



Percepcja Maszyn

Kalibracja kamery

Marcin Michalski
Krzysztof Pierczyk

29 kwietnia 2020

ZADANIE 1

Pierwszym zadaniem, które mieliśmy do wykonania w ramach laboratorium, polegało na przeprowadzeniu procesu kalibracji kamery z wykorzystaniem środowiska Matlab. Środowisko to udostępnia pełen zestaw metod i klas umożliwiających przeprowadzenie takiej procedury jak i aplikację *Camera Calibration* stanowiącą dla nich graficzny interfejs.

Do dyspozycji otrzymaliśmy trzy zestawy zdjęć, które zostały wykonane przy użyciu różnych obiektywów kolejno o **małej, średniej i dużej wartości ogniskowej**. Wszystkie zdjęcia przedstawiały szachownicę 5×6 pól, z których każde miało wymiary $40mm \times 40mm$. Zdjęcia zostały w trzech iteracjach (po jednej dla każdej wartości ogniskowej) załadowane do aplikacji i po ustawieniu parametrów kilku parametrów przeprowadzona została kalibracja. Na jej podstawie zostały wygenerowane skrypty języka Matlab, które pozwoliły odtworzyć w dowolnym momencie procedurę. Przyjęte parametry kalibracji, to:

- Model kamery: *Standard*
- Ilość współczynników modelujących zniekształcenia radialne: 3

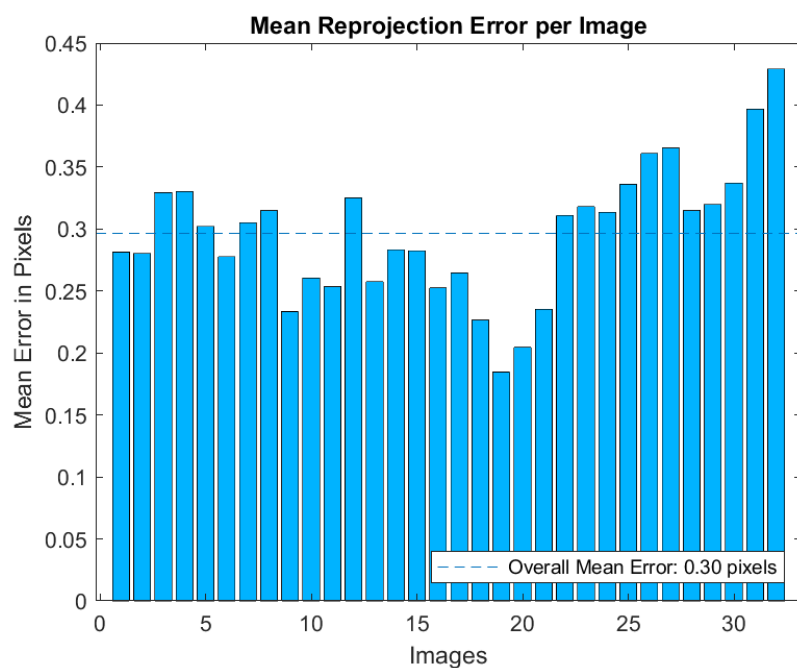
Dla wszystkich zestawów zdjęć obliczony został również *współczynnik skośności* oraz *zniekształcenia tangencjalne*.

Wąski kąt

Jako pierwsze zostały obliczone parametry obiektywu o wąskim kącie (dużej wartości ogniskowej). Do programu zostało załadowanych 36 zdjęć, z tego 4 zostały odrzucone

Średni błąd reprojekcji wyniósł **0.2965 piksela**. Wykres błędów dla kolejnych zdjęć ze zbioru kalibracyjnego został przedstawiony na rysunku 2.

