

Развитие средств капсульного программирования потоковой рекуррентной архитектуры

Д.В. Хилько, Ю.А. Степченков, Ю.И. Шикунов, Г.А. Орлов



Институт проблем информатики РАН
Федерального исследовательского центра
«Информатика и управление» РАН

Содержание

- Введение
- Особенности программирования вычислительных систем потоковой рекуррентной архитектуры
- Элементы методического обеспечения процесса программирования
- Демонстрация возможностей программных средств автоматизации процесса разработки ПО
- Заключение

Введение

Текущие этапы разработки потоковой рекуррентной архитектуры:

- Развитие программной и аппаратной моделей, отражающих ключевые особенности и механизмы архитектуры
- Развитие специализированных средств автоматизации процесса разработки ПО
- Отладка опытного образца прототипа архитектуры - ГАРОС
- Поиск и решение новых задач для апробации архитектуры и подтверждения ее эффективности

Потоковая модель вычислений

Основные принципы:

- Инициатор вычислений – поток данных
- Представление программы в виде потокового графа
- Вершины графа – это инструкции, а дуги – данные
- «Естественный» параллелизм

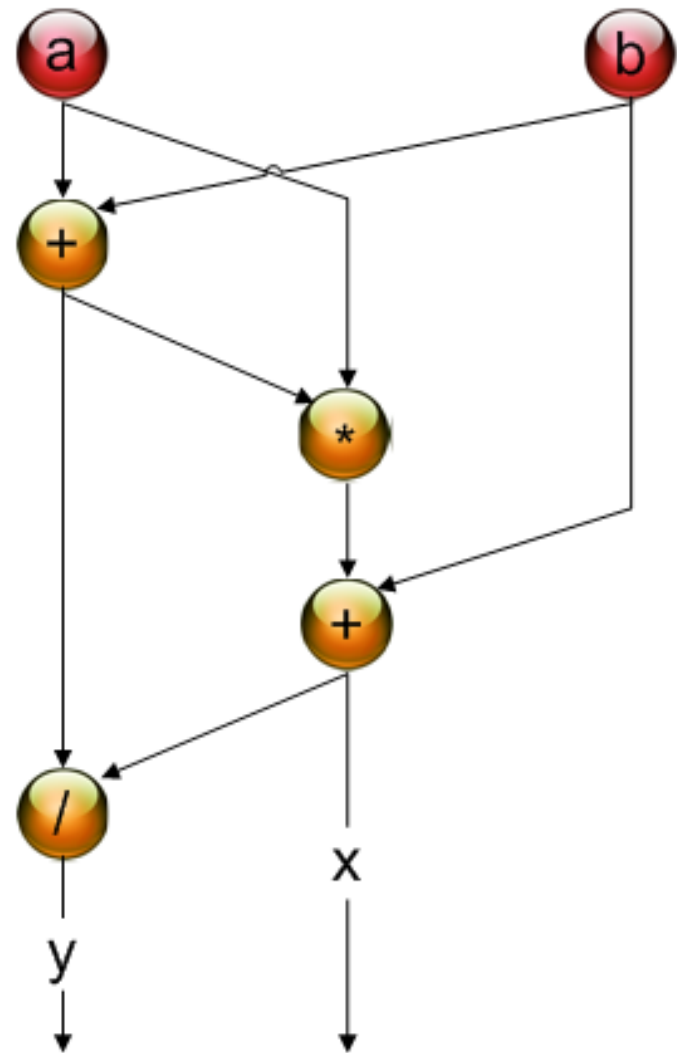
Пример графа для программы:

input a, b

$y = (a+b)/x$

$x = a*(a+b)+b$

output y, x



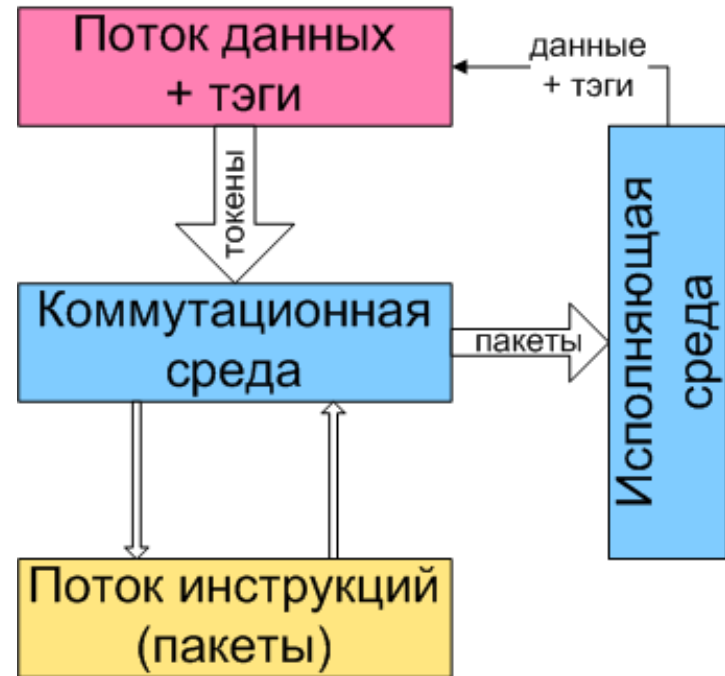
Потоковая модель вычислений

Основные принципы:

