

3. Программное обеспечение вычислительных систем

Программное обеспечение
высокопроизводительных ВС

Системное

- алгоритмы функционирования аппаратуры + спец. драйверы
- Операционные системы
- Системные надстройки над ОС для функционирования ВВС
- Языки и средства параллельного программирования
- Компиляторы + системные библиотеки для ВВС
- Планировщики задач (макро уровня)

Прикладное

- Прикладные вычислительные программы
- Прикладные программные библиотеки
- Прикладные математические библиотеки
- Отладчики
- Оптимизаторы прикладного ПО
- Дополнительные планировщики задач (макро и среднего уровня)

3.1 Средства системного программирования

1. Ассемблер

- + учитывает тонкости аппаратного обеспечения ВС
- сильно зависит от аппаратного обеспечения (процессора), программы плохо переносимы на другие платформы;
- сложно программировать;
- +/- программист должен сам контролировать хранение данных – распределять память, регистры, проводить оптимизацию.

Средства системного программирования

2. Язык высокого уровня

- + мало зависит от аппаратного обеспечения (процессора), программы хорошо переносимы;
- + программировать проще чем на ассемблере;
- хуже учитывает тонкости аппаратного обеспечения ВС, генерирует менее эффективный и более избыточный код;
- транслятор не всегда может «понять» идею программиста.

Средства системного программирования

3. Языки высокого уровня + ассемблер

- + части программы, требующие большего учета особенности аппаратуры и/или требующие меньшей избыточности могут быть эффективно реализованы ассемблерными вставками.
- + большие но не требующие производительности части программы пишутся без особого труда на ЯВУ;
- усложняется программирование и переносимость на другие платформы.

Средства системного программирования

4. Языки ООП

- + упрощение создания сложных программ и комплексов
- усиливаются отрицательные стороны программирования на ЯВУ;
- появляется зависимость от наследуемых классов;
- +/- зависимость от динамических библиотек, это улучшает переносимость, но сама программа над ними не властна.

Средства системного программирования

5. JAVA

- + улучшенная переносимость путем преобразования исходного программного кода в машинно независимый *bytecode*, который позже транслируется *Java Virtual Machine (JVM)* при выполнении программы под конкретную платформу;
- Код менее эффективный и более избыточный, эффективность зависит от качества работы *JVM* но не от самой программы;
- Нельзя делать ассемблерные вставки;
- тратится время на трансляцию *JVM* -машиной.

Средства системного программирования

6. C#

- + работа в многоязыковой среде программирования;
- + использование *Common Language Runtime (CLR)*;
- + преобразование в программу на промежуточном языке и использование *JIT*-компилятора (*Just In Time*) те компиляции к моменту выполнения;
- остаются отрицательные стороны программирования на ЯВУ.

Почему С – основной язык системного программирования

1. Обладает хорошей переносимостью (+);
2. Эффективный (близкий к ассемблеру) код (+);
3. Мало «думает» за программиста (+/-);
4. Доступ к аппаратуре почти на уровне ассемблера (+).

