**相机和手机拍摄的真实噪声图数据库（带Ground Truth）**

**2016年11月28日---12月1日**

**相机**

**Sony A7 II Review：**Sony 24.3 MP Exmor Sensor；unable to provide uncompressed or lossless 14-bit RAW data，provide 11-bit of base data, plus 7-bit of delta offset；RawDigger is currently the only tool on the market that can show the potential impact of lossy RAW compression on Sony RAW files.

**手机**

数据库设计原则：

1. 图片内容多样化
2. 图片内容包括人们感兴趣的主流物体，日常生活的代表性物体：比如human, animal, plant, landscape, cityscape, still-life and transportation, etc.

初步计划设计四类数据源：

1. 相机拍摄室内静物

相机品牌：索尼(D600, D800);尼康 (D40)；佳能 (5D)；松下；奥林巴斯；

拍摄内容：静物，包括各种不同的内容，比如人，衣物，食物，植物，家用电器，厨房用品，办公用品等等；

拍摄方式：固定连续拍摄；

拍摄时间：白天，夜晚；

光线选择：自然光，灯光；

拍摄噪声图：设置不同的ISO等；

获得Raw Data：相机API辅助得到，ECCV2016 [2];

**获得干净图：在Raw Data阶段，噪声与信号线性独立 [1]，可连续拍摄N张，在Raw Data阶段取平均，比在RGB阶段取平均要更合理， Michael Brown在ECCV’2016文章 [2]也说明，Raw Data阶段取平均得到的图片的效果更好。**

1. 相机拍摄室外静物

相机品牌：同上；

拍摄内容：静物包括各种不同的内容，比如人，道路，车，建筑，公共设施, 山，植物等等；

拍摄方式：固定连续拍摄；

拍摄时间：白天，夜晚；

光线选择：自然光，灯光，自然光加灯光；

拍摄噪声图：设置不同的ISO等；

获得Raw Data：同上；

获得干净图：在Raw Data阶段，噪声与信号线性独立 [1]，可连续拍摄1000张，在Raw Data阶段取平均，比在RGB阶段取平均要更合理。

1. 手机拍摄室内静物

手机品牌：iPhone4,5,6,7；三星Galaxy系列，S系列；华为P系列；小米系列；LG G4;摩托罗拉Nexus 6；HTC One M9；

获得Raw Data：Android手机可用Snapseed等软件获得手机Raw Data；

拍摄噪声图：Android手机需要进入Android Camera2 API [3]，设置ISO参数；

防抖动功能：部分手机（如Samsung Galaxy S4 zoom）可以进入API设置开关；其他手机还需要做实验测试效果；

获得干净图：在Raw Data阶段，噪声与信号线性独立 [1]，可连续拍摄1000张，在Raw Data阶段取平均，比在RGB阶段取平均要更合理。

1. 手机拍摄室外静物

手机品牌：同上；

获得Raw Data：同上；

**2016年12月2日**

就我目前想到的，我们这个工作，第一个贡献是，采集一些室内，室外的静态物体，在raw data上取均值得到ground truth比CVPR2016的工作更合理；第二个贡献是提供有真实噪声图和ground truth的数据集（内容更广泛更真实）供别人研究真实去噪问题；第三，我们还可以提一个简单的（比如，基于Coupled Dictionary Learning）去噪算法，在这个数据集的raw data上训练，算法得到更好的真实去噪效果。

**2016年12月3日**

我们要先拿相机测一测，等你回来我们用sony相机测测，RAW DATA取平均得到一个GT1，RGB取平均得到GT2，用GT1，GT2和噪声图算PSNR，如果GT2上得到的PSNR2>GT1上得到的PSNR1在500张图上都成立，说明噪声图和GT2更接近， GT1作为真实的ground truth更合理，再拿一个图的visual quality说明一下问题：RAW DATA上取平均可以得到更好的ground truth。

是否可以考虑拍摄动态物体？

相机拍摄室外动态物体可以考虑用HDR技术缓解微小运动的问题。

[1] S. Nam, Y. B. Hwang, Y. Matsushita, S. J. Kim, A Holistic Approach to Cross-Channel Image Noise Modeling and its Application to Image Denoising, CVPR, 2016.

