

ОСНОВЫ ОБРАБОТКИ ТЕКСТОВ

Лекция #8:

Синтаксический анализ (часть 2)

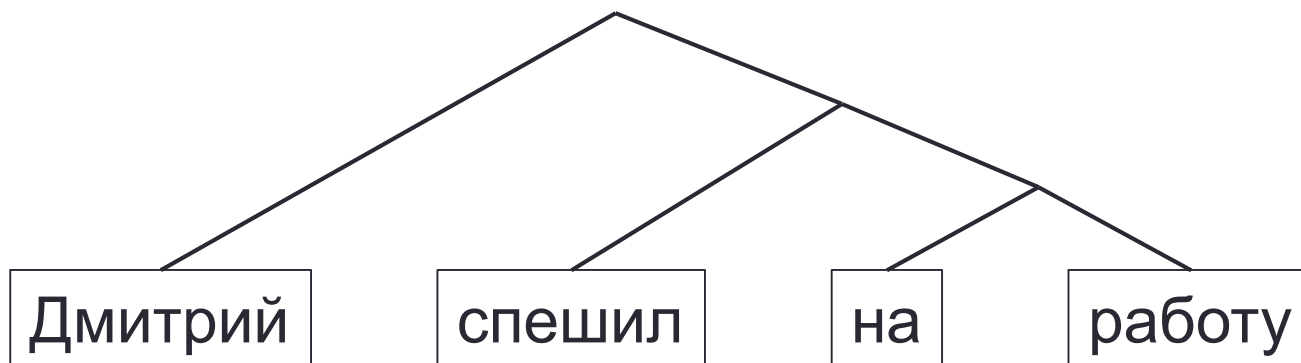
Лектор: м.н.с. ИСП РАН Майоров Владимир Дмитриевич

Синтаксис

- Предложение – это единица языка, которая представляет собой грамматически организованное соединение слов, обладающее смысловой законченностью.
- Грамматика – раздел лингвистики, который изучает закономерности построения правильных осмысленных речевых отрезков (словоформ, словосочетаний, предложений, текстов).
- Синтаксис — раздел лингвистики, изучающий и моделирующий правила, по которым образуются единицы, более крупные, чем слово, а именно словосочетания и предложения.

Синтаксическая структура

- Представление предложения в виде вложенных составляющих.
- Составляющая (фраза, синтаксическая группа) – структурная единица предложения, составленная из более тесно связанных друг с другом составляющих меньшего размера.



Синтаксические правила

- Существительное управляет прилагательным

красная книга → красная книга

красный книга → не словосочетание

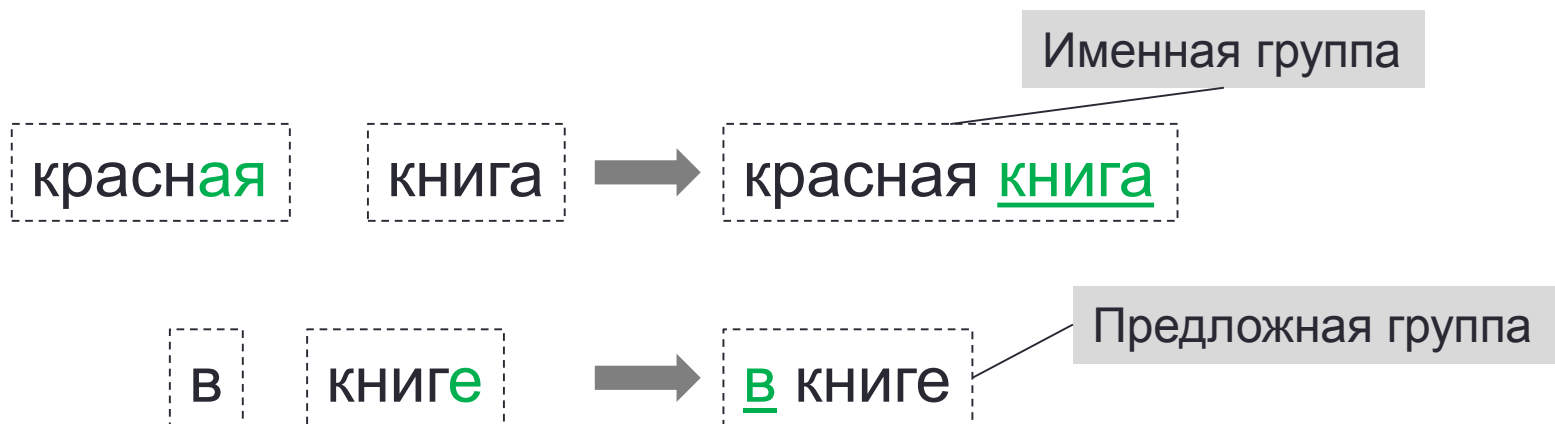
- Предлог управляет существительным

в книга → не словосочетание

в книге → в книге

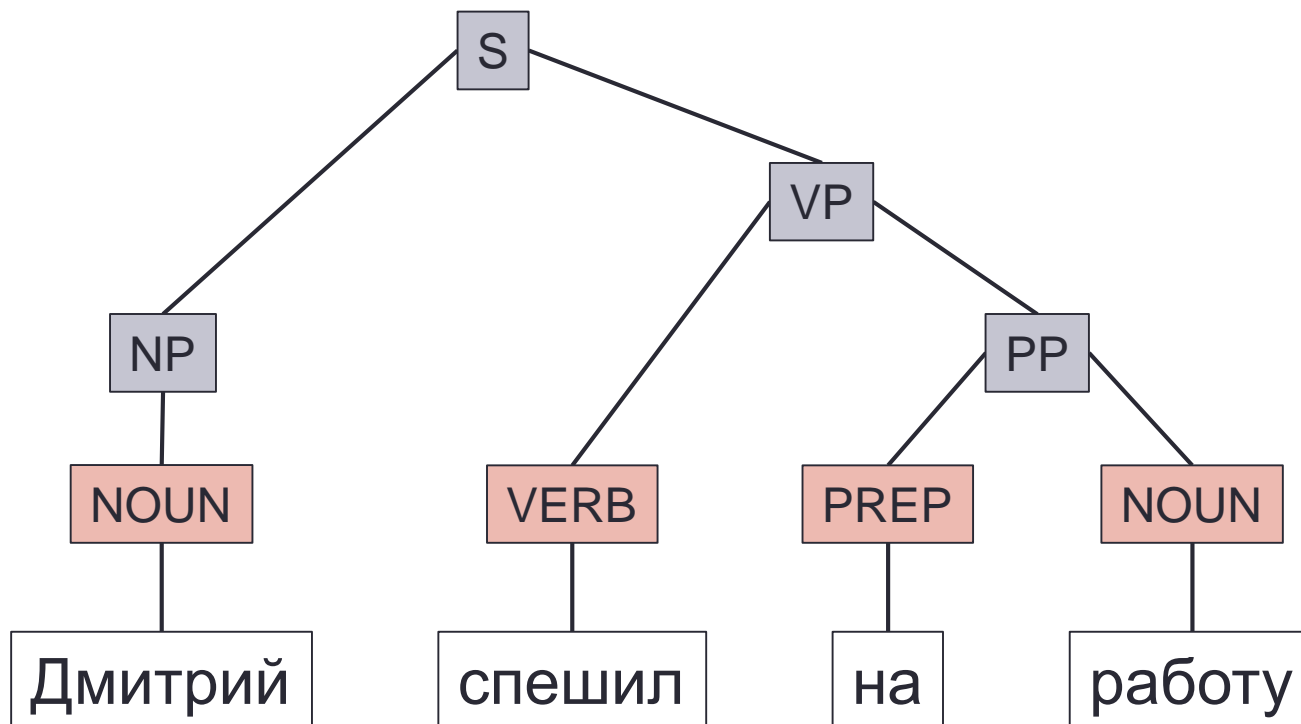
Синтаксические правила

- В зависимости от главного слова в словосочетании выделяют
 - Именные группы (главное – существительное)
 - Группа прилагательного
 - Наречная группа
 - Предложная группа
 - Глагольная группа
 - Предложение



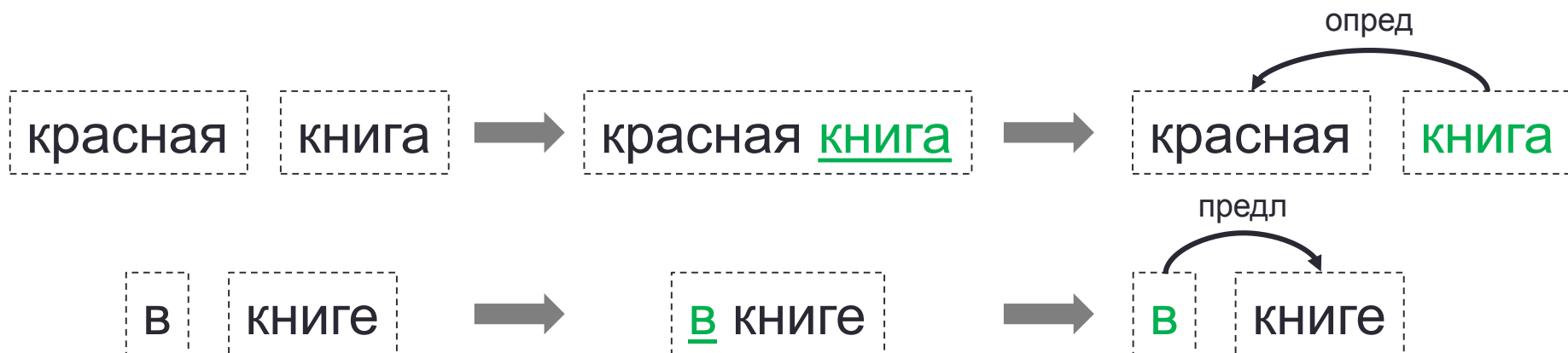
Синтаксическая структура

- Каждой составляющей назначается тип в зависимости от главного слова



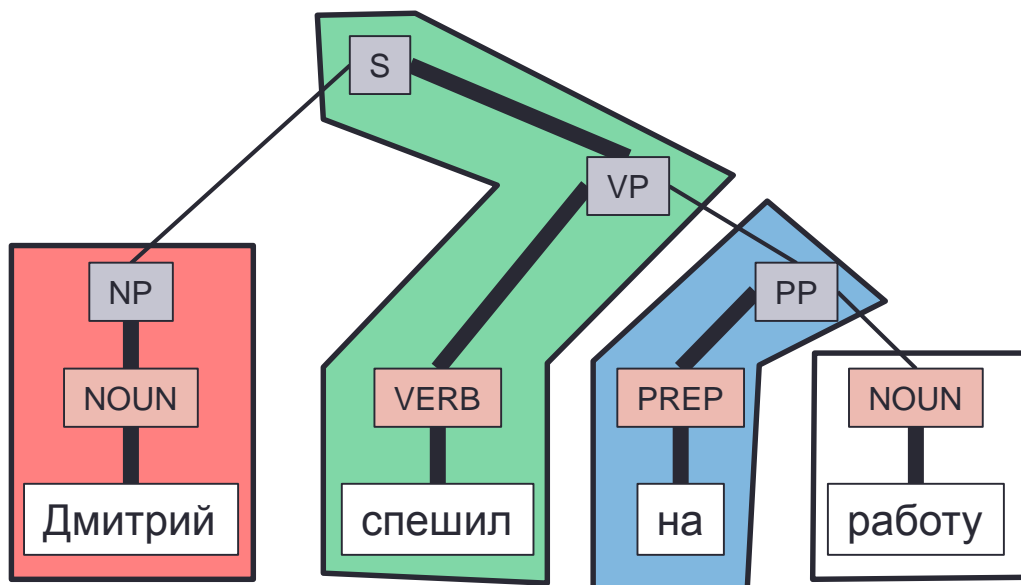
Грамматика зависимостей

- Формальная модель описания структуры словосочетаний (предложений)
- Описывается в виде иерархии слов, между которыми установлено бинарное отношение зависимости
- Различают типы зависимостей (соответствуют типам синтаксических правил)



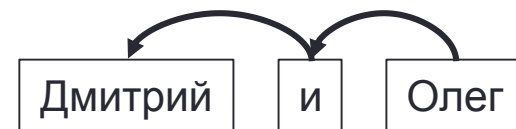
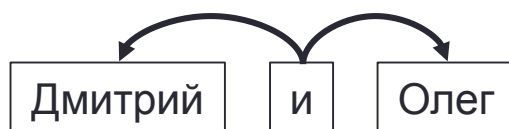
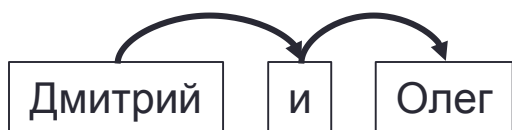
Грамматика зависимостей

- Дерево составляющих может быть преобразовано в дерево зависимостей

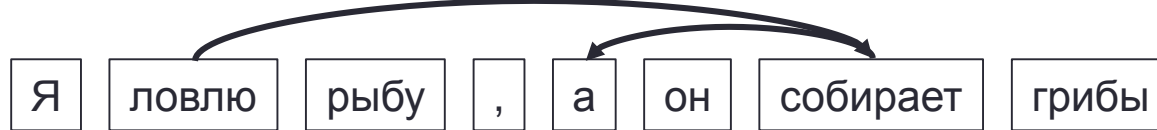
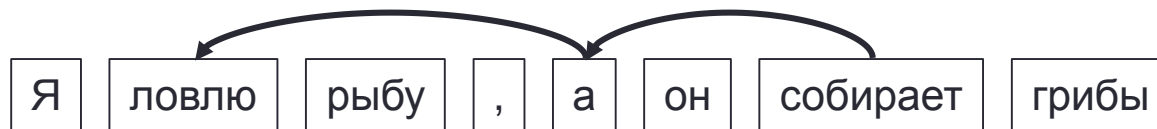


Грамматика зависимостей

- Не все синтаксические отношения подчинительные
 - Сочинительная группа

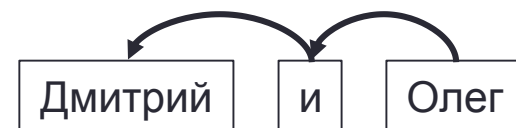
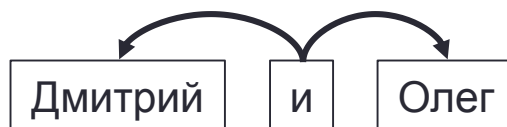
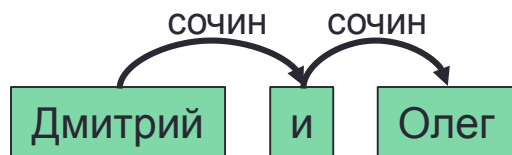


- Сложносочиненные предложения

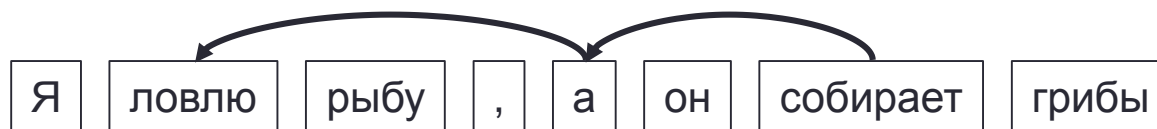
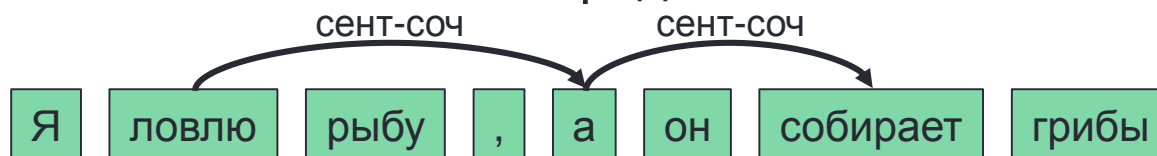


Грамматика зависимостей

- Не все синтаксические отношения подчинительные
 - Сочинительная группа



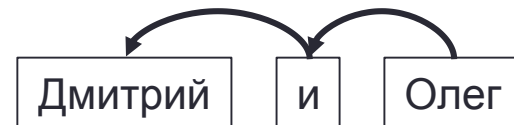
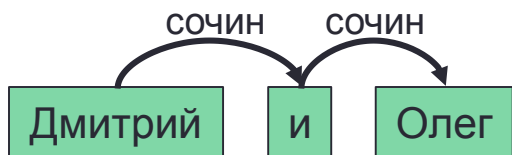
- Сложносочиненные предложения



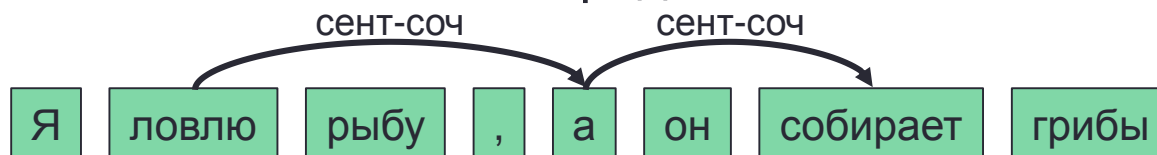
СинТагРус

Грамматика зависимостей

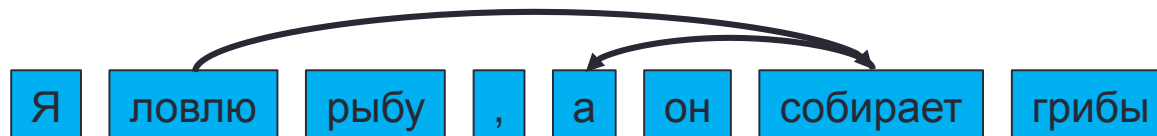
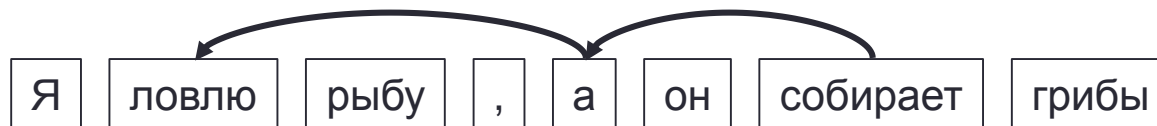
- Не все синтаксические отношения подчинительные
 - Сочинительная группа



- Сложносочиненные предложения



СинТагРус



UD SynTagРус

Universal Dependencies

- 83 языка
 - Универсальный набор грамматических категорий
 - Универсальный набор синтаксических отношений
- 146 наборов данных (CoNLL-U формат)
 - Часть размечена вручную
 - Часть сконвертирована из других форматов

CoNLL-U формат

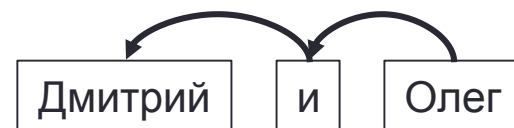
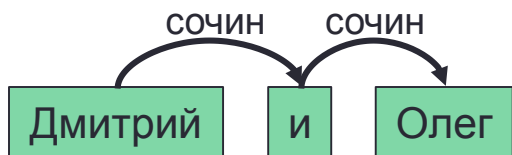
- Tab-separated формат с 10 колонками

ID	FORM	LEMMA	UPOS	XPOS	FEATS	HEAD	DEPREL	DEPS	MISC
----	------	-------	------	------	-------	------	--------	------	------

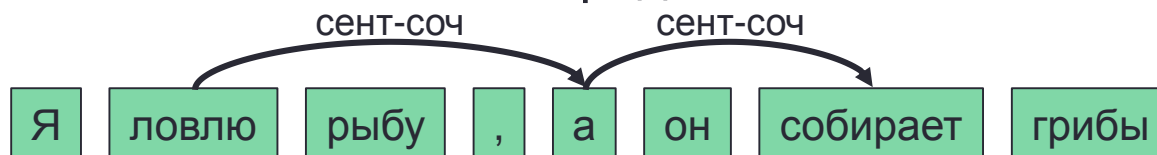
- ID – номер слова в предложении (с 1);
- FORM - слово или знак пунктуации;
- LEMMA - начальная форма слова;
- UPOS - универсальная часть речи (из списка UD);
- XPOS - уточнение части речи для конкретного языка;
- FEATS - список морфологических признаков слова;
- HEAD – ID главного слова для данного слова; 0 для корня предложения;
- DEPREL - метка зависимости от главного слова;
- DEPS - информация для усиленного графа зависимостей;
- MISC - любые дополнительные сведения

Грамматика зависимостей

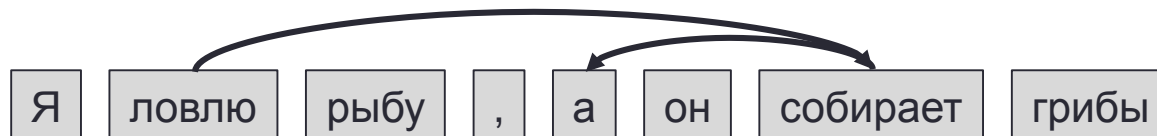
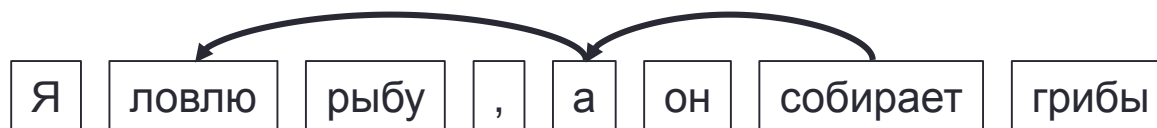
- Не все синтаксические отношения подчинительные
 - Сочинительная группа



- Сложносочиненные предложения



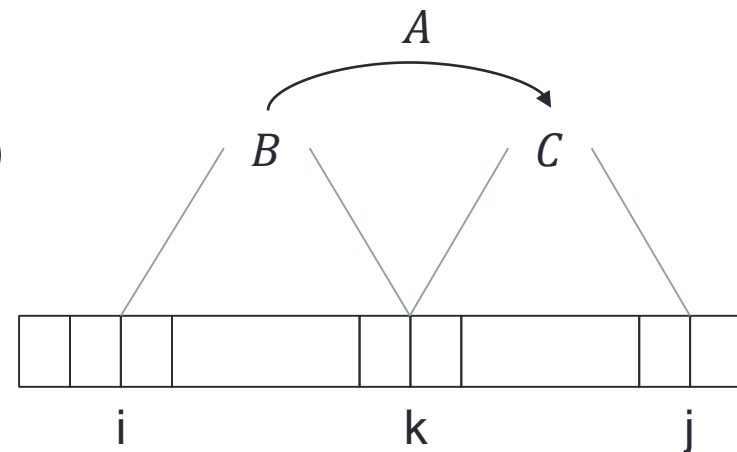
СинТагРус



UD SynTagРус

Методы динамического программирования

- Некоторое обобщение алгоритма СКУ для грамматик зависимостей
 - Строится дерево разбора предложения снизу-вверх
 - На каждом этапе рассматриваются подстроки исходной строки
 - Если подстрока состоит из двух деревьев, оценивается левая и правая дуга между ними:
 - $score(A) = score(B) + score(C) + score(arc)$
- Варианты
 - Алгоритм Коллинса. Сложность $O(n^5)$
 - Алгоритм Эйснера. Сложность $O(n^3)$



Transition-based parsing

- Система переходов состоит из
 - C – множество конфигураций
 - T – множество переходов. $t: C \rightarrow C$
 - c_s – функция инициализации
 - $C_t \subseteq C$ – множество конечных конфигураций
- Конфигурация состоит из:
 - Σ – стек
 - B – буфер
 - A – множество зависимостей (i, l, j)
- Последовательность переходов для последовательности x :
 - $c_0 = c_s(x)$
 - $c_i = t(c_{i-1}), i = \overline{1..m}$
 - $c_m \in C_t$

Transition-based parsing

- Алгоритм
 - Получить начальную конфигурацию $c = c_s(x)$
 - Пока $c \notin C_t$
 - Выбрать переход $t = \underset{t}{\operatorname{argmax}} \operatorname{Score}(c, t)$
 - Выполнить переход $c = t(c)$
 - Извлечь множество зависимостей из $c.A$

Arc-standard

- Инициализация
 - $c_s(x = x_1 \dots x_n) = ([0], [1, \dots, n], \emptyset)$
- Конечное состояние
 - $C_t = \{c \in C \mid c = ([0], [], A)\}$
- Переходы
 - (*Shift*) $(\sigma, [i|\beta], A) \rightarrow ([\sigma|i], \beta, A)$
 - (*LeftArc_l*) $([\sigma|i|j], B, A) \rightarrow ([\sigma|j], B, A \cup \{(j, l, i)\})$, если $i \neq 0$
 - (*RightArc_l*) $([\sigma|i|j], B, A) \rightarrow ([\sigma|i], B, A \cup \{(i, l, j)\})$