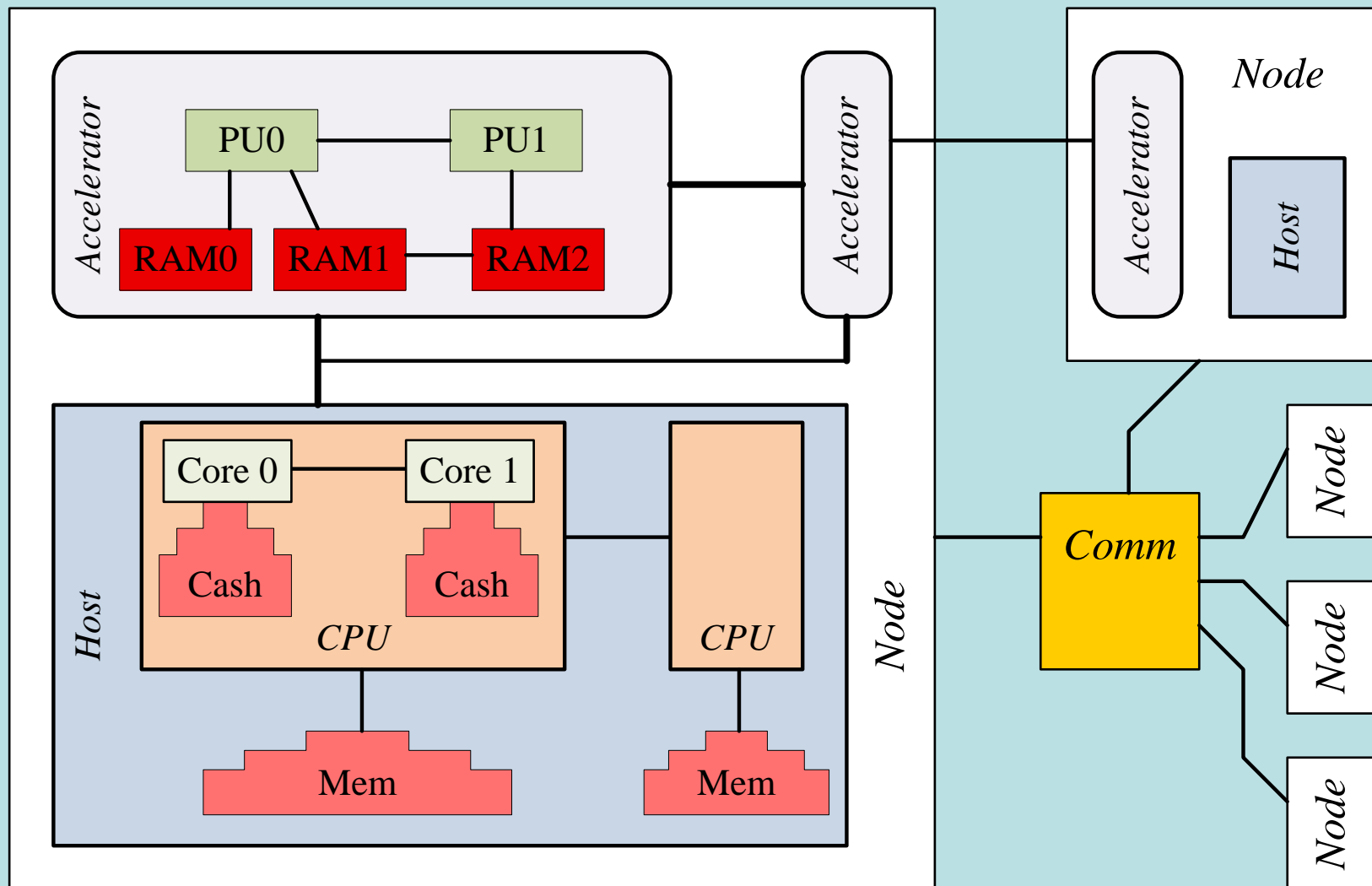
Другие важные особенности языка C

1. Обеспечивает разнообразие типов данных. Фундаментальные типы данных + иерархия производных типов;
2. Обеспечивает фундаментальное управление потоком команд;
3. Возвращаемое значение функции – допустимы данные любого базового типа, структуры, объединения и указатели;
4. Препроцессор C обеспечивает макроподстановки (включения других исходных файлов в текстовый файл программы) и условную компиляцию некоторых частей программы.

