

A-1 MATLAB® script for image analysis

This code may be pasted into a MATLAB® script file and edited accordingly for image analysis.

```
close all
clear all
clc

%import CamA images from windows folder. Read image 1.jpg through m.jpg
sequentially. Files are in the "myFolder" directory.

myFolder1 = 'C:\';           %specify folder 1 path on local drive
myFolder2 = 'C:\';           %specify folder 2 path on local drive
n = m;                      %m is the number digit of last image file

%create time stamp for images

t_int = 1;                  %specify interval for image capture (s)
t = 0:t_int:t_int*(n-1);    %time stamp for all images
t = t';                     %transpose vector dimensions

%create zero vector for output from for-loop

intA = zeros(n);
intB = zeros(n);

for k = 1:n
    jpgFilename1 = sprintf('CamA%d.jpg',k);
    fullFileName1 = fullfile(myFolder1,jpgFilename1);
    imgarray1 = imread(fullFileName1);
    Icrop1 = imcrop(imgarray1,[75,200,250,110]); %crop to ROI
    gmap1 = rgb2gray(Icrop1);                      %convert to grayscale

    figure(1) %show CamA images
    imshow(gmap1)

    jpgFilename2 = sprintf('CamB%d.jpg', k);
    fullFileName2 = fullfile(myFolder2, jpgFilename2);
    imgarray2 = imread(fullFileName2);
    Icrop2 = imcrop(imgarray2,[150,165,230,110]); %crop to ROI
    gmap2 = rgb2gray(Icrop2);                      %convert to grayscale
    gmap2 = rgb2gray(imgarray2);

    figure(2) %show CamB images
    imshow(gmap2)

    %calculate mean gray level (average intensity of grayscale image)
    meangraylevel1 = mean(mean(gmap1));
    intA(k) = meangraylevel1;

    meangraylevel2 = mean(mean(gmap2));
    intB(k) = meangraylevel2;

end

%generate and plot absorbance-time curve from images
Max_intA = max(intA(:,1));
```

```

p1 = -log(intA(:,1)./Max_intA);

Max_intB = max(intB(:,1));
p2 = -log(intB(:,1)./Max_intB);

figure(3)
clf;
h1 = plot(t,p1,'b-');
hold on
h2 = plot(t,p2,'r-');
xlabel ('Time (s)', 'fontsize',16, 'fontweight','bold');
ylabel ('Absorbance', 'fontsize',16, 'fontweight','bold');
set(gca, 'fontSize',16, 'fontWeight', 'bold');
set([h1,h2], 'LineWidth',2);

```

A-2 Liquid phase axial dispersion from intrusive conductivity measurements

Flow rate (ml min ⁻¹)	<i>f</i> (Hz)	<i>Re_o</i>	τ (s)	D_{ax}/uL	u (m s ⁻¹)	D_{ax} (m ² s ⁻¹)	<i>n</i>
5	2	31	446.7	3.68×10^{-2}	5.50×10^{-3}	5.49×10^{-4}	15
			437.2	3.86×10^{-2}	5.70×10^{-3}	5.94×10^{-4}	14
	4	62	441.6	4.43×10^{-2}	5.60×10^{-3}	6.66×10^{-4}	12
	6	93	454.9	3.14×10^{-3}	5.60×10^{-3}	4.72×10^{-4}	17
	8	123	460.1	2.48×10^{-2}	5.60×10^{-3}	3.72×10^{-4}	21
	10	154	466.4	1.69×10^{-3}	5.60×10^{-3}	2.55×10^{-4}	31
	12	185	479.2	1.08×10^{-3}	5.60×10^{-3}	1.64×10^{-4}	47

A-3 Liquid and solid phase axial dispersion from non-invasive dual backlit imaging measurements

