

1. Язык, описывающийся следующей атрибутивной грамматикой:

$$\begin{aligned} S &\rightarrow AT && ; \quad T.rng > A.iter \\ A &\rightarrow aA && ; \quad A_0.iter := A_1.iter + 1 \\ A &\rightarrow \varepsilon && ; \quad A.iter := 0 \\ T &\rightarrow TcT && ; \quad T_0.rng := \max(T_1.rng, T_2.rng) \\ T &\rightarrow K && ; \quad T.rng := K.rng \\ K &\rightarrow aK && ; \quad K_0.rng := K_1.rng + 1 \\ K &\rightarrow bK && ; \quad K_0.rng := 0 \\ K &\rightarrow \varepsilon && ; \quad K.rng := 0 \end{aligned}$$

2. Язык $\{wcvw_{pref}zw_{suff} \mid w, z \in \{a, b\}^* \ \& \ v \in \{a, b, c\}^*\}$. Здесь w_{pref} — непустой префикс слова w ; w_{suff} — непустой суффикс слова w .

3. Язык, описывающийся следующей атрибутивной грамматикой:

$$\begin{aligned} S &\rightarrow SbS && ; \quad S_0.iter := 2 \cdot S_1.iter, S_1.iter == S_2.iter \\ S &\rightarrow a && ; \quad S.iter := 1 \end{aligned}$$

Решение задачи III

Посмотрим на несколько первых итераций, порождающих слова языка \mathcal{L} :

$$\begin{aligned} S &\rightarrow SbS && ; \quad S_0.iter := 2 \cdot S_1.iter, S_1.iter == S_2.iter \\ S &\rightarrow a && ; \quad S.iter := 1 \end{aligned}$$

Слово aba семантическому критерию удовлетворяет, т.к. оно получается разбором двух нетерминалов с атрибутом $iter = 1$. При этом для aba соответствующий атрибут равен 2.

Из этих базовых слов мы не можем получить слово $ababa$, т.к. атрибуты его левых и правых частей не равны. То же самое верно и про $ababab$. Слово $abababab$ построить можно, и его атрибут $iter$ будет равен 4.

Мы видим, что на каждой новой итерации мы получаем возможность комбинировать только два слова с предыдущей итерации, при этом атрибут $iter$ полученного слова будет не равен атрибутам $iter$ никаких ранее построенных слов. Если на i -й итерации было построено слово $(ab)^k a$, то на $i + 1$ -й итерации будет построено слово $(ab)^k ab(ab)^k a = (ab)^{2k+1} a$. Отсюда следует, что множество слов языка в свёрточной форме выглядит так: $\{(ab)^{2^i-1} a\}$.

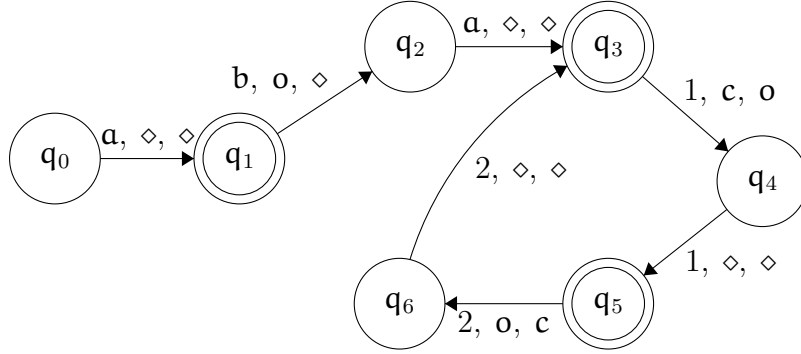
Проще всего обосновать не КС-свойство для данного языка с помощью теоремы Париха. Действительно, кратности букв b (впрочем, как и a) в словах языка описываются экспоненциально растущей функцией, которая не

может быть представлена как объединение линейных. Доказательство не КС-свойства языка \mathcal{L} с помощью леммы о накачке предоставляется читателю.

Построим backref-регулярку для данного языка, пользуясь наблюдением, что $2^n - 1 = 1 + 2 + 2^2 + \dots + 2^{n-1}$.

$$a([{}_1ba]_1([{}_2x_1x_1]_2[{}_1x_2x_2]_1)^*[{}_2x_1x_1]_2?)?$$

Заметим, что эту backref-регулярку можно преобразовать в детерминированный MFA. Единственной проблемой, которая в ней может возникнуть, является переход от итерации Клини к последнему чтению x_1x_1 , который решается тем, что промежуточное состояние внутри итерации перед чтением $[{}_1x_2x_2]_1$ нужно сделать финальным.