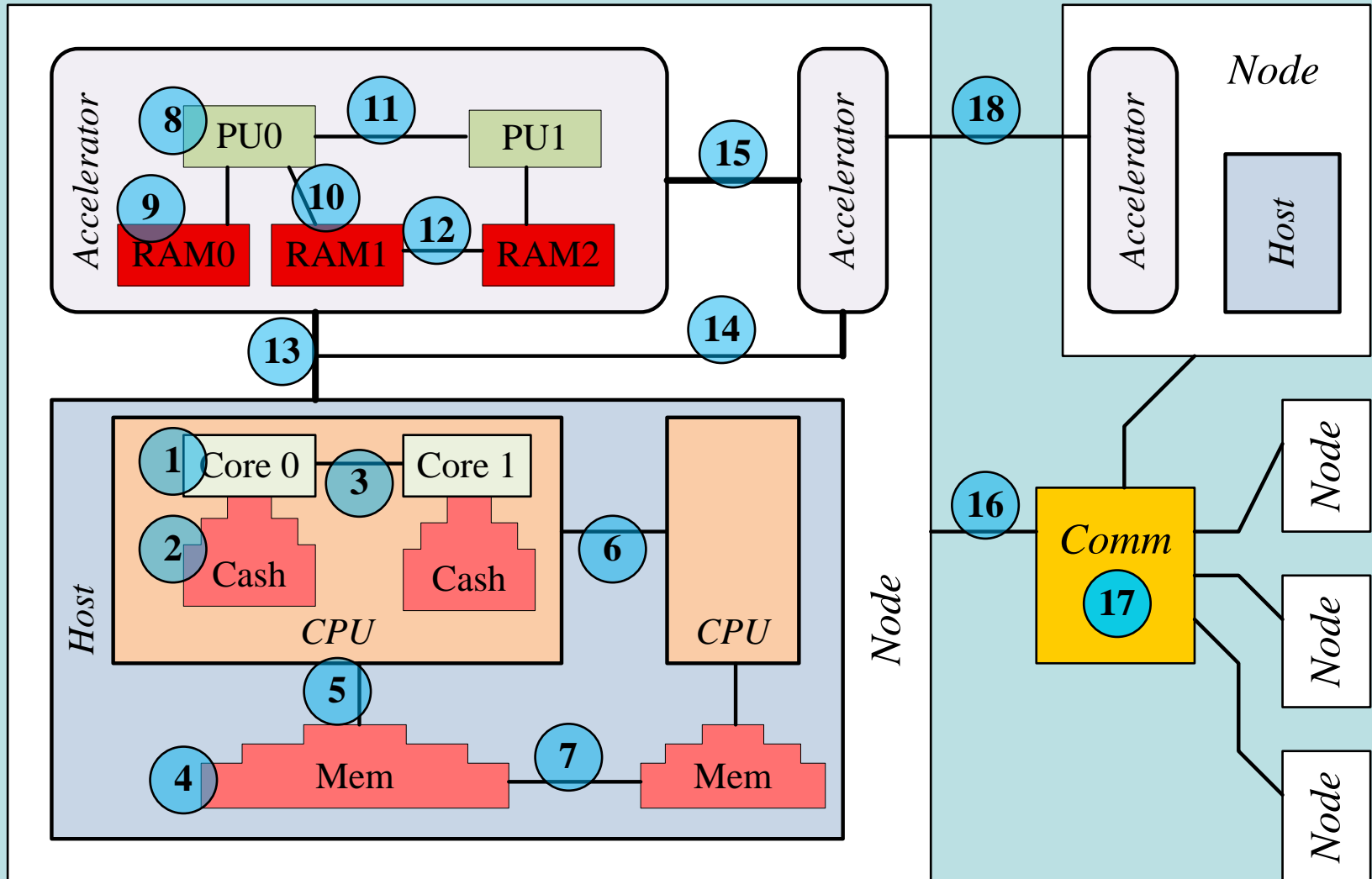
3.2 Особенности прикладного ПО для ВВС

В данном разделе будут коротко рассмотрены проблемы, с которыми сталкивается разработчик ПО для современных высокопроизводительных систем и задачи, которые он должен решать.

Логическая схема MPP-системы



Проблемы разработки прикладного ПО



Проблемы разработки прикладного ПО

Помимо основных и непростых задач распараллеливания, разработчик ПО должен решать задачи оптимизации и здесь он сталкивается со следующими проблемами:

- 1.** Эффективное использование параметров микроархитектуры процессорных ядер, их основных и дополнительных (например SSE) компонентов;
- 2.** Учет ёмкости и особенностей организации и функционирования иерархии кэш-памяти;
- 3.** Учет параметров взаимодействия между процессорными ядрами;
- 4.** Учет ёмкости и особенностей организации и иерархии памяти *host*-части узла ВС;

Проблемы разработки прикладного ПО

5. Проблемы скорости доступа (загрузки и вывода) процессора к памяти *host*-части узла ВС;
6. Учет особенностей взаимодействия между процессорами узла;
7. Организация доступа к данным другого процессора, с учетом того, общая или физически распределённая иерархия памяти на *host*-части узла;
8. Учет архитектуры и особенностей строения и функционирования ядра ускорителя вычислений;
9. Учет ёмкости, структуры быстродействия и параметров использования блоков памяти ускорителя;
10. Учет параметров (логических и временных) доступа ядер ускорителя к блокам памяти;

