

Распределенные системы и технологии.
Временные метки Лэмпорта и
векторные часы

Дмитрий Юрьевич Чалый
декан факультета ИВТ,
зав. кафедрой информационных и сетевых технологий



22 мая 2016 г.

- Распределенные системы состоят из узлов;
- каждый узел имеет свои часы, которые независимы от других;
- часы могут убежать или отставать;
- поэтому их надо координировать;
- это помогает устанавливать порядок событий в распределенной системе;
- может вообще отказаться от часов в традиционном виде?



- Сопоставим каждому событию временную метку;
- метки должны отражать каузальность (причинно-следственную связь);
- если событие A каузально случилось до другого события B , то

$$\text{timestamp}(A) < \text{timestamp}(B).$$



- Предложены Лесли Лэмпортом в 1970-х;
- используются для определения логического порядка событий в распределенных системах;
- определим логическое отношение «произошло до» (обозначается \rightarrow) со следующими свойствами:

① a и b произошли в рамках одного процесса:

$a \rightarrow b$, если $time(a) < time(b)$;

② если процесс p_i отправляет сообщение m процессу p_j :

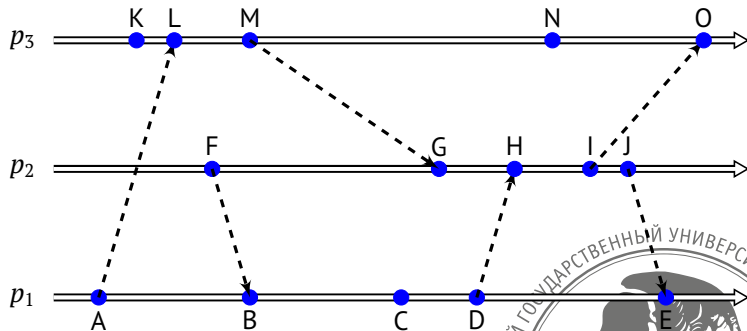
$send(m) \rightarrow receive(m)$;

③ транзитивность: если $a \rightarrow b$ и $b \rightarrow c$, то $a \rightarrow c$.

- это помогает определить частичный порядок на множестве событий распределенной системы.



Пример

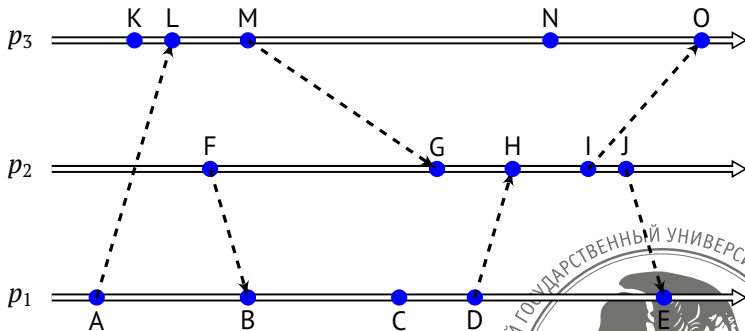


Простые случаи:

- $A \rightarrow B$;
- $M \rightarrow G$;
- $C \rightarrow E$.



Пример



Более интересные случаи:

- $A \rightarrow M$;
- $B \rightarrow O$;
- $K \rightarrow E$.



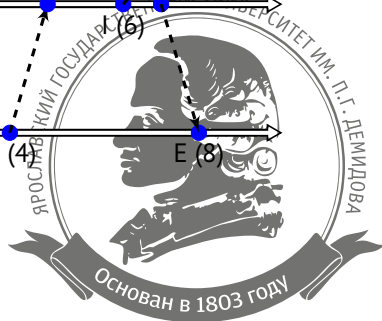
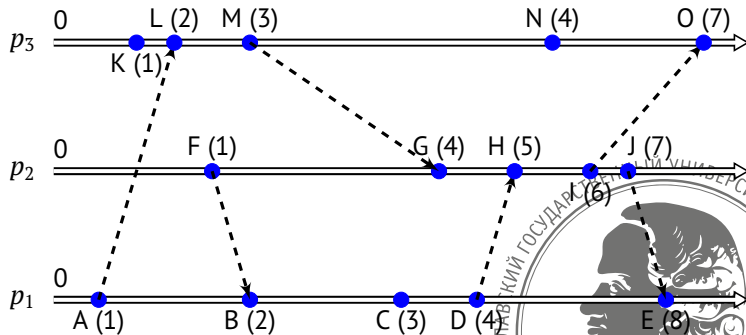
Назначение меток Лэмпорта

- Каждый процесс содержит локальный целочисленный счетчик (везде начальное значение равно нулю);
- увеличиваем значение счетчика на 1, если отправили сообщение, либо выполнили операцию;
- каждое сообщение содержит значение счетчика;
- при получении счетчик увеличивается согласно правилу:

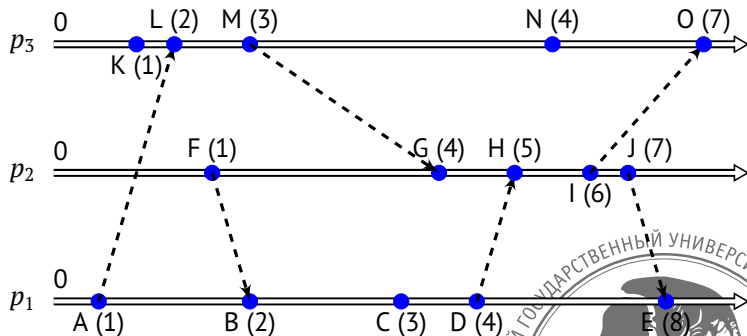
$max(\text{локальный счетчик, значение счетчика из сообщения}) + 1$



Пример



Пример

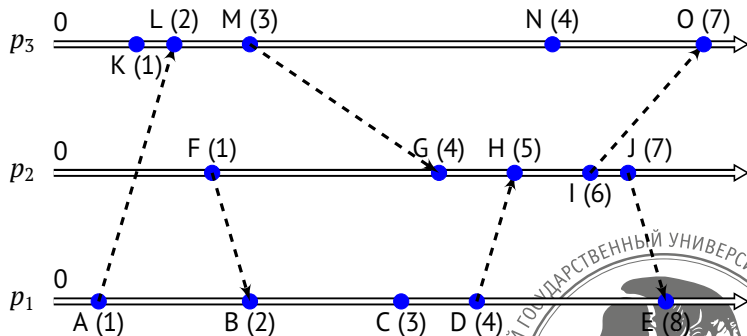


Простые случаи:

- $A \rightarrow B, 1 < 2;$
- $M \rightarrow G, 3 < 4;$
- $C \rightarrow E, 3 < 8.$



Пример

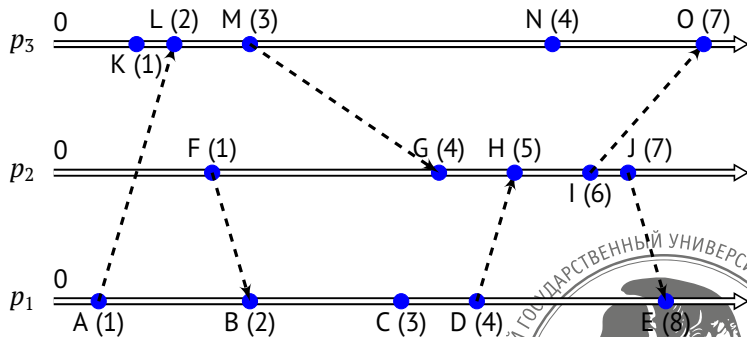


Более интересные случаи:

- $A \rightarrow M, 1 < 3$;
- $B \rightarrow O, 2 < 7$;
- $K \rightarrow E, 1 < 8$.



Пример



Когда не обеспечивается каузальность:

- $M \nrightarrow C, 3 = 3$;
- $N \nrightarrow H, 4 < 5$;
- (M, C) и (N, H) пары параллельных (concurrent) событий.



Параллельные (concurrent) события

- $e_1 \rightarrow e_2 \Rightarrow \text{timestamp}(e_1) < \text{timestamp}(e_2)$;
- $\text{timestamp}(e_1) < \text{timestamp}(e_2) \Rightarrow$
 $e_1 \rightarrow e_2$ или e_1, e_2 — параллельные события.
- как различать параллельные и каузальные события?



Векторные временные метки

- Пусть в группе n процессов;
- процесс p_i хранит вектор целочисленных счетчиков $V_i[1 \dots n]$;
- значение $V_i[j]$ это наиболее свежая информация, которой обладает процесс i о текущем времени в процессе j .



Каждый процесс p_i :

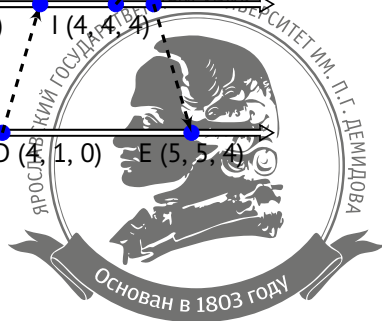
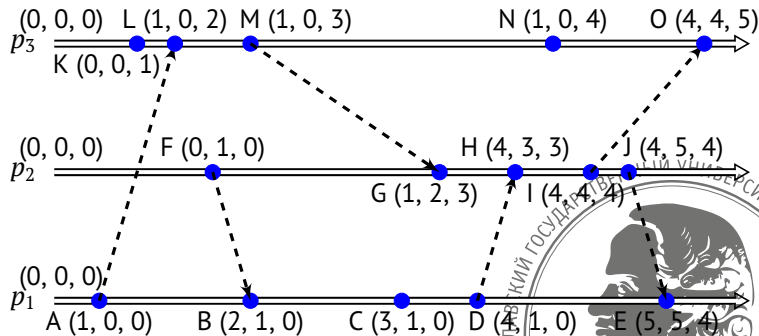
- увеличивает $V_i[i]$ при совершении локального события или передаче сообщения;
- каждое сообщение содержит вектор временных меток отправителя $V_{message}[1 \dots n]$;
- при получении сообщения от процесса j

