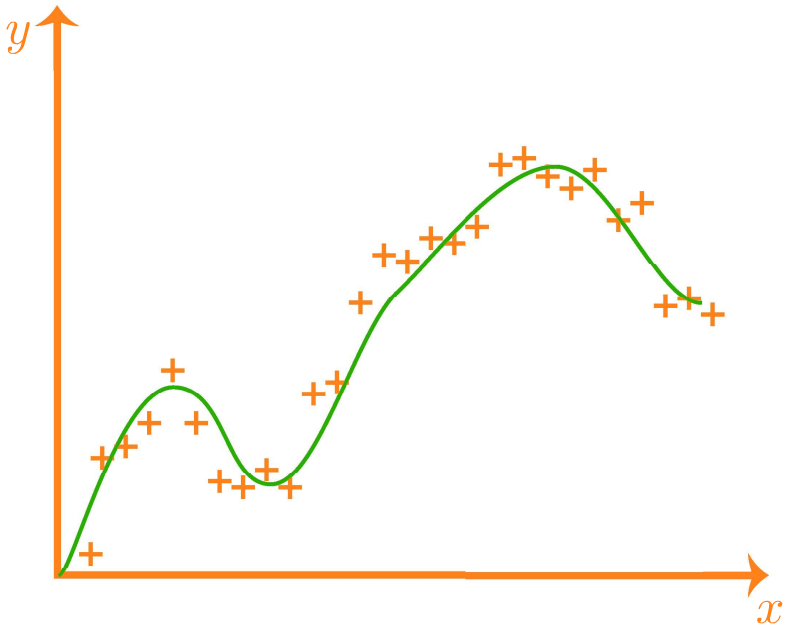
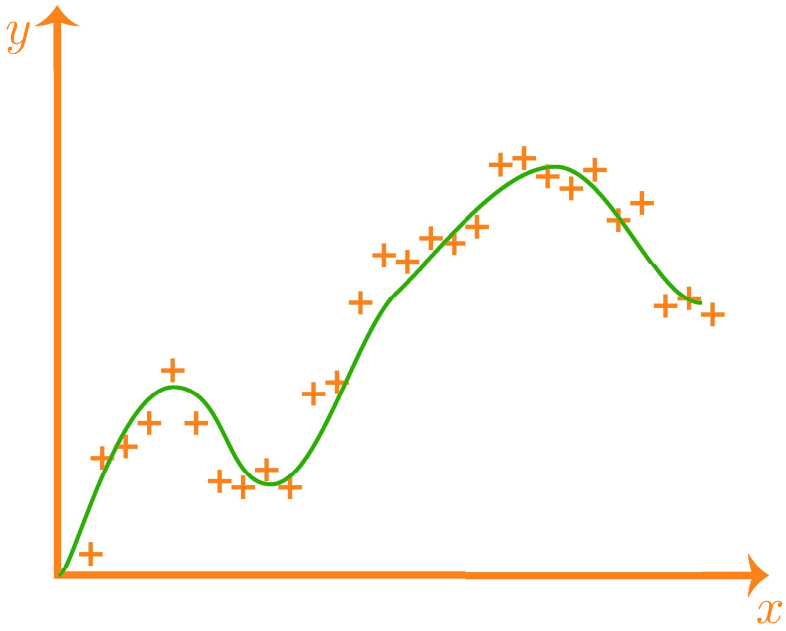
Часть 3: Задачи, решаемые при помощи нейронных сетей

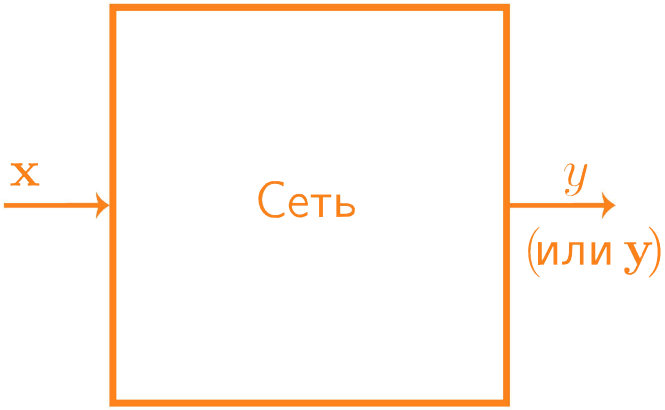
Романов Михаил, Игорь Слинько

Пример задачи: регрессия

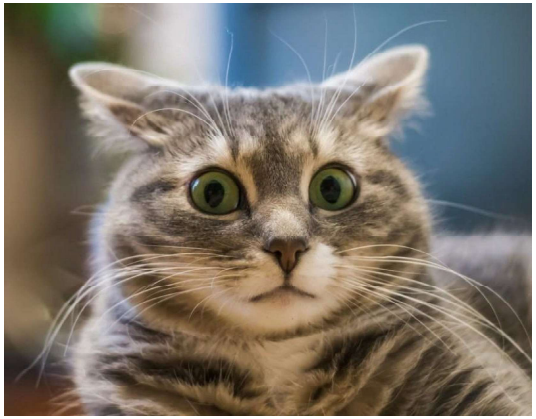


Пример задачи: регрессия



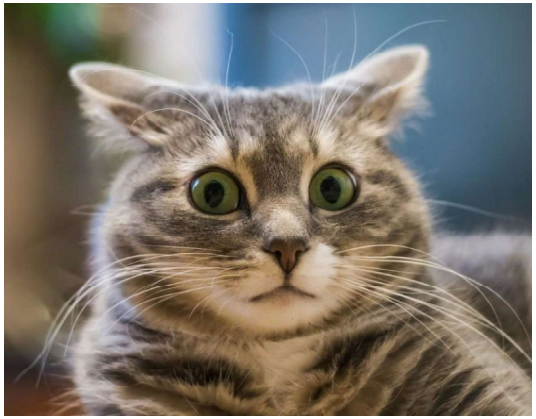


Бинарная классификация

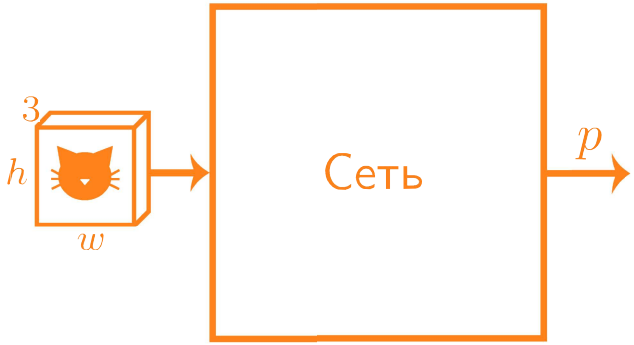


Кот или пес?