Проблемы разработки прикладного ПО

- 11.** Проблемы взаимодействия, синхронизации и передачи данных между ядрами ускорителя;
- 12а.** Организация передачи данных между блоками памяти ускорителя;
- 12б.** Проблема эффективного распределения данных между разнородными по скорости доступа, ёмкости и правам доступа блоками памяти ускорителя;
- 13.** Проблема узкого места – интерфейса между host-частью и ускорителями вычислений узла ВС;
- 14.** Учет особенностей загрузки нескольких ускорителей в узле (напрямую, посредством друг-друга и т.п.);

Проблемы разработки прикладного ПО

- 15.** Проблема эффективного по времени и логически выверенного взаимодействия, синхронизации и передачи данных между несколькими ускорителями узла ВС;
- 16.** Учёт латентности и пропускной способности каналов связи между узлами;
- 17.** Учёт топологии ВС, правил и режимов передачи данных между узлами ВС;
- 18.** Проблема организации эффективной передачи данных между ускорителями разных узлов ВС с учётом того, что реальных прямых физических связей между ними может не быть .

4. Параллельное решение систем линейных алгебраических уравнений.

Гаусс и Якоби

Рекомендуемые материалы

Интернет-Университет Суперкомпьютерных Технологий

<https://www.intuit.ru/studies/courses/1156/190/lecture/4956>

Параллельные методы решения систем лин. уравнений

<http://www.software.unn.ru/ccam/mskurs/RUS/PPT/ppr09.pdf>

Решение СЛАУ методом Якоби

<http://www.hpcc.unn.ru/?dir=1052>

Система линейных уравнений

$$a_0x_0 + a_1x_1 + a_2x_2 + \dots + a_{n-1}x_{n-1} = b$$

$$a_{0,0}x_0 + a_{0,1}x_1 + a_{0,2}x_2 + \dots + a_{0,n-1}x_{n-1} = b_0$$

$$a_{1,0}x_0 + a_{1,1}x_1 + a_{1,2}x_2 + \dots + a_{1,n-1}x_{n-1} = b_1$$

$$a_{2,0}x_0 + a_{2,1}x_1 + a_{2,2}x_2 + \dots + a_{2,n-1}x_{n-1} = b_2$$

.....

$$a_{n-1,0}x_0 + a_{n-1,1}x_1 + a_{n-1,2}x_2 + \dots + a_{n-1,n-1}x_{n-1} = b_{n-1}$$

$$AX=B$$

4.1 Метод Гаусса.