- Два основных потока
- Коммутационная среда обеспечивает сопоставление токенов, управление спусковыми флагами пакетов и передачу пакетов на исполнение
- Правило спуска пакета – готовность всех спусковых флагов

Основные проблемы:

- Реализация условных переходов и циклов требует введения специализированных типов токенов и пакетов
- Высокая степень избыточности данных
- Высокие требования к производительности и объемам коммутационной среды



Op. 1	Op. 2	Func.	Result	Flags
Структура пакета (Flags – спусковые флаги пакета)				

Преимущества потоковой рекуррентной архитектуры



Основные принципы:

- Самодостаточность данных
- Рекуррентная организация вычислительного процесса

Свойство самодостаточности

Элемент самодостаточных данных (ЭСД)

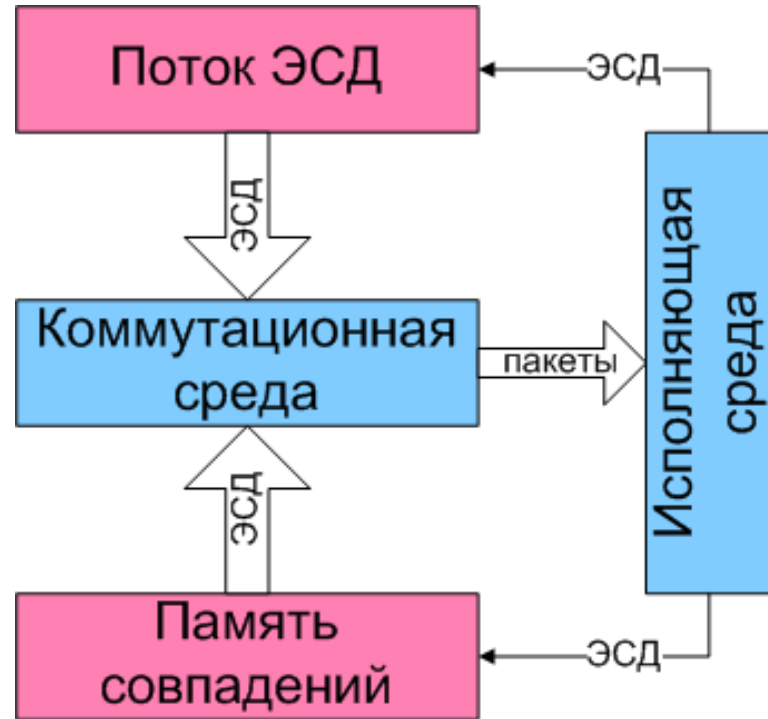
Данные	Тэги	Func.	Result
--------	------	-------	--------

Основные принципы:

- Один поток ЭСД
- Коммутационная среда обеспечивает сопоставление ЭСД, формирование пар (пакетов) и передачу пакетов на исполнение
- Правило спуска пакета – образование пары

Основные проблемы:

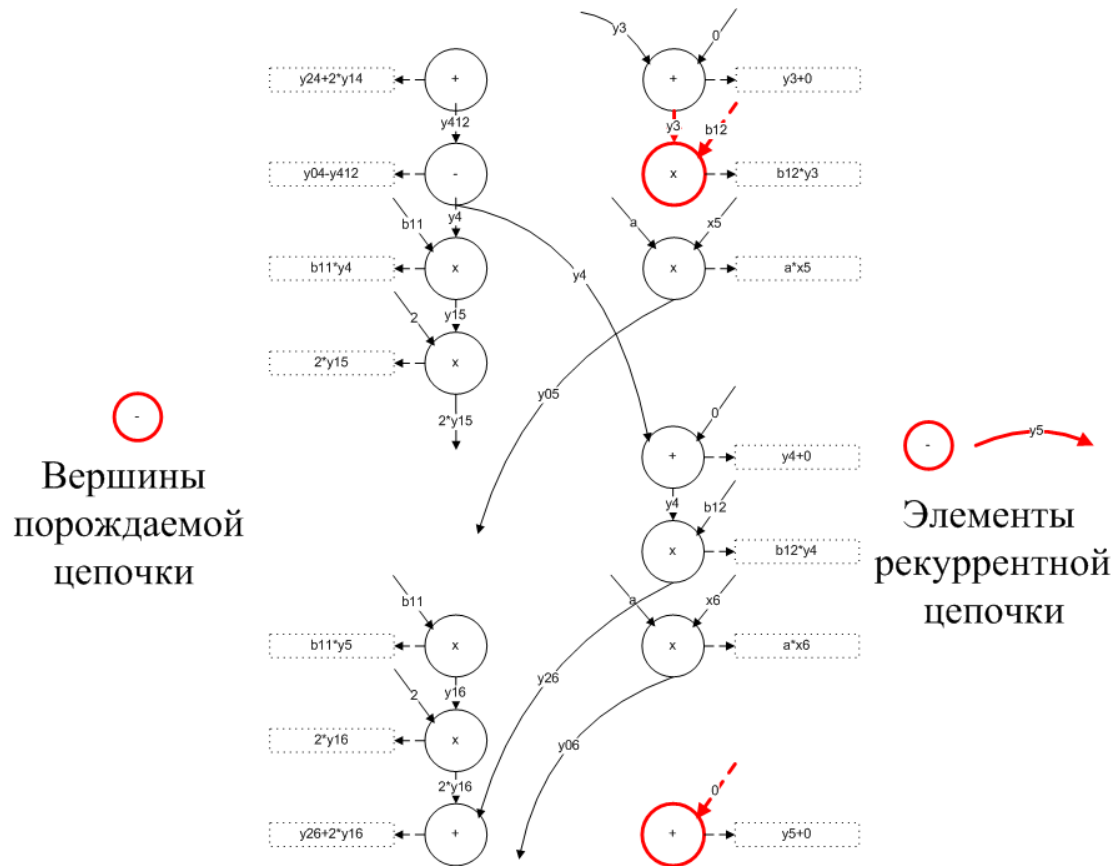
- В паре оба ЭСД несут тэги – требуется разрешение противоречий
- Порядок ЭСД в потоке и в паре важен



