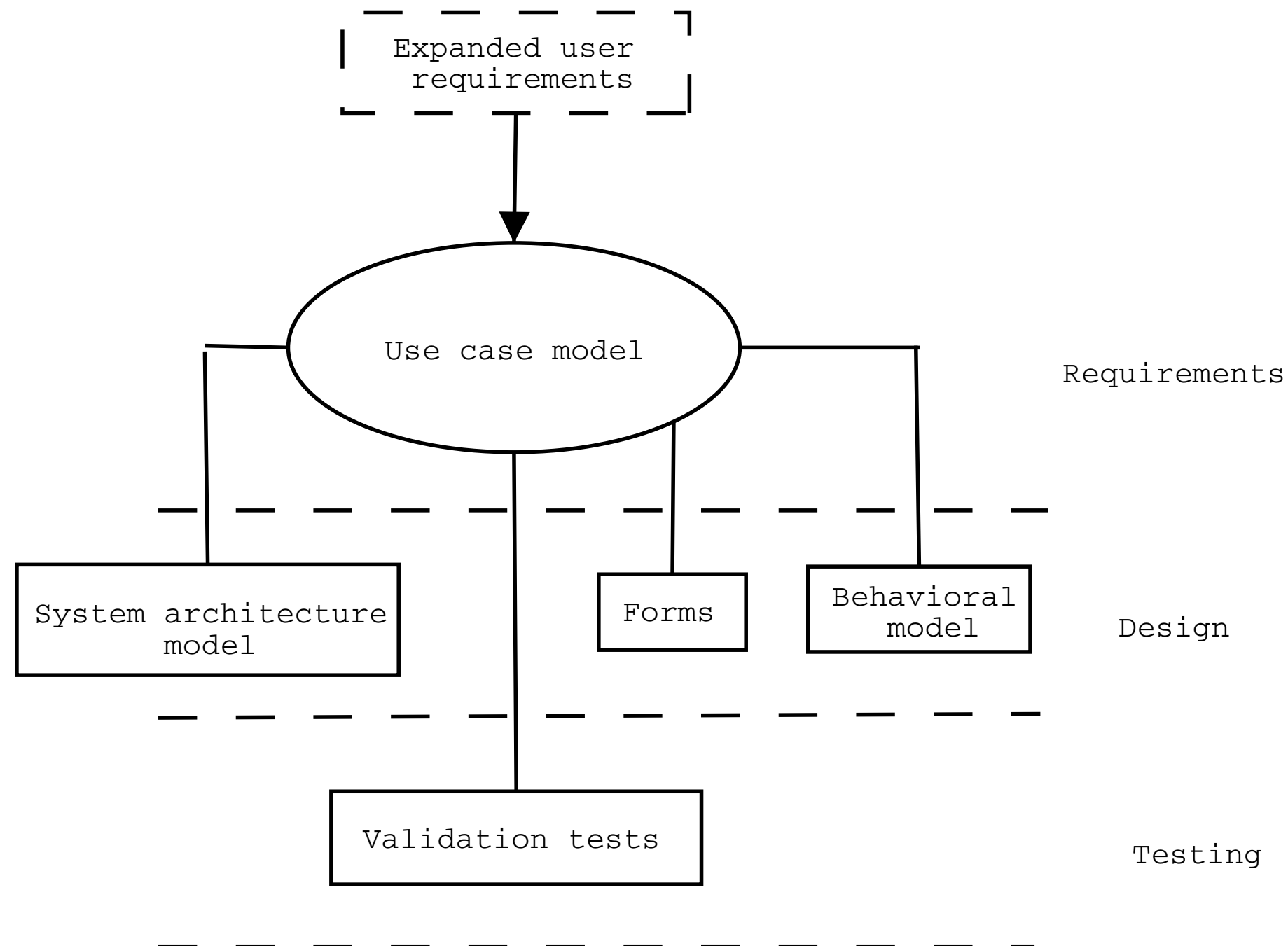


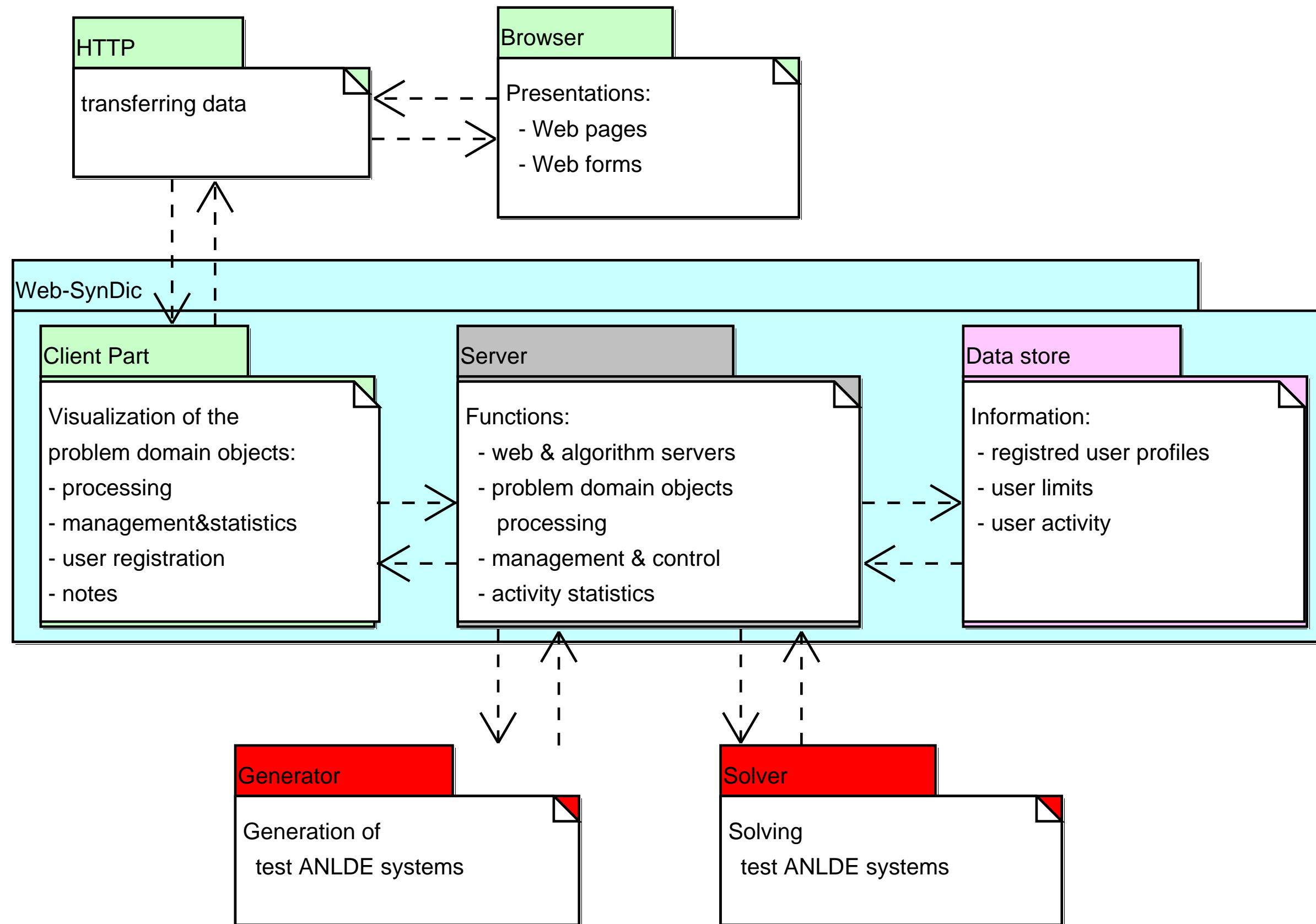
Use-case model usage

- Architecture model
- Behavioral model
- User interface (forms)
- 32 validation tests