Решение задачи II

$$\mathcal{L} = \{wcvw_{\text{pref}}zw_{\text{suff}} \mid w, z \in \{a, b\}^* \text{ \& } v \in \{a, b, c\}^*\}$$

Можно заметить, что для любого слова в \mathcal{L} при рассмотрении $w_{\text{pref}} = s_{\text{fst}}w'_{\text{pref}}$ и $w_{\text{suff}} = w'_{\text{suff}}s_{\text{last}}$, где s_{fst} и s_{last} — первая и последняя буквы соответственно, получается слово вида $wcv s_{\text{fst}}w'_{\text{pref}}zw'_{\text{suff}}s_{\text{last}}$, в котором можно положить $z' = w'_{\text{pref}}zw'_{\text{suff}}$, а новыми префиксом и суффиксом — только первую и последнюю буквы. И это слово также принадлежит \mathcal{L} , однако его структура подходит под большее число случаев w , чем исходная. Поэтому язык \mathcal{L} по факту представляет собой следующий:

$$\mathcal{L} = \{s_{\text{fst}}ws_{\text{last}}cv s_{\text{fst}}zs_{\text{last}} \mid s_{\text{fst}}ws_{\text{last}}, z \in \{a, b\}^* \text{ \& } v \in \{a, b, c\}^*\}$$

Поскольку w, v, z здесь можно заменить регулярками $(a|b)^*$ и $(a|b|c)^*$, то данный язык регулярен и является объединением следующих языков:

- $ac(a|b|c)^*a(a|b)^*a$
- $bc(a|b|c)^*b(a|b)^*b$
- $a(a|b)^*ac(a|b|c)^*a(a|b)^*a$
- $a(a|b)^*bc(a|b|c)^*a(a|b)^*b$
- $b(a|b)^*ac(a|b|c)^*b(a|b)^*a$
- $b(a|b)^*bc(a|b|c)^*b(a|b)^*b$

Префикс-свойство для него не выполняется, потому что внутри подвыражения $(a|b|c)^*$ или последнего подвыражения $(a|b)^*$ может встретиться повтор последующего суффикса. В качестве контрпримера, подтверждающего это, достаточно взять слова $aacaa$ и слово $aacaaa$, принадлежащие \mathcal{L} .

Всякий регулярный язык является LL(1). Соответствующую грамматику можно построить, тупо взяв ДКА для него и преобразовав его в праволинейную грамматику с эpsilon-правилами для самой последней буквы (иначе будет LL(1)-конфликт; нигде, кроме как с финальными состояниями, конфликта быть не может в силу того, что автомат детерминирован).

Решение задачи I

Сначала посмотрим на атрибутивную грамматику.

$$\begin{aligned}
 S &\rightarrow AT && ; && T.rng > A.iter \\
 A &\rightarrow aA && ; && A_0.iter := A_1.iter + 1 \\
 A &\rightarrow \varepsilon && ; && A.iter := 0 \\
 T &\rightarrow TcT && ; && T_0.rng := \max(T_1.rng, T_2.rng) \\
 T &\rightarrow K && ; && T.rng := K.rng \\
 K &\rightarrow aK && ; && K_0.rng := K_1.rng + 1 \\
 K &\rightarrow bK && ; && K_0.rng := 0 \\
 K &\rightarrow \varepsilon && ; && K.rng := 0
 \end{aligned}$$

Все атрибуты синтетические, кроме того, язык K явно регулярен, и атрибут rng в нём изменяется, только пока в префиксе встречаются исключительно буквы a . То есть если $K \rightarrow a^n(b(a|b)^*)^?$, то $K.rng = n$.

Теперь посмотрим на язык T . Заметим, что его можно переписать в форме $(Kc)^*K$, устранив левую рекурсию (поскольку язык K не содержит

букв c , а разделители между K -развёртками не содержат a и b , то можно K представить единственным токеном и далее, например, применить метод Блюма–Коха). При этом семантическое свойство будет выглядеть так: $T.rng = \max(K.rng)$.

Осталось разобраться с атрибутом A . Здесь, очевидно, если $A \rightarrow a^m$, то $A.iter = m$. Но именно в случае A есть неоднозначность границы разбора: если $S \rightarrow AKcT$, причём $K \rightarrow a^n(b(a|b)^*)?$, $A \rightarrow a^m$, то мы можем сделать какие угодно разборы префикса a^{n+m} начиная от $K \rightarrow a^{n+m}(b(a|b)^*)?$, $A \rightarrow \varepsilon$ и кончая $K \rightarrow (b(a|b)^*)?$, $A \rightarrow a^{n+m}$. С точки зрения языка, наиболее выгодно положить $K \rightarrow a^{n+m}(b(a|b)^*)?$, $A \rightarrow \varepsilon$ — это даст возможность породить наиболее широкий класс слов.