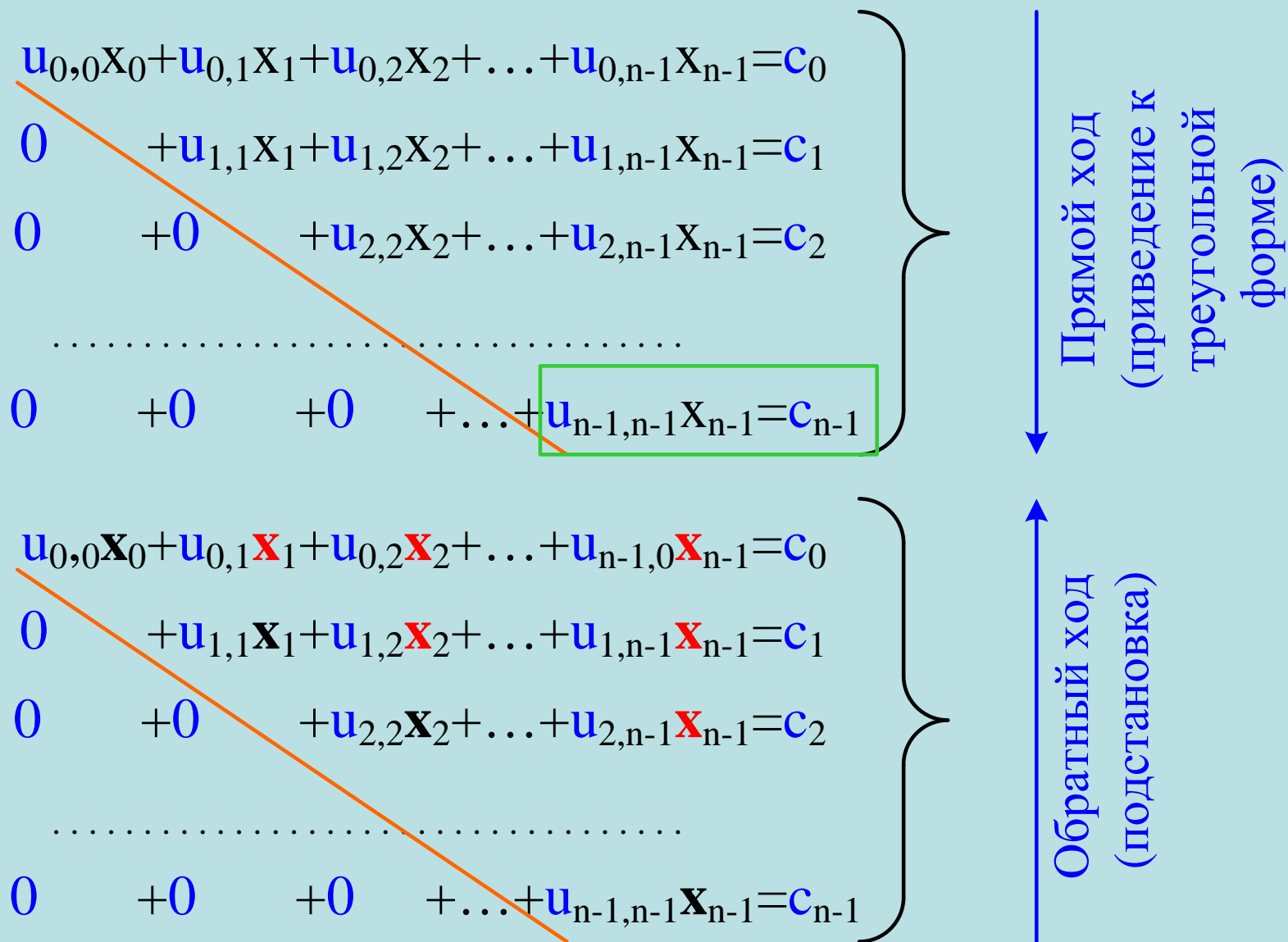
Преобразование системы к треугольному виду

[illegible]

$$\left\{ \begin{array}{l} u_{0,0}x_0 + u_{0,1}x_1 + u_{0,2}x_2 + \dots + u_{0,n-1}x_{n-1} = c_0 \\ 0 \quad + u_{1,1}x_1 + u_{1,2}x_2 + \dots + u_{1,n-1}x_{n-1} = c_1 \\ 0 \quad + 0 \quad + u_{2,2}x_2 + \dots + u_{2,n-1}x_{n-1} = c_2 \\ \vdots \\ 0 \quad + 0 \quad + 0 \quad + \dots + u_{n-1,n-1}x_{n-1} = c_{n-1} \end{array} \right\} \quad UX=C$$

Прямой ход (приведение к треугольной форме)

Обратная подстановка



Получение элементов матриц **U** и **C**

$$\begin{array}{rcl}
 u_{0,0}X_0 + u_{0,1}X_1 + u_{0,2}X_2 + \dots + u_{0,n-1}X_{n-1} & = & c_0 \\
 0 & + & u_{1,1}X_1 + u_{1,2}X_2 + \dots + u_{1,n-1}X_{n-1} = c_1 \\
 0 & + & 0 & + u_{2,2}X_2 + \dots + u_{2,n-1}X_{n-1} = c_2 \\
 \dots & & \dots & \\
 0 & + & 0 & + 0 & + \dots + u_{n-1,n-1}X_{n-1} = c_{n-1}
 \end{array} \left. \vphantom{\begin{array}{rcl} u_{0,0}X_0 + u_{0,1}X_1 + u_{0,2}X_2 + \dots + u_{0,n-1}X_{n-1} = c_0 \\ 0 & + & u_{1,1}X_1 + u_{1,2}X_2 + \dots + u_{1,n-1}X_{n-1} = c_1 \\ 0 & + & 0 & + u_{2,2}X_2 + \dots + u_{2,n-1}X_{n-1} = c_2 \\ \dots & & \dots & \\ 0 & + & 0 & + 0 & + \dots + u_{n-1,n-1}X_{n-1} = c_{n-1} \end{array}} \right\} UX=C$$