Arc-standard

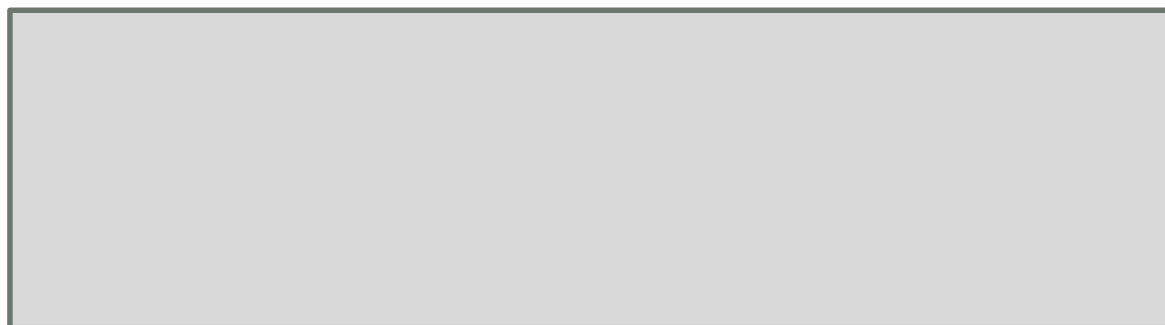
Стек



Буфер

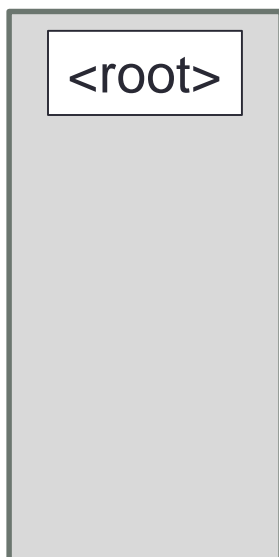


Зависимости



Arc-standard

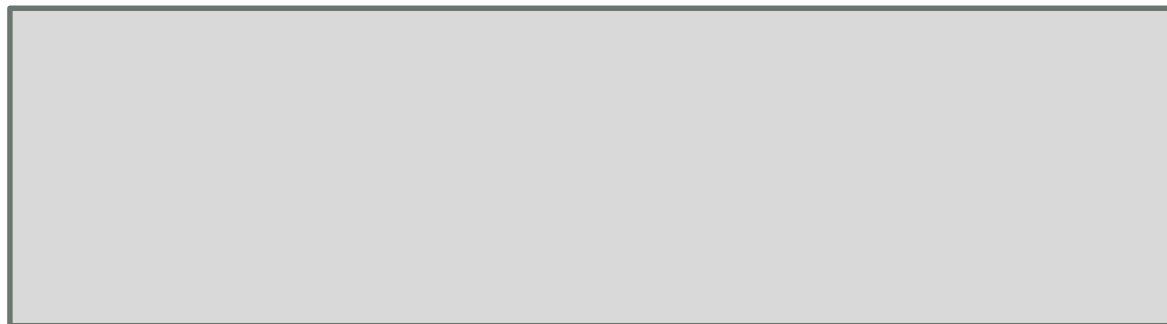
Стек



Буфер



Зависимости

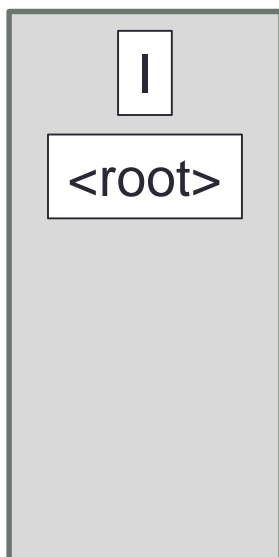


Shift

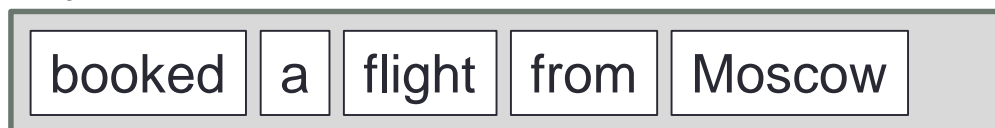


Arc-standard

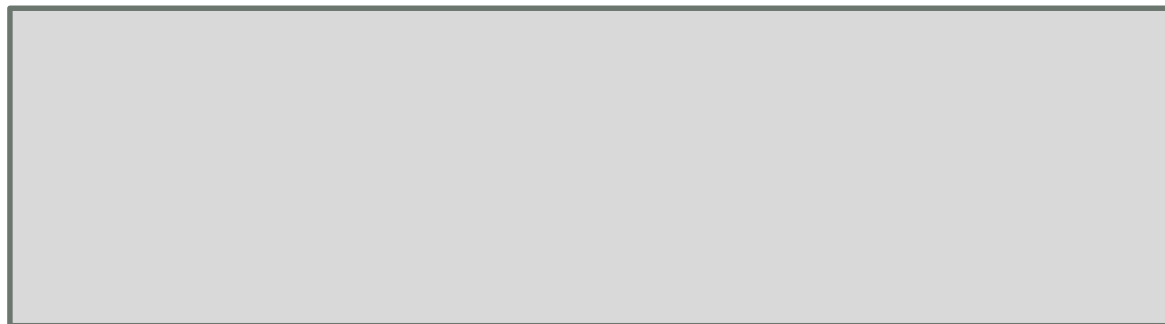
Стек



Буфер

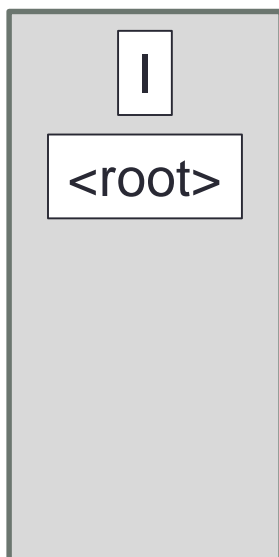


Зависимости

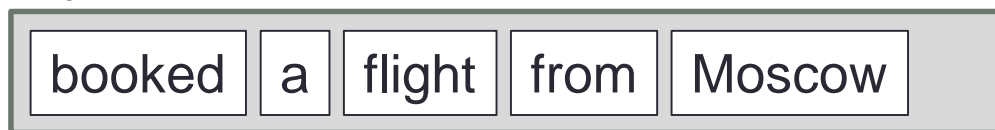


Arc-standard

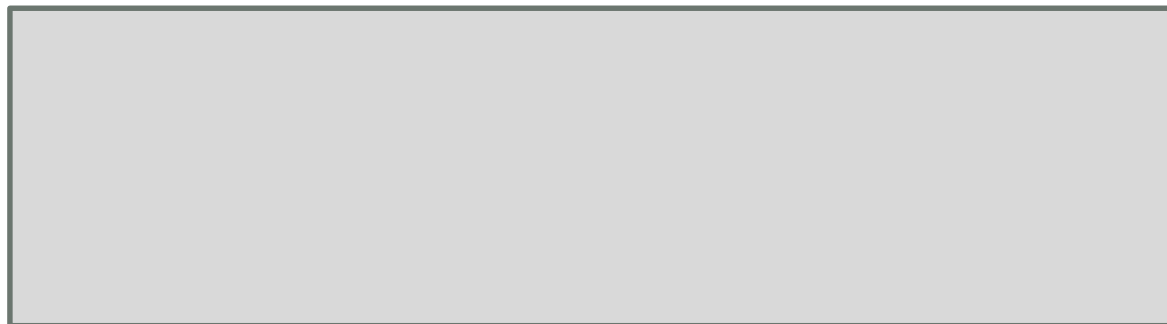
Стек



Буфер



Зависимости

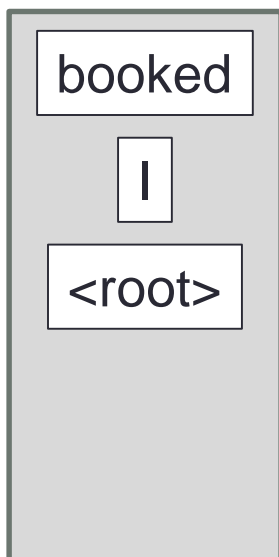


Shift



Arc-standard

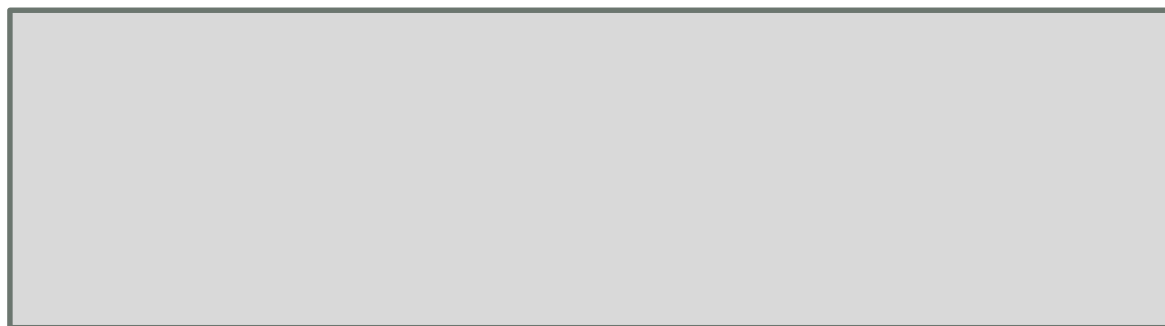
Стек



Буфер

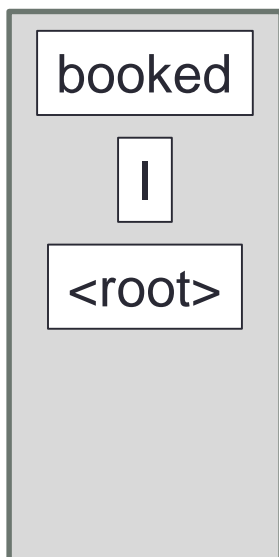


Зависимости



Arc-standard

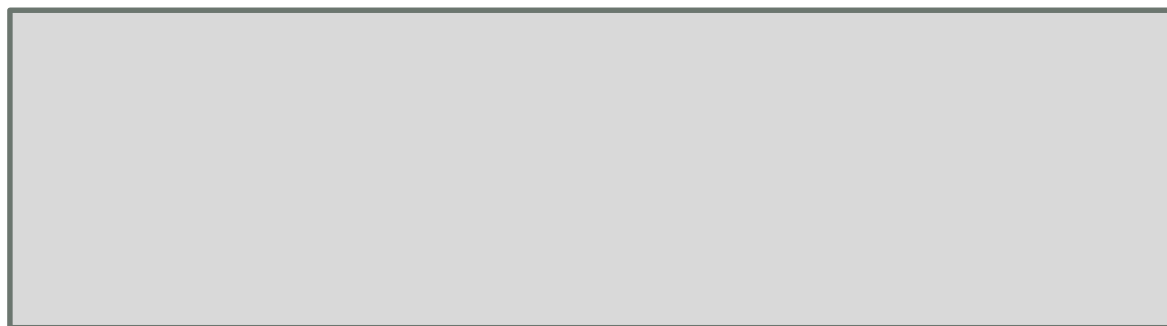
Стек



Буфер



Зависимости

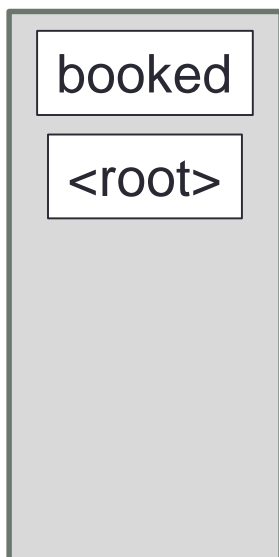


LeftArc_{subj}

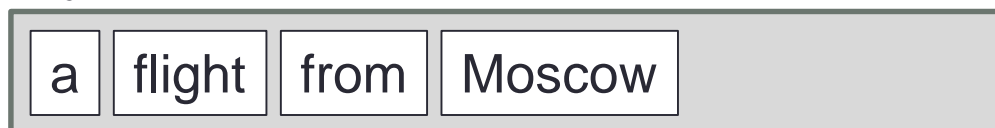


Arc-standard

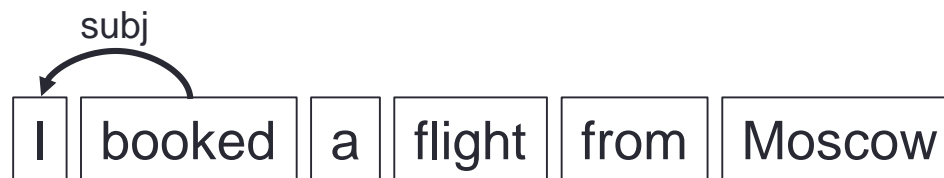
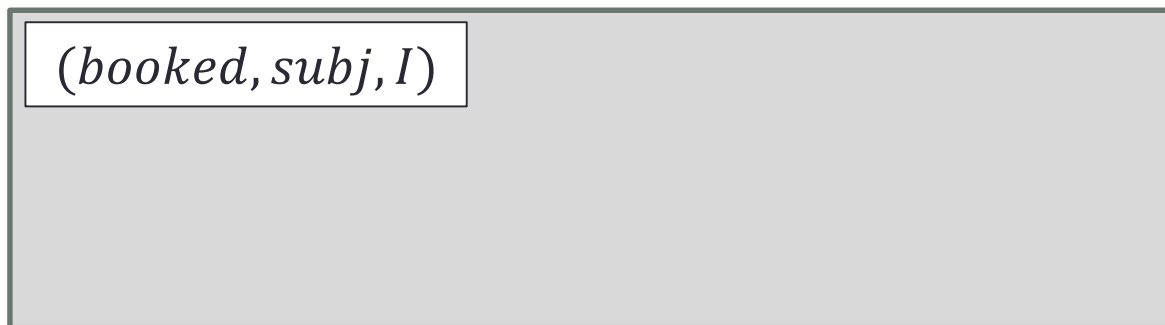
Стек



Буфер

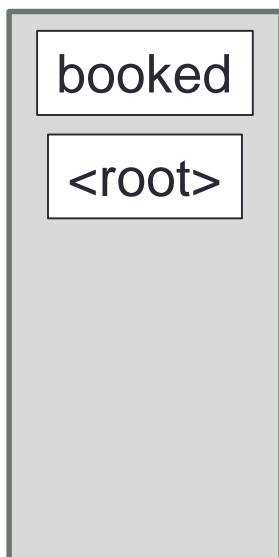


Зависимости



Arc-standard

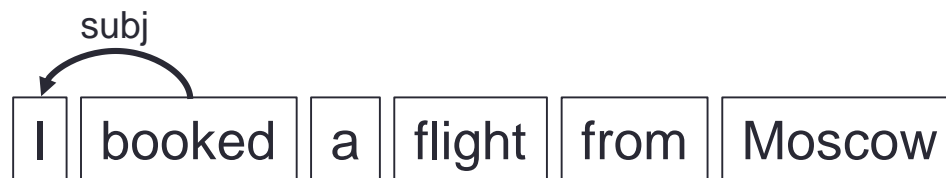
Стек



Буфер

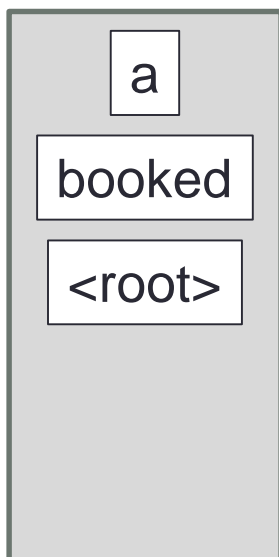


Зависимости



Arc-standard

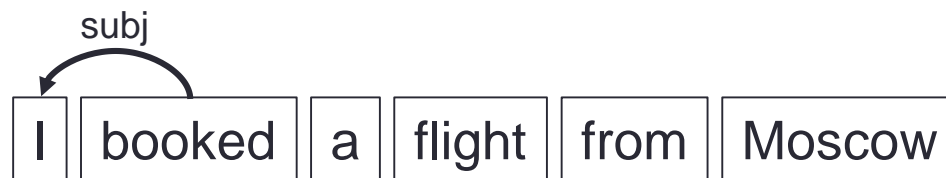
Стек



Буфер

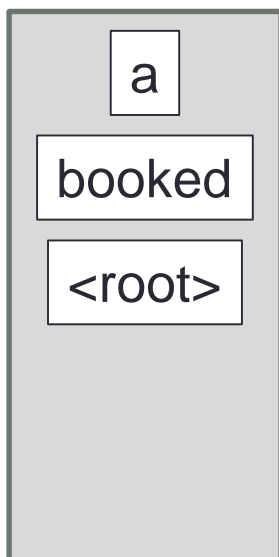


Зависимости



Arc-standard

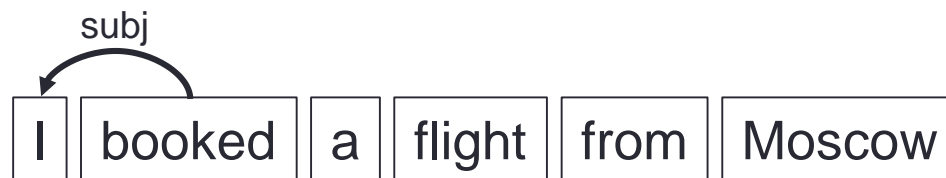
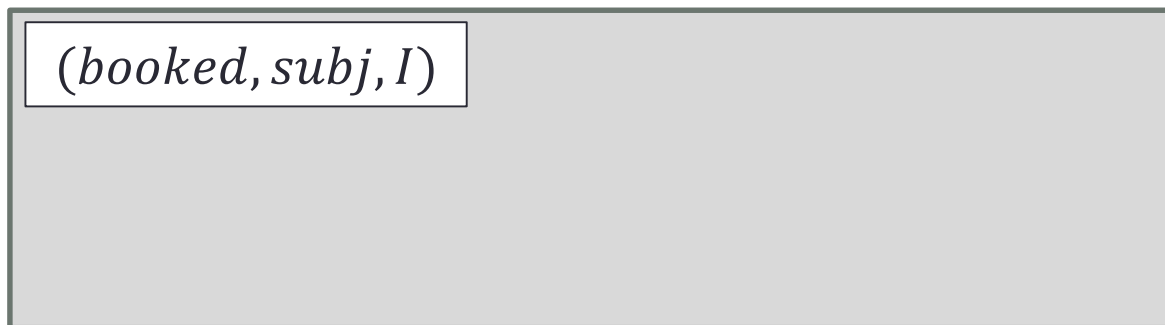
Стек



Буфер

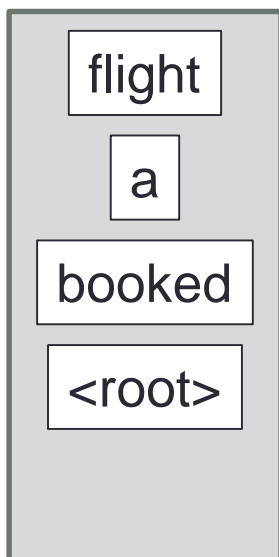


Зависимости

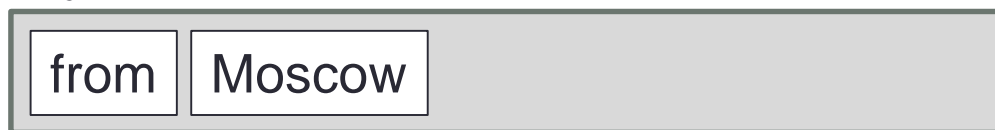


Arc-standard

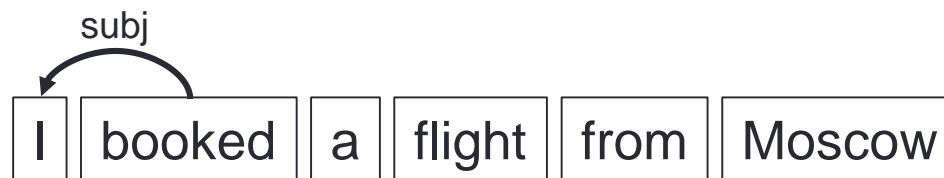
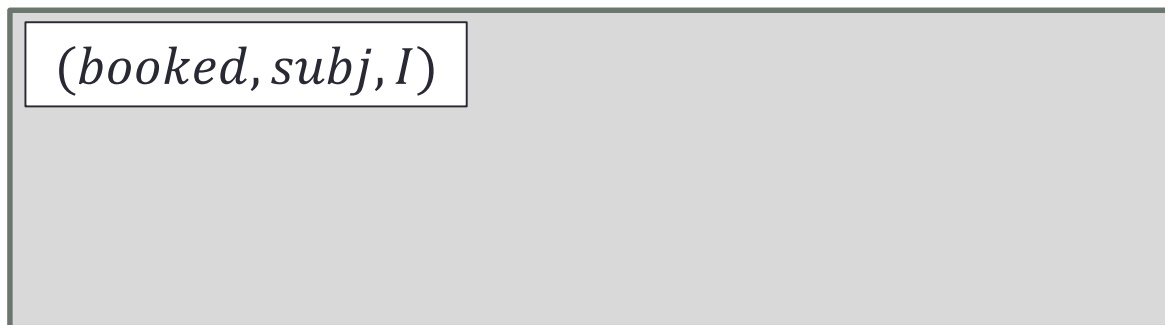
Стек