Таким образом, условие на атрибуты вырождается в $T.rng > 0$, а грамматика для данного языка может быть преобразована в следующую форму:

$$\begin{aligned} S &\rightarrow T && ; && T.rng > 0 \\ T &\rightarrow KcT && ; && T_0.rng := \max(K.rng, T_1.rng) \\ T &\rightarrow K && ; && T.rng := K.rng \\ K &\rightarrow aK && ; && K_0.rng := K_1.rng + 1 \\ K &\rightarrow bK && ; && K_0.rng := 0 \\ K &\rightarrow \varepsilon && ; && K.rng := 0 \end{aligned}$$

Эта грамматика определяет регулярный язык $((a|b)^*c)^+a^+(a|b)^*(c(a|b)^*)$.

Если бы условие на атрибуты в корне было $T.rng < A.iter$, тогда наиболее выгодное с точки зрения языка решение по неоднозначности было бы $K \rightarrow (b(a|b)^*)?$, $A \rightarrow a^{n+m}$. То есть требовалось бы сравнить по длине максимальные подстроки из букв a в префиксах, идущих сразу после буквы c , с префиксом a^{n+m} (и если ни одной буквы c в слове нет, то это условие тривиально выполняется, если только в начале слова есть хотя бы одна буква a). Будем рассматривать только нетривиальную ситуацию — буквы c присутствуют. Упрощенная атрибутивная грамматика станет такая:

$$\begin{aligned} S &\rightarrow ABcT && ; && T.rng < A.iter \\ A &\rightarrow aA && ; && A_0.iter := A_1.iter + 1 \\ A &\rightarrow \varepsilon && ; && A.iter := 0 \\ T &\rightarrow KcT && ; && T_0.rng := \max(T_1.rng, T_2.rng) \\ T &\rightarrow K && ; && T.rng := K.rng \\ K &\rightarrow aK && ; && K_0.rng := K_1.rng + 1 \\ K &\rightarrow B && ; && K.rng := 0 \\ B &\rightarrow b(a|b)^* | \varepsilon && ; && \text{атрибутов нет} \end{aligned}$$

В свёрточной форме язык переписывается как $\{a^n(b(a|b)^*)?(ca^i(b(a|b)^*)?)^+ | \forall i(n > i)\}$.

Похоже, что есть более чем двойственная взаимосвязь между блоками a^i (т.к. каждый из них нужно сравнивать с самым первым, что означало бы, что из первого блока нужно читать в стек несколько раз). Попробуем опровергнуть КС-свойство для полученного языка путём леммы о накачке. Для этого сначала пересечём наш язык с $a^+sa^+sa^+$, чтобы избавиться от лишних подстрок, определяемых конечноавтоматным поведением, и от накачек, наращивающих число К-фрагментов.

Пусть p — длина накачки. Рассмотрим слово $a^{p+1}sa^psa^p$. Отдельно фрагмент a^{p+1} накачивать мы не можем — отрицательная накачка сразу же выведет из языка. Накачивать его вместе с фрагментом a^p тоже не получится — отрицательная накачка даст слово, в котором первый фрагмент не больше по длине, чем фрагмент a^p . Однако накачивать только a^psa^p (в любых вариациях) тоже нельзя — это сразу же приведёт к выходу из языка при повторной положительной накачке.

Можно заметить, что язык конъюнктивен. Действительно, для крайней пары нетерминалов A и K можно КС-свободно описать слова вида

$$a^{n+m+1}(b(a|b)^*|\varepsilon)c(a|b|c)^*sa^n(b(a|b)^*|\varepsilon)$$

Например, такой грамматикой:

$$S' \rightarrow S'a \mid S'b \mid Cb \mid C$$

$$C \rightarrow aCa \mid aAc \mid aAcWc$$

$$A \rightarrow aA \mid bW \mid \varepsilon$$

$$W \rightarrow (a|b|c)W \mid \varepsilon$$

Конъюнктивная грамматика готова:

$$S \rightarrow S' \ \& \ ScK$$

$$S \rightarrow aK$$

$$K \rightarrow (a|b)K \mid \varepsilon$$

Заметим, что этот язык — не DMFA. Используем замкнутость DMFA относительно пересечения с регулярными языками и пересечём наш язык с a^+sa^+ . Получим язык слов вида $a^{n+m}sa^n$. Его префиксы a^* определяют бесконечное число классов эквивалентности по Майхиллу–Нероуду, поэтому для них можно применить JL (то есть положить v_n подсловом префикса a^+). Положим $v_n = a^n$. Для p_n есть два варианта: $p_n = a^{n+k}$ и $p_n = a^{n+k}sa^i$, где $i < 2n + k$. Существуют такие z_i , что слова $p_nv_nz_i$ входят в язык, а именно: $z_i = c$ в первом случае и $z_i = a$ во втором случае. Однако слова $a^{n+k}c$ и $a^{n+k}sa^ia$ также входят в язык, а их суффиксы (после p_n) не начинаются с v_n . Поэтому ни с какой позиции слова запомненный префикс v_n детерминированно прочитано быть не может.