

Глубокое обучение и вообще

Ульянкин Филипп

12 ноября 2020 г.

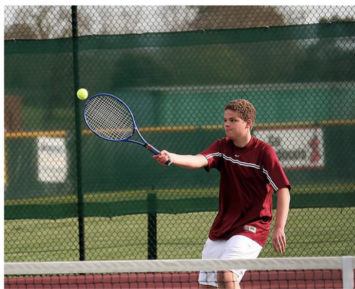
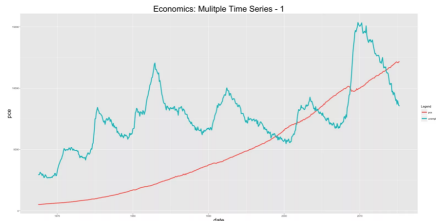
Посиделка 6: рекуррентные нейронные сети

Agenda

- Рекуррентные нейросети, работа с последовательностями
- RNN
- LSTM
- Немного разглагольствований про временные ряды

Рекуррентные нейронные сети

Последовательности



a man is playing tennis on a tennis court

He dismissed the idea
when the network is primed
with a real sequence
the samples mimic
the writer's style

Рекуррентные сети

one to one

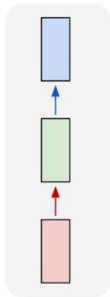


Image in
Label out

one to many

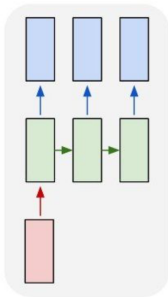
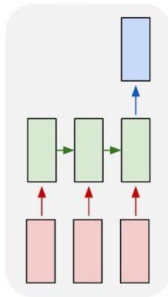


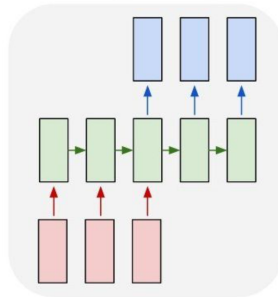
Image in
Words out

many to one



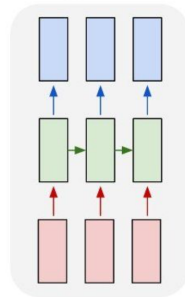
Words in
Sentiment out

many to many



English in
Portuguese out

many to many

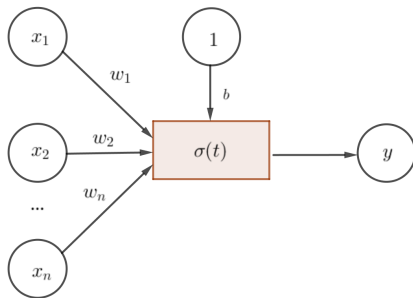


Video In
Labels out

Рекуррентная сеть

- Каждый нейрон взаимодействует сам с собой
- На вход поступает последовательность (текст, видео, картинка, временной ряд), один и тот же нейрон просматривает её
- Впоследствии можно использовать эту сетку для генерации новых последовательностей (текстов, видео и тп)