Буфер

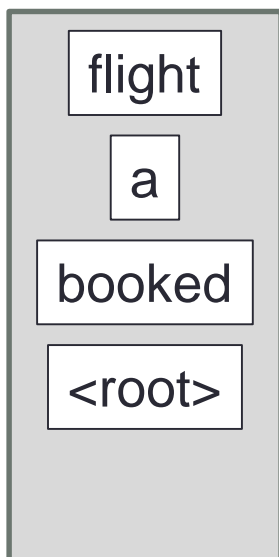


ЗАВИСИМОСТИ

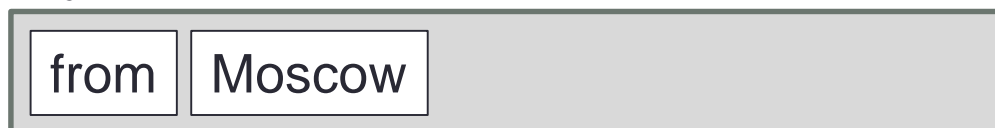


Arc-standard

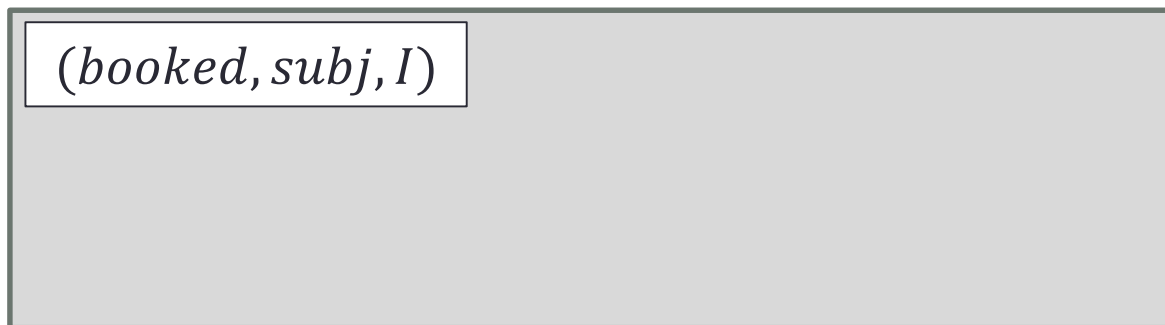
Стек



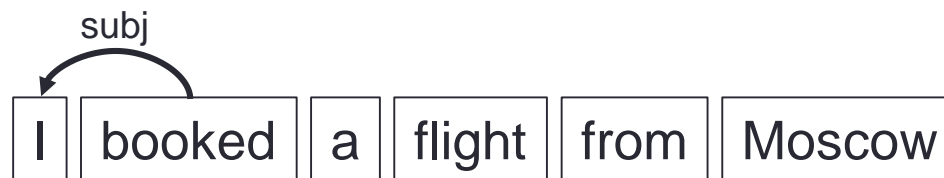
Буфер



ЗАВИСИМОСТИ

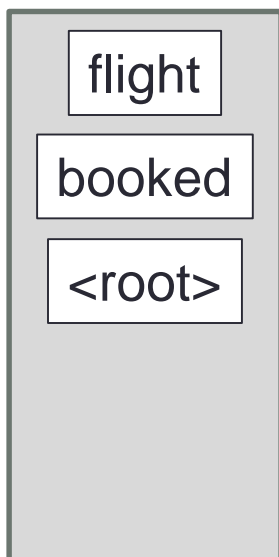


LeftArc_{det}

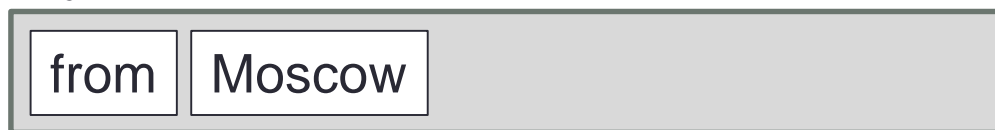


Arc-standard

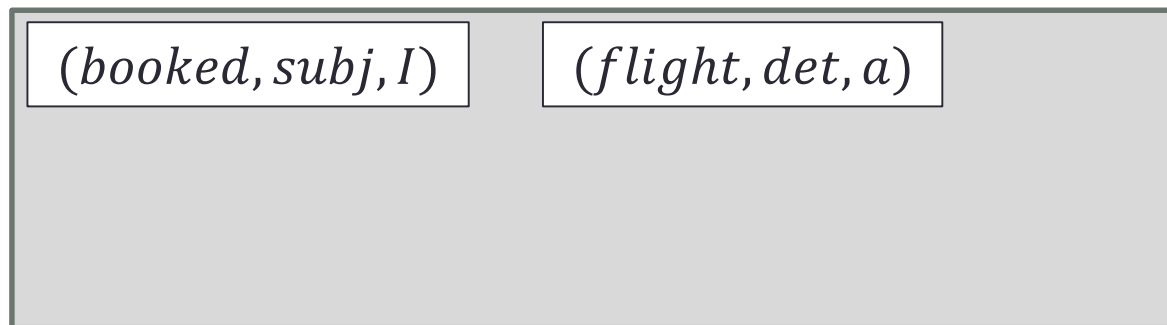
Стек



Буфер

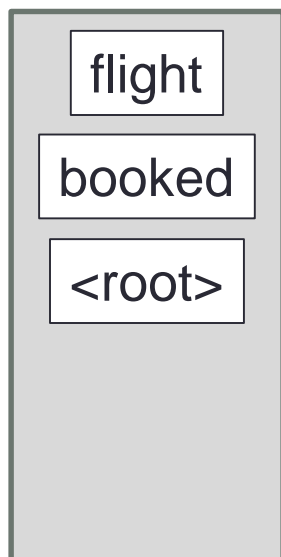


Зависимости

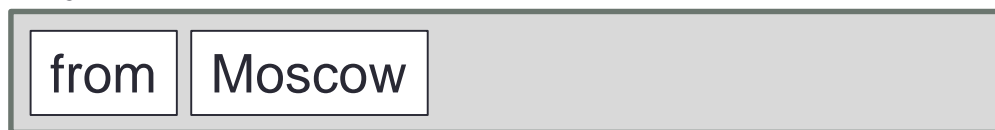


Arc-standard

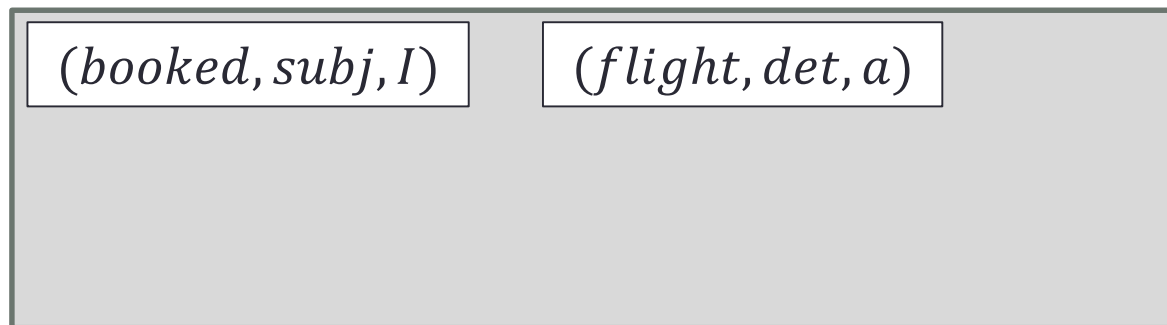
Стек



Буфер



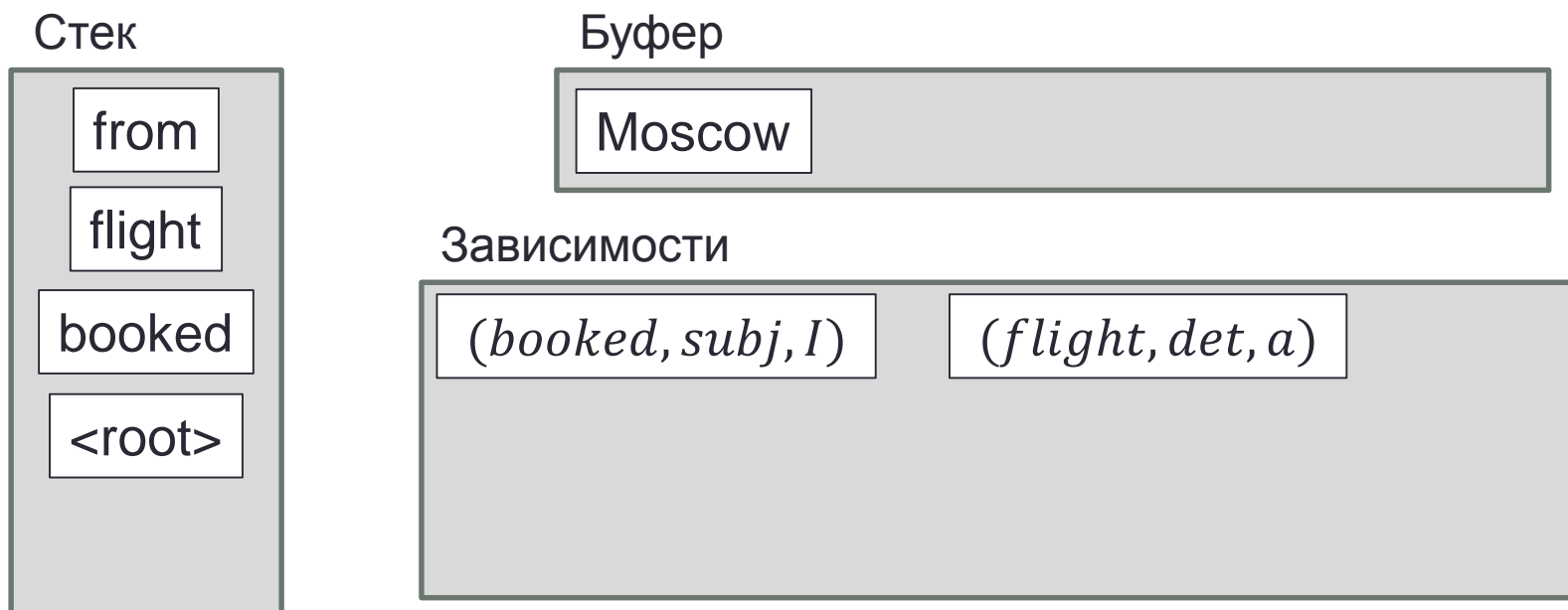
Зависимости



Shift

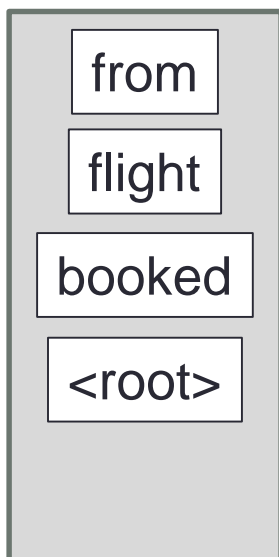


Arc-standard

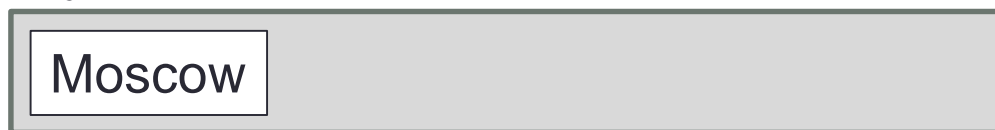


Arc-standard

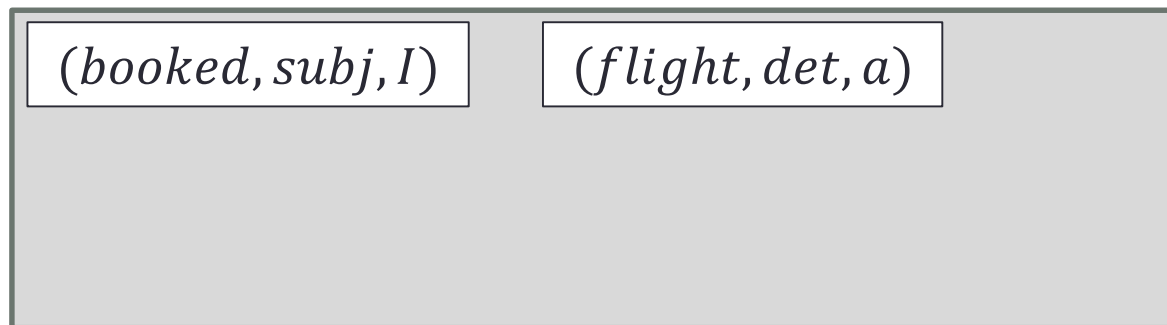
Стек



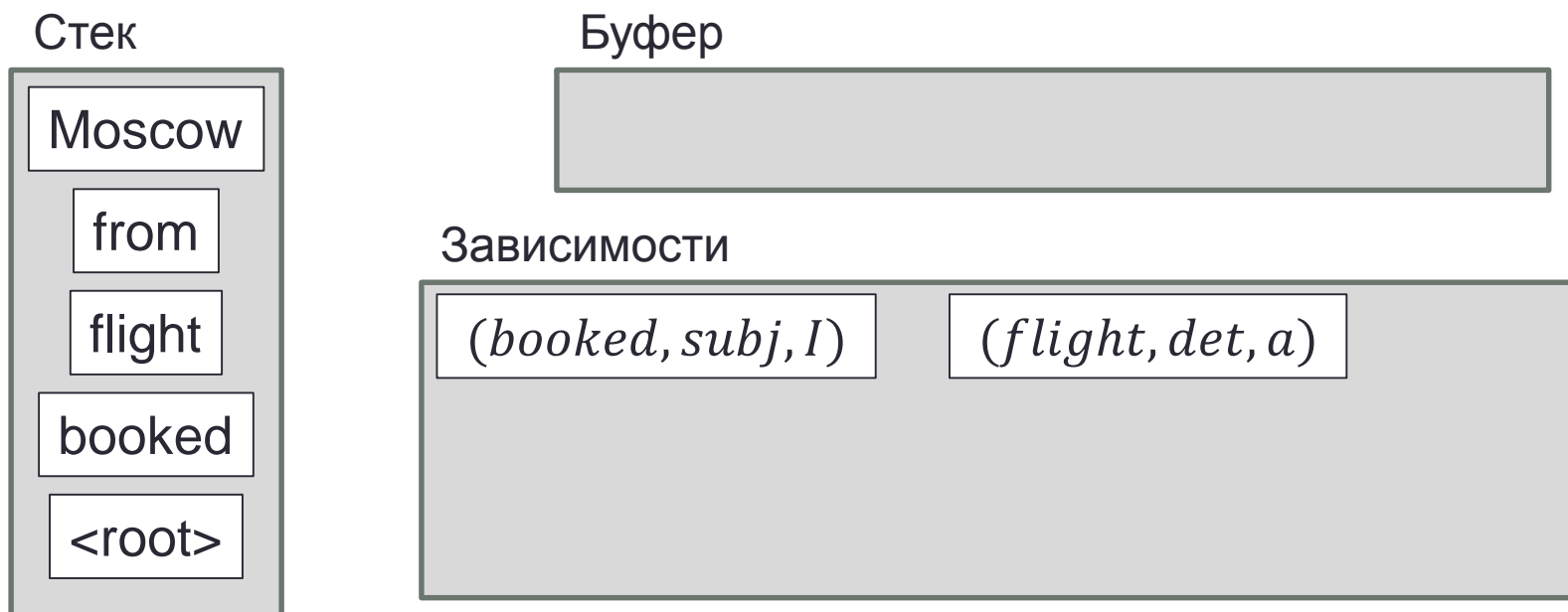
Буфер



ЗАВИСИМОСТИ

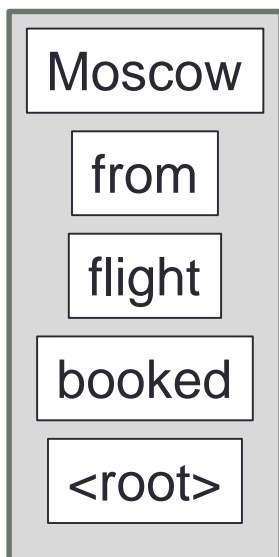


Arc-standard

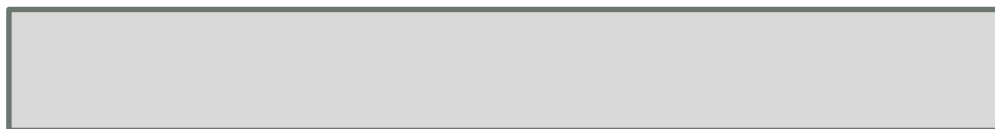


Arc-standard

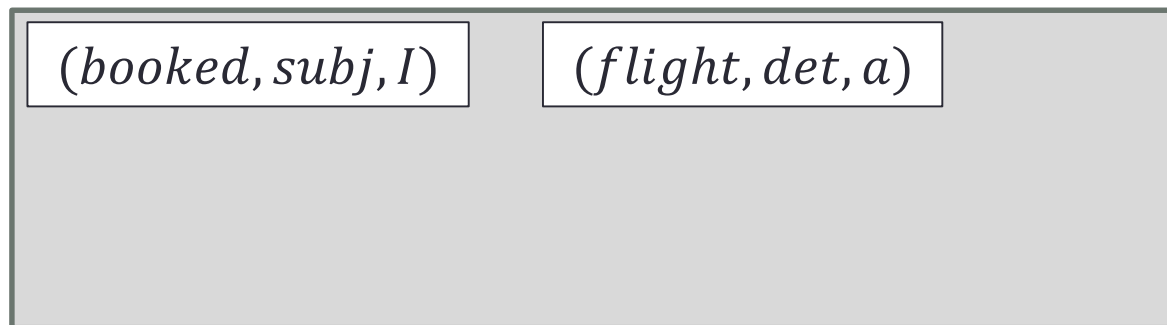
Стек



Буфер

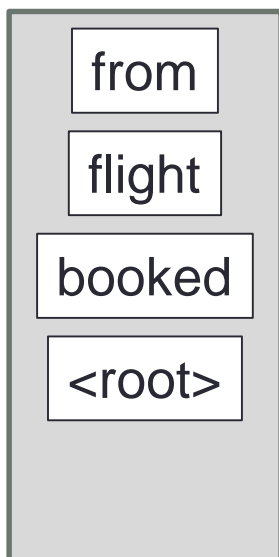


ЗАВИСИМОСТИ

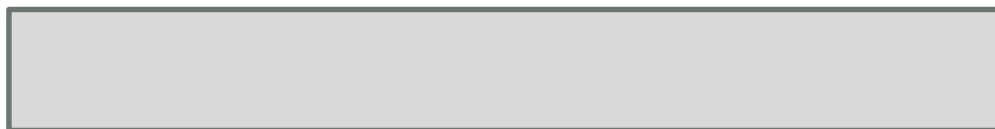


Arc-standard

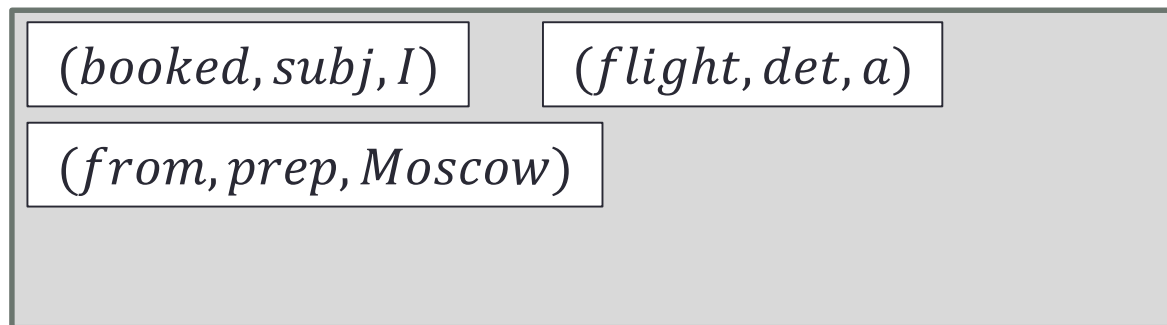
Стек



Буфер

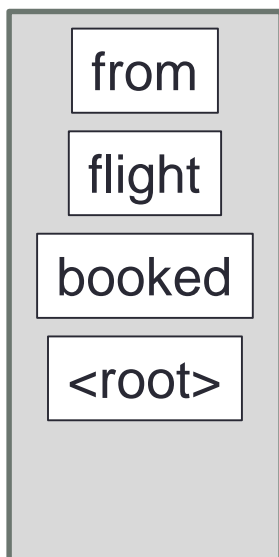


ЗАВИСИМОСТИ

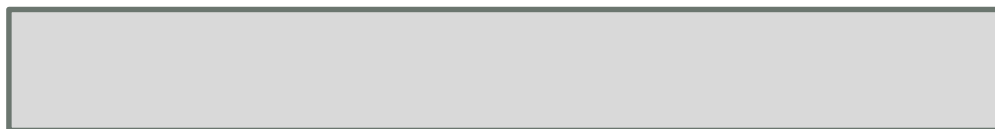


Arc-standard

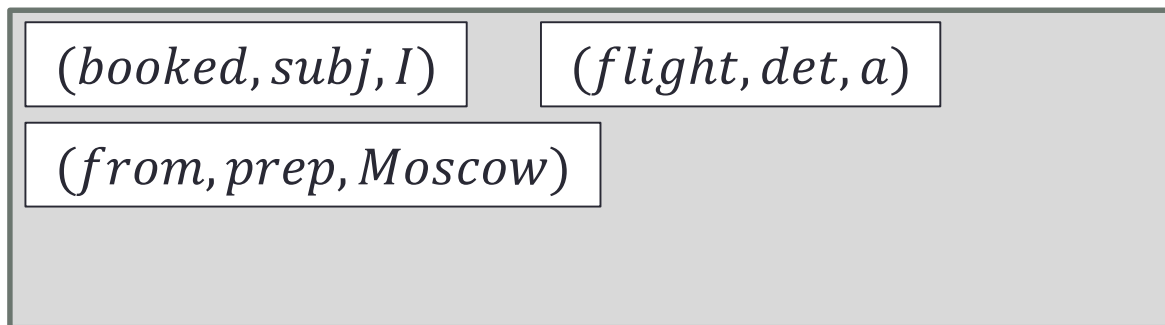
Стек



Буфер

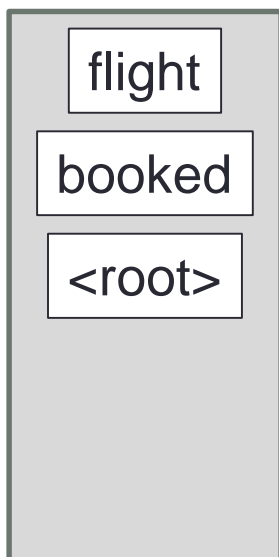


ЗАВИСИМОСТИ

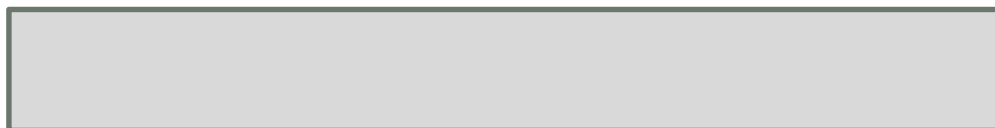


Arc-standard

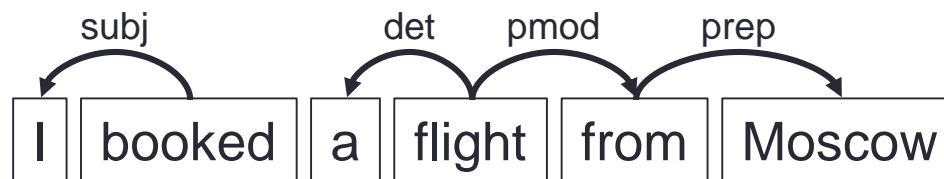
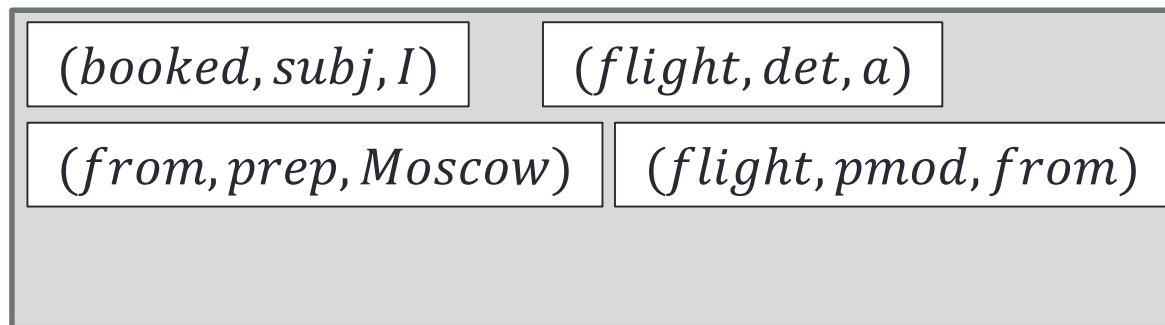
Стек



Буфер

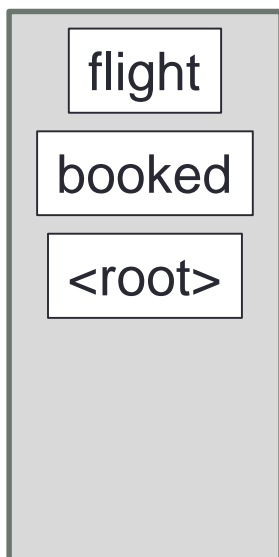


Зависимости

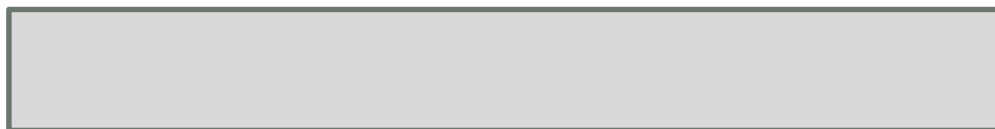


Arc-standard

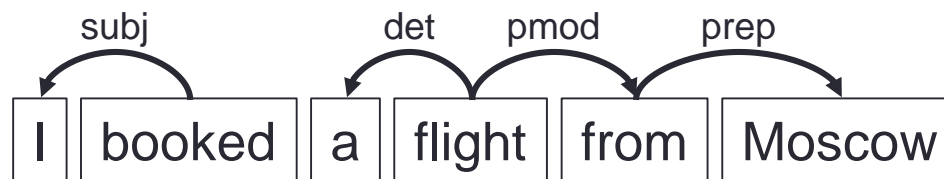
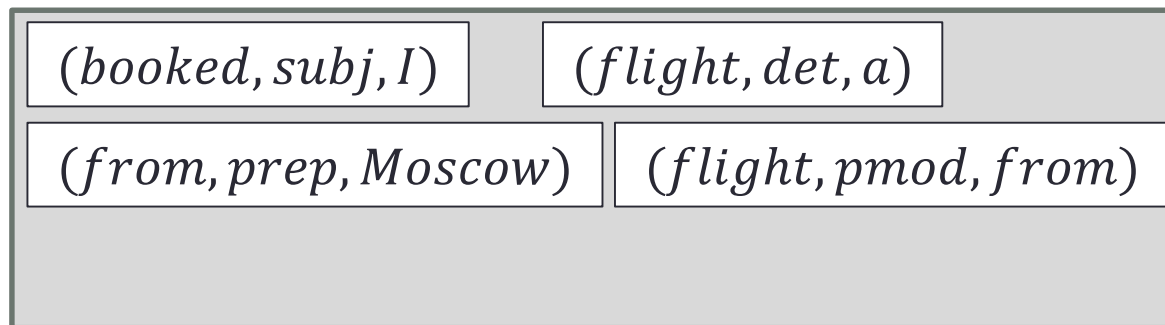
Стек



Буфер



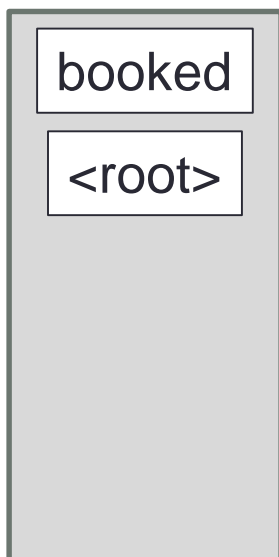
Зависимости



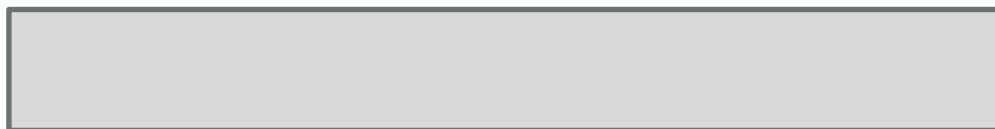
RightArc_{dobj}

Arc-standard

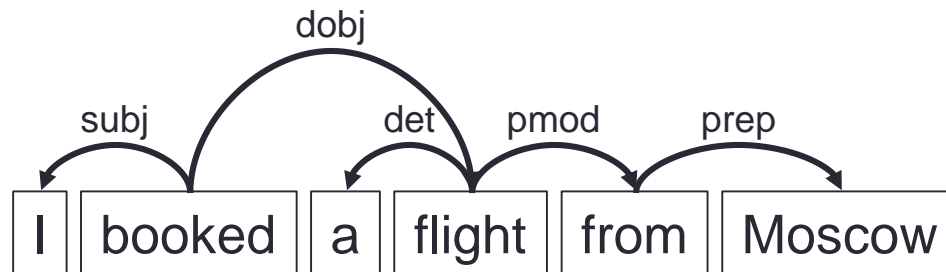
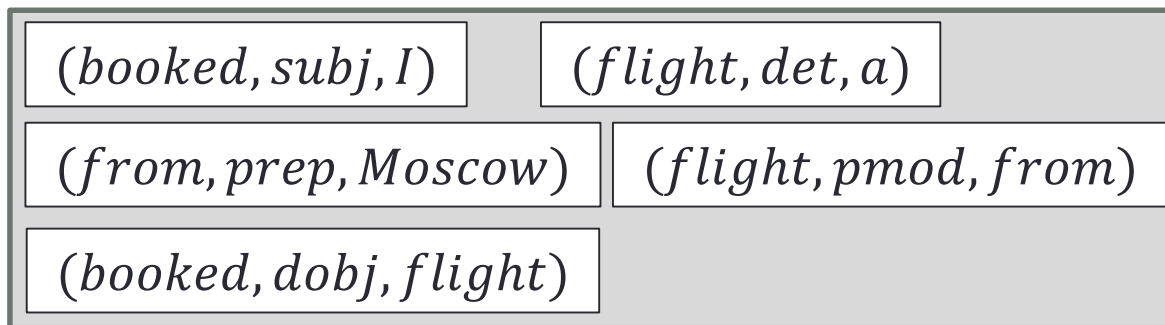
Стек



Буфер

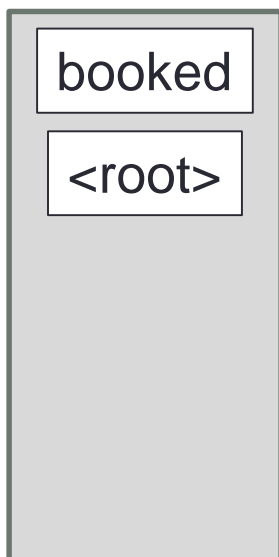


ЗАВИСИМОСТИ

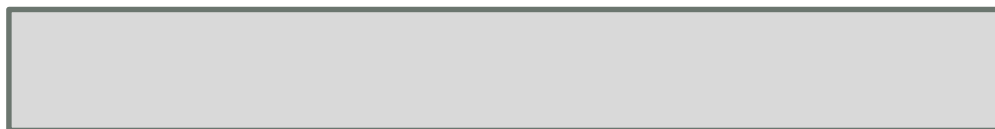


Arc-standard

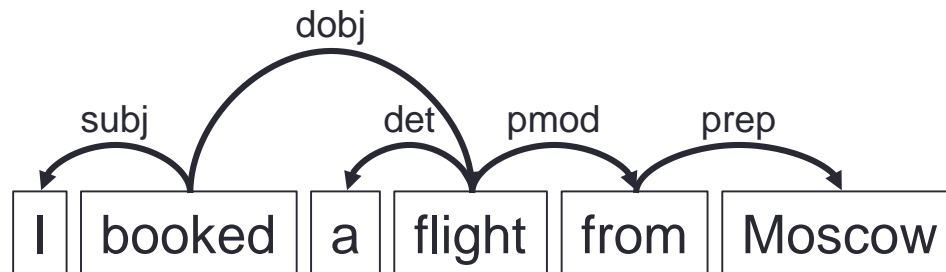
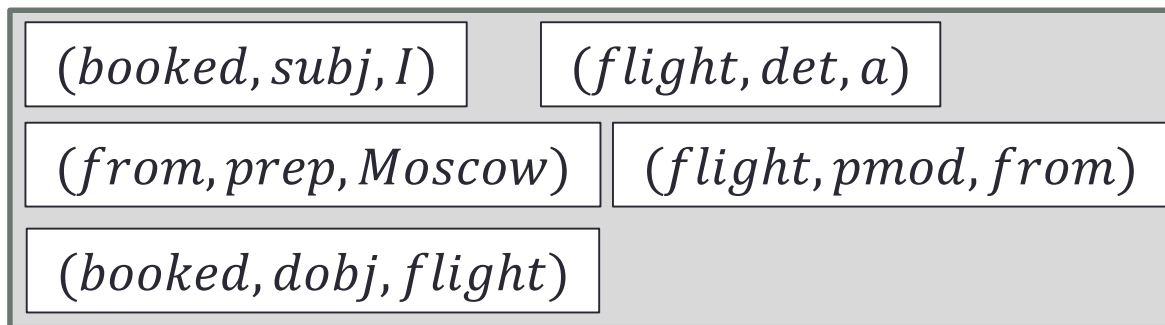
Стек



