

Время в моделях систем с дискретными событиями

03.07.2025

И.Н. Скопин

*Институт вычислительной математики и
математической геофизики СО РАН
Новосибирский государственный университет*

Что такое ВРЕМЯ?

Что я измеряю время, это я знаю,
но я не могу измерить будущего, ибо его еще нет; не
могу измерить настоящего, потому что в нем нет
длительности,
не могу измерить прошлого, потому что его уже нет.
Что же я измеряю? Время, которое проходит, но еще
не прошло?

Аврелий Августин (354 – 430). Исповедь [1]

Введение

- Исследование развивающихся систем предполагает отражение изменений системы в течение ее существования.
- Процессы, которые обеспечивают развитие, начинаются, выполняются и завершаются в определенных временных рамках, что само по себе указывает на необходимость моделирования времени.
 - Здесь важны не столько часы, минуты и т.п., хотя в некоторых простых случаях и эта привязка поведения к временной шкале может быть достаточна, сколько такие свойства, как взаимовлияние и синхронизация поведения элементов, развитие под воздействием событий, внешних по отношению к системе и продуцируемых ее элементами.
- Иными словами, на модельном уровне существенны взаимодействия элементов, а не моменты абсолютного времени, когда эти взаимодействия происходят
- По отношению к отдельному элементу можно говорить о *локальном времени*:
 - последовательность событий, в которые вовлечен элемент в ходе развития системы,
- но это не глобальное время, которое мы все хорошо знаем.

Варианты представления времени при моделировании

- *Реальное время*, в котором происходит функционирование изучаемого объекта — это время реальной системы, модель которой строится для проведения исследования;
- *Модельное время*, в масштабе которого организуются экспериментальные расчеты модели — это отражение реального времени в конструируемой модели (его часто называют системным временем, что на наш взгляд, может быть понято не совсем корректно);
- *Машинное время*, отражающее затраты времени вычислителя на проведение имитации — этот атрибут особенно важен при использовании моделей, адекватность которых существенно зависит от объема вычислительных ресурсов, задействованных в расчетах.

Выбор подхода к заданию модельного времени

- Это очень неоднозначно, но если развитие системы связывать с активностью и взаимодействиями элементов, то становится очевидной необходимость *согласовано* определять два вида модельного времени:
 - *локальное время для каждого элемента и*
 - *глобальное время системы в целом.*
- Ключевое требование здесь — *согласованность*

События, протоколы, локальное время

Под термином *событие* понимается сущность поведения системы, которая обладает следующими свойствами.

События:

- a) *вырабатываются* окружением или элементами системы;
- b) могут *отрабатываться* некоторыми элементами, про которые говорят, что они *реагируют* на событие, т.е.
 - I. идентифицируют, или *распознают* событие и
 - II. активизируют обработку *программой реакции* на событие;
- c) могут *отслеживаться*, т.е. фиксироваться для каждого элемента, в последовательности, в которой он реагирует на события системы;
- d) *не повторяются*: т.е. в последовательности событий, на которые реагирует каждый из элементов, не существует двух или более одинаковых событий.

События, протоколы, локальное время

Событие

- Вырабатывается, возникает
- Может обрабатываться элементом:
 - i. идентифицирует, распознает его
 - ii. активизирует обработку (реагирует)
- Может отслеживаться

Они не повторяются

Протокол поведения элемента = последовательность событий, на которые он реагирует
= **локальное время элемента**