[2] HC Karaimer, MS Brown, A Software Platform for Manipulating the Camera Imaging Pipeline. ECCV, 2016.

[3] Google, Inc.: Camera2 API Package Summary (accessed July 16, 2016),

<http://developer.android.com/reference/android/hardware/camera2/package-summary.html>

**2016年12月4日**

张老师的问题：对静止场景，快门快些拍500张，和快门慢些拍几十张甚至1张，要做一下实验看看哪个更适合构建groundtruth？

**2016年12月5日**

1. 不仅用RAW DATA，而且要得到DARK FRAME，两项均值相减才能得到真正的ground truth!
2. Possion distribution + Gaussian distribution = Gaussian distribution!
3. <http://capbone.com/process-raw-data-using-matlab-and-dcraw/>
4. 如何在夜晚拍出好的视频？

ISO最大设置为1600，否则会有很多噪声；

shutter speed设置为1/30s或1/50s，过快的话，夜晚的光会开始闪烁波动；

Aperture设为F/1.2—F/5.6；

Picture style：no contrast；



1. 去噪软件：Adobe Lightroom, Neat Image embedded in Photoshop CS5, and Noise Ninja

如果在raw data阶段取平均，得到的平均图无法放回相机的pipeline得到对应的RGB图像。只能采用一个通用的pipeline，也只能说明这个通用pipeline得到的RGB图像的平均没有RAW DATA取平均效果好。不能说明camera的pipeline得到的RGB图像的平均效果不好。

这个问题怎么解决？

**2016年12月6日**

用Sony A7 II举例：

问题1：RAW DATA的格式是什么？如何打开显示？

对于Sony A7 II相机，可以拍摄得到RAW DATA和JPG格式的sRGB图像。RAW DATA的格式是”.ARW”格式，可以使用IrFanView软件和Sony官网推荐的Image Data Converter打开。 Image Data Converter 不仅可以显示”.ARW”格式的RAW DATA ，而且可以将RAW DATA 转换成JPG或者TIFF格式的图片打开。

问题2： Image Data Converter这个软件能不能拟合Sony A7 ii这个相机的pipeline呢？

我注意到，用Image Data Converter将RAW DATA 转换成JPG或者TIFF格式的图片，和相机本身拍出来的图片不一致。是不是Image Data Converter 这个软件的pipeline和相机本身的pipeline不一样导致的。

问题3：RAW DATA是否可以在MATLAB或者其它软件里处理？

“.ARW”不是通用的RAW DATA格式，通用的格式是Digital Negative格式，也就是“.DNG”。这是Adobe公司发布的RAW DATA格式标准。我们可以使用Adobe DNG Converter将其它格式的RAW DATA转换为“.DNG”格式，具体信息可以查看<https://helpx.adobe.com/photoshop/digital-negative.html>。Adobe DNG Converter支持大多数相机制造商的RAW DATA格式，具体可以参考<http://www.adobe.com/support/downloads/detail.jsp?ftpID=6087>。详细的列表可以在这里看到<https://helpx.adobe.com/camera-raw/using/supported-cameras.html>。在将“.ARW”转为“.DNG”的过程中，我们注意要无压缩地转换：“after some trial-and-error we found that it's necessary to tell DNG Converter to do the conversion "uncompressed"”。质量好的CAMERA制造商有Leica, Casio, Ricoh, Samsung, and Pentax。

问题4：平均后的RAW DATA如何回到相机pipeline得到sRGB图像？

Image Data Converter不能打开DNG文件，所以如果将“.ARW”转换成“.DNG”格式的文件，处理后还需要无损地转换回来，才能进入pipeline得到sRGB图像。

Adobe Camera Raw, which lets you import and enhance raw images.

问题5：RAW DATA转成DNG后，能否DNG转回为RAW DATA?

