

《数字图像处理》第三次大作业报告

图像替换和风格迁移

自 84 佴瑞乾 2018011716

2021 年 1 月 15 日

目录

1 选题说明与具体功能	1
1.1 选题说明	1
1.2 具体功能	2
1.3 问题分析	3
2 实现方法	3
2.1 图像替换	3
2.1.1 几何变换	3
2.1.2 图像分割	4
2.1.3 风格保持	4
2.1.4 光照部分估计及颜色变换	5
2.2 风格迁移	5
2.2.1 画布风格和梵高星空风格	5
2.2.2 素描风格和铅笔画风格	6
3 结果展示	7
4 GUI 界面	9

1 选题说明与具体功能

1.1 选题说明

在网站<https://photofunia.com> 中，用户可以将图片中感兴趣的部分（如杂志封面，画框，广告牌等）替换为自己上传的照片，并且替换后的照片能保留原图的风格（如纸张的质地、光照条件等），从而和背景融为一体。受此启发，本次大作业实现了图像替换并保留原图风格，同时设置了更多风格迁移的选择，对于广告牌图片中的聚光灯部分，可以任意改变聚光灯的颜色。此外，本次大作业设计了图形界面，用户可以上传自己的图片，选择不同的背景、风格、聚光灯颜色，得到想要的效果。

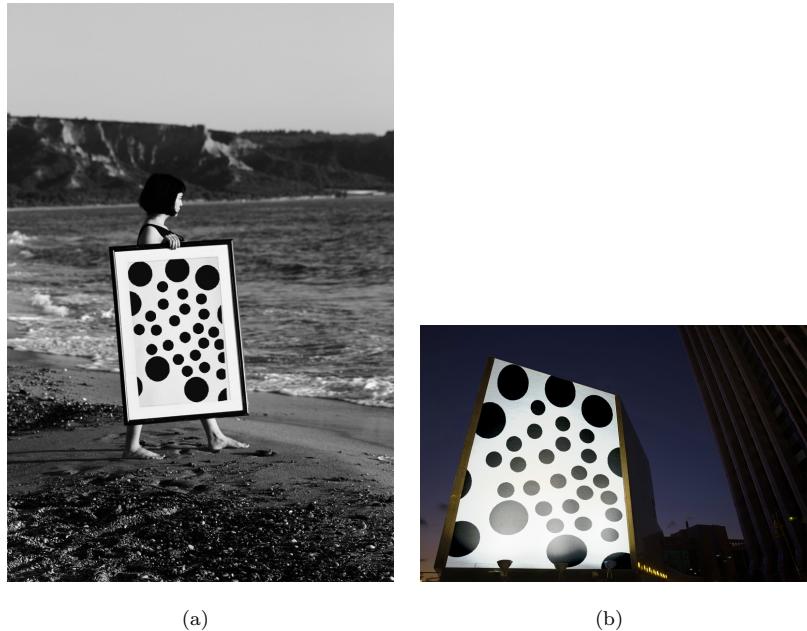


图 1: 网站效果示意

1.2 具体功能

1. 图像替换

可以将以下三种背景中的相框、杂志插图和广告牌部分替换为用户上传的图片，并保留背景应有的风格（如海滩图片的色调，广告牌的质地、光照等）。



图 2: 可选背景

2. 风格迁移

对于上传的图片，可以变换为以下 4 种风格。

(a) 画布风格

- (b) 梵高星空风格
- (c) 素描风格
- (d) 彩色铅笔画风格

3. 光照颜色变化

对于广告牌背景，用户可以任意改变聚光灯的颜色。

1.3 问题分析

完成本次任务需要解决以下几个问题。

- (a) 刚体变换和弹性变换。对于海滩图和广告牌图片，通过仿射变换可以将输入图片变换到目标区域，但是对于杂志图片中弯曲的书页，则需要进行弹性变换。
- (b) 图像分割。广告牌图片中存在遮挡，需要将广告牌部分分离出来并且需要处理聚光灯的遮挡。
- (c) 风格保持。输入图片应符合背景的风格，如海滩背景的黑白风格，广告牌背景的广告牌纹理和光照。
- (d) 光照颜色变化。需要估计并分离广告牌图片中的光照并替换为用户指定颜色的光照。
- (e) 风格迁移。每一种风格迁移都需要设计各自的算法。