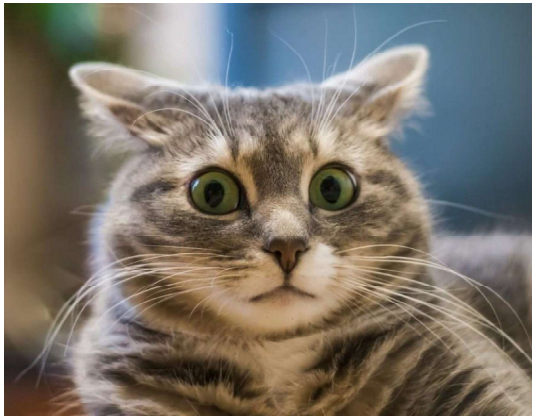
Бинарная классификация



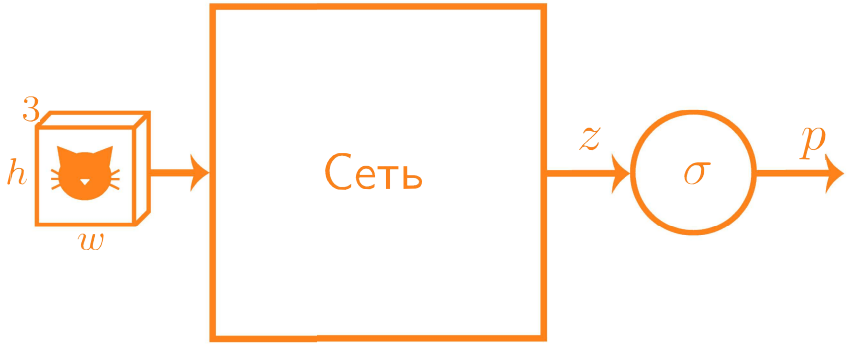
Кот или пес?



Бинарная классификация



Кот или пес?



$$p_{\text{кот}} = \sigma\left(z\right)$$

Сигмоида: производная

Функция активации – сигмоида

$$\sigma(z) = \frac{1}{1 + e^{-z}}$$

Сигмоида: производная

Функция активации – сигмоида

$$\sigma\left(z\right) = \frac{1}{1 + e^{-z}}$$

$$\sigma'\left(z\right) = \frac{-1}{\left(1 + e^{-z}\right)^2}\left(-e^{-z}\right)$$

Сигмоида: производная

Функция активации – сигмоида

$$\sigma(z) = \frac{1}{1+e^{-z}}$$

$$\sigma'(z) = \frac{-1}{(1+e^{-z})^2}\left(-e^{-z}\right) = \frac{-1}{(1+e^{-z})^2}\left(1 - \frac{-1}{(1+e^{-z})^2}\right)$$

Сигмоида: производная

Функция активации – сигмоида

$$\sigma(z) = \frac{1}{1+e^{-z}}$$

$$\sigma'(z) = \frac{-1}{(1+e^{-z})^2}\left(-e^{-z}\right) = \frac{-1}{(1+e^{-z})^2}\left(1 - \frac{-1}{(1+e^{-z})^2}\right) =$$

$$= \sigma(z)\left(1 - \sigma(z)\right)$$

Сигмоида: какую функцию потерь выбрать

Функция активации – сигмоида

$$p = \sigma(z) = \frac{1}{1 + e^{-z}}; \quad \frac{\partial \sigma}{\partial z} = \sigma(1 - \sigma)$$

Сигмоида: какую функцию потерь выбрать

Функция активации – сигмоида

$$p = \sigma(z) = \frac{1}{1 + e^{-z}}; \quad \frac{\partial \sigma}{\partial z} = \sigma(1 - \sigma)$$

$$MSE?$$

Сигмоида: какую функцию потерь выбрать

Функция активации – сигмоида

$$p = \sigma(z) = \frac{1}{1 + e^{-z}}; \quad \frac{\partial \sigma}{\partial z} = \sigma(1 - \sigma)$$

$$MSE = (\sigma(z) - t)^2$$

Сигмоида: какую функцию потерь выбрать

Функция активации – сигмоида

$$p = \sigma(z) = \frac{1}{1 + e^{-z}}; \quad \frac{\partial \sigma}{\partial z} = \sigma(1 - \sigma)$$

$$MSE = (\sigma(z) - t)^2$$

$$\frac{\partial}{\partial z} MSE = 2(\sigma(z) - t)\frac{\partial}{\partial z}\sigma$$

Сигмоида: какую функцию потерь выбрать

Функция активации – сигмоида

$$p = \sigma(z) = \frac{1}{1+e^{-z}}; \quad \frac{\partial \sigma}{\partial z} = \sigma(1-\sigma)$$

$$MSE = (\sigma(z) - t)^2$$

$$\frac{\partial}{\partial z} MSE = 2(\sigma(z) - t)\frac{\partial}{\partial z}\sigma = \frac{2}{N}(\sigma - t)\sigma(1-\sigma)$$

Сигмоида: какую функцию потерь выбрать

Функция активации – сигмоида

$$p = \sigma(z) = \frac{1}{1+e^{-z}}; \quad \frac{\partial \sigma}{\partial z} = \sigma(1-\sigma)$$

$$MSE = (\sigma(z) - t)^2$$

$$\frac{\partial}{\partial z} MSE = 2(\sigma(z) - t)\frac{\partial}{\partial z}\sigma = \frac{2}{N}(\sigma - t)\sigma(1-\sigma) \to 0$$

$$\left.\begin{array}{ll} \text{при} & z \to -\infty \quad \sigma \to 0 \\ \text{при} & z \to +\infty \quad (1-\sigma) \to 0 \end{array}\right\} \text{– проблема}$$

при $\sigma \to t \quad (\sigma - t) \to 0$

Бинарная классификация: функция потерь

Функция активации – сигмоида

$$p = \sigma(z) = \frac{1}{1 + e^{-z}}; \quad \frac{\partial \sigma}{\partial z} = \sigma(1 - \sigma)$$

Функция потерь – бинарная кросс энтропия

Бинарная классификация: функция потерь

Функция активации – сигмоида

$$p = \sigma(z) = \frac{1}{1 + e^{-z}}; \quad \frac{\partial \sigma}{\partial z} = \sigma(1 - \sigma)$$