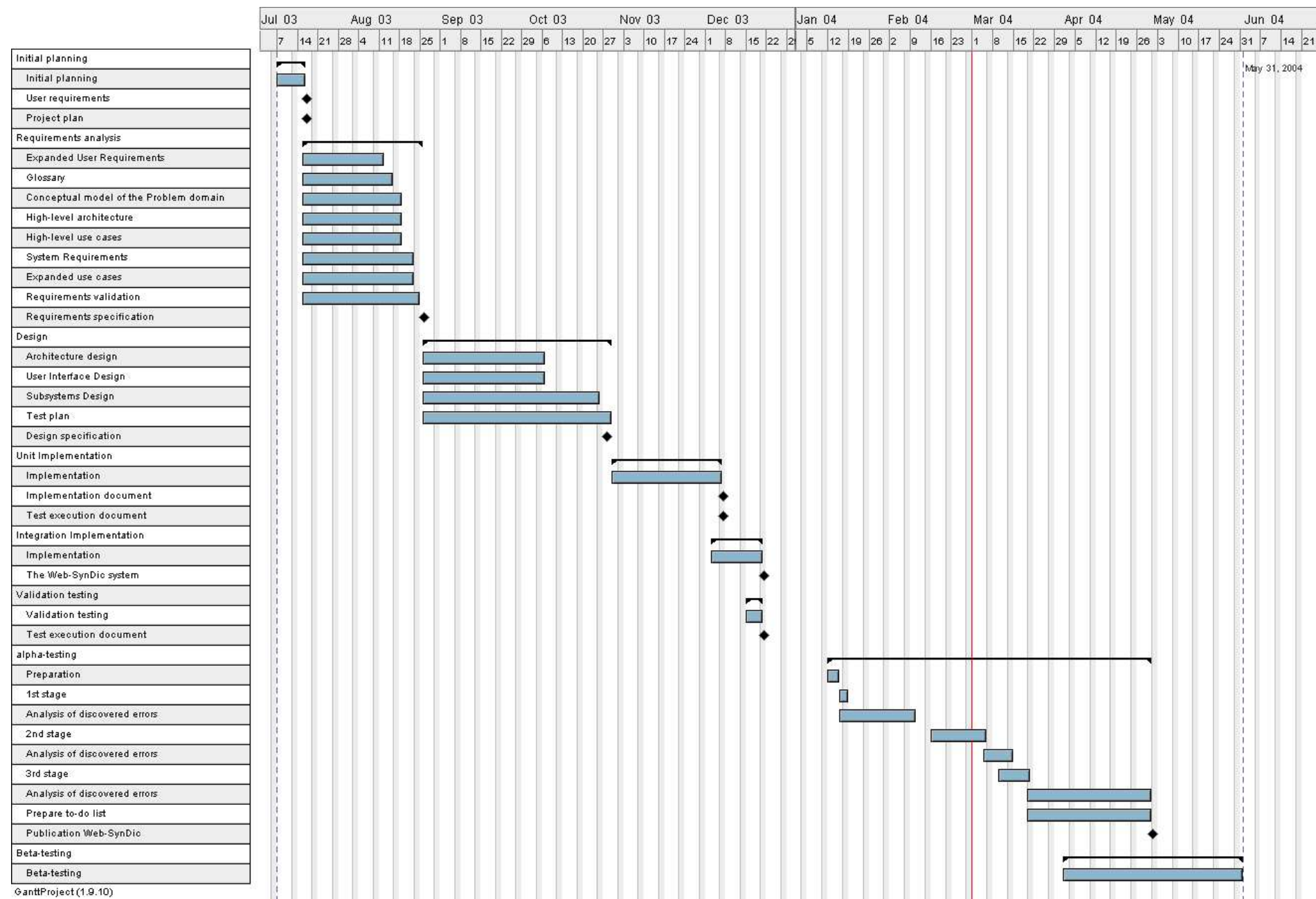
Использование модели прецедентов

- Модель архитектуры
- Поведенческая модель
- Интерфейс пользователя (формы)
- 32 базовых теста