Zdjęcia charakteryzujące się najwyższym błędem to te, na których szachownica zasłaniała większą część ekranu. Procedurę kalibracji powtórzono kilkakrotnie nie obserwując przy tym większych zmian w wynikach. W poniższej tabeli zestawiono estymowane parametry kamery. Wartości ogniskowej oraz współrzędne środka optycznego zostały wyrażone w pikselach liczonych w osi poziomej i w osi pionowej



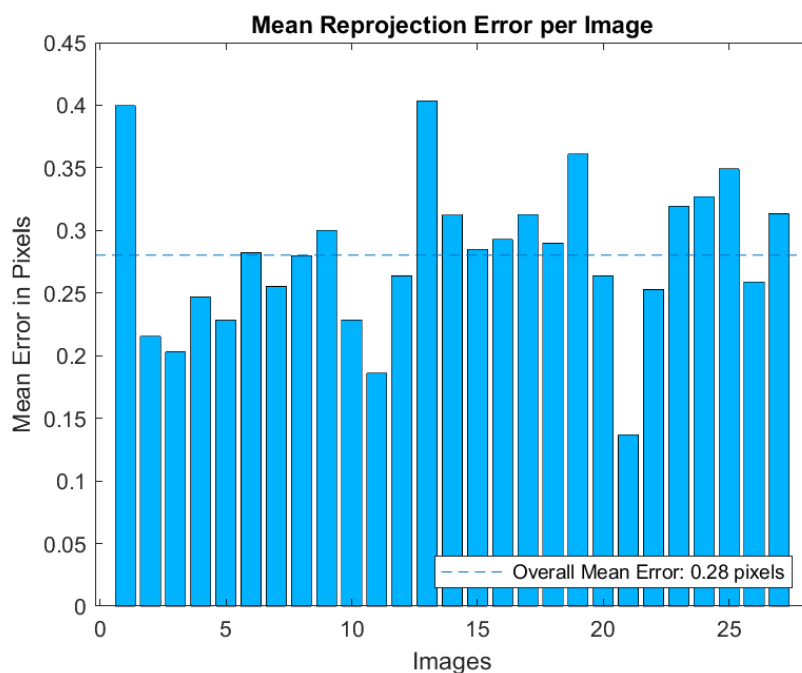
Rysunek 1. Błędy reprojektacji punktów kalibracyjnych dla obiektywu o dużej wartości ogniskowej

Nazwa parametru	Wartość
Ogniskowa	[2748.7761 +/- 14.3787 2745.1086 +/- 14.3036]
Środek optyczny obrazu	[685.5717 +/- 9.4751 598.2177 +/- 8.2865]
Współczynniki zniekształceń radialnych	[-0.3738 +/- 0.0213 1.3429 +/- 0.7272 -6.9760 +/- 7.5284]
Współczynniki zniekształceń tangencjalnych	[-0.0002 +/- 0.0008 -0.0004 +/- 0.0008]
Współczynnik skośności	1.3042 +/- 1.4829

Tabela 1. Parametry uzyskane przy kalibracji obiektywu wąskiego

Średni kąt

Procedura kalibracji została powtórzona w identyczny sposób dla obiektywu o średnim kącie widzenia. W tym przypadku wykorzystane zostało 27 zdjęć z udostępnionych nam 30. Średni błąd reprojektacji uplasował się na poziomie **0,2803 piksela**. Ponownie rozkład błędów reprojektacji dla kolejnych zdjęć został przedstawiony na poniższym wykresie.



Rysunek 2. Błędy reprojektacji punktów kalibracyjnych dla obiektywu o średniej wartości ogniskowej

Warto zauważyć, że tym razem największe wartości błędów nie zostały uzyskane przez zdjęcia, na których szachownica zajmuje większą część matrycy. Mogło być to jednak spowodowane stosunkowo dużą niewyraźnością zdjęć o indeksach 1 i 13.

Nazwa parametru	Wartość
Ogniskowa	[1383.5949 +/- 3.8020 1382.8112 +/- 3.8115]
Środek optyczny obrazu	[645.4789 +/- 2.9346 540.3583 +/- 2.5959]
Współczynniki zniekształceń radialnych	[-0.4025 +/- 0.0065 0.2938 +/- 0.0522 -0.1935 +/- 0.1354]
Współczynniki zniekształceń tangencjalnych	[0.0003 +/- 0.0004 0.0017 +/- 0.0004]
Współczynnik skośności	-0.8423 +/- 0.3342

Tabela 2. Parametry uzyskane przy kalibracji obiektywu o średnim kącie widzenia

Szeroki kąt

Kalibracja obiektywu o szerokim kącie widzenia została wykonana na bazie 39 zdjęć. 7 z dostępnych zdjęć zostało odrzuconych. Średni błąd reprojektacji wyniósł w tym przypadku **0,2003 piksela**. Wyniki błędów dla wszystkich zdjęć przedstawiono na poniższym rysunku.