不能，<https://photographylife.com/why-i-no-longer-convert-raw-files-to-dng>

**2016年12月7日星期三**

我在<http://photographyconcentrate.com/should-you-convert-dng/#comment-1392428>

留言了。提出问题：如何把DNG文件无损转回到各个相机模型的RAW DATA？答案目前为止是：不能，<https://photographylife.com/why-i-no-longer-convert-raw-files-to-dng>

现在只能走两条线，一条线是，把RAW DATA转成DNG文件，DNG文件转成TIFF文件，在TIFF文件上取平均，同时把TIFF文件通过一个公开的pipeline得到RGB的JPEG图像。另一条路线是拍出RGB的JPEG图像，在JPEG图像上做数据库，重点做手机摄像头的噪声图。

RAW DATA上取平均，做去噪，是比RGB上做去噪更合适的方法，同样条件下，效果会更好。主要原因是RAW DATA上的噪声基本还是与信号线性独立，但是噪声在经过pipeline之后就会变得更加复杂。

最常用的RAW editors 包括Lightroom, Aperture, Capture One, DxO, AfterShot Pro。

有人提出各个相机model有特定的校正功能是其它通用软件（比如Adobe Lightroom）无法提供的，比如Canon's Digital Photo Professional可以提供has lens/camera correction features not available otherwise. 但是Rob Lim在<http://photographyconcentrate.com/should-you-convert-dng/#comment-1392430>说the Lens Corrections panel available in Lightroom has been pretty good so far.也就是说，这些功能其实在通用软件里也是有不错的表现的。

使用DNG文件的一个潜在问题是不能直接使用**Dxo Optics Pro。**DxO是最好的图像锐化软件（sharpener），但DxO去掉了处理DNG文件的功能。解决这个问题的方法之一是，可以先将DNG文件转为TIFF文件，再导入到DxO里。这个过程中不会有质量损失（真的？），然后我们就可以在DxO里打开TIFF文件进行锐化了。

问题1：对于每个相机model，有没有软件可以对raw data取平均这个操作？

目前看来没有。

在RAW DATA上做HDR <https://www.hdrsoft.com/resources/HDRIfromRAWs_posterA4.pdf>

Photomatix 是一款HDR软件，可以在<https://www.hdrsoft.com/>找到。

2016年12月8日星期四

在RAW DATA阶段，要注意，不要忽视R，G，B三个颜色其实是有色度指定的，不是什么RGB颜色都可以：Colorimetric interpretation. Many different filter sets are in use with digital cameras. So the raw converter has to assign the correct, specific color meanings to the “red,” “green,” and “blue” pixels, usually in a colorimetrically defined color space such as CIE XYZ。

2016年12月11日星期日

芝加哥大学物理系教授讲解相机噪声：

<http://theory.uchicago.edu/~ejm/pix/20d/tests/noise/#shotnoise>

2016年12月13日星期二

White balancing is to transform the image to be consistent with human perception of color under different illumination conditions.

这篇文章是做RAW data去噪的，有代码，代码分为噪声参数估计和去噪。

Foi, A., “Practical denoising of clipped or overexposed noisy images”, Proc. 16th European Signal Process. Conf., EUSIPCO 2008, Lausanne, Switzerland, August 2008.

2016年12月14日星期三

文章Foi, A., “Practical denoising of clipped or overexposed noisy images”, Proc. 16th European Signal Process. Conf., EUSIPCO 2008, Lausanne, Switzerland, August 2008. 中的观点：

ISO的设置会影响模拟增益（analog gain）。大的ISO会导致更小的SNR。小的ISO导致大的SNR，但是会导致较暗的图像，除非用更长的曝光时间来弥补亮度。

我用DCRAW这个软件尝试给Sony Alpha7 II 拍出来的Raw Image转换格式，通过简单的pipeline（包括线性化，白平衡，彩色插值，色彩空间转换，亮度和伽马校正）得到非线性处理后的sRGB图像。如果直接把”.ARW”格式的图像转换成“.TIFF”格式的图像，经过pipeline得到的图像会很不正常，但是如果先把”.ARW”图像转换成“.DNG”图像（用Adobe DNG Converter软件），然后把”.DNG”图像转换成“.TIFF”图像，经过上述的pipeline得到的非线性的sRGB图像就会是真实的场景，但是还需要调里面的一些参数。