От регрессии к нейрону



$$y_i = b + w \cdot x_i$$

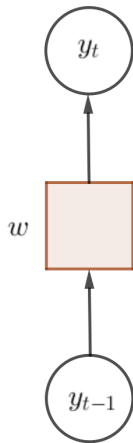
\Downarrow

$$h_i = b + w \cdot x_i$$

$$y_i = f(h_i)$$

От авторегрессии к нейрону

$$y_t = b + w \cdot y_{t-1}$$



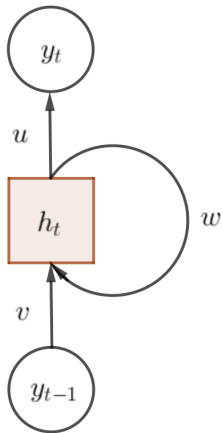
От авторегрессии к нейрону

$$y_t = b + w \cdot y_{t-1}$$

\Downarrow

$$h_t = f_h(b_h + w \cdot h_{t-1} + v \cdot y_{t-1})$$

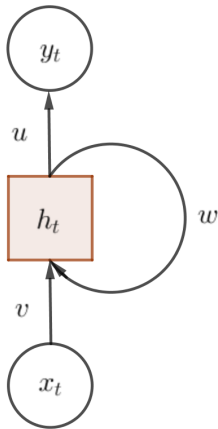
$$y_t = f_y(b_y + u \cdot h_t)$$



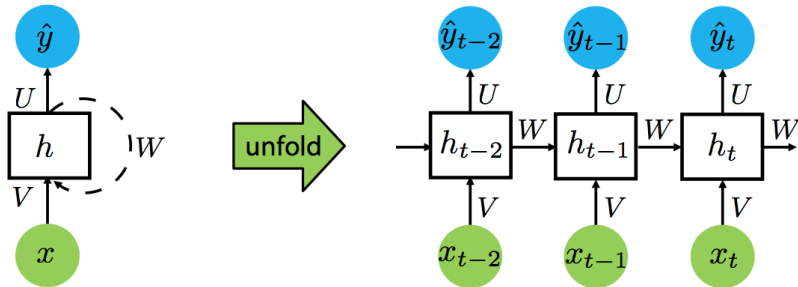
От авторегрессии к нейрону

$$h_t = f_h(b_h + w \cdot h_{t-1} + v \cdot x_t)$$

$$y_t = f_y(b_y + u \cdot h_t)$$



Рекуррентная сеть



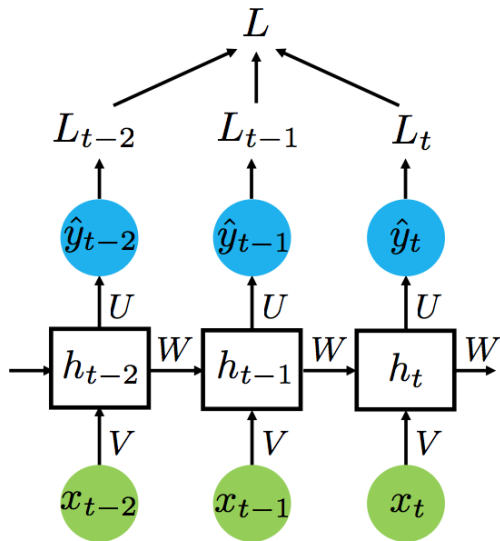
$$h_t = f_h(Vx_t + Wh_{t-1} + b_h) \quad \hat{y}_t = f_y(Uh_t + b_y)$$

Рекуррентная сеть

- Проблема состоит в том, что в работе сетки появилось новое измерение: время
- На каждом шаге сетка взвешивает свой предыдущий опыт и новую информацию, получается, что при обучении, мы должны брать производную назад во времени

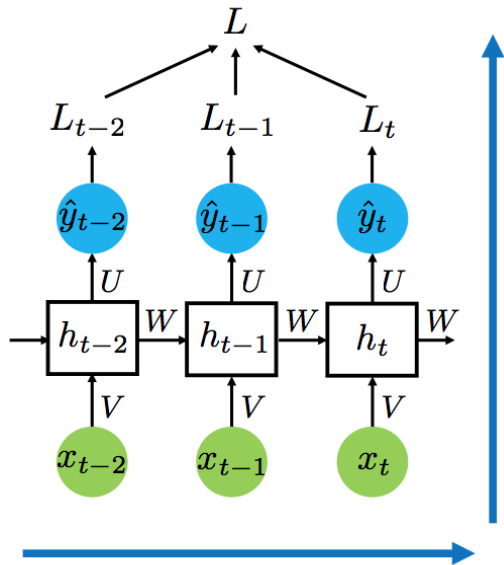
Рекуррентная сеть

- y_t — настоящее значение
- \hat{y}_t — прогноз
- $L_t(y_t, \hat{y}_t)$ функция потерь
- $L = \sum_t L_t$



Forward pass:

$$h_t, \hat{y}_t, L_t, L$$

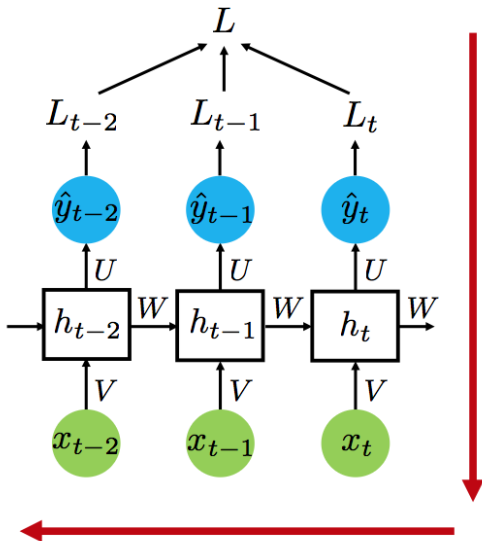


Forward pass:

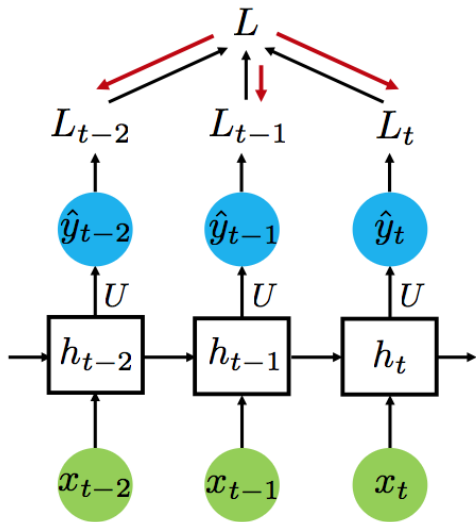
$$h_t, \hat{y}_t, L_t, L$$

Backward pass:

$$\frac{\partial L}{\partial U}, \frac{\partial L}{\partial V}, \frac{\partial L}{\partial W},$$
$$\frac{\partial L}{\partial b_x}, \frac{\partial L}{\partial b_h}$$