Буфер



Зависимости



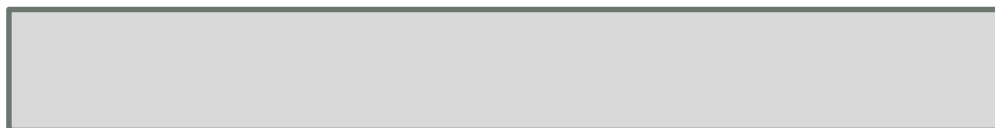
RightArc_{root}

Arc-standard

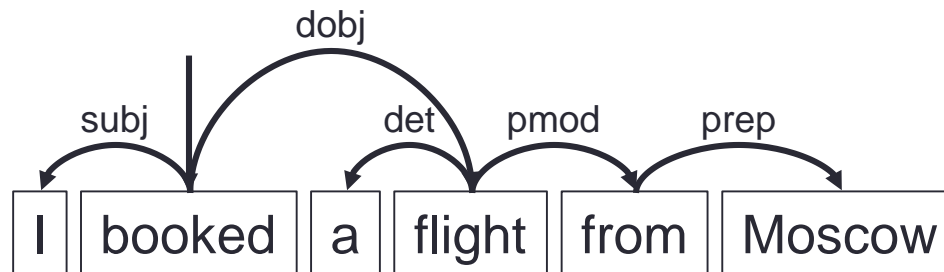
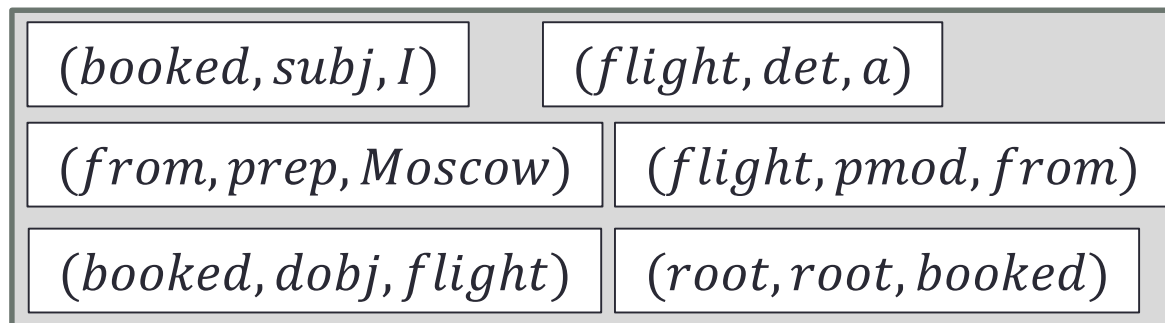
Стек



Буфер

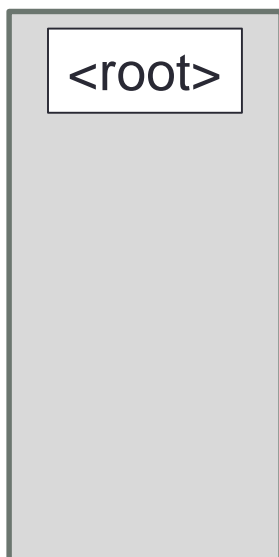


ЗАВИСИМОСТИ

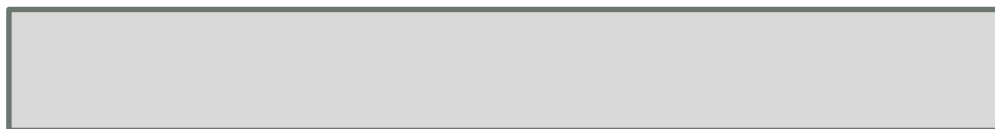


Arc-standard

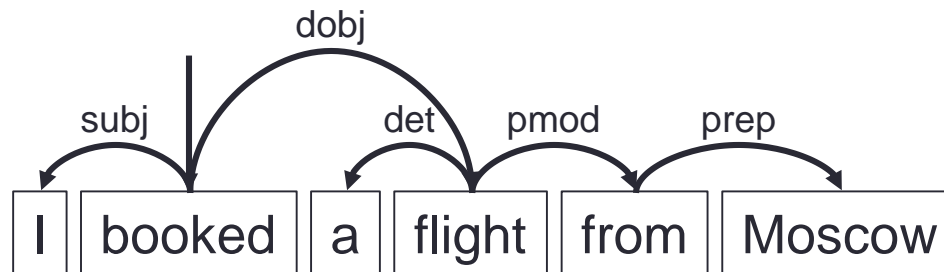
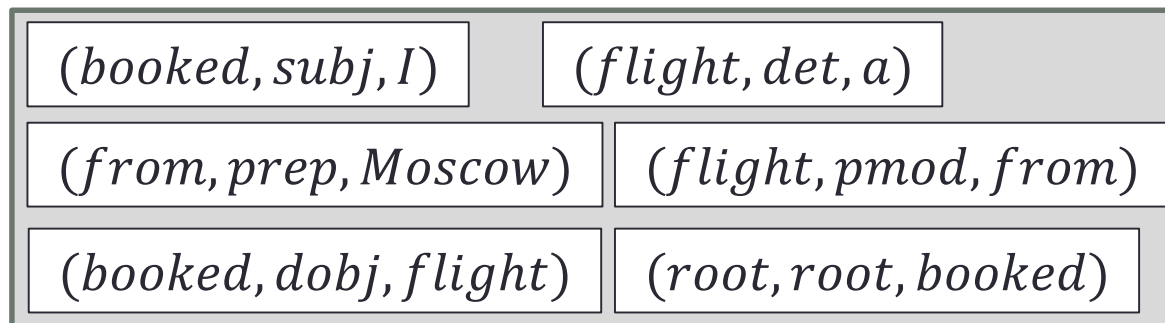
Стек



Буфер



ЗАВИСИМОСТИ



DONE!!!



Arc-eager

- Инициализация

- $c_s(x = x_1 \dots x_n) = ([0], [1, \dots, n], \emptyset)$

- Конечное состояние

- $C_t = \{c \in C \mid c = (\Sigma, [], A)\}$

- Переходы

- (*Shift*) $(\sigma, [i|\beta], A) \rightarrow ([\sigma|i], \beta, A)$

- (*LeftArc_l*) $([\sigma|i], [j|\beta], A) \rightarrow (\sigma, [j|\beta], A \cup \{(j, l, i)\})$,
если $i \neq 0$ и $\nexists k: (k, *, i) \in A$

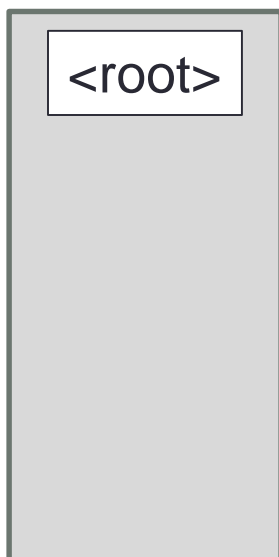
- (*RightArc_l*) $([\sigma|i], [j|\beta], A) \rightarrow ([\sigma|i|j], \beta, A \cup \{(i, l, j)\})$

- (*Reduce*) $([\sigma|i], B, A) \rightarrow (\sigma, B, A)$

если $\exists k: (k, *, i) \in A$

Arc-eager

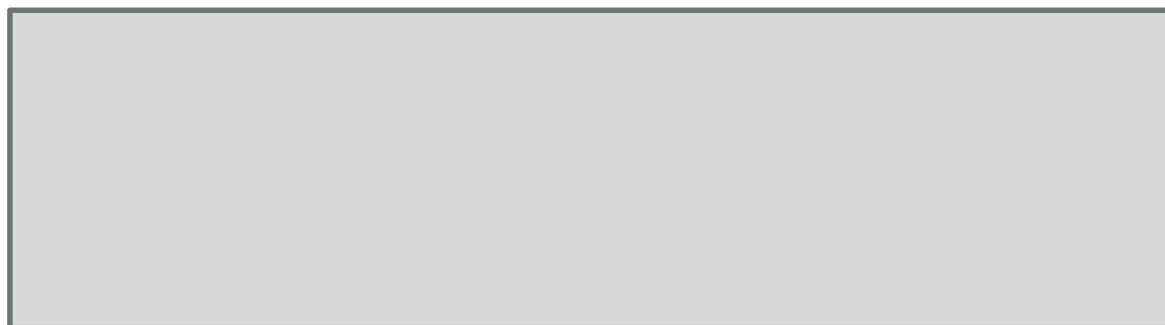
Стек



Буфер

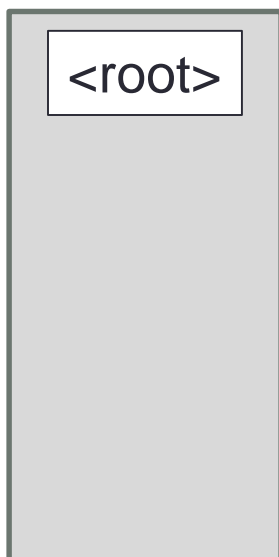


Зависимости



Arc-eager

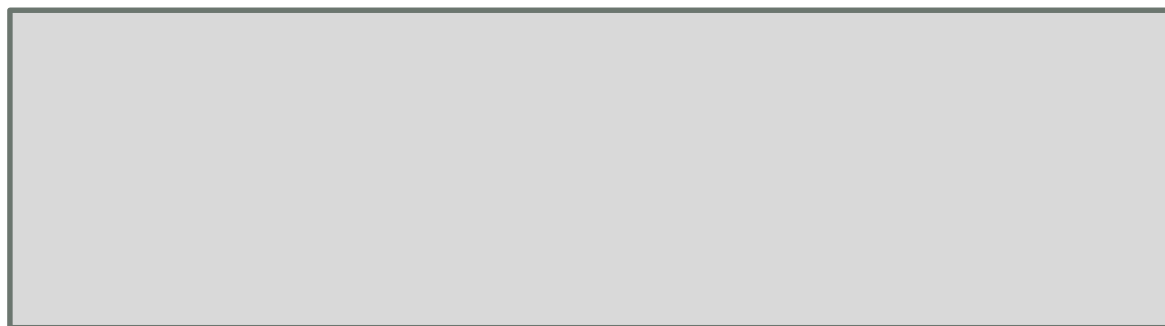
Стек



Буфер



Зависимости

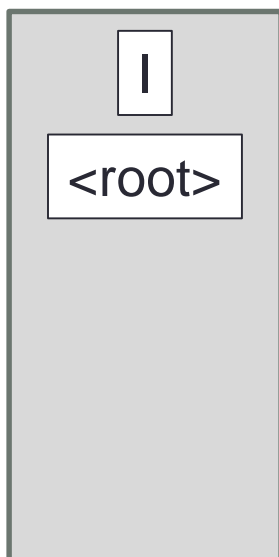


Shift

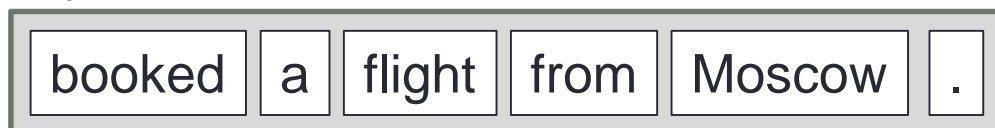


Arc-eager

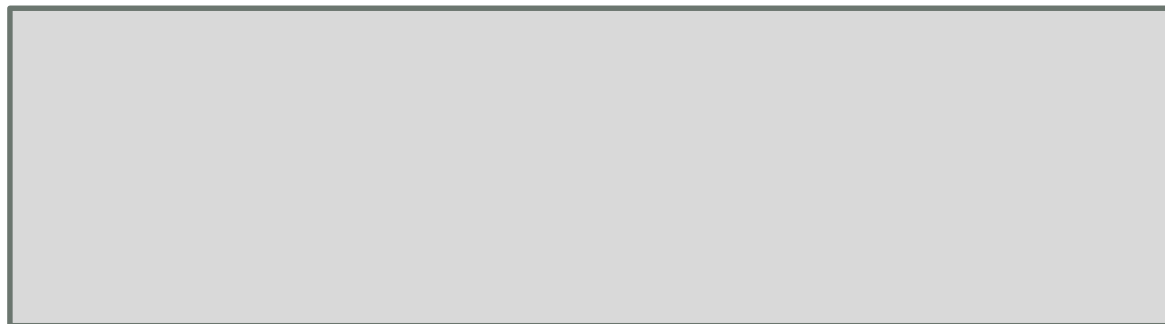
Стек



Буфер

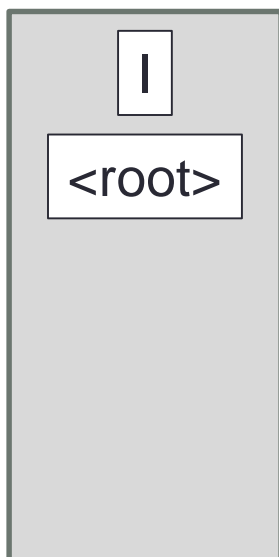


Зависимости



Arc-eager

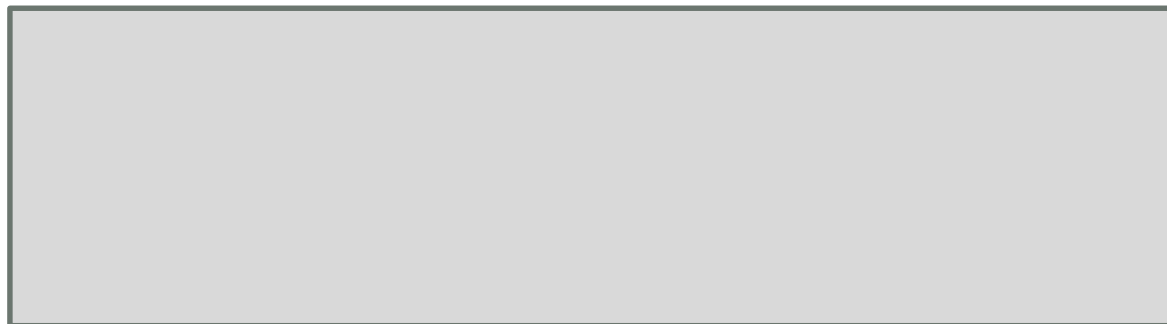
Стек



Буфер



Зависимости



LeftArc_{subj}

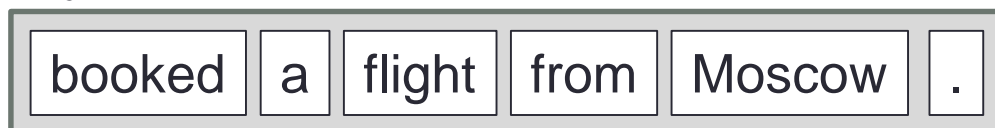


Arc-eager

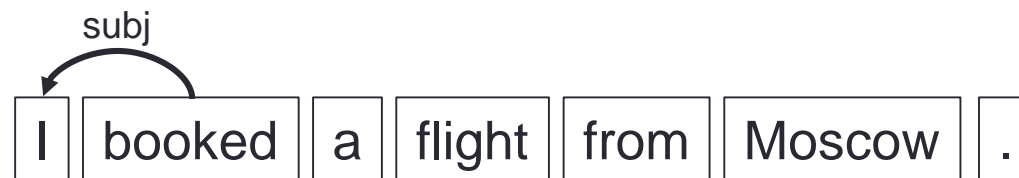
Стек



Буфер



Зависимости



Arc-eager

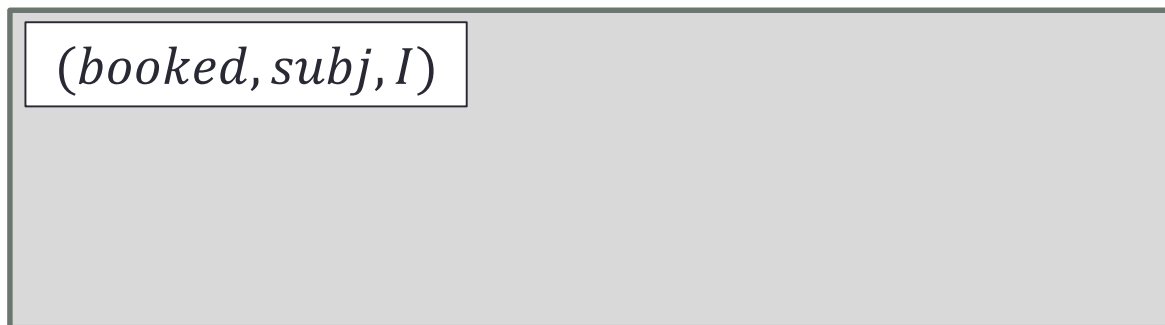
Стек



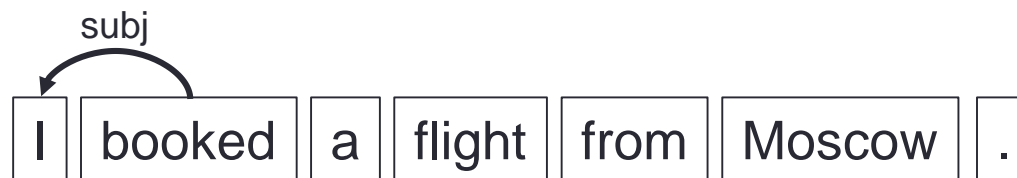
Буфер



Зависимости

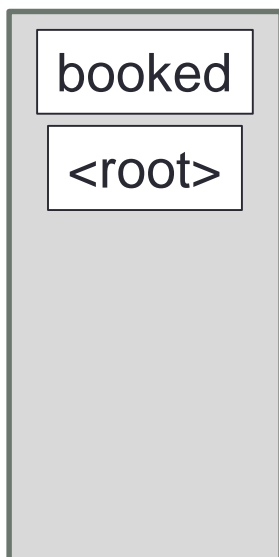


RightArc_{root}



Arc-eager

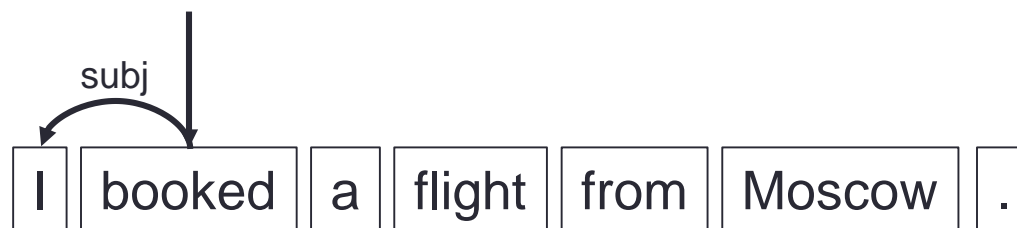
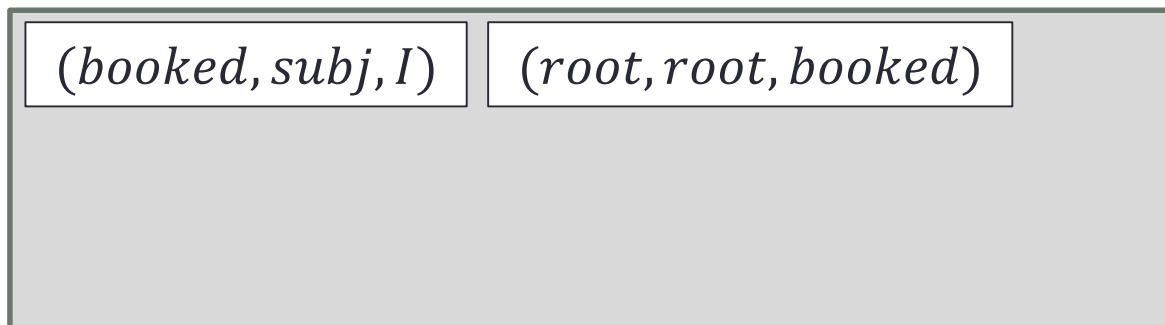
Стек



Буфер

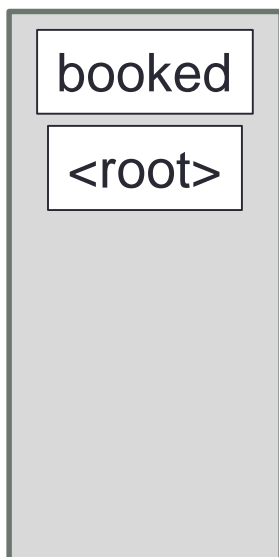


Зависимости



Arc-eager

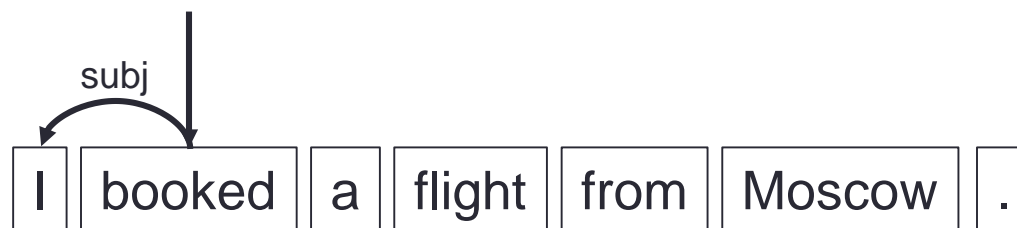
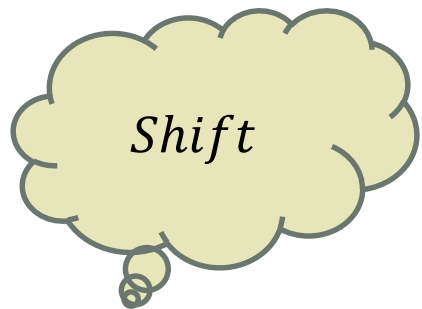
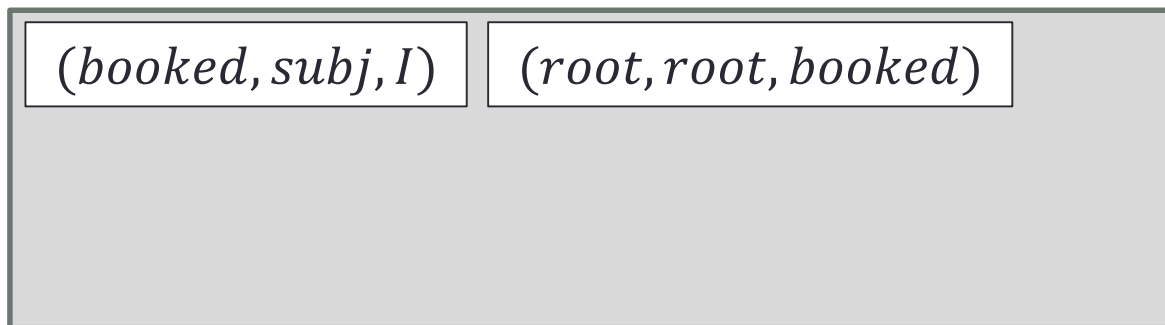
Стек



Буфер

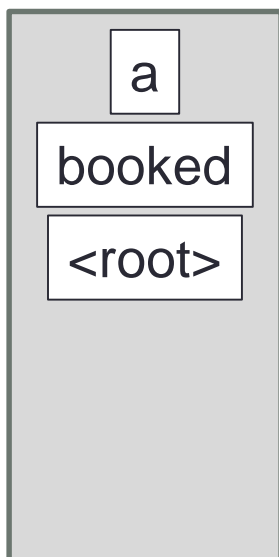


ЗАВИСИМОСТИ



Arc-eager

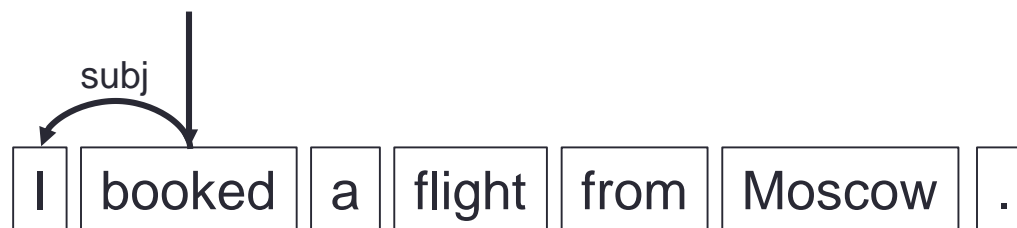
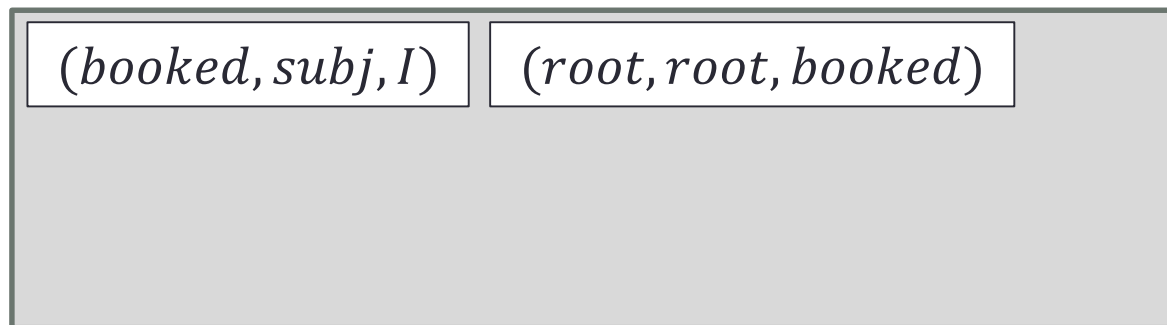
Стек