Rysunek 3. Błędy reprojektacji punktów kalibracyjnych dla obiektywu o niskiej wartości ogniskowej

Nazwa parametru	Wartość
Ogniskowa	[1100.1791 +/- 2.4422 1099.2179 +/- 2.3940]
Środek optyczny obrazu	[629.3491 +/- 1.3401 530.0853 +/- 1.2348]
Współczynniki zniekształceń radialnych	[-0.3999 +/- 0.0026 0.2200 +/- 0.0072 -0.0740 +/- 0.0068]
Współczynniki zniekształceń tangencjalnych	[0.0005 +/- 0.0002 0.0004 +/- 0.0002]
Współczynnik skośności	-0.6509 +/- 0.1488

Tabela 3. Parametry uzyskane przy kalibracji obiektywu o dużym kącie widzenia

Podsumowanie

Porównując tabele 1-3 możemy łatwo zauważyć, że **większy kąt widzenia kamery wiąże się z niższą wartością ogniskowej**, co było spodziewanym efektem. Nie widać z kolei znaczącej zależności wartości ogniskowej, a wartościami zniekształceń zarówno radialnych jak i tangencjalnych. Moduł współczynnika skośności zdaje się maleć wraz ze spadkiem wartości ogniskowej.

ZADANIE 2

W tym zadaniu należało przeprowadzić kalibrację kamery w telefonie. W tym celu wykonaliśmy 20 zdjęć (można je obejrzeć w folderze data_calibration) wzornika z szachownicą, z których Matlab uznał 17. Otrzymane parametry to:

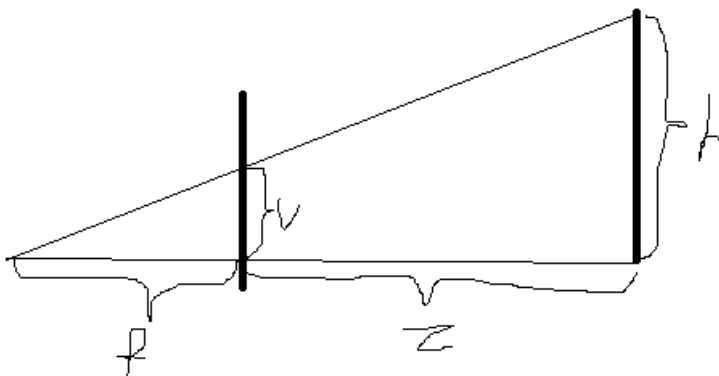
Nazwa parametru	Wartość
Ogniskowa	3120, 3166
Środek optyczny obrazu	1480, 1972

Tabela 3 Parametry obiektywu w telefonie

Ze względu na podobne wartości ogniskowych, w dalszej części korzystać będziemy z jednej wartości 3120.

Obliczanie odległości – teoria

W celu obliczenia odległości wyznaczymy uproszczony model naszego układu:



Korzystając z twierdzenia Talesa możemy zapisać:

$$\frac{v}{h} = \frac{f}{f+z}$$

Równanie to przekształcamy do postaci:

$$f+z = \frac{f}{v}h$$

Nasze badania przeprowadzane były na dystansach dużo większych, niż ogniskowa soczewki, stąd $z \gg f$, skąd możemy zapisać:

$$z \approx \frac{f}{v}h$$

Przyjmując, że rozmiar piksela to $1\mu\text{m}$, otrzymujemy pomijalne 3mm na naszych dystansach $>1\text{m}$.

