

# U-Net: Convolutional Networks for Biomedical Image Segmentation

Olaf Ronneberger, Philipp Fischer, and Thomas Brox

Computer Science Department and BIOS Centre for Biological Signalling Studies,  
University of Freiburg, Germany

`ronneber@informatik.uni-freiburg.de`,

WWW home page: <http://lmb.informatik.uni-freiburg.de/>

# Introduction

## ➤ CNN 提出

## ➤ AlexNet、VGG

✓ 增加了**网络深度**（8层及以上），使用了ImageNet等**超大规模数据集**（百万级图像）；

x 输出单一类别标签，**只能完成分类任务，无法进行定位**

## ➤ 滑窗卷积网络

✓ 通过大量的patches**实现像素级分类（定位）**，同时极大**扩充了训练数据量**；

x **速度慢**（每个patch都需要独立运行网络，且相邻patch之间有大量重叠导致了巨大的计算冗余）；

x **定位精度与上下文信息之间存在制约**

## ➤ 多层次特征融合方法

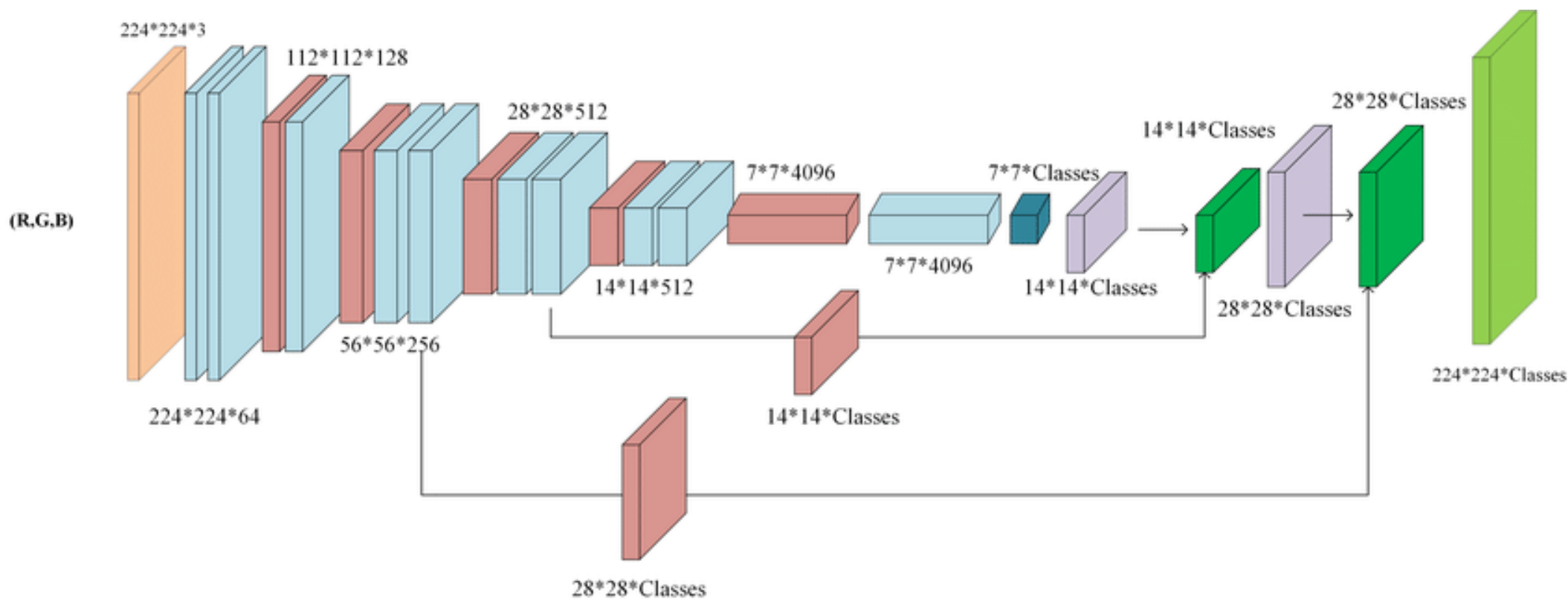
✓ **浅层**高分辨率的丰富**细节和位置信息**+**深层**经过多次抽象的**强语义信息**；

