

Математическая логика и логическое программирование

mk.cs.msu.ru → Лекционные курсы

→ Математическая логика и логическое программирование (3-й поток)

Блок 2

Логика высказываний:
синтаксис, семантика

Лектор:
Подымов Владислав Васильевич
E-mail:
valdus@yandex.ru

ВМК МГУ, 2024/2025, осенний семестр

Логика высказываний: вступление

В языке логики высказываний содержатся средства записи

- ▶ «простых» высказываний, которые можно **интерпретировать** как истинные или ложные, и
- ▶ «булевых» причинно-следственных связей между этими высказываниями

Для примера посмотрим внимательно на такое предложение:

Если будете прогуливать лекции,

то ничего хорошего из этого не выйдет

Логика высказываний: вступление

В языке логики высказываний содержатся средства записи

- ▶ «простых» высказываний, которые можно **интерпретировать** как истинные или ложные, и
- ▶ «булевых» причинно-следственных связей между этими высказываниями

Для примера посмотрим внимательно на такое предложение:

Если будете прогуливать лекции,

то ничего хорошего из этого не выйдет

A

Можно ли сказать, что это «простое высказывание»?

Логика высказываний: вступление

В языке логики высказываний содержатся средства записи

- ▶ «простых» высказываний, которые можно **интерпретировать** как истинные или ложные, и
- ▶ «булевых» причинно-следственных связей между этими высказываниями

Для примера посмотрим внимательно на такое предложение:

Если будете прогуливать лекции,

то ничего хорошего из этого не выйдет



Здесь есть причинно-следственная связь . . .

Логика высказываний: вступление

В языке логики высказываний содержатся средства записи

- ▶ «простых» высказываний, которые можно **интерпретировать** как истинные или ложные, и
- ▶ «булевых» причинно-следственных связей между этими высказываниями

Для примера посмотрим внимательно на такое предложение:

Если будете прогуливать лекции,

то ничего хорошего из этого не выйдет

$$A \rightarrow B$$

... между двумя простыми высказываниями

Логика высказываний: вступление

В языке логики высказываний содержатся средства записи

- ▶ «простых» высказываний, которые можно **интерпретировать** как истинные или ложные, и
- ▶ «булевых» причинно-следственных связей между этими высказываниями

Для примера посмотрим внимательно на такое предложение:

Если будете прогуливать лекции,

то ничего хорошего из этого не выйдет

$$A \rightarrow \neg B$$

А одно из высказываний можно сделать **ещё проще**

Логика высказываний: вступление

В языке логики высказываний содержатся средства записи

- ▶ «простых» высказываний, которые можно **интерпретировать** как истинные или ложные, и
- ▶ «булевых» причинно-следственных связей между этими высказываниями

Для примера посмотрим внимательно на такое предложение:

Если будете прогуливать лекции,

то ничего хорошего из этого не выйдет

$$A \rightarrow \neg B$$

Логика высказываний: вступление

После формализации высказывания получилось что-то очень похожее на **формулу булевой алгебры**, но не совсем:

Какой смысл имеет построенное высказывание?

Булева алгебра: значение формулы — это булева функция:

A	B	$A \rightarrow \neg B$
0	0	1
0	1	1
1	0	1
1	1	0

Логика высказываний: ?

Основные три составляющие формального языка, которые дальше будут введены и для языка логики высказываний:

алфавит: набор символов, используемых в языке

синтаксис: правила, по которым из символов строятся высказывания языка (**формулы**)

семантика: значение этих высказываний

Логика высказываний: алфавит

Алфавит логики высказываний состоит из следующих символов:

1. Пропозициональные **переменные**

- ▶ Будем считать, что в алфавите содержится **счётное** число таких переменных
- ▶ **Var** — множество всех пропозициональных переменных

2. Логические **связки**:

Конъюнкция	(логическое И):	&
Дизъюнкция	(логическое ИЛИ):	∨
Отрицание	(логическое НЕ):	¬
Импликация	(логическое ЕСЛИ-ТО):	→

3. Скобки:

()

Синтаксис и БНФ

Синтаксис:

- ▶ σύνταξις (древнегреческий) — строй, организация, конструкция¹
- ▶ система языковых категорий, относящихся к соединениям слов и строению предложений²

Для задания синтаксиса в курсе будут использоваться
формы Бэкуса-Наура (БНФ):

что-то ::= запись1 | запись2 | ... | записьN

Прочтение такой БНФ:

- ▶ Запись1 — это что-то
- ▶ Запись2 — это что-то
- ...
- ▶ ЗаписьN — это что-то
- ▶ Других способов записи чего-то нет

¹ Дворецкий. Древнегреческо-русский словарь

² Ожегов, Шведова. Толковый словарь русского языка

Логика высказываний: синтаксис

БНФ, определяющая синтаксис формул логики высказываний:

$$\varphi ::= x \mid (\varphi \& \varphi) \mid (\varphi \vee \varphi) \mid (\varphi \rightarrow \varphi) \mid (\neg \varphi),$$

где φ — формула и $x \in \text{Var}$

Формула вида x , $x \in \text{Var}$, называется **атомарной** (атомом),
а остальные формулы $((\varphi \& \psi), (\varphi \vee \psi), (\varphi \rightarrow \psi), (\neg \varphi))$ — **составными**

$\varphi = \psi$ — так в курсе будет обозначаться
посимвольное (синтаксическое) совпадение формул φ и ψ