2016年12月16日星期五

初步实验结果：

真实噪声RAW Image： 真实JPG噪声图：



真实均值图： 均值 Dark Current：



真实均值图去掉DC；



原因：260张Scene是ISO6400的情形下拍摄的，DC拍摄的时候不知道ISO是多少；DC拍摄了十几张，远远构不成统计量；DC不准确，太夸张；关键原因：要加上reset value ，这里是128。

2016年12月17日星期六

Dcraw模拟pipeline：

RAW Image： Linearization：



White Balancing： Demosaicking：



Color Space Conversion： Brightness and Gamma Correction：



Sony A7II相机直接出来的JPG图：



2016年12月19日星期一

**实验结果：**

ISO设为100的时候，RAW data取平均再经过pipeline得到sRGB图和RAW data经过pipeline得到sRGB图再取平均，得到的ground truth图片质量更好。计算RAW data取平均再经过pipeline得到sRGB图的ground truth与500张real noisy image的图片的PSNR,SSIM； 计算平均得到的ground truth与500张real noisy image的图片的PSNR,SSIM;计算RAW data经过pipeline得到sRGB图再取平均得到的ground truth。

**实验设备与数据：**

Sony A7 II, 镜头是ILCR 7M2;raw images拍摄了457张，dark frames拍摄了590张；

Pipeline是<http://capbone.com/process-raw-data-using-matlab-and-dcraw/>；

**实验过程：**

**A 原始数据取平均再经过pipeline**

1. 把所有的noisy的RAW images转成TIFF格式（方便matlab对raw images取平均处理）；
2. 把1中得到的TIFF图片做取平均处理，得到TIFF格式的图像MEAN\_RAW；
3. 把所有的Dark frame的noisy的RAW images转成TIFF格式（方便matlab对raw images取平均处理）；
4. 把3中得到的TIFF图片做取平均处理，得到TIFF格式的图像MEAN\_RAW\_DF；
5. 用MEAN\_RAW减去MEAN\_RAW\_DF，得到ground truth的raw image（注意这里去掉了Reset Value=128，需要把Reset Value加回来，后续的pipeline才好处理，如果不加回Reset Value，经过pipeline后得到的sRGB图片偏绿）；
6. 把5中得到的ground truth的raw image经过pipeline得到PNG格式的sRGB图像meanRAW. PNG；

**B 原始数据经过pipeline再取平均**

1. 把所有的noisy的RAW images经过pipeline得到PNG格式的sRGB图像；
2. 把7中得到的PNG格式的sRGB图片取平均，得到meansRGB. PNG

**C 比较**meanRAW. PNG和meansRGB. PNG

1. 比较视觉质量；
2. 计算每张noisy的RAW images经过pipeline得到的PNG格式的sRGB图像与meanRAW. PNG和meansRGB. PNG之间的PSNR和SSIM,从而量化两个ground truth的质量。

2016年12月22日星期四

**解码Dark Frames的时候，有两种方式：**

1. for /r C:\Users\csjunxu\Desktop\Projects\RID\_Dataset\20161221DF\ %%i in (\*.ARW) do dcraw -D -4 -j -t 0 %%i
2. for /r C:\Users\csjunxu\Desktop\Projects\RID\_Dataset\20161221DF\ %%i in (\*.ARW) do dcraw -4 -T -D -v %%i

1和2得到的格式不同，1得到的是.pgm格式的DF，2得到的是.tiff格式的DF。但是1和2得到的DF的像素值都是一样的。

**如何得到real noisy image的Ground Truth?**

在论文“Jian Sun, Jian Sun, and Zongben Xu. Color Image Denoising via Discriminatively Learned Iterative Shrinkage. TIP, 2015.”中，作者为了训练判别式模型做真实去噪,构建真实噪声图和相应的干净图:

To acquire real noisy/clean training image pairs, we captured a burst of **hundreds** of images of **static** scenes using **tripod** （三脚架） and approximate the “truth” clean image by **averaging**.