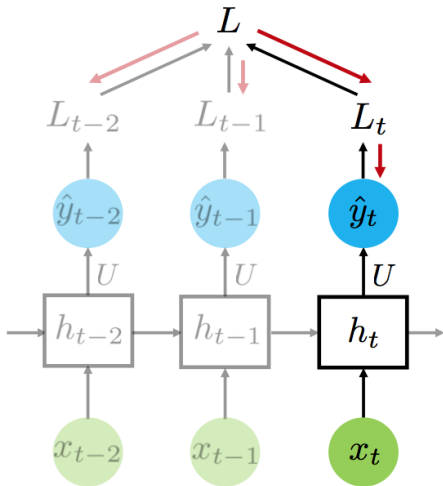
$$\frac{\partial L}{\partial U} = \sum_{i=0}^T \frac{\partial L_i}{\partial U}$$



$$\frac{\partial L}{\partial U} = \sum_{i=0}^T \frac{\partial L_i}{\partial U}$$

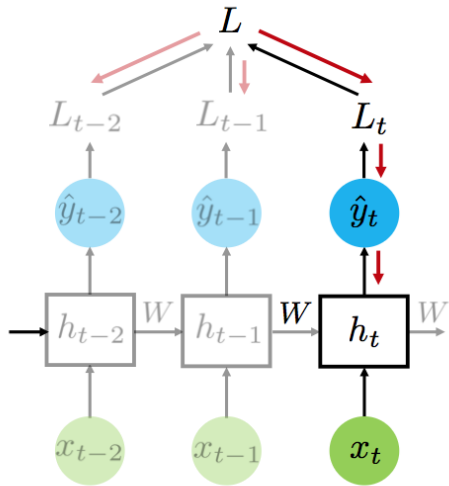
$$\frac{\partial L_t}{\partial U} = \frac{\partial L_t}{\partial \hat{y}_t} \frac{\partial \hat{y}_t}{\partial U}$$

$$\hat{y}_t = f_y(\boxed{U}h_t + b_y)$$



$$\frac{\partial L}{\partial W} = \sum_{i=0}^T \frac{\partial L_i}{\partial W}$$

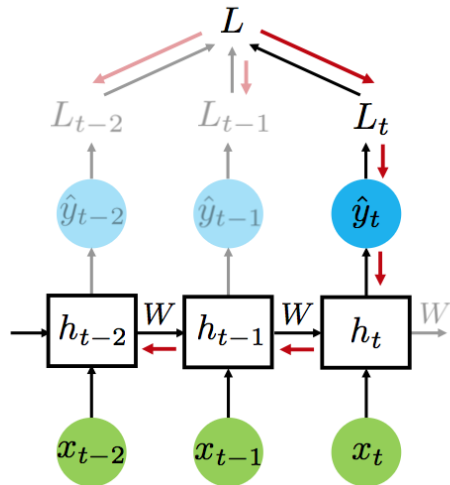
$$\frac{\partial L_t}{\partial W} = \frac{\partial L_t}{\partial \hat{y}_t} \frac{\partial \hat{y}_t}{\partial h_t} \frac{\partial h_t}{\partial W}$$



$$\frac{\partial L}{\partial W} = \sum_{i=0}^T \frac{\partial L_i}{\partial W}$$

$$\frac{\partial L_t}{\partial W} = \frac{\partial L_t}{\partial \hat{y}_t} \frac{\partial \hat{y}_t}{\partial h_t} \frac{\partial h_t}{\partial W}$$

$$h_t = f_h(Vx_t + \boxed{W}h_{t-1} + b_h)$$



$$\frac{\partial L_t}{\partial W} = \frac{\partial L_t}{\partial \hat{y}_t} \frac{\partial \hat{y}_t}{\partial h_t} \left(\frac{\partial h_t}{\partial W} + \frac{\partial h_t}{\partial h_{t-1}} \frac{\partial h_{t-1}}{\partial W} + \dots \right)$$

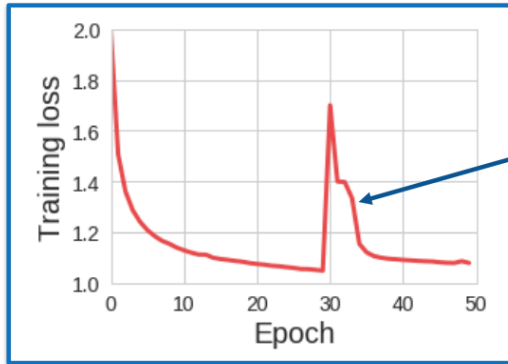
Vanishing and Exploding

$$\frac{\partial L_t}{\partial W} \propto \sum_{k=0}^t \left(\prod_{i=k+1}^t \frac{\partial h_i}{\partial h_{i-1}} \right) \frac{\partial h_k}{\partial W}$$

$$\left\| \frac{\partial h_i}{\partial h_{i-1}} \right\|_2 < 1 \quad \longrightarrow \quad \text{Vanishing gradients}$$

$$\left\| \frac{\partial h_i}{\partial h_{i-1}} \right\|_2 > 1 \quad \longrightarrow \quad \text{Exploding gradients}$$

Как понять, что градиент взорвался?