A-3.1 Liquid phase axial dispersion for $x_0 = 0.5 \text{ mm}$

Flow rate (ml min ⁻¹)	f (Hz)	Re_o	τ (s)	D_{ax}/uL	u (m s ⁻¹)	D_{ax} (m ² s ⁻¹)	n
5	2	31	433.7	1.76×10^{-2}	5.90×10^{-3}	2.82×10^{-4}	29
			445.7	1.73×10^{-2}	5.80×10^{-3}	2.71×10^{-4}	30
			442.5	1.73×10^{-2}	6.00×10^{-3}	2.77×10^{-4}	30
			423.2	2.02×10^{-2}	6.10×10^{-3}	3.30×10^{-4}	26
	4	62	436.6	1.26×10^{-2}	6.00×10^{-3}	2.04×10^{-4}	41
			429.8	2.15×10^{-2}	5.90×10^{-3}	3.44×10^{-4}	25
	6	93	445.2	8.60×10^{-3}	5.90×10^{-3}	1.37×10^{-4}	59
			430.6	8.70×10^{-3}	6.10×10^{-3}	1.44×10^{-4}	58
	8	123	438.9	1.27×10^{-2}	6.00×10^{-3}	2.03×10^{-4}	40
			441.1	6.10×10^{-3}	6.00×10^{-3}	9.78×10^{-4}	84
			453.0	5.30×10^{-3}	5.80×10^{-3}	8.39×10^{-5}	95
10	154	154	480.6	6.80×10^{-3}	5.50×10^{-3}	1.01×10^{-4}	75
			431.7	5.40×10^{-3}	6.10×10^{-3}	8.91×10^{-5}	93
			449.4	6.40×10^{-3}	5.90×10^{-3}	1.02×10^{-4}	79
			454.8	3.90×10^{-3}	5.90×10^{-3}	6.10×10^{-5}	130
	12	185	448.9	3.70×10^{-3}	5.90×10^{-3}	5.93×10^{-5}	136
			442.4	5.50×10^{-3}	6.00×10^{-3}	8.92×10^{-5}	92
			446.1	5.40×10^{-3}	5.90×10^{-3}	8.66×10^{-5}	93
			1475.0	3.73×10^{-2}	2.60×10^{-3}	2.61×10^{-4}	14
2	2	31	930.5	1.58×10^{-2}	2.90×10^{-3}	1.23×10^{-4}	33
			933.5	3.87×10^{-2}	2.90×10^{-3}	3.02×10^{-4}	14
			986.6	2.52×10^{-2}	2.70×10^{-3}	1.83×10^{-4}	21
			958.3	2.37×10^{-2}	2.80×10^{-3}	1.79×10^{-4}	22
			969.4	1.48×10^{-2}	2.80×10^{-3}	1.12×10^{-4}	35
			986.7	1.90×10^{-2}	2.70×10^{-3}	1.38×10^{-4}	27
	4	62	1044	1.91×10^{-2}	2.70×10^{-3}	1.39×10^{-4}	27
			982.2	1.56×10^{-2}	2.80×10^{-3}	1.18×10^{-4}	33
			997.3	1.16×10^{-2}	2.70×10^{-3}	8.43×10^{-5}	44
	6	93	974.6	8.20×10^{-2}	2.80×10^{-3}	6.18×10^{-5}	62
			1021	5.10×10^{-3}	2.60×10^{-3}	3.57×10^{-5}	99
			1047	1.71×10^{-2}	2.60×10^{-3}	1.20×10^{-4}	30

A-3.2 Liquid phase axial dispersion for $x_0 = 1.0 \text{ mm}$

Flow rate (ml min ⁻¹)	f (Hz)	Re_o	τ (s)	D_{ax}/uL	u (m s ⁻¹)	D_{ax} (m ² s ⁻¹)	n
5	2	62	451.9	3.03×10^{-2}	5.90×10^{-3}	4.81×10^{-4}	18
			453.1	2.35×10^{-2}	5.90×10^{-3}	3.73×10^{-4}	22
			449.1	2.77×10^{-2}	6.00×10^{-3}	4.47×10^{-4}	19
			454.7	2.19×10^{-2}	5.90×10^{-3}	3.48×10^{-4}	24
	4	123	430.4	2.29×10^{-2}	5.90×10^{-3}	3.64×10^{-4}	23
			436.6	1.81×10^{-2}	5.90×10^{-3}	2.88×10^{-4}	29
			429.4	1.93×10^{-2}	6.30×10^{-3}	3.27×10^{-4}	27
	6	185	435.1	1.67×10^{-2}	6.20×10^{-3}	2.79×10^{-4}	31
			437.4	1.34×10^{-2}	6.00×10^{-3}	2.16×10^{-4}	38
			435.0	1.36×10^{-2}	6.20×10^{-3}	2.27×10^{-4}	38
	8	247	443.2	1.05×10^{-2}	5.90×10^{-3}	1.67×10^{-4}	49
			433.6	1.01×10^{-2}	6.00×10^{-3}	1.63×10^{-4}	51
	10	308	443.2	1.05×10^{-2}	5.90×10^{-3}	1.67×10^{-4}	49
			435.0	1.36×10^{-2}	6.20×10^{-3}	2.27×10^{-4}	38
			437.4	1.34×10^{-2}	6.00×10^{-3}	2.16×10^{-4}	38
			435.0	1.36×10^{-2}	6.20×10^{-3}	2.27×10^{-4}	38
	12	370	443.2	1.05×10^{-2}	5.90×10^{-3}	1.67×10^{-4}	49
			433.6	1.01×10^{-2}	6.00×10^{-3}	1.63×10^{-4}	51