x 计算和**内存开销较大**

# U-Net

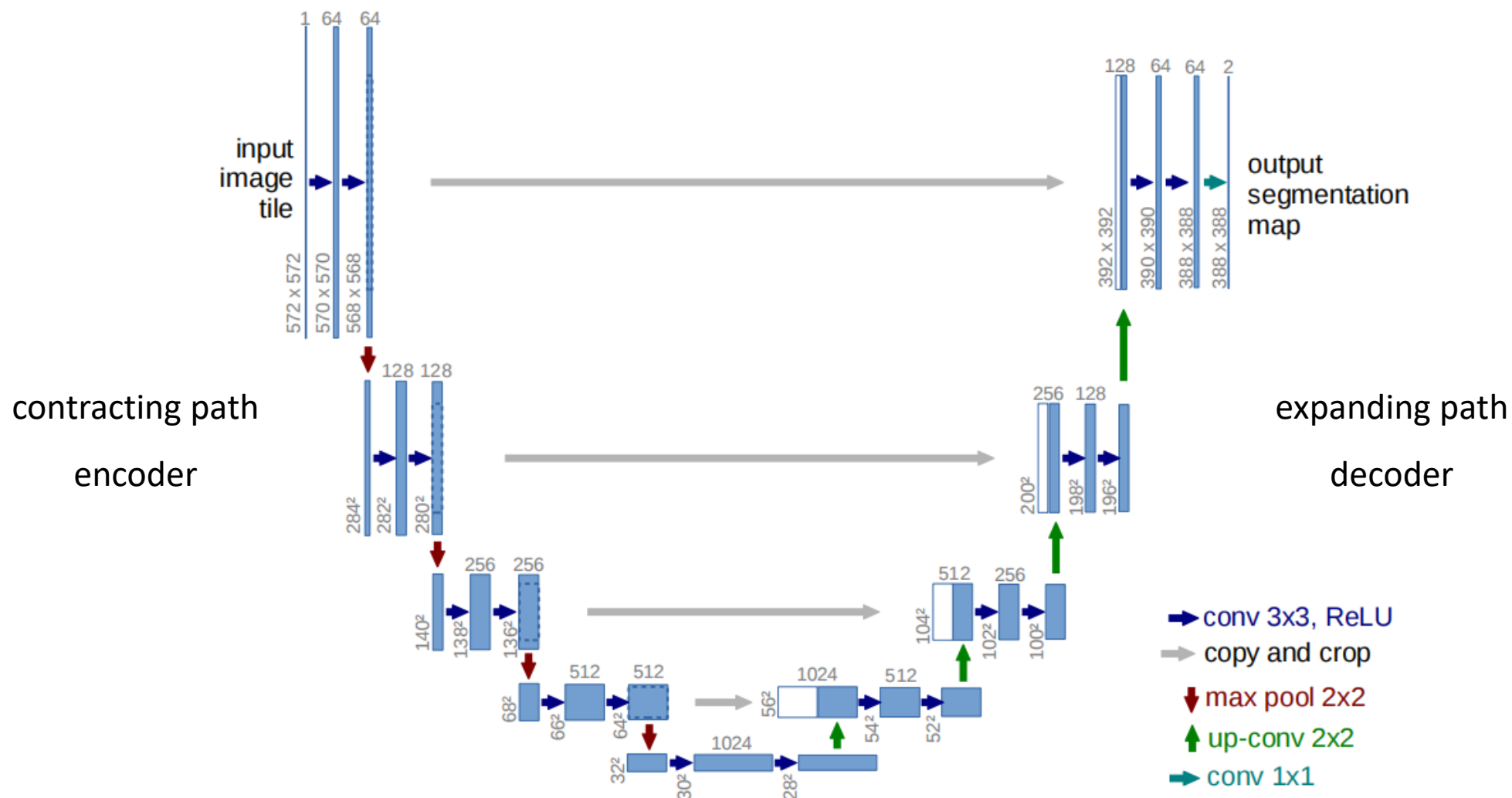
## ➤ FCN全卷积网络

- ✓ 全连接层替换为卷积层，使得网络可以接受任意尺寸的输入；
- ✓ 上采样+与编码器层跳跃连接（逐元素相加），平衡上下文信息与定位精度



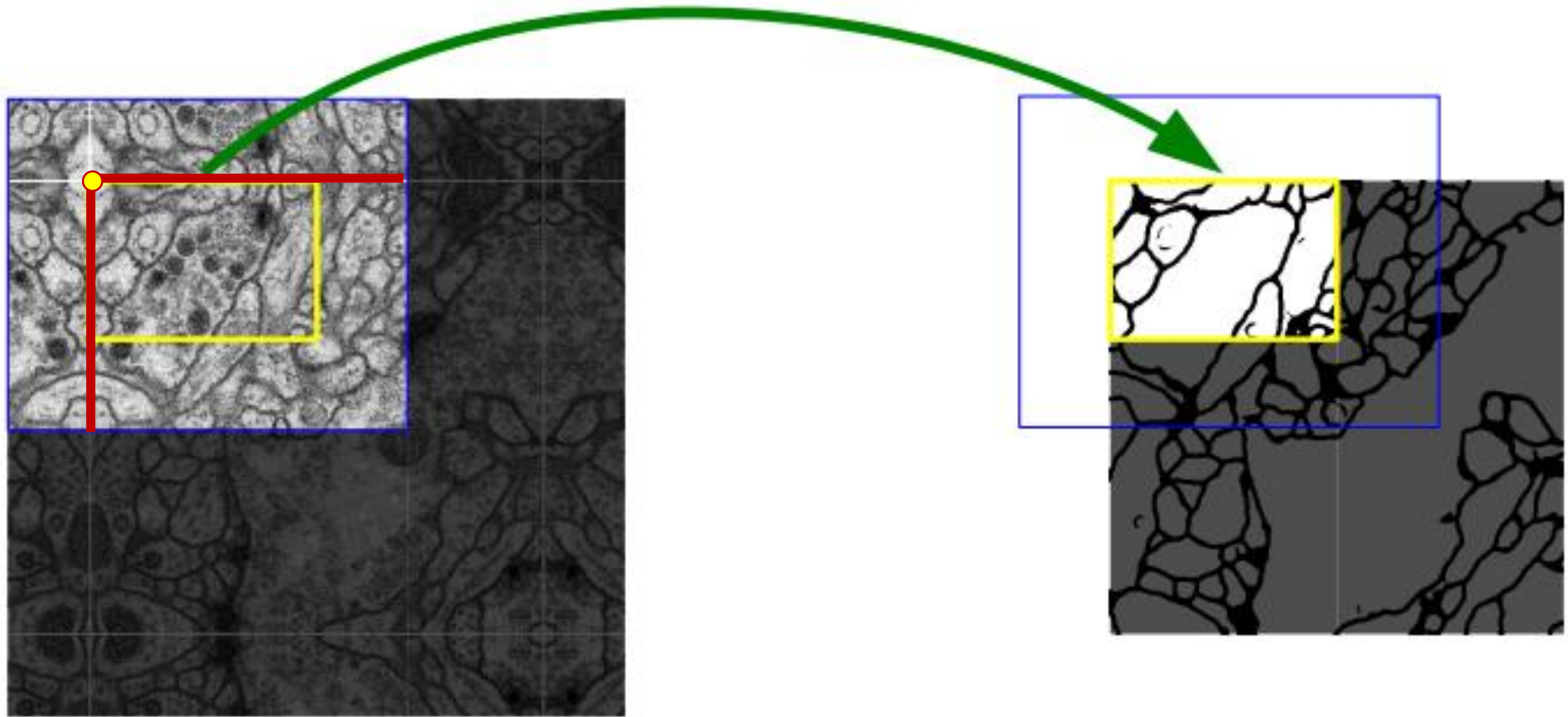
# U-Net

- ✓ 增加上采样环节的**通道数**，逐元素相加→**通道维度拼接**；



# U-Net

- ✓ **重叠拼接法**（无缝分割）+ **镜像输入**（补充缺失的上下文信息）