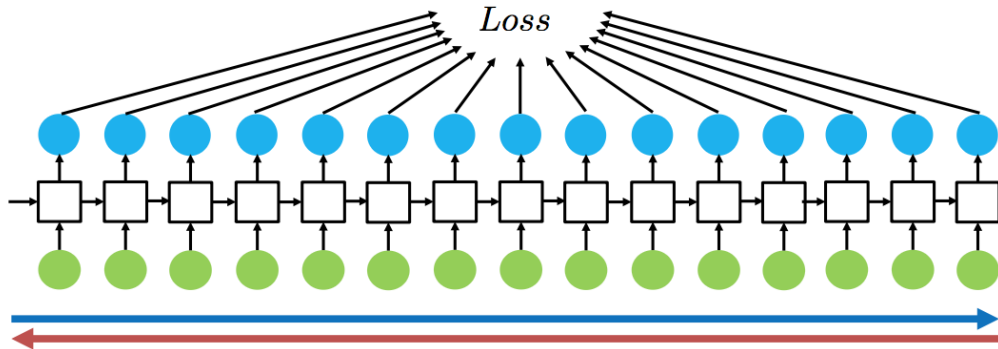


Взрыв

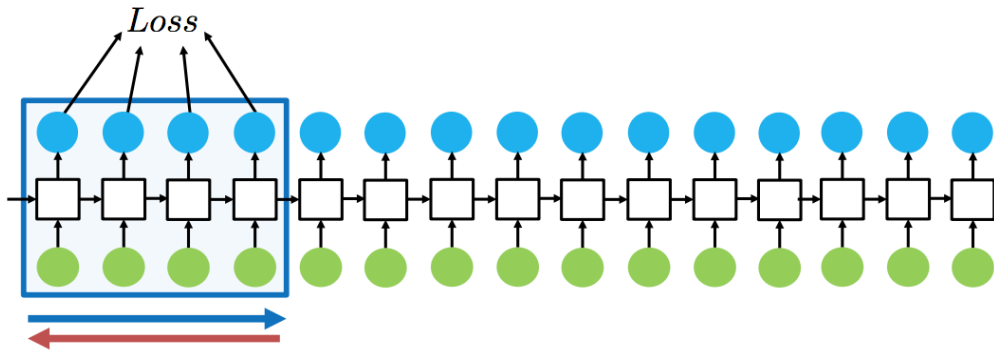
Как предотвратить взрыв?

- Поставить порог, которые не будет пробиваться градиентом (gradient clipping)
- Обучать сетку не целиком, а по кусочкам
- Аккуратно инициализировать веса
- Делать skip-connection
- Придумать специальную архитектуру