Буфер

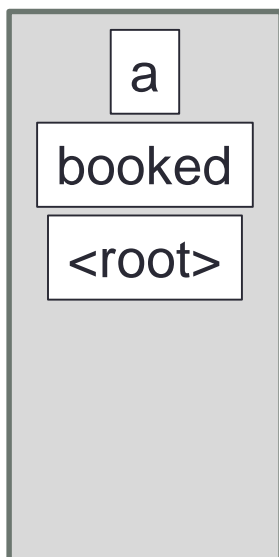


Зависимости



Arc-eager

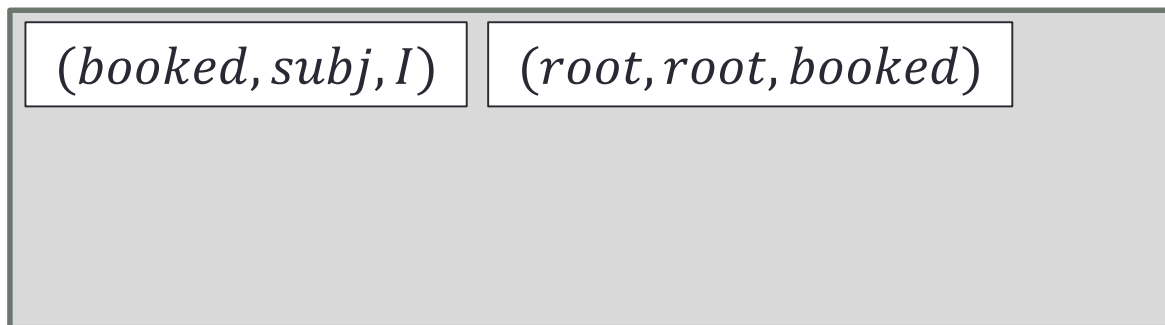
Стек



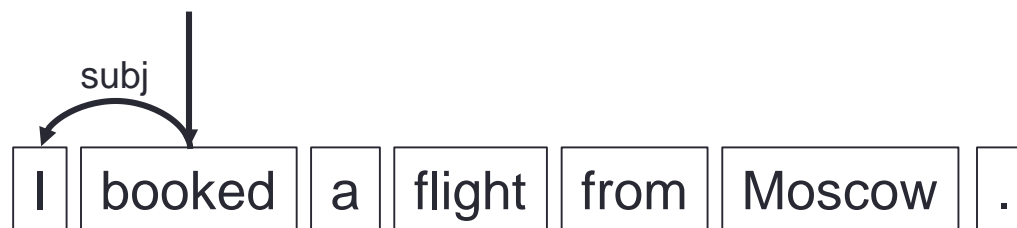
Буфер



Зависимости

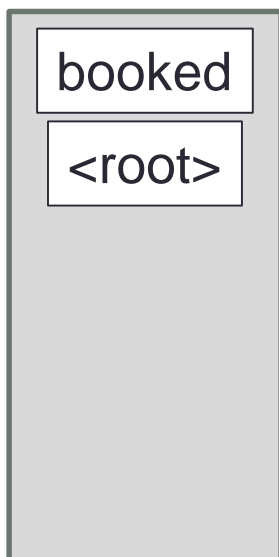


LeftArc_{det}



Arc-eager

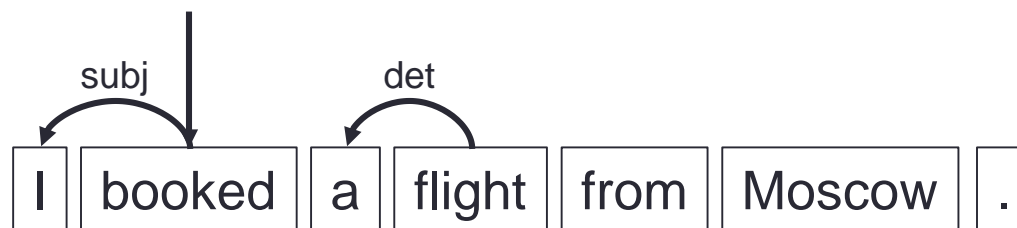
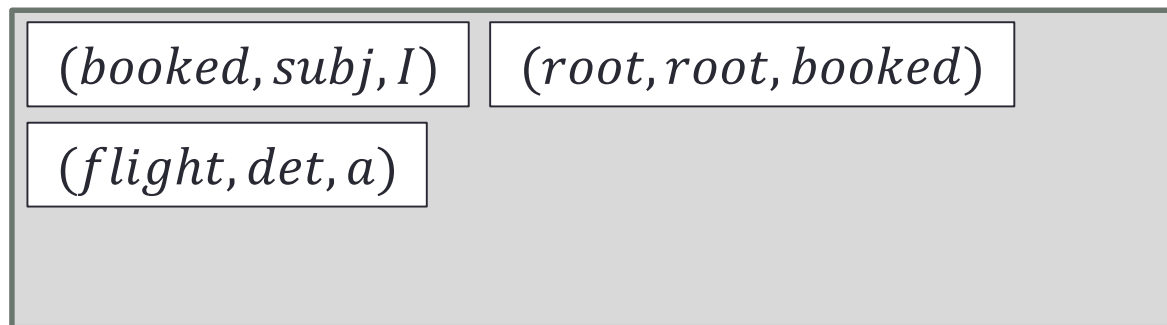
Стек



Буфер

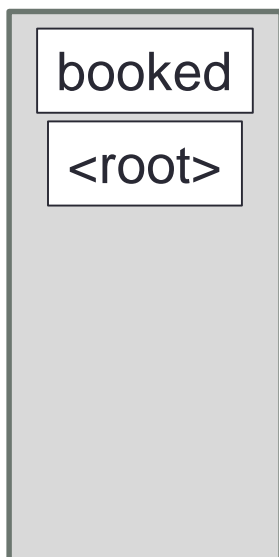


Зависимости



Arc-eager

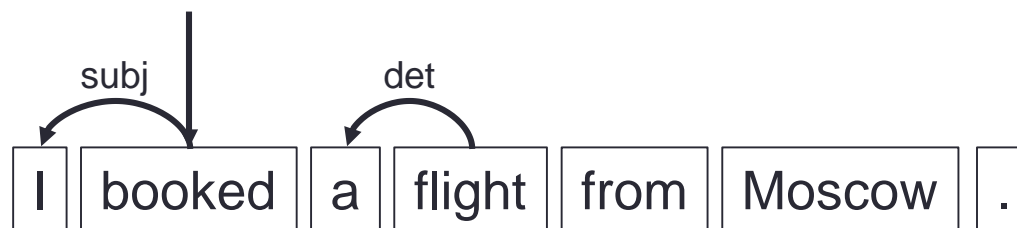
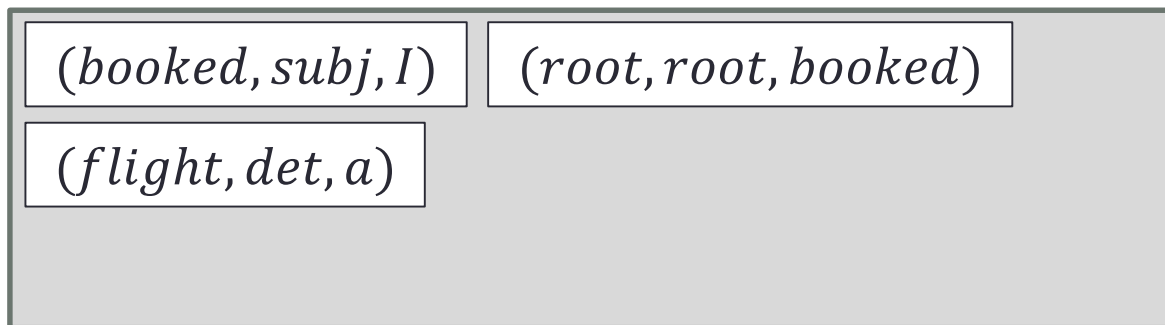
Стек



Буфер

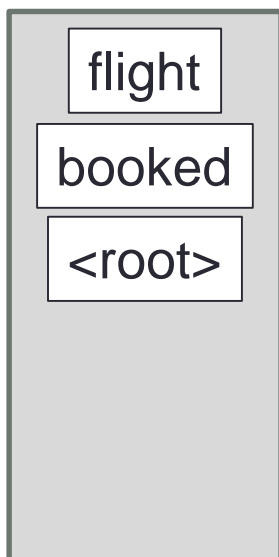


Зависимости

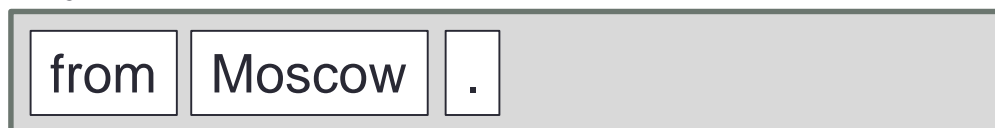


Arc-eager

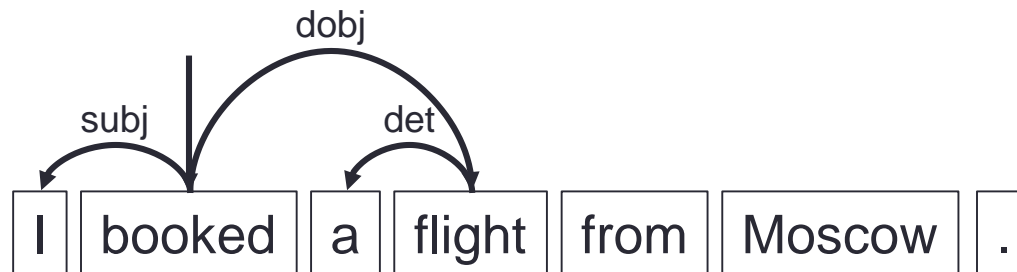
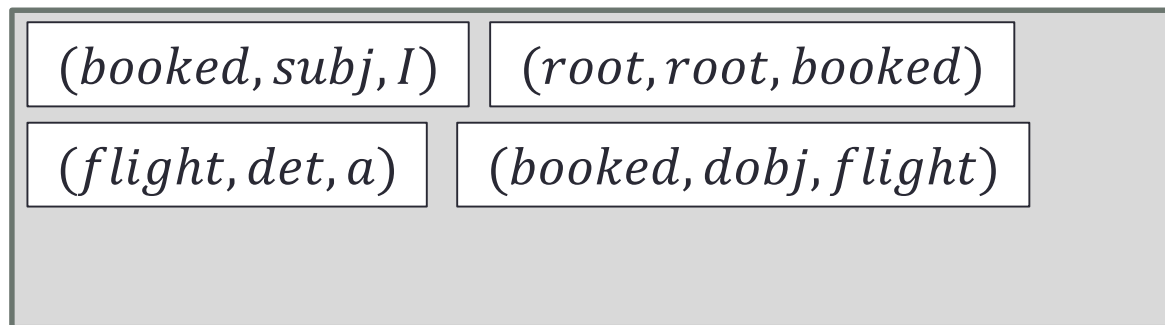
Стек



Буфер

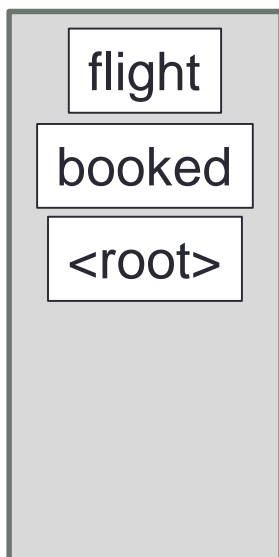


ЗАВИСИМОСТИ

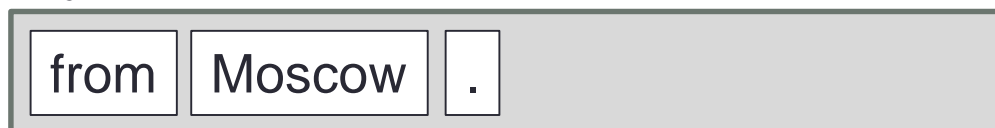


Arc-eager

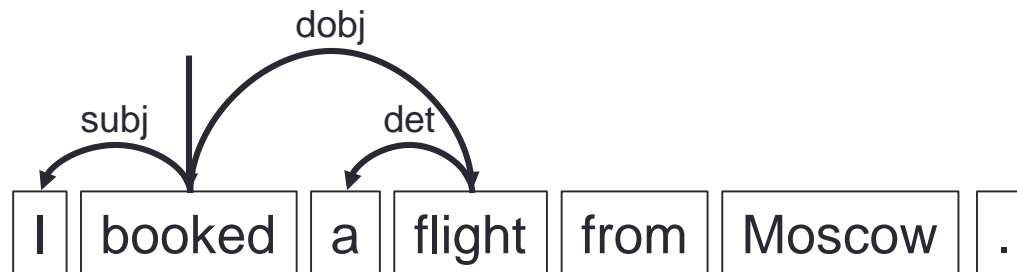
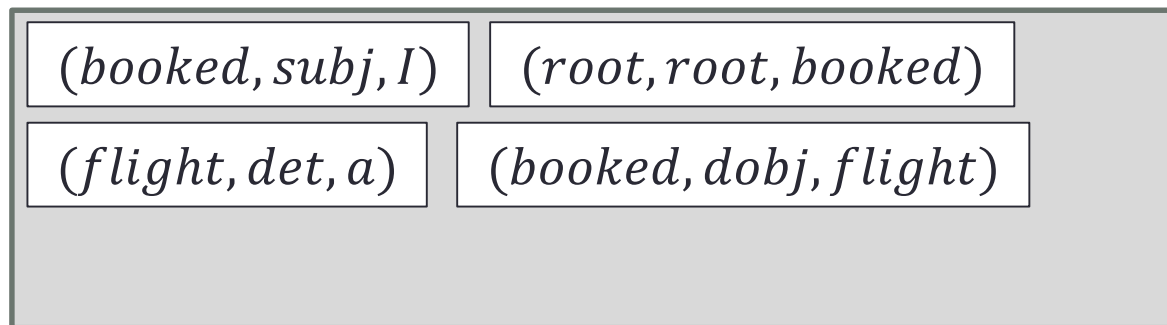
Стек



Буфер

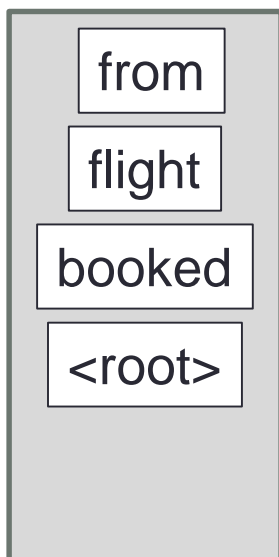


Зависимости



Arc-eager

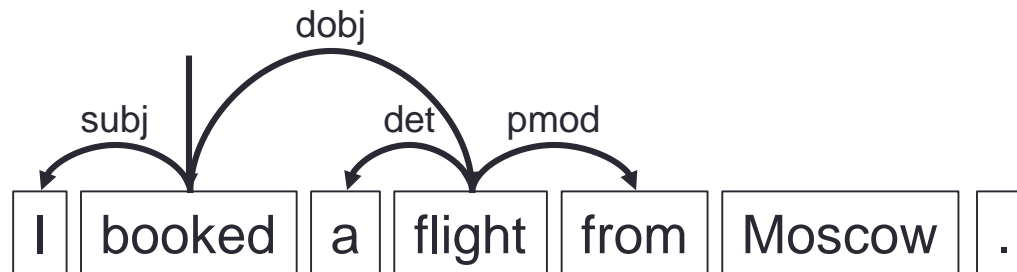
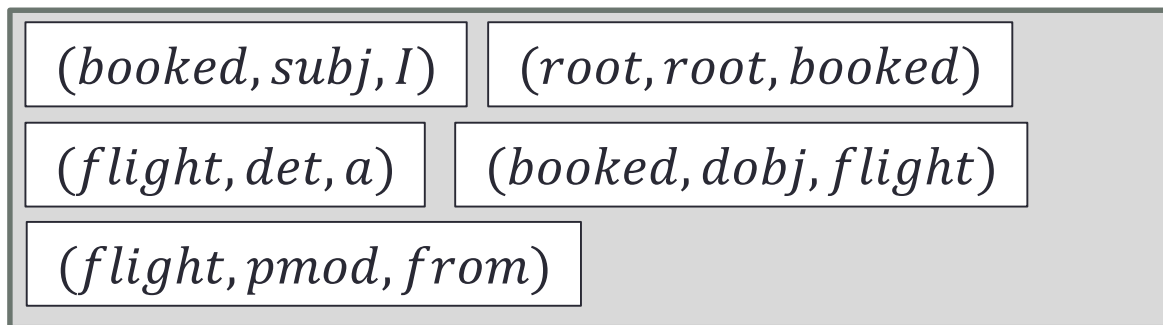
Стек



Буфер

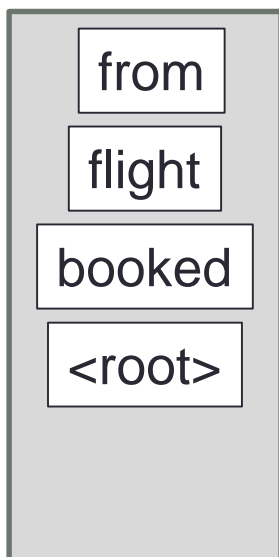


Зависимости

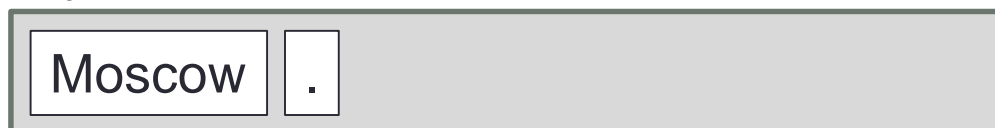


Arc-eager

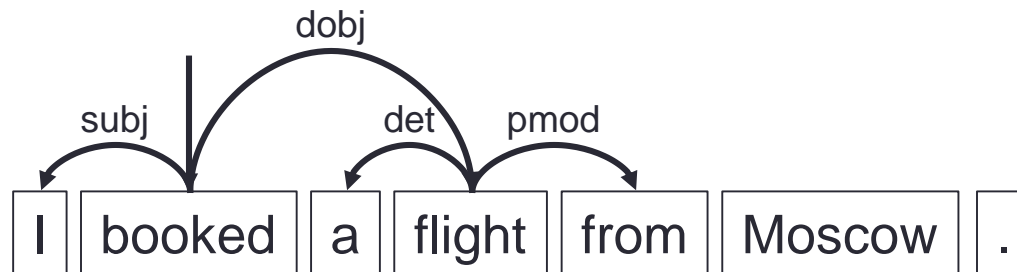
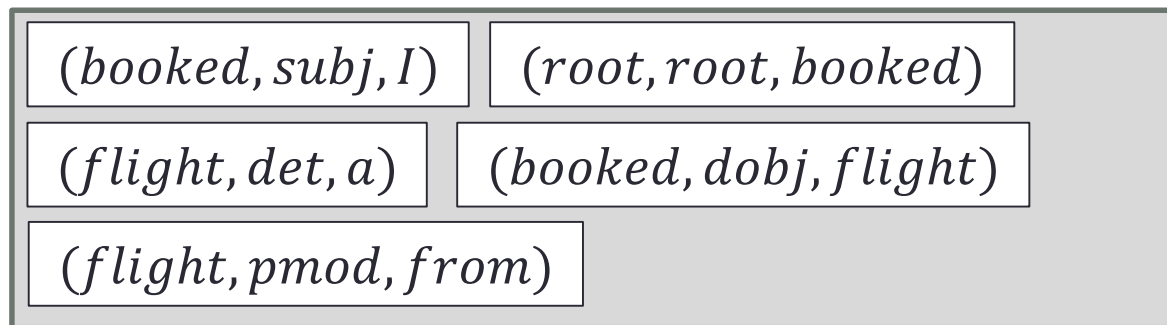
Стек



Буфер

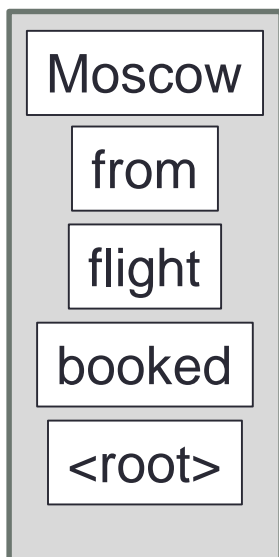


Зависимости

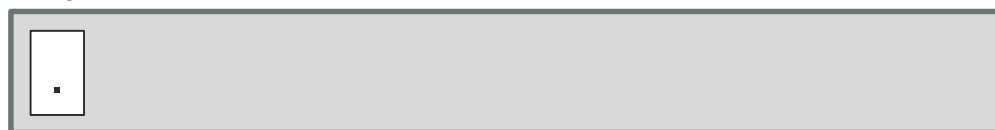


Arc-eager

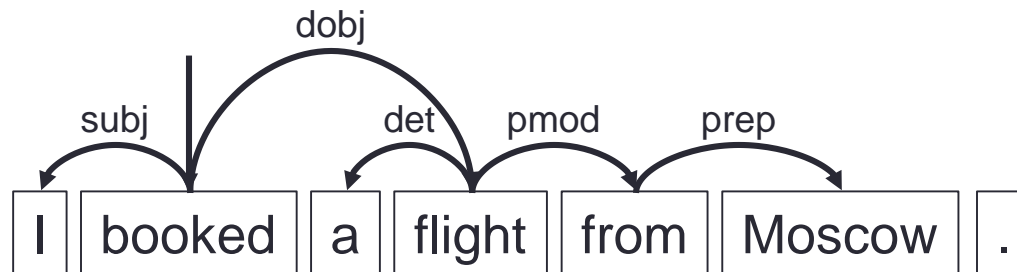
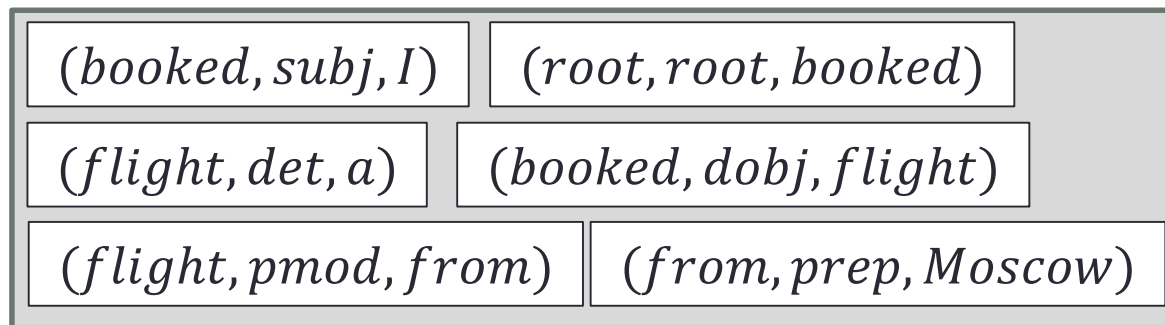
Стек



Буфер

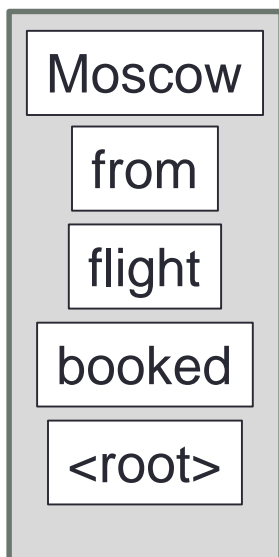


Зависимости

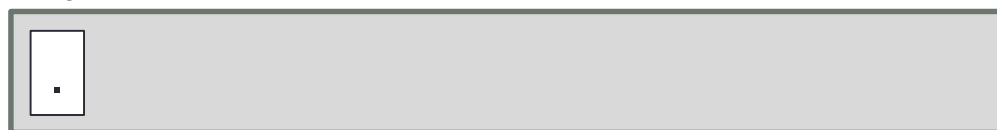


Arc-eager

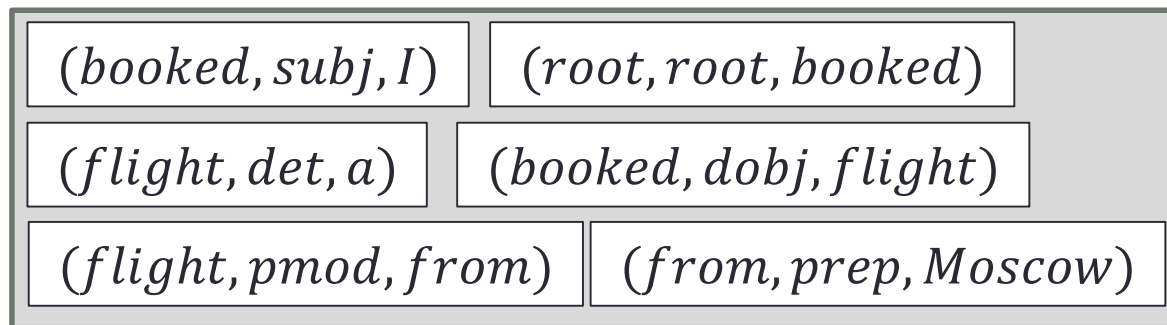
Стек



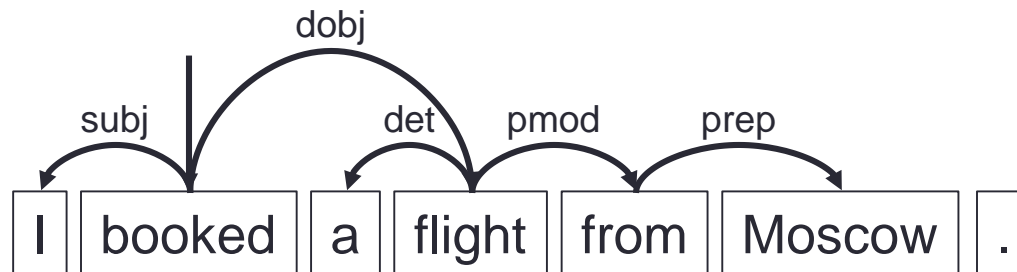
Буфер



ЗАВИСИМОСТИ

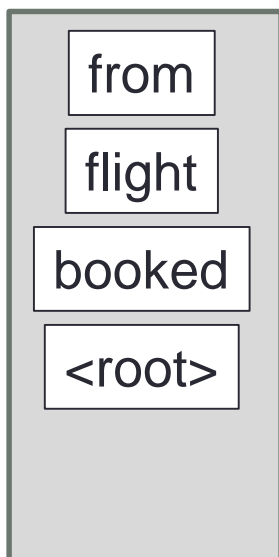


Reduce

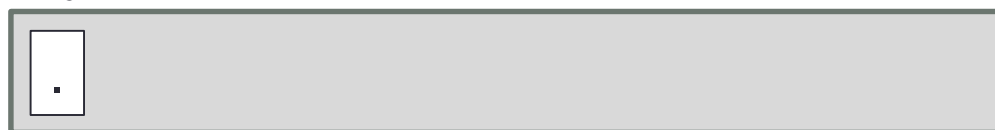


Arc-eager

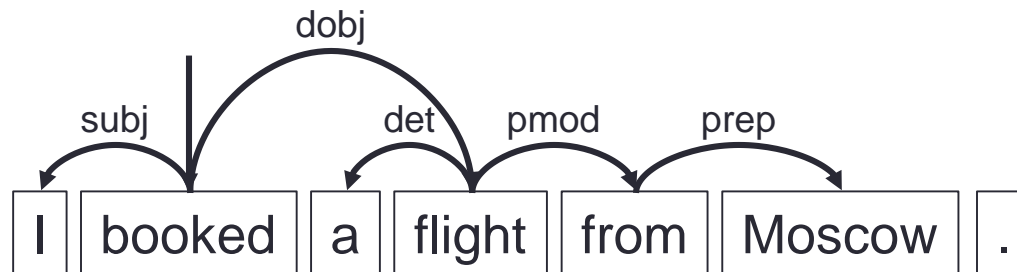
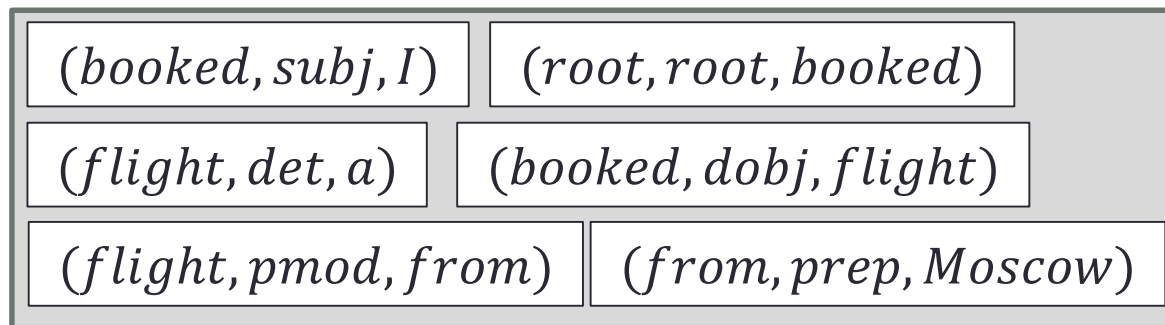
Стек