Структура пакета

Ор. 1	Ор. 2
-------	-------

Имплементация рекуррентности



Имплементация рекуррентности

Основные преимущества:

- Уменьшение степени избыточности тэгированных данных и сокращение объема программ, за счет рекуррентной свертки однотипных процедур
- Расширенная поддержка циклических и рекурсивных алгоритмов
- Исполняющая среда формирует большую часть токенов

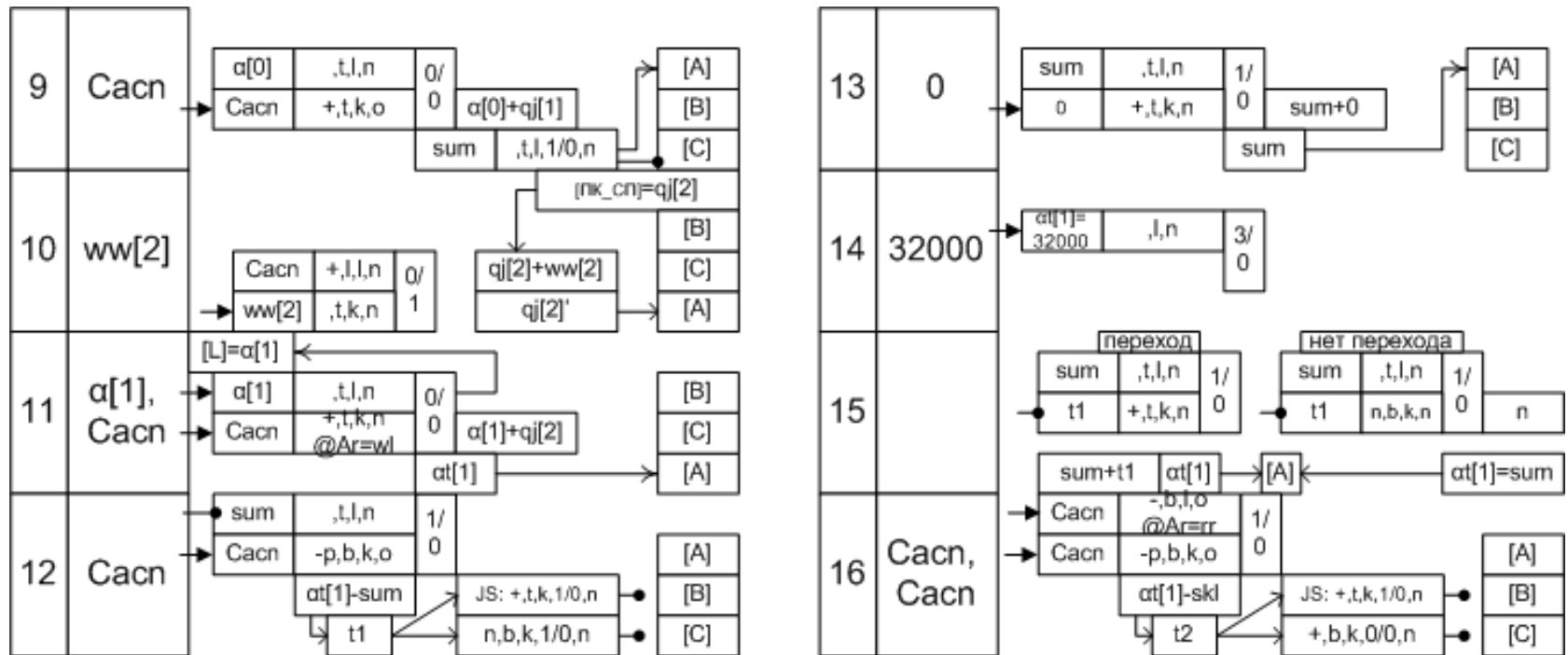
Основные проблемы :

- Высокая степень непредсказуемости ошибок в динамически порождаемом вычислительном процессе
- Сложность программирования начальных значений тэгов для обеспечения корректности разрешения противоречий и порождаемых вычислений
- Сложность настройки требуемой схемы развертки вычислительного процесса

Архитектурные особенности прототипа архитектуры

- Суперскалярная архитектура блока
Вычислитель и поддержка рекурсии
- Механизмы работы с константными
данными
- Поддержка циклических процедур
(внутренние циклы)
- Многократное повторение программ и
повторное использование выходных
данных (внешние циклы)