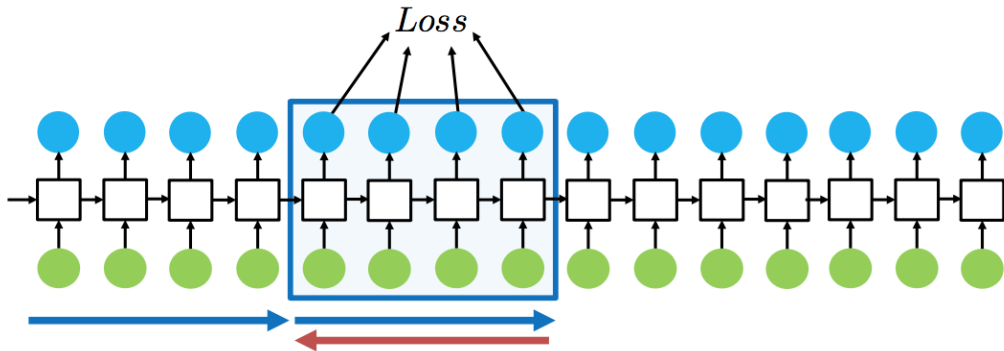
Урезанное обучение



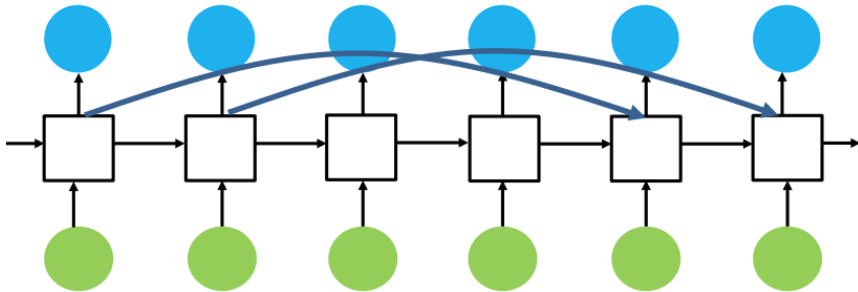
Урезанное обучение



Урезанное обучение



Skip-connection

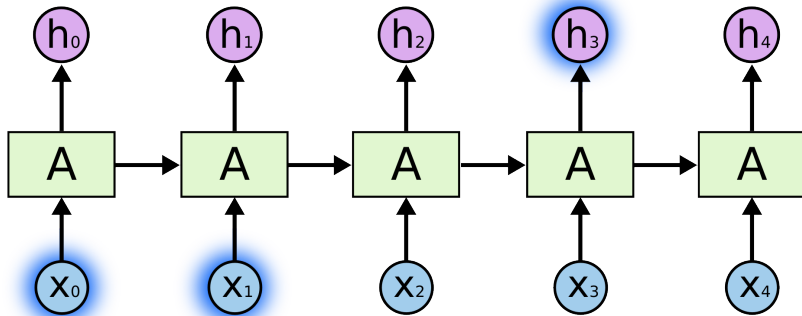


LSTM (long short-term memory)

Короткая память

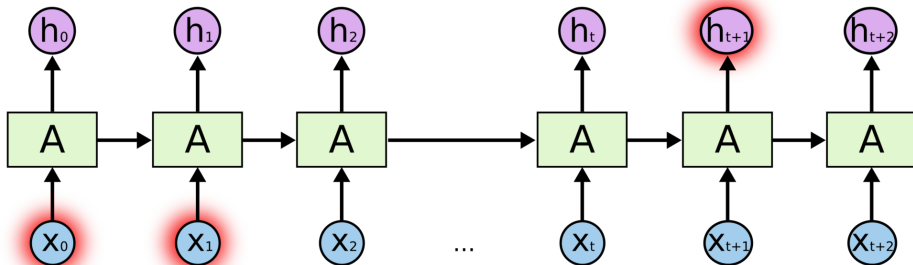
- Привлекательность RNN в том, что они потенциально умеют связывать предыдущую информацию с текущей
- При backpropagation текущие градиенты пробрасываются во времени назад
- Если градиент не взрывается, он постепенно затухает, получается что влияние текущего слоя не может проброситься во времени слишком далеко назад
- Влияние текущего слоя затухает экспоненциально по мере удаления и мешает обычным RNN находить в данных "далёкие" зависимости

Короткая память



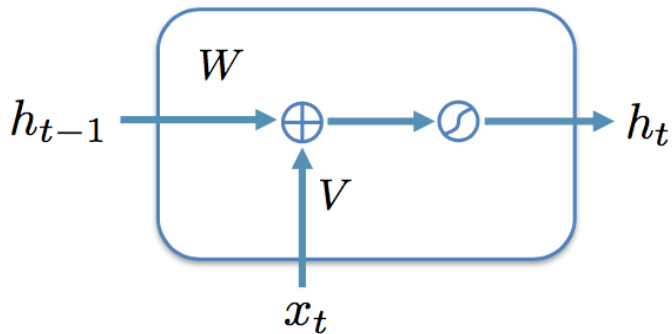
Облака плывут по небу

Короткая память



Я вырос во Франции... Я бегло говорю по-французски

Простейшая RNN

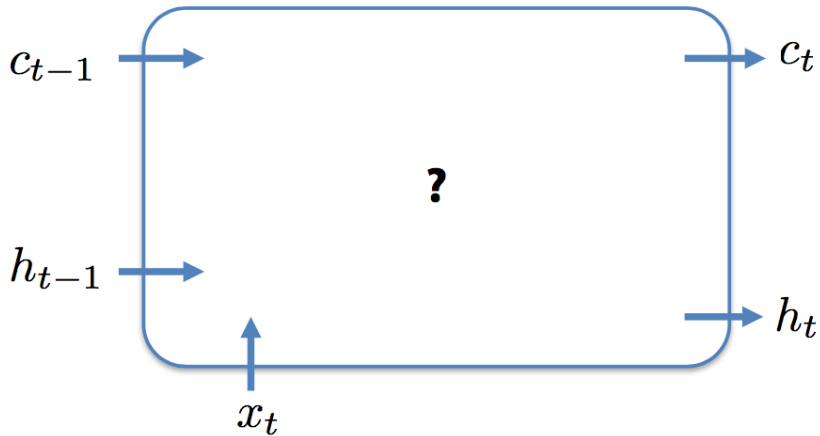


$$h_t = \tilde{f}(Vx_t + Wh_{t-1} + b_h)$$

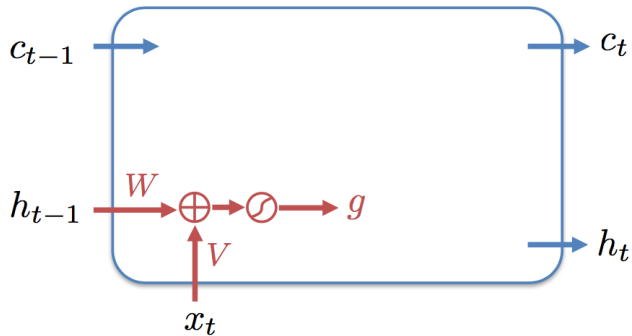
Долгая краткосрочная память

- Архитектура LSTM лечит эту проблему, она способна к обучению долговременным зависимостям.
- Внутри рекуррентной ячейки долгосрочная память моделируется явным образом. Конечно же нам из-за этого придётся учить больше параметров.
- Завораживающе! Так как же она выглядит?