Ретроспективное и перспективное локальное время

Идентификация: **мгновенна**

Реакция: **мгновенна** или **длительна**

Поведение каждого элемента конечно

Создание, активизация и деактивизация элемента

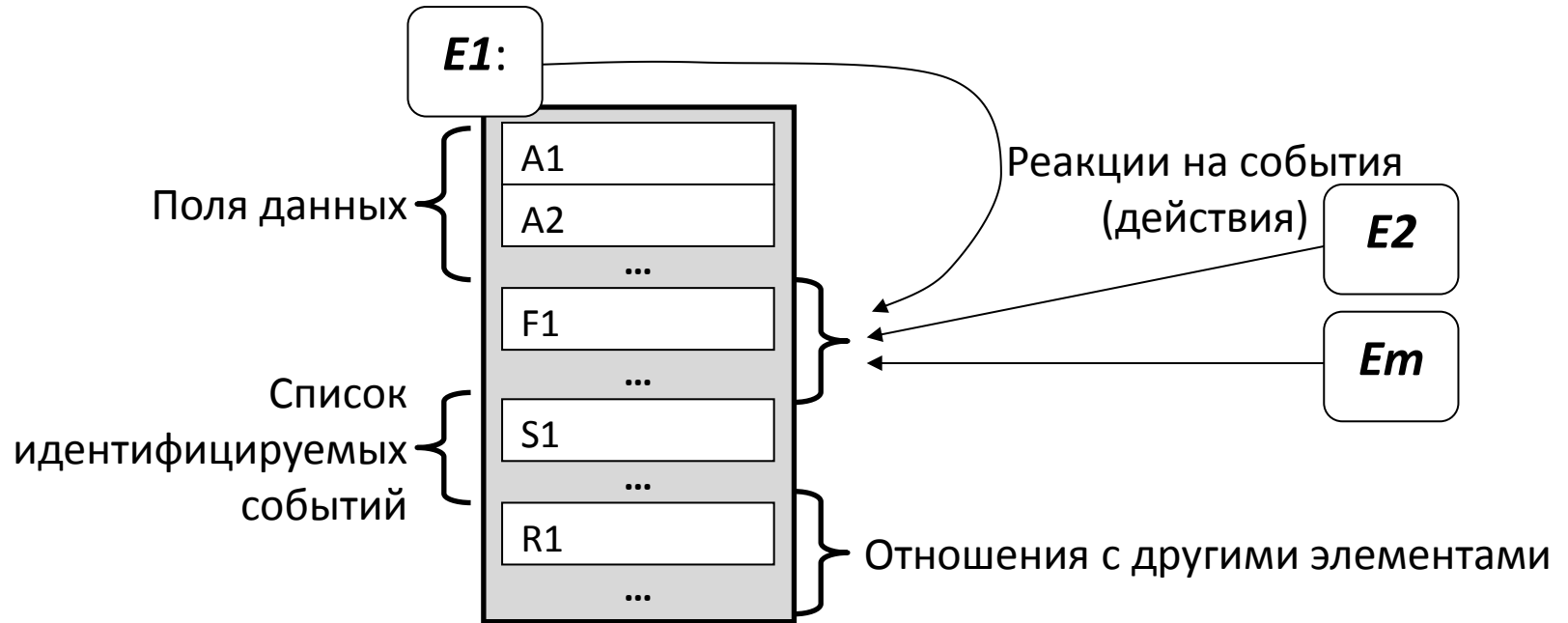
Пусть на какое-то событие реагируют некоторые элементы системы таким образом, что в результате оказывается выполненным:

- *появление* атрибутного представления элемента, отвечающего его типу и отражающего включение элемента во все представленные в системе структуры;
- порождение *пустого* протокола нового элемента;
- объявление в качестве единственного события, идентифицируемого элементом, *события активизации*, планируемая реакция на которое начинает активное поведение элемента (фактическое *рождение*).

Такое событие называется *созданием элемента*. Создание — общее событие нового элемента и всех элементов, реагирующих на него.

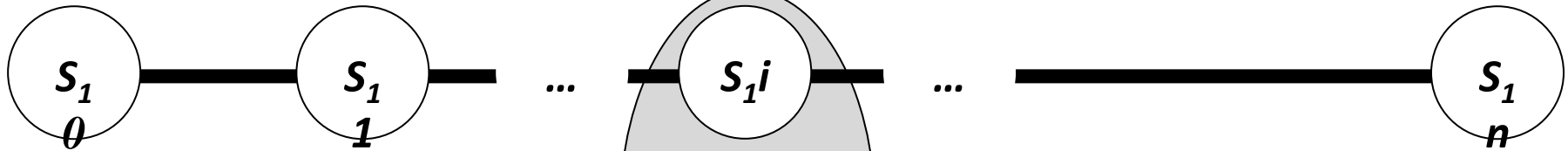
Декларируется, что для каждого элемента системы определено событие, реакция на которое включает в себя прекращение его активности, т.е. он перестает реагировать на другие события. Такое событие называется *деактивизацией* элемента.