# U-Net

## ✓ 随机弹性形变进行数据增强

首先创建随机位移场来使图像变形，即

$$\Delta x(x, y) = rand(-1, +1)$$

$$\Delta y(x, y) = rand(-1, +1)$$

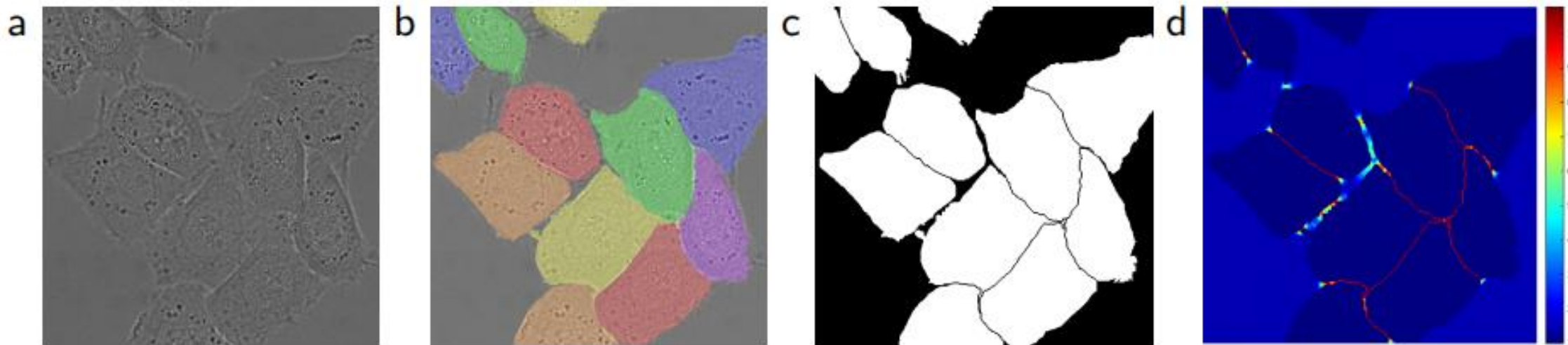
其中rand(-1,+1)是生成一个在(-1,1)之间均匀分布的随机数，然后用标准差为 $\sigma$ 的高斯函数对 $\Delta x$ 和 $\Delta y$ 进行卷积。高斯函数如下：