Буфер

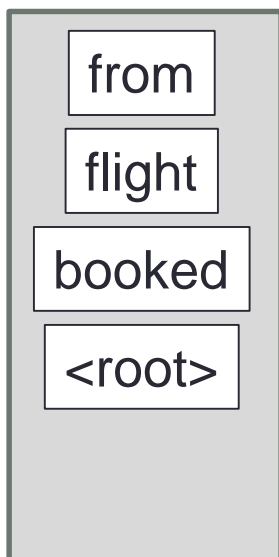


Зависимости

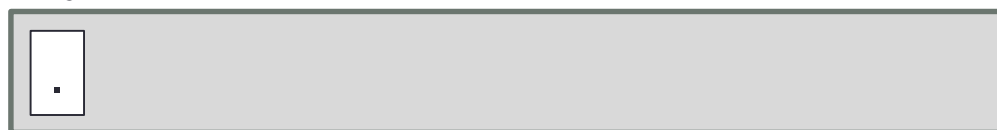


Arc-eager

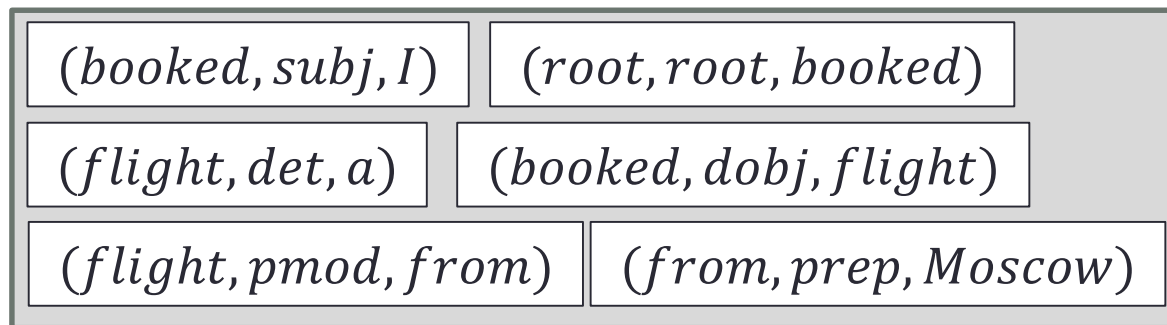
Стек



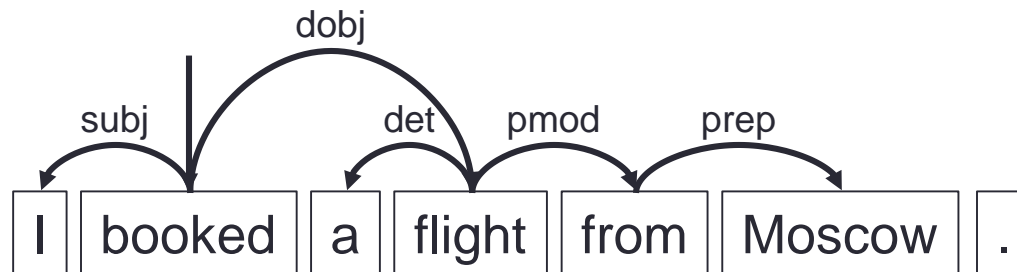
Буфер



Зависимости

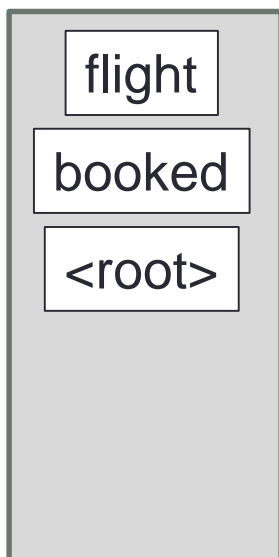


Reduce

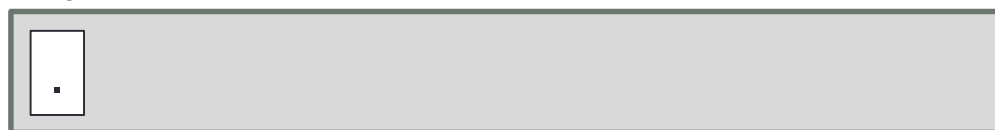


Arc-eager

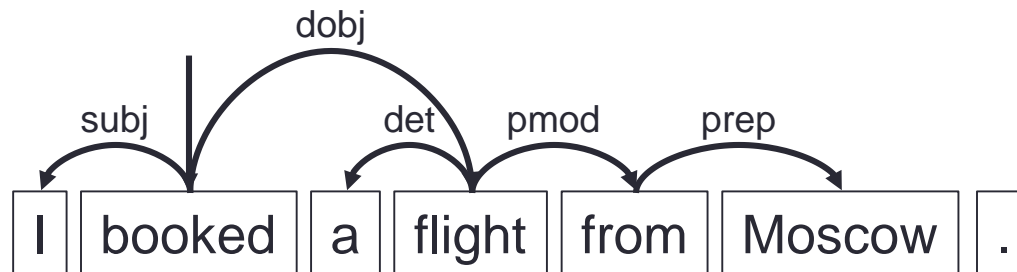
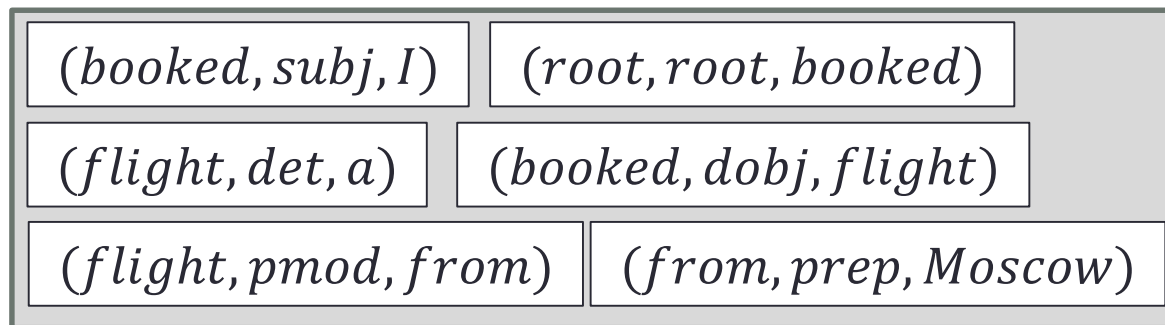
Стек



Буфер

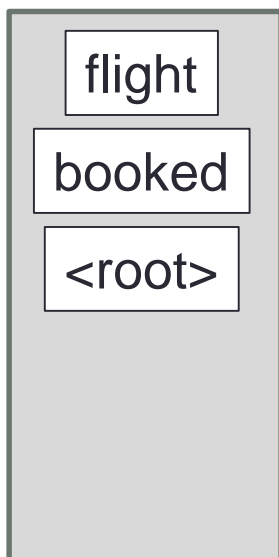


Зависимости

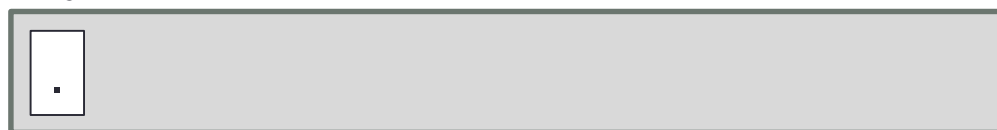


Arc-eager

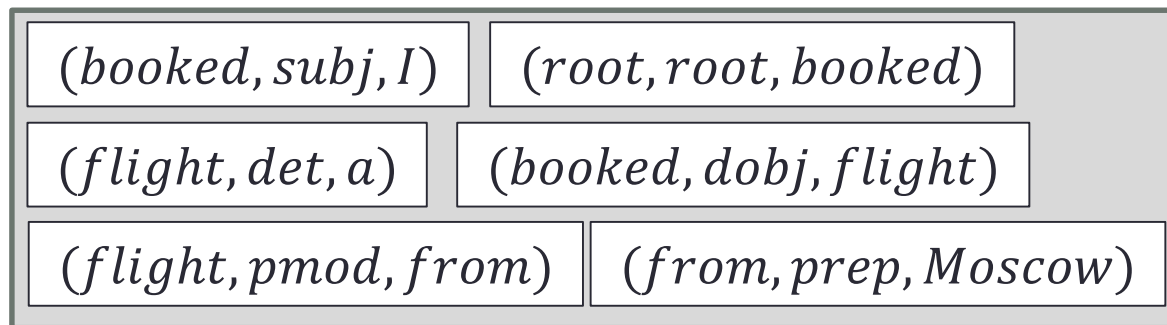
Стек



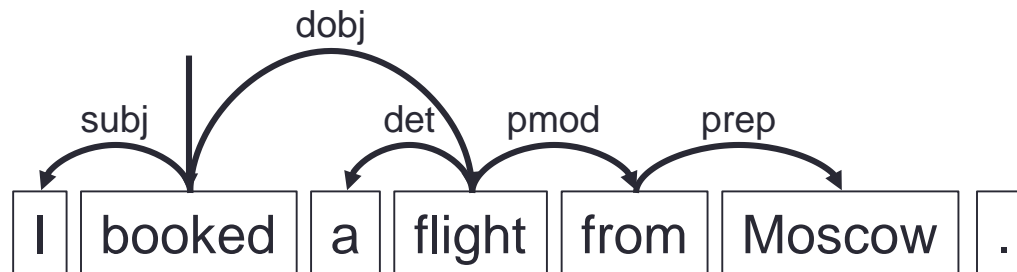
Буфер



Зависимости

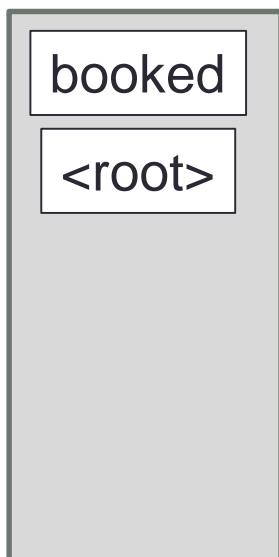


Reduce

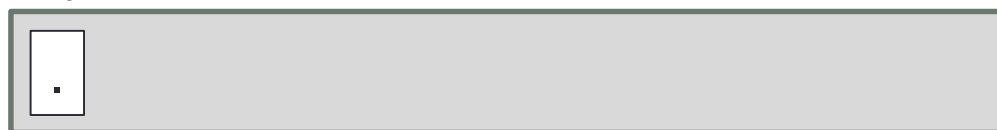


Arc-eager

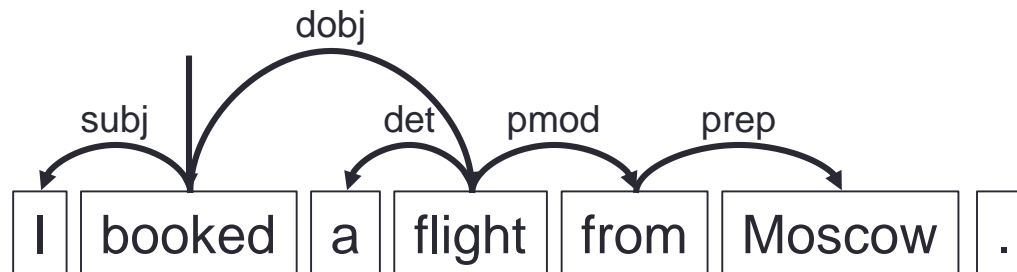
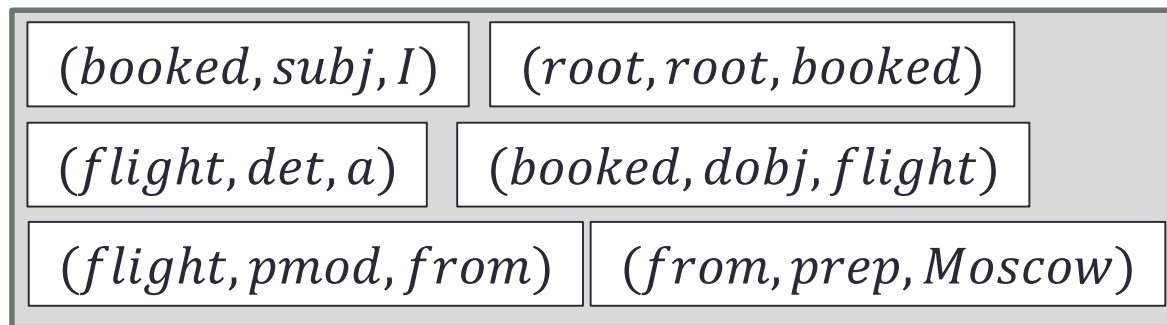
Стек



Буфер

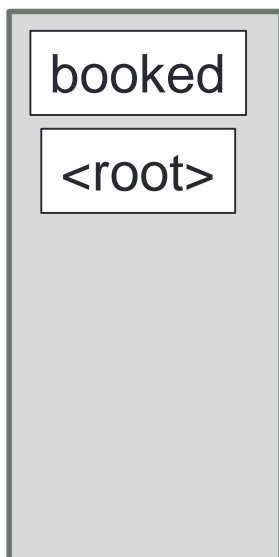


Зависимости

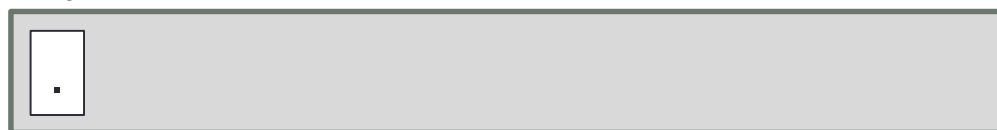


Arc-eager

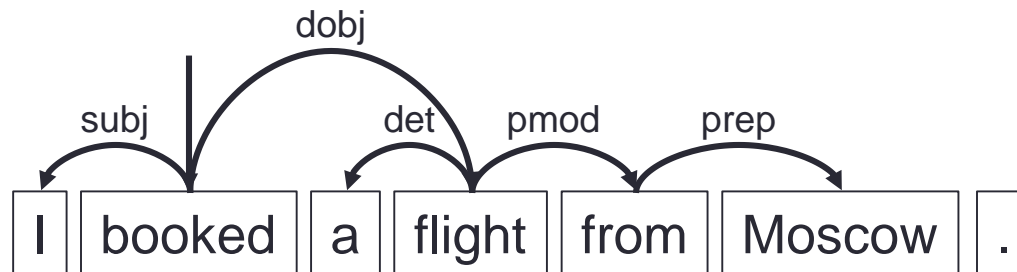
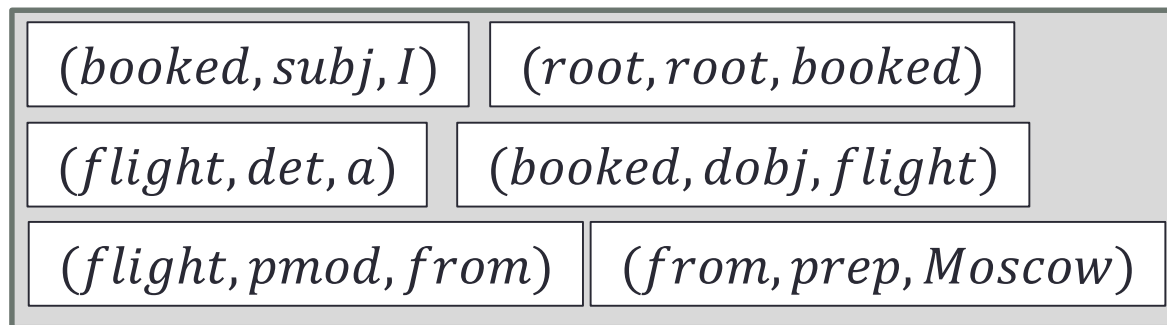
Стек



Буфер



Зависимости

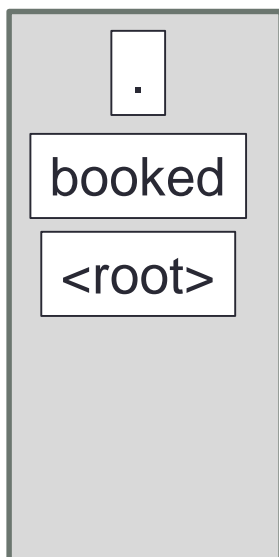


RightArc_{pun}

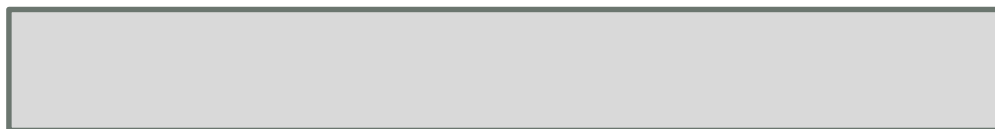


Arc-eager

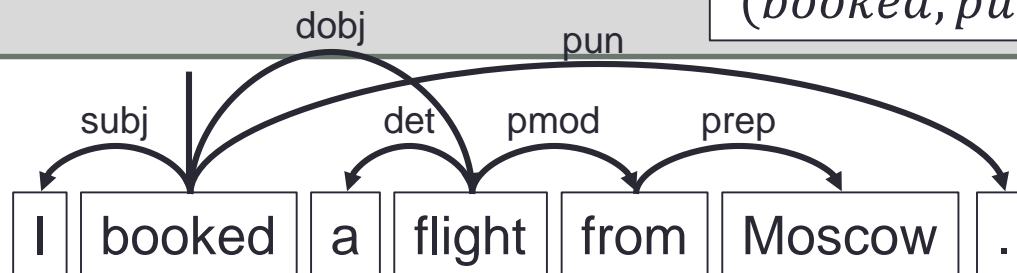
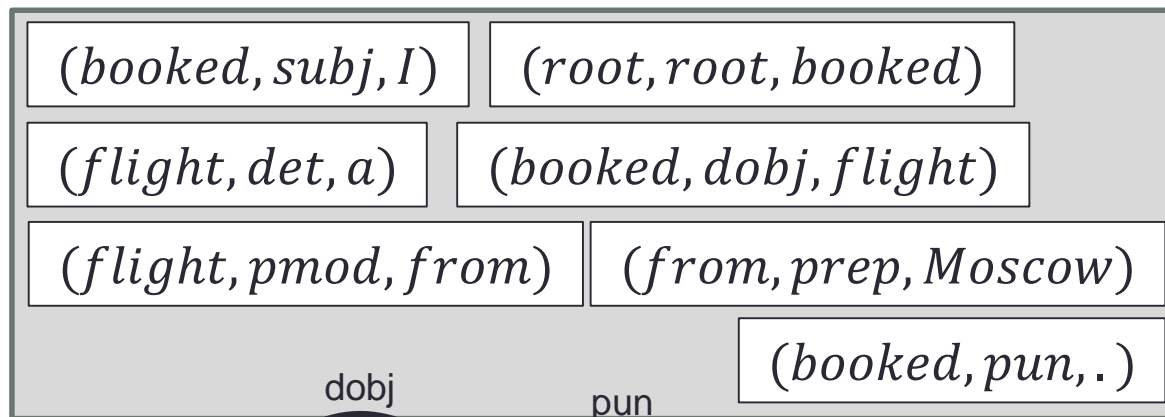
Стек



Буфер

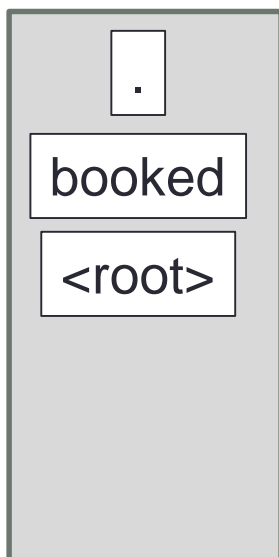


Зависимости

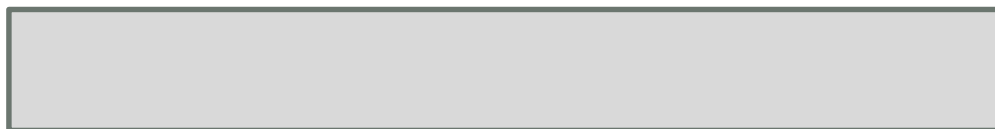


Arc-eager

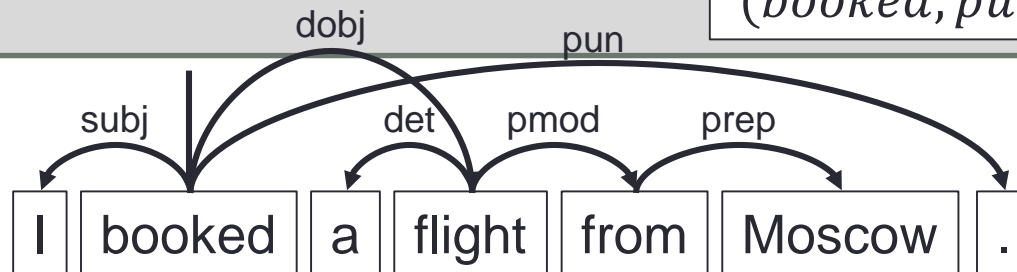
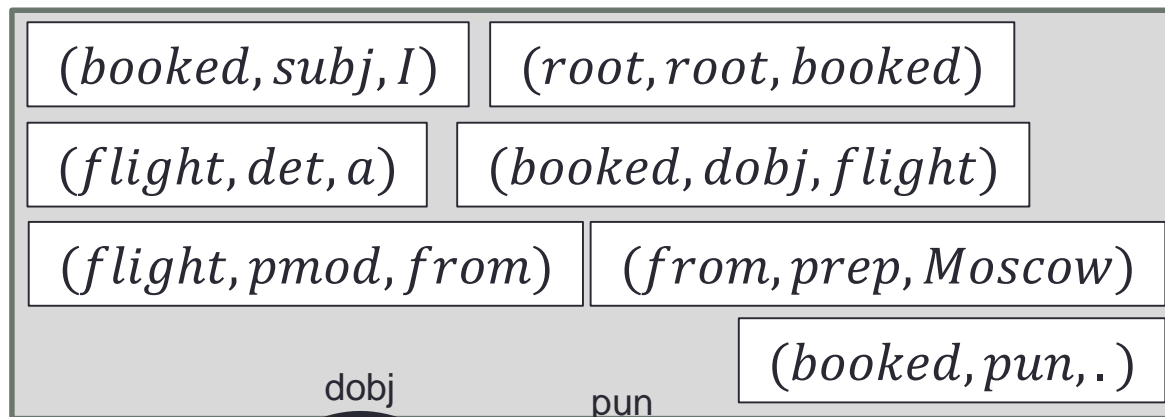
Стек



Буфер



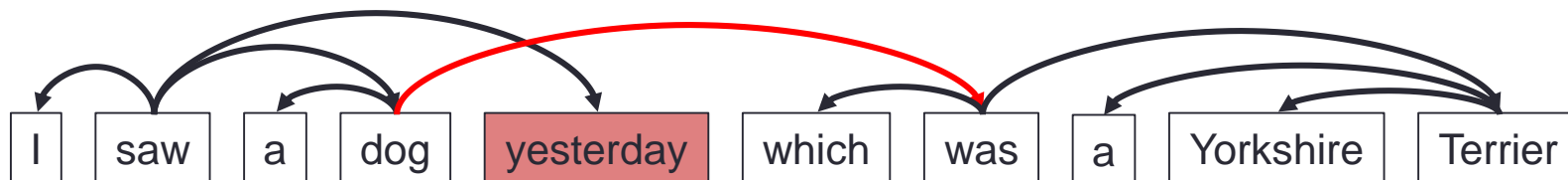
Зависимости



DONE!!!