LSTM

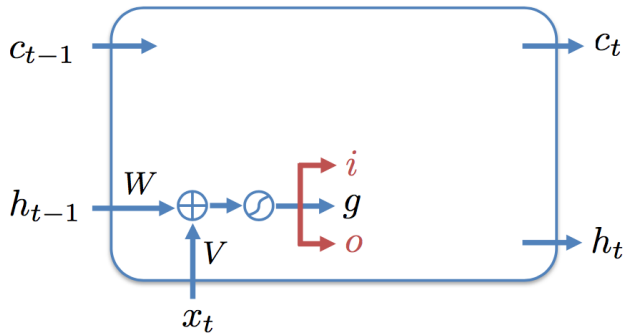


LSTM



$$g_t = \tilde{f}(V_g x_t + W_g h_{t-1} + b_g)$$

LSTM

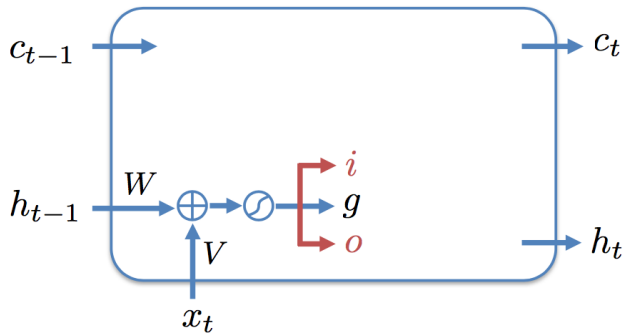


$$g_t = \tilde{f}(V_g x_t + W_g h_{t-1} + b_g)$$

$$i_t = \sigma(V_i x_t + W_i h_{t-1} + b_i)$$

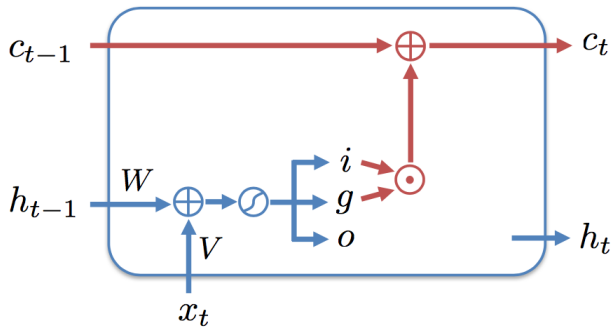
$$o_t = \sigma(V_o x_t + W_o h_{t-1} + b_o)$$

LSTM



$$\begin{pmatrix} g_t \\ i_t \\ o_t \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} f \\ \sigma \\ \sigma \end{pmatrix} (Vx_t + Wh_{t-1} + b)$$

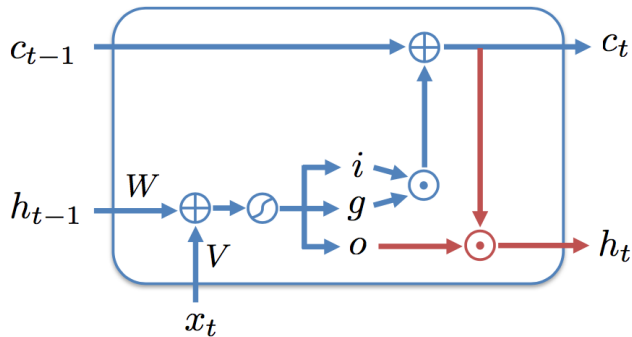
LSTM



$$\begin{pmatrix} g_t \\ i_t \\ o_t \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \tilde{f} \\ \sigma \\ \sigma \end{pmatrix} (Vx_t + Wh_{t-1} + b)$$

$$c_t = c_{t-1} + i_t \cdot g_t$$

LSTM



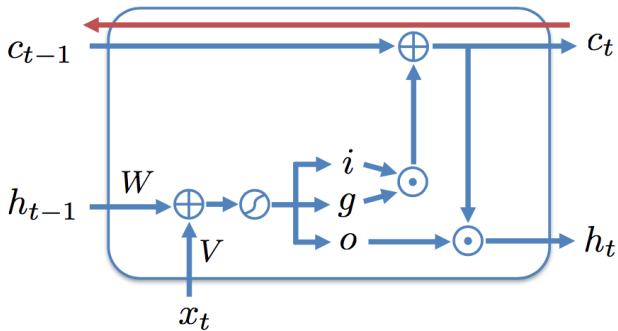
$$\begin{pmatrix} g_t \\ i_t \\ o_t \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \tilde{f} \\ \sigma \\ \sigma \end{pmatrix} (Vx_t + Wh_{t-1} + b)$$