Приоритет связок по убыванию: \neg , затем $\&$, затем \vee , затем \rightarrow

Скобки в записи формул можно опускать согласно приоритету связок,
а также согласно ассоциативности связок $\&$ и \vee :

$$A \& \neg B \& C \rightarrow D \vee E = ((A \& ((\neg B) \& C)) \rightarrow (D \vee E))$$

Логика высказываний: семантика

Семантика:

- *σημαντικός* (древнегреческий) — обозначающий, значимый¹
- значение, смысл языковой единицы²

Основные логические значения, на которых основана семантика формул: t — истина; f — ложь

Значение формулы однозначно определяется значениями её атомов

Значение $\mathcal{I}(x)$ атома x задаётся **интерпретацией** $\mathcal{I} : \text{Var} \rightarrow \{\text{t}, \text{f}\}$

Значение $\mathcal{I}(\varphi)$ составной формулы φ в интерпретации \mathcal{I} задаётся так:

$$\mathcal{I}(\varphi \& \psi) = \text{t} \Leftrightarrow \mathcal{I}(\varphi) = \text{t} \text{ и } \mathcal{I}(\psi) = \text{t}$$

$$\mathcal{I}(\varphi \vee \psi) = \text{t} \Leftrightarrow \mathcal{I}(\varphi) = \text{t} \text{ или } \mathcal{I}(\psi) = \text{t}$$

$$\mathcal{I}(\varphi \rightarrow \psi) = \text{t} \Leftrightarrow \mathcal{I}(\varphi) = \text{f} \text{ или } \mathcal{I}(\psi) = \text{t}$$

$$\mathcal{I}(\neg\varphi) = \text{t} \Leftrightarrow \mathcal{I}(\varphi) = \text{f}$$

В логике принято использовать немного другие обозначения:

$$\mathcal{I} \models \varphi \Leftrightarrow \mathcal{I}(\varphi) = \text{t} \quad (\text{формула } \varphi \text{ выполняется в } \mathcal{I})$$

$$\mathcal{I} \not\models \varphi \Leftrightarrow \mathcal{I}(\varphi) = \text{f} \quad (\text{формула } \varphi \text{ не выполняется в } \mathcal{I})$$

1 Дворецкий. Древнегреческо-русский словарь

2 Ожегов, Шведова. Толковый словарь русского языка

Логика высказываний: семантика

Пример

$$\text{Var} = \{A, B, \dots\}$$

$$\varphi = A \rightarrow \neg B$$

$$\mathcal{I}(A) = f, \mathcal{I}(B) = t$$

Имеет место следующее:

$$\mathcal{I} \not\models \neg B \quad (\text{так как } \mathcal{I}(B) = t)$$

$$\mathcal{I} \models A \rightarrow \neg B \quad (\text{так как } \mathcal{I}(A) = f)$$

Содержательное пояснение

Пусть A — высказывание «Я прогуливаю лекции»

B — высказывание «Из этого выйдет что-то хорошее»

Тогда \mathcal{I} — мир, в котором я живу:

$\mathcal{I}(A) = f$: я прилежно хожу на лекции

$\mathcal{I}(B) = t$: из этого выйдет что-то хорошее

$\mathcal{I} \models A \rightarrow \neg B$: тот, кто сказал

«Если я прогуливаю лекции,

то из этого не выйдет ничего хорошего», **прав**

Логика высказываний: семантика

Пример

$$\text{Var} = \{A, B, \dots\}$$

$$\varphi = A \rightarrow \neg B$$

$$\mathcal{I}(A) = \text{f}, \mathcal{I}(B) = \text{f}$$

Имеет место следующее:

$$\mathcal{I} \models \neg B \quad (\text{так как } \mathcal{I}(B) = \text{f})$$

$$\mathcal{I} \models A \rightarrow \neg B \quad (\text{так как } \mathcal{I}(A) = \text{f})$$

Содержательное пояснение

Пусть A — высказывание «Я прогуливаю лекции»

B — высказывание «Из этого выйдет что-то хорошее»

Тогда \mathcal{I} — мир, в котором я живу:

$\mathcal{I}(A) = \text{f}$: я прилежно хожу на лекции

$\mathcal{I}(B) = \text{f}$: из этого не выйдет ничего хорошего

$\mathcal{I} \models A \rightarrow \neg B$: тот, кто сказал

«Если я прогуливаю лекции,

то из этого не выйдет ничего хорошего», **прав**

Логика высказываний: семантика

Пример

$$\text{Var} = \{A, B, \dots\} \quad \varphi = A \rightarrow \neg B \quad \mathcal{I}(A) = \text{t}, \mathcal{I}(B) = \text{f}$$

Имеет место следующее:

$$\mathcal{I} \not\models \neg B \quad (\text{так как } \mathcal{I}(B) = \text{f})$$

$$\mathcal{I} \not\models A \rightarrow \neg B \quad (\text{так как } \mathcal{I}(A) = \text{t} \text{ и } \mathcal{I}(\neg B) = \text{f})$$

Содержательное пояснение

Пусть A — высказывание «Я прогуливаю лекции»

B — высказывание «Из этого выйдет что-то хорошее»

Тогда \mathcal{I} — мир, в котором я живу:

$\mathcal{I}(A) = \text{t}$: я прогуливаю лекции

$\mathcal{I}(B) = \text{t}$: из этого выйдет что-то хорошее

$\mathcal{I} \not\models A \rightarrow \neg B$: тот, кто сказал

«Если я прогуливаю лекции,

то из этого не выйдет ничего хорошего», **неправ**