Функция потерь – бинарная кросс энтропия
В общем случае: $BCE(p, t) = -t \log p - (1 - t) \log(1 - p)$

Бинарная классификация: функция потерь

Функция активации – сигмоида

$$p = \sigma(z) = \frac{1}{1 + e^{-z}}; \quad \frac{\partial \sigma}{\partial z} = \sigma(1 - \sigma)$$

Функция потерь – бинарная кросс энтропия
В общем случае: $BCE(p, t) = -t \log p - (1 - t) \log(1 - p)$
В случае, если $t = 1$: $BCE(p, t) = -\log p$

Бинарная классификация: функция потерь

Функция активации – сигмоида

$$p = \sigma(z) = \frac{1}{1 + e^{-z}}; \quad \frac{\partial \sigma}{\partial z} = \sigma(1 - \sigma)$$

Функция потерь – бинарная кросс энтропия
В общем случае: $BCE(p, t) = -t \log p - (1 - t) \log(1 - p)$
В случае, если $t = 1$: $BCE(p, t) = -\log p$
В случае, если $t = 0$: $BCE(p, t) = -\log(1 - p)$

Бинарная классификация: функция потерь

Функция активации – сигмоида

$$p = \sigma(z) = \frac{1}{1 + e^{-z}}; \quad \frac{\partial \sigma}{\partial z} = \sigma(1 - \sigma)$$

Функция потерь – бинарная кросс энтропия
В общем случае: $BCE(p, t) = -t \log p - (1 - t) \log(1 - p)$
В случае, если $t = 1$: $BCE(p, t) = -\log p$
В случае, если $t = 0$: $BCE(p, t) = -\log(1 - p)$

$$\frac{\partial BCE}{\partial z}$$

Бинарная классификация: функция потерь

Функция активации – сигмоида

$$p = \sigma(z) = \frac{1}{1+e^{-z}}; \quad \frac{\partial \sigma}{\partial z} = \sigma(1-\sigma)$$

Функция потерь – бинарная кросс энтропия
В общем случае: $BCE(p,t) = -t\log p - (1-t)\log(1-p)$
В случае, если $t=1$: $BCE(p,t) = -\log p$
В случае, если $t=0$: $BCE(p,t) = -\log(1-p)$

$$\frac{\partial BCE}{\partial z} = \frac{\partial BCE}{\partial p} \cdot \frac{\partial p}{\partial z}$$

Бинарная классификация: функция потерь

Функция активации – сигмоида

$$p = \sigma(z) = \frac{1}{1+e^{-z}}; \quad \frac{\partial \sigma}{\partial z} = \sigma(1-\sigma)$$

Функция потерь – бинарная кросс энтропия
В общем случае: $BCE(p,t) = -t\log p - (1-t)\log(1-p)$
В случае, если $t=1$: $BCE(p,t) = -\log p$
В случае, если $t=0$: $BCE(p,t) = -\log(1-p)$

$$\frac{\partial BCE}{\partial z} = \frac{\partial BCE}{\partial p} \cdot \frac{\partial p}{\partial z} = -\frac{t}{\sigma}\sigma' + \frac{1-t}{1-\sigma}\sigma'$$

Бинарная классификация: функция потерь

Функция активации – сигмоида

$$p = \sigma(z) = \frac{1}{1+e^{-z}}; \quad \frac{\partial \sigma}{\partial z} = \sigma(1-\sigma)$$

Функция потерь – бинарная кросс энтропия
В общем случае: $BCE(p,t) = -t\log p - (1-t)\log(1-p)$
В случае, если $t=1$: $BCE(p,t) = -\log p$
В случае, если $t=0$: $BCE(p,t) = -\log(1-p)$

$$\frac{\partial BCE}{\partial z} = \frac{\partial BCE}{\partial p} \cdot \frac{\partial p}{\partial z} = -\frac{t}{\sigma}\sigma' + \frac{1-t}{1-\sigma}\sigma' = -t(1-\sigma) + (1-t)\sigma$$

Бинарная классификация: функция потерь

Функция активации – сигмоида

$$p = \sigma(z) = \frac{1}{1+e^{-z}}; \quad \frac{\partial \sigma}{\partial z} = \sigma(1-\sigma)$$

Функция потерь – бинарная кросс энтропия
В общем случае: $BCE(p,t) = -t\log p - (1-t)\log(1-p)$
В случае, если $t=1$: $BCE(p,t) = -\log p$
В случае, если $t=0$: $BCE(p,t) = -\log(1-p)$

$$\frac{\partial BCE}{\partial z} = \frac{\partial BCE}{\partial p}\cdot\frac{\partial p}{\partial z} = -\frac{t}{\sigma}\sigma' + \frac{1-t}{1-\sigma}\sigma' = -t(1-\sigma) + (1-t)\sigma =$$

$$= -t + t\sigma + \sigma - t\sigma$$

Бинарная классификация: функция потерь

Функция активации – сигмоида

$$p = \sigma(z) = \frac{1}{1+e^{-z}}; \quad \frac{\partial \sigma}{\partial z} = \sigma(1-\sigma)$$

Функция потерь – бинарная кросс энтропия
В общем случае: $BCE(p,t) = -t\log p - (1-t)\log(1-p)$
В случае, если $t=1$: $BCE(p,t) = -\log p$
В случае, если $t=0$: $BCE(p,t) = -\log(1-p)$

$$\frac{\partial BCE}{\partial z} = \frac{\partial BCE}{\partial p}\cdot\frac{\partial p}{\partial z} = -\frac{t}{\sigma}\sigma' + \frac{1-t}{1-\sigma}\sigma' = -t(1-\sigma) + (1-t)\sigma =$$

$$= -t + t\sigma + \sigma - t\sigma = \sigma - t$$

Бинарная классификация: функция потерь

Функция активации – сигмоида

$$p = \sigma(z) = \frac{1}{1+e^{-z}}; \quad \frac{\partial \sigma}{\partial z} = \sigma(1-\sigma)$$