Атрибутное описание элемента

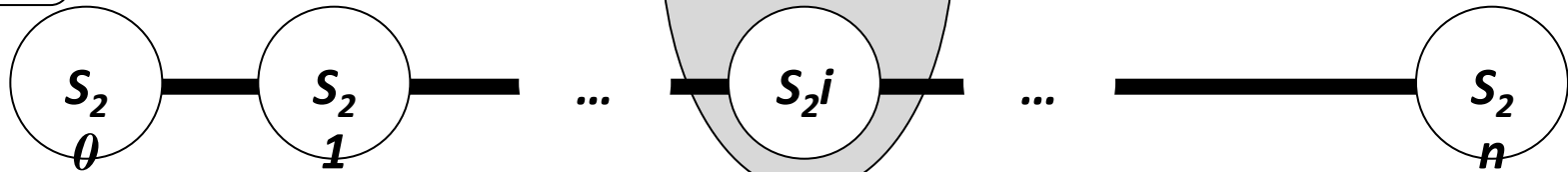


Пересечение протоколов

E1:



E2:



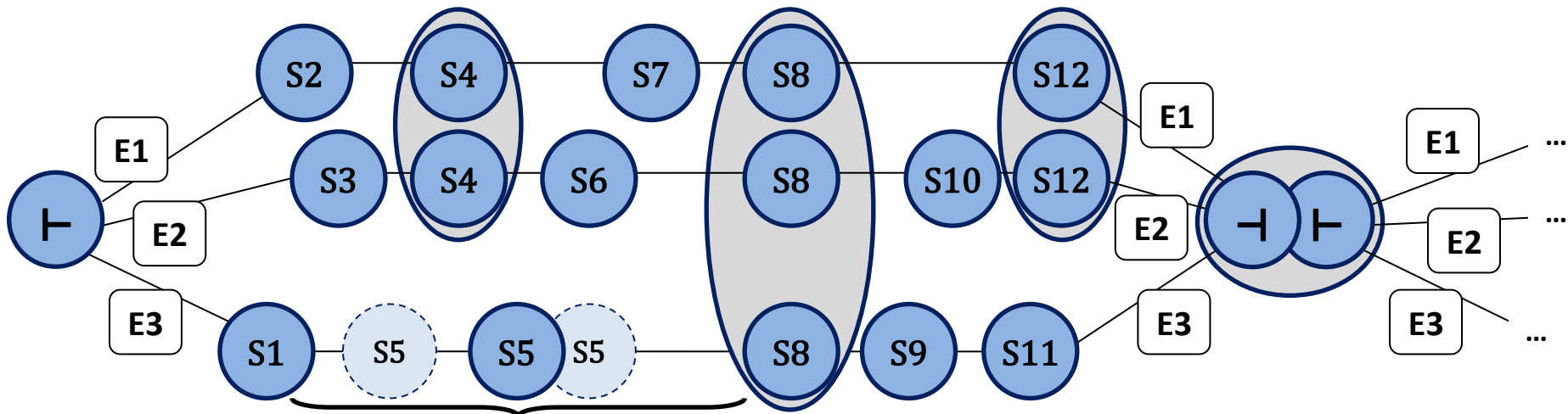
$$S_1i = S_2i$$

Начальное событие \vdash и
завершающее либо
приостанавливающее событие \dashv

начинают и
завершают любой
протокол

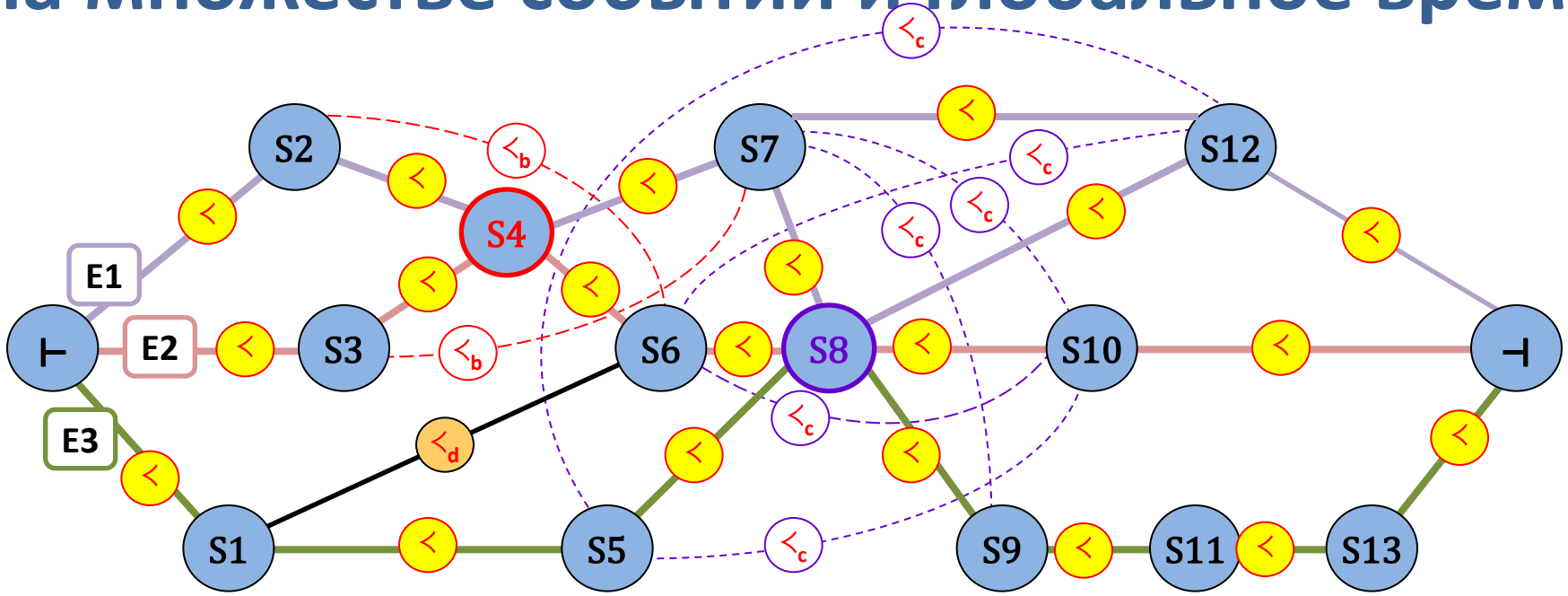
В любом протоколе: $\dots S', \dashv, \vdash, S'', \dots = \dots S', S'', \dots$

Взаимосвязи трех элементов (пример)



Положение $S5$ между $S1$ и $S8$ не имеет значения

Отношение временного частичного порядка на множестве событий и глобальное время



Множество событий $\Omega = \{\vdash, S_1, S_2, S_3, S_4, S_5, S_6, S_7, S_8, S_9, S_{10}, S_{11}, S_{13}, \dashv\}$







Протоколы:

$E_1 \Rightarrow \vdash, S_2, S_4, S_7, S_8, S_{12}, \dashv$

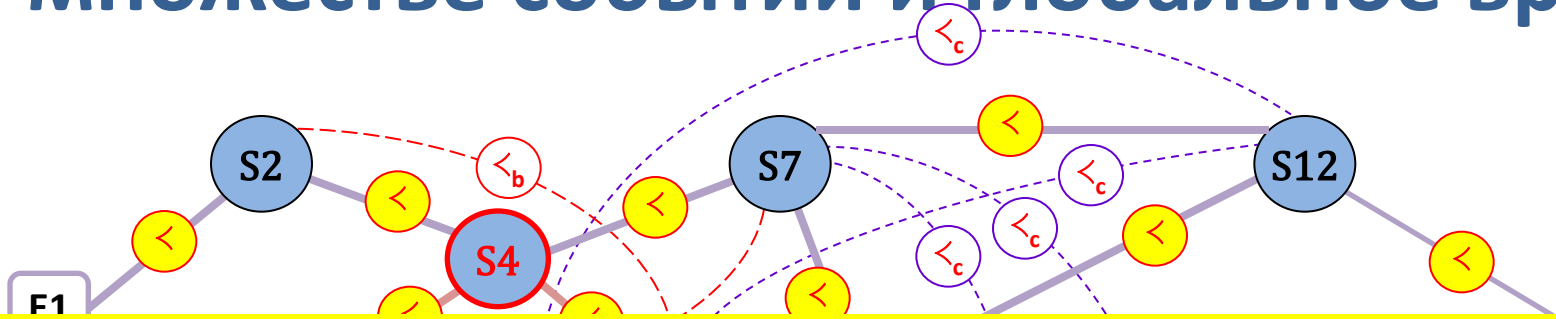
$E_2 \Rightarrow \vdash, S_3, S_4, S_6, S_8, S_{10}, \dashv$

$E_2 \Rightarrow \vdash, S_1, S_5, S_8, S_9, S_{11}, S_{13}, \dashv$

Отношение $<$:

-    — основное (показано только для соседей) (a)
-   — транзитивность: пересечение E_1, E_2 и E_1, E_2, E_3 (b,c)
-  — корректно добавленное отношение (d)

Отношение временного частичного порядка на множестве событий и глобальное время



Появление событий, на которые реагируют элементы, — неопределяемое понятие. Достаточно знать лишь то, что элементы системы взаимодействуют посредством реакции на события, которые возникают в результате внешних воздействий или поведения каких-либо элементов. Не исключается возможность элемента объявить событие «для себя», т.е. такое, на которое он реагирует сам, возможно, совместно с другими элементами.

Множество событий $\Omega = \{\vdash, S1, S2, S3, S4, S5, S6, S7, S8, S9, S10, S11, S13 \dashv\}$

Протоколы:

$E1 \Rightarrow \vdash, S2, S4, S7, S8, S12, \dashv$

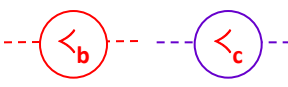
$E2 \Rightarrow \vdash, S3, S4, S6, S8, S10, \dashv$

$E2 \Rightarrow \vdash, S1, S5, S8, S9, S11, S13 \dashv$

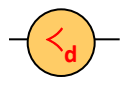
Отношение $<$:



— основное (показано только для соседей) (a)



— транзитивность: пересечение $E1, E2$ и $E1, E2, E3$ (b,c)



— корректно добавленное отношение (d)

Периоды возникновения событий

Пусть $<$ — отношение временного порядка на множестве реализованных событий Ω , x — произвольное событие из Ω . Тогда множества $L(x)$ и $H(x)$, определяются следующим образом:

$$L(x) = \{a \in \Omega \mid (a < x) \ \& \ \neg \exists b \in \Omega ((a < b) \ \& \ (b < x))\}$$