Project schedule

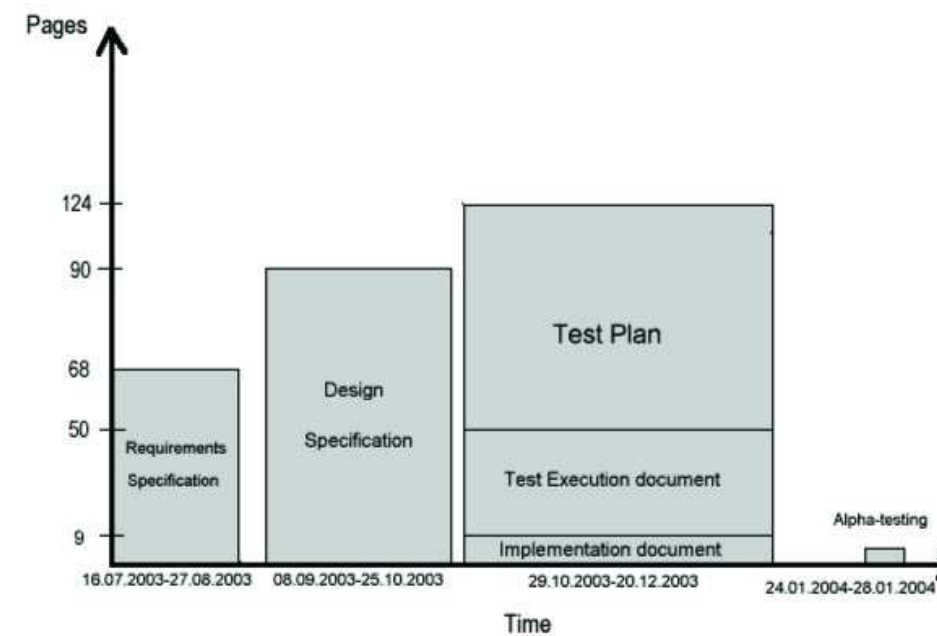
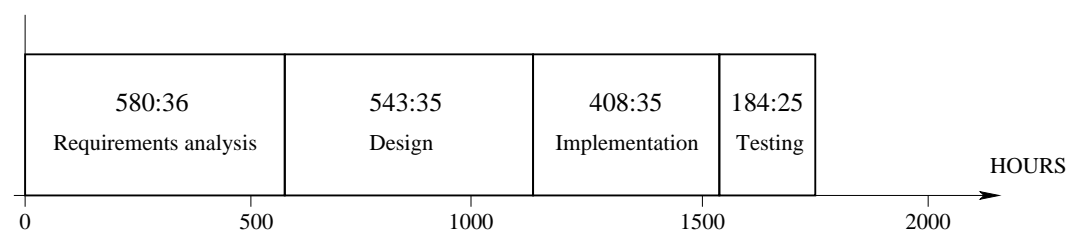


Расписание проекта

CVS repository — 43Mb

CVS репозиторий — 43Mb

Working hours, documentation



Рабочие часы, документация

Code size**Объем кода**

Subsystem	Programming language	LOC	%
Web-server and Session processing	Java + JSP	1800 + 2000	19 + 21
Algorithm server	Java	3600	38
Data store	Java	450	6
Management	Java	640	7
Statistics	Java	870	9
Total size		9360	100%

Testing size**Объем тестирования**

Testing subphase	Number of tests	Errors found	Errors/Tests
Unit testing	217	37	17%
Integration testing	117	25	21%
Total: unit & integration	334	62	19%
Alpha	58 students \times 1.5 hours = 15 flaws found		

Environment**Окружение**

Hardware		Software		Testers	
CPU:	IA32, 1200MHz	OS:	Linux 2.4.19, Windows (98, XP, 2000)	U-test:	developers
RAM:	256Mb	Java:	Sun J2SDK 1.4.1, Apache Tomcat 4	I-test:	developers
		Browser	MS IExplorer, Mozilla, Netscape, ...	V-test:	developers, experts
				α -test:	students, researchers

RESUME

- Implementing the original idea of syntactic methods in solving NLDE.
- Novel, significantly more efficient polynomial algorithms comparing with available alternative solvers
- The project combines mathematical and software engineering problems
- Experiment and automatization
- Functional software product of class “Scientific Internet service”
- New level of student training: preparation for the joint software engineering project with University of Helsinki
- Development potential: ANLDE theory, algorithms, software engineering, experiment

Yury A. Bogoyavlenskiy: `ybgv@cs.karelia.ru`

Dmitry G. Korzun: `dkorzun@cs.karelia.ru`

Web-SynDic team: `websyndic@cs.karelia.ru`

РЕЗЮМЕ

- Реализация оригинальной идеи использования синтаксических методов для решения НЛДУ
- Новые, значительно более эффективные по сравнению с имеющимися аналогами полиномиальные алгоритмы
- Объединение в проекте математических проблем и проблем технологии разработки ПО
- Вычислительный эксперимент, автоматизация
- Функциональный программный продукт класса «научный сервис в сети Интернет»
- Новый уровень подготовки специалистов: подготовка к совместному проекту с Хельсинкским университетом
- Потенциал развития: теория АНЛДУ, алгоритмы, технология ПО, эксперимент