A-3.3 Liquid phase axial dispersion for $x_0 = 2.0$ mm

Flow rate (ml min ⁻¹)	f (Hz)	Re_o	τ (s)	D_{ax}/uL	u (m s ⁻¹)	D_{ax} (m ² s ⁻¹)	n
5	2	123	413.0	4.10×10 ⁻²	5.60×10 ⁻³	6.19×10 ⁻⁴	14
			431.2	3.55×10 ⁻²	6.20×10 ⁻³	5.93×10 ⁻⁴	15
	4	247	430.6	2.99×10 ⁻²	5.60×10 ⁻³	4.51×10 ⁻⁴	18
			440.7	3.30×10 ⁻²	6.10×10 ⁻³	5.42×10 ⁻⁴	16
	6	370	438.6	2.36×10 ⁻²	5.70×10 ⁻³	3.62×10 ⁻⁴	22
			432.3	2.12×10 ⁻²	6.20×10 ⁻³	3.54×10 ⁻⁴	25
	8	493	437.3	1.79×10 ⁻²	5.80×10 ⁻³	2.80×10 ⁻⁴	29
			438.1	1.78×10 ⁻²	6.10×10 ⁻³	2.92×10 ⁻⁴	29
	10	617	441.3	1.11×10 ⁻²	6.00×10 ⁻³	1.79×10 ⁻⁴	46
			445.7	1.31×10 ⁻²	6.00×10 ⁻³	2.12×10 ⁻⁴	39
	12	740	454.7	7.90×10 ⁻²	5.90×10 ⁻³	1.25×10 ⁻⁴	64
			450.0	1.25×10 ⁻²	6.00×10 ⁻³	2.02×10 ⁻⁴	41

A-3.4 Solid phase axial dispersion for $x_0 = 0.5$ mm

Flow rate (ml min ⁻¹)	f (Hz)	Re_o	τ (s)	D_{ax}/uL	u (m s ⁻¹)	D_{ax} (m ² s ⁻¹)	n
5	2	31	429.5	2.11×10 ⁻²	6.30×10 ⁻³	3.58×10 ⁻⁴	25
			538.7	3.20×10 ⁻²	4.90×10 ⁻³	4.22×10 ⁻⁴	17
	4	62	444.3	1.81×10 ⁻²	6.10×10 ⁻³	2.97×10 ⁻⁴	29
			476.6	2.56×10 ⁻²	5.70×10 ⁻³	3.93×10 ⁻⁴	21
	6	93	457.3	1.42×10 ⁻²	5.90×10 ⁻³	2.26×10 ⁻⁴	36
			430.6	1.05×10 ⁻²	6.30×10 ⁻³	1.78×10 ⁻⁴	49
	8	123	437.2	9.30×10 ⁻³	6.30×10 ⁻³	1.58×10 ⁻⁴	55
			460.9	1.38×10 ⁻²	5.90×10 ⁻³	2.19×10 ⁻⁴	37
	10	154	401.3	8.60×10 ⁻³	6.90×10 ⁻³	1.60×10 ⁻⁴	59
			459.3	1.14×10 ⁻²	5.90×10 ⁻³	1.81×10 ⁻⁴	45
	12	185	406.4	5.90×10 ⁻³	6.70×10 ⁻³	1.06×10 ⁻⁴	86
			475.3	7.00×10 ⁻³	5.70×10 ⁻³	1.07×10 ⁻⁴	72