Проективное синтаксическое дерево

- Дерево зависимостей является проективным, если
 - Для каждой дуги в дереве существует направленный путь от главного слова до каждого из слов, расположенных между главным и зависимым словом этой дуги
 - $(i, l, j) \Rightarrow \forall k \in [\min(i, j), \max(i, j)], i \rightarrow^* k$



Non-projective Transition-based Parsing. Attardi's system

- Инициализация
 - $c_s(x = x_1 \dots x_n) = ([0], [1, \dots, n], \emptyset)$
- Конечное состояние
 - $C_t = \{c \in C \mid c = ([0], [], A)\}$
- Переходы (для левых зависимостей требуется $i \neq 0$)
 - (*Shift*) $(\sigma, [i|\beta], A) \rightarrow ([\sigma|i], \beta, A)$
 - (*LeftArc_l*) $([\sigma|i|j], B, A) \rightarrow ([\sigma|j], B, A \cup \{(j, l, i)\})$
 - (*RightArc_l*) $([\sigma|i|j], B, A) \rightarrow ([\sigma|i], B, A \cup \{(i, l, j)\})$
 - (*LeftArc_{2l}*) $([\sigma|i|k|j], B, A) \rightarrow ([\sigma|k|j], B, A \cup \{(j, l, i)\})$
 - (*RightArc_{2l}*) $([\sigma|i|k|j], B, A) \rightarrow ([\sigma|i|k], B, A \cup \{(i, l, j)\})$
 - (*LeftArc_{3l}*) $([\sigma|i|k_1|k_2|j], B, A) \rightarrow ([\sigma|k_1|k_2|j], B, A \cup \{(j, l, i)\})$
 - (*RightArc_{3l}*) $([\sigma|i|k_1|k_2|j], B, A) \rightarrow ([\sigma|i|k_1|k_2], B, A \cup \{(i, l, j)\})$

Non-projective Transition-based Parsing.

Online reordering

- Инициализация
 - $c_s(x = x_1 \dots x_n) = ([0], [1, \dots, n], \emptyset)$
- Конечное состояние
 - $C_t = \{c \in C \mid c = ([0], [], A)\}$
- Переходы
 - (*Shift*) $(\sigma, [i|\beta], A) \rightarrow ([\sigma|i], \beta, A)$
 - (*LeftArc_l*) $([\sigma|i|j], B, A) \rightarrow ([\sigma|j], B, A \cup \{(j, l, i)\})$, если $i \neq 0$
 - (*RightArc_l*) $([\sigma|i|j], B, A) \rightarrow ([\sigma|i], B, A \cup \{(i, l, j)\})$
 - (*Swap*) $([\sigma|i|j], \beta, A) \rightarrow ([\sigma|j], [i|\beta], A)$, если $i \neq 0$ и $i < j$

Transition-based Parsing.

Предсказание переходов

- Задача многоклассовой классификации
 - Объекты классификации: конфигурации парсера
 - Классы: правила перехода

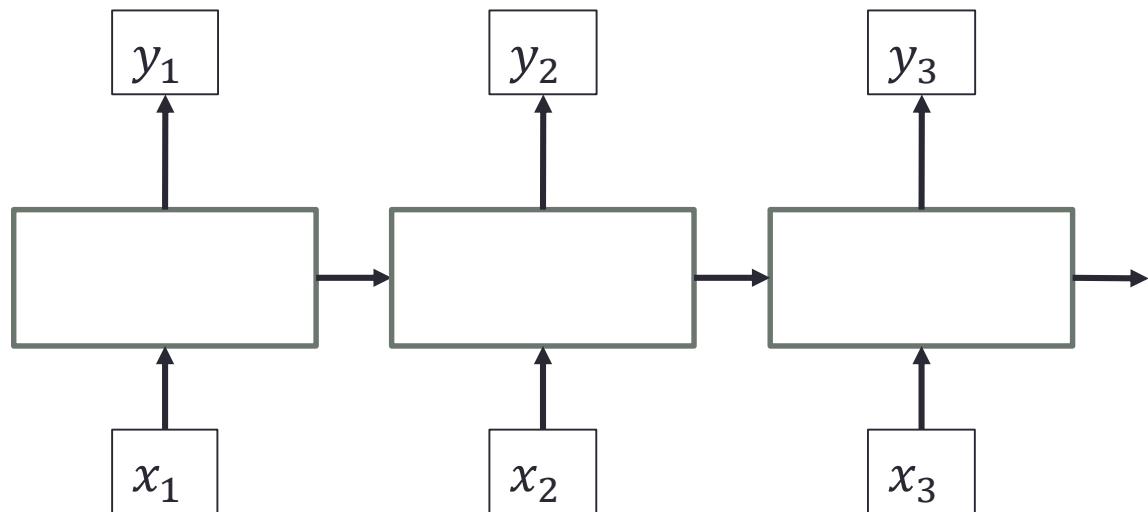
- Методы:
 - Multiclass SVM
 - Naïve Bayes
 - Decision trees
 - Нейронные сети
 - ...

Признаки классификации

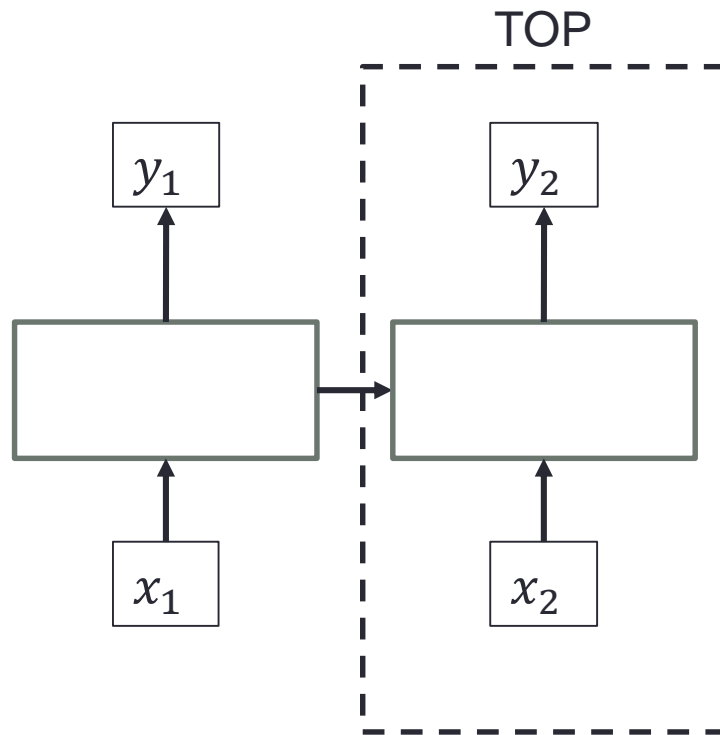
- Признаки для элемента
 - Словоформа
 - Лемма
 - Часть речи
 - Значения грамматических категорий
 - Тип отношения
- Элементы:
 - i -й элемент стека
 - i -й элемент буфера
 - Левое отношение элемента стека
 - Правое отношение элемента стека

Long Short-Term Memory

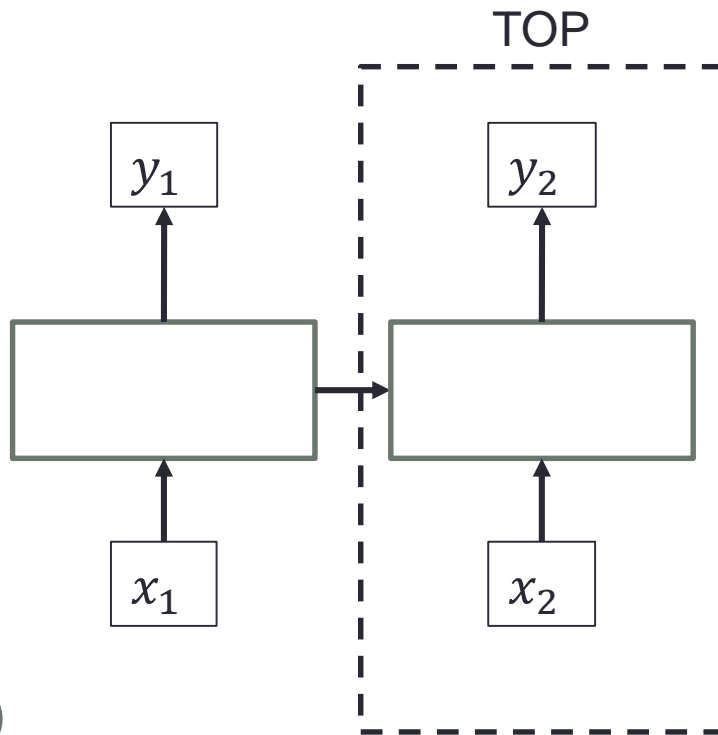
- $i_t = \sigma(W_{ix}x_t + W_{ih}h_{t-1} + W_{ic}c_{t-1} + b_i)$
- $f_t = \sigma(W_{fx}x_t + W_{fh}h_{t-1} + W_{fc}c_{t-1} + b_f)$
- $c_t = f_t \odot c_{t-1} i_t + \tanh \odot (W_{cx}x_t + W_{ch}h_{t-1} + b_c)$
- $o_t = \sigma(W_{ox}x_t + W_{oh}h_{t-1} + W_{oc}c_t + b_o)$
- $h_t = o_t \odot \tanh(c_t)$
- $y_t = g(h_t)$



Stack Long Short-Term Memory

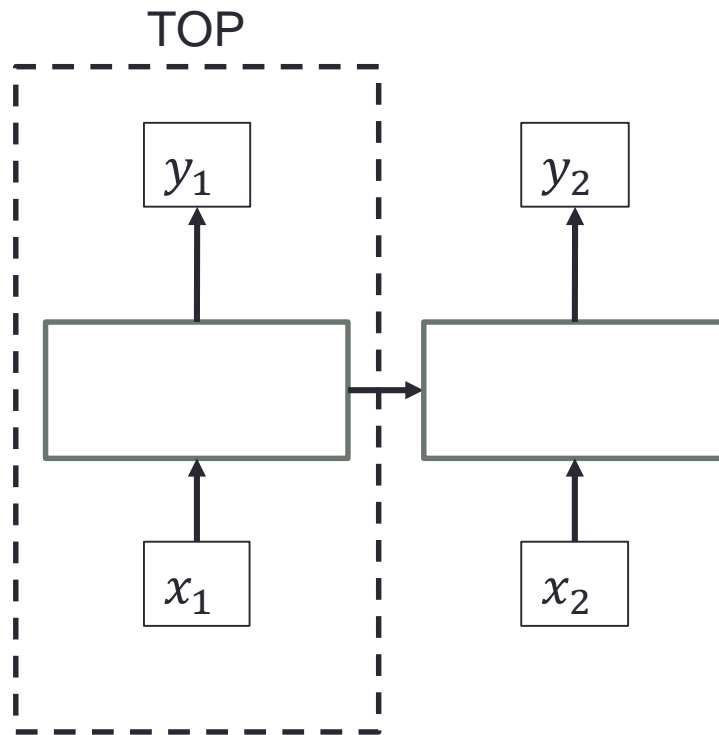


Stack Long Short-Term Memory

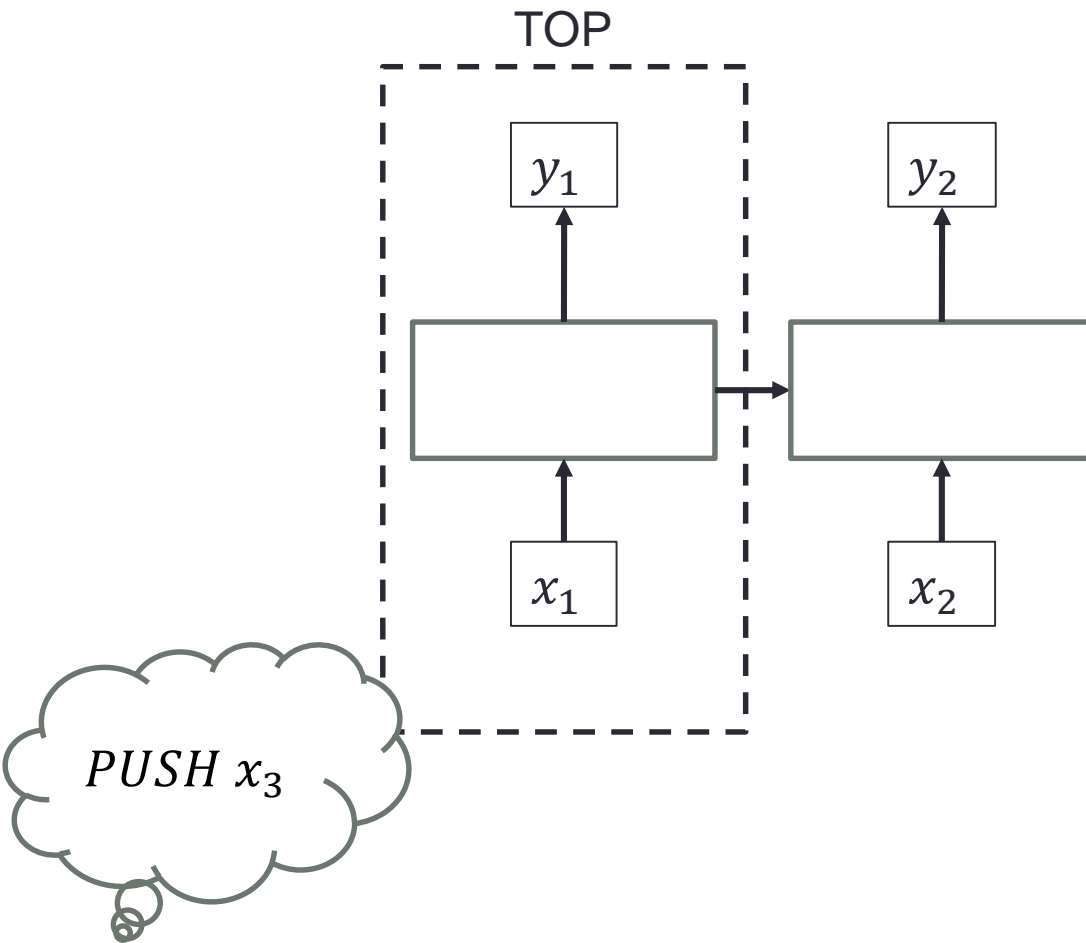


POP

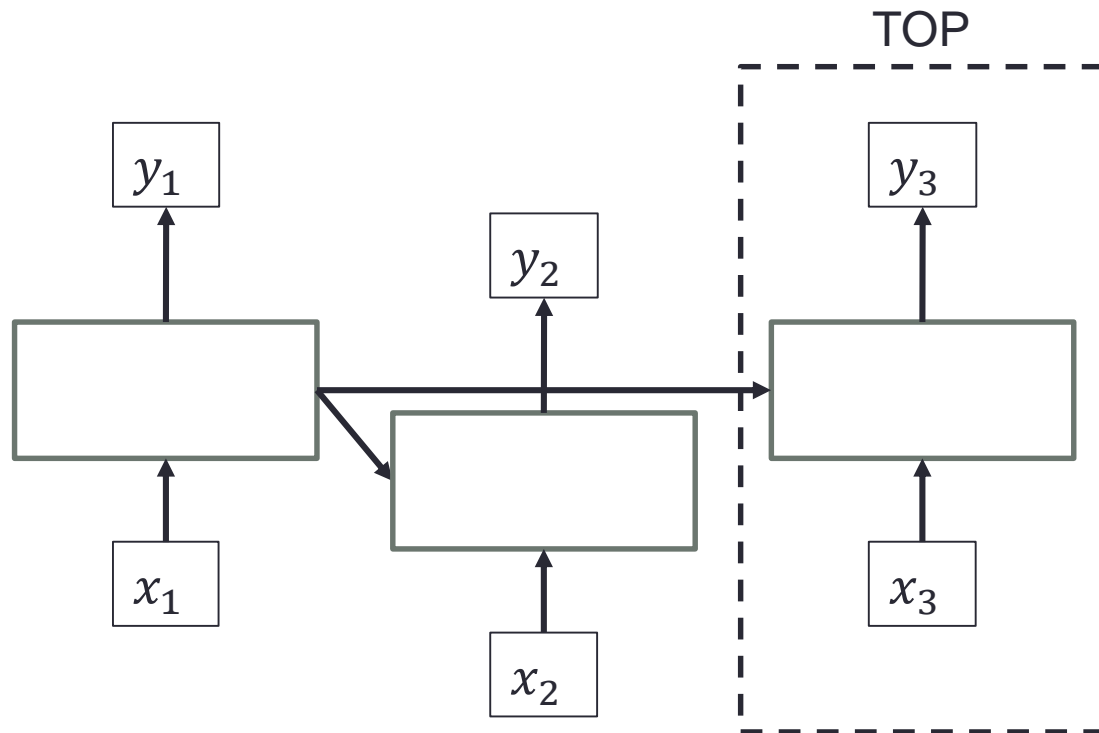
Stack Long Short-Term Memory



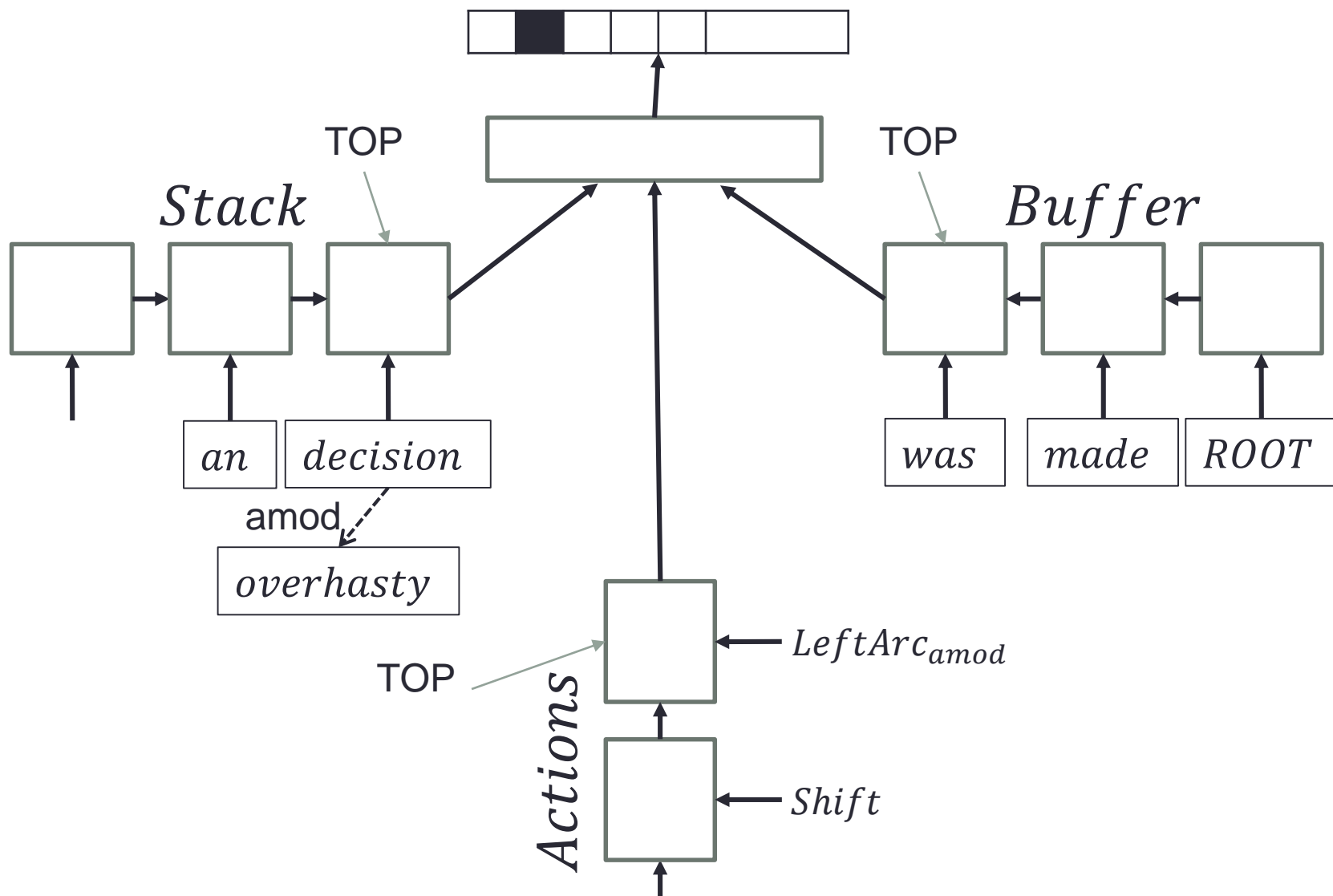
Stack Long Short-Term Memory



Stack Long Short-Term Memory



Stack LSTM Parser



Stack LSTM Parser

- Переходы Arc-standard

- *Shift*

$$(\sigma, [(v_i, i)|\beta], A) \rightarrow ([\sigma|(v_i, i)], \beta, A)$$

- *LeftArc_r*

$$([\sigma|(v_i, i)|(v_j, j)], B, A) \rightarrow ([\sigma|(g_r(v_i, v_j), j)], B, A \cup \{j \xrightarrow{r} i\})$$

- *RightArc_r*

$$([\sigma|(v_i, i)|(v_j, j)], B, A) \rightarrow ([\sigma|(g_r(v_j, v_i), i)], B, A \cup \{i \xrightarrow{r} j\})$$

Оценка качества

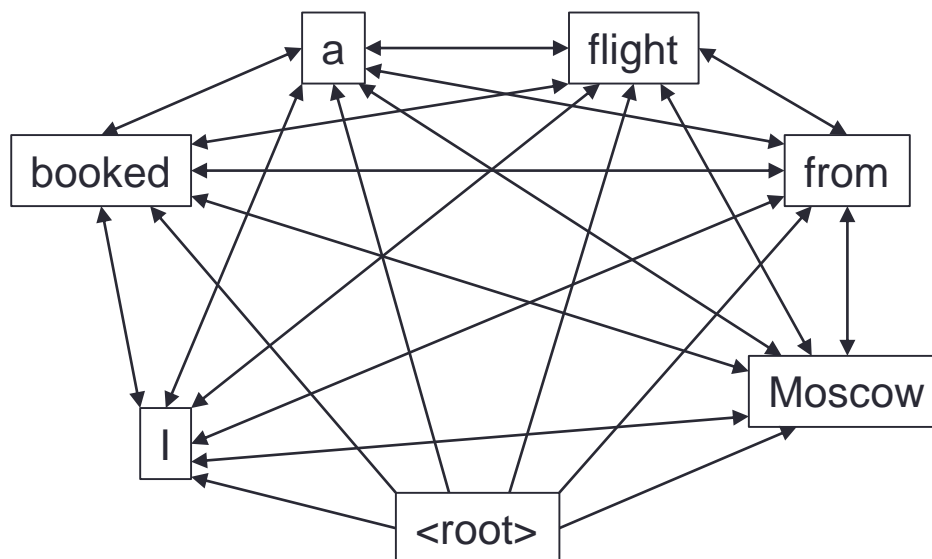
- Labeled attachment score (LAS):
 - Отношение количества правильно построенных дуг к общему количеству дуг
- Labeled exact match (LEM):
 - Отношение количества правильно построенных деревьев к общему количеству деревьев
- Unlabeled attachment score/exact match (UAS/UEM):
 - Те же метрики, но дуги рассматриваются без типов

Оценка качества

- Micro-averaged
 - Считаем отношение количества правильных дуг во всем корпусе к общему количеству дуг в этом корпусе
- Macro-averaged
 - Считаем метрику для каждого предложения и потом усредняем

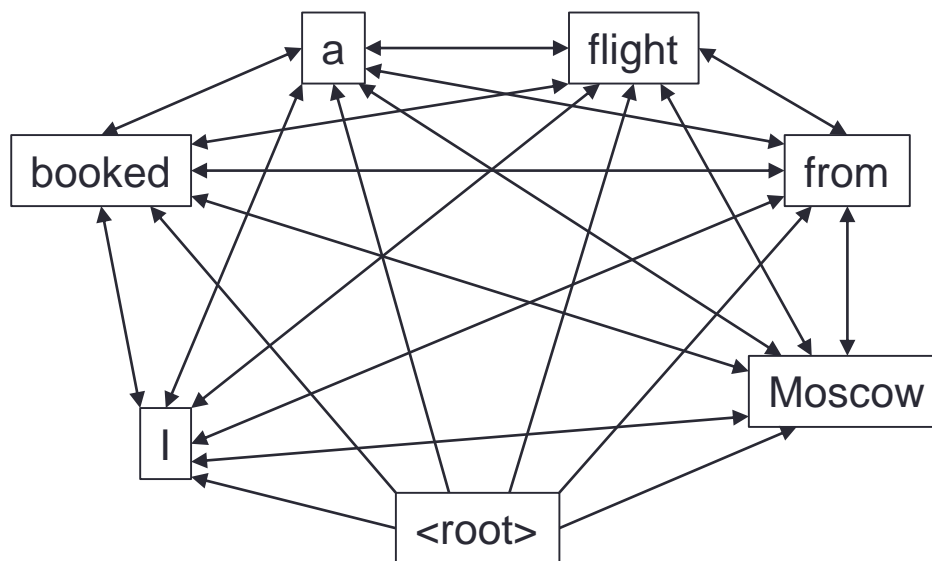
Графовые методы

- Предложение представляется в виде взвешенного полного графа (ориентированного)
 - Вершины графа – слова + <root>
 - Дуги графа – отношения между словами
- Цель
 - Найти подграф, являющийся деревом зависимостей



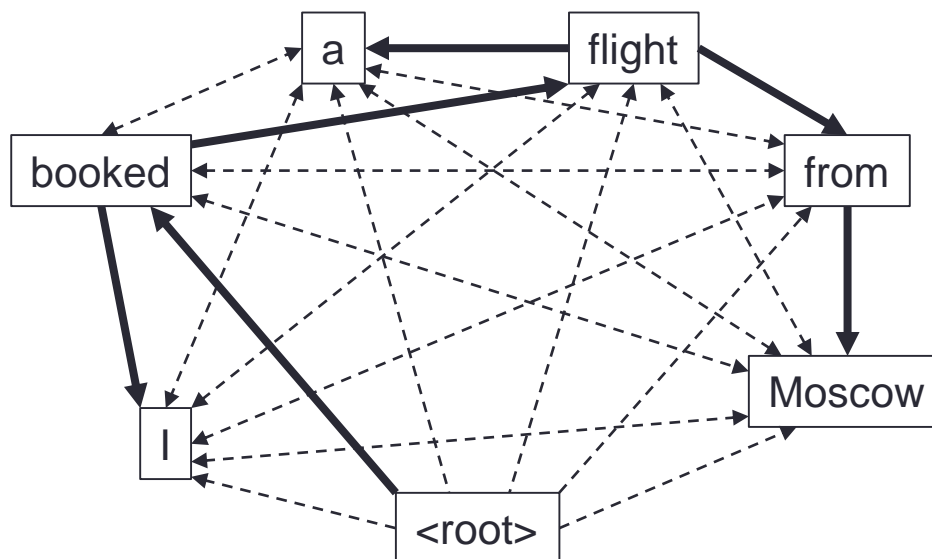
Графовые методы

- Для каждой дуги (i, j) вычисляется ее вес $s(i, j)$
- Вес подграфа в графе $s(x, y) = \sum_{(i,j) \in y} s(i, j)$, где
 - x – вершины подграфа,
 - y – дуги подграфа



