## **RoPE**

Вид позиционного кодирования, появившийся после классического, которое было представлено в <u>Attention is all you need...</u>

## Sinusoidal Encoding

(Vaswani+ 2017, Kazemnejad 2019)

Calculate each dimension with a sinusoidal function

$$p_t^{(i)} = f(t)^{(i)} := \begin{cases} \sin(\omega_k \cdot t), & \text{if } i = 2k \\ \cos(\omega_k \cdot t), & \text{if } i = 2k + 1 \end{cases} \quad \text{where} \quad \omega_k = \frac{1}{10000^{2k/d}}$$

 Why? So the dot product between two embeddings becomes higher relatively.

Также существует подход, когда создают отдельный обучаемый слой позиционных эмбеддингов. У этого подхода есть недостаток, который заключается в том, что после обучения невозможно экстраполировать эти данные на последовательности большей длины.

## Идея Rope

## Rotary Positional Encodings (RoPE) (Su+ 2021)

 Fundamental idea: we want the dot product of embeddings to result in a function of relative position

$$f_q(\mathbf{x}_m, m) \cdot f_k(\mathbf{x}_n, n) = g(\mathbf{x}_m, \mathbf{x}_n, m - n)$$

Мы хотим сделать такую функцию, что после применения ее к query и key векторам, их dot-product содержит информацию об **относительных** позициях токенов, но не содеражит информацию об абсолютных.

Так выглядит преобразование для 2мерного вектора.

$$\mathbf{v'} = R( heta) \cdot \mathbf{v} = egin{pmatrix} \cos heta & -\sin heta \ \sin heta & \cos heta \end{pmatrix} egin{pmatrix} x \ y \end{pmatrix} = egin{pmatrix} x \cos heta - y \sin heta \ x \sin heta + y \cos heta \end{pmatrix}$$

Обобщение для пространства размерности d:

$$R_{\Theta,m}^{d}\mathbf{x} = \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ x_4 \\ \vdots \\ x_{d-1} \\ x_d \end{pmatrix} \otimes \begin{pmatrix} \cos m\theta_1 \\ \cos m\theta_1 \\ \cos m\theta_2 \\ \cos m\theta_2 \\ \vdots \\ \cos m\theta_{\frac{d}{2}} \\ \cos m\theta_{\frac{d}{2}} \\ \cos m\theta_{\frac{d}{2}} \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} -x_2 \\ x_1 \\ -x_4 \\ x_3 \\ \vdots \\ -x_d \\ x_{d-1} \end{pmatrix} \otimes \begin{pmatrix} \sin m\theta_1 \\ \sin m\theta_1 \\ \sin m\theta_2 \\ \sin m\theta_2 \\ \vdots \\ \sin m\theta_2 \\ \vdots \\ \sin m\theta_{\frac{d}{2}} \\ \sin m\theta_{\frac{d}{2}} \end{pmatrix}$$

Вектор разбивается на пары  $(x_1, x_2), (x_3, x_4), \dots (x_{d-1}, x_d)$