2 实现方法

本次作业所有功能均基于传统算法实现。本次作业中的背景图均来源于<https://photofunia.com>。展示使用的示例图片输入均为自己拍摄。

本次作业将风格迁移和图像替换视为两个独立的过程，风格迁移主要是对输入图像进行艺术风格的迁移，而图像替换中会对背景的风格予以保持，主要是保持背景语义。

2.1 图像替换

仿照<https://photofunia.com>，每一张背景图片都有自己的图像替换处理函数。

2.1.1 几何变换

仿射变换通过控制点求解变换矩阵来实现。弹性变换使用薄板样条方法 (TPS) 实现，以下重点介绍 TPS。

薄板样条是一种常见的插值模型，目标是寻找一个通过所有控制点的光滑曲面使得能量函数最小。

$$f(x, y) = a_1 + a_x x + a_y y + \sum_{i=1}^n w_i U(\|(x_i, y_i) - (x, y)\|) \quad (1)$$

where $U(r) = r^2 \log r^2$ $\sum_{i=1}^n w_i = 0$, $\sum_{i=1}^n w_i x_i = 0$, $\sum_{i=1}^n w_i y_i = 0$

式1为薄板样条函数， $f(x, y)$ 为输入点 (x, y) 变换后的坐标， $(x_i, y_i), i = 1, \dots, n$ 为已知点的变换前的坐标。

TPS 的系数存在闭式解。

$$\begin{bmatrix} \mathbf{K} & \mathbf{P} \\ \mathbf{P}^T & \mathbf{O} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} w \\ a \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} f \\ o \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{P} = \begin{bmatrix} 1 & x_1 & y_1 \\ 1 & x_2 & y_2 \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ 1 & x_n & y_n \end{bmatrix} \quad (2)$$

$$\mathbf{K}_{ij} = U(\|(x_i, y_i) - (x, y)\|)$$

由上述分析可知，实际实现时需要一组已知变换前后坐标的控制点。



图 3: 弹性变换效果示例

2.1.2 图像分割

广告牌图片由于存在遮挡，故需要进行图像分割。由于广告牌本身较亮，并且背景为夜晚，这里使用暗通道法提取图中光照较强的部分。首先通过对每个像素点在每个通道上取最小值得到暗通道图片，使用暗通道图片进行二值化分割。分割后还有右侧窗户处的灯光残余，再通过去除面积小的连通域去除。最终得到的 mask 如下图所示。

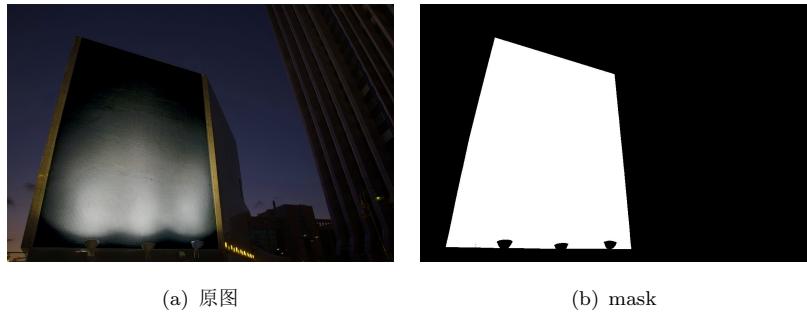


图 4: 分割

2.1.3 风格保持

- 海滩图片整张图为黑白色调，故将输入图片转换成灰度图后再进行几何变换。
- 杂志图片没有明显的原有风格，故直接将输入图片进行弹性变换。
- 广告牌图片原有风格较为明显，需保持广告牌画布的纹理以及聚光灯的光照，以上风格均通过估计光照分布来保持，详见2.1.4部分。