Граф-капсула как элемент программирования

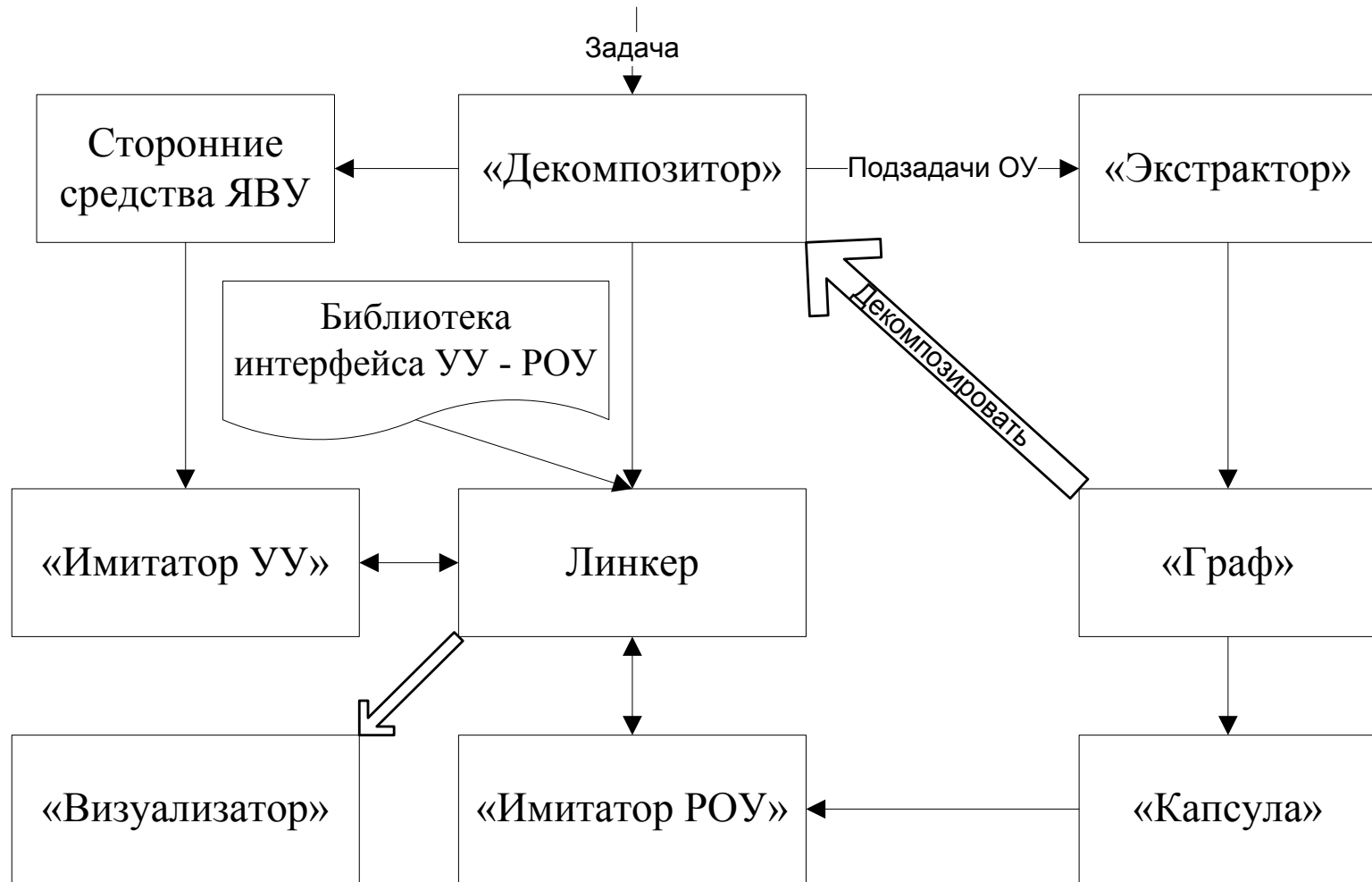


Граф-капсула – элемент методического обеспечения, визуализирует процесс рекуррентной развертки алгоритма

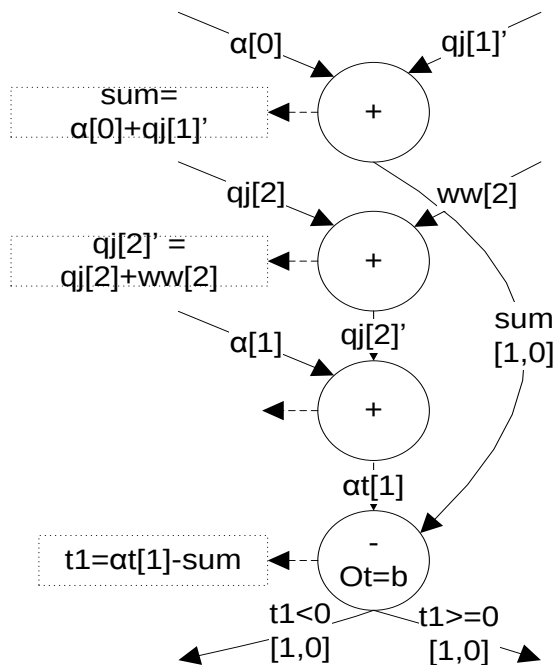
Методология программирования



Средства разработки ПО



Числовая граф-капсула



EGr	
EmGr	
Gr1	Caen
Gr2	

(Au, Ad, Ai)	
Iter	
At	

EGr	
EmGr	
Gr1	0x0001
Gr2	

(Au, Ad, Ai)	
Iter	
At	

Section_0

Step=9 @(Cs=0 Cj=mw Cf=- Cr=nn Cm=b)