↓
 Прямой ход
 (приведение к
 треугольной
 форме)

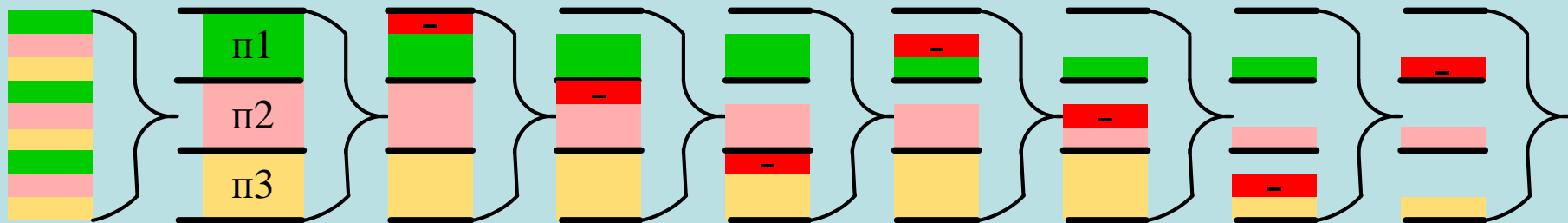
$$\begin{aligned}
 u_{i,j} &\longrightarrow a_{i,j}^{(k+1)} = a_{i,j}^{(k)} - \frac{a_{i,k}^{(k)} a_{k,j}^{(k)}}{a_{k,k}^{(k)}} ; & i=k+1, \dots, n-1; & \quad j=k+1, \dots, n-1; \\
 & & k=0, 1, \dots, n-2 & \quad \text{- итерации.} \\
 c_i &\longrightarrow b_i^{(k+1)} = b_i^{(k)} - \frac{a_{i,k}^{(k)} b_k^{(k)}}{a_{k,k}^{(k)}} ; & & \\
 & & \text{ведущие элементы: } a_{k,k}^{(k)} \neq 0 &
 \end{aligned}$$

4.2 Распараллеливание метода Гаусса.