2.1.4 光照部分估计及颜色变换

首先通过对暗通道阈值分割得到光照区域。注意接下来的操作均仅在光照区域进行。由于本次任务中，反射介质固定，且光照不随时间变化，故使用以下线性模型来估计光照。

$$J(x, y) = a(x, y)I(x, y) + b(x, y)L(x, y) \quad (x, y) \in \text{light area} \quad (3)$$

其中 $J(x, y)$ 为含有光照的图片， $I(x, y)$ 为不含有光照的图片， a, b 分别为系数矩阵。根据课上讲授内容，可以使用一些已知的 I 来估计系数矩阵 a, b 。这里使用全黑图和全白图生成的图片来估计光照。

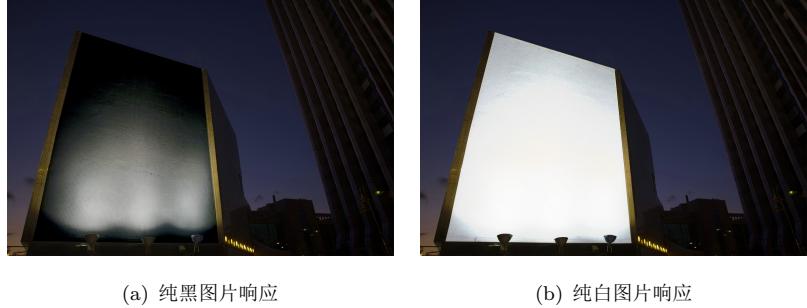


图 5: 使用已知图片估计光照

对于纯黑图片， $I(x, y) = 0$ ，故纯黑图片即为 $b(x, y)L(x, y)$ 。对于纯白图片， $I(x, y) = 255$ ，故有 $a(x, y) = \frac{J_{white}(x, y) - J_{black}(x, y)}{255}$ 。我们假设 a, b 不随光照颜色改变，故通过改变 $I(x, y)$ 的颜色即可改变光照颜色。实际操作中，通过改变在 hsi 空间改变黑图响应 $J_{black}(x, y) = b(x, y)I(x, y)$ 色调和饱和度来实现改变光照颜色的效果。

由于光的反射反映了介质的信息，故恢复光照能保持广告牌的纹理。

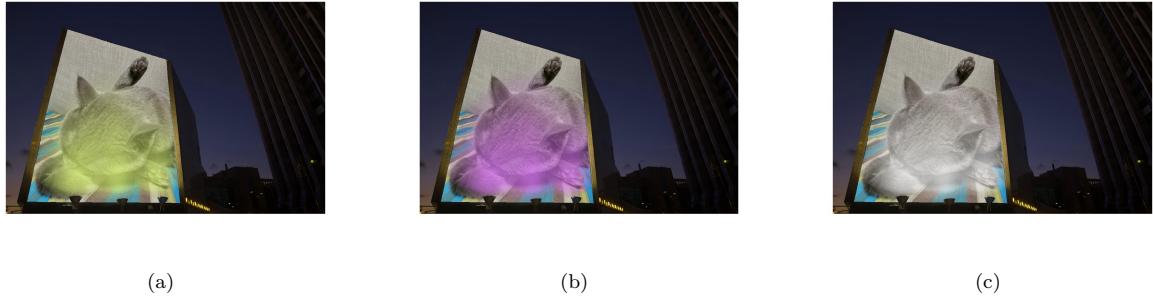


图 6: 改变光照颜色效果示例

2.2 风格迁移

2.2.1 画布风格和梵高星空风格

利用小波变换对两张图片进行融合来实现画布风格和星空风格。首先对画布图片或星空图片以及原图进行处理，使得两幅图尺寸一致，对 RGB 三通道分别进行变换与融合。变换与融合的具体操作如下：对两幅图进行小波分解，然后提取小波的近似分量，对近似分量采用加权平均的方式得到新的小波特征，最后再根据小波特征重构图像。