Block	L-IN	R-IN	OpCode	Pr	Result00
M					
Ah16	L_In	A	ADD	0	0x0109
Au40	0x0000	0x0109			
BS&R					
MOV					

CM00	Addr
	0x0
RL	0x000000000
RR	0x000036000
B	0x000000000
C	0x000000000
A	0x000109000

0/0					
H	0	@s=s [Ou=i Oc=EBS Ot=t Ds=De=] {Sum=0 Ou=i Oc=EBS Ds=@s=s}	L		
	0x0000	0x400000000	0x0000		
F	Caen	@s=s [Ou=k Oc=Ott Ds=De=] {Sum=1 Ou=i Oc=EBS Ds=@s=s} @ (As=a Ar=Aab=)	R		
S		0x10821100000	Caen		

TTIn	@s=s [Sh=0 Sum=0 Ou=i Oc=Ott Ds=De=] {Sum=1 Ou=i Oc=EBS Ds=@s=s}
	0x2084400
TTOut	@s=s [Sh=0 Sum=1 Ou=i Oc=EBS Ot=t Ds=De=] {Sum=0 Ou=i Oc=EBS Ds=@s=s}
	0x4000000
Jump	

Step=10 @(Cs=0 Cj=mw Cf=- Cr=nn Cm=b)

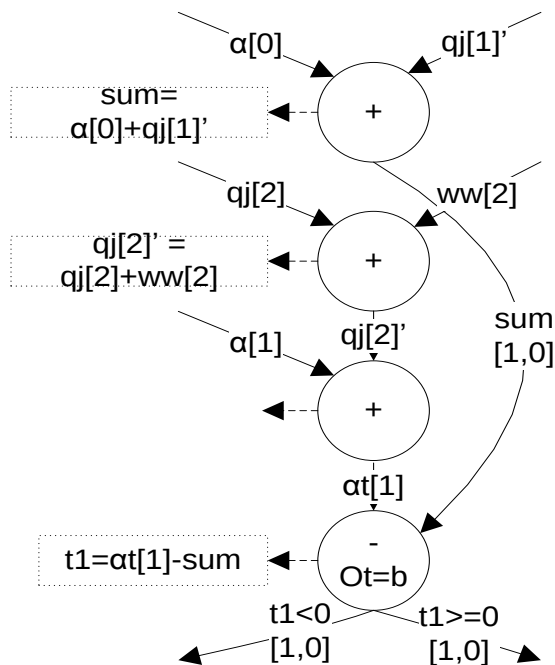
Block	L-IN	R-IN	OpCode	Pr	Result00
M					
Ah16	L_In	CM	ADD	0	0x0077
Au40	0x0001	0x0076			
BS&R					
MOV					

CM_SL	Addr
	0x0076
RL	0x000000000
RR	0x000036000
B	0x000000000
C	0x000000000
A	0x000109000

0/1					
H	Caen	@s=s [Ou=i Oc=Ott Ds=De=] {Sum=0 Ou=i Oc=EBS Ds=@s=s} @ (As=a Ar=Aab=)	L		
		0x1803b000000	0x0001		
F	1	@s=s [Ou=k Oc=EBS Ot=t Ds=De=] {Sum=0 Ou=i Oc=EBS Ds=@s=s}	R		
S	0x0001	0x6200c000	Caen		

TTIn	@s=s [Sh=1 Sum=0 Ou=i Oc=Ott Ds=De=] {Sum=0 Ou=i Oc=EBS Ds=@s=s}
	0x200ec000
TTOut	@s=s [Sh=1 Sum=0 Ou=i Oc=EBS Ot=t Ds=De=] {Sum=0 Ou=i Oc=EBS Ds=@s=s}
	0x20060000
Jump	

Числовая граф-капсула



EGr	
EmGr	
Gr1	0x08af
Gr2	Cacn

(Au, Ad, Ai)	
Iter	
At	

EGr	0x0109
EmGr	
Gr1	0x0109
Gr2	Cacn

(Au, Ad, Ai)	
Iter	
At	

Step=11 @(Cs=0 Cj=mn Cl=- Cr=nn Cm=b)

Block	L-IN	R-IN	OpCode	Pr	Result00
M					
Alu16	L_In	A	ADD	0	0x0926
Au40					
BS&R					
MOV					

CM00	Addr
	0x0
RL	0x0008af0000
RR	0x0000360000
B	0x0000000000
C	0x0000000000
A	0x0000770000

0/0				
H	2223	@s=s [Ou=0 Oc=EBS Ot= Ds=De=]	L	
S		{Sum=0 Ou=1 Oc=EBS Ds= @s=s}		
		0x00000000	0x08af	
F	Cacn	@s=s [Ou=k Oc= Ot= Ds=De=]	R	
S		{Sum=0 Ou=1 Oc=EBS Ds= @s=s}		
		@(As=a Ar=wl Aab=)		
		0x0823000010	Cacn	