**С перенумеровкой
матрицы A**

$$\begin{aligned}
 0. \quad & a_{0,0}x_0 + a_{1,0}x_1 + a_{2,0}x_2 + a_{3,0}x_3 + a_{4,0}x_4 + a_{5,0}x_5 + a_{6,0}x_6 + a_{7,0}x_7 + a_{8,0}x_8 = b_0 \\
 1. \quad & a_{0,1}x_0 + a_{1,1}x_1 + a_{2,1}x_2 + a_{3,1}x_3 + a_{4,1}x_4 + a_{5,1}x_5 + a_{6,1}x_6 + a_{7,1}x_7 + a_{8,1}x_8 = b_1 \\
 2. \quad & a_{0,2}x_0 + a_{1,2}x_1 + a_{2,2}x_2 + a_{3,2}x_3 + a_{4,2}x_4 + a_{5,2}x_5 + a_{6,2}x_6 + a_{7,2}x_7 + a_{8,2}x_8 = b_2 \\
 3. \quad & a_{0,3}x_0 + a_{1,3}x_1 + a_{2,3}x_2 + a_{3,3}x_3 + a_{4,3}x_4 + a_{5,3}x_5 + a_{6,3}x_6 + a_{7,3}x_7 + a_{8,3}x_8 = b_3 \\
 4. \quad & a_{0,4}x_0 + a_{1,4}x_1 + a_{2,4}x_2 + a_{3,4}x_3 + a_{4,4}x_4 + a_{5,4}x_5 + a_{6,4}x_6 + a_{7,4}x_7 + a_{8,4}x_8 = b_4 \\
 5. \quad & a_{0,5}x_0 + a_{1,5}x_1 + a_{2,5}x_2 + a_{3,5}x_3 + a_{4,5}x_4 + a_{5,5}x_5 + a_{6,5}x_6 + a_{7,5}x_7 + a_{8,5}x_8 = b_5 \\
 6. \quad & a_{0,6}x_0 + a_{1,6}x_1 + a_{2,6}x_2 + a_{3,6}x_3 + a_{4,6}x_4 + a_{5,6}x_5 + a_{6,6}x_6 + a_{7,6}x_7 + a_{8,6}x_8 = b_6 \\
 7. \quad & a_{0,7}x_0 + a_{1,7}x_1 + a_{2,7}x_2 + a_{3,7}x_3 + a_{4,7}x_4 + a_{5,7}x_5 + a_{6,7}x_6 + a_{7,7}x_7 + a_{8,7}x_8 = b_7 \\
 8. \quad & a_{0,8}x_0 + a_{1,8}x_1 + a_{2,8}x_2 + a_{3,8}x_3 + a_{4,8}x_4 + a_{5,8}x_5 + a_{6,8}x_6 + a_{7,8}x_7 + a_{8,8}x_8 = b_8
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 0. & a_{0,0}x_0 + a_{1,0}x_1 + a_{2,0}x_2 + a_{3,0}x_3 + a_{4,0}x_4 + a_{5,0}x_5 + a_{6,0}x_6 + a_{7,0}x_7 + a_{8,0}x_8 = b_0 \\
 1. & a_{0,1}x_0 + a_{1,1}x_1 + a_{2,1}x_2 + a_{3,1}x_3 + a_{4,1}x_4 + a_{5,1}x_5 + a_{6,1}x_6 + a_{7,1}x_7 + a_{8,1}x_8 = b_1 \\
 2. & a_{0,2}x_0 + a_{1,2}x_1 + a_{2,2}x_2 + a_{3,2}x_3 + a_{4,2}x_4 + a_{5,2}x_5 + a_{6,2}x_6 + a_{7,2}x_7 + a_{8,2}x_8 = b_2 \\
 3. & a_{0,3}x_0 + a_{1,3}x_1 + a_{2,3}x_2 + a_{3,3}x_3 + a_{4,3}x_4 + a_{5,3}x_5 + a_{6,3}x_6 + a_{7,3}x_7 + a_{8,3}x_8 = b_3 \\
 4. & a_{0,4}x_0 + a_{1,4}x_1 + a_{2,4}x_2 + a_{3,4}x_3 + a_{4,4}x_4 + a_{5,4}x_5 + a_{6,4}x_6 + a_{7,4}x_7 + a_{8,4}x_8 = b_4 \\
 5. & a_{0,5}x_0 + a_{1,5}x_1 + a_{2,5}x_2 + a_{3,5}x_3 + a_{4,5}x_4 + a_{5,5}x_5 + a_{6,5}x_6 + a_{7,5}x_7 + a_{8,5}x_8 = b_5 \\
 6. & a_{0,6}x_0 + a_{1,6}x_1 + a_{2,6}x_2 + a_{3,6}x_3 + a_{4,6}x_4 + a_{5,6}x_5 + a_{6,6}x_6 + a_{7,6}x_7 + a_{8,6}x_8 = b_6 \\
 7. & a_{0,7}x_0 + a_{1,7}x_1 + a_{2,7}x_2 + a_{3,7}x_3 + a_{4,7}x_4 + a_{5,7}x_5 + a_{6,7}x_6 + a_{7,7}x_7 + a_{8,7}x_8 = b_7 \\
 8. & a_{0,8}x_0 + a_{1,8}x_1 + a_{2,8}x_2 + a_{3,8}x_3 + a_{4,8}x_4 + a_{5,8}x_5 + a_{6,8}x_6 + a_{7,8}x_7 + a_{8,8}x_8 = b_8
 \end{aligned}$$



4.3 Метод Якоби.

[illegible]

$$\mathbf{x}_0^{(k+1)} = (\mathbf{b}_0 - \mathbf{a}_{0,1}\mathbf{x}_1^{(k)} + \mathbf{a}_{0,2}\mathbf{x}_2^{(k)} + \dots + \mathbf{a}_{0,n-1}\mathbf{x}_{n-1}^{(k)}) / \mathbf{a}_{0,0}$$