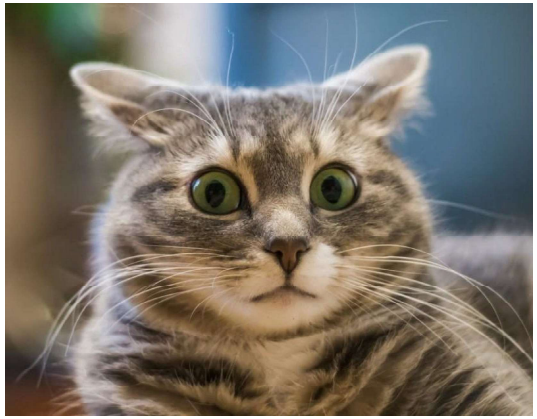
Функция потерь – бинарная кросс энтропия
В общем случае: $BCE(p,t) = -t\log p - (1-t)\log(1-p)$
В случае, если $t=1$: $BCE(p,t) = -\log p$
В случае, если $t=0$: $BCE(p,t) = -\log(1-p)$

$$\frac{\partial BCE}{\partial z} = \frac{\partial BCE}{\partial p}\cdot\frac{\partial p}{\partial z} = -\frac{t}{\sigma}\sigma' + \frac{1-t}{1-\sigma}\sigma' = -t(1-\sigma) + (1-t)\sigma =$$

$$= -t + t\sigma + \sigma - t\sigma = \sigma - t$$

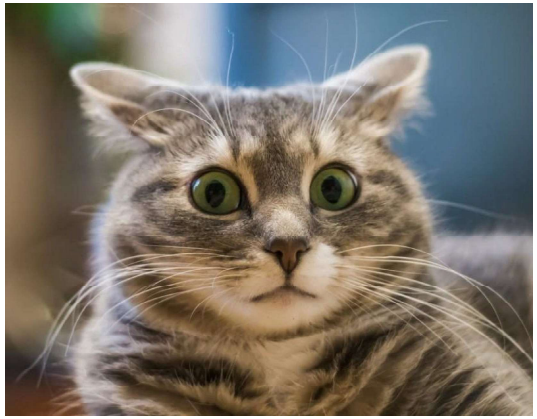
при $\sigma \to t \quad (\sigma - t) \to 0$ – нет проблем

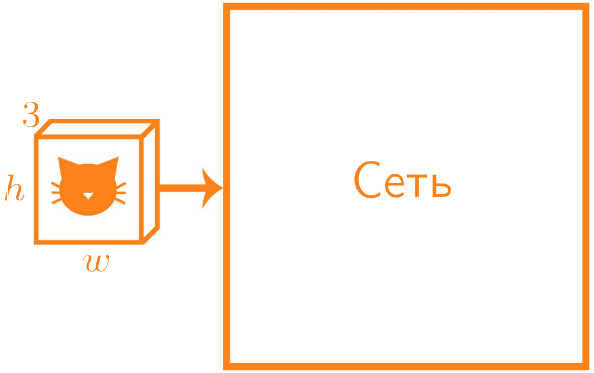
Классификация



Кот, пес, велосипед или автомобиль?
(верно только одно)

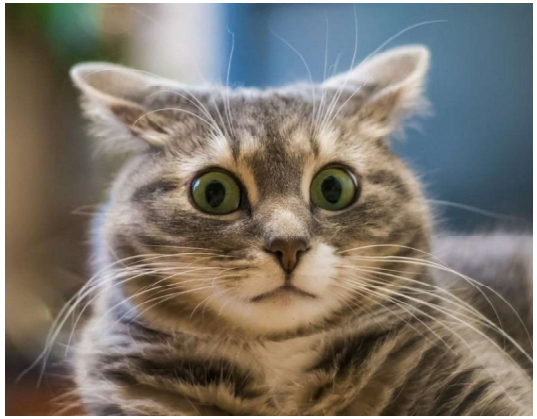
Классификация



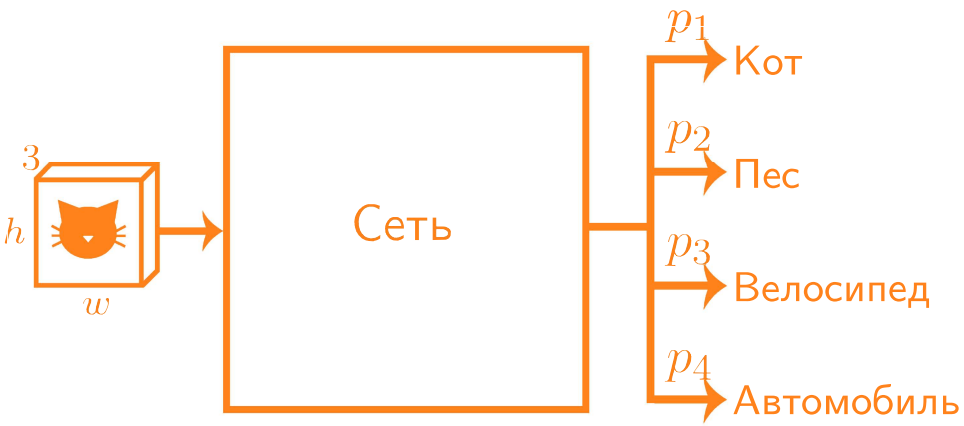


Кот, пес, велосипед или автомобиль?
(верно только одно)

Классификация



Кот, пес, велосипед или автомобиль?
(верно только одно)



Софтмакс и кросс энтропия

«Функция активации» – софтмакс

Софтмакс и кросс энтропия

«Функция активации» – софтмакс

$$p_i = SM_i(\mathbf{z}) = \frac{e^{z_i}}{\sum\limits_{j=1}^{N} e^{z_j}}$$

Софтмакс и кросс энтропия

«Функция активации» – софтмакс

$$p_i = SM_i\left(\mathbf{z}\right) = \frac{e^{z_i}}{\sum\limits_{j=1}^{N} e^{z_j}}; \quad 0 < SM < 1$$

Софтмакс и кросс энтропия

«Функция активации» – софтмакс

$$p_i = SM_i\left(\mathbf{z}\right) = \frac{e^{z_i}}{\sum\limits_{j=1}^{N} e^{z_j}}; \quad 0 < SM < 1; \quad \sum_{i=1}^{N} SM_i = 1$$