TTIn	@s=s [Sh=0 Sum=0 Ou=k Oc= Ot= Ds=De=]
	{Sum=0 Ou=1 Oc=EBS Ds= @s=s}
	0x208c000
TTOut	@s=s [Sh=0 Sum=0 Ou=k Oc=EBS Ot= Ds=De=]
	{Sum=0 Ou=1 Oc=EBS Ds= @s=s}
	0x0
Jump	

Step=12 @(Cs=0 Cj=mn Cl=- Cr=nn Cm=b)

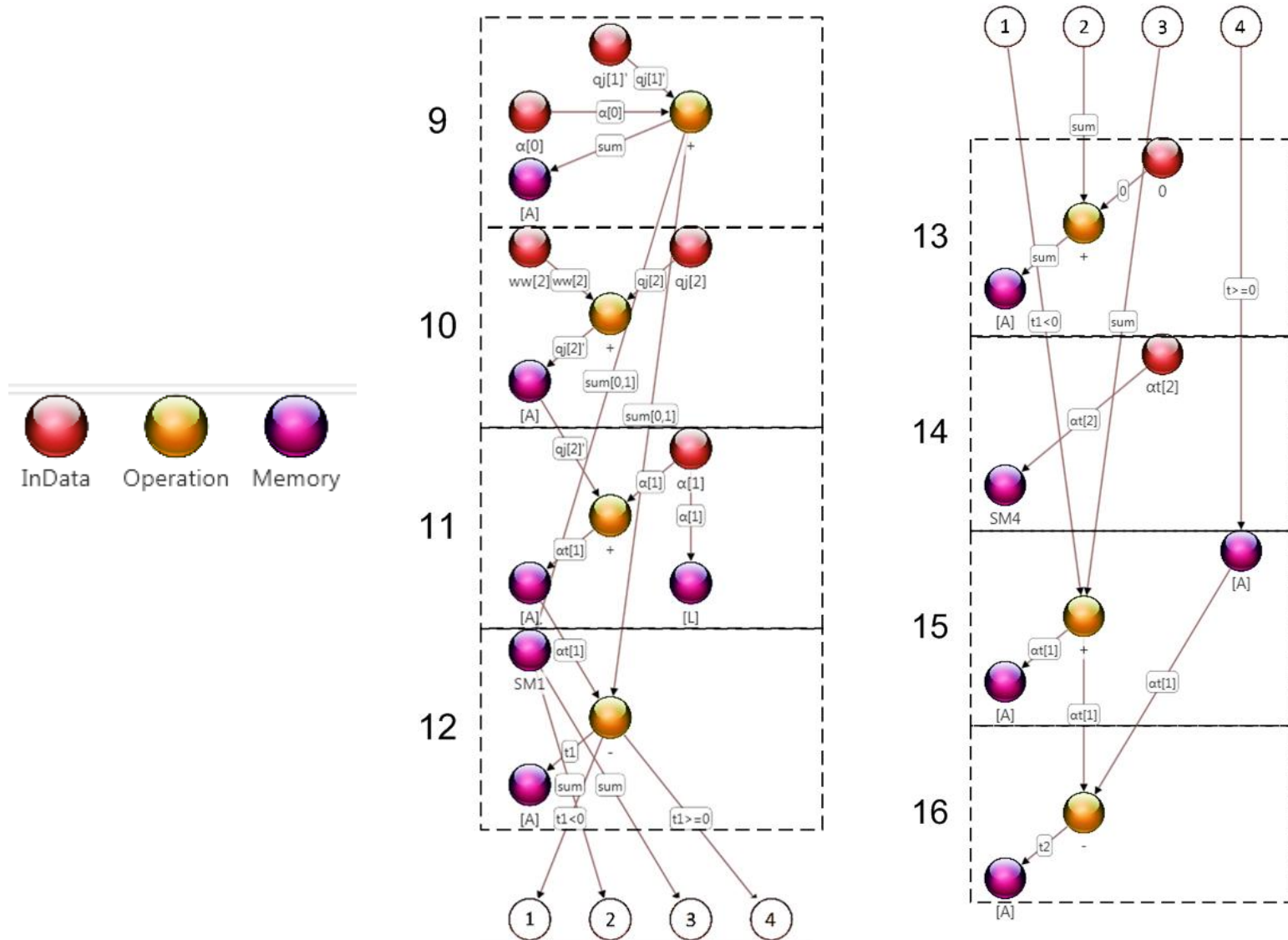
Block	L-IN	R-IN	OpCode	Pr	Result00
M					
Alu16	A	R_In	SUBi	0	0x081d
Au40					
BS&R					
MOV					

CM00	Addr
	0x0
RL	0x0008af0000
RR	0x0000360000
B	0x0000000000
C	0x0000000000
A	0x0009260000