$$V_i[i] = V_i[i] + 1$$

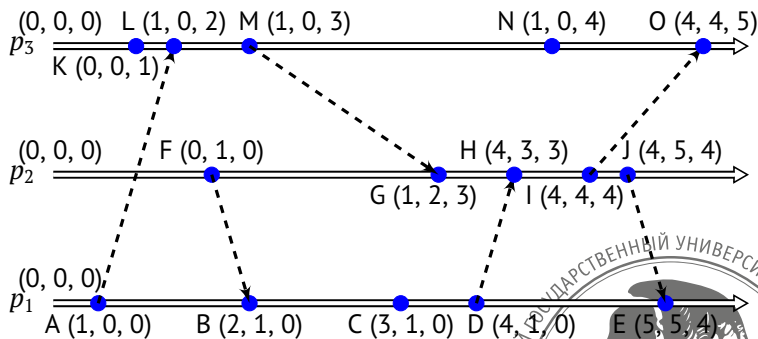
$$V_i[j] = \max(V_{message}[j], V_i[j]), i \neq j$$



Пример



Пример

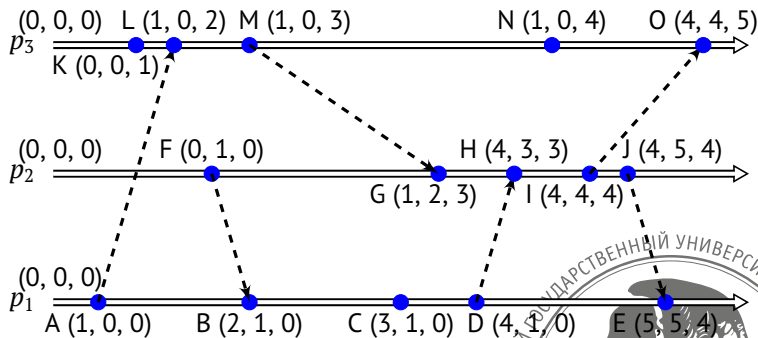


Простые случаи:

- $A \rightarrow B, (1, 0, 0) \leq (2, 1, 0);$
- $M \rightarrow G, (1, 0, 3) \leq (1, 2, 3);$
- $C \rightarrow E, (3, 1, 0) \leq (5, 5, 4).$



Пример

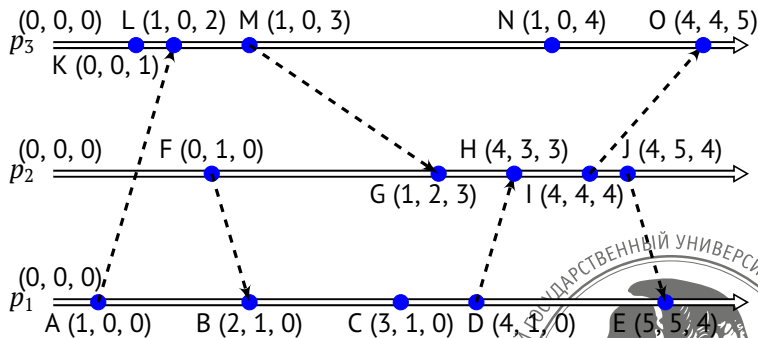


Более интересные случаи:

- $A \rightarrow M, (1, 0, 0) \leq (1, 0, 3)$;
- $B \rightarrow O, (2, 1, 0) \leq (4, 4, 5)$;
- $K \rightarrow E, (0, 0, 1) \leq (5, 5, 4)$.



Пример



Параллельные (concurrent) события:

- $M \parallel C$, $(1, 0, 3) \not\preceq (3, 1, 0)$ и $(3, 1, 0) \not\preceq (1, 0, 3)$;
- $N \parallel H$, $(1, 0, 4) \not\preceq (4, 3, 3)$ и $(4, 3, 3) \not\preceq (1, 0, 4)$;
- $O \parallel J$, $(4, 4, 5) \not\preceq (4, 5, 4)$ и $(4, 5, 4) \not\preceq (4, 4, 5)$.



Формальное определение

- $V_i \leq V_j, \Leftrightarrow$

$$\forall k: V_i[k] \leq V_j[k];$$

- $a \rightarrow b, \Leftrightarrow$

$$V_a \leq V_b \text{ и } \exists 1 \leq j \leq n: V_a[j] < V_b[j],$$

- a и b являются параллельными (concurrent) \Leftrightarrow

$$V_a \not\leq V_b \text{ и } V_b \not\leq V_a.$$