Софтмакс и кросс энтропия

«Функция активации» – софтмакс

$$p_i = SM_i\left(\mathbf{z}\right) = \frac{e^{z_i}}{\sum\limits_{j=1}^{N} e^{z_j}}; \quad 0 < SM < 1; \quad \sum_{i=1}^{N} SM_i = 1$$

$$\mathbf{z} = \begin{bmatrix} z_1 \\ z_2 \\ z_3 \\ \vdots \\ z_n \end{bmatrix}$$

$$\left.\frac{\partial SM_i}{\partial z_c}\right|_{i \neq c}$$

Софтмакс и кросс энтропия

$$\boxed{\left(\frac{u}{v}\right)' = \frac{u'v - v'u}{v^2}}$$

«Функция активации» – софтмакс

$$p_i = SM_i\left(\mathbf{z}\right) = \frac{e^{z_i}}{\sum\limits_{j=1}^{N} e^{z_j}}; \quad 0 < SM < 1; \quad \sum_{i=1}^{N} SM_i = 1$$

$$\mathbf{z} = \begin{bmatrix} z_1 \\ z_2 \\ z_3 \\ \vdots \\ z_n \end{bmatrix}$$

$$\left.\frac{\partial SM_i}{\partial z_c}\right|_{i \neq c}$$

Софтмакс и кросс энтропия

$$\boxed{\left(\frac{u}{v}\right)' = \frac{u'v - v'u}{v^2}}$$

«Функция активации» – софтмакс

$$p_i = SM_i\left(\mathbf{z}\right) = \frac{e^{z_i}}{\sum\limits_{j=1}^{N} e^{z_j}}; \quad 0 < SM < 1; \quad \sum_{i=1}^{N} SM_i = 1$$

$$\mathbf{z} = \begin{bmatrix} z_1 \\ z_2 \\ z_3 \\ \vdots \\ z_n \end{bmatrix}$$

$$\left.\frac{\partial SM_i}{\partial z_c}\right|_{i \neq c} = \frac{-e^{z_i} e^{z_c}}{\left(\sum\limits_{j=1}^{N} e^{z_j}\right)^2}$$

Софтмакс и кросс энтропия

$$\boxed{\left(\frac{u}{v}\right)' = \frac{u'v - v'u}{v^2}}$$

«Функция активации» – софтмакс

$$p_i = SM_i\left(\mathbf{z}\right) = \frac{e^{z_i}}{\sum\limits_{j=1}^{N} e^{z_j}}; \quad 0 < SM < 1; \quad \sum_{i=1}^{N} SM_i = 1$$

$$\mathbf{z} = \begin{bmatrix} z_1 \\ z_2 \\ z_3 \\ \vdots \\ z_n \end{bmatrix} \qquad \left.\frac{\partial SM_i}{\partial z_c}\right|_{i \neq c} = \frac{-e^{z_i} e^{z_c}}{\left(\sum\limits_{j=1}^{N} e^{z_j}\right)^2} = -SM_i \cdot SM_c$$

Софтмакс и кросс энтропия

$$\boxed{\left(\frac{u}{v}\right)' = \frac{u'v - v'u}{v^2}}$$

«Функция активации» – софтмакс

$$p_i = SM_i\left(\mathbf{z}\right) = \frac{e^{z_i}}{\sum\limits_{j=1}^{N} e^{z_j}}; \quad 0 < SM < 1; \quad \sum_{i=1}^{N} SM_i = 1$$

$$\mathbf{z} = \begin{bmatrix} z_1 \\ z_2 \\ z_3 \\ \vdots \\ z_n \end{bmatrix}$$

$$\left.\frac{\partial SM_i}{\partial z_c}\right|_{i \neq c} = \frac{-e^{z_i} e^{z_c}}{\left(\sum\limits_{j=1}^{N} e^{z_j}\right)^2} = -SM_i \cdot SM_c$$

$$\frac{\partial SM_i}{\partial z_i}$$

Софтмакс и кросс энтропия

$$\boxed{\left(\frac{u}{v}\right)' = \frac{u'v - v'u}{v^2}}$$

«Функция активации» – софтмакс

$$p_i = SM_i\left(\mathbf{z}\right) = \frac{e^{z_i}}{\sum\limits_{j=1}^{N} e^{z_j}}; \quad 0 < SM < 1; \quad \sum_{i=1}^{N} SM_i = 1$$

$$\mathbf{z} = \begin{bmatrix} z_1 \\ z_2 \\ z_3 \\ \vdots \\ z_n \end{bmatrix}$$

$$\left.\frac{\partial SM_i}{\partial z_c}\right|_{i \neq c} = \frac{-e^{z_i} e^{z_c}}{\left(\sum\limits_{j=1}^{N} e^{z_j}\right)^2} = -SM_i \cdot SM_c$$

$$\frac{\partial SM_i}{\partial z_i} = \frac{-e^{z_i} \cdot \sum\limits_{j=1}^{N} e^{z_j} - e^{z_i} \cdot e^{z_i}}{\left(\sum\limits_{j=1}^{N} e^{z_j}\right)\left(\sum\limits_{j=1}^{N} e^{z_j}\right)}$$

Софтмакс и кросс энтропия

$$\boxed{\left(\frac{u}{v}\right)' = \frac{u'v - v'u}{v^2}}$$

«Функция активации» – софтмакс

$$p_i = SM_i\left(\mathbf{z}\right) = \frac{e^{z_i}}{\sum\limits_{j=1}^{N} e^{z_j}}; \quad 0 < SM < 1; \quad \sum_{i=1}^{N} SM_i = 1$$

$$\mathbf{z} = \begin{bmatrix} z_1 \\ z_2 \\ z_3 \\ \vdots \\ z_n \end{bmatrix}$$

$$\left.\frac{\partial SM_i}{\partial z_c}\right|_{i \neq c} = \frac{-e^{z_i} e^{z_c}}{\left(\sum\limits_{j=1}^{N} e^{z_j}\right)^2} = -SM_i \cdot SM_c$$

$$\frac{\partial SM_i}{\partial z_i} = \frac{-e^{z_i} \cdot \sum\limits_{j=1}^{N} e^{z_j} - e^{z_i} \cdot e^{z_i}}{\left(\sum\limits_{j=1}^{N} e^{z_j}\right)\left(\sum\limits_{j=1}^{N} e^{z_j}\right)} = SM_i\left(1 - SM_i\right)$$

SoftMax and Cross-Entropy

Функция потерь – кросс энтропия

$$CE\left(p,t\right) = -\sum_{c=1}^{N} t_c \log p_c \text{ – кросс-энтропия}$$

$$\frac{\partial CE}{\partial z_c} = p_c - t_c$$

SoftMax and Cross-Entropy

Функция потерь – кросс энтропия

$$CE\left(p,t\right) = -\sum_{c=1}^{N} t_c \log p_c \text{ – кросс-энтропия}$$

$$\frac{\partial CE}{\partial z_c} = p_c - t_c$$

Если все $t_i = 0$, кроме одного $t_{\mathrm{c}} = 1$, то $CE\left(p,t\right) = -\log p_c$