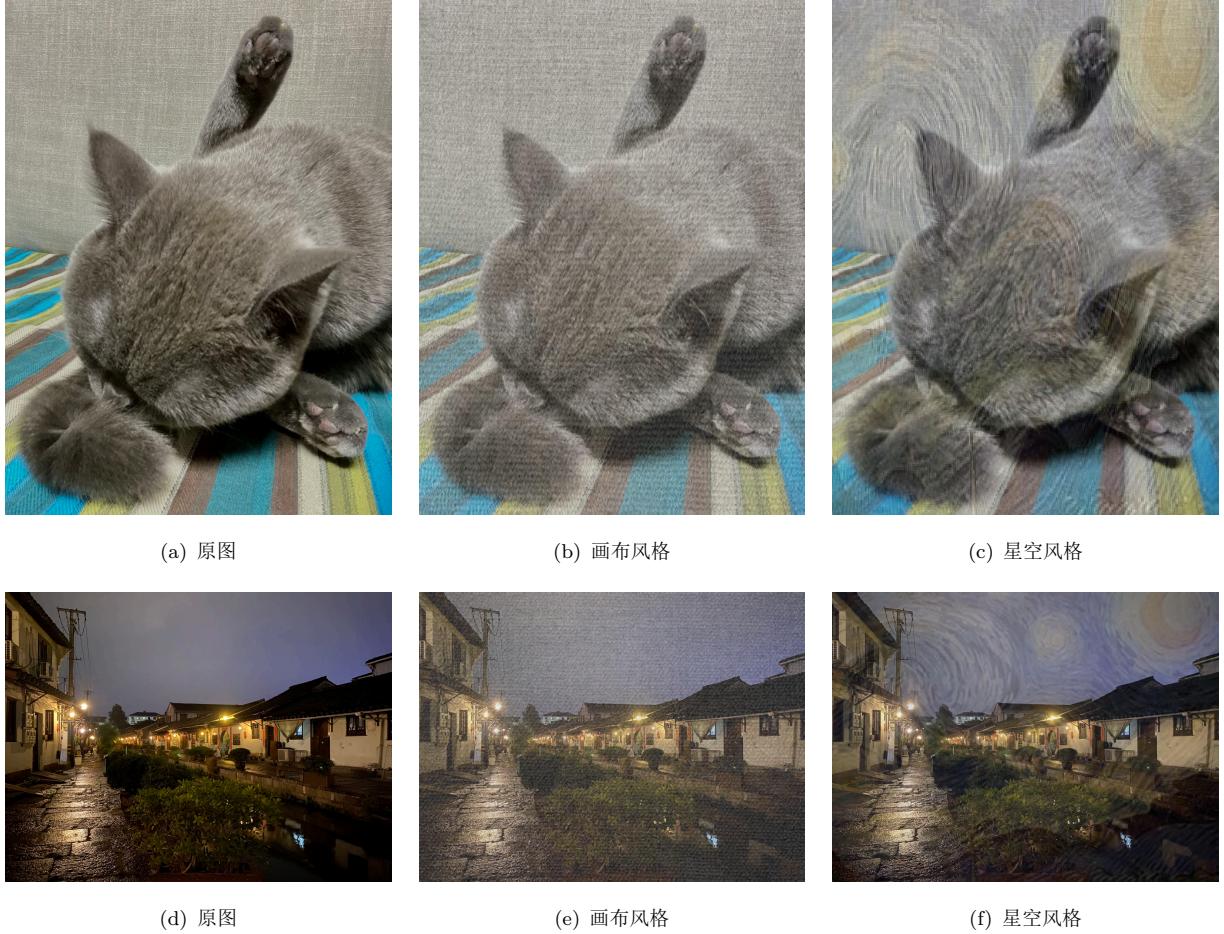


图 7: 画布风格及星空风格效果示例

2.2.2 素描风格和铅笔画风格

这一部分参考论文 [1] 实现。首先对图像 YUV 通道中的 Y 通道进行梯度运算，得出大致轮廓；再使用 8 个方向 ($22.5^\circ, 45^\circ, \dots$) 的卷积核，分别与梯度图进行卷积运算得到 8 个子图像；并梯度图对像素依据最大值所在子图像进行方向分类；再对每个方向的像素分别和对应的卷积核进行卷积并将每个方向的分量叠加得到素描效果图。