$$c_t = c_{t-1} + i_t \cdot g_t$$
$$h_t = o_t \cdot \tilde{f}(c_t)$$

LSTM

- Ключевой элемент LSTM это состояние ячейки (cell state, c_t). Она проходит напрямую через цепочку, участвуя лишь в нескольких линейных операциях. Информация может легко течь по ней не подвергаясь преобразованиям.
- Фильтры (gates) контролируют поток информации и могут удалять лишнюю. Они состоят из слоя сигмоидальной нейронной сети и операции умножения. Сигмоида возвращает числа от 0 до 1, говоря какую долю информации нужно сохранить.
- В LSTM три таких фильтра контролируют состояние ячейки. Часть забывается, часть берётся из нового входа. Все эти манипуляции делают ячейки очень гибкими.

LSTM



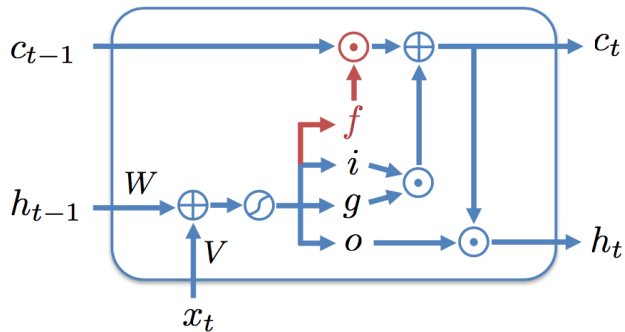
$$c_t = c_{t-1} + i_t \cdot g_t \quad \frac{\partial h_t}{\partial h_{t-1}} \rightarrow \frac{\partial c_t}{\partial c_{t-1}} = 1$$

Gradients do not vanish!

LSTM

- В рекурсивном вычислении состояния ячейки нет никакой нелинейности. Обычно это называют "каруселью константной ошибки".
- Ошибка в LSTM пропагируется без изменений и скрытые состояния, если LSTM сама не решит их перезаписать, могут не меняться довольно долго.
- Такое устройство ячейки решает проблему исчезающих градиентов. Ошибка сама затухать не будет. Однако проблема взрывающихся градиентов остаётся.

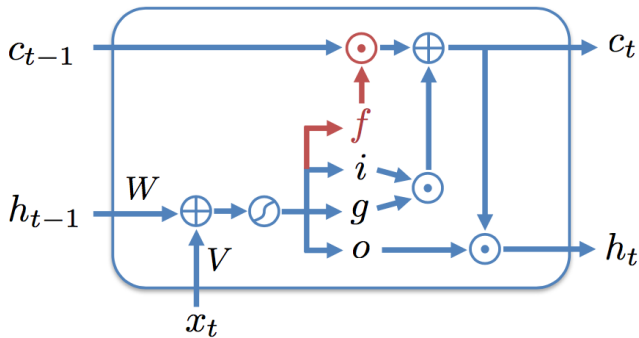
LSTM с забыванием



$$\begin{pmatrix} g_t \\ i_t \\ o_t \\ f_t \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} f \\ \sigma \\ \sigma \\ \sigma \end{pmatrix} (Vx_t + Wh_{t-1} + b)$$

$$c_t = f_t \cdot c_{t-1} + i_t \cdot g_t$$
$$h_t = o_t \cdot \tilde{f}(c_t)$$

LSTM с забыванием



$$f_t = \sigma(V_f x_t + W_f h_{t-1} + b_f)$$

$$c_t = f_t \cdot c_{t-1} + i_t \cdot g_t$$

$$\frac{\partial c_t}{\partial c_{t-1}} = f_t$$

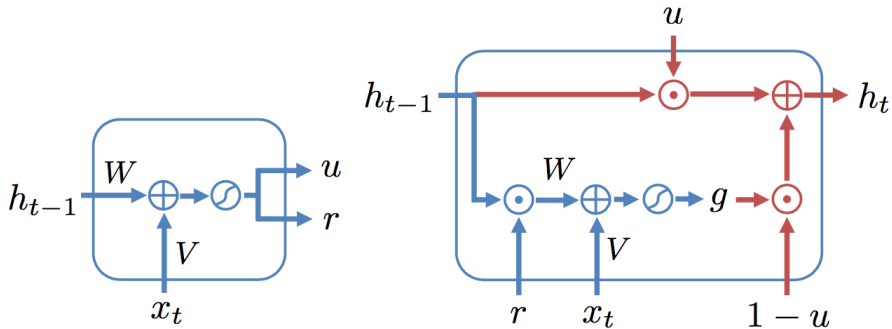


High initial b_f

А вот бы весов поменьше бы

- В 2015 году придумали GRU-ячейку
- Придумали с желанием сохранить память в ячейке, но упростить LSTM
- Учиться и применяется на 20-50% быстрее, результаты в большинстве случаев похожие