SoftMax and Cross-Entropy

Функция потерь – кросс энтропия

$$CE\left(p,t\right) = -\sum_{c=1}^{N} t_c \log p_c \text{ – кросс-энтропия}$$

$$\frac{\partial CE}{\partial z_c} = p_c - t_c$$

Если все $t_i = 0$, кроме одного $t_c = 1$, то $CE\left(p,t\right) = -\log p_c$

$$\frac{\partial CE}{\partial z_i}$$

SoftMax and Cross-Entropy

Функция потерь – кросс энтропия

$$CE\left(p,t\right) = -\sum_{c=1}^{N} t_c \log p_c \text{ – кросс-энтропия}$$

$$\frac{\partial CE}{\partial z_c} = p_c - t_c$$

Если все $t_i = 0$, кроме одного $t_c = 1$, то $CE\left(p,t\right) = -\log p_c$

$$\frac{\partial CE}{\partial z_i} = -\frac{t_i}{p_i}\frac{\partial SM_i}{\partial z_i}$$

SoftMax and Cross-Entropy

Функция потерь – кросс энтропия

$$CE\left(p,t\right) = -\sum_{c=1}^{N} t_c \log p_c \text{ – кросс-энтропия}$$

$$\frac{\partial CE}{\partial z_c} = p_c - t_c$$

Если все $t_i = 0$, кроме одного $t_c = 1$, то $CE\left(p,t\right) = -\log p_c$

$$\frac{\partial CE}{\partial z_i} = -\frac{t_i}{p_i}\frac{\partial SM_i}{\partial z_i} - \sum_{c \neq i} \frac{t_c}{p_c}\frac{\partial SM_c}{\partial z_i}$$

SoftMax and Cross-Entropy

Функция потерь – кросс энтропия

$$CE\left(p,t\right) = -\sum_{c=1}^{N} t_c \log p_c \text{ – кросс-энтропия}$$

$$\frac{\partial CE}{\partial z_c} = p_c - t_c$$

Если все $t_i = 0$, кроме одного $t_c = 1$, то $CE\left(p,t\right) = -\log p_c$

$$\frac{\partial CE}{\partial z_i} = -\frac{t_i}{p_i}\frac{\partial SM_i}{\partial z_i} - \sum_{c \neq i} \frac{t_c}{p_c}\frac{\partial SM_c}{\partial z_i} = -\frac{t_i}{p_i} p_i \left(1 - p_i\right)$$

SoftMax and Cross-Entropy

Функция потерь – кросс энтропия

$$CE\left(p,t\right) = -\sum_{c=1}^{N} t_c \log p_c \text{ – кросс-энтропия}$$

$$\frac{\partial CE}{\partial z_c} = p_c - t_c$$

Если все $t_i = 0$, кроме одного $t_c = 1$, то $CE\left(p,t\right) = -\log p_c$

$$\frac{\partial CE}{\partial z_i} = -\frac{t_i}{p_i}\frac{\partial SM_i}{\partial z_i} - \sum_{c\neq i}\frac{t_c}{p_c}\frac{\partial SM_c}{\partial z_i} = -\frac{t_i}{p_i}p_i\left(1-p_i\right) + \sum_{c\neq i} t_c \frac{1}{p_c} p_i p_c$$

SoftMax and Cross-Entropy

Функция потерь – кросс энтропия

$$CE\left(p,t\right) = -\sum_{c=1}^{N} t_c \log p_c \text{ – кросс-энтропия}$$

$$\frac{\partial CE}{\partial z_c} = p_c - t_c$$

Если все $t_i = 0$, кроме одного $t_c = 1$, то $CE\left(p,t\right) = -\log p_c$

$$\frac{\partial CE}{\partial z_i} = -\frac{t_i}{p_i}\frac{\partial SM_i}{\partial z_i} - \sum_{c\neq i}\frac{t_c}{p_c}\frac{\partial SM_c}{\partial z_i} = -\frac{t_i}{p_i}p_i\left(1-p_i\right) + \sum_{c\neq i} t_c \frac{1}{p_c} p_i p_c =$$

$$= -t_i\left(1-p_i\right) + \sum_{c\neq i} t_c p_i$$

SoftMax and Cross-Entropy

Функция потерь – кросс энтропия

$$CE\left(p,t\right) = -\sum_{c=1}^{N} t_c \log p_c \text{ – кросс-энтропия}$$

$$\frac{\partial CE}{\partial z_c} = p_c - t_c$$

Если все $t_i = 0$, кроме одного $t_c = 1$, то $CE\left(p,t\right) = -\log p_c$

$$\frac{\partial CE}{\partial z_i} = -\frac{t_i}{p_i}\frac{\partial SM_i}{\partial z_i} - \sum_{c\neq i}\frac{t_c}{p_c}\frac{\partial SM_c}{\partial z_i} = -\frac{t_i}{p_i}p_i\left(1-p_i\right) + \sum_{c\neq i} t_c \frac{1}{p_c} p_i p_c =$$

$$= -t_i\left(1-p_i\right) + \sum_{c\neq i} t_c p_i = -t_i + p_i$$

SoftMax and Cross-Entropy

Функция потерь – кросс энтропия

$$CE\left(p,t\right) = -\sum_{c=1}^{N} t_c \log p_c \text{ – кросс-энтропия}$$

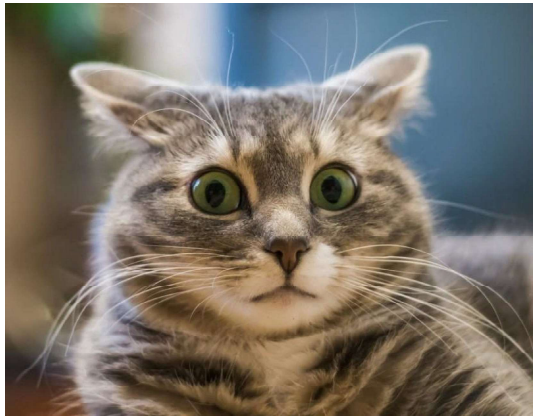
$$\frac{\partial CE}{\partial z_c} = p_c - t_c$$