$$G(x, y) = \frac{1}{2\pi\sigma^2} e^{-(x^2+y^2)/2\sigma^2}$$

- **$\sigma$ 是弹性系数**：如果  $\sigma$  值很大，则结果值很小，因为随机值平均为0；如果 $\sigma$ 很小，则归一化后该字段看起来像一个完全随机的字段；对于中间 $\sigma$ 值，位移场看起来像弹性变形。
- 将经过高斯卷积的**位移场乘以控制变形强度的比例因子  $\alpha$** ，得到一个**弹性形变的位移场**，最后将这个位移场作用在仿射变换之后的图像上，得到最终弹性形变增强的数据。

# U-Net

- ✓ 加权损失函数，分离接触/接近的细胞



$$E = \sum_{\mathbf{x} \in \Omega} w(\mathbf{x}) \log(p_{\ell(\mathbf{x})}(\mathbf{x}))$$

$$w(\mathbf{x}) = w_c(\mathbf{x}) + w_0 \cdot \exp \left( -\frac{(d_1(\mathbf{x}) + d_2(\mathbf{x}))^2}{2\sigma^2} \right)$$

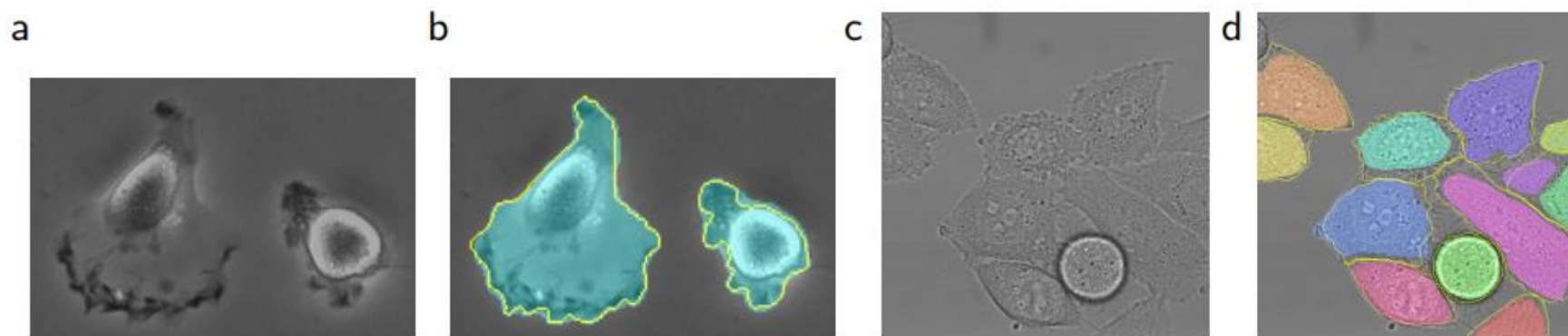
- 预先计算每个**真实分割的权重图**，以补偿训练数据集中某一类像素的不同频率，并迫使网络学习，在细胞之间引入的小分离边界
- 使用加权损失，其中接触细胞之间的分离背景标签在损失函数中获得大的权重。

# Experiments

**Table 1.** Ranking on the EM segmentation challenge [14] (march 6th, 2015), sorted by warping error.

Rank	Group name	Warping Error	Rand Error	Pixel Error
	** human values **	0.000005	0.0021	0.0010
1.	u-net	<b>0.000353</b>	0.0382	0.0611
2.	DIVE-SCI	0.000355	0.0305	0.0584
3.	IDSIA [1]	0.000420	0.0504	0.0613
4.	DIVE	0.000430	0.0545	<b>0.0582</b>
	$\vdots$			
10.	IDSIA-SCI	0.000653	<b>0.0189</b>	0.1027

# Experiments



**Table 2.** Segmentation results (IOU) on the ISBI cell tracking challenge 2015.

Name	PhC-U373	DIC-HeLa
IMCB-SG (2014)	0.2669	0.2935
KTH-SE (2014)	0.7953	0.4607
HOUS-US (2014)	0.5323	-
second-best 2015	0.83	0.46
u-net (2015)	<b>0.9203</b>	<b>0.7756</b>