GRU-ячейка

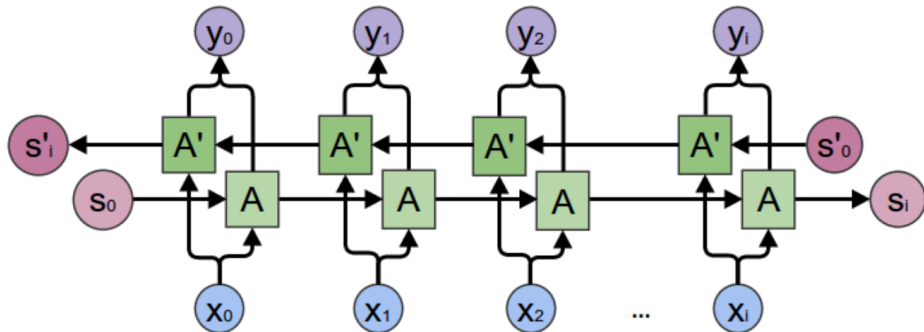


$$\begin{pmatrix} r_t \\ u_t \end{pmatrix} = \sigma(Vx_t + Wh_{t-1} + b)$$

$$g_t = \tilde{f}(V_g x_t + W_g(h_{t-1} \cdot r_t) + b_g)$$

$$h_t = (1 - u_t) \cdot g_t + u_t \cdot h_{t-1}$$

Двунаправленные рекуррентные сети

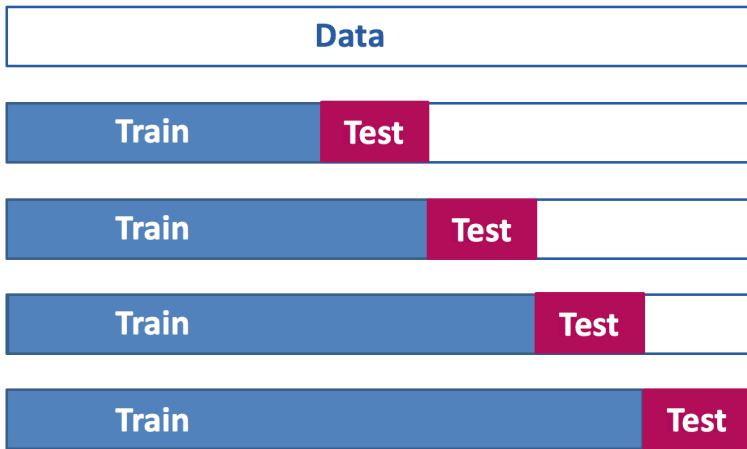


Двунаправленные рекуррентные сети

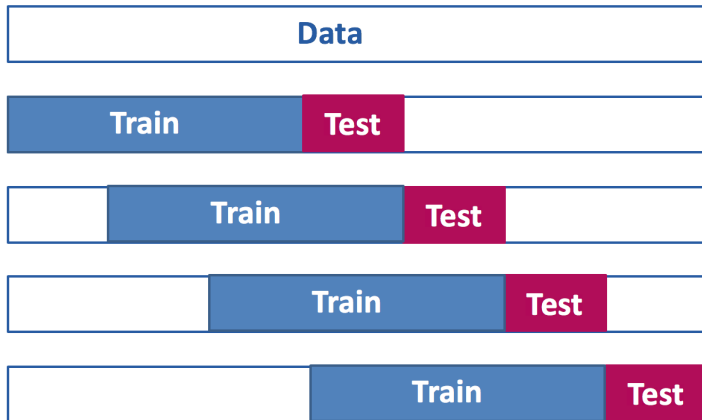
- Часто RNN к концу последовательности забывает о том, с чего всё начиналось, последние элементы последовательности всегда будут важнее первых
- Давайте один слой будет читать последовательность слева направо, а второй справа налево. Разумеется это можно делать только для тех последовательностей, которые даны нам целиком (предложения, аудио) и нельзя для тех, которые мы видим только в прошлое (валютный курс).
- Для каждого элемента получаем скрытое состояние, отражающее его контекст и слева и справа.

Кросс-валидация для временных рядов

Cross validation on a rolling basis



Cross validation on a rolling basis



Cross validation on a rolling basis

- **Leave one out кросс-валидация** – когда в тест берём каждый раз только одно, следующее наблюдение
- Нельзя приравнивать разные горизонты прогнозирования
- Модель может хорошо прогнозировать на неделю вперёд, но при этом плохо прогнозировать на месяц вперёд, либо наоборот
- Иногда метрики вычисляют для разных горизонтов прогнозирования отдельно

Строим свою порождающую RNN в Tensorflow