1. M.Filgueiras, A.-P.Tomás. *Solving Linear Constraints on Finite Domains through Parsing*. In P.Barahona, L.Pereira, A.Porto (eds.), Proc. 5th Portuguese Conference on Artificial Intelligence, Springer-Verlag, 1991. LNAI 541. pp.1-16.
2. Богоявленский Ю.А., Корзун Д.Ж. *Общий вид решения системы линейных диофантовых уравнений, ассоциированной с контекстно-свободной грамматикой*. Труды ПетрГУ. Сер. "Прикладная математика и информатика". Вып.6. Петрозаводск: ПетрГУ, 1998. С.79-94.
3. Корзун Д.Ж. *Решение одного класса линейных диофантовых уравнений в неотрицательных целых числах методами теории формальных языков*. Труды ПетрГУ. Сер. "Прикладная математика и информатика". Вып.7. Петрозаводск: ПетрГУ, 1998. С.93-116
4. Корзун Д.Ж. *О существовании порождающей КС-грамматики для произвольной линейной диофантовой системы*. Труды ПетрГУ. Сер. "Математика". Вып.6. Петрозаводск: ПетрГУ, 1999. С.34-40.
5. Корзун Д.Ж. *Об одной взаимосвязи формальных грамматик и систем линейных диофантовых уравнений*. Вестник молодых ученых. Сер. "Прикладная математика и механика". № 3, СПбГУ, 2000. С.34-40.
6. D.Korzun, *Grammar-Based Algorithms for Solving Certain Classes of Nonnegative Linear Diophantine Systems*. Proc. Finnish Data Processing Week at the University of Petrozavodsk (FDPW'2000). Vol.3. Petrozavodsk, 2001. pp.52-67.
7. Корзун Д.Ж. *Синтаксические алгоритмы решения неотрицательных линейных диофантовых уравнений и их приложение к моделированию структуры нагрузки канала Интернет*. Дисс. на соиск. канд. физ.-мат. наук. Петрозаводск, ПетрГУ, 2002. 185с.
8. Кулаков К.А. *Тестирование и экспериментальный анализ алгоритмов решения неотрицательных линейных диофантовых уравнений*. Выпускная квалификационная работа бакалавра, Петрозаводск: ПетрГУ, 2003. 42с (Материалы 55-й научной студенческой конференции ПетрГУ).
9. Кулаков К.А., Сало А.Ю., Ананьин А.В., Крышень М.А., Корзун Д.Ж., Богоявленский Ю.А. *Web-SynDic — система демонстрации и тестирования синтаксических алгоритмов решения неотрицательных линейных диофантовых уравнений*. Материалы межвузовского конкурса-конференции студентов и молодых ученых Северо-Запада "Технологии Microsoft в теории и практике программирования". СПб.: Изд-во СПбГПУ, 2004. с.43–44.
10. Кулаков К.А., Корзун Д.Ж. *Технология автоматизации тестирования алгоритмов решения неотрицательных линейных диофантовых уравнений*. Материалы межвузовского конкурса-конференции студентов и молодых ученых Северо-Запада "Технологии Microsoft в теории и практике программирования". СПб.: Изд-во СПбГПУ, 2004. с.142-143.
11. A.Salo, *The Web-SynDic project: input data translation, session management, and activity statistics*. BSc. Thesis, Petrozavodsk State University, 2004.
12. Ананьин А.В. *Система Web-SynDic: разработка программного обеспечения на основе прецедентов*. Курсовая работа, 3 курс, Математический ф-т ПетрГУ, 2004. (Материалы 56-й научной студенческой конференции ПетрГУ.)
13. Крышень М. А. *Система Web-SynDic: разработка сервера и интерфейса пользователя*. Курсовая работа, 3 курс, Математический ф-т ПетрГУ, 2004. (Материалы 56-й научной студенческой конференции ПетрГУ.)