接着作者在室内和室外的低照明条件下收集数据，把10对图分解成40个小图，然后用real noisy image和clean image计算噪声的水平:

We obtained ten-pairs of noisy/clean images in **indoor/outdoor low light environment**, and cropped 40 training image pairs from the pyramids of these images at randomly chosen scales and positions with the resolution of 200 × 200. The intensity-dependent noise levels are estimated using the clean image.

实验中,作者比较的方法包括C-BM3D和 best denoising commercial software **Noiseware** ([www.imagenomic.com](http://www.imagenomic.com)). 在比较中,作者会手动设置CBM3D算法的参数,使得算法达到本身能达到的最高PSNR.

作者还做了以下比较实验:把算法在real noisy/ground truth image pairs上训练,也把算法在Gaussian noisy/clean image pairs上训练,然后用于在真实噪声图上做去噪,如果在真实噪声图上训练出来的模型效果更好,那么说明,要更好地解决” 真实噪声图去噪”这个问题，需要构建real noisy image/ground truth image pairs 数据集并且算法需要在这个数据集上训练.

作者发现：We find that C-BM3D and DLIS learned from the synthetic noises cannot effectively remove real color noises because of the different noise characteristics.

2016年12月23日星期五

我们做了理论分析，认为raw data取平均之后再经过pipeline得到的ground truth比raw data经过pipeline得到sRGB再取平均得到的ground truth更接近真实的ground truth。比较设定ISO=3200，6400，25600时拍摄得到的图片，总结实验结果。其中ISO=3200是在白天拍摄，光线比较充足，噪声比较小；ISO=6400，25600是在夜晚拍摄，稳定光源，噪声比较大。

实验结果验证了我们的想法，我们做了几组实验，分别在ISO=3200，6400，25600（其他参数均为手动设置，不可控参数全部关闭）下拍摄500张图片，把raw data取平均再经过pipeline得到的ground truth设为meanRaw，把raw data经过pipeline得到sRGB再取平均得到的ground truth设为meansRGB。同时我们把相机帽子盖上（with the cap on），拍摄500张dark frame （DF），取平均得到meanDF。用meanRaw减去meanDF再加上reset value（因为meanRaw和meanDF都有reset value，两者相减就去掉了reset value，所以要加上reset value方便后续pipeline处理。对于Sony Alpha7 II相机，reset value是128），得到了理论上最优的ground truth，取名meanRawGT。为了得到量化的比较结果，我们计算每张real noisy image和meanRaw，meansRGB之间的PSNR，SSIM。实验结果如下：

1. 数值结果：对于500张real noisy images中，meanRaw在几乎全部图上（ISO=3200的时候409（462），ISO=6400，25600的时候是全部500（500））的PSNR（SSIM）都低于meansRGB的PSNR（SSIM）。500张图片平均下来，meanRaw的平均PSNR（SSIM）低于meansRGB的平均PSNR（SSIM）。这说明，meansRGB图与绝大多数real noisy images更为接近，用meanRaw作为ground truth更合适。
2. 随着ISO的增大，real noise的水平逐渐增大。meanRaw平均PSNR（SSIM）与meansRGB的平均PSNR（SSIM）的差距逐渐增大。meanRaw和meansRGB在ISO=3200，6400，25600的时候的平均PSNR（SSIM）分别为29.7744（0.7371）和29.8875（0.7383），26.8676（0.4754）和27.0184（0.4793），20.8163（0.2354）和21.1180（0.2382）。
3. meanRaw减去dark frame得到的meanRawGT在理论上证实更适合作为ground truth，实验中也有更小的PSNR（SSIM）。我们在ISO=3200的时候，发现meanRawGT与500张real noisy images计算得到的平均PSNR（SSIM）为29.7700（0.7369）,略低于meanRaw的平均PSNR（SSIM）为29.7744（0.7371）。但是这个实验还不充分，差距还不足以说明问题，需要后续更多实验，以及在更多相机品牌，ISO设置上做实验得到证实。
4. 视觉质量结果：可以找到细节，发现meansRGB比meanRaw有更明显的artifacts和noise，这说明噪声在经过pipeline之后有了artifacts，更说明了在raw data阶段取平均做ground truth的合理性。