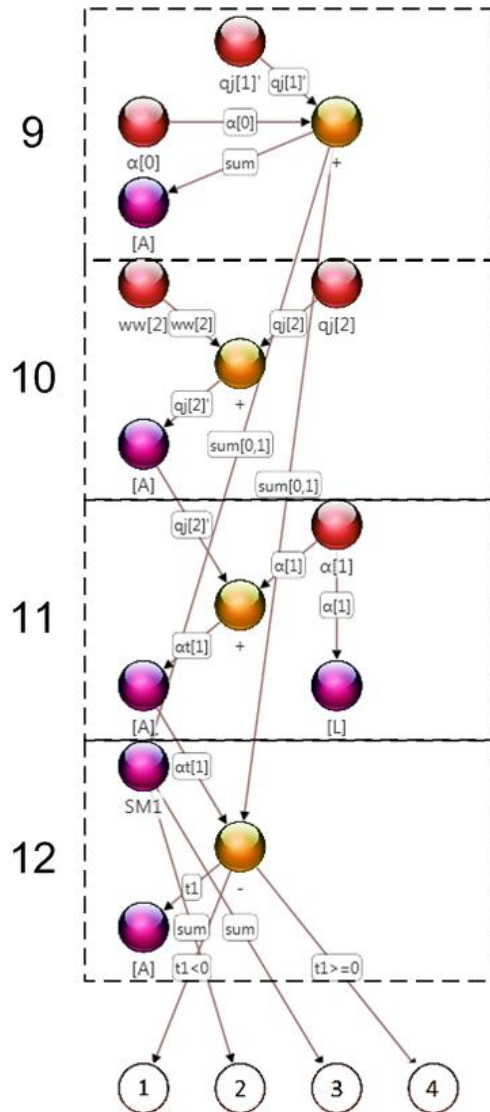
1/0				
H	265	@s=s [Ou=1 Oc=EBS Ot= Ds=De=]	L	
E		{Sum=0 Ou=1 Oc=EBS Ds= @s=s}		
		0x0109	Cacn	
F	Cacn	@s=s [Ou=k Oc=p Ot=b Ds=De=]	R	
S		{Sum=1 Ou=k Oc= Ds=De=}		
		@(As=a Ar= Aab=)		
		0x18841b800	0x0109	

TTIn	@s=s [Sh=0 Sum=1 Ou=k Oc=p Ot=b Ds=De=]
	{Sum=1 Ou=k Oc= Ds=De=}
	0x62346fe
TTOut	@s=s [Sh=0 Sum=1 Ou=k Oc= Ot=b Ds=De=]
	{Sum=0 Ou=1 Oc=EBS Ds= @s=s}
	0x6fb c000
Jump	@s=s [Sh=0 Sum=1 Ou=k Oc= Ot= Ds=De=]
	{Sum=0 Ou=1 Oc=EBS Ds= @s=s}
	0x608c000

Потоковый граф Витерби



Символьная граф-капсула



Cap_Name

EGr	
EmGr	
Gr1	Cacn
Gr2	

	(Au,Ad,Ai)
Iter	
At	

EGr	
EmGr	
Gr1	ww[2]
Gr2	

	(Au,Ad,Ai)
Iter	
At	

Section_0

Step=9

Block	L-IN	R-IN	OpCode	Pr	Result00
M					
Ah16	L_In	A	ADD	0	sum
Au40	alpha[0]	qj[1]			
BS&R					
MOV					

CM00	Addr
	0x0
RL	alpha[0]
RR	skl
B	0
C	0
A	qj[1]

E;

0/0					
H	alpha[0]	@s=s [Ou=k Oc=EBS Ot=t Ds=De=] {Sum=0 Ou=1 Oc=EBS Ds=@s=s}	L		
	0x0000	0x40000000	alpha[0]		
F S	Cacn	@s=s [Ou=k Oc=+ Ot=t Ds=De=] {Sum=1 Ou=1 Oc=EBS Ds=@s=s} @ (As=A Ar=Aab=)	R		
		0x0821100000	Cacn		

TTIn	@s=s [Sh=0 Sum=0 Ou=k Oc=+ Ot=t Ds=De=] {Sum=1 Ou=1 Oc=EBS Ds=@s=s}
	0x2084400
TTOut	@s=s [Sh=0 Sum=1 Ou=1 Oc=EBS Ot=t Ds=De=] {Sum=0 Ou=1 Oc=EBS Ds=@s=s}
	0x4000000
Jump	

Step=10

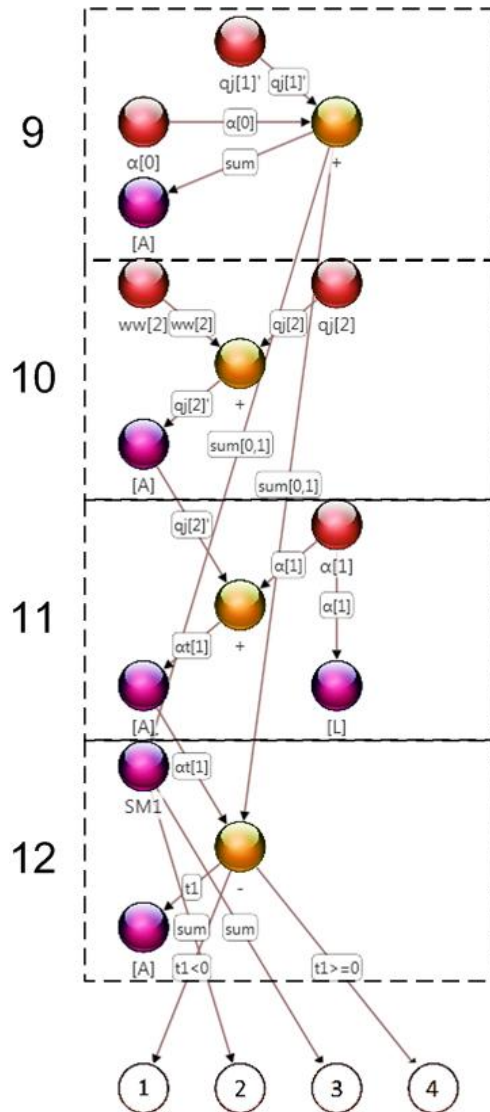
Block	L-IN	R-IN	OpCode	Pr	Result00
M					
Ah16	L_In	CM	ADD	0	qj[2]
Au40	ww[2]	qj[2]			
BS&R					
MOV					