Если все $t_i = 0$, кроме одного $t_c = 1$, то $CE\left(p,t\right) = -\log p_c$

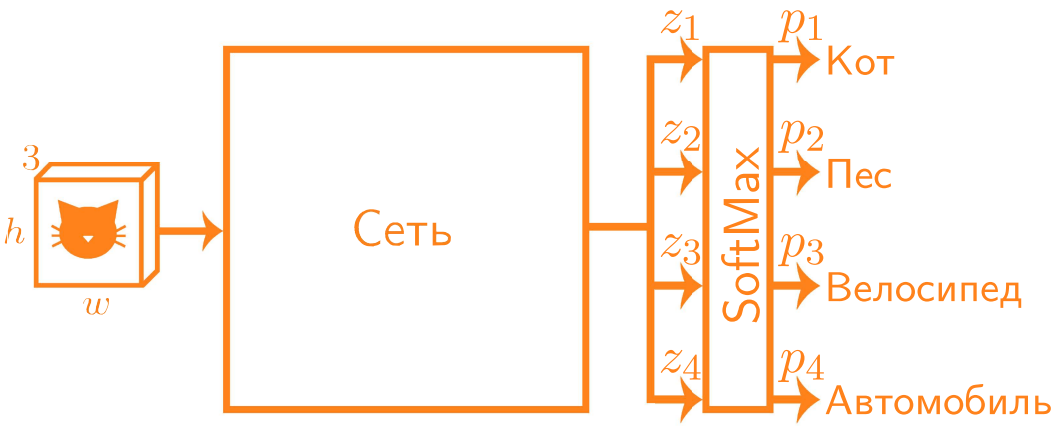
$$\frac{\partial CE}{\partial z_i} = -\frac{t_i}{p_i}\frac{\partial SM_i}{\partial z_i} - \sum_{c\neq i}\frac{t_c}{p_c}\frac{\partial SM_c}{\partial z_i} = -\frac{t_i}{p_i}p_i\left(1-p_i\right) + \sum_{c\neq i} t_c \frac{1}{p_c} p_i p_c =$$

$$= -t_i\left(1-p_i\right) + \sum_{c\neq i} t_c p_i = -t_i + p_i = p_i - t_i$$

Классификация

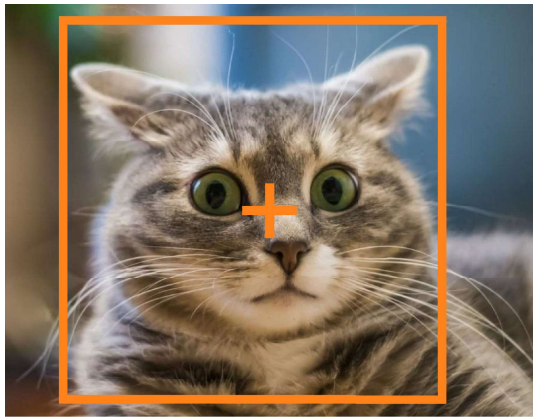


Кот, пес, велосипед или автомобиль?