接下来的工作是，我们需要有更多品牌的相机来做实验，可以采用租借的方式。我们还需要尽快确定拍摄的内容和场景，做出一个丰富的数据集。

问题：可以采用无参考图像质量评估算法评估平均图质量，pipeline质量评估怎么做？

2016年12月24日星期六

上述结论的5有了新结果：

1. meanRaw减去dark frame得到的meanRawGT在理论上证实更适合作为ground truth，实验中也有更小的PSNR（SSIM）。

ISO=1600，我们发现meanRawGT与538张real noisy images计算得到的平均PSNR（SSIM）为27.4（0.50），低于meanRaw的平均PSNR（SSIM）为27.5126（0.5079）。

ISO=3200，我们发现meanRawGT与500张real noisy images计算得到的平均PSNR（SSIM）为29.7700（0.7369），略低于meanRaw的平均PSNR（SSIM）为29.7744（0.7371）。**数据不准确，重做试验！**

ISO=6400，我们发现meanRawGT与521张real noisy images计算得到的平均PSNR（SSIM）为26.8165（0.4736）**，**低于meanRaw的平均PSNR（SSIM）为26.8676（0.4793）。

ISO=12800，噪声比较大，需要1000张图。

ISO=25600，噪声比较大，需要1000张图。

如果imaging pipeline是一个线性映射或函数，那么对于y=x+n，其中y是噪声图，x是潜在ground truth，n是真实噪声，那么有线性关系成立：f(y)= f(x)+ f(n)。那么500张raw images取平均再经过pipeline得到的sRGB图就等于500张经过pipeline之后得到的sRGB图取平均。但是实验证明这个结论是不成立的。这从实验角度证明imaging pipeline是一个非线性映射或函数。那么也就说明，500张raw images里的噪声取平均之后变成0（假设raw images取平均之后是ground truth），假设0噪声经过pipeline还是0，那么每张图单独的噪声经过pipeline变成sRGB噪声图再取平均之后得到的噪声不是0。这说明噪声经过非线性pipeline变换后不是0均值，从而不能通过取平均消除。

以上逻辑漏洞：我们先采用了一个非线性的pipeline，然后再得到这样的结果的！

应该理论分析，现有的pipeline普遍是非线性的，然后理论上，就会有这样的结果。

张老师建议拍5000张，经过pipeline得到三个ground truth分别为meanRaw，meanRawGT，meansRGB。然后选取500张得到三个ground truth，然后前三个和后三个对比，看哪个质量最好。

2016年12月27日星期二

用相机在室内拍摄了2336张raw images，经过pipeline转成sRGB图片再平均后得到meansRGBAll，先平均再经过pipeline得到sRGB图片得到meanRAWAll；

再拍摄2426张Dark frame（DF）的raw images，平均后得到meanDFAll，用meanRAWAll减去meanDFAll（再加上reset value 128）再经过pileline得到sRGB图片RAWGTAll。

上述操作取前500张分别进行得到 meansRGB500，meanRAW500，RAWGT500。

将meansRGB500，meanRAW500，RAWGT500作为noisy的ground truth（noisy GT），将meansRGBAll，meanRAWAll，RAWGTAll作为ground truth（GT），以GT作为干净图，noisy GT作为噪声图，计算PSNR,SSIM得到以下结果：

  GT\Noisy GT    meansRGB500    meanRAW500   RAWGT500

meansRGBAll    **33.6004/0.9845**   32.9853/0.9576  32.9741/0.9494

meanRAWAll     30.5786/0.9586    **35.1012/0.9719**   34.5362/0.9539

RAWGTAll        30.5619/0.9504    34.3375/0.9520   **34.9594/0.9633**

**结果表示，每个noisy GT在相应的GT上取得最好的PSNR,SSIM.**

2016年12月30日星期五

28号，用快门线连接sony相机在室内拍摄5000张图片，处理raw images大概需要50个小时。每张图片的white balance的权重不同。