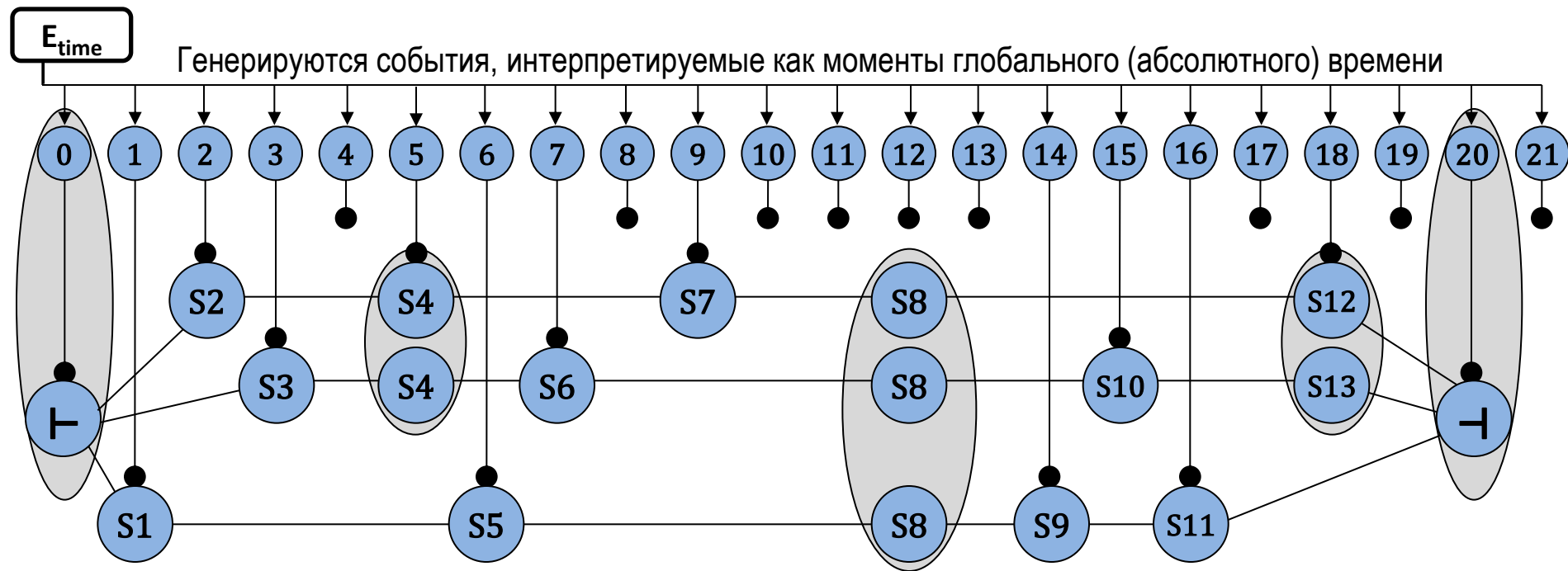
— **самые поздние события из всех, которые возникают *раньше* x**

$$H(x) = \{b \in \Omega \mid (x < b) \ \& \ \neg \exists a \in \Omega ((x < a) \ \& \ (a < b))\}$$

— **самые ранние события из всех, которые возникают *позже* x**

Множества $L(x)$ и $H(x)$ не могут быть пустыми

Генератор (абсолютного, глобального) времени



- В модели нет необходимости «равномерного» распределения временных событий (в частности, тактирование – не интерпретируемая в модели сущность)
- Не для всех временных событий есть реакция элементов системы
- Временные события должны быть согласованы с глобальным временем, рассматриваемым как частичный порядок на множестве всех событий
- Реакция на временные события не означает решение проблемы синхронизации

Два подхода к пониманию пространства и времени: *объективистский* и *субъективистский*

↓
Две концепции:

субстанциональная и *реляционная*

Платон, Демокрит:

- Пространство — это пустота,местилище атомов,
- Время — местилище событий.

Аристотель:

- Пространство — это система естественных мест, занимаемых материальными телами

Лейбниц, Декарт, Гегель:

- Пространство и время наполнены материей. Движение — процесс, переход времени в пространство и наоборот

Лобачевский, Эйнштейн:

- Все существует в пространственно временном континууме
- Время необратимо и ассиметрично (т.е. все процессы протекают от прошлого через настоящее к будущему)

Петти, Смит, Маркс:

- Время — это ресурс

Вальрас, Кларк, Беккер:

- Понятие фонда времени

Экономические науки

Физика, математика и другие естественные науки

Блаженный Аврелий Августин:

- Времени вне человека не существует;
- Время — это способ человека обозначить изменения.

Кант:

- Пространство и Время — это формы чувственной познавательной способности человека, которые не могут существовать независимо от человека.

Беркли, Мах, ...

Богданов, Берталанфи:

- Общая теория систем
- Открытые развивающиеся системы

Эшби:

- Гомеостат, самоорганизация, закрытые системы

Щедровицкий:

- Системо-мыследеятельностная методология
- Время и развитие

Пиаже:

- Переход от **междисциплинарных** исследований к **трансдисциплинарным**, т.е. без строгих границ между дисциплинами

Системное мировоззрение

?