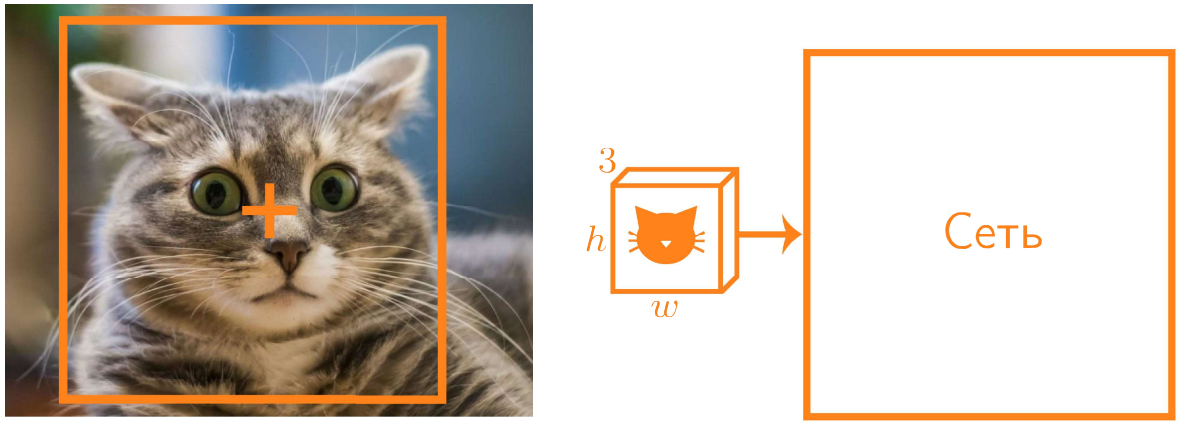


$$\sum_{i=1}^{N} p_i = 1$$

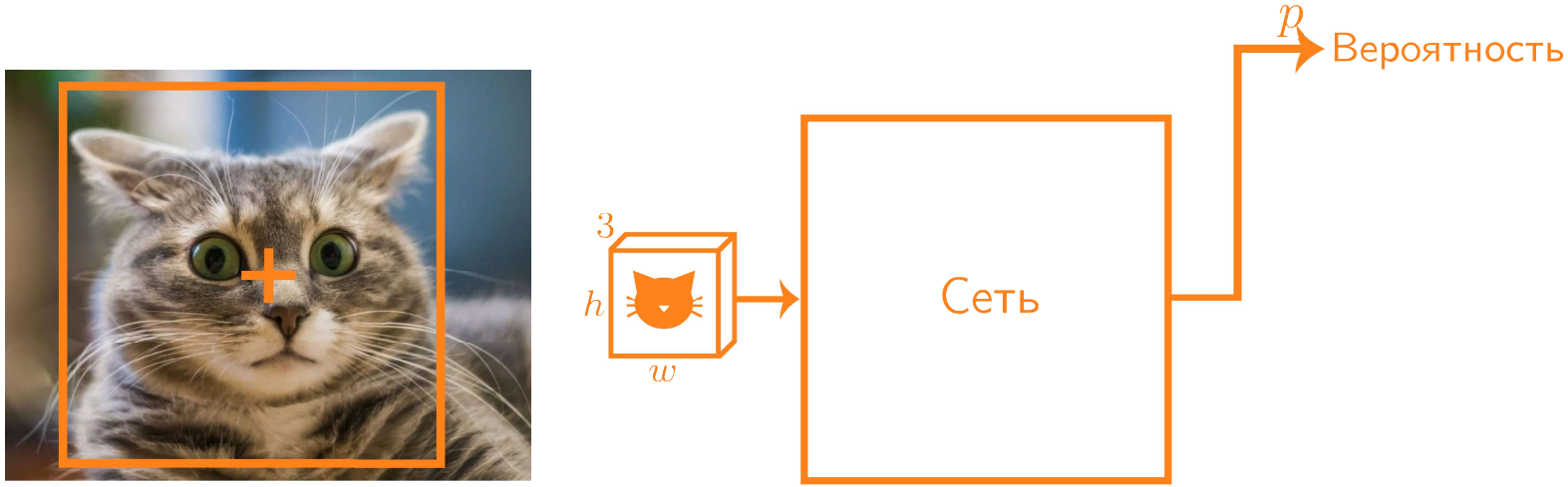
Локализация и детекция



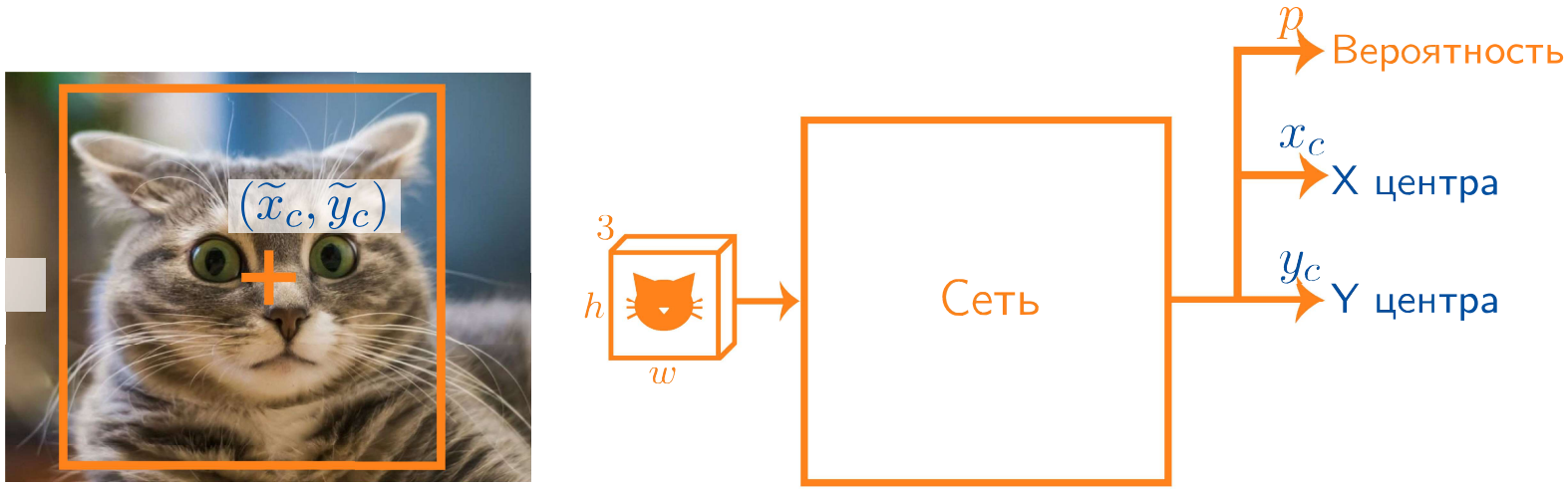
Локализация и детекция



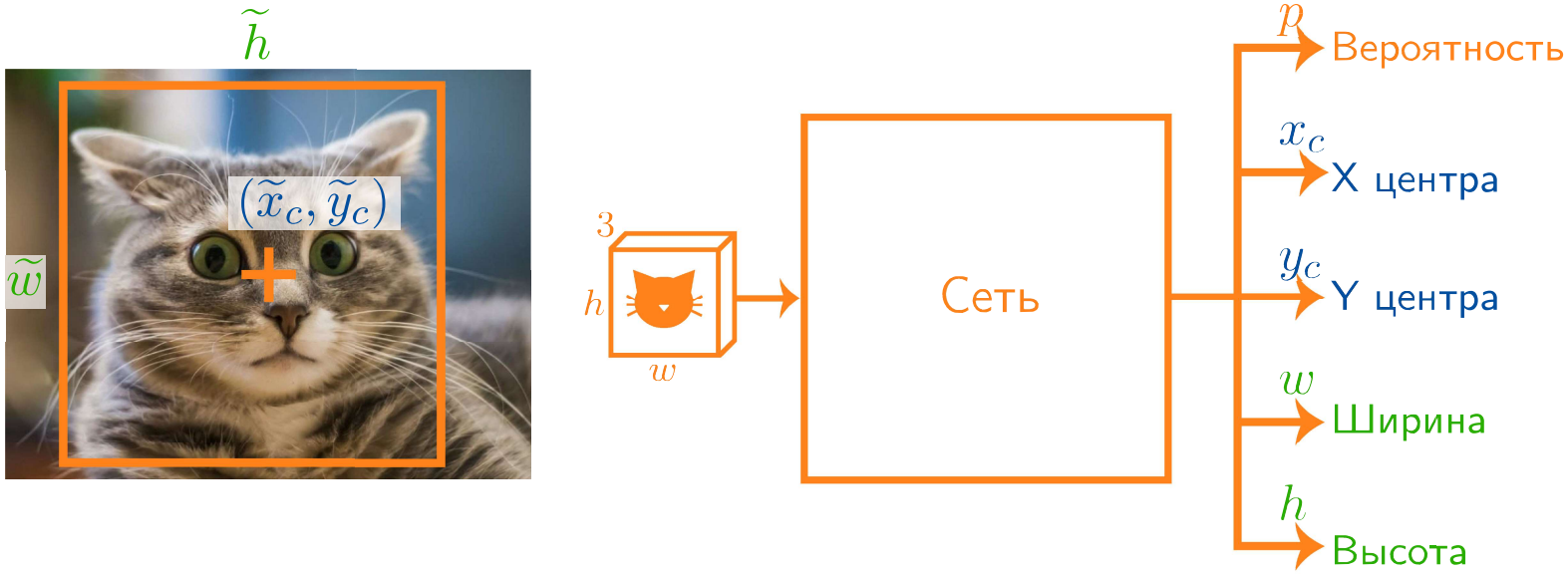
Локализация и детекция



Локализация и детекция



Локализация и детекция



Локализация и детекция

Мы рассмотрим пример задачи со следующими ограничениями:

Локализация и детекция

Мы рассмотрим пример задачи со следующими ограничениями:

- На картинке может быть только один объект или ни одного

Локализация и детекция

Мы рассмотрим пример задачи со следующими ограничениями:

- На картинке может быть только один объект или ни одного
- Если центр объекта лежит в пределах картинки, то мы считаем, что объект на картинке есть, в ином случае мы считаем, что объекта нет