Obliczanie odległości – praktyka

Do wykonania zadania wykonane zostały 3 zdjęcia (można je obejrzeć w folderze data_check) w odległości: 1,2,3m od wzornika. Wzornik w naszym przypadku miał wysokość 17.7cm wysokości. Wykorzystując powyższy wzór do wykonanych pomiarów otrzymujemy następujące wartości:

Rozmiar obiektu w px	Odległość zmierzona miarką	Odległość wyznaczona	Błąd pomiaru
559	1m	0.98m	2%
278	2m	1.97m	1.5%
179	3m	3.06m	2%

Wpływ błędu pomiaru wysokości obiektu na zdjęciu

Błąd pomiaru wyznaczmy korzystając z równości wyznaczonej powyżej:

$$\frac{f}{v}h - \frac{f}{v+1}h = fh\left(\frac{1}{v} - \frac{1}{v+1}\right) = fh\left(\frac{v+1-v}{v(v+1)}\right) = fh\frac{1}{v(v+1)}$$

Wyznaczymy wartości dla warunków ze wzoru:

$$v = \frac{f}{z}h$$

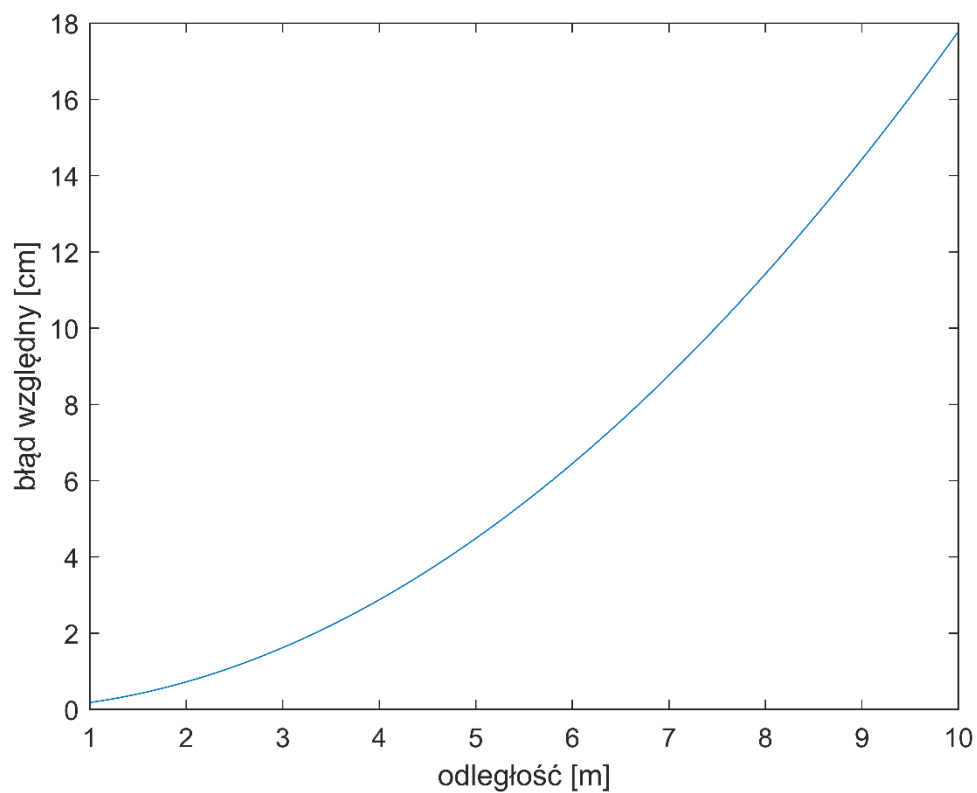
Otrzymamy:

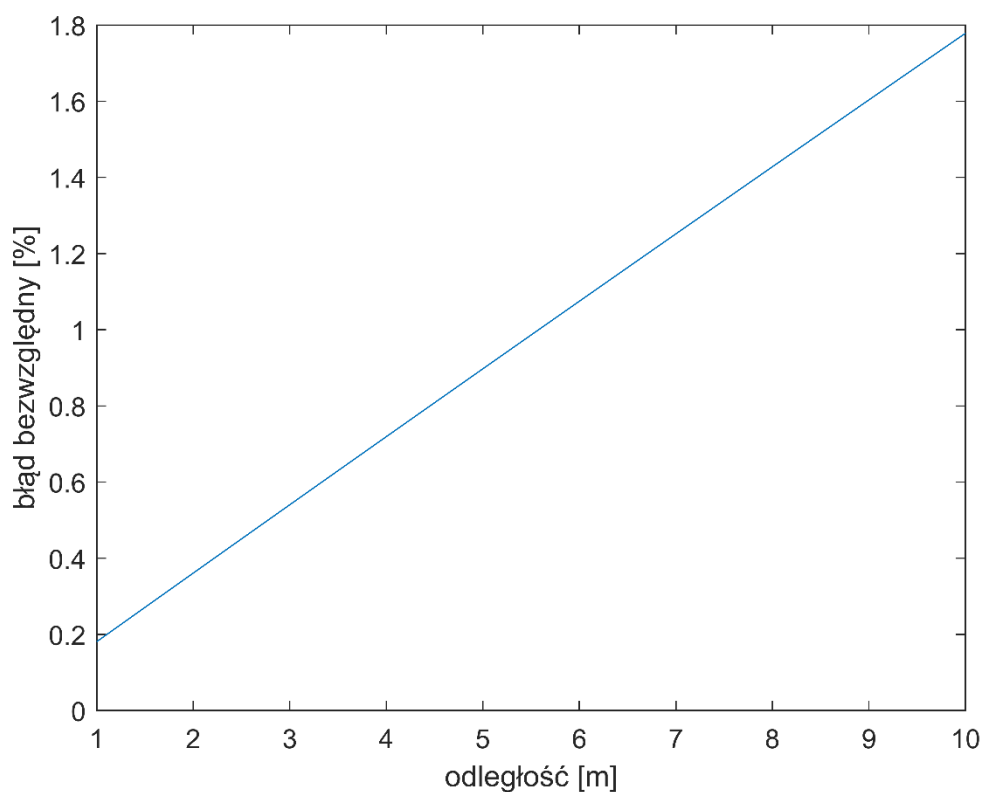
Odległość przedmiotu od matrycy	Rozmiar w px
1m	552
2m	276
3m	184
4m	138
5m	110

I wyznaczając ze wzoru obliczonego powyżej w tym podpunkcie otrzymujemy

Odległość przedmiotu od matrycy	Błąd względny	Błąd bezwzględny
1m	0.18cm	0.18%
2m	0.72cm	0.36%
3m	1.62cm	0.54%
4m	2.87cm	0.72%
5m	4.52cm	0.90%

Wykresy błędów względnego i bezwzględnego widać na powyższych wykresach:





Podsumowanie

Z powyższych eksperymentów wynika, że pomiar odległości przy wykorzystaniu zwykłego telefonu może być dość dokładny. Wyznaczony błąd pomiaru plasuje się w okolicach 2%, co może nie być wynikiem imponującym, ale z pewnością do szybkich pomiarów wystarczającym. Warto tutaj nadmienić wagę warunków, w których zdjęcia są wykonywane. Pierwotnie do tego zadania kamera została skalibrowana na 5 zdjęciach, z czego 2 nie zostały przyjęte przez program. Wykonane później zdjęcia w podobnych warunkach oświetleniowych doprowadziły do następujących wyników:

Odległość przedmiotu od matrycy	Rozmiar w px
1m	555
2m	285
3m	178

Co daje następujące wartości:

Rozmiar obiektu w px	Odległość zmierzona miarką	Odległość wyznaczona	Błąd pomiaru
555	1m	1.00m	0%
285	2m	1.94m	3%
178	3m	3.10m	3.3%

To, co może wpływać na powyższe wyniki to fakt, że kamera została skalibrowana w dość wąskim pomieszczeniu (na dystansie ok. 1m). Może to być powód niskiego błędu w zakresie 1m od kamery, a większego w zakresach niekalibrowanych. Nasuwa to również kolejny wniosek: nie ma kamery idealnej, kamera będzie wykonywała dobre zdjęcia w zakresie optymalnej kalibracji. Rozszerzenie zakresu kalibracji nie spowoduje polepszenia wyników w całym zakresie optymalizacji, a jedynie unormuje (równomiernie rozłoży) błąd w zakresie optymalizacji.