Максимальное остовное дерево (MST)

- Задача синтаксического анализа формулируется как задача нахождения максимального остовного дерева (MST) в связанном взвешенном графе
 - Дерево называется остовным, если
 - Включает все вершины графа
 - Содержит минимальное количество дуг из графа, так, чтобы из корня дерева можно было «дойти» до любой вершины графа



Алгоритм Эдмондса

- На входе:
 - Ориентированный граф $D = \langle V, E \rangle$
 - Вершина $r \in V$ – корень
 - вещественные значения весов $w(e), \forall e \in E$
- На выходе:
 - Остовное ориентированное дерево A минимального веса $w(A) = \sum_{e \in A} w(e)$ с корнем r

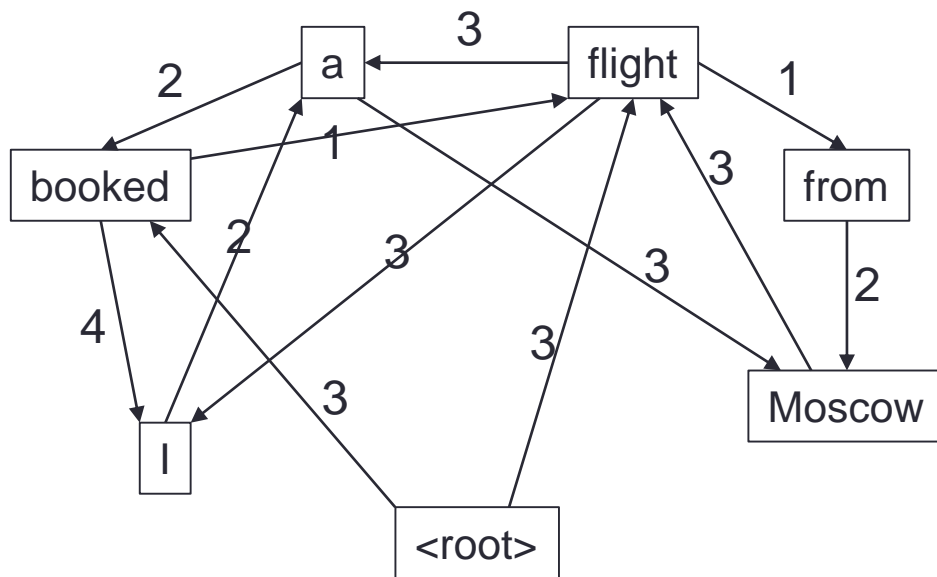
Алгоритм Эдмондса

- Пусть $f(\langle V, E \rangle, r, w)$ возвращает ориентированное дерево минимального веса с корнем в r
 1. Удалить все $(u, r) \in E$
 2. $\pi(v) = \arg \min_{u \in V} w((u, v)) \quad \forall v \in V$
 3. $P = \{(\pi(v), v) \mid v \in V \setminus \{r\}\}$. Если в P нет циклов, то P – искомое дерево
 4. C – произвольный цикл в P . Построим новый граф $D' = \langle V', E' \rangle$. $V' = \{v \mid v \in V, v \notin C\} \cup \{v_C\}$. E' построим так:
 - $(u, v) \in E, u \notin C, v \in C \Rightarrow$ добавляем в E' ребро $e = (u, v_C)$,
 $w'(e) = w(u, v) - w(\pi(v), v)$
 - $(u, v) \in E, u \in C, v \notin C \Rightarrow$ добавляем в E' ребро $e = (v_C, v)$,
 $w'(e) = w(u, v)$
 - $(u, v) \in E, u \notin C, v \notin C \Rightarrow$ добавляем в E' ребро $e = (u, v)$,
 $w'(e) = w(u, v)$
 5. $A' = f(\langle V', E' \rangle, r, w')$

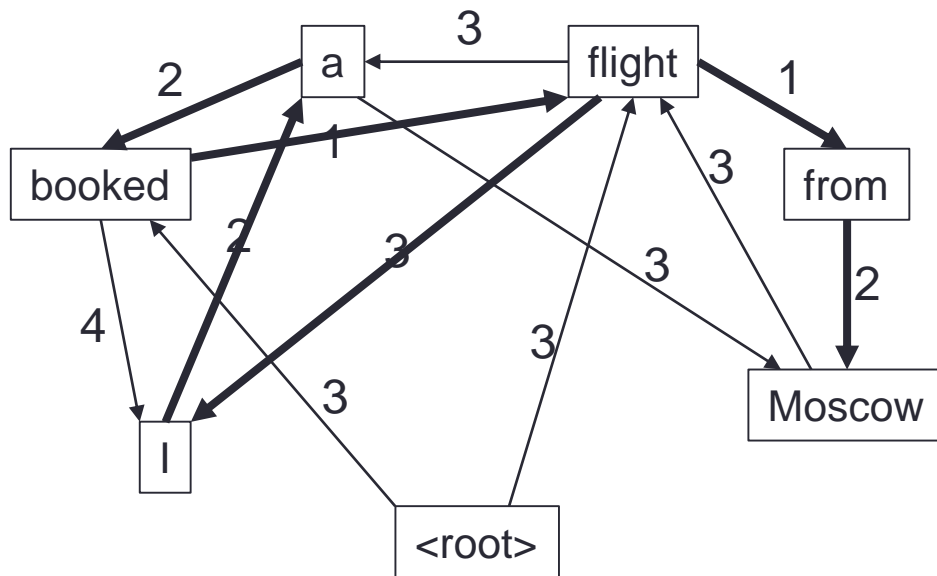
Алгоритм Эдмондса

- A' – ориентированное дерево, поэтому каждая $v \in V', v \neq r$ имеет одно входящее ребро (u, v)
- $(u, v_C) \in A'$ соответствует ребру $(u, v) \in E, v \in C$
- Удалим ребро $(\pi(v), v)$ из C
- Построим P' - искомое дерево:
 - Добавим в P' ребра из C
 - Добавим в P' все ребра, соответствующие ребрам из A'

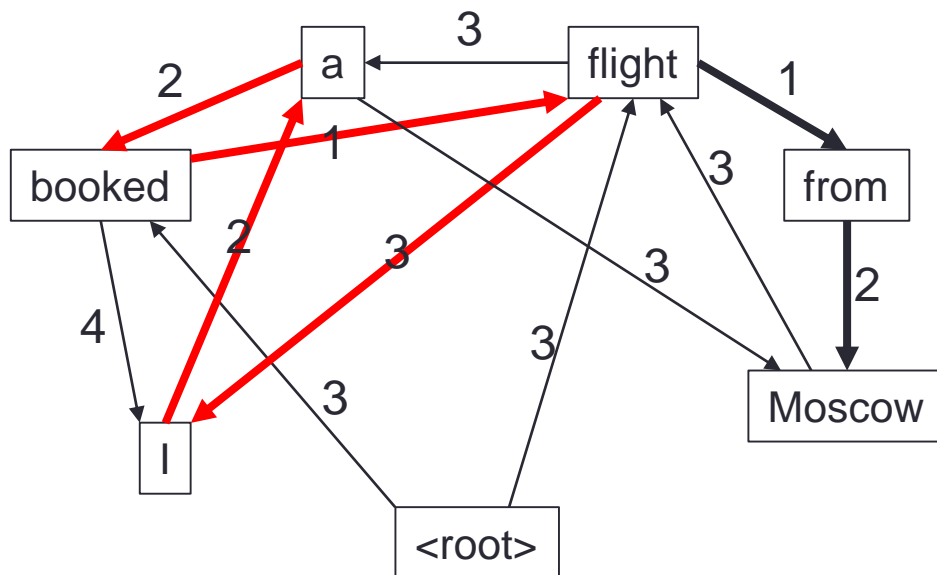
Алгоритм Эдмондса



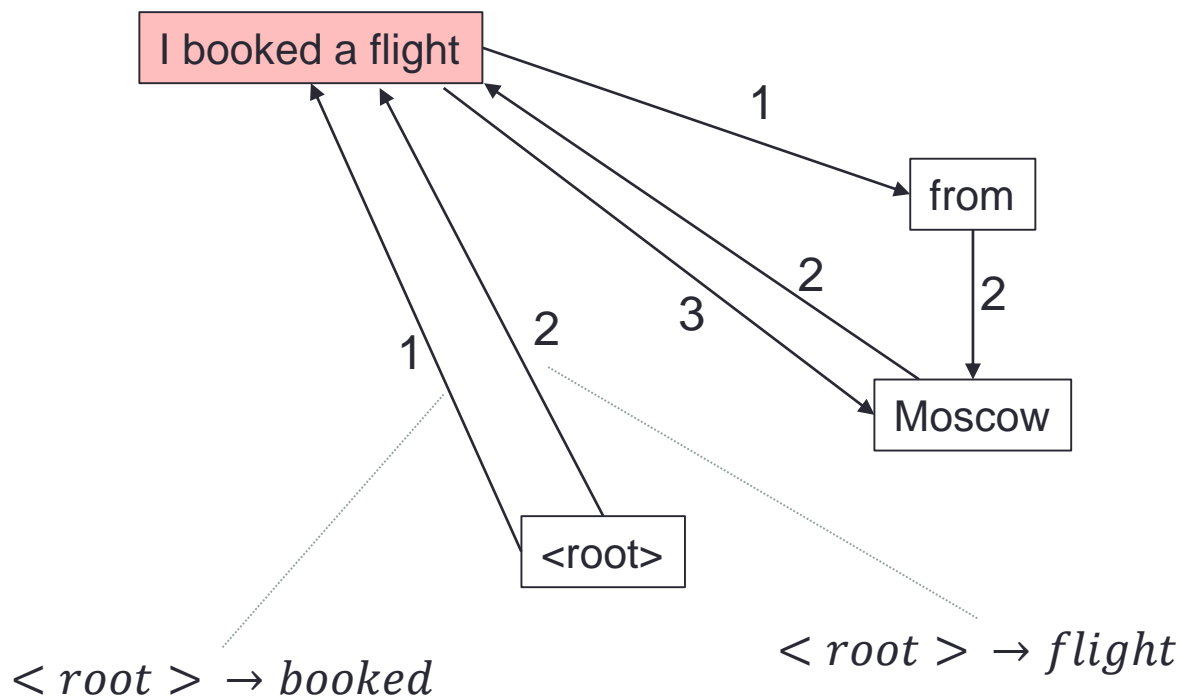
Алгоритм Эдмондса



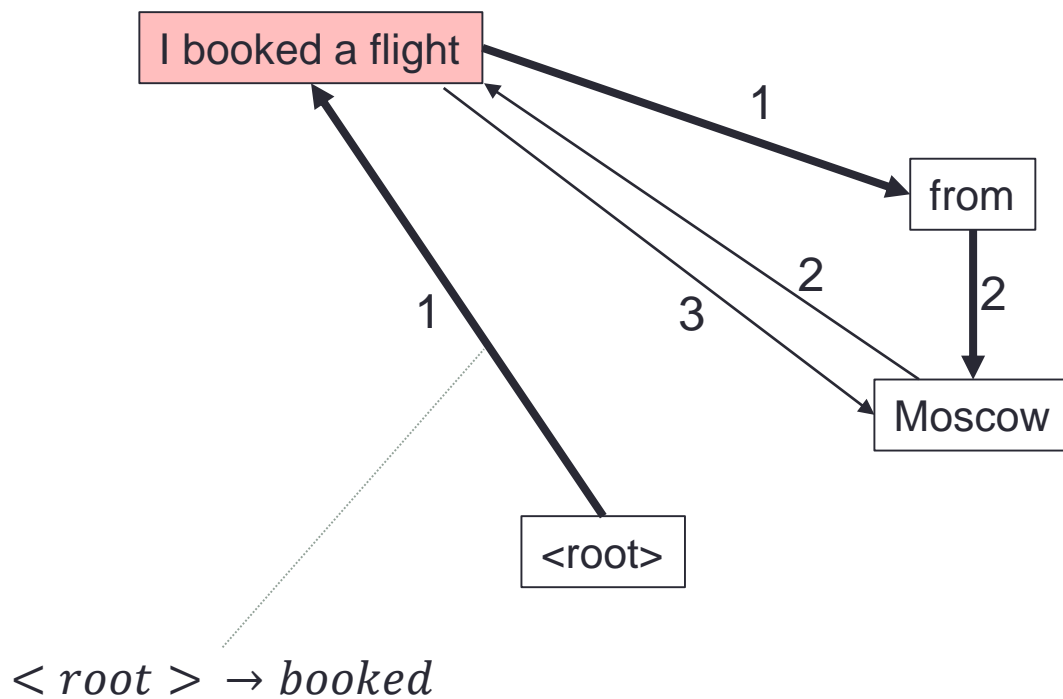
Алгоритм Эдмондса



Алгоритм Эдмондса



Алгоритм Эдмондса

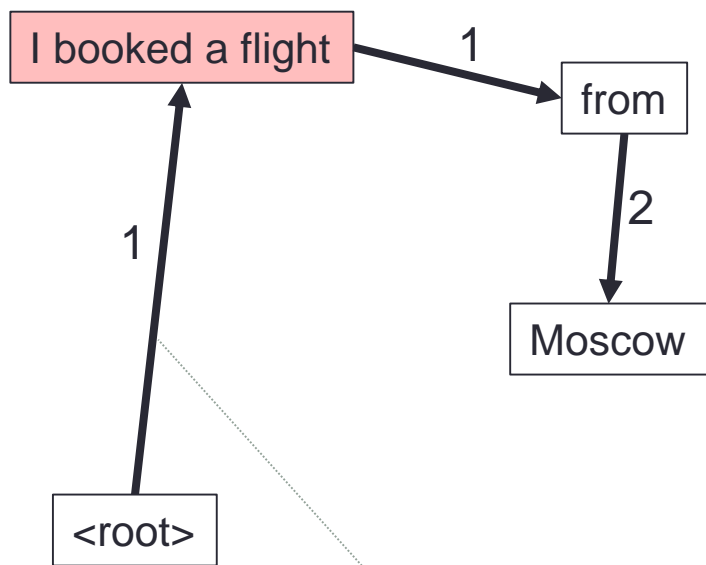


Алгоритм Эдмондса

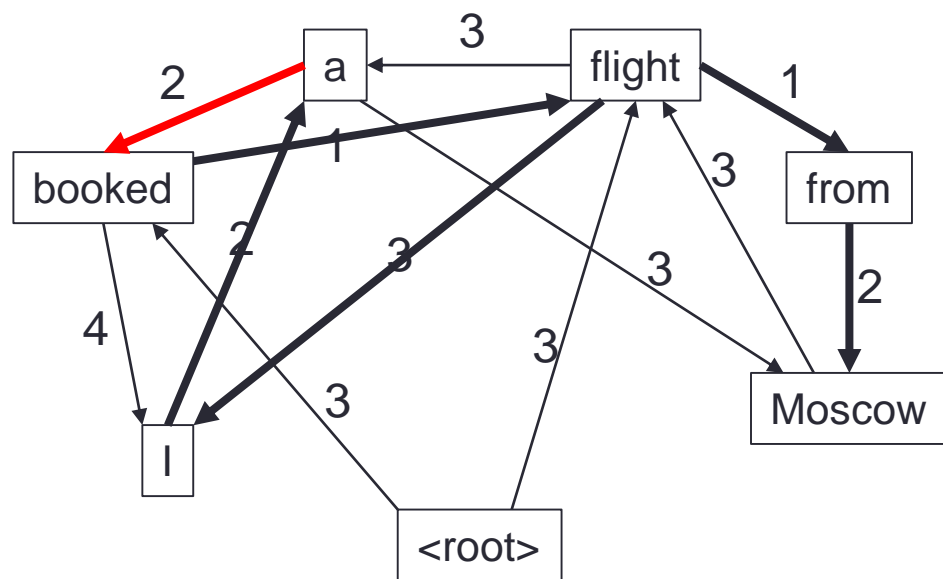
Удалим ребро $(\pi(v), v)$ из C

A'

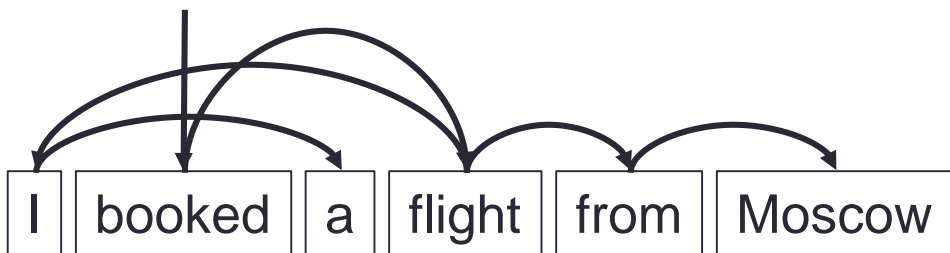
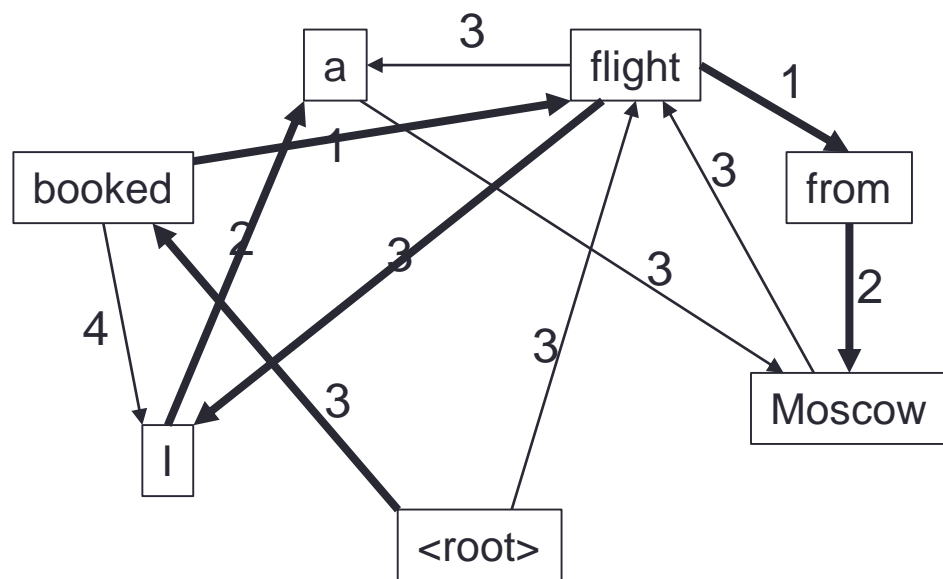
D



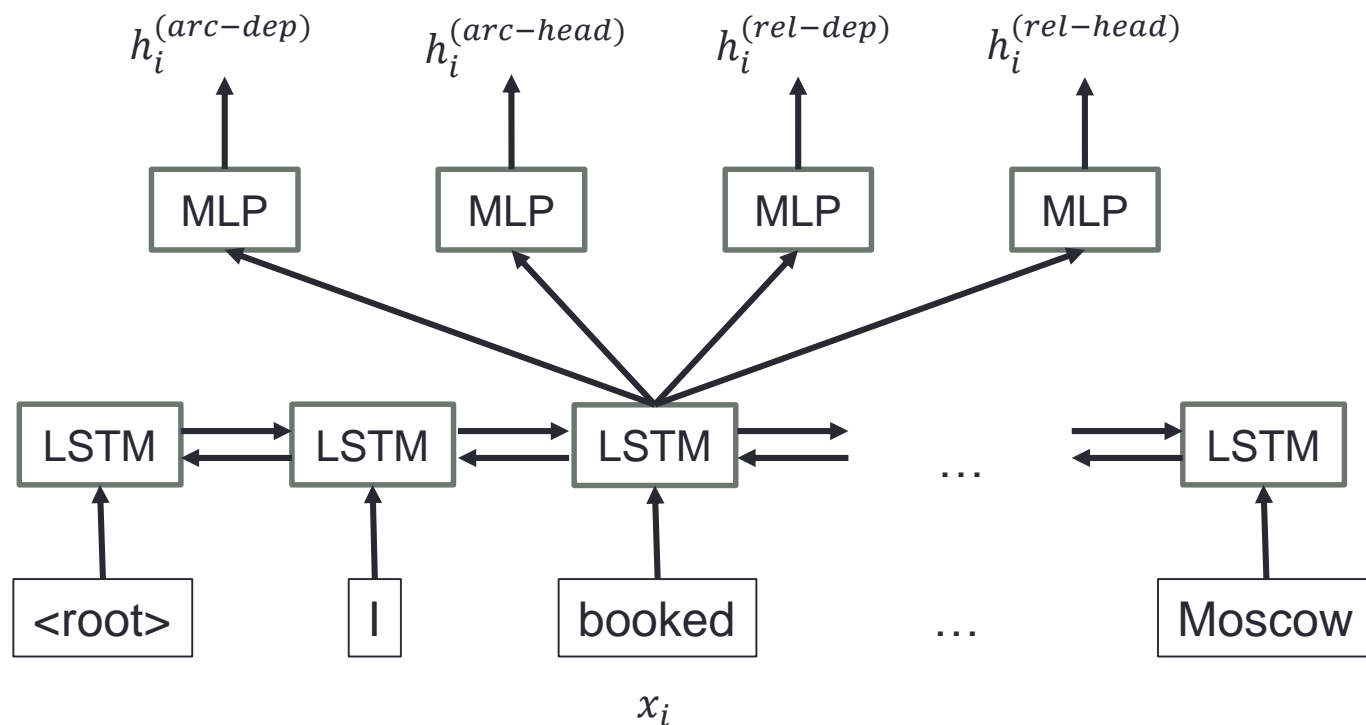
$\langle root \rangle \rightarrow booked$



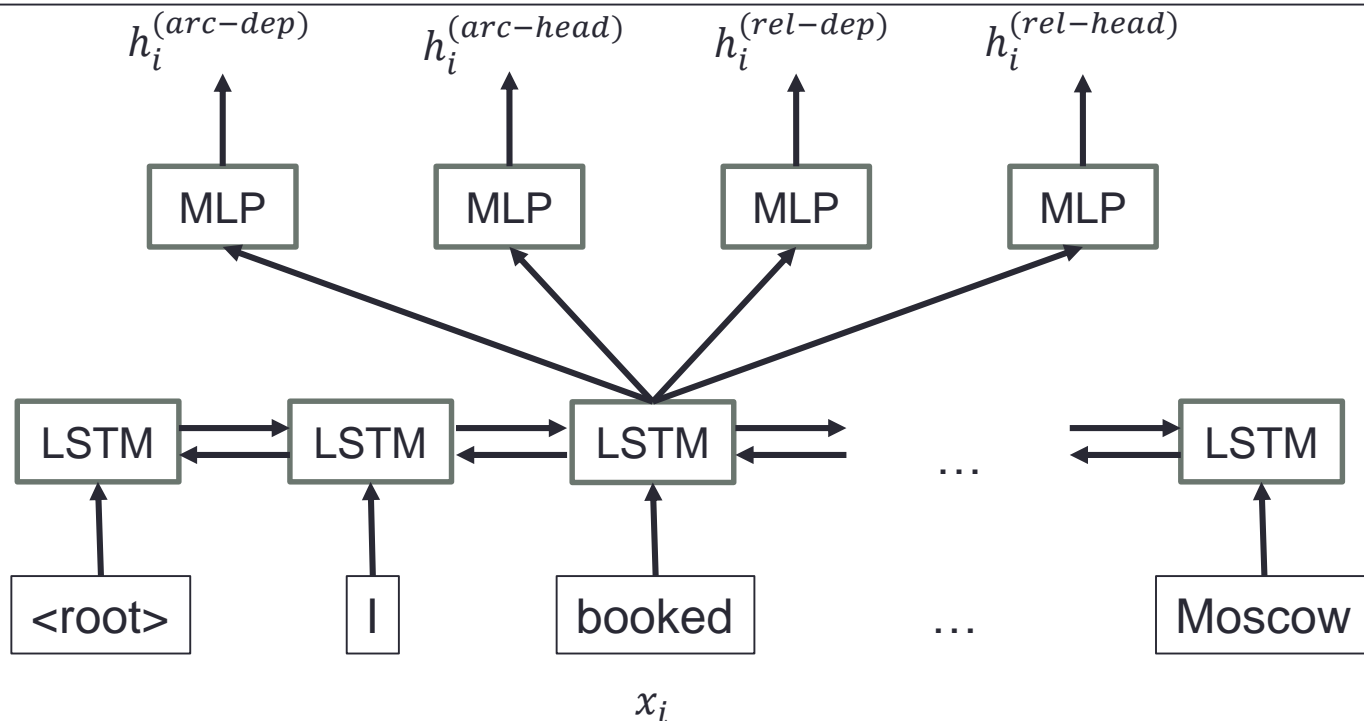
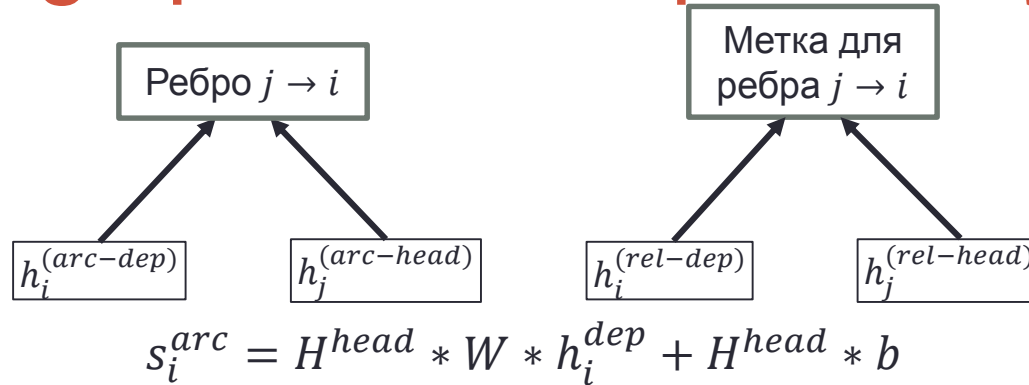
Алгоритм Эдмондса



Biaffine graph-based dependency parser



Biaffine graph-based dependency parser



Следующая лекция

Языковые модели на основе нейронных сетей