之后将输入图片 Y 通道的直方图标准化为论文中给出的铅笔画直方图，得到铅笔色调图。再用素描效果图点乘色调图得到灰度铅笔画。将输入图像的 Y 通道修改为灰度铅笔画，其余通道保持不变就得到彩色铅笔画。

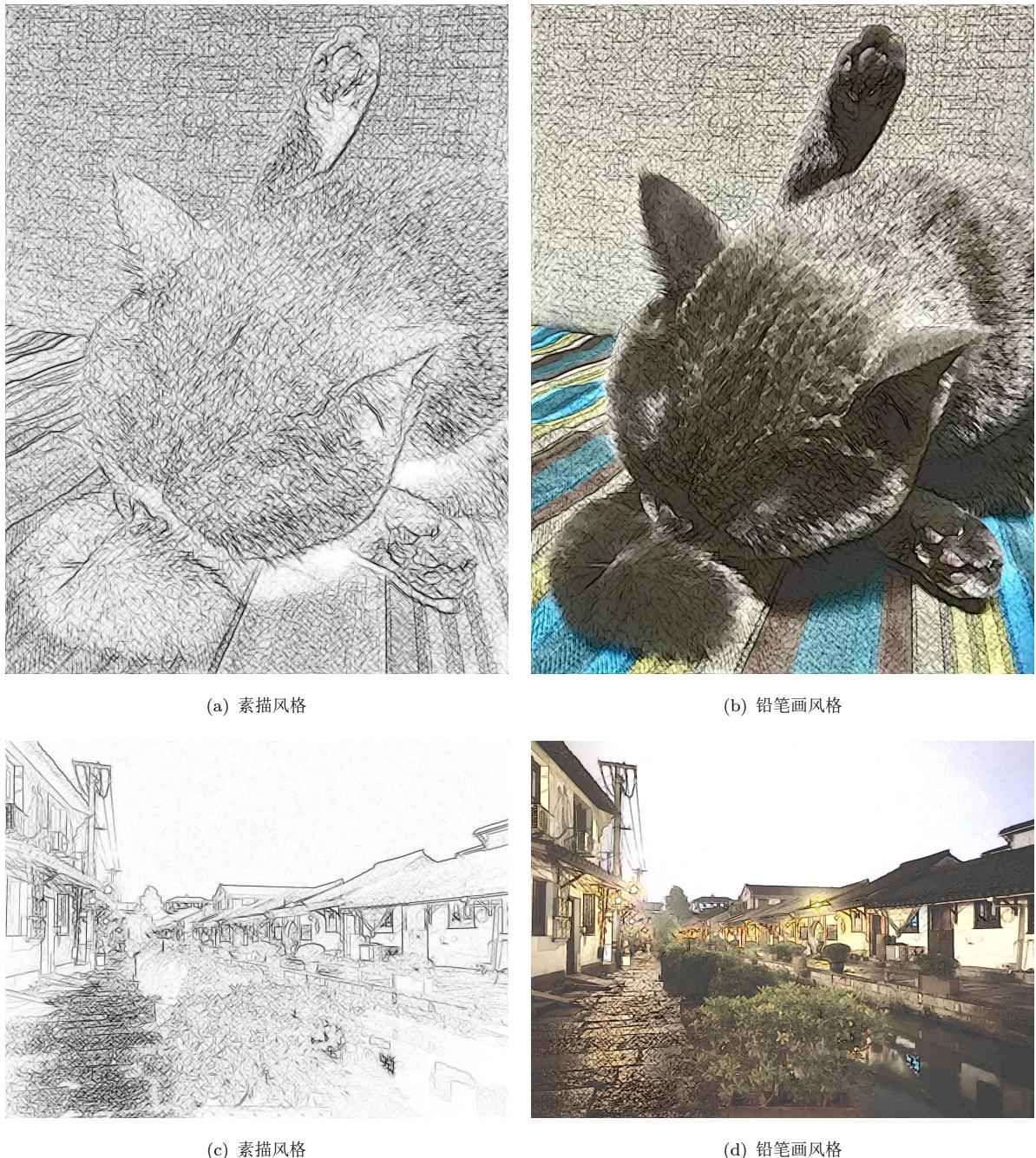


图 8: 素描及彩色铅笔画效果示例

3 结果展示

以下仅展示背景替换效果，风格迁移效果和灯光变换效果已在上一部分展示。



(a) beach



(b) magazine



(c) billboard



(d) beach



(e) magazine



(f) billboard

图 9: 背景替换

4 GUI 界面

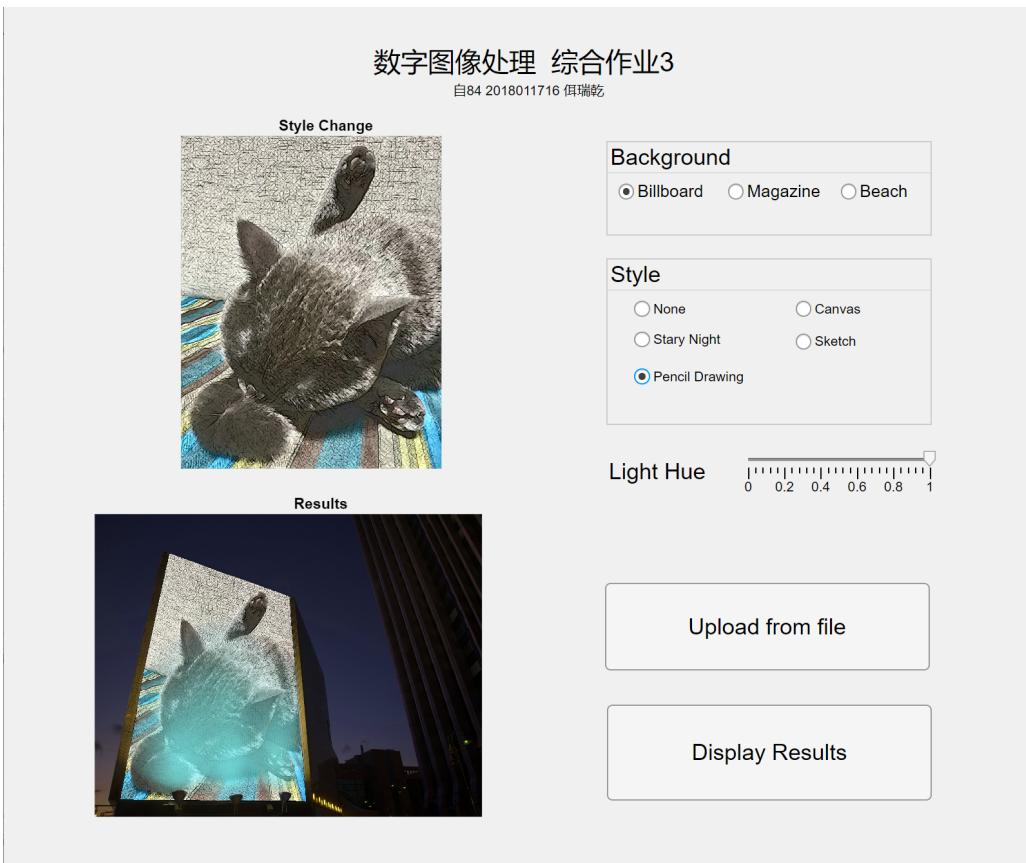


图 10: GUI

程序界面如上图所示。Background 的选项可以进行背景替换，Style 的选项可以进行风格迁移，滑块可以改变灯光颜色。左边展示风格迁移和图像替换效果。Upload from file 可以从文件上传图片，由于 matlab 显示图像模块会改变原图的尺寸，故设置了 Display Results 按钮来查看大图并且可以保存结果。

参考文献

- [1] Cewu Lu, Li Xu, and Jiaya Jia. 2012. Combining sketch and tone for pencil drawing production. In Proceedings of the Symposium on Non-Photorealistic Animation and Rendering . Eurographics Association, Goslar, DEU, 65–73.