CM_SL	Addr
	qj[2]
RL	alpha[0]
RR	skl
B	0
C	0
A	sum

0/1					
H	Cacn	@s=s [Ou=1 Oc=+ Ot=t Ds=De=] {Sum=0 Ou=1 Oc=EBS Ds=@s=s} @ (As=A Ar=Aab=)	L		
		0x1803000000	ww[2]		
F S	ww[2]	@s=s [Ou=k Oc=EBS Ot=t Ds=De=] {Sum=0 Ou=1 Oc=EBS Ds=@s=s}	R		
	0x0001	0x200c000	Cacn		

TTIn	@s=s [Sh=1 Sum=0 Ou=1 Oc=+ Ot=t Ds=De=] {Sum=0 Ou=1 Oc=EBS Ds=@s=s}
	0x200c000
TTOut	@s=s [Sh=1 Sum=0 Ou=1 Oc=EBS Ot=t Ds=De=] {Sum=0 Ou=1 Oc=EBS Ds=@s=s}
	0x2006000
Jump	

Символьная граф-капсула



EGr	
EmGr	
Gr1	alpha[1]
Gr2	Cacn

	(Au,Ad,At)
Iter	
At	

EGr	sum
EmGr	
Gr1	sum
Gr2	Cacn

	(Au,Ad,At)
Iter	
At	

Step=11

Block	L-IN	R-IN	OpCode	Pr	Result00
M					
Ah16	L_In	A	ADD	0	alpha[1]
Au40	alpha[1]	qi[2]			
BS&R					
MOV					

CM00	Addr
	0xd
RL	alpha[1]
RR	skl
B	0
C	0
A	qi[2]

0/0			
H	alpha[1]	@s=s {Sh=0 Sum=0 Ou=k Oc=p Ot=b Ds=n De=}	L
S	0xd8af	{Sum=0 Ou=1 Oc=EBS Ds= @s=s}	alpha[1]
F	Cacn	@s=s {Ou=k Oc=p Ot=b Ds=n De=}	R
S		{Sum=0 Ou=1 Oc=EBS Ds= @s=s}	Cacn
		@(As=a At=rwl Aab=)	
		0xd0823000010	

TTIn	@s=s {Sh=0 Sum=0 Ou=k Oc=p Ot=b Ds=n De=}
	{Sum=0 Ou=1 Oc=EBS Ds= @s=s}
	0xd08c000
TTOut	@s=s {Sh=0 Sum=0 Ou=k Oc=p Ot=b Ds=n De=}
	{Sum=0 Ou=1 Oc=EBS Ds= @s=s}
	0xd
Jump	

Step=12

Block	L-IN	R-IN	OpCode	Pr	Result00
M					
Ah16	A	R_In	SUBi	0	t1
Au40	alpha[1]	sum			
BS&R					
MOV					

CM00	Addr
	0xd
RL	alpha[1]
RR	skl
B	0
C	0
A	alpha[1]

1/0			
H	sum	@s=s {Ou=k Oc=p Ot=b Ds=n De=}	L
E	0xd109	{Sum=1 Ou=1 Oc=EBS Ds= @s=s}	Cacn
F	Cacn	@s=s {Ou=k Oc=p Ot=b Ds=n De=}	R
S		{Sum=1 Ou=1 Oc=EBS Ds= @s=s}	sum
		@(As=a At=rwl Aab=)	
		0xd188d1b8f00	

TTIn	@s=s {Sh=0 Sum=1 Ou=k Oc=p Ot=b Ds=n De=}
	{Sum=1 Ou=1 Oc=EBS Ds= @s=s}
	0xd2346fe
TTOut	@s=s {Sh=0 Sum=1 Ou=k Oc=p Ot=b Ds=n De=}
	{Sum=0 Ou=1 Oc=EBS Ds= @s=s}
	0xd6fc000
Jump	@s=s {Sh=0 Sum=1 Ou=k Oc=p Ot=b Ds=n De=}
	{Sum=0 Ou=1 Oc=EBS Ds= @s=s}
	0xd08c000

Заключение

В ходе развития специализированных средств автоматизации процесса разработки ПО получены следующие результаты:

- Разработаны средства визуального потокового программирования
- Внедрен символьный режим моделирования
- Разработаны средства автоматизации верификации капсул

Контакты

Директор: Академик Соколов И. А.

Адрес: Институт проблем информатики Федерального
исследовательского центра «Информатика и
управление» Российской академии наук (ИПИ РАН),
Россия, 119333, Москва, ул. Вавилова, д. 44, корпус 2

- Телефон: +7 (495) 137 34 94
- Fax: +7 (495) 930 45 05
- E-mail: ISokolov@ipiran.ru
- Докладчик: Хилько Д. В., +7(905)596-76-20,
dhilko@yandex.ru